

**Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons  
im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis)  
im Januar/Februar 1985**

**On the Ecology of the Phytoplankton  
in the southeastern Weddell Sea (Antarctica)  
in January/February 1985**

---

**Eva-Maria Nöthig**

*... It will be realized that no hard and fast lines can be drawn in nature - some gradual merging of conditions is always evident - but in practice it is essential to draw boundaries somewhere in order to reduce the problems to manageable proportions. ...*

*(T.J. Hart 1942)*

## **Inhalt**

<b>Zusammenfassung</b>	5
<b>Summary</b>	7
<b>1. Einleitung</b>	9
<b>2. Material und Methoden</b>	11
2.1. Untersuchungsgebiet	11
2.2. Probennahme	11
2.2.1. Wassersäule	11
2.2.2. Sinkstofffallen	15
2.2.3. Experimente	15
2.2.3.1. Tankexperimente	15
2.2.3.2. Kulturexperimente	15
2.3. Gemessene Parameter	16
<b>3. Ergebnisse</b>	19
3.1. Hydrographie und Wetter	19
3.1.1. Allgemeine Charakteristik des Untersuchungsgebiets	19
3.1.2. Hydrographie und Wetter in der Vestkapp-Box während ANT III,3	19
3.2. Nährsalze, biochemische Parameter und Primärproduktion	28
3.2.1. Nährsalze	28
3.2.2. Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC), partikulärer organischer Stickstoff (PON), partikulärer Gesamtphosphor (TPP), Chlorophyll <i>a</i> und Primärproduktion	36
3.3. Phyto- und Protozooplankton	44
3.3.1. Biomasse des Phyto- und Protozooplanktons	44
3.3.2. Das Phytoplankton in den oberen hundert Metern der Wassersäule	51
3.3.3. Verteilung sporenbildender Arten, Verteilung von anderen Panktern und Kotballen bis in große Wassertiefen und auf dem Sediment	66
3.4. Sinkstofffallen	80
3.5. Experimente	84
3.5.1. Tankexperimente	84
3.5.2. Kulturexperimente	86
<b>4. Diskussion</b>	88
4.1. Wachstumsraten und Biomasseakkumulation beeinflussende Faktoren (Temperatur, Nährsalze, Lichtregime, Hydrographie, Grazing, und Sedimentation)	89
4.2. Das Phytoplankton vor dem Vestkapp Artenzusammensetzung und Sukzession	95
Zur Bildung von Ruhesporen	102
4.3. Schlußbetrachtung und Ausblick	106
<b>5. Literatur</b>	108

## **Danksagung**

*Meinem Doktorvater Prof. Bernt Zetzschel, der mir bei der Durchführung dieser Arbeit sehr viel Freiheit gelassen hat und so meine Kreativität gefördert hat, sei herzlich gedankt.*

*Mein ganz besonderer Dank gilt Bodo von Bodungen, der mich in allen Phasen bei der Durchführung und Fertigstellung der Doktorarbeit hervorragend betreut hat. Eine bessere Zusammenarbeit "an Bord und an Land" kann ich mir nicht vorstellen.*

*Für die zahlreichen kritischen Kommentare, die viele Zeit, die diversen Versionen dieser Arbeit zu diskutieren und für psychologische Unterstützung danke ich besonders Uli Bathmann, Uta Passow, Renate Scharek, Victor Smetacek, Rolf Gradinger, Susanne Neuer, Petra Stegmann und Rolf Peinert.*

*Für die Mitarbeit bei der Durchführung der technischen Arbeiten an Bord und an Land und der Datenverarbeitung gilt mein besonderer Dank Peter Fritsche, Qingbo Sui, Maren Voss, Annette Meiners, Gerd Rohardt und Manfred Retnke.*

*Hartmut Hellmer sei dafür gedankt, daß er immer Zeit und Lust hatte, mir bei der Lösung der ozeanographischen Probleme behilflich zu sein.*

*Der immer hilfreichen und gutgelaunten Crew des FS "Polarstern" und dem Fahrleiter von ANT III,3, Prof. G. Hempel, sei hiermit herzlich gedankt.*

*Dem "SFB-Flur" mit allen seinen "Bewohnern" ist für die Erzeugung einer guten Arbeitsatmosphäre zu danken.*

*Meinem Freund Bernd Ueberschär danke ich für das Ertragen aller schlechten Launen, die seelische Unterstützung und die kritischen Kommentare in der Funktion eines fachkundigen Kollegen. Meiner Schwester Carola danke ich für die "künstlerschen" Hilfestellungen bei den Abbildungen und geduldiges Zuhören. Meinen Eltern und Großeltern danke ich für die psychische und finanzielle Unterstützung und für die ständigen Aufmunterungen während des ganzen Studiums. Hier möchte ich besonders meinen Großvater hervorheben, der kurz vor der Fertigstellung dieser Dissertation verstorben ist. - Ihm widme ich diese Arbeit.*

*Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei gedankt, die mich im Rahmen des Projekts Bo 768/1-3 drei Jahre lang unterstützt hat.*

Die vorliegende Arbeit ist die leicht veränderte und verkürzte Fassung einer Dissertation, die 1987 am Institut für Meereskunde an der Universität Kiel angefertigt wurde. Die Änderungen und Kürzungen betreffen einige Textpassagen und Abbildungen; der Daten-Anhang der Originalarbeit ist hier nicht wiedergegeben.

## Zusammenfassung

Ein etwa 50 x 70 km umfassendes Gebiet im südöstlichen Weddellmeer vor dem Vestkapp wurde im Rahmen der Expedition Antarktis III, 3 mit dem FS "Polarstern" auf jeweils vier Schnitten senkrecht zur Küste mit einem Zeitabstand von 10 Tagen im Januar/Februar 1985 zweimal beprobt (Vestkapp I, Vestkapp II). Die Vertikalverteilung von physikalischen und chemischen Parametern in der Wassersäule wurde erfaßt und Standardmethoden zur Bestimmung von Biomasse, Produktion und Artenzusammensetzung des Phytoplanktons wurden angewandt. Der Einsatz von Sinkstofffallen gab Auskunft über den Partikelverlust aus dem Pelagial. Das Vorkommen, die Bildung und das Wachstumsvermögen von Ruhestadien des Phytoplanktons vor dem Vestkapp wurden untersucht. Experimente mit den natürlichen Populationen des Oberflächenwassers vor dem Vestkapp ergänzten die im Feld gewonnenen Ergebnisse.

Bei Vestkapp II war ein stärkerer Schmelzwassereinfluß im Oberflächenwasser als bei Vestkapp I zu erkennen. Der Chlorophyll *a*-Gehalt änderte sich im Untersuchungszeitraum in der euphotischen Zone kaum, er lag während Vestkapp I durchschnittlich bei 1.1 mg m<sup>-3</sup> und während Vestkapp II bei 1.2 mg m<sup>-3</sup>. Die Primärproduktion nahm von 489 mgC m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> auf 268 mgC m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> im Mittel zwischen beiden Untersuchungen ab. Ebenfalls wurde eine durchschnittliche Abnahme in den Nährsalzkonzentrationen für Phosphat von 1.75 mmol m<sup>-3</sup> auf 1.54 mmol m<sup>-3</sup>, für Silikat von 66 mmol m<sup>-3</sup> auf 58 mmol m<sup>-3</sup> und für Nitrat von 27.1 mmol m<sup>-3</sup> auf 23.0 mmol m<sup>-3</sup> gemessen. Partikulärer organischer Kohlenstoff nahm von 241 mg m<sup>-3</sup> auf 283 mg m<sup>-3</sup>, partikulärer organischer Stickstoff von 50.9 mg m<sup>-3</sup> auf 63.0 mg m<sup>-3</sup> und Gesamt-Phosphor von 4.56 mg m<sup>-3</sup> auf 8.24 mg m<sup>-3</sup> zu. Unterhalb der euphotischen Zone waren entsprechende Ab- und Zunahmen nur sehr viel geringer. Die Phytoplanktonbiomasse (Kohlenstoff) nahm von Vestkapp I zu Vestkapp II leicht zu.

Während Vestkapp I war *Phaeocystis* sp. die dominante Art. Entlang der Küste war der Anteil von *Eucampia balaustium* am Phytoplanktonkohlenstoff ebenfalls von Bedeutung. Im Oberflächenwasser der küstenfernsten Stationen dominierten Nanoflagellaten und kleine pennate Diatomeen, vorwiegend *Nitzschia cylindrus*. Zehn Tage später (Vestkapp II) dominierte vor allem *Distephanus speculum* und auch *Nitzschia curta* das Phytoplankton in der euphotischen Zone des Küstenstrom-Bereichs. *Eucampia balaustium* war in den küstennächsten Stationen (unterhalb der euphotischen Zone) immer noch zahlreich vertreten. Auf den küstenfernsten Stationen war *Nitzschia cylindrus* dominant. Nur während Vestkapp II trug *Dactyliosolen tenuijunctus* in Küstennähe und auch im ozeanischen Bereich einen signifikanten Anteil zum Gesamt-Phytoplanktonkohlenstoff bei. Die Unterschiede in der Artenzusammensetzung sind neben advektiven Prozesse und Grazing auf die Sukzession innerhalb der Artengemeinschaft zurückzuführen. Die Bedeutung der Saatpopulationen und des Lebenszyklus für die Ausprägung der Phytoplanktongemeinschaft wird diskutiert.

Während die Metazooplankter vor dem Vestkapp in geringer Anzahl angetroffen wurden, war die Biomasse des Protozooplanktons, verglichen mit der des Phytoplanktons, besonders während Vestkapp I sehr hoch. Der Anteil des Protozooplanktons an der Summe aus Phyto- und Protozooplanktonkohlenstoff betrug während Vestkapp I durchschnittlich 42 % und 16 % während Vestkapp II. Das Protozooplankton setzte sich hauptsächlich aus Ciliaten (54 %) und heterotrophen Dinoflagellaten (42 %) zusammen. Ein Einfluß des Protozooplankton-Grazing auf das Phytoplankton vor dem Vestkapp ist offensichtlich.

Aus den Kurzzeitexpositionen von Sinkstofffallen (im Tagesbereich, in 80-350 m Tiefe) ging hervor, daß weniger als 0.6 % des im Pelagial vorhandenen organischen Kohlenstoffs täglich sedimentierten. Die Sinkstoffe bestanden zum überwiegenden Teil aus runden bis ellipsoid geformten "Kotballen" (Durchmesser von etwa 50-

300 µm). Es wird vermutet, daß Protozoen (Cillaten, heterotrophe Dinoflagellaten, Foraminiferen, Radiolarien) diese Kotballen produziert haben könnten. Das sedimentierte Phytoplankton (Phytoplanktonkohlenstoff) setzte sich proportional aus den jeweils im Oberflächenwasser dominanten Arten zusammen. Daneben wurden wenige Sporen einiger Diatomeen gefunden; der Sporenteil bezogen auf die vegetativen Zellen der einzelnen Arten betrug in der Wassersäule im Mittel 6 % und in den Fallen 38 %. In der Wassersäule wurden nur von wenigen Arten Ruhesporen angetroffen, deren jeweiliger Anteil nahm vom Beginn bis zum Ende der Untersuchung um durchschnittlich 12 % zu. Sporen, die aus größeren Wassertiefen (>100 m) wieder im Licht experimentell gehältert wurden, waren in der Lage, sofort wieder auszukeimen und eine Population aufzubauen.

Vor dem Vestkapp konnte ein Abschnitt des jährlichen Zyklus der Phytoplankton-Entwicklung im Weddellmeer beobachtet werden. Ein hypothetisches Schema der Phytoplanktonsuccession innerhalb der Wachstumsperiode wurde entwickelt. Biochemische Parameter, das Sedimentationsmuster, die hohe Anzahl an Protozoen, die Zusammensetzung des Phytoplanktons und die Ergebnisse der Experimente weisen darauf hin, daß es im tiefen Süden der Antarktis, trotz hoher Nährsalzkonzentrationen und sehr niedriger Temperaturen, eine den temperierten Breiten ähnliche Sommergemeinschaft im Pelagial gibt. Doch zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchung auch, daß durch die Heterogenität physikalischer Steuergrößen eine regional einheitliche Entwicklung, selbst für ein kleines Gebiet in der Antarktis, nicht voranzusetzen ist.

## Summary

During the expedition Antarktis III, 3 January/ February 1985 with RV "Polarstern" an area of about 50x70 nm off Vestkapp was investigated on two occasions separated by a 10-day interval (Vestkapp I and II). Samples were taken on four transects oriented perpendicular to the shelf-ice boundary. Vertical profiles of physical and chemical properties of the water column were recorded at the stations along the transects. In addition, discrete samples were collected in order to determine the biomass, production, and the species composition of phytoplankton. Sediment traps were deployed (at 80-350m, moored and drifting, time interval about a day) to measure the particle flux. The occurrence, formation and germination of phytoplankton resting stages off Vestkapp were examined. Experiments with phytoplankton from the surface water were carried out to complement the results of the field studies.

In contrast to Vestkapp I, there was a stronger influence of meltwater in the surface water during Vestkapp II. Chlorophyll *a* did not change significantly in the euphotic zone during the entire investigation period: the mean value during Vestkapp I was  $1.1 \text{ mg m}^{-3}$ , while during Vestkapp II a mean of  $1.2 \text{ mg m}^{-3}$  was found. Primary productivity decreased from an average of  $489 \text{ mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$  during Vestkapp I, to  $268 \text{ mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$  during Vestkapp II. Similarly, the nutrient concentrations decreased on average as follows: phosphate from  $1.75 \text{ mmol m}^{-3}$  to  $1.54 \text{ mmol m}^{-3}$ , silica from  $66 \text{ mmol m}^{-3}$  to  $58 \text{ mmol m}^{-3}$ , and nitrate from  $27.1 \text{ mmol m}^{-3}$  to  $23.0 \text{ mmol m}^{-3}$ . In contrast, particulate organic carbon increased from  $241 \text{ mg m}^{-3}$  to  $283 \text{ mg m}^{-3}$ , particulate organic nitrogen from  $50.9 \text{ mg m}^{-3}$  to  $63.0 \text{ mg m}^{-3}$ , and total particulate phosphorous from  $4.56 \text{ mg m}^{-3}$  to  $8.24 \text{ mg m}^{-3}$ . Below the euphotic zone, the various parameters measured did not show significant changes between the two study intervals. Phytoplankton biomass, expressed as carbon, increased slightly from Vestkapp I to Vestkapp II

During Vestkapp I, *Phaeocystis* sp. was the dominant species. Along the coastline *Eucampia balaustium* also contributed significantly to phytoplankton carbon levels. In the surface waters farthest away from the shelf-ice coast, nanoflagellates and small pennate diatoms were the dominant forms, the latter mainly consisted of *Nitzschia cylindrus*. Ten days later (Vestkapp II), *Distephanus speculum* was the dominant species in terms of biomass but *Nitzschia curta* also contributed significantly. *Eucampia balaustium* remained abundant with high cell numbers at the stations near the shelf-ice coast. Off the coast, again *Nitzschia cylindrus* was the dominant species, with a lesser contribution from *Dactyliosolen tenuijunctus*. Differences in species composition between Vestkapp I and Vestkapp II can be attributed to succession within the phytoplankton community as well as grazing pressure and advection in the region of the Antarctic Coastal Current. Initial results on the influence of seeding and life cycles on the prevailing phytoplankton assemblage are briefly discussed.

Whereas numbers of metazooplankton off Vestkapp were low, the biomass of protozooplankton, especially in comparison with phytoplankton carbon, was high. Protozooplankton contributed about 42 % during Vestkapp I, and 16 % during Vestkapp II to the combined phytoplankton and protozooplankton carbon. Protozooplankton mainly consisted of ciliates (54 %) and heterotrophic dinoflagellates (42 %). The impact of protozoan grazing on the phytoplankton was obvious.

The measured particle flux amounted to less than 0.6 % of the suspended particle standing stock. Sedimented matter consisted mostly of round to ellipsoidal faecal pellets with diameters of 50-300  $\mu\text{m}$ . It appears that the pellets originate from protozoans (ciliates, heterotrophic dinoflagellates, foraminifers, radiolarians). Sedimented phytoplankton showed the same species composition as was observed in the overlying water mass. In addition to vegetative cells, resting spores of some

were found. The percentage of spores to the respective vegetative cells was 6 % in the water column and 38 % in the traps. In general, low numbers of resting spores were found in the water column. The percentage of spores in the water column increased by about 12 % from Vestkapp I to Vestkapp II. Spores collected below the euphotic zone and incubated in daylight, germinated and grew immediately.

Off Vestkapp, a part of the seasonal cycle of phytoplankton development could be observed. A hypothetical scheme of the phytoplankton succession within the growth period was developed. The combined observations of the biochemical parameters, the sedimentation pattern, the high numbers of protozoa, and the phytoplankton species composition, as well as the experimental results indicate that in the very south of the Antarctic Ocean, a summer community in the pelagic zone exists, despite consistently high nutrient levels and low temperatures throughout the year. The results also show a heterogeneous development of the respective populations due to the unpredictable hydrographic conditions in the Southern Ocean, even in a small area like Vestkapp.



## 1. Einleitung

Die Systemstruktur des Pelagials polarer und temperierter Breiten ist aufgrund der sich im Jahresverlauf ändernden physikalischen Umwelt durch eine deutliche Saisonalität geprägt. In den temperierten Breiten sind abiotische Faktoren zu Beginn und zu Ende der Wachstumsphase im Frühjahr und Herbst für das Phytoplanktonwachstum entscheidend, im Sommer steuern dagegen vorwiegend die biotischen Faktoren das Geschehen im Pelagial. Im Frühjahr stehen für die Primärproduktion die im Winter akkumulierten Nährsalze ("neue" Produktion) zur Verfügung. Die Diatomeen sind im allgemeinen im zeitigen Frühjahr die dominanten Formen im Pelagial, die bei Beginn der Wachstumsperiode sehr schnell Nährsalze in der sich entwickelnden Deckschicht aufnehmen und die nach Erschöpfung der Nährsalze die Deckschicht mittels Sedimentation verlassen. Die heterotrophen Organismen des Pelagials haben während des zeitigen Frühjahrs kaum einen ein Einfluß auf das Phytoplankton. Im Sommer stehen dem Phytoplankton fast ausschließlich die von heterotrophen Organismen remineralisierten Nährsalze ("regenerierte" Produktion) zur Verfügung. In diesem System dominieren Flagellaten im Phytoplankton (z.B. Margalef 1978, Smetacek et al. 1984, Smetacek und Pollehne 1986). Im Frühjahr ist der Verlust an essentiellen Elementen im Pelagial durch das Absinken von Partikeln aus der euphotischen Zone, die vorwiegend von autotrophen Zellen (Diatomeen) gestellt werden, zurückführbar. Im Sommer hingegen sedimentieren hauptsächlich Kotballen und Detritus aus der euphotischen Zone, gleichzeitig ist zu dieser Jahreszeit der Verlust an essentiellen Elementen wegen der erhöhten Remineralisation pelagischer heterotropher Organismen geringer (Angel 1984, Smetacek et al. 1984, Peinert 1986a).

Von den temperierten Breiten polwärts verkürzt sich die alljährliche Wachstumsperiode. Das Lichtklima wird extremer, da die Tageslänge innerhalb des Jahres erheblich variiert (Sakshaug und Holm-Hansen 1986, Sakshaug in press). Die Temperaturen bleiben das Jahr hindurch niedrig. In den polaren Breiten sind im Winter große Teile des freien Wassers von Packeis bedeckt, das auch im Sommer nur zu einem gewissen Teil abschmilzt. In der Arktis werden aufgrund der hydrographischen Gegebenheiten ähnliche Verhältnisse wie in den temperierten Breiten angetroffen. Die Deckschicht stabilisiert sich und die "neuen" Nährsalze nehmen innerhalb der euphotischen Zone während des Phytoplanktonwachstums im Frühjahr ab (Iverson et al. 1979, Schandelmeyer und Alexander 1981, Rey and Loeng 1985, Sakshaug in press). In der Antarktis hingegen verhindern häufige vertikale Durchmischungsereignisse, daß eine Schichtung über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt und eine Verarmung an "neuen" Nährsalzen findet nur in Ausnahmen statt (Holm-Hansen et al. 1977, El-Sayed 1984, Sakshaug und Holm-Hansen 1984, v.Bodungen et al. 1986, Nelson und Smith 1986, Priddle et al. 1986, Sakshaug in press, Smetacek et al. subm.)

Die physikalischen und chemischen Randbedingungen des Südpolarmeeres und die Ergebnisse früherer Phytoplanktonuntersuchungen, bei denen nur mit Netzen (Maschenweite > 35 µm) Proben gesammelt wurden, ließen die Auffassung entstehen, daß die Antarktis durch den unerschöpflichen Vorrat an Nährsalzen und die Dominanz von großen Diatomeen eine Sonderstellung einnehme und durch eine kurze, hochproduktive Nahrungskette (Diatomeen - Krill - Wale) charakterisiert sei (z.B. Hart 1942, Knox 1970). Etwa seit 1980 wurde jedoch gezeigt, daß auch autotrophe Flagellaten und Protozooplankton saisonal eine bedeutende Rolle im antarktischen Pelagial spielen können (v.Bröckel 1981, Hewes et al. 1985, Holm-Hansen 1985, Marchant 1985, Heinbokel und Coats 1986). Dabei stellte sich heraus, daß die Produktion des antarktischen Phytoplanktons in den Sommermonaten zum größten Teil mit im Pelagial regenerierten Nährsalzen versorgt werden kann (Olson 1980, Glibert et al. 1982, Rönner et al. 1983, Probyn und Painting 1985, Koike et al. 1986).

Diese neuen Ergebnisse zeigen, daß es trotz hoher, das ganze Jahr über vorhandener, "neuer" Nährsalze in der euphotischen Zone in der Antarktis saisonale

Schwankungen in bezug auf "neue" und "regenerierte" Produktion gibt. Die Rolle des Phytoplanktons und dessen mögliche Sukzessionen in diesen Abläufen wurden bisher nur unvollkommen untersucht. Sakshaug und Holm-Hansen (1984) bemängeln, daß seit den Arbeiten von Hart (1934, 1942) und Hasle (1969) das Studium der Phytoplanktonarten vernachlässigt wurde. Schneider (1983) nahm in ihrer Arbeit diesen Aspekt der pelagischen Ökologie wieder auf. Es gibt jedoch kaum Arbeiten, die umfassende saisonale Aspekte von Primärproduktion, Biomassenentwicklung und Phytoplanktonzusammensetzung behandeln. Letzteres trifft auch auf das Weddellmeer zu; des weiteren ist das Weddellmeer die meiste Zeit des Jahres von Meereis bedeckt und daher nur schwer zugänglich. Daher fanden Untersuchungen im Weddellmeer meistens auf wenigen Stationen oder entlang von Schnitt-Fahrten statt und es wurden nur Teilaspekte der Phytoplankton-ökologie behandelt (z.B. El-Sayed 1967, El-Sayed 1971, Ackley et al. 1979, Buck und Garrison 1983, Garrison et al. 1983, Jennings et al. 1984, v.Bröckel 1985, Garrison und Buck 1985).

Die vorliegende Arbeit präsentiert Ergebnisse einer Untersuchung mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Dabei sollten die komplexen Bedingungen des Phytoplanktonwachstums im mesoskaligen Bereich (10-100 sm, Tage-Wochen) durch parallele Messung vieler verschiedener Parameter erforscht werden. Neben der mikroskopischen Bestandsaufnahme der Primärproduzenten innerhalb des Untersuchungszeitraums wurden auch abiotische und produktionsbiologische Parameter bestimmt, der vertikale Partikelfluß gemessen und, ergänzend zu den Feldstudien, Experimente durchgeführt. Die Probennahme fand während der Expedition Antarktis III,3 mit dem FS "Polarstern" im Weddellmeer in einem etwa 50 x 70 sm umfassenden, weitgehend eisfreien Gebiet innerhalb von vier Wochen (21.01.- 21.02.) im Südsommer 1985 statt.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Untersuchungsgebiet

Das Material für die vorliegende Arbeit wurde während der Antarktisexpedition (ANT III,3) im australen Sommer 1985 (Januar/ Februar) mit dem FS "Polarstern" gewonnen. Die Hauptuntersuchungsgebiete sowie die Fahrtroute dieser Reise, die von Punta Arenas (03.01.85) in den atlantischen Sektor der antarktischen Gewässer, ins Weddellmeer und zurück nach Kapstadt (05.03.85) führte, sind in Abb.1 dargestellt. Eine detailliertere Darstellung des gesamten Fahrtverlaufes, sowie erste Ergebnisse anderer Forschergruppen, finden sich im Bericht zur Polarforschung 25 (Hempel 1985a).

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Phytoplankton-Untersuchungen vor dem Vestkapp vorgestellt. Das Gebiet vor dem Raiser-Larsen-Schelfeis, die Vestkapp-Box, wurde während der Reise zweimal intensiv beprobt. Die Box hatte eine Ausdehnung von etwa 50 x 70 sm und wurde auf vier nordwestlich ausgerichteten Schnitten, auf denen je 5-6 Stationen lagen, abgefahren (Abb.2a, 2b). Beide Male wurde mit dem südlichsten Schnitt in Küstennähe begonnen und dann in Richtung Norden mit der Probennahme fortgefahren. Die Beprobung eines jeden Schnittes dauerte etwa einen Tag. Die Reihenfolge der Probennahmen ist aus den fortlaufenden Stationsnummern ersichtlich. Der Abstand der auf einem Schnitt liegenden Stationen betrug jeweils 10 sm, nur die am weitesten von der Küste entfernte Station lag 20 sm von der vorhergehenden Station entfernt. Die einzelnen Schnitte lagen etwa 25 sm auseinander. Sowohl während Vestkapp I als auch bei Vestkapp II wurden einige Stationen kurz hintereinander doppelt beprobt (s.a. Abb.2), so daß von diesen Stationen bis zu vier Vertikal-Probennahmen innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums vorliegen (Zeitserie). Zwischen der Beprobung von Vestkapp I und Vestkapp II lag eine Zeitspanne von 10 Tagen.

### 2.2. Probennahme

#### 2.2.1. Wassersäule

Auf allen Stationen wurden zuerst die physikalischen Eigenschaften der Wassersäule (Temperatur, Salzgehalt und daraus berechnete Dichte) mit einer CTD-Sonde (Neil-Brown), die an einen Kranzwasserschöpfer montiert war, ermittelt. Von einer ebenfalls an den Kranzwasserschöpfer angebrachten Fluoreszenz-Sonde wurde ein in-vivo Fluoreszenzprofil bis 300 m aufgezeichnet. Anhand der jeweils aufgezeichneten Vertikalprofile von Temperatur, Salzgehalt, Dichte und Fluoreszenz und der jeweiligen mit der Secchi-Scheibe ermittelten Tiefe der euphotischen Zone wurden die Tiefen festgelegt, aus denen dann mit Schöpfern diskrete Wasserproben entnommen wurden. Die Schöpfer (12 x 12 L Niskin- bzw. 12 x 5 L Niskin-Schöpfer) wurden nacheinander beim Hieven, elektronisch gesteuert von Bord aus, in den entsprechenden Tiefen geschlossen. Pro Station wurden 6-8 Tiefen bis zur 0.1 % Lichttiefe und darunter weitere 2-4 Tiefen bis 300 m beprobt. An einigen Stationen wurden auch Wasserproben unterhalb von 300 m entnommen.

Auf jeder Station wurde ein Vertikalhol (0-10 m) mit einem 20 µm- Handnetz durchgeführt. Eine Unterprobe dieser Hols diente der sofortigen Lebendbeobachtung der Phyto- und Protozooplankter des Oberflächenwassers mit Hilfe eines umgekehrten Mikroskops. Das Mikroskop (Zeiss) war über eine Videokamera (JVC) mit einem Bildschirm (Sony) und einem Videorekorder (Sony) verbunden, so daß von fast jeder Station kurze Übersichten auf Video-Kassette aufgezeichnet oder auf Fotos (Kleinbildkamera) festgehalten werden konnten (s.a. Neuer 1986). Somit wurde ein erster optischer Eindruck von der jeweils vorherrschenden Gemeinschaft gewonnen. Darüberhinaus sollten die Lebend-Beobachtungen die spätere Identifikation besonders von Protozooplanktern, die in fixierten Proben oft ihre Form verändern, erleichtern. Das umgekehrte Mikroskop war zusätzlich mit einer Epifluoreszenz-Einrichtung versehen, so daß die in-vivo Eigenfluoreszenz der

Organismen zur Unterscheidung von Heterotrophen und Autotrophen herangezogen werden konnte.

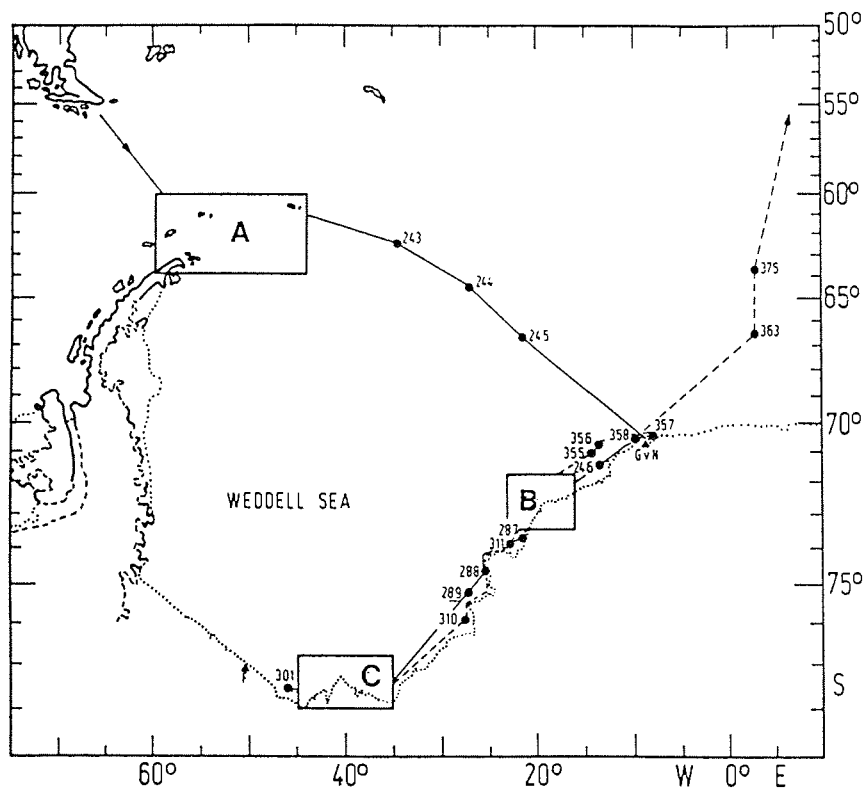


Abb.1: Fahrtroute des FS "Polarstern" während der Reise ANT III,3.  
 A: Östliche Bransfieldstraße und Gebiet um Elefant Island (06.01. -12.01.85)  
 B: Vestkapp-Box I (22.01. - 01.02.85)  
 Vestkapp-Box II (12.02. - 21.02.85)  
 C: Schnitt von der Vahsel-Bay über den Filchner-Graben in die Gould-Bay (03.02. - 09.02.85)  
 (B: Hauptuntersuchungsgebiet dieser Arbeit)

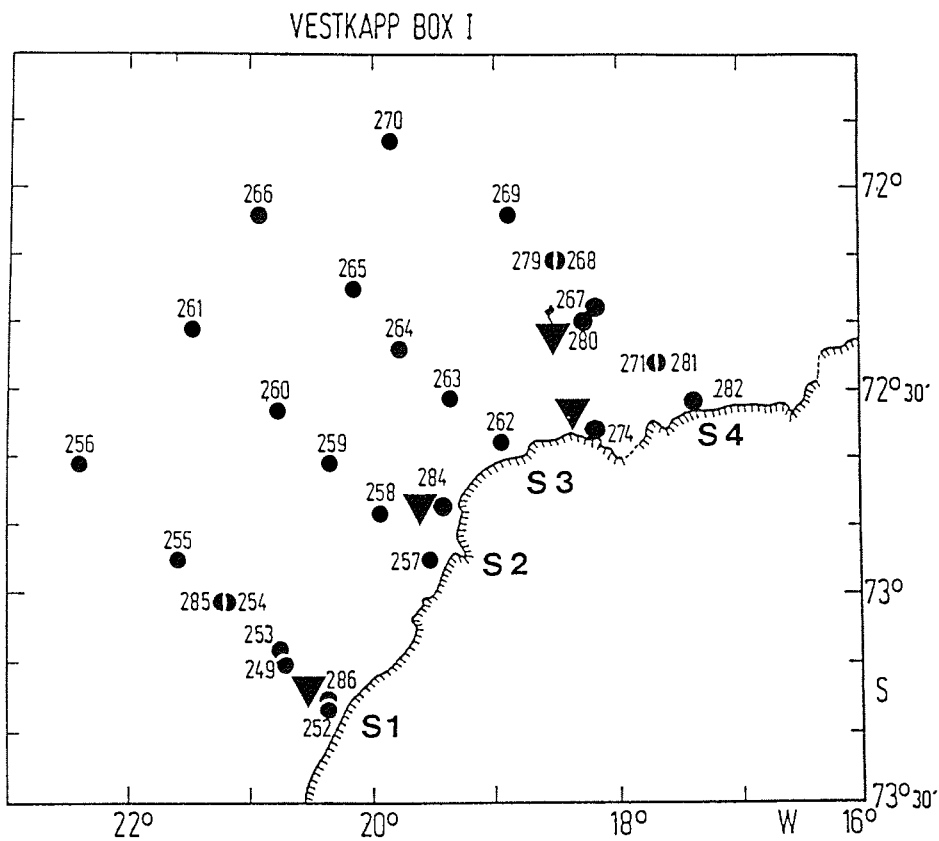


Abb.2a: Vestkapp-Box I (22.01. - 01.02.85)  
 Es sind nur die Stationen angegeben, an denen phytoplanktologische Untersuchungen durchgeführt wurden.  
 Station 274 und 284 waren Dauerstationen (1-2 Tage).  
 An den mit einem umgekehrten Dreieck versehenen Stationen wurden Sinkstofffallen verankert; das mit einem Fähnchen versehene Dreieck bezeichnet die Station, auf der eine driftende Falle eingesetzt wurde.  
 S1-4: Schnitte 1-4.

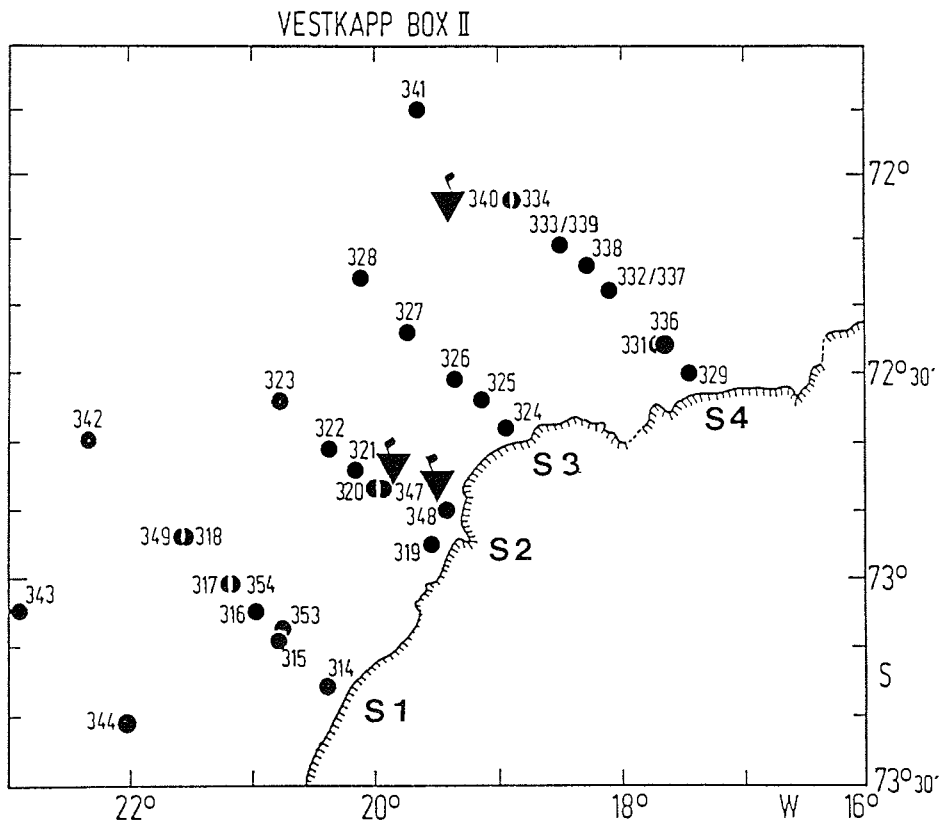


Abb.2b: Vestkapp-Box II (12.02.- 21.02.85)  
 Es sind nur die Stationen angegeben, an denen phytoplanktologische Untersuchungen durchgeführt wurden.  
 An den mit einem umgekehrten Dreieck versehenen Stationen wurden Sinkstofffallen verankert; die mit einem Fähnchen versehenen Dreiecke bezeichnen Stationen, auf denen driftende Fallen eingesetzt wurden.  
 S 1-4 : Schnitte 1-4.

### 2.2.2. Sinkstoffallen

Um die Sedimentationsraten von partikulären Substanzen insbesondere von Kotballen und Phytoplanktonzellen zu ermitteln, wurden an einigen Stationen in der Vestkapp-Box (Abb.2) verankerte oder frei treibende Sinkstoffallen ausgebracht (Tab.1). Die Fallen, beschrieben bei Peinert (1986a), sind eine vergrößerte Form der von Zeitzschel et al. (1978) entwickelten Fallen. Alle Fallen waren nur mit je einem Sammelglas ausgestattet. Als Fixierungsmittel in den Gläsern diente ein Tropfen Chloroform.

Tab.1: Expositionstiefe (Tiefe) in Metern und Dauer (Exp) der Sinkstoffallenexperimente auf den einzelnen Stationen (STN) in Tagen

STN	Tiefe	Exp
274*	80m	1.58
280	100m	0.43
284*	80m	1.11
286-314*	80m	10.43
	350m	10.43
340	100m	0.42
347	100m	0.53
348	100m	0.24

\* verankerte Fallen

### 2.2.3. Experimente

#### 2.2.3.1. Tankexperimente

Auf Station 252 und 256 wurde je ein 1 m<sup>3</sup> Polyethylen Tank mit unfiltriertem Oberflächenwasser gefüllt (beschrieben bei Smetacek et al. 1980, Nöthig 1984, 1986). Die Entwicklung der Planktongemeinschaften in diesen Tanks wurde verfolgt, um sie mit der Entwicklung in der Wassersäule zu vergleichen. Die Temperatur in den Tanks entsprach weitgehend der Lufttemperatur. Das Lichtklima in den Tanks entsprach etwa den in 2-3 m Wassertiefe herrschenden Bedingungen.

#### 2.2.3.2. Kulturexperimente (1-5 L Säcke und Erlenmeyerkolben)

Ein Teil des Tiefenwassers (unterhalb 100 m) wurde in 1-5 Liter fassende Polyethylen-Säcke überführt, pro Tiefe wurden entweder ein 5 L Sack oder 5- 10 1 L Säcke gefüllt (Tab.2) und an Deck in Seewasser gefüllten weißen Wannen inkubiert. Dieses Seewasser wurde ununterbrochen der Seewasserpumpe entnommen und im Durchfluß an den Säcken vorbeigeleitet, so daß die Temperatur in den Wannen etwa der in-situ Oberflächentemperatur entsprach. Damit die inkubierten Phytoplankton-Zellen nicht der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt waren, wurden die Wannen mit weißer Folie abgedeckt. Die Lichtverhältnisse in den Wannen entsprachen damit denen in 2-3 m Wassertiefe. Ein Teil der Säcke wurde in einer Licht-Kühltruhe inkubiert (nur STN 325). Die Temperatur in der Truhe betrug etwa 0 °C und die Proben wurden mit einer Lichtintensität von 63  $\mu\text{E s}^{-1}\text{m}^{-2}$  bestrahlt (hell: ca. 18 h, dunkel: ca. 6 h). Beim Erreichen wärmerer Breiten gegen Ende der Reise wurden auch die bis dahin in den Wannen inkubierten Säcke der anderen Experimente bis zum Versuchsende in der Kühltruhe aufbewahrt.

Zusätzlich zu diesen Experimenten wurde auf einigen Stationen (249, 254, 289) etwas Sediment (nicht quantitativ) von der Oberfläche einiger Kastengreifer-Proben in 250 ml Erlenmeyerkolben, die filtriertes Seewasser enthielten, überführt und ebenfalls in der Licht-Kühltruhe inkubiert.

Tab.2: Stationen (STN) und Tiefen aus denen Wasser entnommen und inkubiert wurde und Dauer der Experimente

STN	aus Tiefe	von - bis
-----		
Vestkapp I		
<u>Schnitt 1</u>		
252	50m	24.1.-14.2.85
	380m	24.1.-28.2.85
	410m	"
253	450m	"
	880m	"
254	2280m	"
<u>Schnitt 4</u>		
270	50m	26.1.-21.2.85
	150m	"
	300m	26.1.-14.3.85
	700m	26.1.-28.3.85
Vestkapp II		
<u>Schnitt 3</u>		
325	300m *	14.2.-17.3.85
	1800m *	14.2.-31.3.85

\* in 5 L Säcken; die anderen in 5-10 l L Säcken

### 2.3. Gemessene Parameter

#### Wassersäule:

Neben den physikalischen Eigenschaften der Wassersäule wurden auf jeder Station der Chlorophyll *a* - Gehalt des Wassers ermittelt und Proben für die Zählung des Phyto- und Protozooplanktons genommen. Auf folgenden Stationen wurden Proben für die Bestimmung zusätzlich gemessener Parameter (Nitrat, Nitrit, Ammoniak, Phosphat, Silikat, partikulärer organischer Kohlenstoff, partikulärer organischer Stickstoff, partikulärer Gesamt-Phosphor, Primärproduktion) genommen:

Vestkapp I: 249, 252, 254, 255, 258, 261, 262, 265, 267, 270, 274, 280, 282, 284, 285, 285, 289.

Vestkapp II: 311, 314, 317, 322, 324, 328, 329, 332, 334, 340, 341, 342, 343, 344, 347, 348, 349, 353, 354, 355.

An den Wasserproben aus den Schöpfern wurden die chemisch-biologischen Parameter folgendermaßen bestimmt: Nährsalze (Nitrat, Nitrit, Ammoniak, Phosphat, Silikat) nach Graßhoff (1976) mit Hilfe eines Autoanalysers (Akedo) oder per Hand.

Für die Bestimmung von Chlorophyll a (Chl<sub>a</sub>), Seston, partikulärem organischen Kohlenstoff (POC), partikulärem organischen Stickstoff (PON) und partikulärem Gesamt-Phosphor (TPP) wurde Wasser durch Whatman GF/C-Filter filtriert. Der Chl<sub>a</sub>-Gehalt der Proben wurde spektralphotometrisch mit der trichromatischen Methode bestimmt (UNESCO 1966), unter Anwendung der Gleichung von Jeffrey und Humphrey (1975). Die Filter für die Seston-, POC- und PON-Bestimmung wurden bei 550 °C im Muffelofen vorgeglüht. Das



Trockengewicht des Sestons wurde nach Lenz (1971) bestimmt. Auf denselben Filtern wurde danach der POC- und PON-Gehalt in einem CHN-Analyser (Hewlett Packard, Modell 185b) ermittelt. Der TPP wurde modifiziert nach Graßhoff (1976) bestimmt.

Die Primärproduktion wurde nach der von Steeman-Nielsen (1958) entwickelten Methode gemessen (in-situ-simulated).

Für die Ermittlung der jeweiligen Artenzusammensetzung des Phyto- und Protozooplanktons (Zellzahlen und Biomassen) wurden 200 ml Wasser in Braunglasflaschen überführt und mit Hexamethylentetramin gepuffertem Formalin fixiert (Endkonzentration etwa 0.5 %). Auf einigen Stationen wurden parallel dazu Proben mit Lugolscher Lösung versetzt. Die Proben wurden nach der Utermöhlmethode (1931, 1958) unter einem umgekehrten Mikroskop mit Phasenkontrasteinrichtung in Sedimentationskammern ausgezählt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden etwa 700 Proben ausgezählt. Es wurden fast ausschließlich Sedimentationskammern mit gleichem Volumen (50 ml) verwendet. Die Sedimentationszeit lag bei 48h - 72h. Die Zellen wurden unter dem umgekehrten Mikroskop mit 75- 480- facher Vergrößerung gezählt und ausgemessen und ihr Plasmavolumen nach der bei Edler (1979) beschriebenen Methode berechnet. Dieses Plasmavolumen wurde danach mit dem Faktor 0.11 (Strathmann 1967), beziehungsweise 0.13 - nur für thekate Dinoflagellaten (Smetacek 1975)- multipliziert, um den Kohlenstoff-Gehalt der einzelnen Zellen zu erhalten. Zellen > 50 µm wurden bei 75-120-facher Vergrößerung, Zellen 20-50 µm groß bei 192-facher Vergrößerung, Zellen 10-20 µm groß bei 300- facher Vergrößerung und Zellen < 10 µm bei 480- facher Vergrößerung gezählt. Zellen > 50 µm wurden auf dem ganzen Kammerboden und die kleineren Zellen in 2-6 Diametralstreifen ausgezählt; selten und nur bei 480-facher Vergrößerung wurden 10- 15 Gesichtsfelder ausgezählt. Von den bestandsbildenden Arten wurden mindestens 50 Zellen doch meistens weit über 100 Zellen pro Probe (nach den Empfehlungen von Venrick 1978 und Edler 1979) ausgezählt.

In den fixierten Proben wurden die Phytoplankter wenn möglich bis zur Art bestimmt. Der überwiegende Anteil der Nanoflagellaten konnte als auto- oder heterotroph bestimmt werden. Der Anteil an nicht identifizierbaren Nanoflagellaten war gering (unter 5%). Diese restlichen nicht identifizierbaren Nanoflagellaten, die sowohl autotroph als auch heterotroph sein können, wurden zu den autotrophen Planktern addiert. Die in dieser Untersuchung angetroffenen Dinoflagellaten waren zum überwiegenden Teil (mehr als 95% der Biomasse) heterotroph und wurden daher den Protozoen zugeordnet.

Da im Wasser aus größeren Tiefen unterhalb der euphotischen Zone der Gehalt an lebenden Phytoplanktonzellen gering ist, wurde das Tiefenwasser (ab 100 m, s.2.2.1.) über 2 µm-Nucleoporefilter eingengt und quantitativ in Braunglasflaschen überführt und mit Hexamethylentetramin gepuffertem Formalin fixiert (Endkonzentration etwa 0.5 %). Die Auszählung dieser Proben erfolgte wie oben beschrieben in 10 ml Sedimentationskammern (24h Sedimentationszeit). Da die Einengung nicht immer ausreichend schonend durchzuführen war, so daß empfindliche Organismen platzen konnten, wurde bei der Auswertung dieser Proben das Schwergewicht auf Diatomeen und deren dickwandige Sporen gelegt.

#### **Sinkstoffe:**

In den Sinkstofffallen gesammeltes Material wurde zur Bestimmung folgender Parameter verwendet:

Trockengewicht des Sestons, POC, PON, TPP und Chla-Äquivalente. Da das als Konservierungsmittel eingesetzte Chloroform das Chlorophyll in den Fallen zu Phaeopigment abbaut, konnten hier nur Chlorophyll a- Äquivalente nach den Gleichungen von Lorenzen (1967) ermittelt werden. Außerdem wurde die Anzahl der sedimentierten Kotballen, und die Biomasse und die Anzahl des Phytoplanktons ermittelt. Die Auszählung erfolgte wie oben beschrieben unter einem umgekehrten Mikroskop.

**Tanks:**

Bei den Tankexperimenten wurden die gleichen Parameter wie in der Wassersäule einmal pro Tag bestimmt. Die Zellzahlen und die Biomassen (PPC) dominanter Arten wurden an einigen ausgewählten Proben erfaßt.

**Kulturrexperimente (1- 5 L Säcke und Erlenmeyerkolben):**

Bei diesen Inkubationsexperimenten wurde das Schwergewicht der Auswertung auf die Ermittlung der Zellzahlen (s.o.) im jeweiligen Behälter gelegt. Da die Zellen sehr langsam wuchsen und das Probenvolumen möglichst gering gehalten werden mußte, wurde nur alle 7-10 Tage jeweils eine Probe aus den Säcken entnommen. Aus den Erlenmeyerkolben wurde bereits etwa jede Woche an Bord eine Unterprobe mit dem umgekehrten Mikroskop auf wachsendes Phytoplankton hin untersucht.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Hydrographie

##### 3.1.1. Allgemeine Charakteristik des Untersuchungsgebietes

Das Weddellmeer ist ein Teil des atlantischen Sektors des südlichen Ozeans und ist im Westen von der Antarktischen Halbinsel, im Osten vom Coats-Land und im Süden vom Ronne/ Filchner-Schelfeis begrenzt; im Norden geht es in die Scotia-See über. Die Größe des Weddellmeeres entspricht etwa der des Mittelmeeres. Ungefähr 75 % des Weddellmeeres haben eine mittlere Wassertiefe von 4400 m, die restlichen 25 % sind Schelfgebiete, die Schelfkante befindet sich etwa bei 600 m Wassertiefe (Carmack und Foster 1977). Der Schelf an der Ostküste ist sehr schmal im Gegensatz zum westlichen Schelf, der breiter (ca. 400 km breit) ist und vom 1200 m tiefen Filchner-Graben nach Osten abgegrenzt wird. Vor dem Vestkapp verschwindet die 600 m-Linie unter dem Riser-Larsen-Eisschelf, so daß das im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Gebiet fast ausschließlich große Wassertiefen aufweist.

Die Eisbedeckung im Weddellmeer zeichnet sich durch eine starke Saisonalität aus, so daß fast überall nur einjähriges Meereis angetroffen wird. 75 - 80 % des Meereises schmelzen und frieren alljährlich im gesamten Südpolarmeer. Das Minimum der Eisbedeckung wird im Februar bis März erreicht (Foster 1984). Das Eis kann im Winter bis 60 °S vordringen. Im Sommer hingegen ist das Packeis locker und nur noch weit im Süden oder in der Nähe des Kontinents anzutreffen. Entlang der Antarktischen Halbinsel befindet sich ein mehrjähriger Packeisgürtel.

Die Wassermassen des Weddellmeeres werden durch einen großen zyklonischen Wirbel bewegt, der sich über dem Weddell-Becken erstreckt (Deacon 1979). Teil dieser zyklonischen Wassermassenbewegung ist der Antarktische Küstenstrom, der westwärts gerichtet entlang des Kontinents fließt und Geschwindigkeiten von 20-40 cm s<sup>-1</sup> erreichen kann (Carmack und Foster 1977). Drei Hauptwassermassen können im Weddellmeer unterschieden werden: Das Winterwasser, das darunterliegende warme Tiefenwasser und das Antarktische Bodenwasser. Weitere wichtige Wassermassen der Schelfe sind das östliche und westliche Schelfwasser und das Eisschelfwasser. Die charakteristischen potentiellen Temperaturen und Salzgehalte der jeweiligen Wassermassen sind bei Hellmer und Bersch (1985) beschrieben.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich im wesentlichen auf die lichtdurchfluteten Oberflächenschichten, hier ist vor allem das Winterwasser und das östliche Schelfwasser von Bedeutung. Diese Wassermassen werden in den Sommermonaten von einer 20-50 m mächtigen Wasserschicht überlagert, die teilweise bis zu 100 m Tiefe reichen kann (Foster und Carmack 1976). Sie entsteht durch Abschmelzen des Meereises während der sommerlichen Erwärmung und hat somit höhere Temperaturen und geringere Salinitäten als das Winterwasser und das östliche Schelfwasser. Von diesem allgemeinen Bild kann es lokal abweichende Situationen geben, die durch Auftrieb, durch unterschiedlich abschmelzende Eismassen, durch topographisch bedingte Stromvariationen und durch atmosphärische Einflüsse hervorgerufen werden können.

##### 3.1.2. Hydrographie und Wetter in der Vestkapp-Box während ANT III,3

Die Daten über die Hydrographie und das Wetter in der Vestkapp-Box wurden mir vom Alfred-Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung über Hartmut Hellmer zur Verfügung gestellt.

Die hydrographische Situation im Untersuchungsgebiet vor dem Vestkapp war folgende: Unter einer 50-80 m dicken Oberflächenschicht wurde eine Zunge von östlichem Schelfwasser, die in Richtung offener Ozean dünner wurde, ausgemacht. Darunter lag das warme Tiefenwasser, welches in etwa 2000 m in das Antarktische

Bodenwasser übergang. Die Strömungsverhältnisse entsprachen den oben geschilderten: der westwärts fließende Küstenstrom erreichte maximale Geschwindigkeiten von  $40-50 \text{ cm s}^{-1}$  (Hempel 1985a).

Anhand der hydrographischen Daten (Lage des Kerns des warmen Tiefenwassers) war das Untersuchungsgebiet in einen Küstenbereich (Küstenstrom), der nahezu bis an die Eisschelfkante heranreichte, und einen ozeanischen Bereich zu gliedern. Die drei östlicheren Stationen eines jeden Schnittes lagen im allgemeinen im Bereich des Küstenstromes und die zwei westlicheren Stationen befanden sich im ozeanischen Bereich.

Das Gebiet der Vestkapp-Box war größtenteils eisfrei. Die nordwestlich der Vestkapp-Box gelegene Atka-Bucht war hingegen Mitte Januar noch mit einer geschlossenen Meereisdecke bedeckt. Treibeisfelder wurden in der Vestkapp-Box nur gelegentlich auf der küstenfernten Station angetroffen. Während Vestkapp I war das Wetter vielfach sonnig, doch später wurde es naßkalt. Die Winde wehten relativ schwach ( $4.7 \text{ m s}^{-1}$  im Durchschnitt) und frischten nur manchmal auf. Diese stärkeren Winde kamen vorwiegend aus nordöstlichen Richtungen, so daß hierdurch der Wassertransport in Richtung Südwesten, durch den Küstenstrom angetrieben, an der Oberfläche leicht verstärkt wurde. Während Vestkapp II herrschte trübes kaltes Wetter. Aufgrund niedriger Lufttemperaturen trat vereinzelt Neueisbildung auf. Die Windverhältnisse entsprachen etwa denen von Vestkapp I ( $4.3 \text{ m s}^{-1}$  im Durchschnitt), allerdings wurden auch hier die schwachen Winde von stärkeren nordöstlichen Winden unterbrochen. Die Strahlungsverhältnisse änderten sich von Vestkapp I zu Vestkapp II kaum. Die Einstrahlung betrug während Vestkapp I  $3.60 \pm 1.19 \text{ kWh m}^{-2}\text{d}^{-1}$  und während Vestkapp II  $4.06 \pm 1.09 \text{ kWh m}^{-2}\text{d}^{-1}$ . Die Tageslänge nahm von Vestkapp I zu Vestkapp II leicht ab.

Bei den nun folgenden Darstellungen von Temperatur, Salzgehalt und Dichte sind die Daten, die mit der Neil-Brown Sonde des "großen" ( $12 \times 12 \text{ L}$ ) Kranzwasserschöpfers aufgenommen wurden, als Isoplethen der einzelnen Schnitte wiedergegeben. Die biologischen Daten wurden größtenteils mit dem "kleinen" ( $12 \times 5 \text{ L}$ ) System ermittelt, das auf den Stationen meistens 15- 30 Minuten vorher gefahren wurde. Die physikalischen Daten des "kleinen" Systems werden hier nicht dargestellt, da während der Messungen im Filchner-Graben die Leitfähigkeitssensoren beider Systeme eingefroren waren und danach keine realistischen Werte für den Salzgehalt mehr anzeigten. Später wurden an Land die "falschen" Salzgehaltswerte mittels im Salinometer gemessener Wasserproben korrigiert. Hierbei wurde nur der "große" Kranzwasserschöpfer mit seinem Sonden-system berücksichtigt. Diese Sonde wurde bei Vestkapp II nicht auf den äußersten Stationen gefahren, daher sind die Isolinien-Diagramme für den zweiten Meßdurchgang kürzer. Auch wurden nicht immer beide Sonden auf jeder Station gefahren, so daß die Stationen der hydrographischen Schnitte nicht immer mit den Stationen, auf denen biologische Parameter bestimmt wurden, korrespondierten.

#### **Vestkapp I:**

Auf Schnitt 1 war direkt an der Küste (STN 252 bis Station 254) die Schichtung der Wassermassen nicht so stark ausgeprägt wie im mehr ozeanischen Bereich bei den Stationen 255, 256 (Abb.3-5). Die Temperaturen (Abb.3) in den oberen Wasserschichten lagen im Küstenbereich bei  $-0.5$  und  $-1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Eine leichte Erwärmung des Oberflächenwassers war von Station 254 - 256 auf  $0 - 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  zu erkennen. Eine ausgeprägte Temperatursprungschicht war zwischen 35 und 20 m von der Küste in Richtung Ozean erkennbar. Ein ähnliches Bild spiegelte auch der Salzgehalt wider (Abb.4), der von der Küste bis in den Ozean von  $34.1 \text{ }^{\circ}\text{‰}$  auf  $33.9 \text{ }^{\circ}\text{‰}$  abnahm. Die weitgehend vom Salzgehalt beeinflusste Pycnocline verlief entsprechend (Abb.5).

Auf den Schnitten 2, 3 und 4 konnten ähnliche Merkmale wie für Schnitt 1 beschrieben ausgemacht werden. Ausnahme bildete die Station 257, die direkt am Eisschelfrand lag und bereits dort eine Wassertiefe von 2000 m erreichte, hier waren die Temperaturen sehr niedrig ( $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) und die Wassersäule war ungeschichtet. Im Unterschied zu Schnitt 1 waren auf den Schnitten 2-4 die Salzgehaltsgradienten in 20-50 m größer; die Sprungschicht war also ausgeprägter. Auch erstreckte sich auf diesen Schnitten die wärmere, salzärmere Wasserschicht an der Oberfläche bis an die Küstenstationen heran. Auf den beiden nördlichen Schnitten (3, 4) erreichte der Oberflächensalzgehalt Werte zwischen 33.1 ‰ (Ozean) und 33.8 ‰ (Küste). Die Station 270 (Schnitt 4, Ozean; hier nicht in den Abbildungen, da nur mit der "kleinen" Sonde beprobt) lag als einzige wieder im kälteren salzhaltigeren Bereich ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### **Vestkapp II:**

Die hydrographische Situation hatte sich nach 10 Tagen im Untersuchungsgebiet wie folgt verändert (Abb.6-8): Die wärmere, salzärmere, auf die oberen 50 m beschränkte Wasserschicht war jetzt auf jedem Schnitt auszumachen. Dieses Wasser kann einerseits mit dem nach Süden fortschreitenden Küstenstrom weitertransportiert worden sein, zum anderen kann auch im Westen schmelzendes Eis einen Beitrag zur Stabilisierung der Deckschicht geliefert haben. Wahrscheinlich ist die hydrographische Situation während Vestkapp II eine Mischung aus beiden oben beschriebenen Prozessen. Für eine Vermischung dieser Prozesse sprechen auch die beim zweiten Mal in der Vestkapp-Box vorgefundenen niedrigeren Temperaturen ( $0 - -0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) im Vergleich zu Vestkapp I. Die niedrigeren Temperaturen lassen sich wiederum durch zwei Phänomene, die möglicherweise nicht voneinander zu trennen sind, erklären. Einerseits hatten sich die Lufttemperaturen um  $10 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  verringert und andererseits wurde Energie für das Schmelzen des Eises verbraucht. Möglicherweise ist hier aber der erstgenannte Prozeß der entscheidende, da vereinzelt Neueisbildung angetroffen wurde.

Der Salzgehalt in den oberen Wasserschichten war im ganzen Gebiet sehr niedrig (33.0 - 34.0 ‰). Wie auch schon bei Vestkapp I war die Schichtung der Wassersäule im küstenfernen Bereich ausgeprägter.

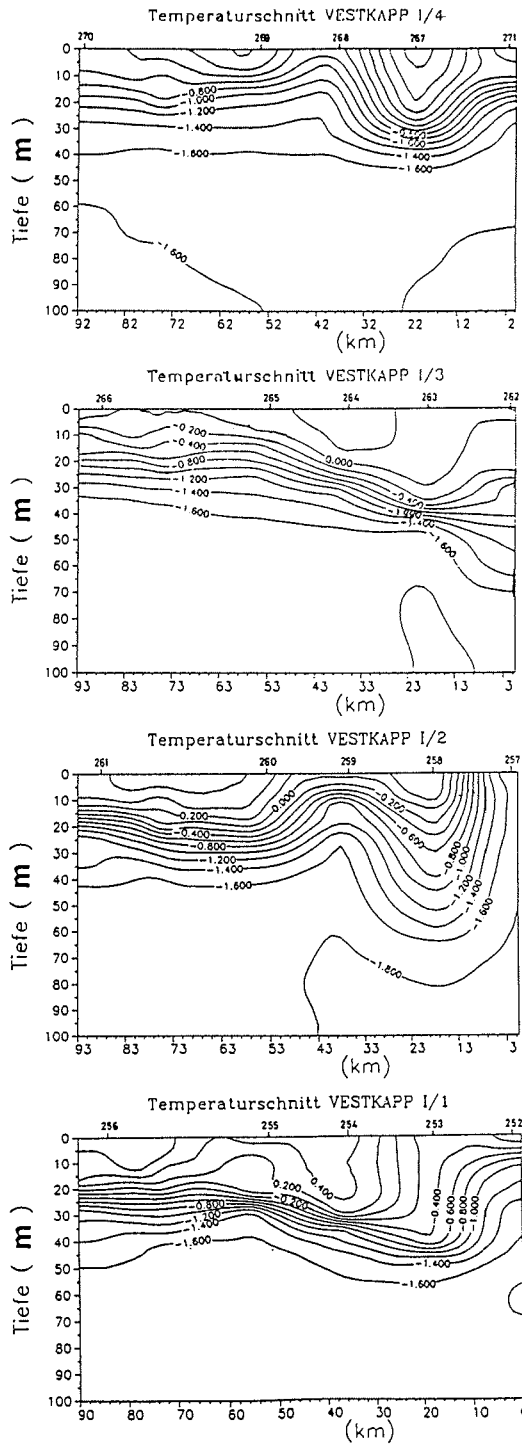


Abb.3: Isothermen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp I (Temperatur in °C; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

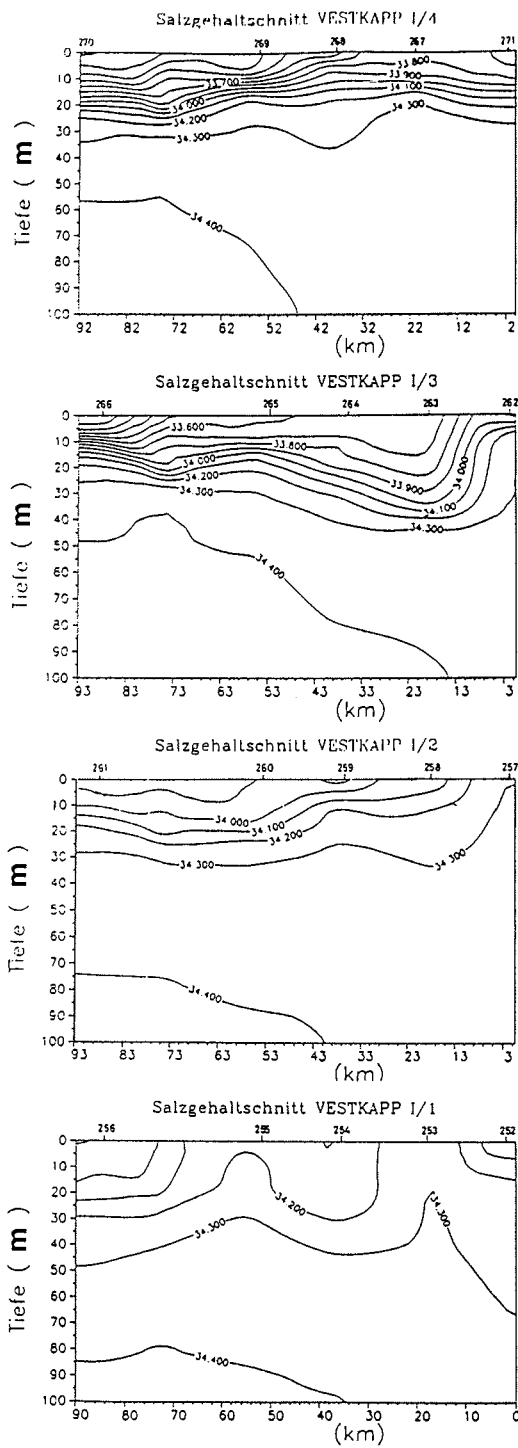


Abb.4: Isohalinen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp I (Salzgehalt in ‰; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

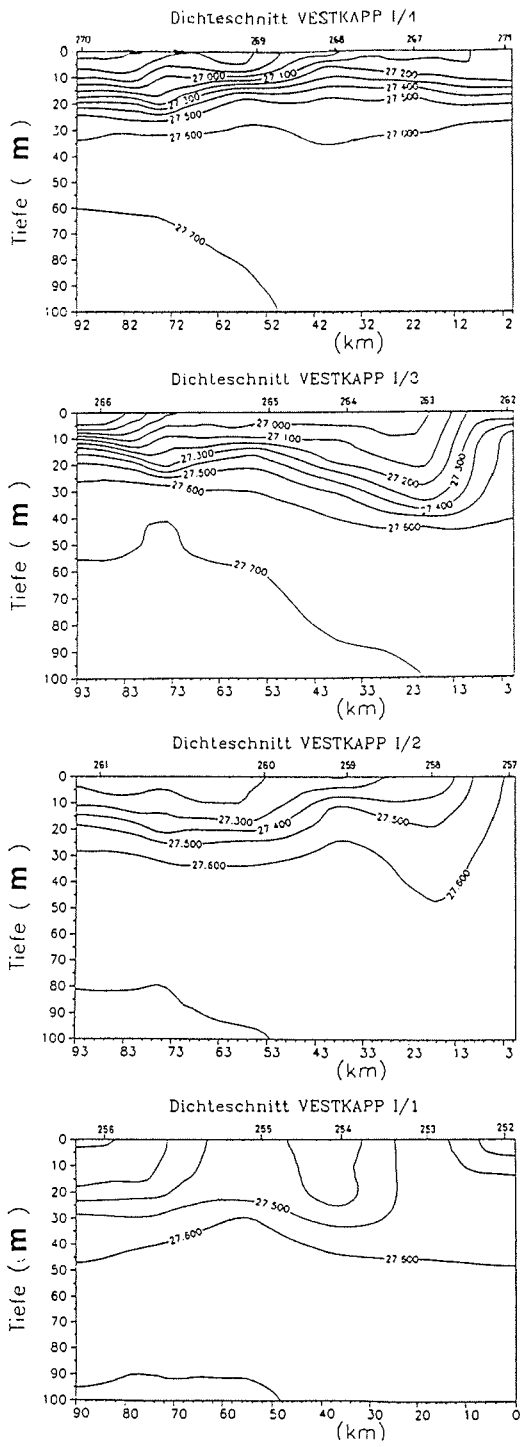


Abb.5: Isopyknen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp I (Dichte in  $\sigma_t$ ; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)



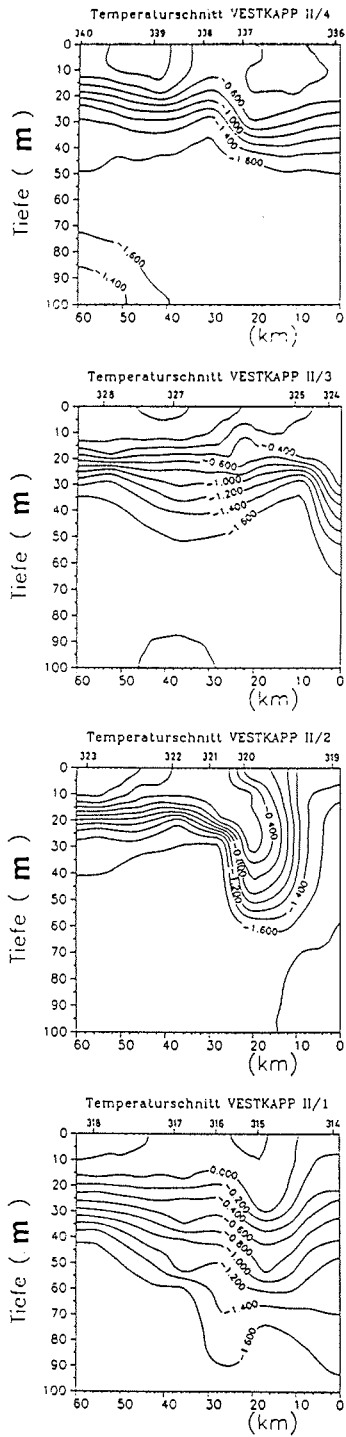


Abb.6: Isothermen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp II (Temperatur in °C; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

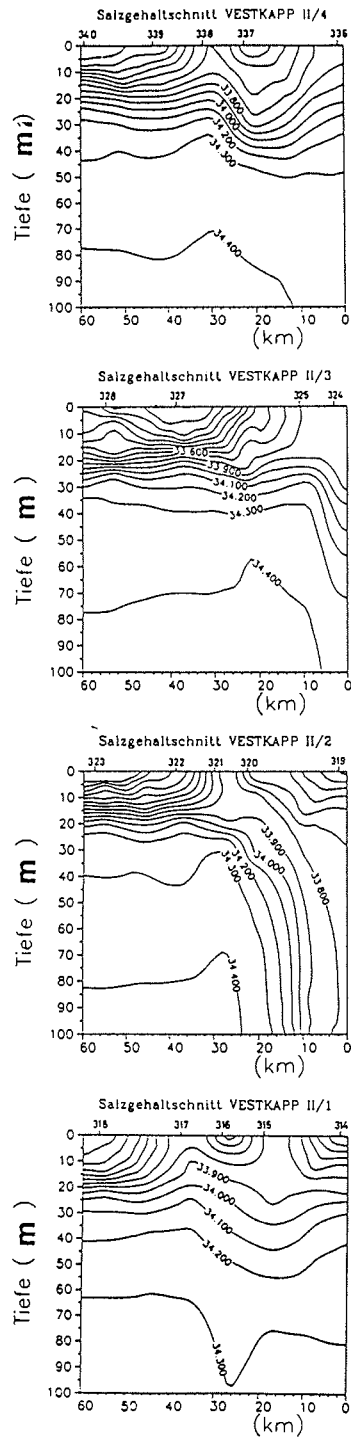


Abb.7: Isohalinen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp II (Salzgehalt in ‰; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

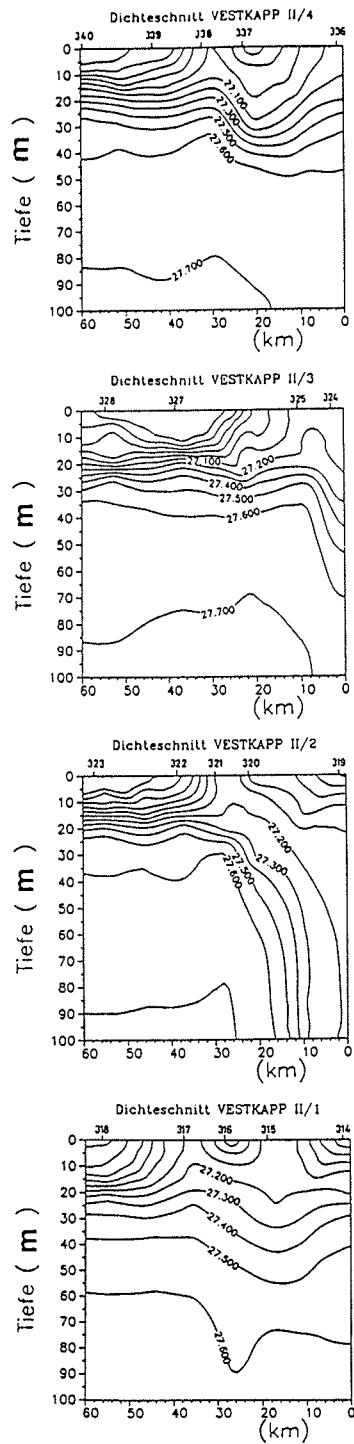


Abb.8: Isopyknen für die Schnitte 1-4 während Vestkapp II (Dichte in  $\sigma_T$ ; 1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

### 3.2. Nährsalze, biochemische Parameter und Primärproduktion

In diesem Kapitel werden die in der Vestkapp-Box gemessenen Konzentrationen an anorganischen Nährsalzen (Phosphat, Silikat, Nitrat, Nitrit und Ammoniak) sowie der partikulären Parameter (POC, PON, TPP), des Chl<sub>a</sub>-Gehaltes und der Primärproduktion der Wassersäulen-Proben dargestellt. Nur der Chl<sub>a</sub>-Gehalt wurde auf jeder Station gemessen. Da die Bestimmung aller anderen Parameter sich auf einige ausgewählte Stationen konzentrierte, wird hier auf eine Isolinien-Darstellung verzichtet. Stattdessen werden die integrierten Werte für die euphotische Zone und von 0 - 100 m Wassertiefe der einzelnen Stationen einander gegenübergestellt. Diese Einteilung wurde gewählt, weil die Phytoplankton-Biomasse bis in diese Tiefe gut nachweisbar war. Bei den Darstellungen der integrierten Werte wurden wiederum nur die Stationen berücksichtigt, die direkt auf den Schnitten 1-4 lagen und die bei jedem ersten Anfahren beprobt wurden. Die Ergebnisse aller in und nahe bei der Vestkapp-Box liegenden Stationen sind in Tab.3 zusammengefaßt. Die auf den Stationen in den einzelnen Tiefen direkt gemessenen Werte sind im Anhang der Originalarbeit (Nöthig 1987) aufgelistet.

#### 3.2.1. Nährsalze

Die Konzentrationen an anorganischen Nährsalzen in der euphotischen Zone und von 0-100 m Wassertiefe waren während Vestkapp I im Durchschnitt höher als bei Vestkapp II (Abb.9-11, Tab.3 und 4). Als Ausnahmen sind hier die südlichste und die nördlichste Küstenstation sowie die Station 270/341 zu nennen. Hier sind möglicherweise neue Nährsalze durch Vertikalkonvektion herangeführt worden.

Tab.3: Integrierte Werte für Phosphat (PO<sub>4</sub>) in mmol m<sup>-2</sup>, Silikat (SiO<sub>4</sub>) und Nitrat (NO<sub>3</sub>) in mol m<sup>-2</sup>; partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) in gm<sup>-2</sup>, partikulären Gesamt-Phosphor (TPP) und Chlorophyll<sub>a</sub> (Chl<sub>a</sub>) in mg m<sup>-2</sup>; Primärproduktion (Prod.) in mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> und maximale Assimilationszahl (P<sub>max</sub>) in mgC mgChl<sub>a</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Obere Reihe auf den einzelnen Stationen (STN) integrierte Werte innerhalb der euphotischen Zone (z<sub>eu</sub> = Tiefe der euphotischen Zone in Metern), untere Reihe integriert von 0 - 100 m. z ist die Wassertiefe in Metern. Die Stationen in Klammern zeigen die Positionen an, auf denen mehrfach während der Untersuchung Proben genommen wurden. Mit (south) und (north) sind Stationen, die südlich und nördlich der Box lagen, bezeichnet.

## Vestkapp I, im Küstenbereich

STN	DATE	z	z <sub>eu</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	POC	PON	TPP	Chla	Prod.	P <sub>max</sub>
Vestkapp-I												
249	22.01.	1596	70	147 212	4.69 6.73	2.14 3.10	8.62 11.14	1.49 1.93	111 133	40 49	375	0.9
252 (286,314)	23.01.	430	40	44 149	2.06 6.67	0.84 3.00	7.63 16.54	1.51 2.73	115 172	60 80	755	1.6
258 (347)	24.01.	2600	41	68 192	2.41 6.56	1.11 3.13	7.78 20.07	2.06 4.57	178 521	46 102	382	2.2
262 (324)	25.01.	2512	41	68 180	2.21 5.69	0.99 2.61	12.60 27.80	2.63 6.03	294 560	67 169	351	1.6
267 (280,332)	26.01.	2021	57	102 199	3.42 6.35	1.47 2.86	- -	- -	- -	89 110	409	1.8
274	28.01.	629	40	50 146	2.06 5.44	0.79 2.17	12.62 27.17	2.64 5.48	350 548	73 193	442	1.9
280 (267,332)	30.01.	2170	45	81 190	3.06 7.10	1.21 2.99	11.43 21.90	2.22 4.25	139 212	65 103	312	1.2
282 (329)	30.01.	280	35	64 208	2.09 6.48	0.89 2.91	10.00 20.00	2.14 4.30	200 280	102 146	951	2.0
284	31.01.	950	41	75 206	2.38 6.35	1.09 3.00	8.89 17.36	2.06 3.99	239 313	41 75	1088	3.0
286 (252,314)	01.02.	425	55	91 189	3.13 6.18	1.28 2.58	14.06 25.85	3.21 5.92	367 486	81 166	432	1.2
289 (south)	02.02.	346	60	95 181	3.49 6.16	1.26 2.49	14.04 20.43	3.37 4.90	260 324	51 69	628	1.4

## Vestkapp I, im ozeanischen Bereich

STN	DATE	z	z <sub>eu</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	POC	PON	TPP	Chla	Prod.	P <sub>max</sub>
Vestkapp-I												
254 (285,317,354)	23.01.	2200	82	82 157	4.05 7.63	1.57 3.00	- -	- -	- -	- 68	- -	- -
255 (349)	23.01.	2266	61	106 182	4.48 7.61	1.75 3.01	14.42 20.96	2.70 4.07	243 280	52 72	410	1.9
261	24.01.	4065	60	117 202	4.52 7.69	1.74 3.01	15.93 23.85	3.17 4.70	158 190	34 52	161	1.0
265 (328)	25.01.	3750	65	125 203	4.86 7.63	1.78 2.89	15.14 20.54	2.91 3.92	209 235	94 114	404	1.9
270 (341)	26.01.	4200	60	103 175	4.63 7.93	1.74 3.02	11.79 17.83	2.30 3.31	109 133	43 64	126	1.1
285 (254,317,354)	01.02.	2511	55	115 220	3.84 7.06	1.51 2.97	12.55 20.73	2.96 4.66	184 215	74 107	603	1.6

## Vestkapp II, im Küstenbereich

STN	DATE	z	z eu	PO 4	SiO 4	NO 3	POC	PON	TPP	Chla	Prod.	P max
Vestkapp-II												
311 (south)	11.02.	240	40	67 183	2.19 5.70	1.02 2.99	14.09 29.26	3.17 6.49	146 254	97 191	429	1.1
314 (252,286)	12.02.	425	40	63 174	2.18 6.11	0.99 2.79	10.57 24.25	2.47 5.44	242 368	60 108	292	1.5
324 (262)	14.02.	2573	32	30 135	1.35 5.49	0.58 2.44	10.46 28.00	2.30 6.04	383 698	58 150	331	1.1
329 (282)	15.02.	243	80	159 202	5.05 6.40	2.08 2.72	10.59 12.93	2.51 3.00	188 214	35 42	380	2.1
332 (267,280)	15.02.	1966	45	75 194	2.77 7.23	1.00 2.76	12.82 22.88	2.73 4.74	358 437	40 81	109	0.8
347 (258)	19.02.	2750	39	39 169	1.91 6.80	0.74 2.80	11.79 25.71	2.69 5.66	435 546	49 92	119	1.1
348	20.02.	420	32	38 173	1.55 5.71	0.80 3.14	12.10 25.81	2.74 6.05	362 473	83 118	471	1.3
353	21.02.	1684	32	38 156	1.33 5.45	0.48 2.24	11.15 27.30	2.58 6.45	423 692	68 159	302	1.4
355 (north)	22.02.	2335	41	50 191	1.95 6.04	0.73 2.62	12.74 22.24	2.67 4.63	280 360	78 118	286	1.1

## Vestkapp II, im ozeanischen Bereich

STN	DATE	z	z eu	PO 4	SiO 4	NO 3	POC	PON	TPP	Chla	Prod.	P max
Vestkapp-II												
317 (254,285,354)	12.02.	2200	46	46 168	1.63 5.83	0.67 2.57	15.09 28.33	3.48 6.83	352 511	53 107	406	2.5
322	13.02.	3315	40	72 212	2.59 7.29	1.03 3.03	9.22 20.04	2.00 4.26	240 321	27 45	257	1.8
328 (265)	14.02.	3740	57	115 215	4.11 7.66	1.45 2.75	15.15 21.73	3.00 4.19	253 288	53 66	224	3.0
334 (340)	15.02.	3419	40	64 190	2.80 7.88	0.99 2.88	10.23 19.93	2.00 4.01	274 337	31 59	111	0.7
340 (334)	17.02.	3369	40	75 211	2.49 7.41	1.05 2.98	12.63 27.94	2.92 6.58	164 203	25 42	305	2.0
341 (270)	17.02.	4169	65	125 204	4.79 7.52	1.80 2.93	14.25 19.05	3.29 4.14	160 180	32 39	241	1.8
342	17.02.	3819	50	90 202	3.56 7.54	1.26 2.86	9.48 17.29	1.98 3.66	298 334	20 31	276	2.5
343 (south)	18.02.	2700	45	61 179	2.86 7.13	1.10 2.90	9.48 17.90	2.02 3.57	319 380	27 46	129	1.1
344 (south)	20.02.	1817	40	66 191	1.95 3.78	0.92 2.83	12.12 20.60	2.82 3.96	633 745	79 120	370	1.2
349 (255)	21.02.	3500	37	43 171	1.61 6.04	0.75 2.87	10.90 23.65	2.53 5.34	388 490	59 111	161	1.0
354 (254,285,317)	22.02.	2135	36	44 178	1.95 6.04	0.73 2.62	12.74 22.24	2.67 4.63	280 360	55 98	156	1.1

Tab.4: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der integrierten Werte für Phosphat (PO<sub>4</sub>) in mmol m<sup>-2</sup>, Silikat (SiO<sub>4</sub>) und Nitrat (NO<sub>3</sub>) in mol m<sup>-2</sup>; partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und Stickstoff PON) in g m<sup>-2</sup>, partikulären Gesamt-Phosphor (TPP) und Chlorophyll a (Chl<sub>a</sub>) in mg m<sup>-2</sup>; die Primärproduktion (Prod.) in mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> und die maximale Assimilationszahl (P<sub>max</sub>) in mgC mgChl<sub>a</sub><sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Obere Reihe integrierte Werte innerhalb der euphotischen Zone, untere Reihe integriert von 0- 100 m.

	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	POC	PON	TPP	Chl <sub>a</sub>	Prod	P <sub>max</sub>
	4	4	3				µg		
Vestkapp I, Küste	80 (±28)	2.82 (±0.83)	1.19 (±0.34)	10.77 (±2.50)	2.33 (±0.63)	225 (±93)	65 (±20)	557 (±264)	1.7 (±0.6)
	186 (±21)	6.33 (±0.47)	2.80 (±0.30)	20.83 (±5.17)	4.41 (±1.31)	355 (±162)	115 (±47)		
Ozean	108 (±15)	4.39 (±0.38)	1.68 (±0.11)	13.97 (±1.75)	2.81 (±0.33)	181 (±51)	60 (±24)	341 (±197)	1.5 (±0.4)
	190 (±23)	7.59 (±0.29)	2.98 (±0.05)	20.87 (±2.13)	4.13 (±0.58)	211 (±54)	80 (±25)		
Vestkapp II, Küste	62 (±39)	2.25 (±1.14)	0.94 (±0.47)	11.81 (±1.25)	2.65 (±0.24)	313 (±104)	63 (±20)	302 (±124)	1.3 (±0.4)
	175 (±21)	6.10 (±0.61)	2.72 (±0.27)	24.26 (±4.84)	5.39 (±1.12)	449 (±173)	118 (±45)		
Ozean	73 (±27)	2.76 (±1.03)	1.07 (±0.34)	11.94 (±2.24)	2.61 (±0.55)	306 (±129)	42 (±19)	240 (±96)	1.7 (±0.7)
	193 (±17)	6.74 (±1.22)	2.84 (±0.14)	21.70 (±3.67)	4.65 (±1.12)	377 (±158)	69 (±33)		

Die Mittelwerte der Chl<sub>a</sub>-Gehalte wurden nur aus Tab.3 berechnet

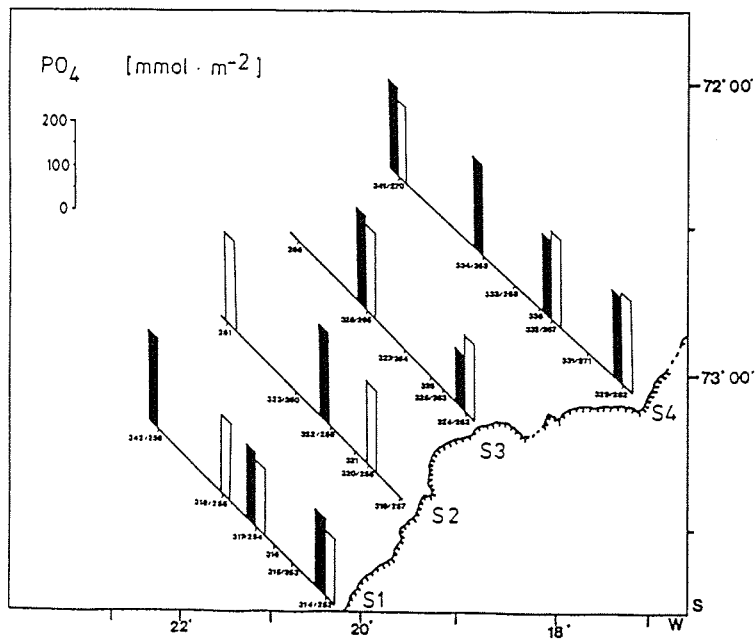
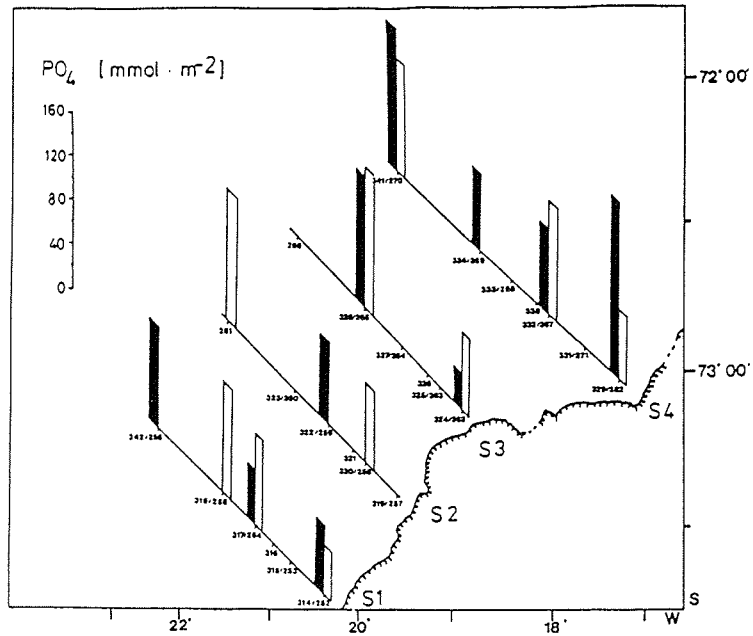


Abb.9: Phosphat ( $PO_4$ ) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100 m (unten)  
 Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß)  
 Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz)  
 S1-4: Schnitt 1-4 (Die Skalen haben unterschiedliche Maßstäbe)



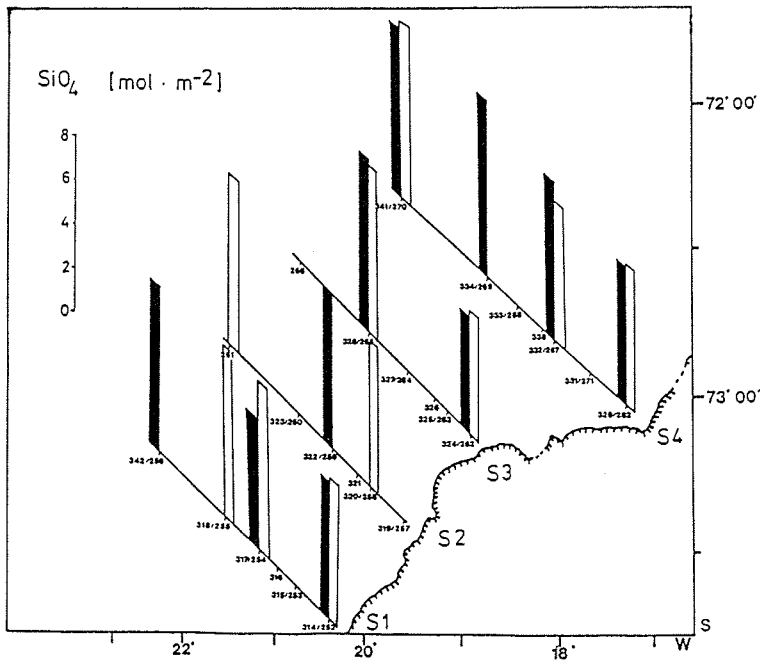
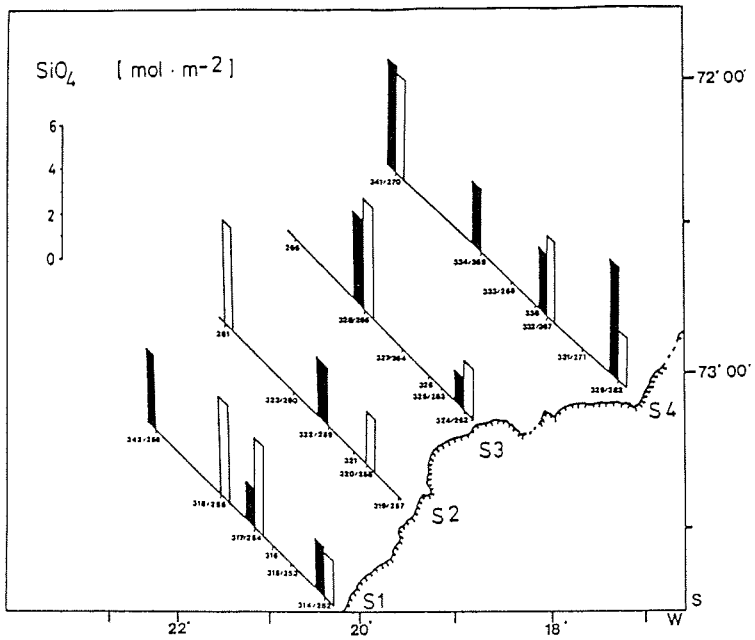


Abb.10: Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100 m (unten)  
 Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß)  
 Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz)  
 S1-4: Schnitt 1-4

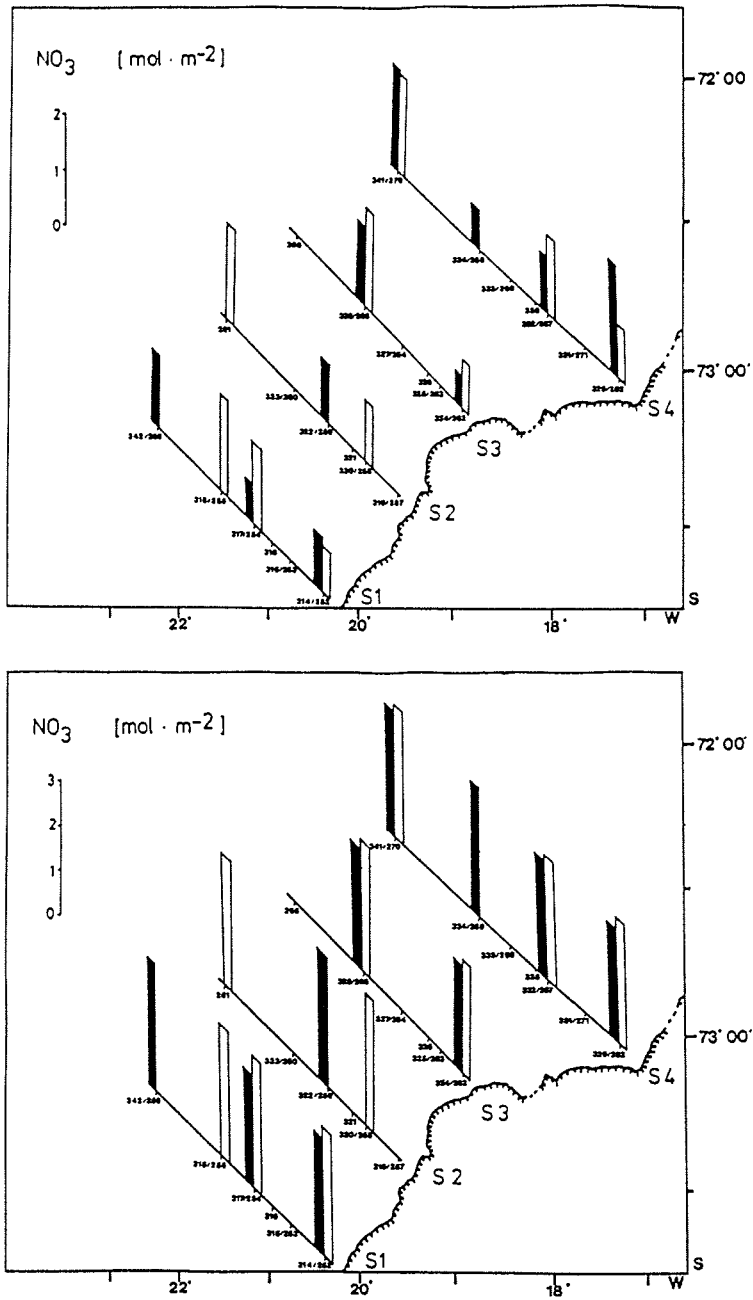


Abb.11: Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100 m (unten)  
 Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß)  
 Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz)  
 S1-4: Schnitt 1-4 (Die Skalen haben unterschiedliche Maßstäbe)

Die Werte, die innerhalb der euphotischen Zone, vom Ende der euphotischen Zone bis 100 m und unterhalb von 100 m für Phosphat, Silikat und Nitrat auf den Stationen in den einzelnen Tiefen gemessen wurden, sind in Tabelle 5 als Mittelwerte angeben.

Tab.5: Mittelwerte, Standardabweichung in Klammern, von Phosphat (PO<sub>4</sub>), Silikat (SiO<sub>4</sub>) und Nitrat (NO<sub>3</sub>) in mmol m<sup>-3</sup> für die küstennahen (Küste) und küstenfernen (Ozean) Stationen während Vestkapp I und II innerhalb der euphotischen Zone (Om-Deu), vom Ende der euphotischen Zone bis 100 m (Deu-100m) und unterhalb von 100 m.

		PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	
Vestkapp I, Küste	Om - Deu	1.67 (±0.31)	59.32 (±6.14)	24.46 (±4.50)	
	Deu - 100m	2.14 (±0.20)	67.87 (±4.00)	31.55 (±2.65)	
	>100m	2.18 (±0.27)	72.24 (±3.79)	33.43 (±0.98)	
	Ozean	Om - Deu	1.83 (±0.28)	72.88 (±5.74)	27.90 (±2.69)
		Deu - 100m	2.05 (±0.29)	78.62 (±5.46)	32.57 (±0.65)
		>100m	2.21 (±0.26)	97.66 (±13.99)	34.27 (±1.17)
Vestkapp II, Küste	Om - Deu	1.42 (±0.47)	52.68 (±8.89)	21.78 (±5.30)	
	Deu - 100m	2.01 (±0.23)	68.78 (±8.92)	32.21 (±3.01)	
	>100m	2.13 (±0.15)	75.41 (±9.22)	34.96 (±1.56)	
	Ozean	Om - Deu	1.65 (±0.43)	62.55 (±12.85)	24.19 (±4.99)
		Deu - 100m	2.22 (±0.13)	79.75 (±8.45)	33.10 (±1.41)
		>100m	2.32 (±0.17)	97.62 (±17.04)	34.92 (±1.62)

Im Küstenbereich rangierten die in den einzelnen Tiefen gemessenen Werte in der euphotischen Zone während Vestkapp I für Phosphat, Silikat und Nitrat zwischen 1.2 - 1.8, 46- 64 und 18- 26 mmol m<sup>-3</sup>, im ozeanischen Bereich waren sie etwas höher und erreichten Werte von 2.2 - 2.3, 67 - 69 und 25 - 29 mmol m<sup>-3</sup>. Unterhalb der euphotischen Zone stiegen die Nährsalzkonzentrationen an: 1.9 - 2.3, 76 - 82 und 30 - 33 mmol m<sup>-3</sup> für Phosphat, Silikat und Nitrat; diese Werte stiegen im tieferen Wasser dann noch leicht weiter an. Unterhalb der euphotischen Zone waren die Unterschiede der Nährsalzkonzentrationen zwischen Küstenregion und Ozean nicht mehr so stark ausgeprägt; die Konzentrationen unterhalb von 300 m waren auf allen Stationen etwa gleich.

Die Konzentrationen der anorganischen Nährsalze (Phosphat, Silikat und Nitrat) in der euphotischen Zone während Vestkapp II lagen bei 0.6 - 1.3, 35 - 60 und 11- 22 mmol m<sup>-3</sup> an der Küste und die Werte im Ozean erreichten 1.1- 1.3, 42 - 62 und 15 - 21 mmol m<sup>-3</sup>. Im Wasser unterhalb der euphotischen Zone hatten die Nährsalze nur geringfügig gegenüber Vestkapp I abgenommen: 1.6 - 2.4, 58 - 61 und 23 - 36 mmol m<sup>-3</sup>. Auf einigen wenigen Stationen (z.B. 265, 347) erreichten die Nährsalzkonzentrationen direkt unterhalb der euphotischen Zone und auch in 100 - 200 m leicht geringere Werte als in den darüber- oder darunterliegenden Wassermassen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraums lagen die Nitrit-Konzentrationen des Wassers an der unteren Nachweisgrenze. Die Ammoniak-Konzentrationen erreichten Werte von 0.5 - 1.2 mmol m<sup>-3</sup> in der euphotischen Zone und 0.3 - 0.5 mmol m<sup>-3</sup> im Wasser darunter. Die Werte waren ähnlich sowohl für die Küsten- und ozeanischen Stationen als auch für Vestkapp I und Vestkapp II. Das Maximum der Ammoniak-Konzentrationen wurde meistens im unteren Bereich der euphotischen Zone gefunden.

### 3.2.2. Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC), partikulärer organischer Stickstoff (PON), partikulärer Gesamt-Phosphor (TPP), Chlorophyll *a* und Primärproduktion

Die Menge an partikulären Substanzen integriert über die euphotische Zone und von 0 - 100 m Wassertiefe erhöhte sich von Vestkapp I zu Vestkapp II (Abb.12-14 und Tab.3 und 4). Diese Zunahme war im Küstenbereich stärker ausgeprägt. Ausnahmen dieser allgemeinen Aussage bildeten einige Stationen im Küstenbereich, was mit der entsprechenden Nährsalzzunahme korrespondierte. Somit verlief die Entwicklung der partikulären Parameter und der Nährsalzkonzentrationen in etwa entgegengesetzt.

Die Werte, die innerhalb der euphotischen Zone, vom Ende der euphotischen Zone bis 100 m und unterhalb von 100 m für POC, PON und TPP auf den Stationen in den einzelnen Tiefen gemessen wurden, sind in Tabelle 6 als Mittelwerte angegeben.

Bei Vestkapp I rangierten die in den einzelnen Tiefen gemessenen Werte des POC, PON und TPP innerhalb der euphotischen Zone zwischen: 98 - 349, 16 - 86 und 0.9 - 12.1 mg m<sup>-3</sup> im Küstenbereich und zwischen 170 - 312, 30 - 64 und 1.0 - 5.9 mg m<sup>-3</sup> im mehr ozeanischen Gebiet der Box. Unterhalb der euphotischen Zone waren die Werte zwar geringer, verringerten sich aber bis zu 300 m Tiefe kaum. POC, PON und TPP lagen zwischen 70 - 240, 15 - 59 und 0.2 - 4.7 mg m<sup>-3</sup> küstennah und 108 - 219, 20 - 42 und 0.1 - 1.0 mg m<sup>-3</sup> küstenfern. Teilweise waren die in 300 m Wassertiefe gemessenen Werte leicht erhöht gegenüber denen in den darüberliegenden Wassermassen.

Tab.6: Mittelwerte, Standardabweichung in Klammern, von partikulärem organischen Kohlenstoff (POC), Stickstoff (PON) und partikulärem Gesamt-Phosphor (TPP) in mg m<sup>-3</sup> für die küstennahen (Küste) und küstenfernen (Ozean) Stationen während Vestkapp I und II innerhalb der euphotischen Zone (Om-Deu), vom Ende der euphotischen Zone bis 100 m (Deu-100 m) und unterhalb von 100 m.

		POC	PON	TPP	
Vestkapp I, Küste	Om - Deu	251 (±70)	53.7 (±16.8)	5.72 (±2.99)	
	Deu - 100m	181 (±66)	37.6 (±15.8)	1.88 (±1.86)	
	>100m	150 (±34)	31.4 (± 9.1)	0.70 (±0.44)	
	Ozean	Om - Deu	231 (±47)	48.1 (± 9.2)	3.40 (±1.56)
		Deu - 100m	176 (±40)	30.6 (± 7.4)	0.63 (±0.26)
		>100m	161 (±50)	31.9 (±11.3)	0.21 (±0.19)
Vestkapp II, Küste	Om - Deu	298 (±73)	66.1 (±17.1)	9.10 (±4.10)	
	Deu - 100m	194 (±53)	42.3 (±12.4)	1.57 (±1.09)	
	>100m	164 (±47)	34.4 (±10.4)	0.50 (±0.36)	
	Ozean	Om - Deu	268 (±79)	59.8 (±18.6)	7.37 (±4.65)
		Deu - 100m	164 (±43)	35.7 (±11.9)	0.92 (±0.69)
		>100m	150 (±35)	32.1 (±10.8)	0.34 (±0.28)

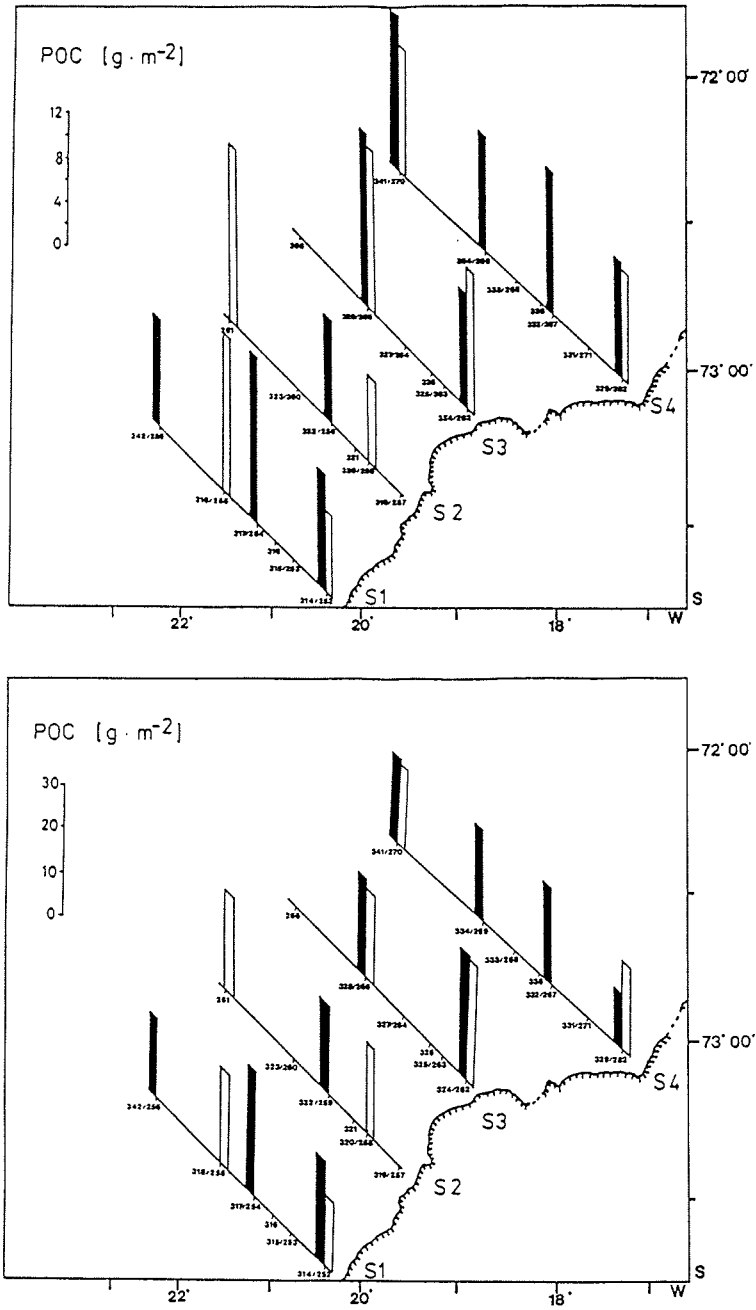


Abb.12: Partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100m (unten) Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß) Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz) S1-4: Schnitt 1-4 (Die Skalen haben unterschiedliche Maßstäbe)

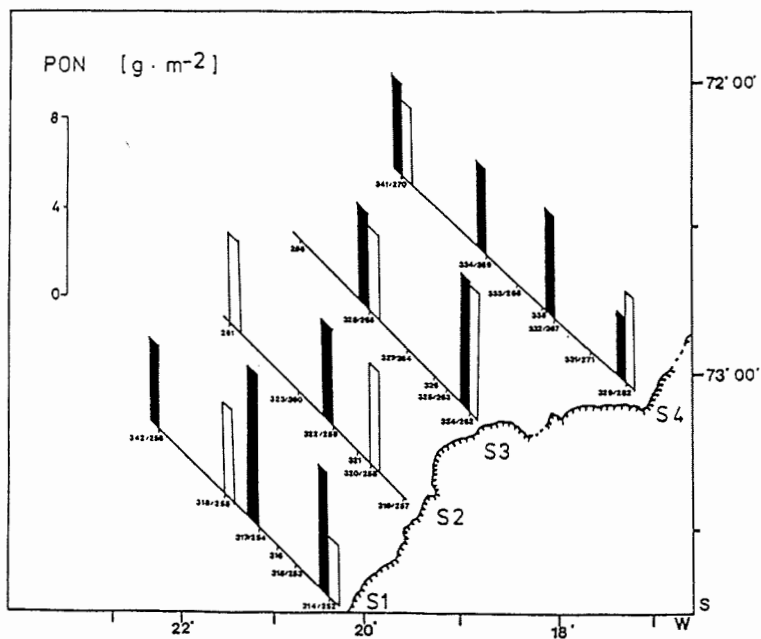
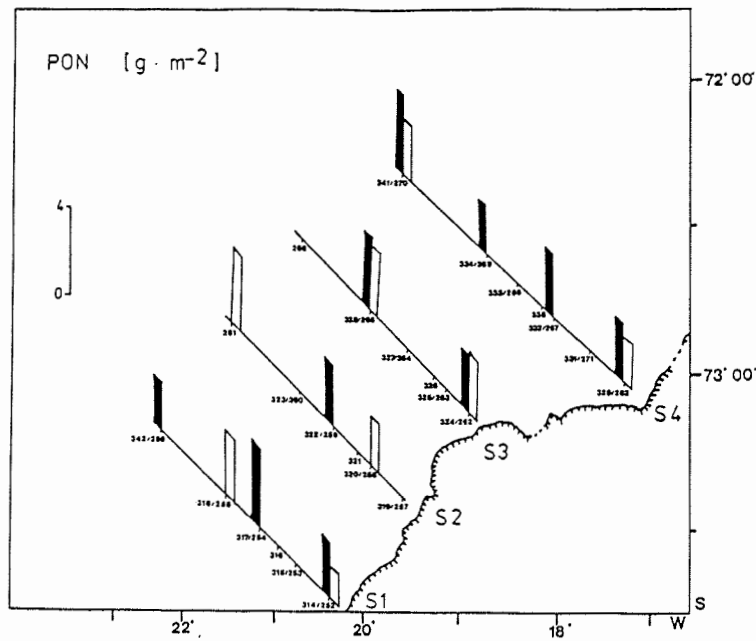


Abb.13: Partikulärer organischer Stickstoff (PON) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100 m (unten)  
 Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß)  
 Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz)  
 S1-4: Schnitt 1-4

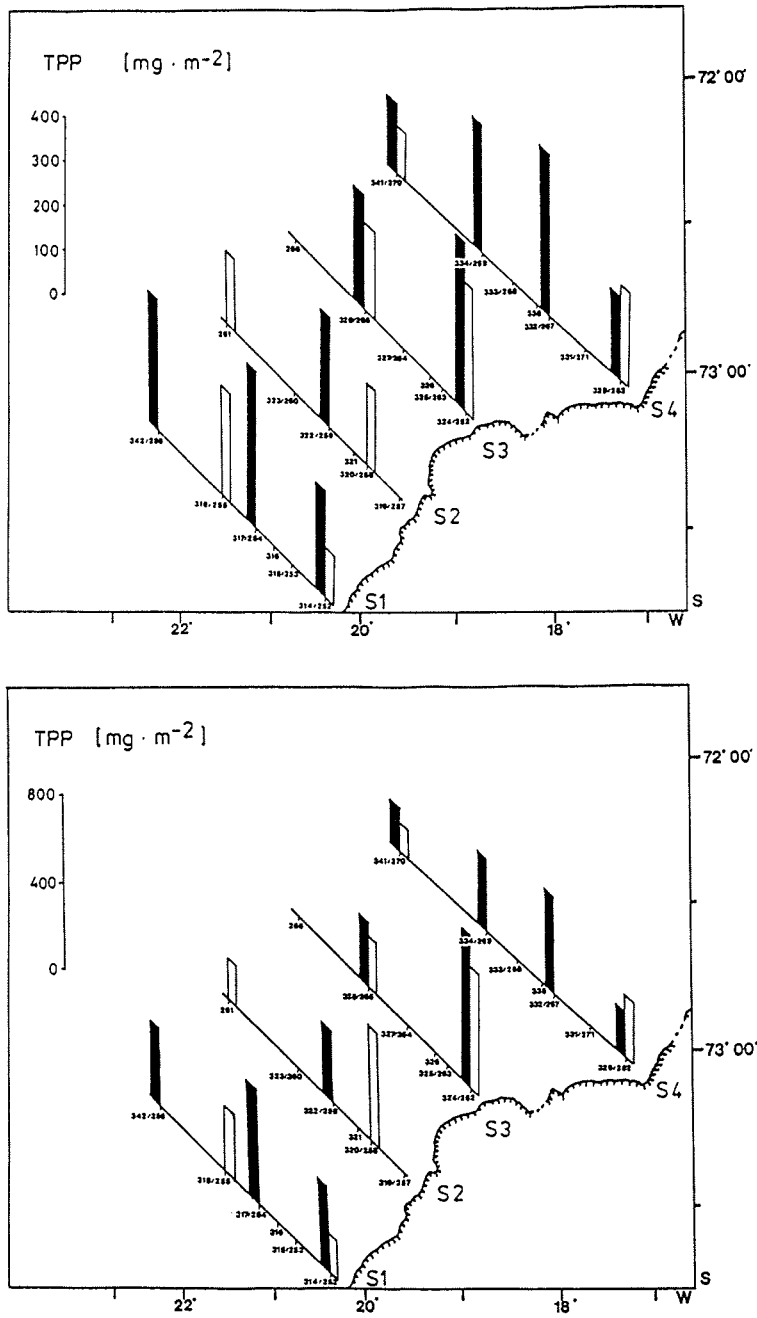


Abb.14: Partikulärer Gesamt-Phosphor (TPP) integriert über die euphotische Zone (oben) und integriert von 0-100 m (unten)  
 Vestkapp-Box I (rechte Säule, weiß)  
 Vestkapp-Box II (linke Säule, schwarz)  
 S1-4: Schnitt 1-4 (Die Skalen haben unterschiedliche Maßstäbe)

Bei Vestkapp II erhöhte sich der Gehalt an POC, PON und TPP für die euphotische Zone: küstennah, 232 - 421, 53 - 96 und 2.7 - 15.2 mg m<sup>-3</sup> und küstenfern, 109 - 389, 35 - 117 und 0.9 - 14.8 mg m<sup>-3</sup>. Die Werte darunter (Ende euphotische Zone - 300 m) betragen: 109 - 285, 24 - 66 und 0.1 - 5.5 mg m<sup>-3</sup> an der Küste und 107 - 235, 17 - 59 und 0.1 - 2.1 mg m<sup>-3</sup> für POC, PON und TPP im ozeanischen Bereich. Bei beiden Meßkampagnen wurde im Bereich der 0.1 % Lichttiefe oft ein lokales Minimum in der Konzentration der partikulären Parameter beobachtet, welches wiederum konträr zur Ammoniak-Zunahme verlief.

Die C:N-Werte waren während der gesamten Untersuchung sehr niedrig und lagen durchschnittlich zwischen 5:1 und 6:1. Eine deutliche Veränderung des C:N-Verhältnisses mit der Tiefe war ebenfalls nicht erkennbar, ein leichter Trend von 5:1 (Wasser Oberfläche) zu Werten um 6:1 (im tieferen Wasser) war nur an einigen Stationen erkennbar. Selten stiegen die Werte im tiefen Wasser über 6:1.

Das C:P-Verhältnis lag innerhalb der euphotischen Zone durchschnittlich bei 100-200:1, nahm dann aber darunter stark zu (400:1). Dies läßt auf einen hohen Anteil an organischem Detritus schließen, denn die POC- und PON-Gehalte des Wassers sanken kaum.

Der Chl<sub>a</sub>-Gehalt des Wasser veränderte sich innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums nur wenig (Tab.3 und 4 und Abb. 15a und b). Eine leicht abnehmende Tendenz ließ sich erkennen, die im ozeanischen Bereich der Box ausgeprägter war als in Küstennähe. Ebenso verringerte sich insgesamt die Primärproduktion im Gebiet von durchschnittlich 489 ± 260 auf 268 ± 111 mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, einhergehend mit einer leichten Verringerung der Assimilationszahlen (Tab.3 und 4). Die Küstenstationen zeichneten sich auch hier wieder durch höheren Chl<sub>a</sub>-Gehalt, beziehungsweise höhere Primärproduktion aus.

Die maximalen Chl<sub>a</sub>-Konzentrationen, mit den höchsten Werten auf dem nördlichsten Schnitt, lagen zwischen 2.5 und 3.2 mg m<sup>-3</sup> in der Küstenregion und zwischen 0.5 und 2.6 mg m<sup>-3</sup> auf den ozeanischen Stationen während Vestkapp I und waren dann bei Vestkapp II nur minimal geringer (Abb.15a und b). Gemittelt über alle Stationen änderte sich der Chl<sub>a</sub>-Gehalt so gut wie nicht zwischen Vestkapp I: 1.1 ± 0.7 mg m<sup>-3</sup>, und Vestkapp II: 1.2 ± 0.8 mg m<sup>-3</sup>. Bei den meisten Küstenstationen befanden sich die Chl<sub>a</sub>-Maxima am unteren Ende der euphotischen Zone, aber meistens unterhalb der Salzgehaltssprungschicht. Im ozeanischen Bereich gab es ein ebensolches Tiefenmaximum auf Schnitt 3, welches andeutungsweise auch noch während Vestkapp II erkennbar war. Das Vertikalprofil der Assimilationszahlen (ermittelt durch die in-situ-simulated Methode) zeigte, daß diese Tiefenpopulationen nicht tatsächlich in 20-30 m Wassertiefe gewachsen waren, sondern durch Absinken oder durch Überschichtung durch andere, leichtere Wassermassen zu erklären sein könnten (s.o. und Hydrographie).

Obwohl die Isolinien Darstellung des Chl<sub>a</sub>-Gehaltes ein recht einheitliches Bild zu übermitteln scheint, konnten doch erhebliche kurzzeitige Veränderungen festgestellt werden, wie die Abb.16 dreier Stationen auf dem nördlichsten Schnitt, die während Vestkapp I kurz hintereinander zweimal beprobt worden waren, zeigt.

Das POC:Chl<sub>a</sub>-Verhältnis in der euphotischen Zone erreichte bis auf eine Ausnahme (STN 282) nie Werte unter 100:1. Die Werte lagen im Mittel während Vestkapp I bei 260:1 ± 140:1 und während Vestkapp II bei 306:1 ± 143:1. Die niedrigsten Werte fanden sich meist am unteren Ende der euphotischen Zone.



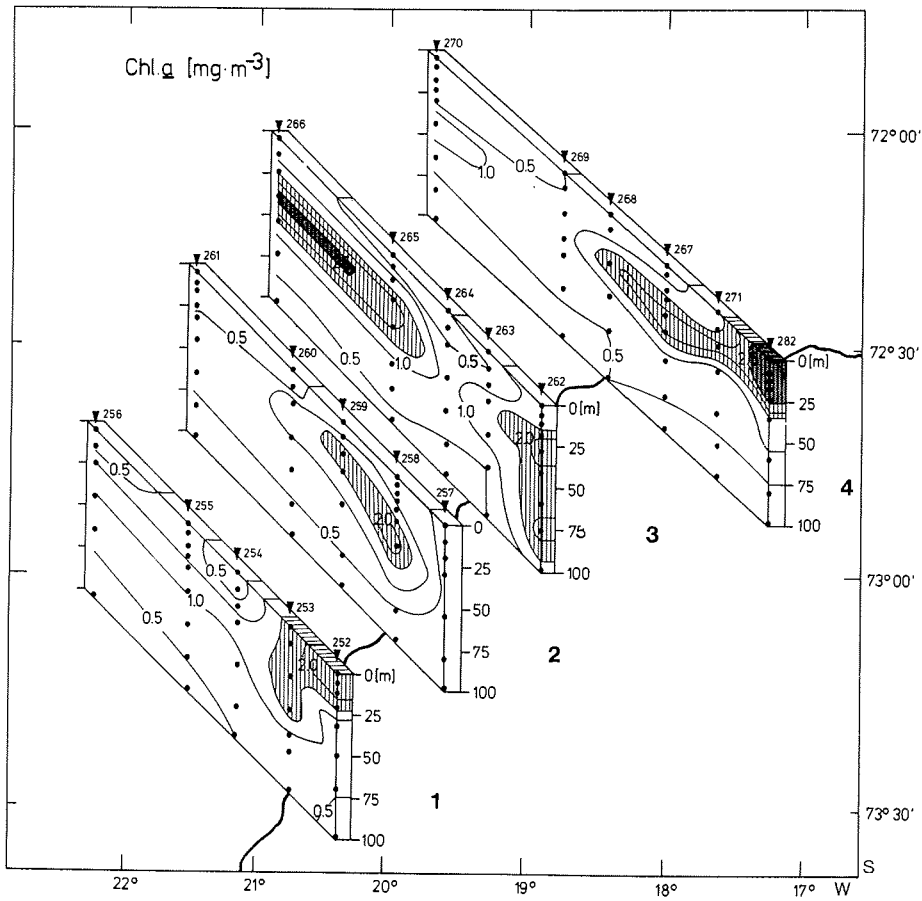


Abb.15a: Isoplethen für Chlorophyll  $a$  ( $Chl_a$ ) für Vestkapp-Box I, die schwarze Linie deutet die Küste an (gestreifte Fläche  $> 1.5 \text{ mg } Chl_a \text{ m}^{-3}$ , graue Fläche  $> 2.5 \text{ mg } Chl_a \text{ m}^{-3}$ )

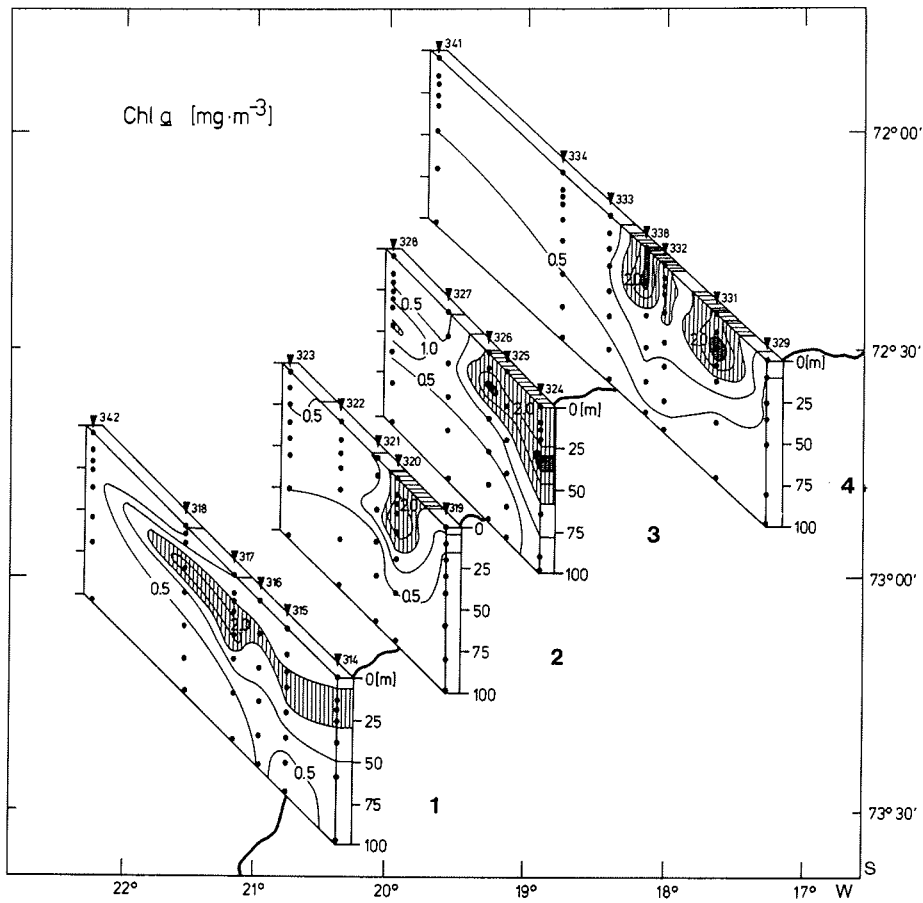


Abb.15b: Isolethen für Chlorophyll *a* (Chl*a*) für Vestkapp-Box II, die schwarze Linie deutet die Küste an (gestreifte Fläche > 1.5 mg Chl*a* m<sup>-3</sup>, graue Fläche > 2.5 mg Chl*a* m<sup>-3</sup>)

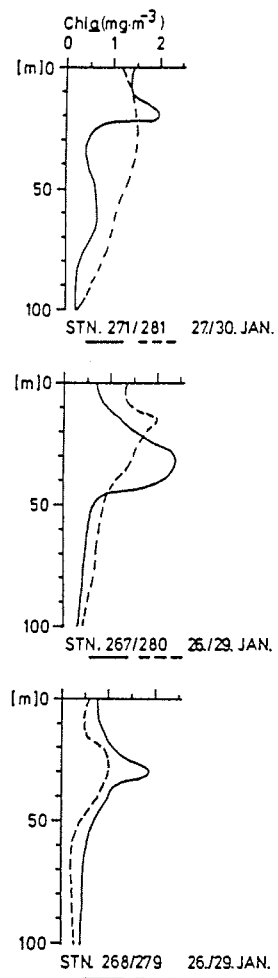


Abb.16: Vertikalverteilung für Chlorophyll  $a$  (Chl<sub>a</sub>) von drei Stationen auf Schnitt 4 während Vestkapp I (Kombiniert aus Messungen in den einzelnen Tiefen und kontinuierlichen Messungen mit dem in-situ-Fluorometer)

### 3.3. Phyto- und Protozooplankton

Zu Beginn dieses Kapitels wird kurz die Verteilung der Biomasse des Phyto- und Protozooplanktons beispielhaft für einige Stationen und Tiefen vor dem Vestkapp dargestellt. Danach wird die Verteilung der sowohl in Biomasse als auch in Zellzahlen dominanten Phytoplankton-Arten im gesamten Untersuchungsgebiet beschrieben. Abschließen wird dieses Kapitel mit einer Beschreibung der im Untersuchungsgebiet angetroffenen Sporen einzelner Phytoplankter, deren Verteilung von den oberen Wasserschichten bis zum Boden dargestellt wird.

#### 3.3.1. Biomasse des Phyto- und Protozooplanktons

Die Biomasse des Phyto- (PPC) und Protozooplanktons (PZC) ist auf Kohlenstoffbasis für die Wasseroberfläche (jeweils für eine zwischen 0-10 m genommene Probe) im gesamten Gebiet dargestellt (Abb.17a und b). Die Vertikalverteilung (0-100 m) des Gesamt-PPC und -PZC (Abb.18 und 19) und der dominanten Arten ist für Vestkapp I und II für drei Stationen des Schnittes 1, beispielhaft für alle Schnitte, dargestellt. Es wurden auch die Doppelbeprobungen jeder Meßphase berücksichtigt (s.2.1.), um eine bessere zeitliche Auflösung der Biomasse-Veränderung zu erhalten. Die Darstellung dieser PPC- bzw. PZC-Werte bezieht sich auf maximal 5 Proben, die innerhalb der oberen 100 m ausgezählt wurden.

Bei dieser Untersuchung bestand etwa ein Drittel bis über die Hälfte der Phytoplanktonbiomasse in der euphotischen Zone aus Flagellaten. Der Gesamtgehalt an Phytoplanktonbiomasse war bei Vestkapp I geringer als bei Vestkapp II. Die maximalen Werte der einzelnen Stationen von Vestkapp I lagen sowohl für den Schnitt 1 als auch für die Oberflächenproben zwischen 10 und 80 mgC m<sup>-3</sup>. Die höchsten Werte wurden auf den Küstenstationen erreicht. Während Vestkapp II bewegte sich der maximale PPC-Gehalt zwischen 10 und 230 mg C m<sup>-3</sup>. Die höchsten Werte waren mehr auf den mittleren Stationen der jeweiligen Schnitte anzutreffen. Die dominanten Arten, auf die im nächsten Abschnitt noch detaillierter eingegangen wird, werden hier kurz vorgestellt.

Phaeocystis sp., hatte den größten Anteil an der Phytoplankton-Biomasse während Vestkapp I im Küstenbereich. Vom Süden in Richtung Norden nahm der Anteil an zentrischen Diatomeen zu, wobei Eucampia balaustium neben Odontella weissflogii, Rhizosolenia alata (2 Formen) und Rhizosolenia spp. und Chaetoceros spp. (kleine Formen wie C.neglectum, C.tortissimus) den größten Anteil am restlichen PPC hatten. Im ozeanischen Bereich war Phaeocystis nur noch im tieferen Wasser zu finden. Im ozeanischen Bereich war in der lichtdurchfluteten Zone neben kleinen pennaten Diatomeen, die hauptsächlich der Art Nitzschia cylindrus angehörten, eine große Anzahl von Nanoflagellaten aus der Gruppe der Prasinophyceae zu verzeichnen (Abb.18a-c).

Bei Vestkapp II war der Silikoflagellat Distephanus speculum die dominante Art im Küstenbereich. Die pennate Diatomee Nitzschia curta sowie die kleine, sehr fragil erscheinende zentrische Diatomee Dactyliosolen tenuijunctus waren ebenfalls von Bedeutung. Andere Diatomeen wie Eucampia waren im Küstenbereich während Vestkapp II noch häufig vertreten. Zugenommen hatten Chaetoceros dictaeta und C.bulbosum. Der Unterschied in der Artenzusammensetzung von der Küste zum Ozean, wie er bei der ersten Meßphase angetroffen wurde, war während Vestkapp II in der euphotischen Zone kaum noch vorhanden. Die während der ersten Meßphase dominanten Nanoflagellaten wurden jetzt von Dactyliosolen tenuijunctus ersetzt. Nitzschia cylindrus erhöhte ihre Biomasse im Vergleich zur ersten Meßkampagne.

Absolut betrachtet änderte sich der Protozooplankton-Kohlenstoff während des gesamten Untersuchungszeitraums kaum; er nahm geringfügig ab (Abb.19a-c). Die

Schwankungsbreite der auf den einzelnen Stationen maximal berechneten Kohlenstoff-Werte lag zwischen 2 - 47 mgC m<sup>-3</sup>. Hier unterschieden sich die ozeanischen Stationen kaum von denen in der Küstenregion. Der Vergleich der Phytoplankton-Biomasse mit der Biomasse der Protozoen ergab, daß an manchen Stationen in einigen Tiefen PPC und PZC etwa gleiche Werte erreichten. Daher war der Anteil des PZC in der Summe aus PPC + PZC insgesamt recht hoch: 42 % ± 15 % bei Vestkapp I und 16% ± 11 % bei Vestkapp II.

Das Protozooplankton setzte sich aus Choanoflagellaten (Parvicorbicula socialis, Bicosta sp., Callicantha sp., Crinolina sp.), heterotrophen Dinoflagellaten (Gyrodinium spp., Amphidinium spp., Protoperidinium spp. und kleinen nicht bestimmbar Arten), Ciliaten (peritriche Arten) und Tintinnen (Laackmaniella sp., Codonellopsis spp. und Cymatocylis spp.) zusammen. Die Anteile, die diese Gruppen am Gesamt-PZC stellten, variierten nicht sehr stark. Die Ciliaten stellten durchschnittlich 54 % ± 23 % und die Dinoflagellaten 42 % ± 23 % des Gesamt-PZC. Der Tintinnen- und Choanoflagellaten-Anteil war sehr gering und lag bei etwa 3 beziehungsweise 1%. Die Choanoflagellaten wurden meist dort beobachtet, wo auch Phaeocystis vorkam. Auf den ozeanischen Stationen wurden kaum Tintinnen gefunden.

Immer wieder fielen beim Zählen unter dem Mikroskop in den Proben Dinoflagellaten und auch Ciliaten auf, deren Inneres angefüllt war mit Phytoplankton (Abb.20a,b). Für eine Gyrodinium- Art konnte sogar ein bei der Ingestion einer Kette von pennaten Diatomeen befindlicher Organismus in den fixierten Proben beobachtet werden (Abb.20c). Auch wurden, meist auf den ozeanischen Stationen, Nanoflagellaten beobachtet, die einige Nitzschia cylindrus ingestiert hatten.

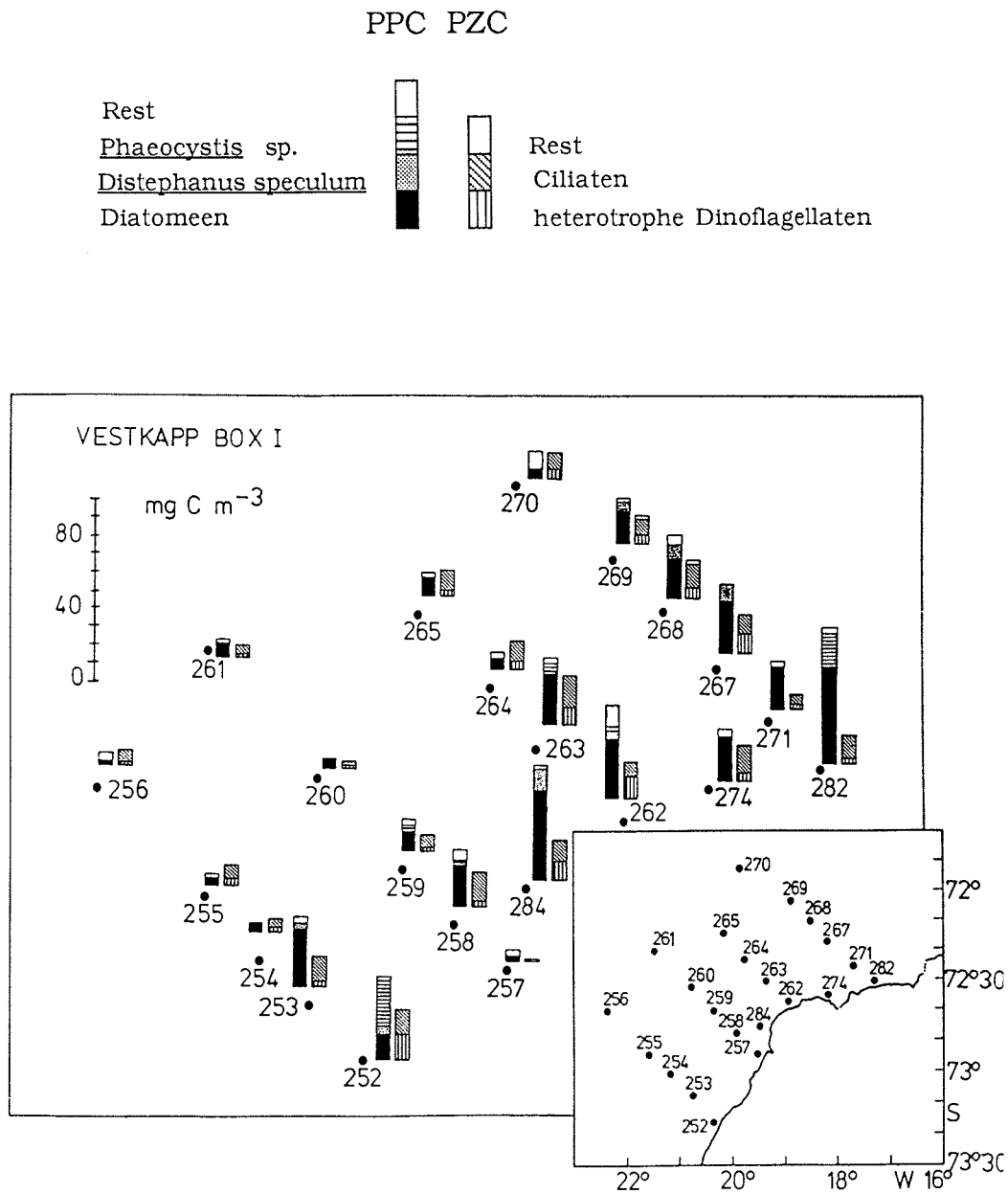


Abb.17a: Oberflächenverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC, linke Säule) und des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC, rechte Säule) in 0-10 m Wassertiefe während Vestkapp I

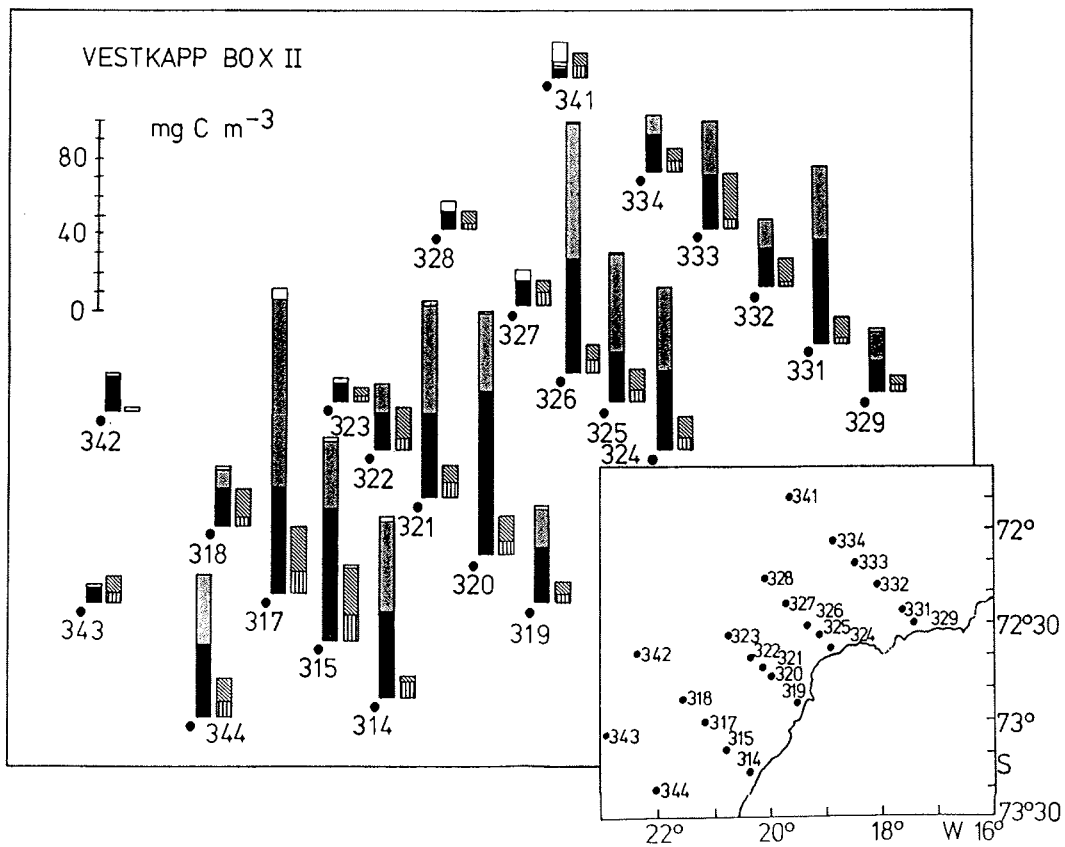


Abb.17b: Oberflächenverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC, linke Säule) und des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC, rechte Säule) in 0-10 m Wassertiefe während Vestkapp II

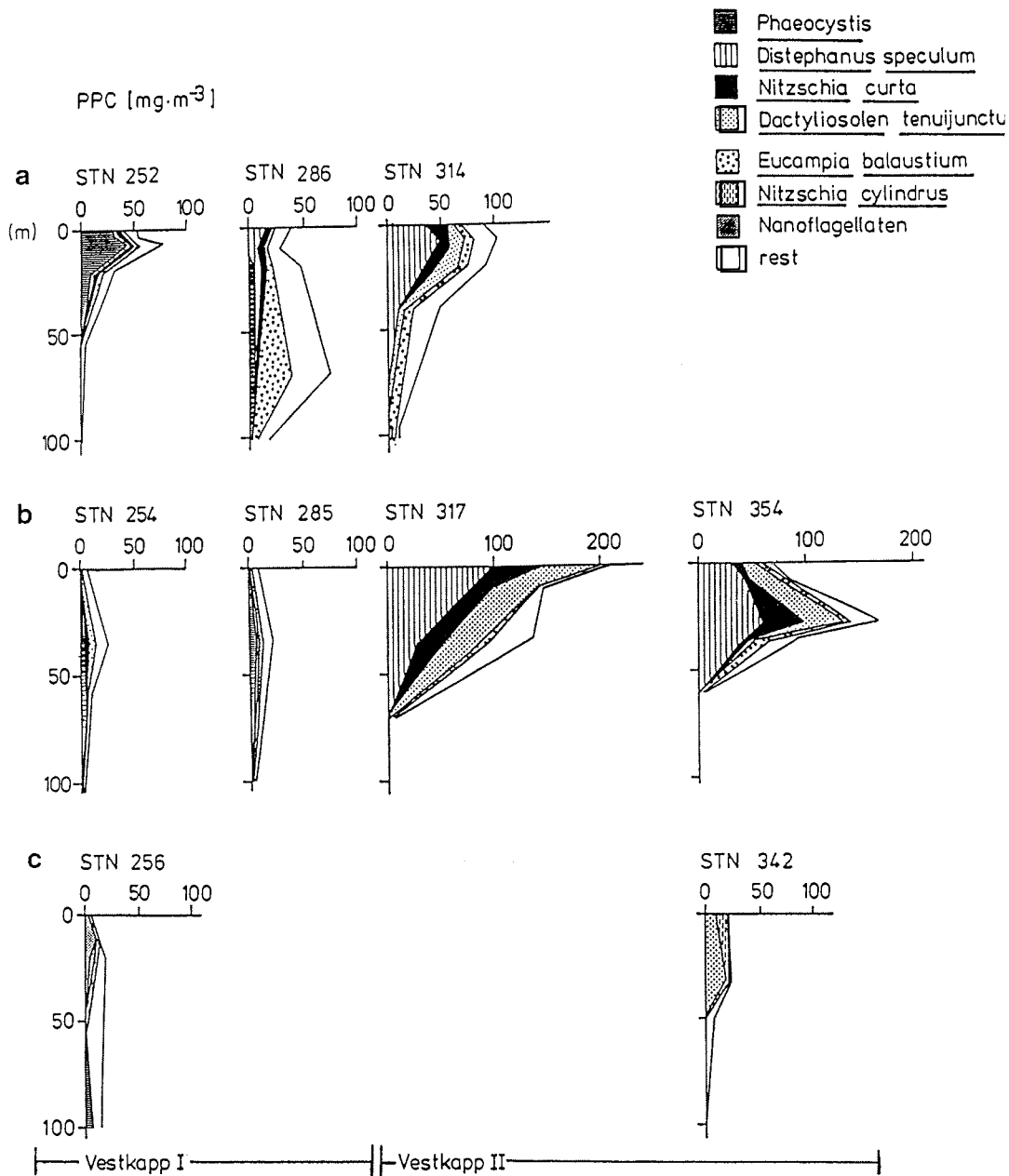


Abb.18: Vertikalverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC) auf Schnitt I während des gesamten Untersuchungszeitraumes

a: Vertikalverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC) auf der küstennächsten Station

b: Vertikalverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC) auf der mittleren Station

c: Vertikalverteilung des Phytoplanktonkohlenstoffs (PPC) auf der küstenfernsten Station



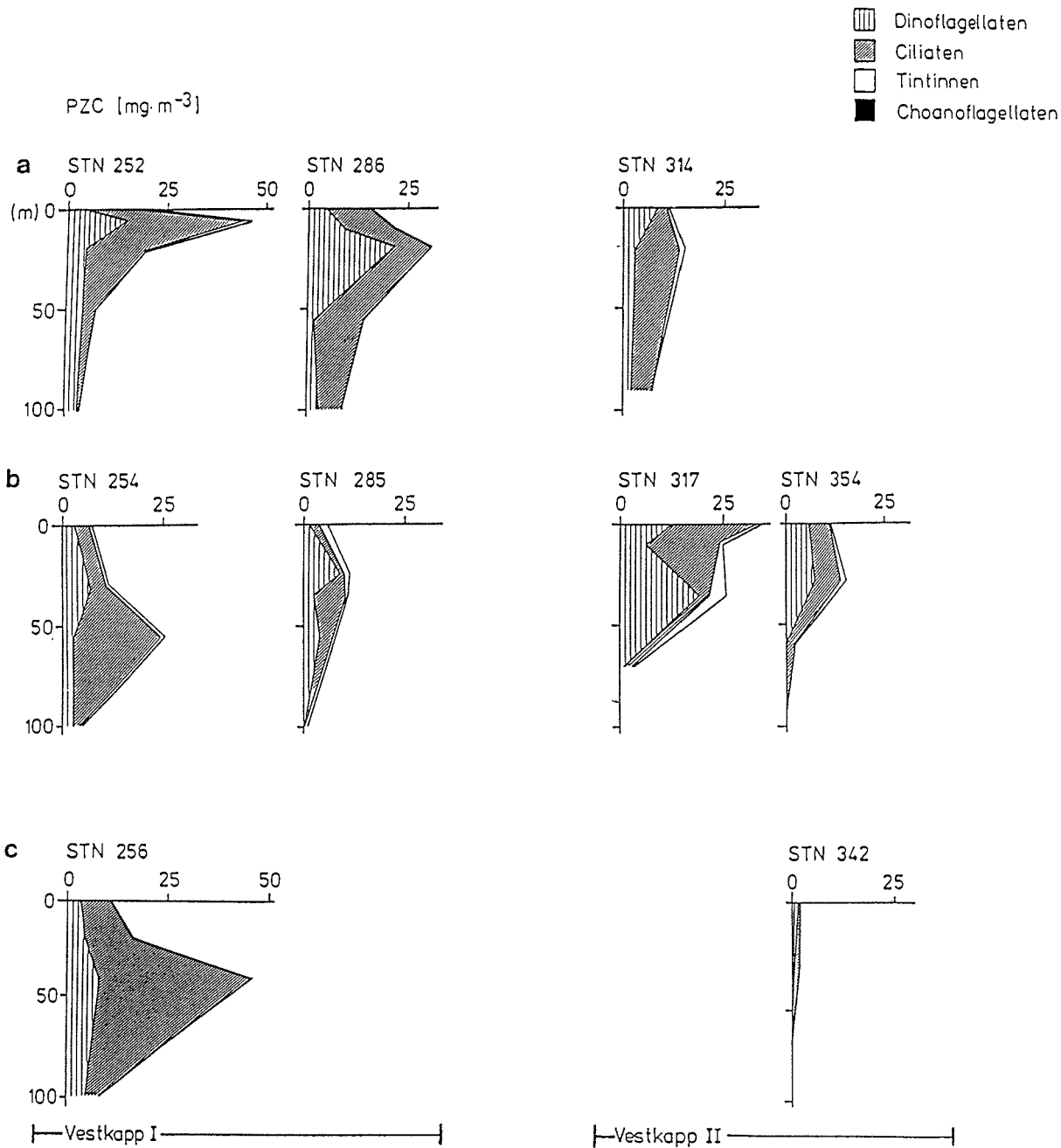


Abb.19: Vertikalverteilung des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC) auf Schnitt 1 während des gesamten Untersuchungszeitraumes

- a: Vertikalverteilung des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC) auf der küstennächsten Station
- b: Vertikalverteilung des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC) auf der mittleren Station
- c: Vertikalverteilung des Protozooplanktonkohlenstoffs (PZC) auf der küstenfernsten Station

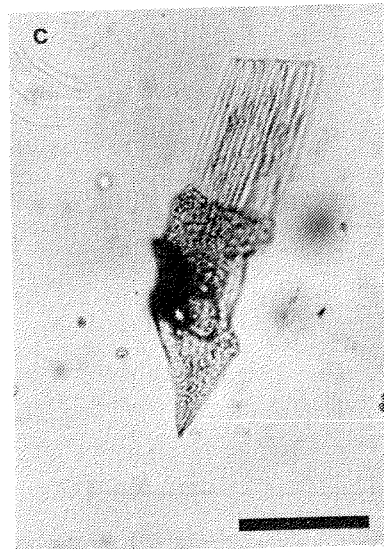
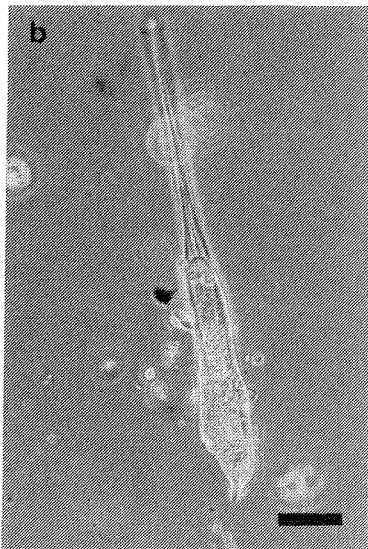
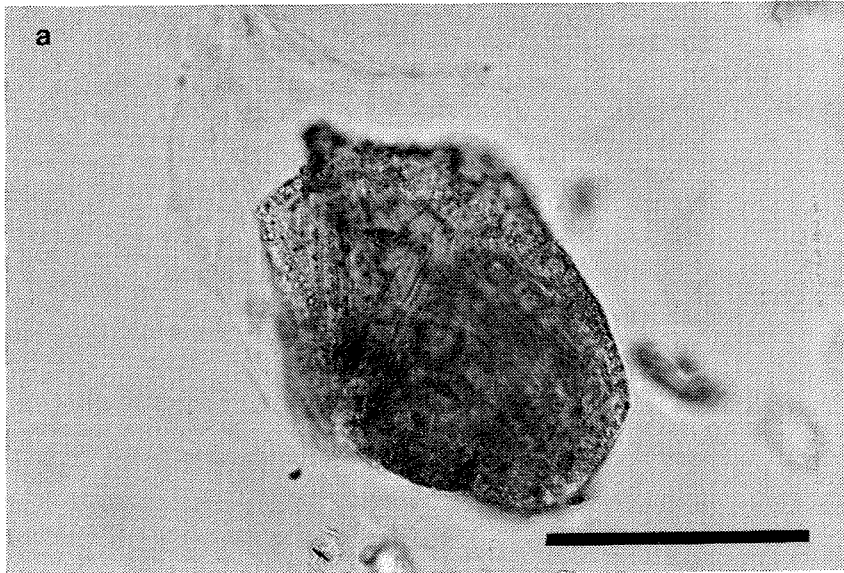


Abb.20 a: Dinoflagellat mit ingestierten pennaten Diatomeen u.a.  
 b: Gyrodinium sp. mit ingestiertem Corethron criophilum  
 c: Gyrodinium sp. beim Ingestieren einer Kette pennater Diatomeen  
 (Der Balken hat eine Länge von 50  $\mu\text{m}$ )

### 3.3.2. Das Phytoplankton in den oberen hundert Metern der Wassersäule

Die Verteilung der wichtigsten vor dem Vestkapp angetroffenen Phytoplankton-Arten beziehungsweise Gattungen wird in den folgenden Isolinien Darstellungen der Zellzahlen (Abb.21-31) wiedergegeben. Anhand dieser Abbildungen konnten fünf unterschiedliche Gruppierungen beim Verfolgen der maximalen Zellansammlungen erkannt werden. Vier dieser Gruppen lassen sich durch ein bis zwei dominante Arten kennzeichnen, die innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums deutliche Trends in der regionalen Verbreitung im Gebiet vor dem Vestkapp zeigten. Die fünfte Gruppe beinhaltet Arten und Gattungen, die aufgrund ihrer hohen Biomasse und Zellzahlen in den Proben auffielen, die aber regional nicht eindeutig einzuordnen waren. Eine zeitliche Entwicklung, Zu- oder Abnahme von Zellen von Vestkapp I zu Vestkapp II, ist bei allen fünf Gruppen erkennbar.

Die in diesem Abschnitt vorgenommene Aufteilung in dominante Artengemeinschaften orientiert sich nur an den maximalen Zellzahlen. So kamen beispielsweise auch auf den ozeanischen Stationen Zellen von Eucampia vor, aber nur mit geringer Präsenz. Ebenso wurde fast überall N.cylindrus in den Proben gefunden, so daß während der Untersuchung in der Vestkapp-Box ein ähnliches Artenpotential in allen Wasserkörpern vorhanden war, in denen sich einzelne Arten unterschiedlich gut entwickelt hatten.

Von den fünf oben genannten Gruppierungen zeichnete sich die erste durch die Häufigkeit von Phaeocystis sp. aus, die bei der Vertikalverteilung der Biomasse-Darstellung des Phytoplanktons nur auf STN 252 im oberen Küstenwasser dominant war (Abb.21). Diese Art fiel während Vestkapp I weiter durch maximale Zellzahlen auf den nördlichsten Küstenstationen, sowie durch etwas tiefer gelegene Maxima (10 - 50 m) ebenfalls noch im Küstenbereich der Schnitte 2 und 3 auf. Eine große Dichte erreichte diese Alge auch auf den ozeanischen Stationen 265-266 unterhalb der Dichtesprungschicht, sie stellte die hauptverantwortliche Art für das Biomassemaximum (Chl<sub>a</sub>) auf diesen beiden Stationen dar, wohingegen auf den Küstenstationen auch Eucampia balaustium einen großen Anteil zur Gesamt-Biomasse des Phytoplanktons beisteuerte. Die Population von Phaeocystis zeigte ihre Hauptverbreitung im Wasser mit Temperaturen zwischen 0 - -1.6 °C und einem Salzgehalt von mehr als 34.0 ‰. Während Vestkapp II war Phaeocystis fast vollständig aus dem Vestkapp-Gebiet verschwunden. Nur im tieferen Wasser (>50 m) und auf Schnitt 3 und 4 im mehr ozeanischen Bereich und auf STN 331 waren noch etwas größere Dichten dieser Alge - wieder im kalten, salzhaltigen Wasser - festzustellen. Die häufigste Koloniform dieser Alge waren Schläuche und unförmige Blasen, einzelne Zellen kamen seltener vor und kugelförmige junge Kolonien wurden nur gelegentlich angetroffen. In einigen Fällen schienen sich diese jungen Kolonien innerhalb und auf den alten Kolonien gebildet zu haben. Der Schleim der Kolonien war offensichtlich klebrig, da bei den Lebendbeobachtungen der Netzfänge oft andere Organismen an den Schleimpaketen hingen, gleiches gilt für die Proben aus den Sinkstoffallen. Bei diesen am Schleim anhaftenden Organismen handelte es sich aber nicht um Aufwuchs, wie ihn beispielsweise Gradinger (1986) auf Phaeocystis Kolonien in der Arktis gefunden hatte.

Phaeocystis

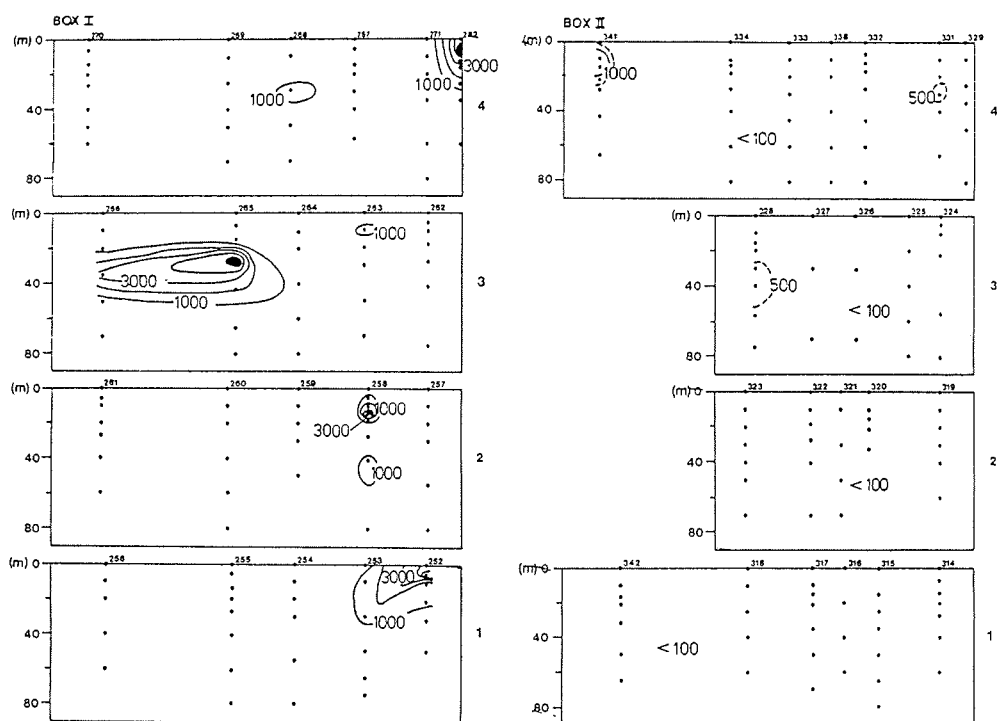


Abb.21: Isoplethen der Zellzahlen von Phaeocystis sp. ( $10^3 \text{ L}^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1 - 4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt) (schwarze Fläche = Zellzahl  $> 5000 \text{ } 10^3 \text{ L}^{-1}$ )

Die zweite aufgrund ihres häufigen Auftretens wichtige Gruppe war eine Gemeinschaft aus Distephanus speculum und Nitzschia curta (Abb.22 und 23). Distephanus speculum dominierte bezogen auf die Biomasse. Diese Gruppe übernahm während Vestkapp II die Dominanz von Phaeocystis. Diese beiden Arten waren während Vestkapp I schon fast überall geringfügig vertreten. Ihre Zellzahlen waren auf den beiden nördlichen Schnitten im Küstenbereich in den oberen 30 m erhöht, so daß sie in dem vom Norden in das Untersuchungsgebiet einfließende Wasser ihre Populationen aufbauen konnten. Ihre Hauptverbreitung lag während beider Meßkampagnen im Wasser mit Temperaturen zwischen 0 - - 0.4 °C, das einen Salzgehalt zwischen 33.5 ‰ und 34.2 ‰ hatte, also nicht in dem leichtesten, wärmsten Wasser des Gebietes und auch nicht im kältesten und salzreichsten Wasser. Die maximalen Zellzahlen dieser Gruppe waren in den oberen stabil geschichteten, lichtdurchfluteten Wassermassen des Küstenstromes anzutreffen. Diese Gemeinschaft schien in einem guten Zustand gewesen zu sein, denn es waren zahlreiche in Teilung befindliche Zellen beider Arten unter dem Mikroskop zu erkennen. In dieser Gemeinschaft wurde auch häufig eine sehr dünne nadelförmige pennate Diatomee angetroffen, bei der es sich um Nitzschia subcurvata (vermischt mit wenigen Nitzschia prolongatoides und anderen Nitzschia spp.) handelte. Ihre Zellzahlen erreichten etwa immer ein Drittel der von N.curta.

Im wärmsten und salzärmsten, mehr im ozeanischen Bereich liegenden Oberflächenwasser, zeigte sich eine dritte Gruppe: Die kleine pennate Diatomee Nitzschia cylindrus und auch Nanoflagellaten dominierten hier in den Zellzahlen und auch im Phytoplanktonkohlenstoff (s.3.3.1.; Abb.24 und 25). Ihre Dominanz war auf die oberen 20 m der Wassersäule beschränkt und im ozeanischen Bereich am stärksten ausgeprägt. Die Anzahl der Nanoflagellaten sank von Vestkapp I zu Vestkapp II, während die Zellzahlen von N.cylindrus zunahmen.

Die vierte Gruppe könnte als Küsten - und Tiefenpopulation, deren Hauptvertreter die Art Eucampia balaustium darstellt, bezeichnet werden (Abb.26). Die maximalen Zellzahlen dieser Art fanden sich fast ausschließlich auf den 3 küstennächsten Stationen und lagen größtenteils unter der Sprungschicht im Wasser mit 34 ‰ und höheren Salzgehalten, das eine Temperatur zwischen 0 und -1.6 °C hatte. Demnach kam sie in demselben Wasser wie Phaeocystis vor, mit dem Unterschied, daß sie nur im Küstenbereich in größerer Zahl anzutreffen war und die Zellzahlen bei Vestkapp II noch zugenommen hatten. Diese Gruppe trug sowohl bei Vestkapp I als auch bei Vestkapp II einen großen Anteil, besonders im tieferen Wasser, zur Gesamt-Biomasse bei.

Während sich die ersten drei der hier beschriebenen Gruppen durch wenige dominanten Arten und eine relativ geringe Diversität in bezug auf andere Arten auszeichneten, wies die Eucampia-Gemeinschaft eine hohe Artendiversität auf. Dies wird auch deutlich in der Darstellung ihrer Biomasse: Immer wenn Eucampia erkennbare Anteile am Gesamt-PPC hatte, war der mit "rest" bezeichnete Anteil auch recht hoch. Er setzt sich vorwiegend aus großen Diatomeen (> 20 µm) zusammen (s.a. Abb.18a-c).

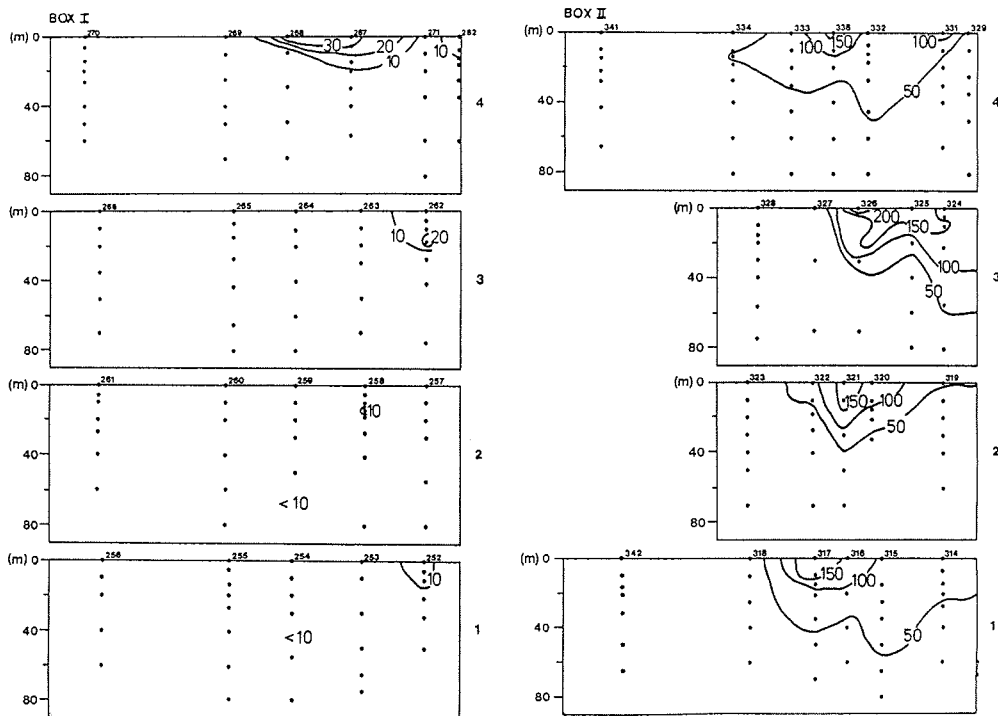
Distephanus speculum

Abb.22: Isolethen der Zellzahlen von Distephanus speculum ( $10^3 \text{ L}^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

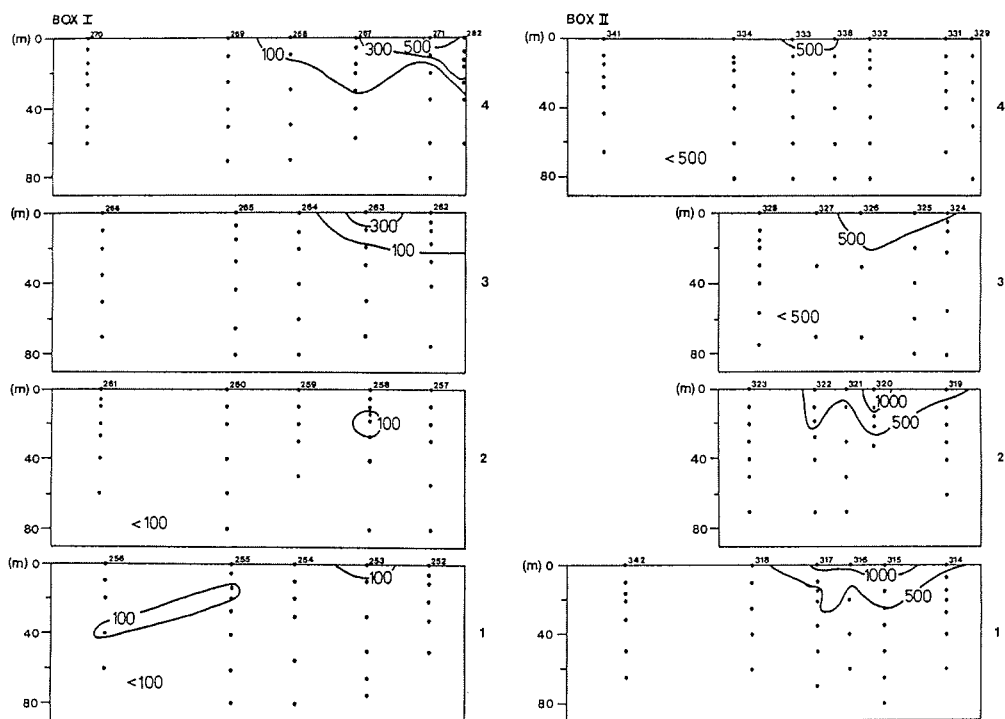
Nitzschia curta

Abb.23: Isoplethen der Zellzahlen von Nitzschia curta ( $10^3 L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

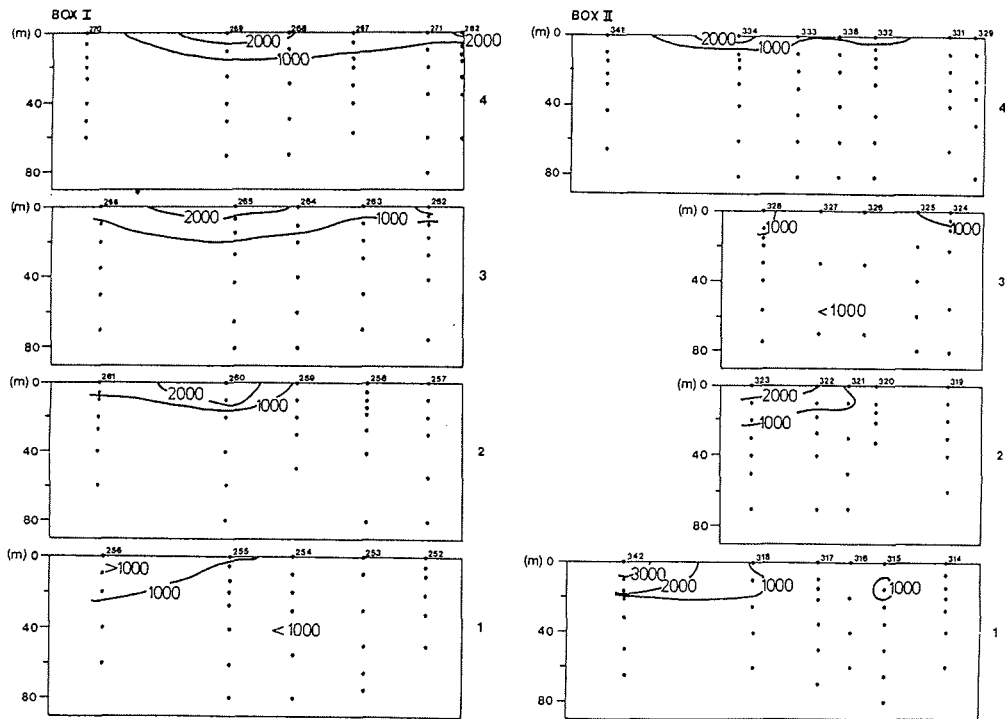
Nitzschia cylindrus

Abb.24: Isoplethen der Zellzahlen von Nitzschia cylindrus ( $10^3 L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)



## Nanoflagellaten

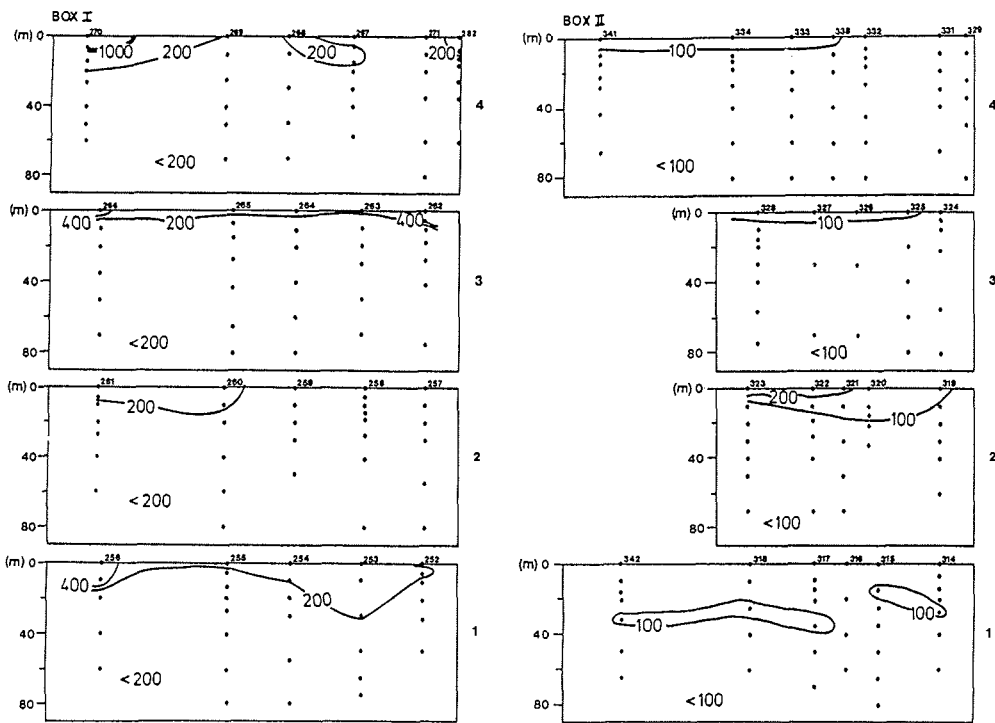


Abb.25: Isoplethen der Zellzahlen von Nanoflagellaten ( $10^3 \text{ L}^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

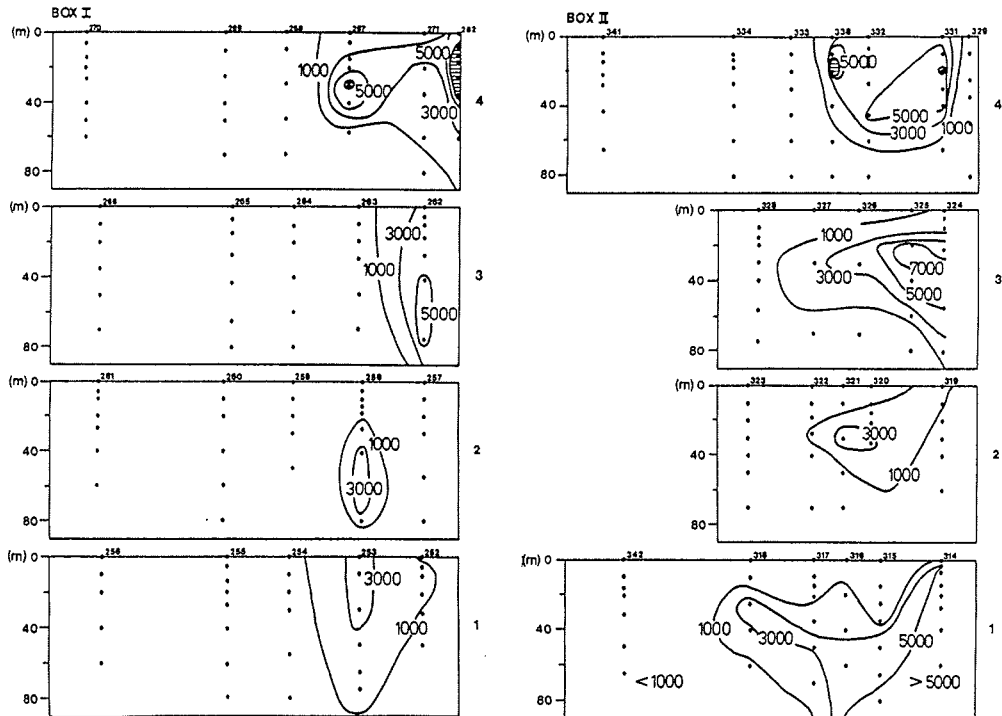
Eucampia balaustium

Abb.26: Isolethen der Zellzahlen von Eucampia balaustium ( $L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt) (schraffierte Fläche = Zellzahl  $> 10\ 000\ L^{-1}$ )

In der fünften und letzten Gruppe werden einige Arten beziehungsweise Gattungen vorgestellt, die nicht eindeutig einer der vier anderen Gruppen zuzuordnen sind, die aber zahlenmäßig auffielen wie beispielsweise Corethron criophilum (Abb.27). Einerseits verhält sich diese Art in ihrem regionalen Auftreten wie zur Eucampia-Gemeinschaft gehörend. Andererseits, im Gegensatz zu Eucampia, wurde Corethron auch im ozeanischen Bereich nahe der Sprungschicht angetroffen. Auffällig war, daß dort oft sehr kleine Vertreter dieser Art dominierten, die etwa einen Durchmesser von 10 µm und eine Länge von 90 µm hatten, gegenüber den normalerweise in diesen Gewässern angetroffenen relativ großen Formen von C.criophilum (20-30 µm im Durchmesser, 200- 300 µm lang). Die unterschiedliche regionale Verteilung sind Indizien dafür, daß es sich in diesen Gewässern doch um eine andere, kleinere Art dieser Gattung handeln könnte. Insgesamt blieben die Zellzahlen von C.criophilum während der Untersuchung relativ konstant.

Ähnlich wie C.criophilum verhält sich auch Rhizosolenia alata cf. indica während Vestkapp I. Während Vestkapp II entwickelt sich R.alata anders als C.criophilum, denn ihre Zellzahlen nahmen während Vestkapp II ab (Abb.28).

Am ähnlichsten der Gruppe 4 verlief die Entwicklung von Chaetoceros dicaeta (in verschiedenen Variationen vorkommend) (Abb.29). Aber auch hier konnten wie bei Corethron höhere Zellzahlen im ozeanischen Bereich besonders während Vestkapp I beobachtet werden. Die Anzahl der Zellen von C.dicaeta stieg während der Untersuchung stetig an und die Kettenlänge der einzelnen Kolonien wuchs von vier auf acht bis sechzehn Zellen pro Kette. Dies bedeutet, daß sich diese Art in der Aufbauphase befand.

Dactyliosolen tenuijunctus (Abb.30) hatte offensichtlich ihren Ursprung eher im tieferen Wasser unterhalb der euphotischen Zone, im ozeanischen Bereich bei Vestkapp I. Während Vestkapp II mischte sie sich dann aber vorwiegend in die zweite beschriebene Gruppe (Distephanus, N.curta) ein. Bei Vestkapp II nahmen die Zellzahlen von Dactyliosolen zu.

Die ebenfalls von Vestkapp I zu Vestkapp II stark zunehmenden kleinen Thalassiosira spp., zu denen auch T.gracilis zu rechnen war, verteilten sich ähnlich wie D.tenuijunctus während Vestkapp I (Abb.31) und entsprachen bei Vestkapp II im wesentlichen der Gruppe 2. Möglicherweise handelte es sich bei diesen zusammengefaßten kleinen Thalassiosira spp., speziell bei Vestkapp I, um eine sehr heterogene Gruppe, in der einzelne Arten unterschiedliche Verteilungsmuster hatten und daher keine einheitliche regionale Verteilung zeigten. Die maximalen Zellzahlen dieser Gruppe könnten bei Vestkapp II allerdings von einer einzigen Art bestimmt worden sein, da das Verteilungsmuster einheitlicher war.

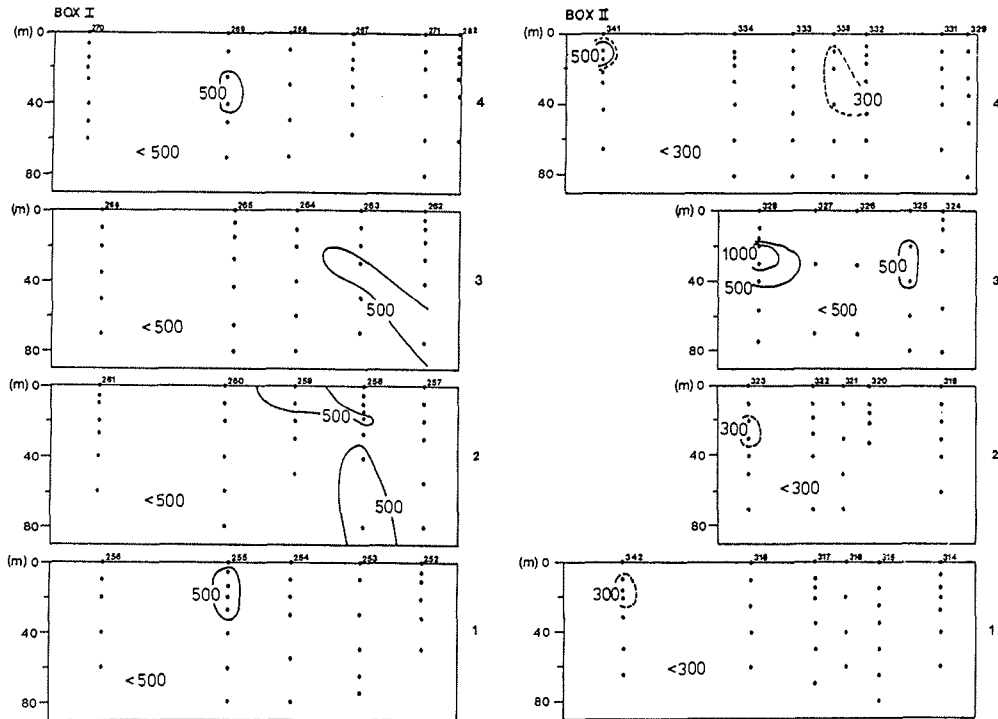
Corethron criophilum

Abb.27: Isoplethen der Zellzahlen von Corethron criophilum ( $L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

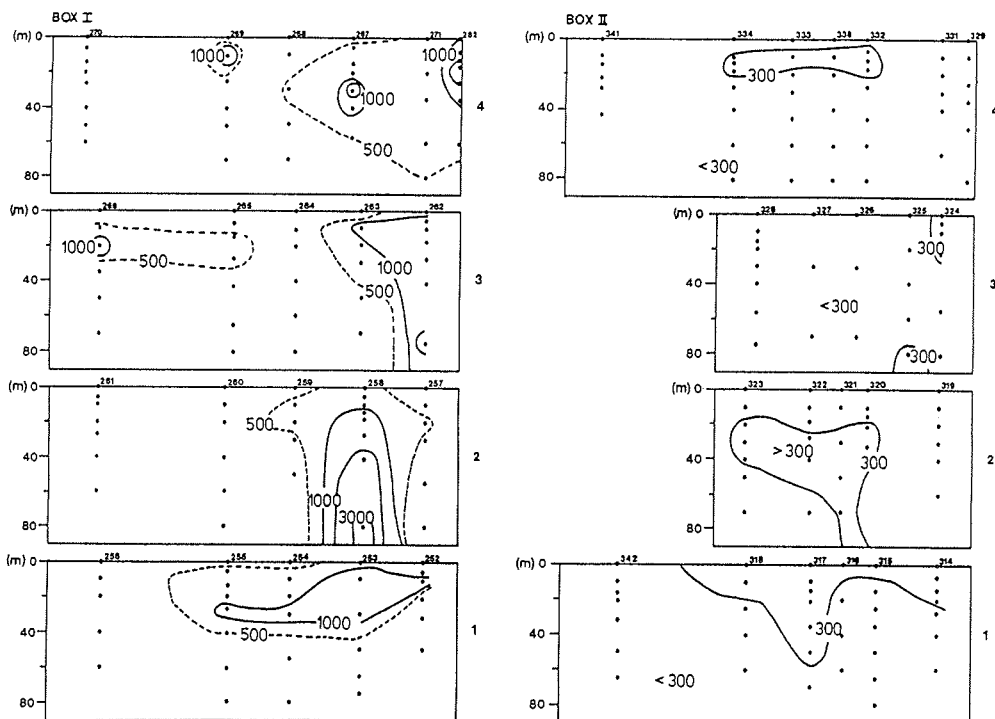
Rhizosolenia alata

Abb.28: Isolethen der Zellzahlen von Rhizosolenia alata ( $L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

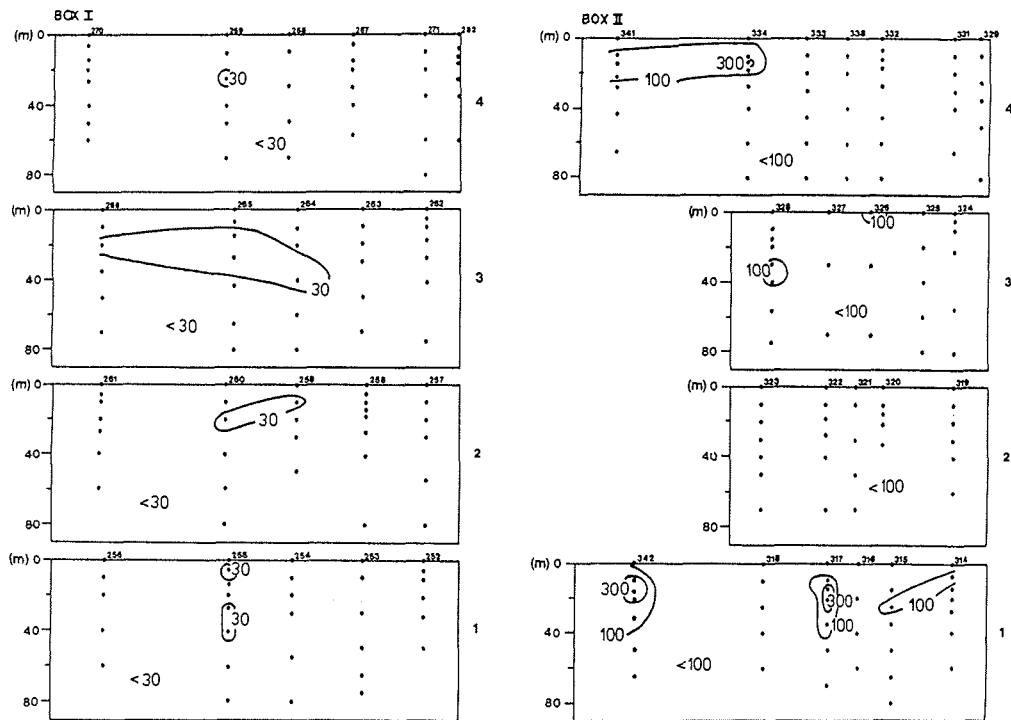
Dactylosolen tenuijunctus

Abb.29: Isolethen der Zellzahlen von Dactylosolen tenuijunctus ( $10^3 \text{ L}^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)

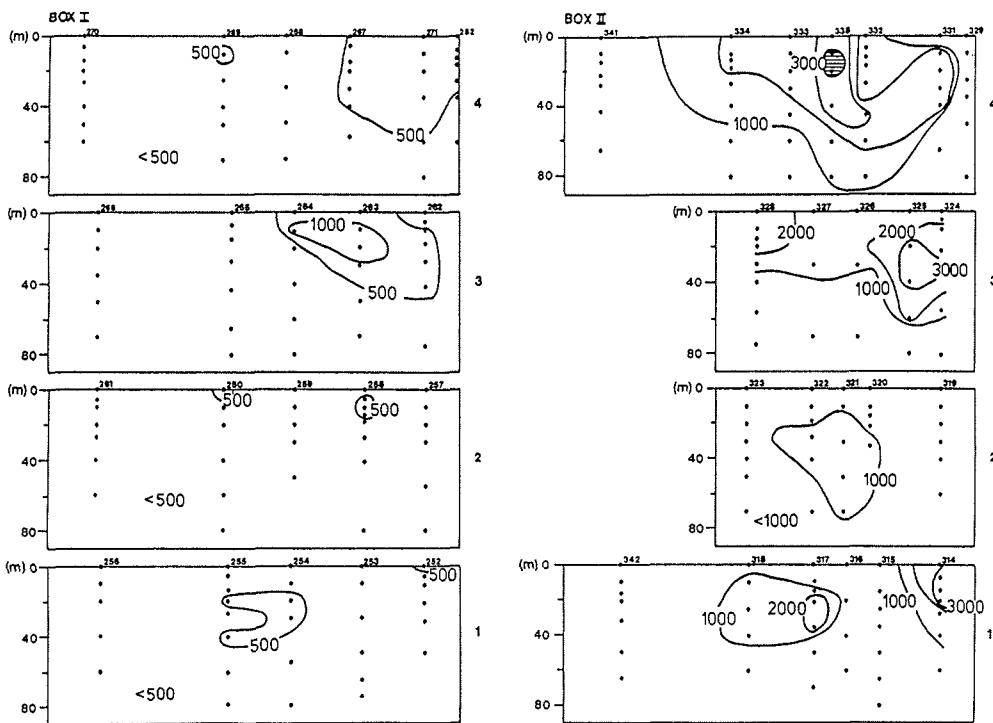
Chaetoceros dichæta

Abb.30: Isolethen der Zellzahlen von Chaetoceros dichæta ( $L^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt) (schraffierte Fläche = Zellzahl  $> 5000 L^{-1}$ )

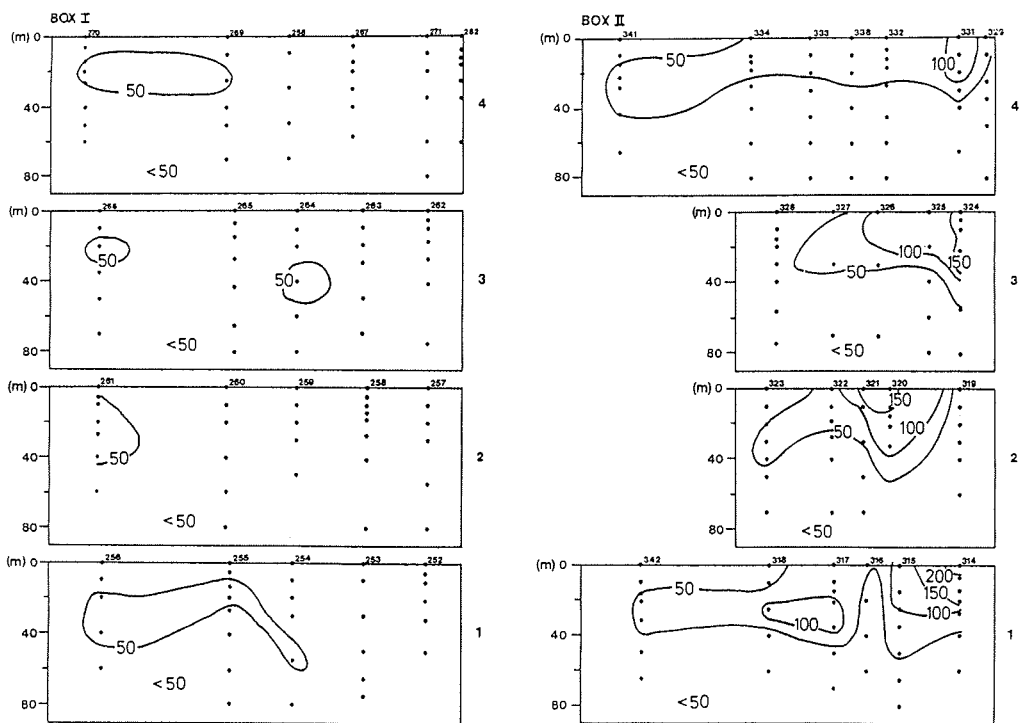
Thalassiosira spp.

Abb.31: Isoplethen der Zellzahlen von Thalassiosira spp. ( $\varnothing$  8-15 $\mu$ m) ( $10^3$  L $^{-1}$ ) für Vestkapp-Box I (links) und Vestkapp-Box II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster, 4: nördlichster Schnitt)



Bei der Beobachtung der Lebendfänge und auch der fixierten Proben fielen häufig runde Organismen, die einen Durchmesser von etwa 10 - 60  $\mu\text{m}$  hatten, auf. Sie waren meistens an die großen Diatomeen angeheftet (Abb.32a und b). Ob es sich hierbei um Epiphyten handelte, oder ob diese Organismen Pilze oder andere Parasiten waren, konnte bis jetzt noch nicht eindeutig geklärt werden. Allerdings sahen die Diatomeen, auf denen diese Organismen saßen, oft nicht normal aus, teilweise enthielten die Schalen auch kein Plasma mehr. Bei Bestrahlung der in den Lebendfängen gefundenen Organismen mit kurzwelligem Licht (Epifluoreszenz) zeigten diese "Epiphyten" überwiegend eine grüne Rückstrahlung, so daß sie eher in die Gruppe der heterotrophen Organismen einzureihen wären. Einige wenige zeigten eine rote Rückstrahlung, so daß sie demnach Pflanzen wären. Ein Parasit könnte jedoch auch rot leuchten, wenn er sich gerade die Chloroplasten seines Wirtes einverleibt hätte. Infektionsschläuche oder dergleichen, die auf eine solche Ernährungsweise hinwiesen waren nicht zu erkennen.

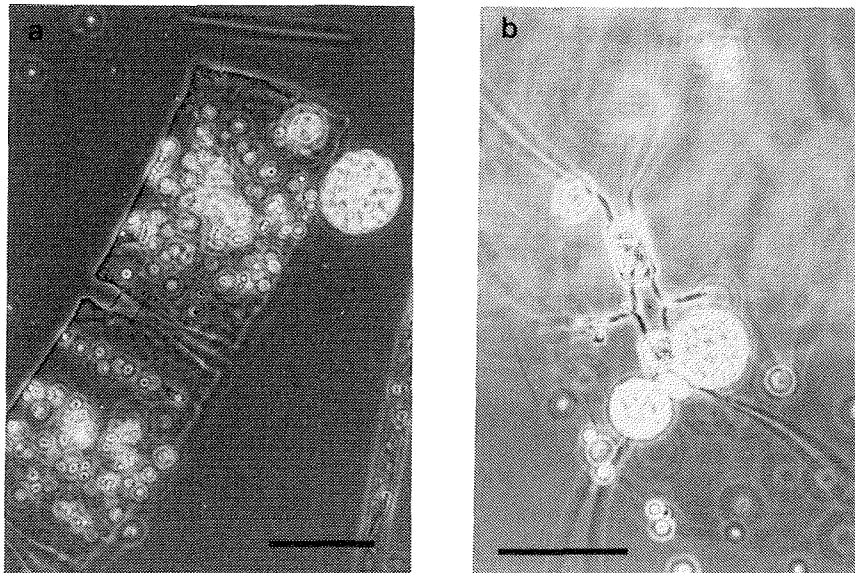


Abb.32 a: Odontella weissflogii mit angehefteten Organismen  
 b: Chaetoceros dichchaeta mit angehefteten Organismen  
 (Balkenlänge = 50  $\mu\text{m}$ )

### 3.3.3. Verteilung sporenbildender Arten, Verteilung von anderen Planktern und Kotballen bis in große Wassertiefen und auf dem Sediment

In diesem Abschnitt wird die Verteilung für einige im tieferen Wasser auffällige Arten dargestellt. Hierbei wird der Schwerpunkt auf die Sporen (Ruhestadien) gelegt. Bei einigen zu besprechenden Arten handelt es sich nicht ausdrücklich um Sporen, sondern eher um morphologische Sonderformen der jeweiligen Art, denn in der vorliegenden Bestimmungsliteratur konnten keine eindeutigen Hinweise zu dieser Thematik gefunden werden. Bei diesen Arten wird daher das Wort Spore in Anführungszeichen gesetzt. Es werden hier auch Arten besprochen, die in der vorherigen Betrachtung kaum Erwähnung fanden. Der Grund ist, daß diese Arten im Oberflächenwasser durch geringe Zellzahlen nicht auffielen. In den Abbildungen sind für die am häufigsten angetroffenen Sporen der oberen 0 - 50 m beziehungsweise 0 - 100 m Mittelwerte der Zählungen der einzelnen Proben zusammengefaßt. In den darauf folgenden Tiefenstufen wurde meistens nur eine Messung pro Station und Tiefenstufe durchgeführt.

Die in Abb.34 dargestellte Verteilung der *Chaetoceros* A-"Sporen" (Abb.33) zeigt eine Anhäufung dieser "Spore" im Küstenbereich, vor allem in den Tiefen zwischen 100 und 300 m, während Vestkapp I, aber auch im Oberflächenwasser wurden einige dieser Zellen angetroffen. Bei Vestkapp II verringerte sich die Anzahl dieser "Sporen" besonders in dem Bereich, in dem sie vorher zahlreich angetroffen wurden. Vegetative Zellen dieser Art fanden sich nur sehr vereinzelt. Der Artname dieser *Chaetoceros*-Art war in der Bestimmungsliteratur nicht auffindig zu machen. Möglicherweise handelt es sich um eine noch nicht beschriebene Form (J. Rines, D. Stockwell pers. Mitteil.). Die in dieser Untersuchung angetroffenen Zellen sind noch nicht vollständige Sporen, weil sie an der einen Schale noch lange Borsten besaßen. Normalerweise besitzen fertige Ruhesporen keine Borsten mehr.

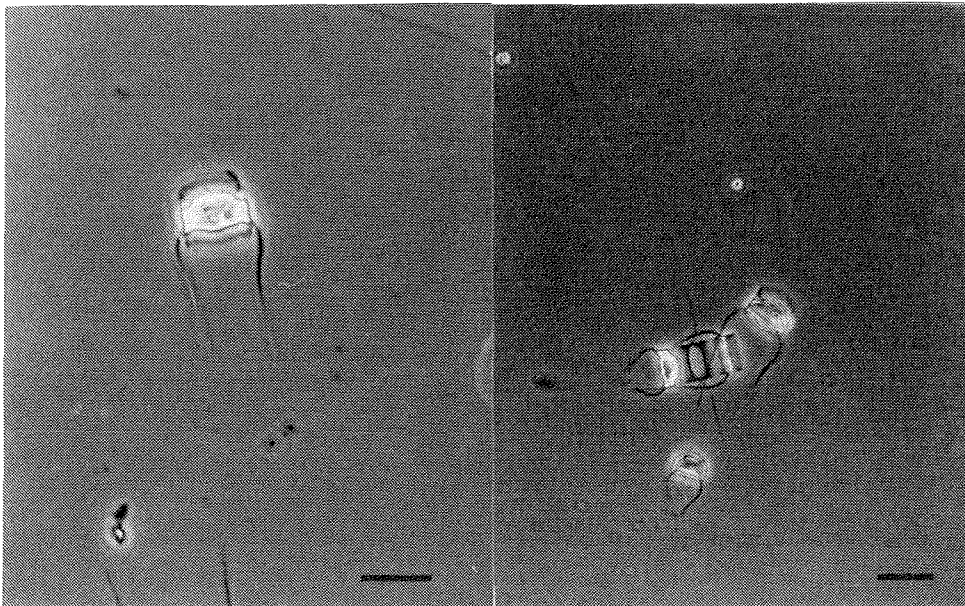


Abb.33 *Chaetoceros* A-"Sporen", teilweise noch vegetative Schalen erkennbar (Balkenlänge = 10 µm)

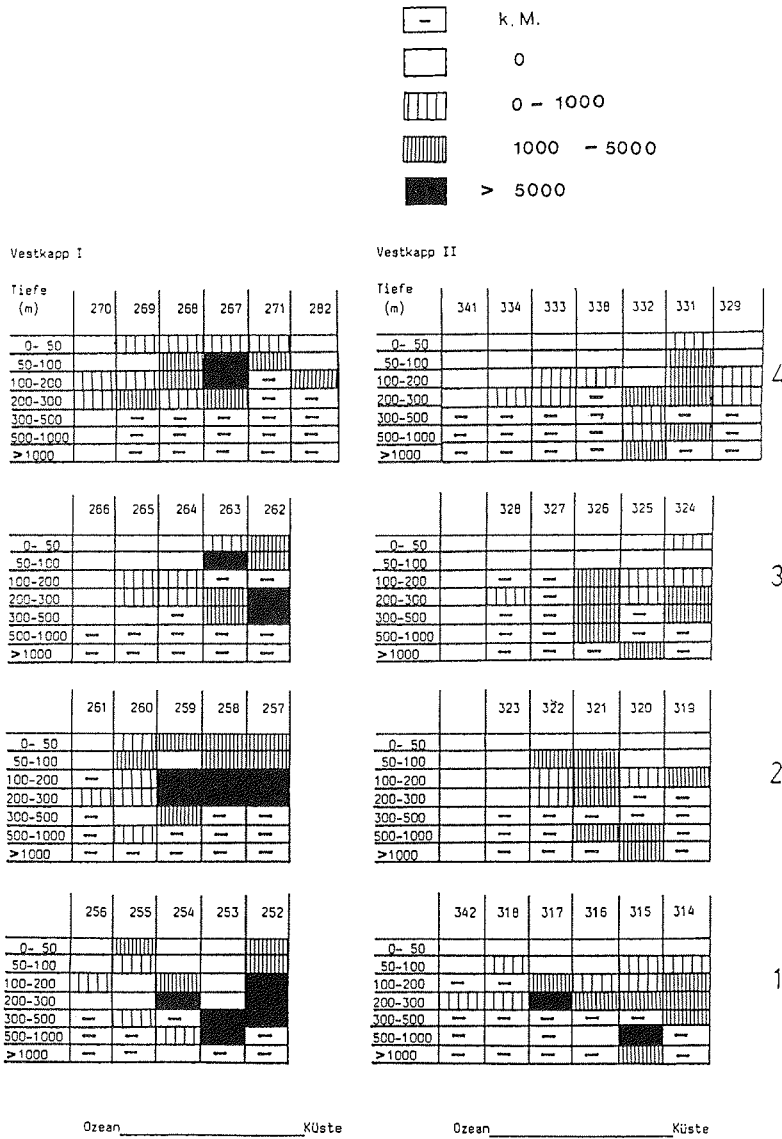


Abb.34: Verteilung der *Chaetoceros* A-"Sporen" (Zellzahl L<sup>-1</sup>) während Vestkapp I (links) und Vestkapp II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster Schnitt, 4: nördlichster Schnitt). k.M.: keine Messung

Die zweite Chaetoceros Art, die durch ihre zahlreichen Sporen im Tiefenwasser auffiel, war C.neglectum (Abb.35). Die gebildeten Sporen fand ich hier größtenteils noch innerhalb der gebildeten Ketten. Im Gegensatz zur vorher beschriebenen Art kamen noch viele, nur aus vegetativen Zellen bestehende Ketten von C.neglectum im Oberflächenwasser vor, so daß C.neglectum eine Art zu sein scheint, deren Hauptwachstumszeit mehr im Sommer liegt. Bei C.neglectum nimmt der Anteil der Sporen, anders als bei der vorher beschriebenen Art, erst bei Vestkapp II zu (Abb.36). Auch die Sporen von C.neglectum zeigten ihre größte Dichte im Küstenbereich zwischen 100 und 300 m.

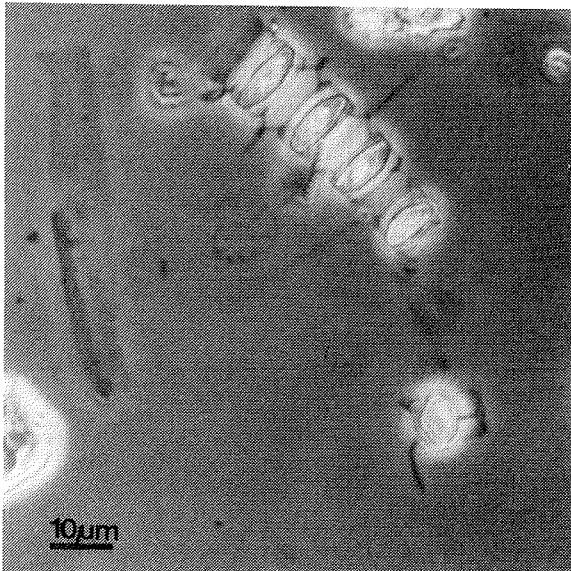


Abb.35: Chaetoceros neglectum Sporen, noch in den vegetativen Schalen sitzend.

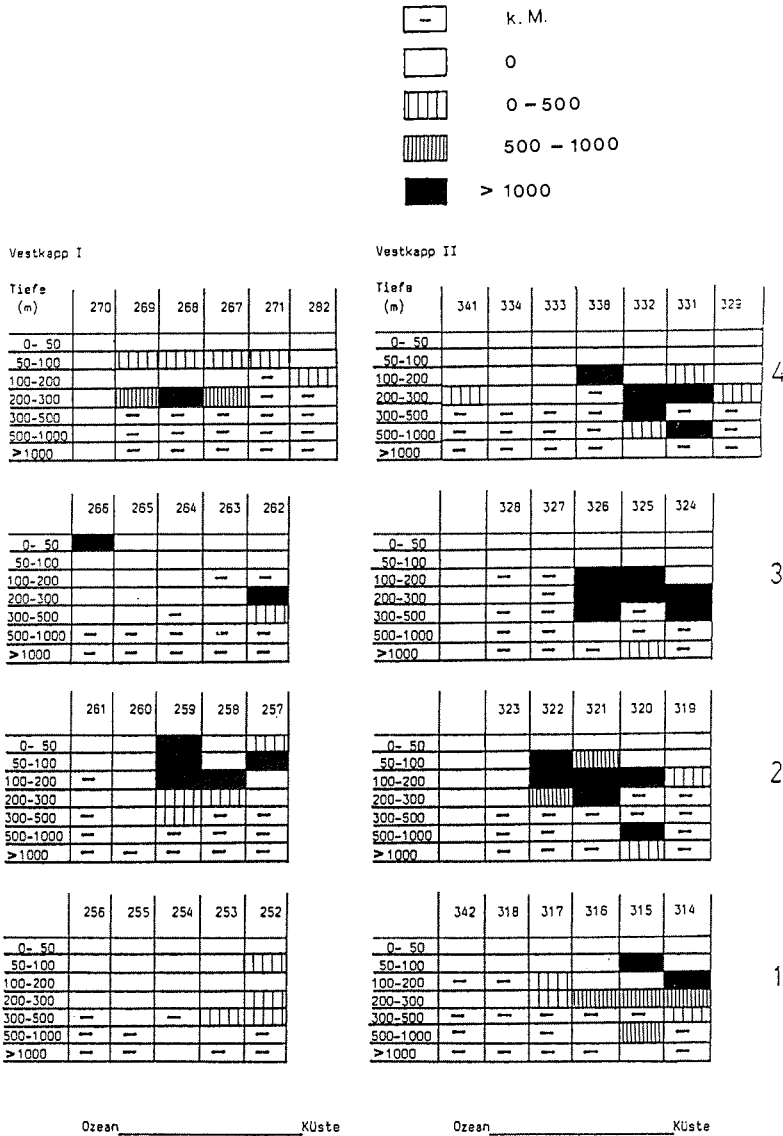


Abb.36: Verteilung der *Chaetoceros neglectum* Sporen (Zellzahl  $L^{-1}$ ) während Vestkapp I (links) und Vestkapp II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster Schnitt, 4: nördlichster Schnitt).  
k.M.: keine Messung

Sehr gut zu erkennen sind die Sporen und die in der Sporenbildung befindlichen Zellen von Eucampia balaustium (Abb.37). Diese Art bildete ihre Ruhestadien schon meistens im Oberflächenwasser (Abb.39). Diese Ruhestadien-Bildung nahm von Vestkapp I zu Vestkapp II deutlich zu und die meisten Sporen fanden sich zwischen 0 und 100 m wieder hauptsächlich in Küstennähe. Dieser Art sehr ähnlich verhielt sich Odontella weissflogii (Abb.38).

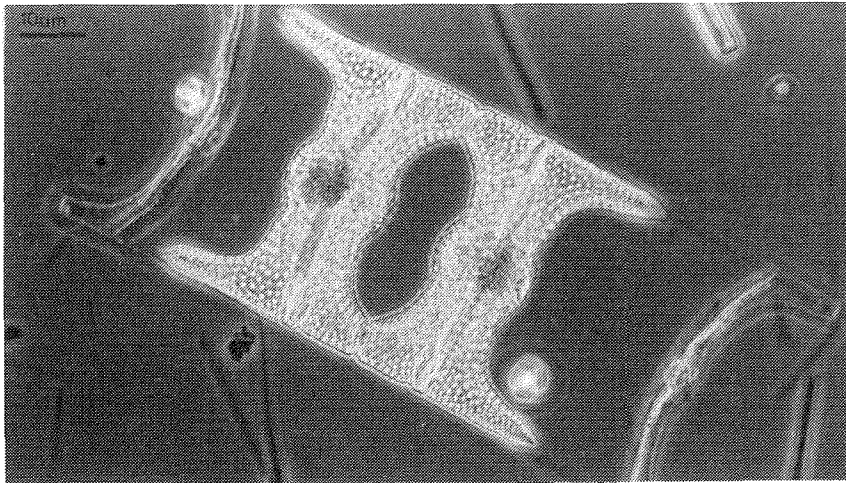


Abb.37: Zwei fertig ausgebildete Eucampia balaustium-Sporen

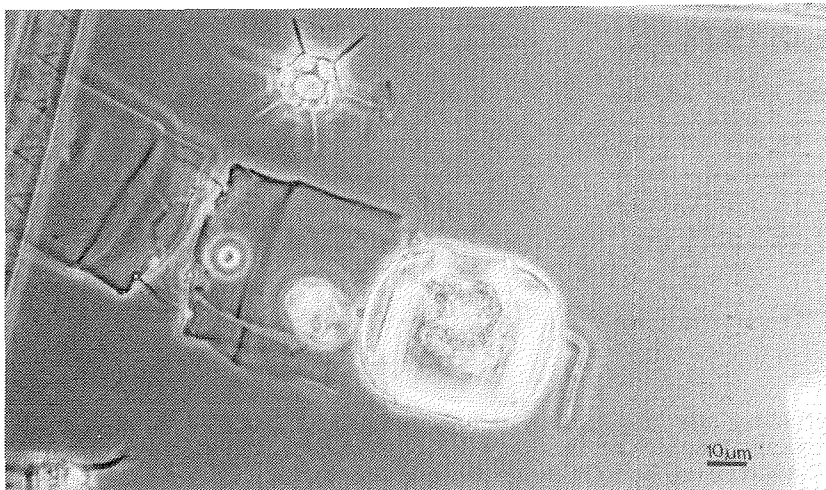


Abb.38: Fertig ausgebildete Spore von Odontella weissflogii

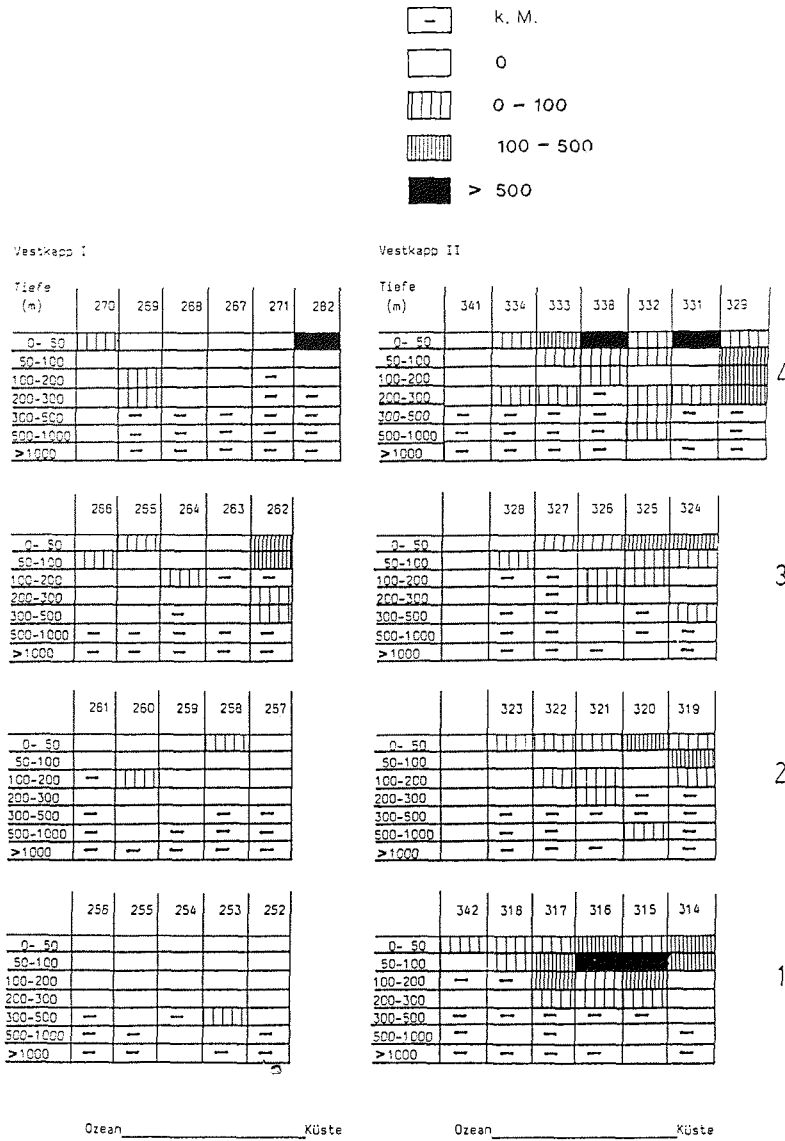


Abb.39: Verteilung der *Eucampia balaustium* Sporen (Zellzahl  $L^{-1}$ ) während Vestkapp I (links) und Vestkapp II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster Schnitt, 4: nördlichster Schnitt)  
k.M.: keine Messung

Auffällig waren die von Thalassiosira sp., die nur etwa 20 µm groß im Durchmesser waren, gebildeten Sporen (Abb.40). Diese wurden entweder noch innerhalb der Kette gefunden oder als Einzelzellen angetroffen. Bei den Einzelzellen war es oft nicht ganz einfach, die Sporen von den vegetativen Zellen zu unterscheiden, doch zeichneten sich die Sporen durch eine andere Färbung des Zellinhalts aus. Die Anzahl der Sporen nahm für diese Art während des Untersuchungszeitraums ebenfalls zu (Abb.41). Sie wurden wie die Chaetoceros Sporen häufiger im tiefen Wasser unterhalb von 100 m angetroffen, wohingegen im Oberflächenwasser eine relativ große Zahl vegetativer Zellen vorgefunden wurde, die von Vestkapp I zu Vestkapp II hin abnahm.

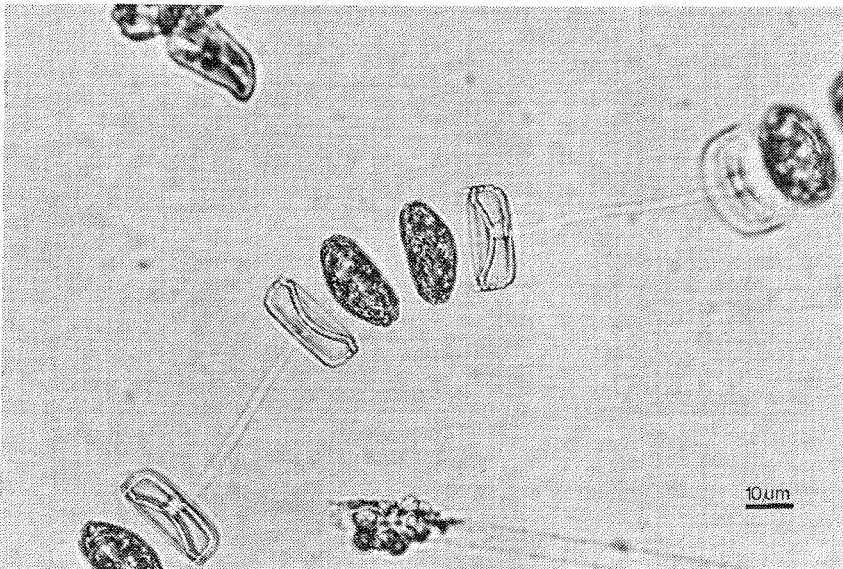


Abb.40: Fertig ausgebildete Sporen von Thalassiosira sp



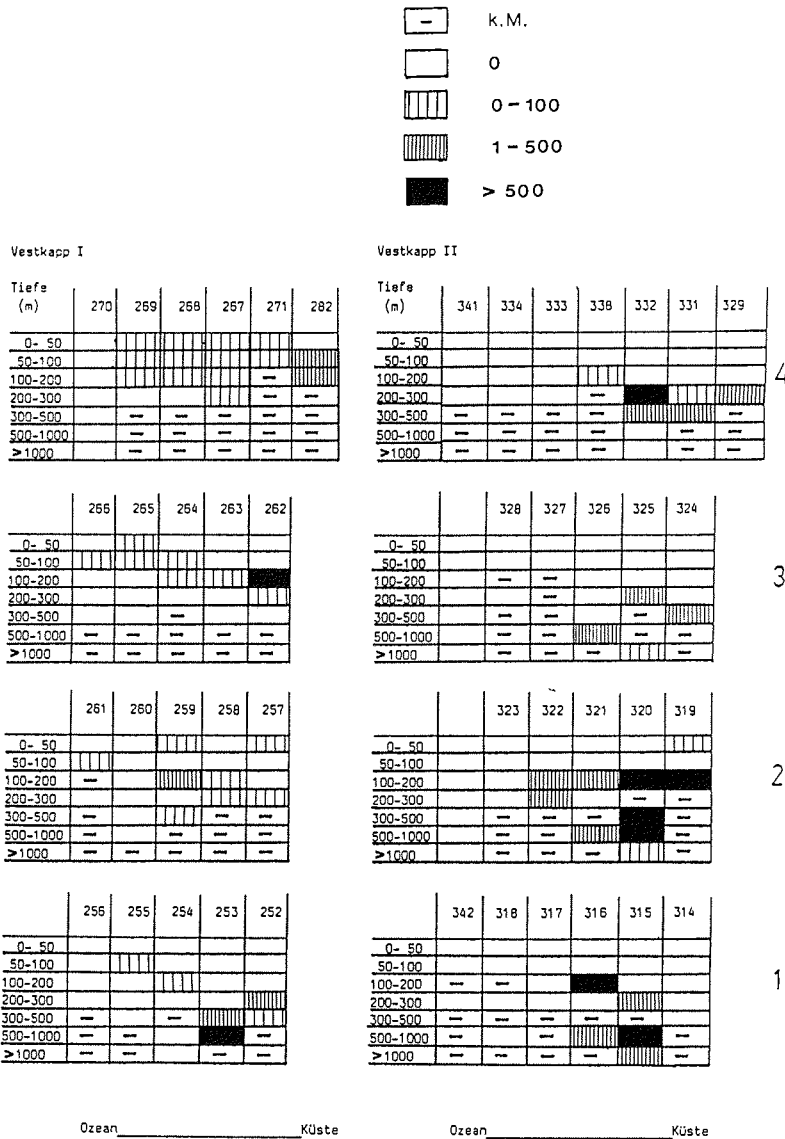


Abb.41: Verteilung der *Thalassiosira* sp. Sporen (Zellzahl  $L^{-1}$ ) während Vestkapp I (links) und Vestkapp II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster Schnitt, 4: nördlichster Schnitt).  
k.M.: keine Messung

Als letzte Art soll hier Rhizosolenia alata cf. indica behandelt werden. Diese Diatomee zeigte im tieferen Wasser einige morphologische Veränderungen, die eventuell eine Art Ruhestadium darstellen könnten (Abb.42c). In den fixierten Proben wurde folgendes beobachtet. Innerhalb der alten Schale von R.alata bildete sich eine neue stärker verkieselt aussehende und spitz zulaufende Valve (Abb.42a). Diese Zellen mit einer spitzen Valve (Abb.42b) konnten auch die zweite, noch "normal" aussehende Schale in eine spitz zulaufende Valve umwandeln. Die beiden anders aussehenden Zellentypen (eine/zwei spitz zulaufende Valven) wurden sehr viel häufiger in der Tiefe angetroffen als oben, wobei sich das Verhältnis der beiden Sonderformen untereinander mit zunehmender Tiefe zugunsten der Form mit den zwei spitzen Valven veränderte (Tab.7). Bei diesen beiden Sonderformen handelt es sich nicht um Auxosporen, denn diese sehen anders aus (z.B. Schütt 1886, Priddle und Fryxell 1985) und wurden während dieser Untersuchung teilweise im Oberflächenwasser angetroffen. Schon Schütt (1886) vermutete, daß Rhizosolenia alata Ruheformen besitzen könnte. Wie bei den vorher beschriebenen Arten waren auch hier die "Sporen" vermehrt während Vestkapp II in der Tiefe in Küstennähe anzutreffen (Abb.43).

Die systematische Stellung der Rhizosolenia alata Gruppe wird zur Zeit angezweifelt. Es soll eine neue Gattung für diese Gruppe geschaffen werden (Sundström 1986). Ebenfalls herrscht in der Literatur weitgehend Unklarheit darüber, ob einzelne morphologische Formen dieser Gruppe ineinander übergehen können (Sundström pers. Mitteil.). Mit den oben beschriebenen Beobachtungen kann gezeigt werden, daß Rhizosolenia alata cf. indica in Rhizosolenia truncata (die lange als eine eigene Art angesehen wurde) übergehen kann und umgekehrt. Damit ist R.truncata wahrscheinlich nur eine andere morphologische Form von R.alata.

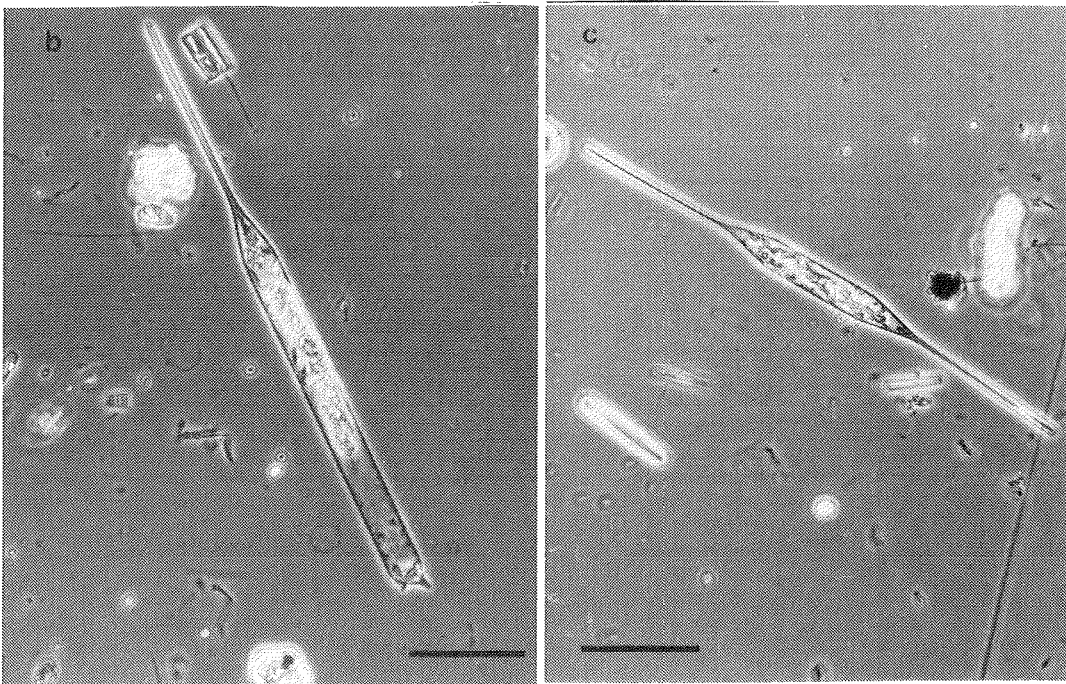
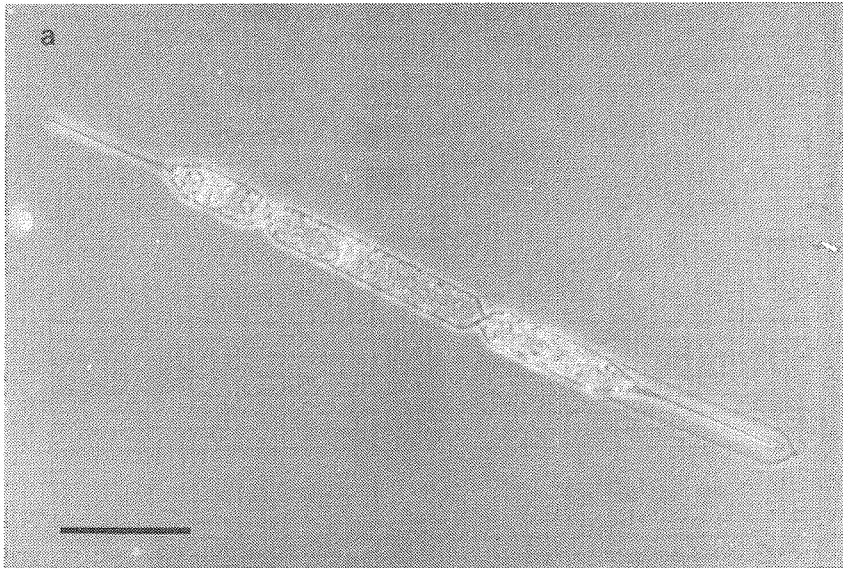


Abb.42 a: *Rhizosolenia alata* cf. *indica* beim Ausbilden einer spitzzulaufenden Valve  
 b: mit einer spitz zulaufenden Valve  
 c: mit zwei spitz zulaufenden Valven  
 (Balkenlänge = 100  $\mu\text{m}$ )

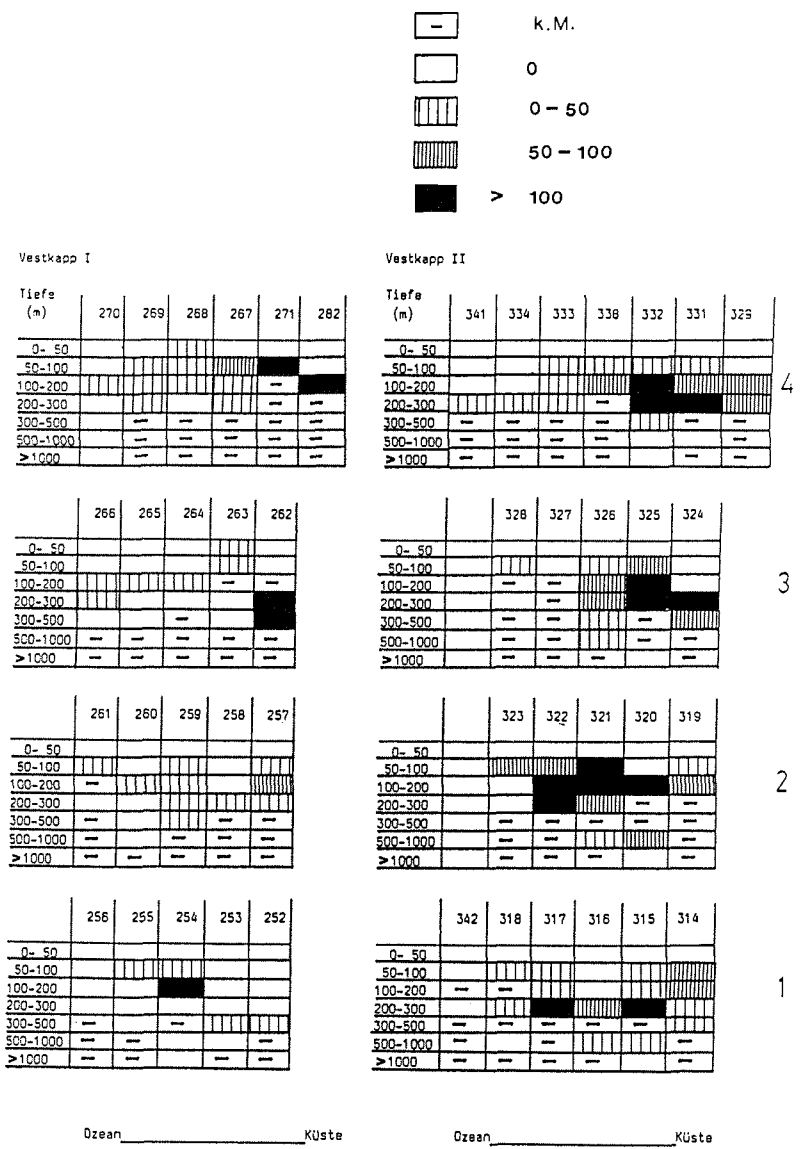


Abb.43 Verteilung der *Rhizosolenia alata* f. indica mit einer und zwei spitz zulaufenden Valven (Zellzahl L<sup>-1</sup>) während Vestkapp I (links) und Vestkapp II (rechts) auf den Schnitten 1-4 (1: südlichster Schnitt, 4: nördlichster Schnitt).  
k.M.: keine Messung

In der Tab.7 sind abschließend die Mittelwerte der Zellzahlen der Sporen aller Stationen für Vestkapp I und II in den entsprechenden Tiefen dargestellt. Mit Ausnahme der Chaetoceros Typ-A "Sporen" wurde der größere Teil der Sporen erst nach der Untersuchung während Vestkapp I und während der Untersuchung Vestkapp II gebildet. Aus der Tabelle ist weiter zu erkennen, daß die Sporen relativ schnell ins tiefere Wasser (>100 m) gelangt sind und oft erst dort gebildet wurden. Aus der Tabelle 7 ist ebenfalls ersichtlich, daß der Sporenanteil im Vergleich zu den vegetativen Zellen während Vestkapp II im Oberflächenwasser durchschnittlich um 12 % zugenommen hatte.

Tab.7: Anzahl der Sporen von Chaetoceros A, Chaetoceros neglectum, Eucampia balaustium, Thalassiosira sp. und Rhizosolenia alata cf. indica angegeben als Mittelwerte für die einzelnen Tiefenstufen bei Vestkapp I und II und prozentuale Veränderung der Sporenanteile der einzelnen Arten von Vestkapp I zu Vestkapp II. (-: keine vegetativen Zellen vorhanden)

Tiefe (m)	"SPOREN"		Verhältnis: "SPOREN" / VEGETATIVE ZELLEN	
	Vestkapp I (Zellzahl $10^3 \text{ m}^{-3}$ )	Vestkapp II	Vestkapp I (%)	Vestkapp II (%)
<u>Chaetoceros A "Spore"</u>				
0 - 100	2080	393	-	-
100 - 200	3802	847	-	-
200 - 300	1595	1236	-	-
300 - 500	4643	1416	-	-
500 -1000	2388	1865	-	-
>1000	-	3618	-	-
<u>Chaetoceros neglectum</u>				
0 - 100	200	350	31	61
100 - 200	638	1297	-	-
200 - 300	244	1314	-	-
300 - 500	69	288	-	-
500 -1000	-	916	-	-
>1000	-	93	-	-
<u>Eucampia balaustium</u>				
0 - 100	26	120	2	10
100 - 200	3	19	-	-
200 - 300	1	5	-	-
300 - 500	-	2	-	-
500 -1000	-	2	-	-
>1000	-	2	-	-
<u>Thalassiosira sp</u>				
0 - 100	15	29	1	7
100 - 200	116	214	100	85
200 - 300	20	79	53	95
300 - 500	55	137	61	99
500 -1000	151	542	99	99
> 1000	-	81	-	94
<u>Rhizosolenia alata</u> f. <u>indica</u> (Verhältnis : eine - /zwei spitze Valven)				
0 - 100	14	20	1 ( 6)	6 (19)
100 - 200	25	87	23 (12)	48 ( 5)
200 - 300	10	82	45 (19)	61 ( 2)
300 - 500	5	31	45 ( 2)	79 ( 1)
500 -1000	-	23	-	79 ( 1)
>1000	-	-	-	-

Zu den Tiefenproben sind auch die von den Kastengreiferproben abgenommenen Unterproben der obersten Sedimentschichten zu rechnen. Bei der Probennahme mit dem Kastengreifer besteht die Gefahr, daß die leichten organischen Bestandteile aus dem Kasten gespült werden. Bis auf eine Ausnahme, STN 289 schon fast vor Halley Bay, fand ich kaum lebende Zellen zwischen den Sedimentkörnern. Allerdings waren im Sediment von STN 289 Thalassiosira spp. Sporen und auch Chaetoceros Typ-A "Sporen" neben einigen pennaten Diatomeen und anderen zentrischen Diatomeen zu erkennen.

Neben den oben beschriebenen Sporen sind noch einige andere Organismen und auch kleine Kotballen, die besonders in den Proben aus größeren Wassertiefen (>100 m) stammten, erwähnenswert: Pennate Diatomeen waren in den Tiefenproben immer vorhanden, ein großer Teil von diesen Zellen hatte keinen Plasmahalt mehr. Die während Vestkapp II im Oberflächenwasser dominanten Arten N.curta und D.speculum sowie N.cylindrus wurden häufig als leere Zellen bei Vestkapp II im Tiefenwasser ausgemacht. Von fast allen Arten, die im Oberflächenwasser angetroffen wurden, konnten auch einige Zellen im Tiefenwasser nachgewiesen werden. Diese schienen sich in einem "sehr guten Zustand" befunden zu haben (z.B. Corethron criophilum), allein vom optischen Eindruck.

Fast in allen Proben wurden auch Skelette von Radiolarien (Gattung Sticholonche und Protocystis) angetroffen, ihre Zellzahlen erreichten bis zu 10-15 Organismen pro Liter. In allen mikroskopisch analysierten Proben wurden auch rundliche Kotballen in größerer Anzahl gefunden (Abb.44), diese waren ebenfalls dominierend in den Sinkstoffallen (s.3.4.). Sie traten während Vestkapp I viel im Oberflächenwasser in Erscheinung und waren während Vestkapp II mehr im tieferen Wasser zu beobachten (Tab.8).

Tab.8: Anzahl der Kotballen für die einzelnen Tiefenstufen während Vestkapp I und II:

Tiefe (m)	Vestkapp I (Anzahl L <sup>-1</sup> )	Vestkapp II
0- 100	65	16
100- 200	15	18
200- 300	7	10
300- 500	1	63
500-1000	-	6
> 1000	-	3

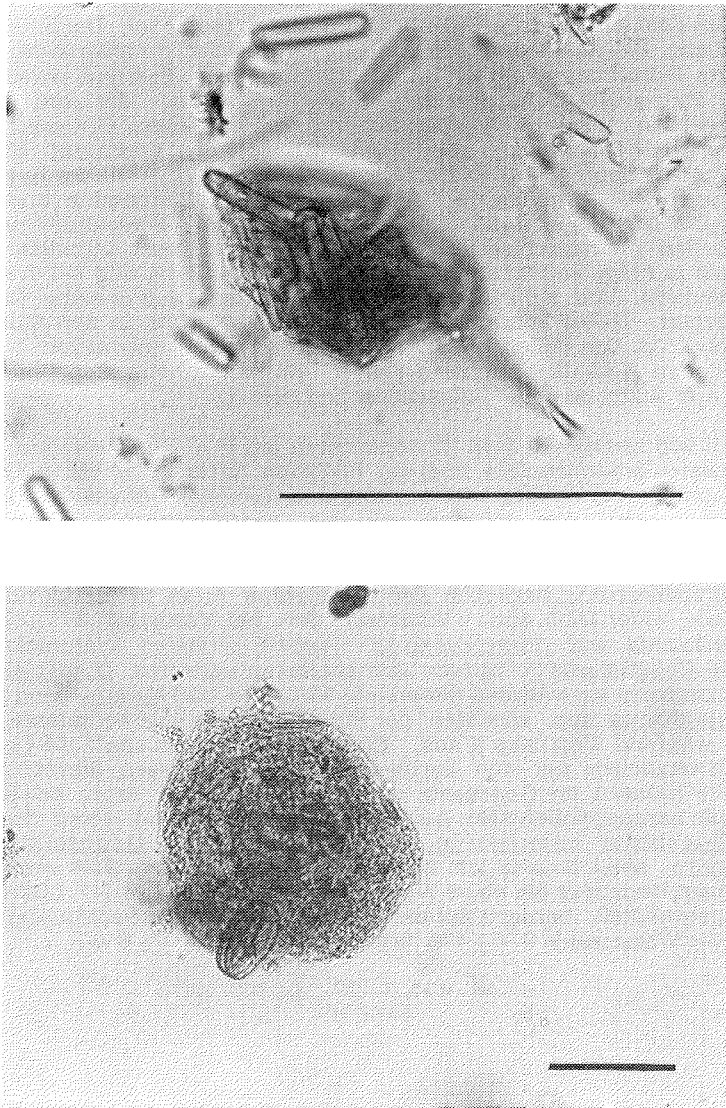


Abb.44: Rundliche Kotballen unterschiedlicher Größe (intakte Schalen von Diatomeen sind in den Kotballen erkennbar, Balkenlänge = 100  $\mu\text{m}$ )

### 3.4. Sinkstoffallen

Chl  $a$ -Äquivalente- und POC-Gehalt der sedimentierten Partikel pro Tag entsprachen auf STN 280 1.1 % bzw. 0.4 % und auf STN 347 1.9 % beziehungsweise 0.6 % des darüberliegenden "standing stocks". Für alle anderen Fallen war der prozentuale Anteil der Sedimentation geringer als 0.2 %. Bezogen auf die tägliche Primärproduktionsrate entsprach der POC-Fluß 43 % und 65 % bei STN 280 und 347 und 1- 15 % der Primärproduktion bei den anderen Stationen (Tab.9).

Die mikroskopische Analyse der Sinkstoffe ergab, daß 60-90 % des organischen Kohlenstoffs in den Fallen auf sedimentierte Kotballen zurückzuführen waren. Die Sedimentationsmuster der Kotballen in den einzelnen Fallenexperimenten entsprachen dem des Trockengewichts und des POC (Abb.45a). Die Kotballen hatten eine rundliche bis ellipsoide Form und ihre Größe variierte etwa zwischen 50 und 300  $\mu\text{m}$  im Durchmesser. Der Inhalt der Kotballen bestand vorwiegend aus intakten, aber größtenteils leeren Diatomeen-Schalen, die von den in der darüberliegenden Wassersäule abundanten Arten stammten. Gut erkennbar waren vor allem pennate Diatomeen, aber auch Distephanus speculum Skelette und Chaetoceros A-"Sporen" in den Kotballen. Die Produzenten dieser Kotballen sind noch weitgehend unbekannt. Appendicularien, Pteropoden und Protozoen (heterotrophe Dinoflagellaten, Ciliaten, Radiolarien, Foraminiferen) könnten diese Kotballen produziert haben. Für die Produktion dieser Kotballen können nur Organismen in Frage kommen, die ihre Nahrung beim Fang und bei der Verdauung nicht zerkleinern. Vom Krill ist beispielsweise bekannt, daß er seine Nahrung sehr fein zerkleinert. Daher kommt Krill, dessen Kotschnüre in den Sammelgläsern nur vereinzelt in den Fallen bei STN 280 und 347 gefunden wurden, als Produzent der rundlichen Kotballen nicht in Frage. Kotballen von Copepoden wurden ebenfalls nur selten in den Fallengläser beobachtet.

Der Anteil von sedimentiertem Phytoplankton am POC-Fluß war auf den beiden küstennächsten Stationen (274, 284) am höchsten (20 bzw. 37 %), bei den anderen Stationen gering: < 6 % vom POC (s.Tab.9 und Abb.45a). Bezogen auf den aktuellen "standing stock" des Phytoplanktons sedimentierten allerdings nur durchschnittlich 0.5 %. Trotz dieses geringen Anteils spiegelte die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons in den Fallen doch die aktuelle Artenzusammensetzung bezüglich der dominanten Arten in der darüberliegenden Wassersäule wider (Abb.45b). Während der bei Vestkapp I durchgeführten Fallenexperimente war Phaeocystis sp. neben pennaten Diatomeen (Nitzschia spp.) und Chaetoceros A-"Sporen" am stärksten vertreten. D.speculum, andere pennate Diatomeen als während der ersten Meßserie (viel N.curta und N.cylindrus) und Coscinodiscus spp. machten die Hauptbiomasse des sedimentierten Phytoplanktons während Vestkapp II aus. Chaetoceros Sporen sowie die Coscinodiscus spp. waren verglichen mit den darüberliegenden Biomassen dieser Arten relativ häufig. Sie müssen im Gegensatz zu den abundanten Arten selektiv aus der Wassersäule herausgefallen sein. Auch für andere Arten und deren Sporen in den Fallen (Eucampia halaustium, Rhizosolenia alata, Odontella weissflogii, Thalassiosira spp.) konnte ich beobachten, daß Sporen und morphologische Sonderformen bevorzugt die obere Wassersäule verließen (Tab.10). Durchschnittlich war der Sporenanteil, bezogen auf die Gesamtzellzahl aus Sporen und vegetativen Zellen, in der Wassersäule  $6\% \pm 4\%$  und in den Fallen  $38\% \pm 8\%$ .



Tab.9:Expositionsdauer (Exp) der Fallen in Tagen und Tiefe (Depth) in Metern während Vestkapp I (STN 274-314) und II (STN 340-348). Tägliche Sedimentationsraten für Trockengewicht (DW), partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Phytoplanktonkohlenstoff (PPC), Chlorophylla-Äquivalente (Chla-eq.) in  $\text{mg m}^{-2}\text{d}^{-1}$  und biochemische Zusammensetzung der Sinkstoffe.

\* verankerte Fallen

STN	Depth	Exp	DW	POC	PPC	Chla-eq.	DW:POC	POC:Chla-eq.	POC:PON	POC:TPP
274 *	80m	1.58	128	26	5.1	0.20	5	126	5	417
280	100m	0.43	1593	135	2.5	1.15	12	117	11	484
284 *	80m	1.11	94	15	5.6	0.15	6	100	8	285
286,314 *	80m	10.43	616	61	1.8	0.51	10	118	8	1134
	350m	"	738	73	2.6	1.75	10	41	9	280
340	100m	0.42	283	74	0.72	0.32	4	233	9	1246
347	100m	0.53	1397	76	4.8	1.75	18	44	10	1506
348	100m	0.24	97	18	0.34	0.06	5	322	8	135

Tab.10: Anteil der Sporen bezogen auf die jeweilige Art im Wasser über den Fallen und in den Fallen (in Klammern angegeben) in %.

(n.g.: keine Sporen in den Fallengläsern gefunden)

\* verankerte Fallen

STN	Tiefe	<u>Eucampia</u> <u>balaustum</u>	<u>Odontella</u> <u>weissflogii</u>	<u>Rhizosolenia</u> <u>alata</u> f. <u>indica</u>	<u>Thalassiosira</u> <u>sp.</u>
274*	80m	8 (12)	0 (n.g.)	0 (0)	0 (0.01)
280	100m	0.1 (5)	0.1 (n.g.)	17 (0)	6 (100)
284*	80m	10 (16)	0 (20)	1 (16)	14 (35)
286-314*	80m	7 (100)	0 (n.g.)	0 (0)	0 (0)
	350m	8 (100)	0 (n.g.)	0.4 (100)	0 (100)
340	100m	22 (100)	35 (100)	0.05 (n.g.)	0 (n.g.)
347	100m	5 (56)	0.03 (11)	9 (100)	0 (n.g.)
348	100m	27 (0)	17 (0)	17 (0)	0 (0)

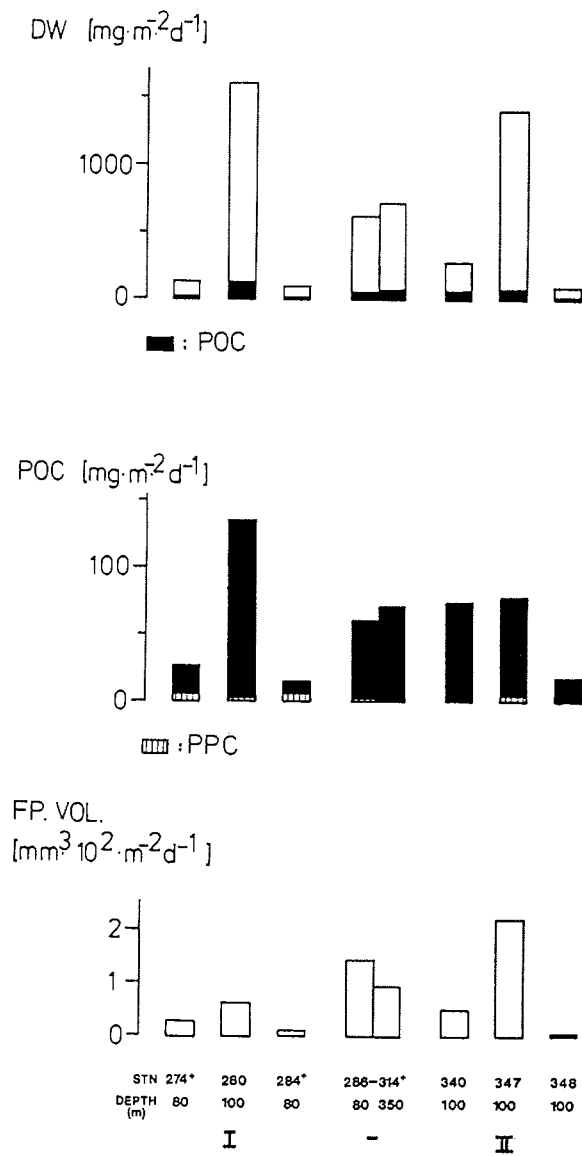


Abb.45a: Sedimentationsraten für Trockengewicht (DW), partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Phytoplanktonkohlenstoff (PPC) und Kotballen (angegeben in Volumeneinheiten FP.VOL.) verankerte Fallen +, Expositionstiefe (Depth, m)

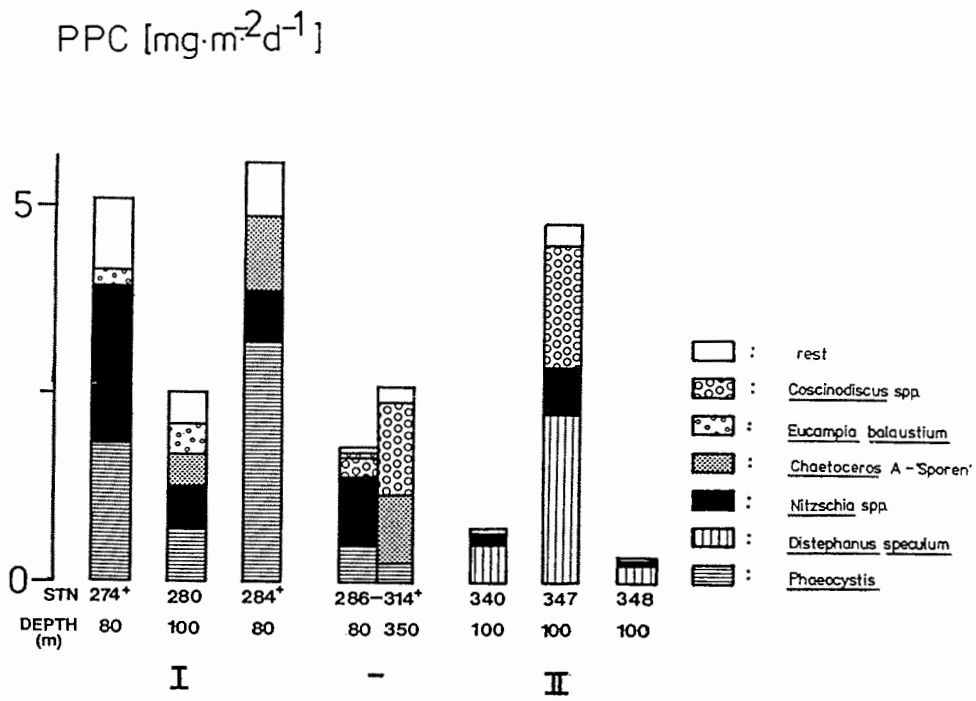


Abb.45b: Sedimentationsraten für Phytoplankton-Kohlenstoff (PPC) verschiedener Arten verankerte Fallen +, Expositionstiefe (Depth, m)

### 3.5. Experimente

#### 3.5.1. Tankexperimente

Während Vestkapp I wurden auf dem südlichsten Schnitt bei Station 252 direkt an der Küste und bei Station 256 im ozeanischen Bereich zwei Tanks mit  $1 \text{ m}^3$  Oberflächenwasser gefüllt. Die Nitrat-Konzentrationen nahmen im mit Küstenwasser gefüllten Tank innerhalb von acht Tagen von  $21$  auf  $0 \text{ mmol m}^{-3}$  ab (Abb.46a). Gleichzeitig stieg die Chlorophyll *a*-Konzentration von  $2.0$  auf  $12.3 \text{ mg m}^{-3}$  und der POC-Gehalt des Wassers von  $372$  auf  $1210 \text{ mg m}^{-3}$  (Abb.46b und c). Im Tank, der mit dem ozeanischen Oberflächenwasser gefüllt war, dauerte die Abnahme des Nitrats länger, bedingt durch die höhere Nährsalz-Konzentration zu Beginn des Experimentes (Abb.46a). Innerhalb von elf Tagen sanken die Nitrat-Werte von  $26.7$  auf  $0 \text{ mmol m}^{-3}$  und der  $\text{Chl}_a$ -Gehalt stieg von  $0.5$  auf  $29.5 \text{ mg m}^{-3}$ , der POC des Wassers stieg von  $143$  auf  $1161 \text{ mg m}^{-3}$  an (Abb.46b und c).

Auffallend beim Vergleich der beiden Tanks war, daß sie mit etwa der gleichen Menge an Nitrat unterschiedlich hohe Phytoplankton-Biomassen in bezug auf die  $\text{Chl}_a$ -Konzentration erreichten. Die POC-Werte waren, unter der Berücksichtigung der unterschiedlichen Nährsalzkonzentrationen zu Beginn der beiden Tankexperimente, hingegen gleich. Pro Mol Nitrat wurden im Küstentank  $39.9 \text{ mg POC}$  und  $0.49 \text{ mg Chl}_a$  und im ozeanischen Tank  $38.1 \text{ mg POC}$  und  $1.09 \text{ mg Chl}_a$  aufgebaut. Dieser Unterschied kann auf die unterschiedliche Arten-Entwicklung in den Tanks zurückzuführen sein.

Die dominanten Phytoplanktonarten in dem Küstentank bezogen auf die Biomasse (PPC) waren *Distephanus speculum* (32 %), *Phaeocystis* sp. (28 %), pennate Diatomeen (verschiedenen *Nitzschia*-Arten, 15 %) sowie kleine *Thalassiosira* spp. (10 %) beim Erreichen der maximalen  $\text{Chl}_a$ -Konzentrationen. Die von den dominanten Arten erreichten Zellzahlen waren für *D.speculum*, *Nitzschia* spp. und *Thalassiosira* spp. etwa um den Faktor zwei bis drei geringer und für *Phaeocystis* um den Faktor zwei bis drei höher als die vor dem Vestkapp in-situ festgestellten Zellzahlen. In dem anderen Tank entwickelte sich fast ausschließlich *N.cylindrus* (80%). Den restlichen Anteil an der Biomasse hatten *N.curta* und Nano-flagellaten während des Phytoplankton-Biomassemaximums. *N.cylindrus* entwickelte in den Tanks 200-300 mal mehr Zellen als im Feld, die Zellzahlen der anderen Arten entsprachen weitgehend den in-situ Verhältnissen.

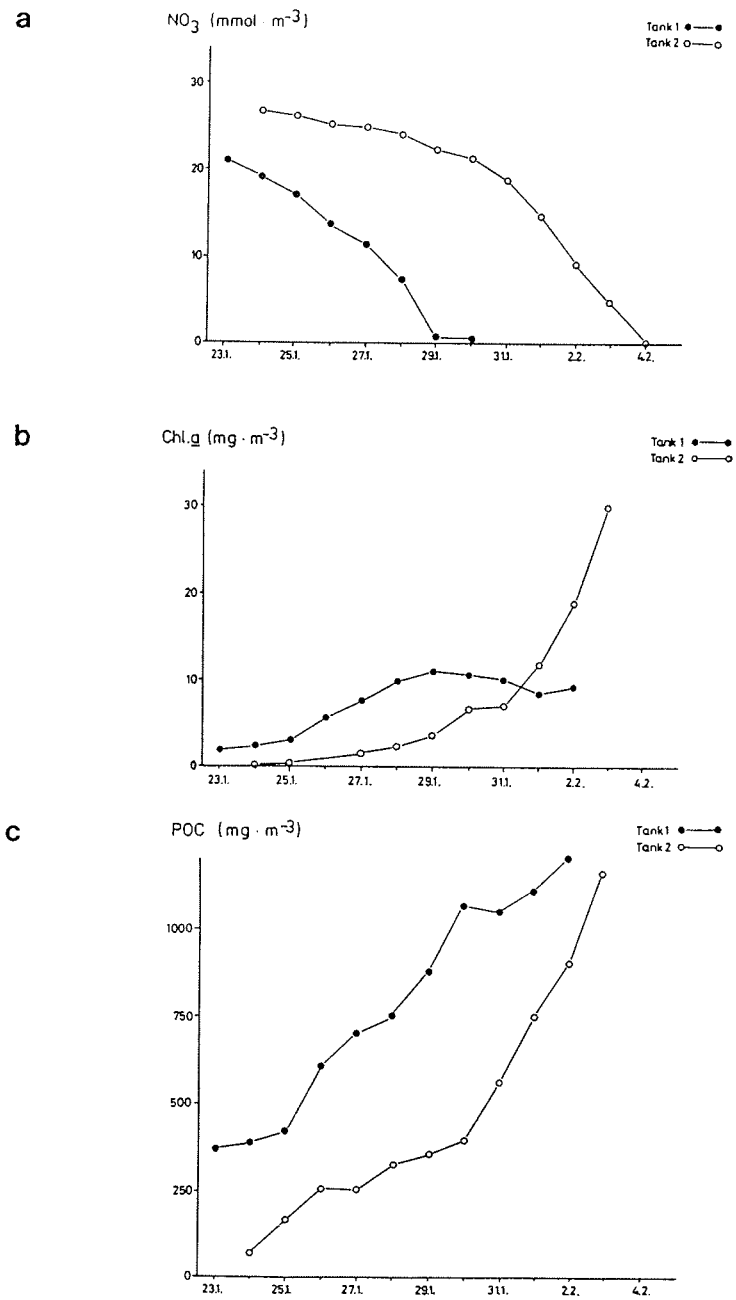


Abb.46 a: Verlauf von Nitrat (NO<sub>3</sub>)  
 b: Verlauf von Chlorophyll a (Chl<sub>a</sub>)  
 c: Verlauf von partikulärem organischen Kohlenstoff (POC) im Küstentank (Tank 1) und im Tank mit Wasser aus dem ozeanischen Bereich (Tank 2)

### 3.5.2. Kulturexperimente

In Tabelle 11 sind die Zellzahlen der Arten, bei denen Wachstum in den Kleinbehältern festzustellen war, aufgeführt. Während der ersten zwei bis drei Wochen war kein bemerkenswertes Wachstum der Algen erkennbar. Danach stiegen die Zellzahlen innerhalb von einer Woche rapide an. Am Ende der Experimente waren, neben vegetativen Zellen, zahlreiche Sporen in den Kleinbehältern, beim Betrachten der Wasserproben mit dem Mikroskop zu erkennen.

In den, auf dem südlichsten Schnitt in Küstennähe, während Vestkapp I gefüllten Säcken dominierten Thalassiosira spp. und Chaetoceros A Zellen. Allerdings wuchsen beide Arten nicht gut im Wasser von STN 253 aus 450 m und STN 254 aus 2280 m. Im Wasser, das aus der Oberflächenschicht (STN 252, 50 m) genommen wurde, wuchs Thalassiosira spp. nicht gut. Eucampia balaustium und Phaeocystis sp. zeigten in diesen Säcken ein gutes Wachstum. In den auf der STN 270 (Schnitt 4, Ozean) gefüllten Behältern konnte kein Wachstum festgestellt werden. Nur in dem Wasser, daß aus 300 m Tiefe stammte und dem Licht ausgesetzt wurde, war vom 26. bis zum 47. Versuchstag ein kräftiges Wachstum von Phaeocystis, N.cylindrus, N.curta und von Nanoflagellaten zu erkennen.

In den beiden auf STN 329 (Schnitt 3, Küste) während Vestkapp II gefüllten Säcken entwickelte sich nur in dem Sack Phytoplankton, der Wasser aus 300 m Tiefe enthielt. Neben den oben erwähnten Arten zeigte Rhizosolenia alata f. indica, die zu Beginn des Versuches viele Zellen in der in 3.3.2. beschriebenen Sonderform aufwies, ein gutes Wachstum. Aus diesen Zellen wurden bei der Teilung wieder "normale" vegetative Zellen (Tochterzellen), während die Mutterzellen weiterhin eine spitz zulaufende Valve aufwiesen.

In den Versuchsbehältern, in denen Sedimentproben in filtriertem Seewasser inkubiert waren, zeigte sich bis auf eine Ausnahme bei der Inkubation im Licht über drei Monate nur langsames Wachstum. In diesen Proben waren bei der ersten mikroskopischen Untersuchung fast keine lebenden Zellen erkennbar. Es wuchsen in den Behältern, die Sediment von STN 249, 252 und 289 enthielten, wiederum eine Thalassiosira-Art (ca. 15-20 µm im Durchmesser) und Chaetoceros A Zellen. Ebenfalls wuchsen einige pennate Diatomeen, meist große kettenbildende Arten. Auch hier konnten sich wie in den anderen Experimenten die wenigen noch lebensfähigen Zellen durch Teilung erneut vermehren.

Diese Ergebnisse zeigen einerseits, daß die Zellen und Sporen, die in größeren Wassertiefen angetroffen wurden noch wachstumsfähig waren und aus ihren Sporen wieder auskeimen konnten. Andererseits ist zu erkennen, daß das Saat Potential wichtiger als die jeweilige Wachstumsrate einzelner Algen für die Dominanzverhältnisse in einer Gemeinschaft sein kann.

Die hier erhaltenen Ergebnisse waren nicht von Zooplanktern modifiziert. Metazooplankter waren nur etwa mit 4-5 Individuen pro m<sup>3</sup> (grob abgeschätzt nach den Ergebnissen von Hubold et al. 1988) im Wasser vorhanden und in beiden Experiment-Typen wurden keine produzierten Kotballen angetroffen. Die Protozooplankter zeigten kaum Wachstum in den Tanks und waren in den ausgezählten Proben der Kulturexperimente nicht vorhanden.

Tab.11: Zellzahlen der in den Kulturexperimenten gewachsenen Zellen.  
In Klammern Anzahl der Sporen in %.

INKUBATIONSEXPERIMENTE (Zellzahl/L)							
Station	Datum	Tage	<u>Thalassiosira</u>	<u>Chaetoceros A</u>	<u>Eucampia</u>	<u>Rhizolenia</u>	<u>Phaeocystis</u>
(Tiefe)	("Sporenteil" %)						
252	24.1.		-	-	400	40	5444
(50m)	24.1.-26.1.	2	363 ( 1)	960	320	-	117936
	24.1.-31.1.	7	300	10200	3600	760	1804210
	24.1.-14.2.	21	52270	1080000	29000	1200	742974
(380m)	24.1.		40 (13)	-	-	-	-
	24.1.-31.1.	7	200	40800	-	60	212174
	24.1.-14.2.	21	6600	207186	-	580	1064250
	24.1.-21.2.	28	4800 ( 2)	212264	-	-	1656000
	24.1.-28.2.	35	446660 ( 4)	6054000 (57)	-	1700	20802000
(410m)	24.1.		9 (100)	-	7	-	-
	24.1.-31.1.	7	240	35700	-	40	26205
	24.1.-14.2.	21	300	17000	1104	-	-
	24.1.-21.2.	28	8832	-	-	-	-
	24.1.-28.2.	35	476000 (14)	12099048 (52)	-	4620	-
253	24.1.		566 (87)	11457 (97)	1	20 (65)	-
(450m)	24.1.-31.1.	7	260 (15)	65450	-	180	5241
	24.1.-14.2.	21	2208	66156	-	100	-
	24.1.-21.2.	28	2840 ( 2)	44913	-	-	-
	24.1.-28.2.	35	11552 ( 1)	178291	-	-	-
(880m)	24.1.		594 (99)	8905 (100)	-	-	-
	24.1.-31.1.	7	440 (23)	39950 (16)	-	-	-
	24.1.-14.2.	21	11816	73100 ( 3)	-	-	-
	24.1.-21.2.	28	492660	8331000	-	-	-
	24.1.-28.2.	35	829860 ( 2)	1783212 (79)	-	-	-
	24.1.-14.3.	49	345300 (49)	10378000 (100)	-	-	-
254	24.1.		2	-	-	-	-
(2280m)	24.1.-31.1.	7	20	-	-	-	-
	24.1.-21.2.	28	100	-	-	-	-
	24.1.-28.2.	35	860	-	-	-	-
	24.1.-14.3.	49	540 (69)	-	-	-	-
270 s.Text							
325	14.2.		129 (100)	1035 (100)	76	210 (25)	-
(300m)	14.2.-28.2.	14	210	2882	-	100	-
	14.2.-10.3.	24	1950	-	3220	2260	-
	14.2.-17.3.	31	4367	1018848	9520	11760	-
	14.2.-24.3.	38	-	2865510	15936	-	-
(1800m)	14.2.		51 (100)	3267 (100)	-	-	-
	14.2.-28.2.	14	180	4883	-	-	-
	14.2.-10.3.	24	2220	-	-	-	-
	14.2.-17.3.	31	4660	17693	-	-	-
	14.2.-24.3.	38	2500 (25)	360	-	-	-
	14.2.-31.3.	45	960 (63)	14971	-	-	-

#### 4. Diskussion

Zu Beginn der Diskussion werden physikalische, chemische und biologische Faktoren, die einen Einfluß auf die Entwicklung des Phytoplanktons haben allgemein diskutiert, um dann in ihrer Bedeutung für die vor dem Vestkapp beobachtete Entwicklung gewichtet zu werden. Vor diesem Hintergrund wird daran anschließend das vorgefundene Erscheinungsbild des Phytoplanktons und die Biologie der dominanten Arten vor dem Vestkapp diskutiert. Abschließen wird diese Arbeit mit einer Schlußbetrachtung, Perspektiven für zukünftige Unternehmungen im Weddellmeer werden kurz dargestellt.

Folgende Faktoren werden behandelt:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| a) physikalisch-chemische Umwelt: | -Temperatur<br>-Nährsalzangebot<br>-Sonneneinstrahlung, Lichtklima<br>-Advektion<br>-Meereis                          |
| b) Biologie der Organismen:       | -spezifische Wachstumsraten<br>-Grazing<br>-Lebenszyklen (Wachstums- und Ruhephasen)                                  |
| c) Sedimentation:                 | -des Phytoplanktons selbst<br>(ungünstige Wachstumsbedingungen, endogener Rhythmus)<br>-von Kotballen (durch Grazing) |
| d) Saat Potential:<br>("seeding") | -aus dem Pelagial<br>-aus dem Eis<br>-vom Sediment  |

Die aufgelisteten Faktoren haben je nach Jahreszeit unterschiedliche Bedeutung als Einflußgrößen. Vor dem Vestkapp, einem besonders vom Antarktischen Küstenstrom beeinflussten Gebiet, fließen Wassermassen unterschiedlichen Ursprungs verhältnismäßig schnell vorbei. Das Bild, das sich aus den gemessenen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern für das Gebiet vor dem Vestkapp ergibt (Abb.1-46), ist das Ergebnis sowohl einer individuellen Vorgeschichte jedes einzelnen Parameters als auch ihrer wechselnden gegenseitigen Beeinflussung. Vor diesem Hintergrund soll ebenfalls geprüft werden, inwieweit die Ergebnisse vor dem Vestkapp während der Sommerperiode vom 22.Januar bis 22.Februar eine saisonale Entwicklung, wie sie aus anderen, aber weiter nördlich gelegenen, Teilen des südlichen Ozeans beschrieben worden ist (Hart 1934, 1942, Hasle 1969, Bodungen et al. 1986), erkennen lassen.



#### 4.1. Wachstumsraten und Biomasseakkumulation beeinflussende Faktoren (Temperatur, Nährsalze, Lichtregime, Hydrographie, Grazing und Sedimentation).

Die Oberflächentemperaturen in antarktischen Gewässern schwanken im Jahresverlauf etwa zwischen -1.8 und 5 °C. In den südlicheren Gebieten steigen die jährlichen Höchsttemperaturen nur etwa bis 0.5 °C an. Die Wachstumsraten der Phytoplankter können nach der von Eppley (1972) ermittelten mathematischen Beziehung in diesem Temperaturbereich eine Verdopplung pro Tag nicht übersteigen. Oft liegen die Verdopplungszeiten für antarktisches Phytoplankton unter diesen theoretisch berechneten Werten (Heywood und Whitaker 1984). Die Algen in den antarktischen Gewässern zeigen einen minimalen Km-Wert der D-Ribulose-1,5-biphosphat-Carboxylase bei 4,5 °C. Algen, die aus temperierten Gewässern stammen, weisen einen minimalen Km-Wert dieses Enzyms bei 20 °C auf, so daß angenommen wird, daß dieses Enzym beim antarktischen Phytoplankton temperaturadaptiert ist (Descolas-Gros und DeBilly 1987). Maximale Wachstumsraten erreichen die antarktischen Algen meistens bei Temperaturen zwischen 5 und 8 °C. Bei Temperaturen über 10 °C wachsen sie nicht mehr (Neori und Holm-Hansen 1982).

In der Vestkapp-Box lagen die Temperaturen im Oberflächenwasser zwischen -1.6 und 0.6 °C. Einen Einfluß auf die Wachstumsraten bei so geringen Schwankungen in der Temperatur kann ausgeschlossen werden. Dieses drückt sich auch in der geringen Schwankungsbreite der Assimilationszahlen aus. Die Wachstumsraten der dominanten Arten in den Tankexperimenten, die ähnlichen Temperaturfluktuationen ausgesetzt waren, blieben ebenfalls gleich.

Durch die hohen Nährsalzkonzentrationen (Makronährsalze) im Südpolarmeer, auch nach Blütenphasen, wird von allen Autoren ein Einfluß der Nährsalze auf die Phytoplanktonentwicklung in der Antarktis ausgeschlossen (z.B. Sakshaug und Holm-Hansen 1984, Hayes et al. 1984, Holm-Hansen 1985, v.Bodungen et al. 1986). Allerdings zeigen die neusten Ergebnisse von Smetacek et al. (subm.), daß es bei "Untereisblüten", die sehr früh zu Beginn der Wachstumsphase auftreten können, zur völligen Erschöpfung der Nährsalze in den oberen Dezimetern der Wassersäule kommen kann. Nelson und Smith (1986) verzeichneten ebenso eine Nährsalzerschöpfung auf einer Station in der Ross See, bei einer lang anhaltenden, durch schmelzendes Eis hervorgerufenen Stabilisation des Oberflächenwassers. Die Makronährsalze (Nitrat, Phosphat und Silikat) nahmen innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraumes vor dem Vestkapp erheblich ab. Dennoch waren ihre absoluten Mengen zu Ende der Untersuchung noch so hoch, daß sie nicht das Phytoplankton Wachstum limitieren konnten.

Von einigen Autoren wird vermutet, daß Spurenelemente und andere Mikronährsalze (Vitamine bzw. Magnesium, Eisen u.a.) einen Einfluß auf die Biomasse-Akkumulation haben könnten (Heywood und Whitaker 1984). Hayes et al. (1984) und Jaques (1983) konnten in Experimenten diese Annahme nicht bestätigen. Die Ergebnisse, die in dieser Untersuchung durchgeführten Tankexperimente zeigten ebenfalls, daß allein die Makronährsalze das Phytoplankton Wachstum begrenzen konnten.

Das Phytoplankton polarer Breiten ist im Jahresverlauf enormen Lichtfluktuationen ausgesetzt (Heywood und Whitaker 1984, Sakshaug in press). Sakshaug und Holm-Hansen (1986) vermuten, daß die saisonal sich ändernde Sonneneinstrahlung und das sich daraus ergebende Lichtregime die Hauptursache für Variationen innerhalb der Wachstumsraten sind.

Die Lichtverhältnisse (Sonneneinstrahlung und Lichtregime) waren während der einmonatigen Untersuchungen in der Vestkapp-Box etwa gleich (Einstrahlung I: 3.60 kWh m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, II: 4.06 kWh m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). Die Tiefe der Deckschicht zeigte dabei nur

geringe Schwankungen, die Stabilisation der Wassersäule nahm leicht zu, so daß für das Phytoplankton ein günstiges Lichtregime und deshalb ideale Wachstumsbedingungen vorherrschten. Doch die vor dem Vestkapp angetroffenen Wassermassen waren nicht gleichen, sondern verschiedenen Ursprungs. Die beobachteten Biomasse-Akkumulationen und Artenzusammensetzungen spiegeln daher auch die eventuellen unterschiedlichen Vorgeschichten der Lichtklimata wider.

Während die bisher beschriebenen Faktoren überwiegend die Wachstumsraten beeinflussen, unterliegt die aus den Wachstumsraten resultierende Biomasse-Akkumulation auch anderen Einflußgrößen, wie zum Beispiel der Dauer hydrographisch günstiger Bedingungen, Grazing und Sedimentation. Die Tiefe der Deckschicht und die Dauer stabiler, wachstumsfördernder Schichtungsverhältnisse üben einen entscheidenden Einfluß auf die Biomasse-Akkumulation aus. In der Arktis bildet sich bei zunehmender Lichtintensität und darauf folgender Eisschmelze im Frühjahr eine flache stabile Deckschicht aus. Diese kann für den Beginn des Phytoplankton-Biomasseaufbaus verantwortlich gemacht werden (z.B. Sverdrup 1953, Rey and Loeng 1985). In der Antarktis werden Planktonblüten häufig auch in der Nähe von schmelzendem Eis angetroffen (El-Sayed 1967, v. Bodungen et al. 1986, Nelson und Smith 1986, Smetacek et al. subm.). Jedoch wechseln sich in der Antarktis stabile Schichtung mit turbulenter Durchmischung häufig ab. Schon Hart (1934) vermutete, daß physikalische Faktoren, wie die Stabilität der lichtdurchfluteten Zone, entscheidend für die regionalen und saisonalen Unterschiede im Phytoplankton-Vorkommen in der Antarktis sein könnten. In den folgenden Jahren konnten diese Vermutungen bestätigt werden (z.B. El-Sayed und Mandelli 1965, Holm-Hansen et al. 1977, Sakshaug und Holm-Hansen 1984, v. Bodungen et al. 1986, Priddle et al. 1986, Sakshaug in press).

Hart (1934) vermutete, daß das Metazooplankton-Grazing Ursache für den Rückgang der Phytoplanktonbiomasse im Frühjahr war, wobei er regionale und saisonale Unterschiede annahm. Speziell der Krill kann durch das Schwarmbilden und saisonale Wanderungen solche Unterschiede hervorrufen (z.B. Priddle et al. 1986). Witek et al. (1982) und v. Bodungen et al. (1986) sprechen großräumig von einem geringen Einfluß der Grazer auf das Phytoplankton. Allerdings vermuten v. Bodungen (1986) und v. Bodungen et al. (1987), daß der Krill durch starkes Grazing lokal den Biomasseanstieg des Phytoplanktons dämpfen kann. Bidigare et al. (1986) sehen im Grazing allgemein eher eine Modifikation als eine Kontrolle des Biomasseaufbaus des Phytoplanktons. Während über die Bedeutung des Krills sehr ausführlich in der Literatur diskutiert wird, liegen über andere Mitglieder der Metazooplankton-Gemeinschaft weniger Kenntnisse vor (Hempel 1985b, Hopkins 1985, Schnack 1985).

Erst in den letzten Jahren ist die Bedeutung des Protozooplanktons als wichtiger Teil innerhalb des Nahrungsnetzes erkannt worden (Fenchel 1987), so daß der Einfluß des Protozooplanktons auf die Phytoplanktonbiomasse bisher kaum beachtet wurde. Nur Lohmann (1920) beschrieb schon früh, anhand seiner ausführlichen mikroskopischen Analysen, daß die Protozoen als wichtige Organismen im pelagischen System anzusehen sind. Dodge und Priddle (1987) und Heinbokel und Coats (1986) weisen darauf hin, daß es auch im Südpolarmeer nur wenig Untersuchungen gibt, die sich mit der ökologischen Rolle der Protozoen im Pelagial der antarktischen Gewässer beschäftigen. v. Bröckel (1981) fand eine relativ hohe Protozooplanktonbiomasse in der Bransfieldstraße. Auch Hewes et al. (1985) berichten von hohen Protozooplankton Biomassen und stellten einen starken Einfluß des Protozooplankton-Grazings auf die Phytoplanktonbiomasse fest.

Der Verlust von Phytoplankton durch Absinken aus der euphotischen Zone ist ein weiterer wichtiger Punkt, der die Biomasse-Akkumulation im Pelagial beeinflusst. Peinert (1986a und b) beschreibt zwei charakteristische Sedimentationsmuster für das Pelagial. Er unterscheidet Sedimentations- und Retentionsketten auf der Basis der dem Phytoplankton zum Wachstum zur Verfügung stehenden Nährsalze. Der "neuen" Produktion wird eine Sedimentationskette zugeordnet und der "regenerierten" Produktion wird eine Retentionskette zugeordnet. Das Massenabsinken von Phytoplankton, nach Nährsalzverarmung in der euphotischen Zone, besonders bei Diatomeen, die im turbulenten nährsalzreichen Milieu hohe Biomassen akkumuliert haben, ist für die Küstengewässer der temperierten Breiten beschrieben worden (Peinert et al. 1982, Angel 1984, Smetacek et al. 1984, Peinert 1986a). Im Sommer hingegen ist die Sedimentation sehr viel geringer, die Sinkstoffe bestehen aus Detritus und Kotballen. Diese Kotballensedimentation ist jedoch abhängig von der spezifischen Grazer-Gemeinschaft und der Beschaffenheit der Kotballen; einige Herbivore produzieren kompakte, schnell sinkende Kotballen, andere nicht (z.B. Smetacek 1980, Bathmann 1984, Peinert 1986a und b, Bathmann et al. 1987, v. Bodungen et al. 1987).

Untersuchungen zur Sedimentation, die von Wefer et al. in der östlichen Bransfieldstraße (1988) und im nördlichen Weddellmeer mit Jahresverankerungen durchgeführt wurden, zeigten eine große Heterogenität des Partikelflusses in Raum und Zeit (Fischer und Wefer 1987). Der Partikelfluß wies nur innerhalb von zwei Monaten im Jahr hohe Werte auf. Diese maximalen Werte der Sedimentation im Jahresverlauf wurden in der Bransfieldstraße zwischen November und Januar und im Weddellmeer zwischen Januar und März erreicht. So sind auch hier in der Sedimentation eine ausgeprägte Saisonalität sowie regionale Unterschiede erkennbar. Allerdings wurde in den Weddellmeer Fallen nur etwa 1/100 des in den Bransfield-Verankerungen verzeichneten Partikelflusses gemessen. In den Verankerungen in der Bransfieldstraße wurden hauptsächlich Teile von Krillkotschnüren und zerschreddete Diatomeenschalen gefunden, wohingegen in den Weddellmeer Fallen vorwiegend rundliche Kotballen, die viele intakte Schalen von pennaten Diatomeen enthielten, beobachtet wurden (Fischer und Wefer 1987). Kurzzeitexperimente mit Sinkstoff-Fallen, die begleitend zu den Verankerungen von Wefer et al. in der östlichen Bransfieldstraße gemacht wurden, zeigten noch zusätzlich eine starke Fluktuation in der täglichen gemessenen Sedimentationsrate der Krillkotschnüre (v. Bodungen 1986 und v. Bodungen et al. 1987).

Bisher wurden Wachstumsraten und Biomasseakkumulation und die sie beeinflussenden Faktoren für die gesamte Phytoplanktonpopulation diskutiert. Die Dominanz einzelner Arten in einer solchen Population kann jedoch auch in starkem Maße durch andere Faktoren hervorgerufen werden. Hierauf wird in Abschnitt 4.2. eingegangen.

Vor dem Vestkapp beeinflussen die advektiven Prozesse das Erscheinungsbild des Phytoplanktons. Wie schon in den Ergebnissen dargestellt (3.1.1.), bewegen sich die Hauptwassermassen des Weddellmeers in Form eines großen zyklonischen Wirbels (Deacon 1979). Der südwestwärts gerichtete Antarktische Küstenstrom erreichte während dieser Untersuchung in den oberen 50 m der Wassersäule Geschwindigkeiten von 20-40 cm s<sup>-1</sup> und die drei küstennächsten Stationen aller Schnitte lagen in seinem direkten Einflußbereich. Nördlich und südlich vom Vestkapp waren wesentlich geringere Wassertiefen, durch die unter der Eiskante hervortretenden Schelfe anzutreffen, als dies direkt vor dem Vestkapp der Fall war. Dadurch wird die Wirkung des Küstenstroms zusätzlich von den topographischen Gegebenheiten stark beeinflusst.

Die Schichtungsverhältnisse vor dem Vestkapp (Abb.3-8) lassen den Einfluß von Schmelzwasser (höhere Temperaturen, niedrigere Salzgehalte) erkennen. Diese Schichtung war während Vestkapp II stärker ausgeprägt als während Vestkapp I. Daraus läßt sich ableiten, daß zwischen beiden Untersuchungen das Oberflächenwasser von leichterem Wasser verdrängt und/oder überschichtet wurde. Das Schmelzwasser kann nicht aus dem Untersuchungsgebiet und seiner weiteren Umgebung stammen, da hier kein Meereis angetroffen wurde, und das Abschmelzen an der Schelfeiskante von untergeordneter Bedeutung war (Hellmer pers. Mitteil.). Das Schmelzwasser muß also überwiegend aus dem ozeanischen Bereich im Norden und Westen der Vestkapp-Box stammen. Der Küstenstrom nimmt aus dem ozeanischen Bereich leichteres Oberflächenwasser auf und führt dieses als "Schmelzwasserlinsen" mit sich an der Eiskante entlang. Durch einen Vorsprung des Riser-Larsen-Eisschelfs wird der Küstenstrom abgelenkt. Dabei können die mitgeführten Wassermassen aufgrund von Trägheitskräften bis in den ozeanischen Bereich geführt werden. Diese Darstellung soll die Dynamik der hydrographischen Verhältnisse in der Vestkapp Box veranschaulichen. Die hieraus resultierenden Vermischungs- und Überschichtungsvorgänge sind anhand von Temperatur und Salzgehalt teilweise ablesbar. Besonders deutlich lassen sich Überschichtungsvorgänge im Zusammenhang mit der Biomasse- und Artenverteilung verbildlichen.

Die Wasserkörper, in denen die küstennahen Chlorophyll *a*-Oberflächenmaxima und küstenfernen Maxima unterhalb der Oberfläche gefunden worden, zeigen ähnliche T/S Charakteristika (schweres Wasser) während der Vestkapp I-Phase (Abb.3-5 und 15). Die Artengemeinschaften in diesen Maxima wurden jeweils von *Phaeocystis* in unterschiedlichen Entwicklungsstadien dominiert. Die in-situ bestimmten Assimilationszahlen der Populationen in den Chlorophyll *a*-Maxima unterhalb der Deckschicht waren sehr niedrig (v.Bodungen et al. 1988), so daß ausgeschlossen werden kann, daß diese Chlorophyll *a* Akkumulationen in der Tiefe entstanden sind. Diese Vorgänge können auch zur Erklärung der stark schwankenden Primärproduktion (Tabelle 2) herangezogen werden. Da die Assimilationszahlen in dem Oberflächenwasser nur sehr geringe Schwankungen zeigten (v. Bodungen et al. 1988), ist die Höhe der Primärproduktionsraten fast ausschließlich auf den Grad der Biomasse-Akkumulationen zurückzuführen. Produktionsraten und Biomassen geben somit einen Hinweis auf die Verweildauer eines Wasserkörpers mit günstigen Wachstumsbedingungen an der Oberfläche. Einen ähnlichen Hinweis geben auch die Nährsalzkonzentrationen, die von Vestkapp I bis Vestkapp II zwar generell abnahmen, aber innerhalb beider Untersuchungsphasen starke räumliche Unterschiede aufwiesen. Die sehr niedrigen Konzentrationen in einigen Wasserkörpern während Vestkapp II (Tab.2) zeigen, daß die darin lebenden Populationen die längste ungestörte Aufbauphase, ohne vertikale Durchmischungsvorgänge, hatten. Eine genaue Bestimmung der "Lebensdauer" dieser Wasserkörper ist nicht möglich. Zeiten, die für eine bestimmte Biomasse-Erhöhung beziehungsweise Nährsalzabnahme charakteristisch sind, wurden nur in den Zeitserien-Messungen in den Tanks ermittelt (3.5.). Diese günstigen Verhältnisse in den 1 m<sup>3</sup> Tanks lassen sich jedoch nicht direkt auf die in-situ Bedingungen in der 30-50 m tiefen euphotischen Zone übertragen.

Untersuchungen zur Zusammensetzung des Zooplanktons, die während unserer Expedition im Weddellmeer von einer anderen Arbeitsgruppe durchgeführt worden sind (Hempel 1985a), bestätigten die von Boysen-Ennen (1987) und Piatkowski (1987) gemachten Beobachtungen, daß eine Schelf- und eine ozeanische Zooplankton-Gemeinschaft in der östlichen Weddellmeer existieren (Hubold et al. 1988). Während der Untersuchungen vor dem Vestkapp veränderte sich die Zooplanktongemeinschaft in ihrer Arten-Zusammensetzung im Oberflächenwasser erheblich von Vestkapp I zu Vestkapp II. Hubold et al. (1988) vermuten, daß der Küstenstrom für einen Wegtransport der zuerst gefundenen Oberflächen-Gemeinschaft vor dem Vestkapp verantwortlich sein kann. Diese Ergebnisse

stimmen mit den Resultaten zur Phytoplankton-Entwicklung vor dem Vestkapp in dieser Arbeit überein.

Die Veränderung der Phytoplanktongemeinschaft vor dem Vestkapp durch Grazing kann sowohl von Metazooplanktern als auch von Protozooplanktern verursacht worden sein. Die Individuendichte des Metazooplanktons war während dieser Untersuchung bei beiden Meßkampagnen nicht sehr hoch (Hubold et al. 1988), so daß das Grazing der Metazooplankter unwichtig für die unmittelbare Phytoplanktonentwicklung zu sein scheint. Dies unterstützen auch die Sinkstoffallen-Sammlungen, in denen kaum Metazoen-Faeces gefunden wurden.

Das Protozooplankton in der Vestkapp-Box wies relativ hohe Biomassen im Vergleich zum Phytoplankton auf. Teilweise überstiegen die errechneten Biomassen des Protozooplanktons die des Phytoplanktons (3.3.1.). Ähnliche Verhältnisse wurden auch bei der Schifffahrt durch den Filchner-Graben gefunden (v. Bodungen et al. unveröff. Daten). Die Hauptbiomasse der Protozoen bestand aus größeren Organismen (nackten heterotrophen Dinoflagellaten >30 µm, 42 % und Ciliaten > 30 µm, 54 %), die teilweise ingestierte Phytoplanktonzellen enthielten.

Bei Phagotrophie aller großen Protozooplankter (Ciliaten und heterotrophe Dinoflagellaten) vor dem Vestkapp würde diese pelagische Komponente ein großes Grazerpotential darstellen. Heinbokel (1978) und Beers und Stewart (1970) stellten in Laborversuche fest, daß Ciliaten in der Lage sind, bis zum Dreifachen ihres eigenen Kohlenstoffgehaltes pro Tag aufzunehmen. Die Ernährungsweise und ökologische Bedeutung der Ciliaten ist weitaus mehr beschrieben worden als die der heterotrophen Dinoflagellaten (Fenchel 1987). Balech und El-Sayed (1965) fanden ingestierte Phytoplankter in einigen heterotrophen Dinoflagellaten in der Antarktis. Balech (1970) betont auch, daß sich besonders die athekaten Dinoflagellaten des Südpolarmeeres heterotroph ernähren müssen und vermutet, daß diese Dinoflagellaten hauptsächlich durch Phagocytose Nahrung aufnehmen.

Smetacek (1981, 1984) beobachtete in der Kieler Bucht ebenfalls zahlreiche Protozooplankter mit ingestierten Phytoplanktonzellen. Burkill et al. (1987) bestimmten in der Keltischen See, daß Mikrozooplankton, überwiegend aus Ciliaten bestehend, bis zu 65 % des Phytoplankton "standing stock" fressen können. Diese Autoren stellten dabei sogar ein selektives Freßverhalten fest. Verity (1986, 1987) berichtet von ähnlichen Ergebnissen in der Narragansett Bay. Das Größenspektrum der Phytoplankter, die von Protozooplankton gefressen werden, kann weit über die Körpergröße dieser Grazer hinausgehen (Smetacek 1981). Spero und Moree (1981), Gaines und Taylor (1984), Jacobson und Anderson (1986) berichten, daß sogar bepanzerte Dinoflagellaten Phytoplankter in einer Art Schleimsack extrazellulär verdauen. Dodge und Priddle (1987) vermuten, daß die großen heterotrophen Dinoflagellaten in der Antarktis sich phagotroph ernähren und Diatomeen ihre Hauptnahrungsquelle sein könnten.

Ein indirekter Hinweis für Protozooplankton Grazing wurde in den Sinkstoffallen vor dem Vestkapp gefunden. Sie enthielten häufig zahlreiche rundliche Kotballen (50-300 µm), in denen Phytoplankter (vor allem pennate Diatomeen) erkennbar waren. Neben den Dinoflagellaten und Ciliaten könnten Radiolarien und Foraminiferen, die in angereicherten Wasserproben und in den Sinkstoffallen gefunden wurden, auch für diese Art Faeces verantwortlich sein. Diese Organismen "spinnen Schleim-Netze" mit ihren Rhizopodien und können damit größere Phytoplanktonzellen festhalten und verdauen (Fenchel 1987). Spindler und Dieckmann (1986) fanden im Meereis große Mengen von Foraminiferen. Diese könnten daher neben Ciliaten und heterotrophen Dinoflagellaten in den ohnehin schon erwähnten Schmelzwasserlinsen bei pelagischer Lebensweise einen Einfluß auf die Phytoplanktonbiomasse gezeigt haben.

Der Einfluß der Bakterien, als weitere heterotrophe Komponente, kann aus dieser Untersuchung nicht abgeschätzt werden. Die niedrigen POC:PON-Verhältnisse bei 5:1 und die vergleichsweise hohen POC:Chl<sub>a</sub>-Verhältnisse um 283:1 zeigen jedoch,

daß heterotrophe Prozesse generell - pelagischer Abbau der autotrophen Biomasse - im Pelagial von größerer Bedeutung sind als während antarktischer Frühjahrsblüten. Für letztere fanden v.Bodungen et al. 1986 und 1987 etwas höhere POC:PON-Verhältnisse und POC:Chl<sub>a</sub>-Verhältnisse von nur 40:1-60:1. Die Partikelzusammensetzung vor dem Vestkapp, beschrieben mit obigen Verhältnissen, entspricht der, die für den Sommer in Küsten- und Schelfgewässern berichtet wird (Smetacek 1975, Smetacek und Hendrikson 1979, Peinert 1986a). Einen Hinweis auf erhöhte pelagische Remineralisierung geben auch die erhöhten Ammoniak-Konzentrationen im tieferen Teil der euphotischen Zone an der Sprungschicht (v. Bodungen et al. 1988).

Für den pelagischen Abbau der autotrophen Biomasse sind nach den vorliegenden Ergebnissen aus den Vestkapp-Untersuchungen weniger die Metazoen und mehr die Protozoen und Bakterien verantwortlich zu machen.

Neben den Kotballen setzten sich die Sinkstoffe aus Detritus, toten und plasmahaltigen Phytoplanktonzellen und Sporen zusammen. Diese Zusammensetzung entspricht den von Fischer und Wefer (1987) im nördlichen Weddellmeer beobachteten Zusammensetzung der Sinkstoffe. Eine starke Sedimentation von Phytoplanktonzellen, wie in temperierten Breiten nach Frühjahrsblüten und wie es aus der Bransfieldstaße bei verschlechterten Lichtbedingungen (v.Bodungen et al. 1986) berichtet wird, fand während der Vestkapp-Untersuchung nicht statt. Menge und Zusammensetzung der Sinkstoffe vor dem Vestkapp unterstrichen den "sommerlichen Charakter" des pelagischen Systems, der durch Remineralisierung in der Wassersäule und geringen Partikelfluß gekennzeichnet ist (Peinert 1986a).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das vor dem Vestkapp gefundene Erscheinungsbild der Primärproduktion und Biomasse-Akkumulation in starkem Maße von advektiven Wasserbewegungen beeinflußt worden ist. Räumliche und zeitliche Schwankungen der Produktion und Biomasse umspannen dabei einen weiten Bereich (109- 1088 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, 20-102 mg Chl<sub>a</sub> m<sup>-2</sup>).

Nach den Ergebnissen von El-Sayed und Mandelli (1965), v.Bröckel (1981, 1985), El-Sayed und Taguchi (1981), El-Sayed (1971) könnte das Weddellmeer in eine nördliche und zentrale Region geringerer Produktivität (100- 300 mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) und eine südöstliche Region höherer Produktivität (400-700 mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) eingeteilt werden. Hierbei würde jedoch der saisonale Aspekt außer acht gelassen werden. So stammen die verglichenen Werte für das nördliche Weddellmeer aus dem Spätsommer und für das südliche Weddellmeer aus dem Frühjahr. Die Primärproduktionsmessungen im küstennahen und ozeanischen Bereich vor dem Vestkapp zeigen, daß eine solche regionale Einteilung wenig sinnvoll ist. Auch die Ergebnisse von Marra und Boardman (1984), die im nördlichen Weddellmeer Produktionswerte um 300-400 mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> im Frühjahr an der zurückweichenden Eiskante gemessen hatten, sprechen gegen eine solche Einteilung.

Die bisherige Diskussion zeigt, daß das heterogene Bild vor dem Vestkapp der Ausdruck einer saisonalen Entwicklung in größeren räumlichen Skalen ist, als durch die Größe der abgefahrenen Box gegeben ist. Wenn auch keinem der Wachstums- und Biomasse beeinflussenden Faktoren eine definierte Rolle zugewiesen werden kann, so zeigt jedoch der Vergleich von Frühjahrs- und Sommeruntersuchungen in der Antarktis deutlich, daß vor dem Vestkapp ein sommerliches Stadium der jährlichen Phytoplanktonentwicklung angetroffen wurde. Inwieweit vor diesem Bild ein Sukzessionsverlauf im Phytoplankton abgeleitet werden kann, wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

## 4.2. Das Phytoplankton vor dem Vestkapp

### Artenzusammensetzung und Sukzession

Die Veränderung der Artenzusammensetzung in einem Gebiet innerhalb eines Zeitraumes wird als Sukzession bezeichnet. Die Sukzession ist Ausdruck von Reaktionen der Artengemeinschaften auf wechselnde Randbedingungen. Es können dabei die Sukzessionen von Gruppen, zum Beispiel von Diatomeen zu Flagellaten und die Sukzessionen von Arten nur innerhalb einer Gruppe (z.B. der Diatomeen) unterschieden werden. Margalef (1958, 1978) beschreibt verschiedene Stadien der Phytoplankton-Sukzession. Der Übergang von einer zur anderen Phase ist bei zunehmender Stabilisierung der Deckschicht von einer fortschreitenden Nährsalzverarmung ("neue"- "regenerierte" Produktion) gekennzeichnet. Der Sukzessionsablauf wird gestört, beziehungsweise beendet, wenn die stabile Oberflächenschicht zerstört wird. Sukzessionsphasen werden im Pelagial temperierter Breiten innerhalb eines Jahres durchlaufen oder können in Auftriebsgebieten senkrecht zur Küste verfolgt werden. Da die Form der Nährsalzversorgung (akkumulierte und regenerierte) eine große Rolle im Vorantreiben der Sukzession spielt, sollte in Gebieten, in denen die Zufuhr von Nährsalzen durch hydrographische Prozesse (z.B. Ästuare, Antarktis) ein mehr oder weniger kontinuierlicher Vorgang ist, keine so deutliche Sukzession erwartet werden. Doch auch in solchen Gebieten sind Sukzessionen beobachtet worden (Hart 1934, Hasle 1969, Durbin et al. 1975, Levasseur et al. 1984).

Während die Sukzession von Diatomeen zu Flagellaten weitgehend durch die jeweiligen Randbedingungen beschrieben werden kann, ist ein Schema für die Erklärung der jeweils dominanten und begleitenden Arten bisher nicht entwickelt (Smayda 1980). So kann beispielsweise in jedem Jahr während der Frühjahrsblüte eine andere Art aus der Gruppe der Diatomeen im Phytoplankton dominant sein (Smetacek 1975, Smetacek 1985a, Stegmann und Peinert 1984, Nöthig 1986). Ob die Artenselektion stochastisch oder deterministisch verläuft ist noch ungeklärt. Zur Klärung dieser Frage wurde die Wirkungsweise einzelner Faktoren unter kontrollierten Bedingungen an in Kultur gehaltenen Algen im Labor und an natürlichen Populationen in Tankexperimenten getestet (Parsons et al. 1977, Smayda 1980, Grice und Reeve 1982, Nöthig 1986). Doch diese experimentellen Ergebnisse können nur schwer auf die in-situ Verhältnisse übertragen werden, weil im Feld alle Faktoren wechselwirken und die Komplexität dieser Wechselwirkungen nicht simulierbar ist. Liegt es nun an der Untersuchungsmethodik oder in der Natur der Sache begründet, daß das Vorkommen und die Vorhersagbarkeit der jeweilig dominanten Arten im Pelagial so kompliziert ist? Hulbert (1983) schlägt folgende Lösung vor: "The best way to cope with the snare of unpredictability would seem to be to accept unpredictability as a characteristic of the phytoplankton." Bei der Suche nach Erklärungen für das Erscheinen und Verschwinden bestimmter Algen im Pelagial wurde der Aspekt des Lebenszyklus einzelner Arten bisher wenig diskutiert (Smetacek 1985b, Nöthig 1986). Hierauf wird im Rahmen dieser Diskussion weiter unten kurz eingegangen.

Die Sukzession in einem Gebiet kann durch advektiv herangeführte Wasserkörper, die eine andere Artenzusammensetzung aufweisen, überlagert werden (Sequenz). Bei der Sequenz sollte im Idealfall ein komplettes Ersetzen der vorhandenen Wassermasse und den in ihr lebenden Arten gegeben sein, aber meistens kommt es zu einer Durchmischung des alten mit dem neuen Wasserkörper, so daß das wirkliche Bild der Artenveränderung eine kontinuierliche Abfolge aus der Mischung von Sequenz und Sukzession ist. Treten in einem Gebiet während der Wachstumsperiode häufiger Sequenzen auf, spiegeln sie auch sukzessive Veränderungen der fortlaufenden Wachstumsperiode wider. Die beiden letztgenannten Aspekte sind besonders in hydrographisch dynamischen Gebieten, zu denen auch das Untersuchungsgebiet vor dem Vestkapp gehört, zu erwarten.

Für die Antarktis beschrieben Hart (1934, 1942) und Hasle (1969) im Rahmen ihrer umfangreichen Studien zur schwebenden Flora Ausschnitte der jährlichen Sukzession des Phytoplanktons. Beide beschränkten sich dabei jedoch weitgehend auf die Gruppe der Diatomeen. Nur Hasle (1969) deutet eine Sukzession von Diatomeen zu "flagellates and monads" im Februar, also im Spätsommer der Antarktis, an. Viele Nanoflagellaten fanden auch Schneider (1980), v. Bröckel (1981), Hewes et al. (1985) und v. Bodungen et al. (unveröff. Daten) im Sommer und Spätsommer in antarktischen Gewässern. Während Nanoflagellaten sehr häufig angetroffen wurden, sind nach Hasle (1969) und Hart (1934, 1942) autotrophe Dinoflagellaten als unbedeutende Gruppe für das antarktische Pelagial anzusehen. Doch heterotrophe Dinoflagellaten wurden häufiger in der Antarktis beobachtet. Hentschel (1936, zitiert in Hart 1942) fand während der "Meteor"-Expedition 15 % Dinoflagellaten und einmal sogar 57 % meist heterotrophe Gymnodinien in seinen Proben. Schneider (1980) beobachtete eine große Anzahl heterotropher Dinoflagellaten Ende Januar in ihren Proben. Auch bei der Untersuchung vor dem Vestkapp konnte ich eine große Anzahl heterotropher Dinoflagellaten feststellen (ca. 42 % des PZC, s.a. 4.1.).

In den Phytoplankton-Arbeiten werden neben den Diatomeen zwei weitere wichtige Arten in der Antarktis erwähnt: Distephanus speculum und Phaeocystis (z.B. Hart 1942, Hasle 1969, Schneider 1983, v.Bröckel 1985, v.Bodungen et al. 1986). Diese beiden Arten waren während dieser Untersuchung vor dem Vestkapp im Bereich des Küstenstroms die dominanten Formen. Während Phaeocystis bei Vestkapp I hohe Biomassen aufgebaut hatte, war bei der zweiten Meßphase Distephanus speculum dominant. Im Mittel bestand die Biomasse zu 30-50 % aus diesen beiden Flagellaten. Ziehe ich die Ergebnisse über das Algenvorkommen im Tiefenwasser (>100 m) hinzu und gehe davon aus, daß eine vorher im Gebiet wachsende Population nach Beendigung ihrer Wachstumsperiode sedimentiert, ergibt sich folgendes Bild: Vor der Untersuchung vor dem Vestkapp haben Diatomeen (Thalassiosira spp. Chaetoceros sp.) "geblüht", die von Flagellaten-Populationen, begleitet von anderen Diatomeenarten, abgelöst wurden.

Hasle (1969) hat das Phytoplankton in den von ihr untersuchten Regionen bestimmten biogeographischen Kategorien zugeordnet. Dabei zeichnet sich jede Region durch dominante, nebensächliche und charakteristische Arten und eine eigene Artendiversität aus. Heywood und Whitacker (1984) sehen darin aber nur eine Modifizierung der von Hart gemachten Einteilung. Hart (1934, 1942) entwickelte zwei unterschiedliche Schemata, die er nach Analysieren seiner Ergebnisse spezifisch für die antarktischen Gewässer entwickelt hat. So differenziert er (1934, S.181) vier Gruppen: Frühjahrsformen; Frühjahrsformen, die aber während der ganzen Saison zahlreich sind; Formen die sowohl ein Frühjahrs- als auch ein Herbst-Maximum zeigen und Formen die nur im späten Sommer und/oder nur im Herbst ein Maximum aufweisen. Diese Gruppierungen wurden erweitert (Hart 1942), indem er das obige Schema mit der räumlichen Verbreitung (neritisch gegenüber ozeanisch) der Arten zu koppeln versuchte. Diese Einteilung ist hier im Original wiedergegeben (Abb.47). Es sind, obwohl Harts Untersuchungen sich nur auf Netzfänge aus weit nördlicher gelegenen Gebieten beschränkten, viele Gemeinsamkeiten mit den von mir in der Vestkapp-Box gefundenen Verbreitungsmustern einzelner Arten und dem Hartschen Schema feststellbar.

Die während der Untersuchungen vor dem Vestkapp vorgefundenen Artengemeinschaften habe ich in fünf Gruppen eingeteilt. Die von mir gewählte Numerierung stimmt nicht mit der von Hart (1942, s.a. Abb.47) überein. Die erste Gruppe zeichnete sich durch Phaeocystis sp. aus, die während Vestkapp I im Küstenbereich, sowie in den tiefen Maxima der Chlorophyll *a*-Verteilung im mehr ozeanischen Bereich, die dominante Form war. Schon Karsten (1905), Hart (1934, 1942) und andere (z.B. Ivanov 1964) erwähnen diese Gattung als auffällige, neben den Diatomeen wichtige Alge. Hart (1942) beobachtete sie in allen von ihm empirisch ermittelten Regionen. Er vermutete, daß sie eine der ersten Algen ist, die im Verlaufe der Eisschmelze oder gleich danach wachsen. Ihre Anzahl nimmt dann



im Jahresverlauf ab. Hart (1942) erwähnt Phaeocystis, hat sie aber nicht in sein Schema eingefügt.

#### ECOLOGICAL GROUPING OF SPECIES

##### GROUP I

*Fragilariopsis antarctica*  
*Nitzschia seriata* (? + *N. delicatissima*)  
*Distephanus speculum*

Small oceanic pennate diatoms with *Distephanus*. Numerically the most important group at all seasons, except autumn. Most abundant at peak of main increase in areas subject to neritic influence. Greatest relative importance before and just after the maximum.

##### GROUP II

*Chaetoceros boreale*  
*Ch. criophilum*  
*Rhizosolenia* spp.  
*Dactyliosolen antarcticus*  
*Corethron criophilum*  
*Synedra pelagica*  
*Thalassiothrix antarctica*

'Large diatom species'—the solenoids, large Chaetocerids, and two exceptionally elongated pennate forms. A very heterogeneous, essentially oceanic, group with strong tendency to occur in local concentration of from one to four of the categories mentioned. Abundance doubtless greatest at peak of main increase, and in neritic areas, but relative importance greatest during the post-maximal decrease, and more especially in autumn, in the Northern and Intermediate Regions.

##### GROUP III

*Thalassiosira* spp.  
*Asteromphalus parvulus*  
*Biddulphia striata*  
*Eucampia balaustium*  
*Chaetoceros flexuosus*  
*Ch. neglectum*  
*Ch. sociale*  
*Ch. tortissimum*  
*Fragilaria* spp. etc.  
*Nitzschia closterium*

*Neritic and ice-edge forms*, the majority almost certainly meroplanktonic. Relative importance greatest from *beginning to peak of main increase*, which is also period of greatest abundance. Decline more rapidly than other groups after main increase. Almost absent from oceanic waters at other seasons. Autumnal increase seen in few spp. but only in truly neritic areas.

##### GROUP IV

*Chaetoceros atlanticum*  
*Ch. castracanei*  
*Ch. chunii*  
*Ch. curvatum*  
*Ch. dictyota* type  
*Ch. dictyota tenuicornis* phase  
*Ch. pendulum*  
*Ch. radiculum*  
*Ch. schimperianum*

*Oceanic Chaetocerids of medium size*. Greatest relative importance from *peak of main increase through summer and autumn*. Probably most abundant at period of maximum, and in regions subject to neritic influence. Considerable variation in relative importance with latitude on the part of individual members but time distribution very characteristic.

##### GROUP V

*Coccinodiscus* spp. (oceanic)  
*Actinocyclus* spp. (oceanic)  
*Asteromphalus* spp. (other than *A. parvulus*)

*Oceanic Discoidae*, mostly *small*. Of considerable importance in the scanty *winter* phytoplankton. Almost negligible at other seasons, but doubtless more abundant during main increase.

Abb.47: Vorkommen von häufigen Phytoplankter während der "Discovery"-Expeditionen, aus Hart (1942), S. 284-285

In den letzten Jahren berichten immer häufiger Autoren von Zellansammlungen und großen Blüten von Phaeocystis aus allen Gebieten der Antarktis, die von der zurückweichenden Eiskante beeinflusst waren (Buck und Garrison 1983, El-Sayed et al. 1983, Hayes et al. 1984, Garrison und Buck 1985, v. Bodungen et al. 1986, Palmisano et al. 1986). Wie auch in dieser Untersuchung lagen die Wassertemperaturen und der Salzgehalt bei denen Phaeocystis häufig auftrat unter dem Gefrierpunkt, beziehungsweise über 34 ‰. Bei den Untersuchungen von Garrison et al. (1982) im Weddellmeer dominierte Phaeocystis sowohl in Meer eisproben als auch im benachbarten freien Wasser. Das Vorkommen von Phaeocystis im kälteren und relativ salzhaltigen Wasser deutet ebenfalls daraufhin, daß diese Alge während der Eisschmelze oder kurz danach ihre größten Biomassen aufbaut.

In der Arktis wurden ebenfalls im Eiskantenbereich nach einer vorhergehenden Diatomeenblüte hohe Zellzahlen von Phaeocystis sp. beobachtet (Rey und Loeng 1985, Gradinger 1986). Regelmäßige Blüten dieser Alge in der Nordsee im Frühsommer sind schon seit langem bekannt (Bätje und Michaelis 1986, Veldhuis et al. 1986). Über die Ökologie von Phaeocystis weiß man bisher wenig und erst in den letzten Jahren, als diese Gattung im Zuge der Eutrophierungsdiskussion immer mehr ins Gespräch kam, sind eine Reihe von Veröffentlichungen herausgebracht worden, die sich vorwiegend mit der Biochemie und der Physiologie dieser Alge beschäftigen (Guillard und Hellebust 1971, Lancelot und Mathot 1985, Veldhuis und Admiraal 1985, Veldhuis et al. 1986, Veldhuis und Admiraal 1987). Es wird viel spekuliert, welches die verantwortlichen Faktoren für diese Phaeocystis-Blüten sein könnten. Für die Nordseeblüten wird angenommen, daß geringe Konzentrationen von Silikat, aber relativ hohe Konzentrationen von Nitrat und Phosphat im Wasser vorhanden sein müssen, um eine solche Blüte zu begünstigen. Da die Blüten meist nach der Diatomeenblüte im Frühsommer entstehen, werden auch höhere Temperaturen für ihr Auftreten verantwortlich gemacht. Für die Antarktis kommen die oben angesprochenen Argumente als Erklärung dieser Blüten nicht in Betracht, denn Phosphat, Nitrat und Silikat sind im Oberflächenwasser immer in hohen Konzentrationen vorhanden und die Temperaturen sind sehr niedrig. Zur Entstehung dieser Blüten in allen Meeren können meiner Meinung nach, aufgrund ihres Massen-Auftretens bei so unterschiedlichen Randbedingungen (Nordsee, Antarktis), bis jetzt keine spezifischen Faktoren verantwortlich gemacht werden. Es bleibt nur die Beobachtung, daß Blüten von Phaeocystis nach der ersten Diatomeenblüte in vielen Meeresgebieten erscheinen.

Das Verschwinden der Phaeocystis-Blüten ist ebenso unklar wie ihr Erscheinen. Die Phaeocystis-Biomasse könnte durch Grazing und/oder Sedimentation, hervorgerufen durch die Seneszenz der Population, dezimiert werden. Die Meinungen bezüglich Phaeocystis als Nahrung für Zooplankton sind kontrovers (s. Admiraal und Venekamp 1986), denn es wird angenommen, daß die schleimigen Kolonien von Phaeocystis nicht von Filtrierern aufgenommen werden können. Doch Copepoden scheinen sich von Phaeocystis ernähren zu können (Weiße 1983, Diehl pers. Mittell.). Vor dem Vestkapp kommt Metazooplankton-Grazing nicht für den Rückgang der Population in Frage, denn es waren immer nur wenig potentielle Grazer vorhanden. Ebenso kann das Protozooplankton-Grazing ausgeschlossen werden, denn die Phaeocystis-Population vor dem Vestkapp bestand vorwiegend aus großen Kolonien und bisher ist nur bekannt, daß die solitären Phaeocystis-Flagellaten als Nahrung für Tintinnen dienen können (Admiraal und Venekamp 1986). Eine Massen-Sedimentation der Phaeocystis-Population, wie sie Wassmann (pers. Mittell.) in der norwegischen See fand, hat vor dem Vestkapp auch nicht stattgefunden, wie die Ergebnisse der Sinkstoffallen-Experimente zeigten. Ein Teil der Phaeocystis-Population ist vor dem Vestkapp bei Überschichtung durch einen anderen Wasserkörper im Wachsen gehemmt worden. Weiter südlich auf Station 311 war diese Alge jedoch in großen Mengen vorhanden. In den Tanks, die in Küstennähe zu Beginn von Vestkapp I (STN 252) gefüllt wurden, entwickelte sich Phaeocystis zwar weiter, aber auch D. speculum und Nitzschia spp. zeigten ein schnelles Wachstum. Dieses scheint den Wechsel in der Artengemeinschaft anzudeuten, der dann während Vestkapp II beobachtet wurde.

Neben der physikalischen Verfrachtung in tiefere Wasserschichten und in südlichere Gebiete scheint die Phaeocystis-Population zwischen Vestkapp I und Vestkapp II "verblüht" zu sein.

Die Artengemeinschaft im Bereich des Küstenstroms während Vestkapp II war durch die Dominanz von Distephanus speculum und Nitzschia curta gekennzeichnet. So gehört D.speculum der Gruppe I, des von Hart (1942) aufgestellten Schemas an. Er beschreibt (1942) D.speculum für ozeanische Gebiete, aber auch für solche mit neritischem Einfluß. D.speculum ist wie Phaeocystis bezüglich regionaler Verbreitung als Kosmopolit zu betrachten, doch ist D.speculum nur auf die kälteren Meeresgebiete beschränkt. Distephanus wurde auch von anderen Autoren im Weddellmeer angetroffen (Buck und Garrison 1983, v.Bröckel 1985), allerdings mit geringeren Zellzahlen als in dieser Untersuchung. Am häufigsten trat dieser Flagellat in Harts Untersuchungen kurz vor oder nach dem "main increase" im Frühjahr auf. Ebenfalls dominierte D.speculum in Proben von v.Bodungen et al. (1986) in einem Gebiet, daß sich in der Phase nach dem "main increase" im Frühjahr befand. Ein starkes Aufkommen dieses Flagellaten nach der Beendigung der Frühjahrsblüte im Mai wurde mehrmals in der westlichen Ostsee beobachtet (Neuer 1986, Nöthig 1986, Jochem 1987, Sommer in Vorb.).

N.curta, die in Harts Gruppe III einzuordnen ist, wird in neueren Publikationen, die sich mit dem Zusammenhang von Blüten nahe der zurückziehenden Eiskante beschäftigen, als dominante oder häufig vorkommende Art bezeichnet und soll nur in antarktischen Gewässern vorkommen (Hasle 1965, Buck und Garrison 1983, Smith und Nelson 1985, Wilson et al. 1986). N.curta kann daher als typischer Vertreter der aus dem Eis stammenden Diatomeen angesehen werden. Daß N.curta als typische Eisform und D.speculum, eher beschrieben als im freien Wasser vorkommend, zusammen in einem vom Schmelzwasser beeinflussten Wasserkörper dominieren, läßt die Vermutung zu, daß D.speculum auch im Meereis seinen Ursprung hatte, obwohl diese Art im Meereis nicht direkt beschrieben ist. Möglicherweise bildet D.speculum Sporen, die dann bei der Eisschmelze ins Wasser gelangen und auskeimen.

Nitzschia cylindrus, die während des gesamten Untersuchungszeitraums im ozeanischen Bereich vor dem Vestkapp die Artengemeinschaft kennzeichnete, ist wie N.curta eine Form, die neben einigen anderen Nitzschia-Arten, charakteristisch für die Eiskanten-Regionen ist. Anders als N.curta ist N.cylindrus eine bipolare Art (Hasle 1976, Hasle und Booth 1984). Die Dominanz dieser kleinen Diatomee im ausschließlich ozeanischen Bereich läßt darauf schließen, daß sie dort besser als andere Arten wächst und somit die häufigste im Winter im Meereis eingeschlossene Alge in der Gyre-Region ist. Auch in anderen Gebieten des ozeanischen Teils des Weddellmeers wurde N.cylindrus als dominante Art gefunden (v. Bodungen et al. unveröffent. Daten). Diese sehr kleine Alge (ca. 2-4 x 6-12 µm) wird von Hart (1942) nicht erwähnt. Da er nur Vertikalnetzfüge untersucht hat, wird sie ihm sicherlich "durch die Maschen geschlüpft" sein.

Die durch Eucampia balaustium gekennzeichnete Gemeinschaft vor dem Vestkapp hatte ihr Verbreitungsmaximum im Gegensatz zu N.cylindrus im Küstenbereich. Eucampia wird als neritische und im Eiskantenbereich häufige "Schelf-Art" angesehen (Hart 1942, Burckle 1984). In einem Übersichtsartikel diskutiert Burckle (1984) ihre Verbreitung im Rahmen der Paleoökologie. Er kommt zu dem Schluß, daß Eucampia im ganzen südlichen Ozean verbreitet ist, aber zahlenmäßig dominant nur in der Nähe des antarktischen Kontinents und in der Nähe von Meereis und Eisbergen. Meine Untersuchungen bestätigen seine Aussagen im Hinblick auf das Vorkommen dieser Art im Eiskantenbereich der Küstenregion. Gleiches trifft für die in diese Gruppe einzuordnenden, anderen zum Mikroplankton gehörenden Diatomeen (zum Beispiel Odontella weissflogii, Harts Gruppe III) zu. Ein Großteil dieser Arten ist in der Lage Ruhesporen zu bilden. Die Ruhesporen können möglicherweise einen Verbleib der jeweiligen Arten in bestimmten Gebieten gewährleisten. Auf diese mögliche Bedeutung der Ruhesporenbildung wird weiter unten eingegangen.

Die fünfte Gruppe beschreibt Arten, die vor dem Vestkapp kein regionales Verbreitungsmuster besaßen. Arten, die in dieser Gruppe gefunden wurden, können sowohl in die Gruppe II als auch in die Gruppe IV nach Hart (1942) eingeordnet werden. Bei Gruppe II handelt es sich nach Hart (1942) um eine heterogene Gruppe bezüglich ihres zeitlichen und räumlichen Erscheinens im Pelagial, Arten wie *C. criophilum* und *Rhizosolenia* spp. (in Gruppe fünf dieser Untersuchung) gehören zu dieser Gruppe. Bei Gruppe IV ist nur das räumliche Auftreten heterogen. Nach Hart (1942) sind die Arten dieser Gruppe (IV) während des ganzen Jahres zahlreich oder zeichnen sich durch ein Spätsommer bzw. Herbstmaximum aus. In diese Gruppe gehören beispielsweise *Dactyliosolen tenuijunctus* und *Chaetoceros dichaeata* (in Gruppe fünf dieser Untersuchung), die auch während der Untersuchung vor dem Vestkapp besonders am Ende des Untersuchungszeitraums (also im Spätsommer) in den Zellzahlen zunehmen. Andere Autoren fanden diese Arten ebenfalls vermehrt im Sommer-Herbst (Hart 1934, 1942, Kopczyńska et al. 1986).

Die bei Hart (1942) in Gruppe II und V erwähnten Arten, wie *Thalassiothrix* sp. (II), einige *Asteromphalus* spp. und *Actinocyclus* sp. (V), sind in den Ergebnissen dieser Arbeit nicht erwähnt worden. Sie kamen zwar in fast allen Proben vor, wurden aber nur in geringer Anzahl angetroffen. Auch Hart (1942) fand diese Arten oft nur in geringen Anzahlen während des Jahres.

Das von Hart (1942) gewählte Schema ist nicht für alle Arten, die in der Vestkapp-Box gefunden wurden, anwendbar. Einerseits ist der Einfluß des Meerereises auf die Artenzusammensetzung im inneren Weddellmeer stärker als in den von ihm untersuchten Gebieten, andererseits war es ihm aufgrund seiner Untersuchungsmethodik (Netzfänge, > 35 µm) nicht möglich, besonders kleine Formen mitzuerfassen. Das Phytoplankton in dieser Untersuchung vor dem Vestkapp setzte sich aus zahlreichen Algen zusammen, die in hoher Abundanz im Meerereis des Weddellmeers zu finden sind (Bartsch, pers. Mittteil., Clarke et al. 1984). Die meisten dieser Algen sind auch relativ klein. Es gehören dazu die meisten *Nitzschia*-Arten wie *N. curta*, *N. cylindrus* und *N. subcurvata*. Besonders kleine Arten sind auch *Phaeocystis*-Flagellaten, Nanoflagellaten und *Dactyliosolen tenuijunctus*. Obwohl Harts Schema nicht vollständig übertragbar ist, ist es doch erstaunlich, welche Ähnlichkeiten im räumlichen und zeitlichen Auftreten einzelner Arten auch über einen Zeitraum von 50 Jahren zu erkennen sind. Es ist zu vermuten, daß sich ähnlich wie an Land bestimmte Lebensformtypen herausgebildet haben.

Ein für die Untersuchung vor dem Vestkapp noch nicht geklärtes Problem, ist die Veränderung der Artenzusammensetzung durch Advektion. Daher muß die Frage gestellt werden, ob die vor dem Vestkapp angetroffenen verschiedenen Artengemeinschaften, als eine zeitliche Sukzession in der Wachstumsperiode des Phytoplanktons angesehen werden können? Oder handelt es sich dabei, hervorgerufen durch advektive Prozesse, um eine Sequenz? Oder findet eine Mischung aus Sukzession und Sequenz statt? Oder werden eventuelle Sukzession und Sequenz durch Algen aus den schmelzenden Eismassen überlagert? Nach den in dieser Untersuchung erhaltenen Ergebnisse in der Wassersäule, im tiefen Wasser und in den Sinkstoffallen und der Vergleich mit anderen Untersuchungen ist eine Sukzession zu erkennen. Die Sukzession im Küstenbereich des südöstlichen Weddellmeers kann folgendermaßen verlaufen. Die Wachstumsperiode beginnt mit Untereis-Blüten von Diatomeen. Es dominieren klassische zentrische Blütenformen wie zum Beispiel *Thalassiosira* spp., wie sie Smetacek et al. (1987 subm.) im südöstlichen Weddellmeer beobachteten. Hinweise darauf finden sich auch in dieser Untersuchung, da im Wasser unterhalb von etwa 100 m zahlreiche Ruhesporen von *Thalassiosira* spp. neben "Sporen" von *Chaetoceros* A gefunden wurden. Danach folgt während der Eisschmelze eine Population von *Phaeocystis*, die von einer geringen Anzahl Diatomeen (anderen Arten als *Thalassiosira*) begleitet werden kann. Nach dem Verschwinden von *Phaeocystis* kommt es im Frühsommer zu Artenverschiebungen durch den zunehmenden Einfluß von Algen, die aus dem ständig schmelzenden Eis stammen. Neben den Diatomeen ist *D. speculum* von Bedeutung. In dieser Artengemeinschaft wird die

Artenzusammensetzung des Phytoplanktons stärker als im Frühjahr von Phagotrophen (Protozoa und Metazoa) modifiziert. Der Anfang dieser hypothetischen Sukzession ist vom Aufbrechen der Meereisdecke abhängig. An der Schelfeisküste vollzieht sich dieser Prozeß von Norden nach Süden nicht unbedingt in kontinuierlicher Zeitabfolge. Dadurch können in Gebieten wie vor dem Vestkapp und dem Filchnergraben, die ungefähr fünf Breitengrade voneinander entfernt liegen, zur gleichen Zeit ähnliche Stadien der jährlichen Sukzession angetroffen werden, wie es auch während dieser Expedition der Fall war (v. Bodungen et al. unveröff. Daten).

Ein wichtiger und im Laufe der Diskussion noch nicht erwähnter Punkt, ist das sogenannte "seeding potential" (Zellzahlen der einzelnen Arten in einem bestimmten Wasserkörper), bei relativ ähnlichen Wachstumsraten der einzelnen Arten. Das "seeding potential" ist besonders kurz bevor günstige Wachstumsbedingungen eintreten von Bedeutung. In der Antarktis kann sich diese "Startpopulation" aus Algen des freien Wassers, aus hinzukommenden Phytoplanktonzellen aus dem schmelzenden Eis und in flachen Gebieten durch aufgewirbelte Zellen vom Sediment rekrutieren. Die mit den Tank- und Kleinbehälterexperimenten erhaltenen Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung des "seeding potential". Bei diesen Experimenten entwickelten sich die Arten gut, die zu Beginn der Experimente schon zahlreich vorhanden waren. Im Küsten-Tank dominierten *Phaeocystis* neben *Distephanus* und *Nitzschia* spp., im Tank mit Wasser aus dem ozeanischen Bereich überwogen *N. cylindrus* und Nanoflagellaten, alles Arten, die jeweils schon im Oberflächenwasser des Küsten- und des ozeanischen Bereiches die weitaus höchsten Zellzahlen aufwiesen. In den Kleinbehälterexperimenten dominierten ebenfalls die Algen mit den höchsten "Start-Zellzahlen" (s.a. 3.5.).

Wie oben erwähnt gelangen bei der Eisschmelze Phytoplankter ins freie Wasser. Durch vergleichende Untersuchungen zwischen Meereis und angrenzendem Wasser konnte gezeigt werden, daß die freiwerdenden Algen wichtige Primärproduzenten auch im freien Wasser sind und daß das Meereis diesen Algen als Überwinterungshabitat dient (Ackley et al. 1979, Garrison et al. 1982 und 1983, Garrison und Buck 1985). Die Diskussion hierüber ist noch nicht abgeschlossen, da die Meinungen zu diesem Thema doch recht unterschiedlich sind (Wilson et al. 1986). Wie und ob Algen vom Sediment entscheidend zum "seeding potential" beitragen ist noch weitgehend unerforscht, wird aber für flache Küsten-Gebiete in Erwägung gezogen (s.a. Smetacek 1986, Sommer in Vorb.).

In der oben beschriebenen Sukzession des Phytoplanktons wird der Aspekt, daß die Algen selbst in der Lage sind, das Erscheinungsbild des Phytoplanktons zu beeinflussen in die Diskussion eingeführt. Es scheint, daß viele Phytoplanktonarten, wie viele Landpflanzen, nur zu bestimmten Jahreszeiten durch vermehrtes Wachstum in Erscheinung treten. Es ist anzunehmen, daß die Arten ein spezifisches Verhaltensmuster im Auftreten in bestimmten Gebieten zeigen, das exogen und endogen gleichzeitig gesteuert wird. Dieses kann sich beim antarktischen Phytoplankton in langen Zeitskalen, während der Bildung und des Bestehens des antarktischen Ozeans herausgebildet haben und das heutige Erscheinungsbild des Phytoplanktons ist damit evolutiver Ausdruck von Anpassung und Selektion. Die wechselseitigen Wirkungsweisen dieser Selektions-Mechanismen sind nicht zurückverfolgbar, lediglich der Weg der Spekulation steht dabei offen. Doch die rezenten Arten zeigen Lebenszyklen (hier bezogen auf Wachstums- und Ruhephasen), die bezüglich der Biologie der Arten und der sie beeinflussenden Größen untersucht werden können. Es soll daher im folgenden auf diesen Aspekt näher eingegangen werden. Es werden die sporenbildenden Diatomeen diskutiert, bei denen, aufgrund der gut sichtbaren morphologischen Unterschiede zwischen vegetativen Zellen und Sporen, Wachstums- und Ruhephasen des Lebenszyklus optisch verfolgt werden können.

### Zur Bildung von Ruhesporen

Innerhalb der Gruppe der Diatomeen besitzen viele Arten die Fähigkeit Ruhesporen zu bilden und können so in eine inaktive Phase innerhalb ihres Lebenszyklus übergehen. Übersichtsartikel zu dieser Thematik sind in den letzten Jahren von Hargraves und French (1983) und Garrison (1984) veröffentlicht worden. Die Bildung und Keimung von Ruhesporen der Diatomeen ist exemplarisch an einigen Arten im Labor unter verschiedenen Bedingungen untersucht worden, doch Freiland-Untersuchungen über Entstehung und Schicksal der Sporen gibt es nur wenige (Hargraves und French 1983, Garrison 1984, Pitcher 1986). Die Ruhesporenbildung der Diatomeen im Feld wird von einigen Autoren als Überlebensstrategie angesehen, die es diesen Algen ermöglicht, sich durch schnelle Sedimentation, aufgrund des schweren Kieselpanzers der Sporen, einem für sie ungünstig gewordenen Wachstumsmilieu aktiv zu entziehen und in dunkle, kalte Tiefen abzutauchen. Hierbei wird weiter angenommen, daß die Sporen erst wieder erneut keimen, wenn die Wachstumsbedingungen günstig sind (Durbin 1978, Hargraves und French 1983, Garrison 1984, Smetacek 1985 b). Wie die sedimentierten Sporen dabei wieder ins Oberflächenwasser gelangen bleibt Vermutung (Smetacek 1985b, 1986).

Ruhesporen wurden vermehrt in Küsten- und Schelfsedimenten gefunden und könnten als ein "benthisches Stadium" der Diatomeen betrachtet werden, das als Inokulum für darüberliegende Wassermassen angesehen werden kann. Die Diatomeen besitzen somit auch die Fähigkeit, ihren Fortbestand in einem bestimmten Gebiet zu sichern. Garrison (1981) diskutiert diesen von Gran (1912, zitiert in Garrison 1981) gemachten Vorschlag anhand von eigenen Ergebnissen aus der Monterey Bay. Er macht darauf aufmerksam, daß die von Gran geäußerte Theorie für seine Untersuchungen ebenfalls zutrifft, betont aber auch, daß Ruhesporen nicht nur als benthisches Überlebensstadium anzusehen sind. Für die letzte Aussage fanden Hargraves und French (1983) Beweise. Sie konnten keine Überlebensfähigkeit von sedimentierten Ruhesporen einiger Arten feststellen.

In der Antarktis fanden v.Bodungen et al. (1986) ein Massenabsinken einer *Thalassiosira*-Blüte über dem Joinville Schelf. Zahlreiche der Diatomeenzellen hatten Dauersporen gebildet und v.Bodungen et al. (1986) diskutieren, daß das Absinken mit gleichzeitiger Ruhesporenbildung eine Überlebensstrategie dieser Gattung darstellt. Auch bei der Untersuchung vor dem Vestkapp wurden die meisten Ruhesporen im küstennahen Bereich und auf dem Sediment vor Halley Bay angetroffen, so daß auch im Weddellmeer Küstenformen ihren Verbleib auf diese Weise sichern könnten.

Ruhesporen haben aufgrund ihres höheren spezifischen Gewichts höhere Sinkgeschwindigkeiten als vegetative Zellen (French und Hargraves 1980, Davis et al. 1980, Bienfang 1981). Neuere Untersuchungen zur Sedimentation des Phytoplanktons zeigen, daß sie nicht für alle Arten nach dem gleichen Schema abläuft. So fand Pitcher (1986) bei verschiedenen *Chaetoceros*-Arten, daß Sporen selektiv und zu unterschiedlichen Zeiten für die einzelnen Arten, gemäß ihres Lebenszyklus, herausfallen. Wassmann (pers. Mittel.) beobachtete selektives Sedimentieren von Phytoplankton vor der norwegischen Küste. Daher war eine Frage bei dieser Untersuchung vor dem Vestkapp, ob bestimmte Phytoplankton-Arten selektiv heraussinken. Die Ergebnisse zeigten, daß die Sporen bevorzugt aus der Wassersäule herausgefallen waren, einige konnten sogar auf dem Sediment wieder angetroffen werden. Der Anteil dieser Sporen, bezogen auf die gesamte sedimentierte Menge vor dem Vestkapp, war nur gering. Ein selektives Herausfallen bestimmter Phytoplanktonsporen kann deshalb keine Erklärung für die Artenverschiebung im Untersuchungszeitraum vor dem Vestkapp sein.

Der Sporenanteil im Pelagial war am größten in Küstennähe, was auf das im vorigen Kapitel dargestellte "seeding" zurückführbar sein könnte. Die auf dem Sedimentboden vor dem Vestkapp während dieser Untersuchung angetroffenen Sporen konnten wieder zum Wachsen gebracht werden. Burckle (1984) und

Gersonde und Wefer (1987) fanden auf und in den antarktischen Sedimenten zahlreiche intakte Schalen von Diatomeen und die Oberflächensedimente weisen eine gute Übereinstimmung mit den im Pelagial und im Meereis beheimateten Algen auf (Gersonde 1984), wobei sich im Sediment das Verhältnis zugunsten der besonders hartschaligen Diatomeen verschiebt. Dies bedeutet, daß die Diatomeen durch eigene Sedimentation oder durch unbeschädetes "Einpacken" in Kotballen das Sediment erreicht haben müssen. Da bei den erwähnten Untersuchungen nur die Schalen der Diatomeen untersucht wurden, ist nicht nachvollziehbar, inwieweit auf den Oberflächensedimenten noch lebende Diatomeen vorhanden waren. Experimente zur Keimfähigkeit über die auf dem antarktischen Sediment liegenden Algen gibt es bisher nicht.

Entstehen Sporen über größeren Wassertiefen (>100 m), erreichen sie erst nach längerer Absinkdauer, bei gleichzeitiger advektiver Verfrachtung, die Sedimentoberfläche. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese Sporen wieder in lichtdurchflutetes Oberflächenwasser gelangen könnten, ist, außer in Gebieten in denen eine Durchmischung der Wassersäule bis zum Boden geht, gering. Ruhesporen von Diatomeen in größeren Wassertiefen (>100 m) wurden während dieser Untersuchung vor dem Vestkapp gefunden. In anderen Gebieten der Antarktis fanden Karsten (1905) und Hasle (1969) Sporen unterhalb von 100 m. Peinert (1986) beschreibt das Vorkommen von "Schwebesporen", im Sinne von Karsten (1905), die sich in einer Tiefe von 200-300 m aufhielten westlich von Irland. Karsten (1905), Hart (1934, 1942) und Hardy und Gunther (1935) vermuten, daß solche "Schwebesporen" advektiv mit Wassermassen weitergeführt werden können und dort, wo diese aufgrund hydrographischer Bedingungen wieder die Oberfläche erreichen, erneut auskeimen. Der Wechsel zwischen Dunkelheit und Helligkeit ist für die Sporen zeitlich variabel, so daß die Ruhesporen bezüglich der Dauer der Ruhephase flexibel sein müssen. Experimentelle Untersuchungen zur Länge der Überlebensfähigkeit der Sporen führten Durbin (1978) und Hollibaugh et al. (1981) durch. Sie stellten, bei einem großen prozentualen Verlust an lebenden Zellen, eine Überlebensdauer im Dunklen gehälterter Diatomeensporen von 500 beziehungsweise 645 Tagen bei Temperaturen zwischen 0 und 2 °C fest. Malone et al. (1973) stellten Wachstum pennater Diatomeen, die sie im Sediment aus dem Nordatlantik aus über 6000 m Tiefe ins Licht brachten, fest. Thalassiosira Sporen, die ich zwei Jahre im Dunkeln und bei 0 °C gehältert habe, keimten nach der Exposition ins Licht sofort wieder aus (Nöthig unveröff. Daten). Sollte die Keimfähigkeit von Sporen über lange Jahre hinweg erhalten bleiben, könnten sich die heute als bipolare bekannte Arten (z.B. Fryxell et al. 1981) mittels Transport mit tiefen Meeresströmungen ausgebreitet haben (s.a. Hasle 1976). Bei nicht sporenbildenden Arten wie zum Beispiel Skeletonema costatum fanden Smayda und Mitchell-Innes (1974) in Laborexperimenten (dunkel und niedrige Temperaturen) nur eine Überlebensdauer von mehreren Monaten.

In den während dieser Untersuchung durchgeführten Experimenten zeigten die Algen (hauptsächlich Sporen), die aus dem tieferen Wasser der Vestkapp-Box wieder ins Licht gebracht wurden, eine gute Wiederkeimfähigkeit. Sollten diese Sporen erst kurz vor unserer Untersuchung in die Tiefe sedimentiert sein, könnte hiermit bestätigt werden, daß diese Ruhesporen keine lange und obligate Ruhepause innerhalb ihres Lebenszyklus benötigen, wie dies für Dinoflagellaten angenommen wird (Anderson und Kaefter 1987). Da über die Länge der Lebensdauer der Sporen und die Zeitskalen der Wassermassenbewegungen im Weddellmeer noch Unklarheit herrscht, ist es nicht möglich zu sagen, ob im Gebiet vor dem Vestkapp über großen Wassertiefen entstandene Sporen für immer in den Tiefen des südlichen Ozeans verschollen bleiben, oder durch hydrographische Gegebenheiten wieder ins lichtdurchflutete Wasser gelangen, um dann wieder auszukeimen.

Mögliche auslösende Mechanismen der Sporenbildung sind: die Reduzierung des Nährsalzangebotes, die Verschlechterung der Lichtbedingungen und/oder ein interner Rhythmus der Algen selbst. Aus Experimenten von French und Hargraves

(1980, 1985) geht hervor, daß der Hauptauslösemechanismus für die Sporenbildung Nitratmangel ist. Im Südpolarmeer ist bei einer Reihe von Diatomeen die Bildung von Ruheformen wie auch in dieser Arbeit beobachtet worden (z.B. Karsten 1905, Syvertsen 1985, Hoban et al. 1980, v. Bodungen et al. 1986). Nur können diese Ruhesporen sicherlich nicht aufgrund von Nitratmangel gebildet worden sein, da die Nährsalzkonzentrationen in der Antarktis vorwiegend hoch sind. Allerdings bilden im Labor gehältere antarktische Diatomeen auch bei Nitratmangel Ruhesporen (Doucette und Fryxell 1983, 1985). Als auslösender Mechanismus für die Ruhesporenbildung im Südpolarmeer scheinen mir sowohl qualitative als auch quantitative Veränderungen im Lichtangebot wahrscheinlicher. Ob dabei Quantität oder Qualität größere Bedeutung haben, kann bisher nicht gesagt werden. Bei Eucampia balaustium wurden während der Untersuchung vor dem Vestkapp viele Sporen schon im Oberflächenwasser angetroffen, so daß auch die Lichtqualität, sowie die sich ändernde Tageslänge und nicht so sehr die absolut eingestrahelte Energie entscheidend für die Sporenbildung sein kann.

Endogene Rhythmen sind ein weiterer Aspekt, der für die Sporenbildung von Bedeutung sein kann. Endogene Zyklen bei den Algen, obwohl wahrscheinlich, sind bisher weitgehend unerforscht. Anderson und Kaefer (1987) beobachteten bei Dinoflagellaten einen endogenen Rhythmus bei der Sporenbildung und Keimung. Auch Karsten (1905) spekulierte, daß die Diatomeen eine innere Uhr besäßen, die ihr Ab- und Auftauchen regelt.

Bisher nicht erwähnt wurde, ob die Ruhesporenbildung von der Zellgröße abhängt. French und Hargraves (1985) verneinen dies und auch ich konnte beobachten, daß innerhalb der einzelnen Arten die Ruhesporenbildung bei Zellen verschiedener Größe stattfanden. Vielleicht kann eine Zelle, unabhängig von ihrer Größe, nur eine bedingte Anzahl von Teilungen während der Wachstumsphase durchführen und muß ihren normalen Teilungszyklus mittels einer anderen Lebensphase (Ruhephase, oder sexuelle Phase) unterbrechen. Noji et al. (1986) vermuten ähnliches für Ceratien in der Kieler Bucht. Die beiden letzten Argumente, die vorwiegend endogene Rhythmen der Alge als auslösende Faktoren behandeln, scheinen mir von großer Bedeutung für die Sukzession auch in antarktischen Gewässern. Experimente zu dieser Thematik, bezogen auf die Ökologie des Pelagials, gibt es allerdings bisher so gut wie keine.

Neben den, wegen ihrer morphologischen Unterschiede zu vegetativen Zellen gut erkennbaren Sporen, wird angenommen, daß es sogenannte physiologische Ruhestadien gibt. Diese sind nur an der Reduzierung ihres Stoffwechsels erkennbar, da keine Schalenumbildung erfolgt. Untersuchungen zu solchen Ruheformen gibt es so gut wie keine. Es wäre auch nur möglich über biochemische Methoden, Unterschiede zwischen vegetativen Zellen und Ruhesporen zu ermitteln. In morphologisch erkennbaren Ruhesporen stellten Doucette und Fryxell (1983) höhere Chlorophylla- und Kohlenstoffkonzentrationen und auch höheren Lipidgehalt (Doucette und Fryxell 1985) als in vegetativen Zellen fest. Diese oder ähnliche Stoffwechselveränderungen müßten an vegetativen, auf Ruhestoffwechsel eingestellten Algen, auch zu messen sein. Einige Autoren fanden bei "normal-vegetativen" Zellen aus tieferen Wasserschichten, Plasmaverfärbungen und kondensiertes Plasma (Garrison 1984). Bei einigen in größeren Tiefen vorkommenden Diatomeen in der Vestkapp Box bemerkte ich auch eine Verfärbung des Plasmahalts in den fixierten Proben. Palmisano und Sullivan (1982) beobachteten bei N. cylindrus einen Anstieg in der Lipid-Konzentration der Zellen bei der Simulation der Lichtverhältnisse von Sommer- zu Winterbedingungen. Letzteres unterstreicht, daß die Diatomeen wahrscheinlich in der Lage sind, sich auch ohne morphologische Veränderungen auf ungünstige Wachstumsbedingungen einzustellen.

In der Antarktis sind ausführliche Freilanduntersuchungen über die Ruhesporenbildung bisher nicht durchgeführt worden. Karsten (1905), Hart



(1934,1942) und Hasle (1969) erwähnen in ihren Arbeiten die Ruhesporen und diskutieren kurz ihre mögliche ökologische Bedeutung. Schon Karsten (1905) weist darauf hin, daß ein Ruhestadium nicht unbedingt ein nur auf neritische Arten beschränktes Phänomen sein muß und sich nicht immer als morphologische Veränderung ausdrückt. Hart (1942) vermutete in den Sporen ein wichtiges Inokulum für das darüberliegende Wasser. In der Antarktis wird das Meereis auch als umgekehrter Sedimentboden bezeichnet. Neben Diatomeensporen wurden im Meereis eine Reihe unbekannter Cysten gefunden (Silver et al. 1980, Marchant und McEldowney 1986). Im Winter eingeschlossene Sporen gelangen bei Eisschmelze im Frühjahr wieder ins freie Wasser. Ob für das Überwintern und Überleben von einigen Arten im Eis unbedingt Sporen nötig sind, kann bisher niemand beantworten. Hart (1934) vermutete auch in den im Eis eingeschlossenen Sporen bestimmter Diatomeen ein bedeutendes Inokulum für die Wachstumsperiode.

Ruhesporen könnten einen erheblichen Einfluß auf die Artenzusammensetzung des oberen Pelagials haben, da sich einerseits durch erhöhte Sinkgeschwindigkeiten der Sporen und andererseits durch asynchrone Bildung der Sporen, von Art zu Art zu unterschiedlichen Zeiten im Jahr, die prozentualen Anteile der verbleibenden Arten an der Gesamtbiomasse verschieben. Dabei scheinen endogene und exogene Faktoren als auslösende Mechanismen der Sporenbildung gemeinsam eine Rolle zu spielen. Ebenso könnten Sporen durch ihre robuste Schale, vor allem wenn sie im Eis eingeschlossen werden, widerstandsfähiger sein als andere vegetative Zellen. Den Einfluß des Lebenszyklus, Wechsel zwischen Wachstumsphasen und Ruhephasen, einzelner Arten für die Untersuchung vor dem Vestkapp zu bewerten, scheint mir, wegen der starken advektiven Prozesse, schwierig. Es konnte jedoch die Hypothese aufgestellt werden, daß vor dieser Untersuchung Thalassiosira sp. und Chaetoceros sp., die in großer Anzahl als Ruhesporen im Tiefenwasser vorhanden waren, im Phytoplankton dominant waren. Weiter konnte im Verlauf der Untersuchung gezeigt werden, daß die Ruhesporenbildung am Ende der Untersuchung im Spätsommer zunahm. Umfassendere Untersuchungen im Weddellmeer bezüglich dieser Thematik könnten sicherlich besonders für die Artenzusammensetzung in sehr flachen Gebieten mehr Aufschluß bringen.

### 4.3. Schlußbetrachtung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit werden saisonale Aspekte der Primärproduktion, Biomassenentwicklung und Phytoplanktonzusammensetzung im südöstlichen Weddellmeer untersucht. Obwohl die quantitativen Einflüsse in ihrer Intensität nicht genau erfaßbar waren, zeigte die qualitative Zusammensetzung der Arten im oberen Pelagial, im tiefen Wasser und in den Sinkstoffallen, daß auch in der südöstlichen Weddell See eine bisher nur für temperierte Breiten und nördlichere Gebiete des Südpolarmeeres beschriebene Sukzession innerhalb der Phytoplanktongemeinschaft erkennbar ist. Die zu Beginn der Untersuchung angetroffene Phytoplanktongemeinschaft befand sich im Übergangsstadium vom Spätfrühjahr zum Sommer, gekennzeichnet durch die Dominanz der *Phaeocystis* sp. Population im Oberflächenwasser und die zahlreichen "Sporen" von *Thalassiosira* spp. und *Chaetoceros* A in größeren Wassertiefen (>100 m). Letztere weisen daraufhin, daß auch im Weddellmeer im zeitigen Frühjahr typische "Frühjahrsblüher" zu Beginn der Wachstumsperiode im Phytoplankton dominieren und nachdem sie "verblüht" sind in größere Tiefen sedimentieren. Während des Untersuchungszeitraumes konnte der Übergang von der Spätfrühjahrsphase zur Sommer- Frühherbstphase beobachtet werden.

Charakteristisch für die Sommerpopulation im südlichen Weddellmeer sind sogenannte "Schmelzwassergemeinschaften". Diese können rein ozeanischen Charakter haben, gekennzeichnet durch die Dominanz von sehr kleinen Algen wie beispielsweise *Nitzschia cylindrus* und Nanoflagellaten, oder mehr neritischen Charakter aufweisen, repräsentiert durch andere Arten. Das Auftreten solcher Gemeinschaften hängt im großen Maße von den lokalen Wetterbedingungen und der jeweils vorherrschenden Hydrographie ab. Es ist daher möglich, daß innerhalb mesoskaliger Raum- und Zeitskalen Frühjahrs- und Sommerpopulation nebeneinander bestehen können. Faktoren, die die Sukzession im Südpolarmeer steuern, scheinen nicht eine Kombination von Nährsalzangebot und hydrographischen Bedingungen wie in den temperierten Breiten zu sein, sondern werden möglicherweise nur allein durch kurzfristig sich ändernde Wetter- und hydrographische Bedingungen gesteuert. Auch wie für andere Seegebiete beschrieben, nehmen im Laufe der Wachstumsperiode zum Sommer hin heterotrophe Organismen zu. Hierbei scheinen in den "Schmelzwassergemeinschaften" im Weddellmeer Protozoen einen größeren Einfluß auf die vorherrschende Phytoplankton-Gemeinschaft als Metazoen zu besitzen.

Bei dieser Untersuchung wurde sowohl bei Vestkapp I als auch bei Vestkapp II die Box nach dem gleichen Schema abgefahren. Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß bei dieser Art der Probennahme zwar jeweils die aktuelle Verbreitung von Biomasse- und Artenzusammensetzung wiedergegeben werden kann, daß es aber schwierig ist den Ablauf biologischer Prozesse, der zu bestimmten Verbreitungsmustern führen kann, kontinuierlich zu verfolgen. Um weitere, detailliertere Interpretationsmöglichkeiten zur Phytoplanktonökologie im Weddellmeer zu erhalten, wäre ein anderer methodischer Ansatz wünschenswert. In dieser Arbeit konnten zahlreiche Hinweise gegeben werden, daß gerade ein prozeßorientierter Ansatz mehr Aufschluß, beispielsweise über Sukzessionsmuster, Sedimentation, Grazerinfluß der Protozoen auf die jeweilige Phytoplanktongemeinschaft für das Pelagial des Weddellmeers liefern kann. Für weitere Untersuchungen zur Phytoplanktonökologie im Weddellmeer sind folgende Punkte zu erwähnen:

- Um einen genaueren Einblick in die Sukzessionsmuster in diesem Gebiet zu bekommen, wäre es sinnvoll, nicht wie in dieser Untersuchung Schnittfahrten durchzuführen, sondern es sollte versucht werden, über eine Zeitspanne in ein und dem selben Wasserkörper mitzudriften und dessen Entwicklung zu verfolgen. So würden die gemessenen Parameter und die sich daraus ergebenden Strukturen des Pelagials im Laufe der Untersuchungszeit, vor allem biologische Veränderungen (Wachstum, Teilung, Sedimentation) widerspiegeln und nicht durch Advektion und

Vermischung geprägt werden. Der Einsatz von treibenden Sinkstofffallen in solch einem Wasserkörper würde dann Werte für die Sedimentation aus dem Pelagial nur für diesen Wasserkörper ergeben. Gezielte Versuche mit Zooplankton aus diesem Wasserkörper könnten Aufschluß über die Kotballenproduzenten und deren Lebensweise geben. Es könnte auch ein klareres Bild der individuellen Sedimentation einzelner Phytoplankton- Arten bei Anwendung dieser Meßstrategie erhalten werden.

- Um die Verbreitung und Biologie einzelner Arten besser kennenzulernen müßten auch die Meß- und Sammelstrategien verändert werden. Größere und seltenere Formen, wie zum Beispiel Radiolarien und Foraminiferen, die möglicherweise im Nahrungsgefüge des Weddellmeers von Bedeutung sind, könnten so besser erfaßt werden. Vertikalfänge in unterschiedlichen Tiefen sollten daher ergänzend zu jeder diskreten Probennahme durchgeführt werden.

- Die Experimente zur Ruhesporenbildung im Weddellmeer (als ein Teil des Lebenszyklus) waren in dieser Arbeit ein erster Versuch, diese interessante Thematik im Rahmen von Feldstudien anzugehen und Ideen für weitere Untersuchungen zu bekommen. Experimente gekoppelt mit Freilanduntersuchungen beispielsweise in Landnähe über flachen Schelfen oder im Eis während des ganzen Jahres, am besten von einer Küstenstation aus, könnten dazu beitragen, den Lebenszyklus einzelner Arten genauer kennenzulernen und dann die Bedeutung dieser Lebenszyklen auf die Entwicklung im Pelagial des Weddellmeers beziehungsweise der Antarktis zu bewerten.

- Die Rolle des Protozooplanktons im pelagischen Nahrungsgefüge, die aufgrund der Systemvorstellungen der Antarktis bisher kaum untersucht wurde, sollte in Zukunft mehr beachtet werden. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, daß sich einige Protozoen sogar von relativ großen Diatomeen ernähren, so daß sie nicht nur als Verbindungsglied in der Nahrungskette zwischen Pico-, Nanoplankton und dem Zooplankton, sondern auch teilweise als deren Nahrungskonkurrenten angesehen werden können.

## 5. Literatur

- Ackley, S.F., K.R. Buck and S. Taguchi (1979): Standing crop of algae in the sea ice of the Wedell Sea region. *Deep-Sea Res.* 26: 269-281.
- Admiraal, W. and L. A. H. Venekamp (1986): Significance of tintinnid grazing during bloom of *Phaeocystis* sp. (Haptophyceae) in Dutch coastal waters. *Neth. J. Sea Res.* 20: 61-66.
- Anderson, D.M. and B.A. Kaefer (1987): An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *Nature* 325: 616-617.
- Angel, M. V. (1984): Detrital organic fluxes through pelagic ecosystems. In: Fasham, M.J.R. (ed.): *Flows of energy and materials in marine ecosystems*. Nato Conference Series IV, Marine Science 13: 475-516.
- Bätje, M. and H. Michaelis (1986): *Phaeocystis pouchetii* blooms in East Frisian coastal waters (German Bight, North Sea). *Mar. Biol.* 93: 21-27.
- Balech, E. (1970): The distribution and endemisms of some antarctic microplankters. In: Holdgate, M.W. (ed.): *Antarctic ecology*, Vol.1. Academic Press, London: 143-147.
- Balech, E. and S.Z. El-Sayed (1965): Microplankton of the Weddell Sea. In: LLano, G.A. (ed.): *Biology of the Antarctic Seas II*. *Antarctic Res. Ser.* 5: 107-124.
- Bathmann, U. (1984): Struktur und Bedeutung des Zooplanktons beim Übergang von der Frühjahrs- zur Sommerphase in der zentralen Ostsee. *Dipl. Arb. Univ. Kiel*: 1-76.
- Bathmann, U.V., T.T. Noji, R. Peinert and M. Voss (1987): Copepod fecal pellets: abundance, sedimentation and content at a permanent station in the Norwegian Sea in May/June 1986. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 38: 45-51.
- Beers, J. R. and G. L. Stewart (1970): Numerical abundance and estimated biomass of microzooplankton. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* 17 (4): 67-87.
- Bidigare, R.R., T.J. Franck, C. Zastrow and J.M. Brooks (1986): The distribution of algal chlorophylls and their degradation products in the Southern Ocean. *Deep-Sea Res.* 33: 923-937.
- Bienfang, P.K. (1981): Sinking rates of heterogeneous, temperate phytoplankton populations. *J. Plankton Res.* 3: 235-253.
- Bodungen, B.v. (1986): Phytoplankton growth and krill grazing during spring in the Bransfield Strait, Antarctica -implications from sediment trap collections. *Polar Biol.* 6: 153-160.
- Bodungen, B.v., V.S. Smetacek, M.M. Tilzer and B. Zeitzschel (1986): Primary production and sedimentation during spring in the Antarctic Peninsula region. *Deep-Sea Res.* 33: 177-194.
- Bodungen, B.v., G. Fischer, E.-M. Nöthig and G. Wefer (1987): Sedimentation of krill faeces during spring development of phytoplankton in Bransfield Strait, Antarctica. In: Degens, E. T., Honjo S., Izdar, E (eds.): *Particle flux in the ocean*. *Mitteilungen aus dem Geologisch-Palaeontologischen Institut der Universität Hamburg, SCOPE UNEP, Sonderband 62*: 243-257.
- Bodungen, B.v., E.-M. Nöthig and Q. Sui (1988): New production of phytoplankton and sedimentation during summer 1985 in the southeastern Weddell-Sea. *J. Compar. Biochem. Physiol.* 90B: 475-487.

- Boysen-Ennen, E. (1987): Zur Verbreitung des Meso- und Makrozooplanktons im Oberflächenwasser der Weddell See (Antarktis). Ber. Polarforsch. 35: 1-126.
- Bröckel, K.v. (1981): The importance of nanoplankton within the pelagic antarctic ecosystem. Kieler Meeresforsch. 5: 61-67.
- Bröckel, K.v. (1985): Primary production data from the south-eastern Weddell Sea. Polar Biol. 4: 75-80.
- Buck, K.R. and D.L. Garrison (1983): Protists from the ice-edge region of the Weddell Sea. Deep-Sea Res. 30 : 1261-1277.
- Burckle, L.H. (1984): Ecology and paleoecology of the marine diatom Eucampia antarctica (Castr.) Mangin. Mar. Micropaleontol. 9: 77-86.
- Burkill, P. H., R. F. C. Mantoura, C. A. Llewellyn and N. J. P. Owens (1987): Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. Mar. Biol. 93: 581-590.
- Carmack, E. C. and T.D. Foster (1977): Water masses and circulation in the Weddell Sea. In: Dunbar, M. J. (ed.): Polar oceans. Proceedings of the Polar Oceans conference, Arctic Inst. of North America, Montreal: 151-165.
- Clarke, D.B., S.F. Ackley and M. Kumai (1984): Morphology and ecology of diatoms in sea ice from the Weddell-Sea. USA Cold Regions Res. Engineer. Lab. Rep. 84 (5): 1-41.
- Davis, C.O., J.T. Hollibaugh, D.L.R. Seibert, W.H. Thomas and P.J. Harrison (1980): Formation of resting spores by Leptocylindrus danicus (Bacillariophyceae) in a controlled experimental ecosystem. J. Phycol. 16: 296-302.
- Deacon, G. E. R. (1979): The Weddell Gyre. Deep-Sea Res. 26 : 981-995.
- Descolas-Gros, C. and G. de Billy (1987): Temperature adaptation of RuBP carboxylase: kinetic properties in marine antarctic diatoms. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 108: 147-158.
- Dodge, J.D. and J. Priddle (1987): Species composition and ecology of dinoflagellates from the Southern Ocean near South Georgia. J. Plankton Res. 9: 685-697.
- Doucette, G.J. and G. A. Fryxell (1983): Thalassiosira antarctica: vegetative and resting stage chemical composition of an ice-related diatom. Mar. Biol. 78: 1-6.
- Doucette, G. J. and G. A. Fryxell (1985): Thalassiosira antarctica (Bacillariophyceae) vegetative and resting stage ultra-structure of an ice-related marine diatom. Polar Biol. 4: 107-112.
- Durbin, E.G., R.W. Krawiec and T.J. Smayda (1975): Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA). Mar. Biol. 32: 271-287.
- Durbin, E.G. (1978): Aspects of biology of resting spores of Thalassiosira nordenskiöldii and Detonula confervacea. Mar. Biol. 45: 31-37.
- Edler, L. (1979): Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. BMB Publ. 5: 1-38.

- El-Sayed, S.Z. (1967): On the productivity of the southwest Atlantic Ocean and the waters west of the Antarctic Peninsula. In: Schmitt, W., Llano, G.A. (eds.): *Biology of the Antarctic Seas III*. Antarct. Res. Ser. 2: 15-47.
- El-Sayed, S.Z. (1971): Observations on phytoplankton bloom in the Weddell Sea. In: Llano, G.A., Wallen J.E. (eds.): *Biology of the Antarctic seas IV*. Ant. Res. Ser. 17: 301-312.
- El-Sayed, S.Z. (1984): Productivity of the antarctic waters - a reappraisal. In: Holm-Hansen, O., Bolis, L., Gilles, R. (eds.): *Marine phytoplankton and productivity*.
- El-Sayed, S.Z. and E.F. Mandelli (1965): Primary production and standing crop of phytoplankton in the Weddell Sea and Drake Passage. In: Llano, G.A. (ed.): *Biology of the Antarctic seas II*. Ant. Res. Ser. 5: 87-106.
- El-Sayed, S.Z. and S. Taguchi (1981): Primary production and standing crop along the ice edge in the Weddell Sea. *Deep-Sea Res.* 28: 1017-1032.
- El-Sayed, S.Z., D.C. Biggs and O. Holm-Hansen (1983): Phytoplankton standing crop, primary productivity, and near-surface nitrogenous nutrient fields in the Ross Sea, Antarctica. *Deep-Sea Res.* 30: 871-886.
- Eppley, R.W. (1972): Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* NOAA 70: 1063-1085.
- Fenchel, T. (1987): *Ecology of protozoa*. Science Tech. Inc., Madison Wisconsin, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York: 1-196.
- Fischer, G. and G. Wefer (1987): Sedimentation organischer Materials in der Bransfieldstraße und im Weddellmeer. Präsentiert DFG Berichtskolloquium des Schwerpunktprogramms "Antarktisforschung", Bonn.
- Foster, T.D. (1984): The marine environment. In: Laws, R.M.L. (ed.): *Antarctic ecology*, Vol.2. Academic Press, London: 345-371.
- Foster, T.D. and E.C. Carmack (1976): Temperature and salinity structure in the Weddell Sea. *J. Physical. Oceanogr.* 6: 36-44.
- French, F.W. and P.E. Hargraves (1980): Physiological characteristics of plankton diatom resting spores. *Mar. Biol. Letters* 1: 185-195.
- French, F.W. and P.E. Hargraves (1985): Spore formation in the life cycle of the diatoms *Chaetoceros diadema* and *Leptocylindrus danicus*. *J. Phycol.* 21: 477-483.
- Fryxell, G.A., G.J. Doucette and G.F. Hubbard (1981): The genus *Thalassiosira*: The bipolar diatom *T. antarctica* Comber. *Bot. Marina* 24: 321-335.
- Gaines, G. and F. J. R. Taylor (1984): Extracellular digestion in marine dinoflagellates. *J. Plankton Res.* 6: 1057-1061.
- Garrison, D.L. (1981): Monterey Bay phytoplankton: II. Resting spore cycles in coastal diatom population. *J. Plankton Res.* 3: 137-156.
- Garrison, D.L. (1984): Planktonic diatoms. In: Steidinger, K.A., Walker, L.M. (eds.): *Marine plankton life cycle strategies*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida: 2-18.

- Garrison, D.L. and K.R. Buck (1985): Sea-ice algal communities in the Weddell Sea: species composition in ice and plankton assemblages. In: Gray, J.S., Christiansen, M.E. (eds.): Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. Wiley and sons, New York: 103-122.
- Garrison, D.L., K.R. Buck and M.W. Silver (1982): Ice algal communities in the Weddell Sea. *Ant. J. US* 17 : 157-159.
- Garrison, D.L., K.R. Buck and M.W. Silver (1983): Studies of ice-algal communities in the Weddell sea. *Ant. J. US* 18:179-181.
- Gersonde, R. (1984): Siliceous microorganisms in sea ice and their record in sediments in the southern Weddell Sea (Antarctica). 8th diatom-Symposium: 549-566.
- Gersonde, R. and G. Wefer (1987): Sedimentation of biogenic siliceous particles in antarctic waters from the Atlantic sector. *Mar. Micropaleont.* 11: 311-332.
- Glibert, P.M., B.C. Biggs and J.J. McCarthy (1982): Utilization of ammonium and nitrate during austral summer in the Scotia Sea. *Deep-Sea Res.* 29: 837-850.
- Gradinger, R. (1986): Die Phytoplanktonentwicklung in der Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen. *Dipl. Arb. Univ. Kiel*: 1-95.
- Graßhoff, K. (1976): Methods on seawater analysis. Verlag Chemie, Weinheim: 1-317.
- Grice, G. D. and M. R. Reeve (1982): Marine mesocosms, biological and chemical research in experimental ecosystems. Springer Verlag, Heidelberg Berlin New York: 1-430.
- Guillard, R. R. L. and J. A. Hellebust (1971): Growth and the production of extracellular substances by two strains of Phaeocystis poucheti. *J. Phycol.* 7: 330-338.
- Hardy A. C. und E. R. Gunther (1935): The plankton of the South Georgia whaling grounds and adjacent waters. *Discovery Rep.* 11: 1-456.
- Hargraves, P.E. and F.W. French (1983): Diatom resting spores: significance and strategies. In: Fryxell G.A. (ed.): Survival strategies of the algae. Cambridge Univ. Press: 49-68.
- Hart, T.J. (1934): On the phytoplankton of the southwest Atlantic and the Bellinghausen Sea. *Discovery Rep.* 8: 1-268.
- Hart, T.J. (1942): Phytoplankton periodicity in antarctic surface waters. *Discovery Rep.* 21: 261-356.
- Hasle, G.R. (1965): Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron microscopes III. The genus Fragilariopsis. *Hvalradets skrifter* 21: 1-49.
- Hasle, G.R. (1969): An analysis of the phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: abundance, composition and distribution during the Brategg Expedition, 1947-48. *Hvalradets skrifter* 52: 1-168.
- Hasle, G.R. (1976): The biogeography of some marine planktonic diatoms. *Deep-Sea Res.* 23: 319-338.

- Hasle, G. R. and B. Booth (1984): *Nitzschia cylindroformis* sp. nov., a common and abundant nanoplankton diatom of the eastern subarctic Pacific. J. Plankton Res. 6: 493-503.
- Hayes, P.K., T.M. Whitaker and G.E. Fogg (1984): The distribution and nutrient status of phytoplankton in the Southern Ocean between 20° and 70° W. Polar Biol. 3: 153-165.
- Heinbokel, J.F. (1978): Studies of the functional role of tintinnids in the southern California Bight. 2. Grazing rates of field populations. Mar. Biol. 17: 191-197.
- Heinbokel, J.F. and D.W. Coats (1986): Patterns of tintinnine abundance and reproduction near the edge of seasonal pack-ice in the Weddell Sea, November 1983. Mar. Ecol. Prog. Ser. 33: 71-80.
- Hellmer, H. and M. Bersch (1985): "The Southern Ocean", A survey of oceanographic and marine meteorological research work. Ber. Polarforsch. 26: 1-115.
- Hempel, G. (1985a): Die Expedition ANTAKRTIS III mit FS "Polarstern" 1984/85. Ber. Polarforsch. 25: 1-209.
- Hempel, G. (1985b): Antarctic marine food webs. In: Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (eds.): Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 266-270.
- Hewes, C.D., O. Holm-Hansen and E. Sakshaug (1985): Alternate carbon pathways at lower trophic levels in the antarctic food web. In: Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (eds.): Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 277-283.
- Heywood, R.B. and T.M. Whitaker (1984): The antarctic marine flora. In: Laws, R. M. (ed.): Antarctic ecology, Vol.2. Academic press, London : 373-419.
- Hoban, M. A., G. A. Fryxell and K. R. Buck (1980): Resting spore formation in antarctic *Eucampia* and *Odontella*. J. Phycol. 16:591-602.
- Hollibaugh, J.T., D.L.R. Seibert and W.H. Thomas (1981): Observations on the survival and germination of resting spores of three *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) species. J. Phycol. 17: 1-9.
- Holm-Hansen, O. (1985): Nutrient cycles in antarctic ecosystems. In: Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. (eds.): Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 6-10.
- Holm-Hansen, O., S.Z. El-Sayed, G.A. Franceschini and R.L. Cuhel (1977): Primary production and the factors controlling phytoplankton growth in the Southern Ocean. In: Llano, G.A. (ed.): Adaptations within the antarctic ecosystem. Gulf, Houston, Texas: 11-50.
- Hopkins, T.L. (1985): Food web of an antarctic midwater ecosystem. Mar. Biol. 89: 197-212.
- Hubold, G., J. Hempel and M. Meyer (1988): Zooplankton communities in the southern Weddell Sea (Antarctica). Polar Biol. 8 : 225-233.
- Hulburt, E.M. (1983): The capacity for change and the unpredictability of the phytoplankton of the east coast of the United States. J. Plankton Res. 5: 35-42.



- Ivanov, A.J. (1964): Characteristics of phytoplankton in antarctic waters at the whaling grounds of the Flotilla "Slava" in 1957-58. In: Sov. Ant. Exp. Inf. Bull. 1: 394-396.
- Iverson, R.L., T.E. Whittedge and J.T. Goering (1979): Chlorophyll and nitrate fine structure in the southeastern Bering Seashelf break front. Nature 281: 664-666.
- Jacobson, D.M. and J.M. Anderson (1986): Thecate heterotrophic dinoflagellates feeding behavior and mechanisms. J. Phycol. 22: 249-258.
- Jaques, G. (1983): Some ecophysiological aspects of the antarctic phytoplankton. Polar Biol. 2: 27-33.
- Jeffrey, S.W. and G.F. Humphrey (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1, c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanzen 167: 191-197.
- Jennings, J.C. Jr., L.J. Gordon and D.M. Nelson (1984): Nutrient depletion indicates high primary productivity in the Weddell Sea. Nature 309: 51-53.
- Jochem, F. (1987): Zur Verbreitung und Bedeutung des autotrophen Ultraplanktons in der Kieler Bucht. Dipl. Arb., Univ. Kiel: 1-127.
- Karsten, G. (1905): Das Phytoplankton des Antarktischen Meeres nach dem Material der deutschen Tiefsee Expedition 1898-1899. In: Wiss. Ergebn. d. Deutschen Tiefsee-Exp. Dampfer "Valdivia" 1898-1899 II (2). Fischer Verlag, Jena: 1-136.
- Knox, G.A. (1970): Antarctic marine ecosystems. In: Holdgate, M.W. (ed.): Antarctic ecology, Vol.1. Academic Press, London 1: 69-96.
- Koike, J., O. Holm-Hansen and D.C. Biggs (1986): Inorganic nitrogen metabolism by antarctic phytoplankton with special reference to ammonium cycling. Mar. Ecol. Prog. Ser. 30: 105-116.
- Kopczynska, E.E., L.H. Weber and S.Z. El-Sayed (1986): Phytoplankton species composition in the Indian sector of the Antarctic Ocean. Polar Biol. 6: 161-169.
- Lancelot, C. and S. Mathot (1985): Biochemical fractionation by phytoplankton in Belgian coastal waters during short- and long-term incubations with  $^{14}\text{C}$ -bicarbonate II. *Phaeocystis pouchetii* colonial population. Mar. Biol. 86: 227-232.
- Lenz, J. (1971): Zur Methode der Sestonbestimmung. Kieler Meeresforsch. 27: 180-193.
- Levasseur, M., J.C. Therriault and L. Legendre (1984): Hierarchical control by physical factors. Mar. Ecol. Prog. Ser. 19: 211-222.
- Lohmann, H. (1920): Die Bevölkerung des Ozeans mit Plankton nach den Ergebnissen der Zentrifugenfänge während der Ausreise der "Deutschland" 1911. Arch. Biontol. 4: 1-617.
- Lorenzen, C.J. (1967): Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr. 12: 343-346.

- Marchant, H.J. (1985): Choanoflagellates in the antarctic marine food chain. In: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R.M. (eds.): Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 271-276.
- Marchant, H.J. and McEldowney (1986): Nanoplanktonic siliceous cysts from Antarctic are algae. *Mar. Biol.* 92: 53-57.
- Malone, T. C., C. Garstide, R. Anderson and O.A. Roels (1973): The possible occurrence of photosynthetic microorganisms in deep sea sediments of the north Atlantic. *J. Phycol.* 9: 482-488.
- Margalef, R. (1958): Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Buzzati, A.A. (ed.). Perspectives in marine biology. Traverso, Univ. of Calif. Press L.A.: 145-158.
- Margalef, R. (1978): Life forms of phytoplankton as survival alternative in an unstable environment. *Oceanolog. Acta* 1: 493-509.
- Marra, J. and D.C. Boardman (1984): Late winter chlorophyll a distributions in the Weddell Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 19: 197-205.
- Nelson, D.M. and W.O. Jr. Smith (1986): Phytoplankton bloom dynamics of the western Ross Sea ice edge- II. Mesoscale cycling of nitrogen and silicon. *Deep-Sea Res.* 33: 1389-1412.
- Neori, A. and O. Holm-Hansen (1982): Effect of temperature on rate of photosynthesis in antarctic phytoplankton. *Polar Biol.* 1: 33-38.
- Neuer, S. (1986): Ökologische Beobachtungen an sommerlichen Planktongemeinschaften in der Kieler Bucht. *Dipl. Arb. Univ. Kiel:* 1-76.
- Nöthig, E.-M. (1984): Experimentelle Untersuchungen an natürlichen Planktonpopulationen unter besonderer Berücksichtigung heterotropher Organismen. *Dipl. Arb. Univ. Kiel:* 1-105.
- Nöthig, E.-M. (1986): Tank experiments with natural plankton populations: The influence of light and grazing pressure on pelagic system structure. *Ophelia Suppl.* 4: 179-190.
- Nöthig, E.-M. (1987): Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons in der südöstlichen Weddell See im Januar/Februar 1985 (Antarktis III,3). *Diss. Univ. Kiel:* 1-158.
- Noji, T., U. Passow and V. Smetacek (1986): Interaction between pelagial and benthic during autumn in Kiel Bight. I. Development and sedimentation of phytoplankton blooms. *Ophelia* 26: 333-349.
- Olson, R.J. (1980): Nitrate and ammonium uptake in antarctic waters. *Limnol. Oceanogr.* 25: 1064-1074.
- Palmisano, A. C. and C. W. Sullivan (1982): Physiology of sea ice diatoms. 1. Response of three polar diatoms to a simulated summer-winter transition. *J. Phycol.* 18: 489-498.
- Palmisano, A.C., J.B. Soohoo, S.L. Soohoo, S.T. Kottmeier, L.L. Craft and C. W. Sullivan (1986): Photoadaptation in *Phaeocystis pouchetii* advected beneath annual sea ice in McMurdo Sound, Antarctica. *J. Plankton Res.* 8: 891-906.
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargraves (1977): Biological oceanographic processes. 2nd edition, Oxford, Pergamon Press: 1-332.

- Peinert, R. (1986a): Saisonale und regionale Aspekte der Produktion und Sedimentation von Partikeln im Meer. SFB (313) Rep. Univ. Kiel 2: 1-108.
- Peinert, R. (1986b): Production, grazing and sedimentation in the Norwegian Coastal Current. In: Skreslet, S. (ed.): The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. Springer Verlag, Heidelberg Berlin New York: 361-374.
- Peinert, R., A. Saure, P. Stegmann, C. Stienen, H. Haardt and V. Smetacek (1982): Dynamics of primary production and sedimentation in a coastal ecosystem. Neth. J. Sea Res. 16: 276-289.
- Piatkowski, U. (1987): Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an Antarktischem Makroplankton. Ber. Polarforsch. 34: 1-150.
- Pitcher, G.C. (1986): Sedimentary flux and the formation of resting spores of selected *Chaetoceros* species at two sites in the Southern Benguela system. S. Afr. J. Mar. Sci. 4: 231-244.
- Priddle, J. and G. A. Fryxell (1985): Handbook of the common plankton diatoms of the Southern Ocean: Centrales except the genus *Thalassiosira*. British Antarctic Survey, Cambridge: 1-159.
- Priddle, J., I. Hawes and J.C. Ellis-Evans (1986): Antarctic aquatic ecosystems as habitats for phytoplankton. Biol. Rev. 61: 199-238.
- Probyn, T.A. and S.J. Painting (1985): Nitrogen uptake by size-fractionated phytoplankton populations in antarctic surface waters. Limnol. Oceanogr. 30: 1327-1332.
- Rey, F. and H. Loeng (1985): The influence of ice and hydrographic conditions on the development of phytoplankton in the Barents Sea. In: J.S. Gray, Christiansen, M.E. (eds.). Marine biology of polar regions and effect of stress on marine organisms. John Wiley and sons, New York : 49-63.
- Rønner, U., F. Sörensson and O. Holm-Hansen (1983): Nitrogen assimilation by phytoplankton in the Scotia Sea. Polar Biol. 2: 137-147.
- Sakshaug, E. and O. Holm-Hansen (1984): Factors governing pelagic production in polar oceans. In: Holm-Hansen, O., Bolis, L and Gilles R. (eds.): Marine phytoplankton and productivity. Lecture notes on coastal and estuarine studies, Vol. 8, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 1-18.
- Sakshaug, E. and O. Holm-Hansen (1986): Photoadaptation in antarctic phytoplankton: variations in growth rate, chemical composition and P versus I curves. J. Plankton Res. 8: 459-473.
- Sakshaug, E. (in press): The physiological ecology of polar phytoplankton. In: Rey, F., Alexander, V. (eds.): Marine living systems of the far north.
- Schandelmeier, L. and V. Alexander (1981): An analysis of the influence of ice on spring phytoplankton population structure in the southeast Bering Sea. Limnol. Oceanogr. 26: 935-943.
- Schnack, S.B. (1985): Feeding by *Euphausia superba* and copepod species in response to varying concentrations of phytoplankton. In: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (eds.): Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York: 311-323.

- Schneider, A. (1980): Ökologische Untersuchungen des Phytoplanktons auf einer Dauerstation in der Antarktis.(59° 41' S, 49° 51' W). Dipl. Arb. Univ. Kiel: 1-75.
- Schneider, A. (1983): Verbreitung und Ökologie des Phytoplanktons im atlantischen Sektor der Antarktis. Diss. Univ. Kiel: 1-125.
- Schütt, F. (1886): Auxosporenbildung von Rhizosolenia alata. Ber. Deut. Bot. Ges. 4 (1): 8-14.
- Silver, M.W., J.G. Mitchell and D.L. Ringo (1980): Siliceous nanoplankton. II. Newly discovered cysts and abundant choanoflagellates from the Weddell Sea, Antarctica. Mar. Biol. 58: 211-217.
- Smyda, T.J. (1980): Phytoplankton species succession. In: Morris, I., (ed.): The physiological ecology of phytoplankton. Blackwell, Oxford, London: 493-570.
- Smyada, T. J. and B. Mitchell-Innes (1974): Dark survival of autotrophic marine diatoms. Mar. Biol. 25: 195-202.
- Smetacek, V. (1975): Die Sukzession des Phytoplanktons in der westlichen Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel: 1-151.
- Smetacek, V. (1980): Zooplankton standing stock, copepod faecal pellets and particulate detritus in Kiel Bight. Estuar. Coast. Mar. Sci. 11: 477-490.
- Smetacek, V. (1981): The annual cycle of protozooplankton in the Kiel Bight. Mar. Biol. 63: 1-11.
- Smetacek, V. (1984): Growth dynamics of a common Baltic protozooplankter: the ciliate genus Lohmanniella. Limnologica 15: 371- 376.
- Smetacek, V. (1985a): The annual cycle of Kiel Bight plankton: a long-term analysis. Estuaries 8: 145-157.
- Smetacek, V. (1985b): The role of sinking in diatom life-cycles: ecological, evolutionary and geological significance. Mar. Biol. 84: 239-251.
- Smetacek, V. (1986): Impact of freshwater discharge on production and transfer of materials in the marine environment. In: Skreslet, S.(ed.): The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. Springer Verlag, Heidelberg Berlin New York: 85-106.
- Smetacek, V. and P. Hendrikson (1979): Composition of particulate organic matter in Kiel Bight in relation to phytoplankton succession. Oceanolog. Acta 2: 287-298.
- Smetacek, V. and F. Pollehne (1986): Nutrient cycling between water column and sediment: a reappraisal of the conceptual framework. Ophelia 26: 401-428.
- Smetacek, V., B.v. Bodungen, B. Knoppers, H. Neubert, F. Pollehne and B. Zeitzschel (1980): Shipboard experiments on the effect of vertical mixing on natural plankton populations in the central Baltic Sea. Ophelia Suppl.1: 77-98.
- Smetacek, V., B.v. Bodungen, B. Knoppers, R. Peinert, F. Pollehne, P. Stegmann and B. Zeitzschel (1984): Seasonal stages characterizing the annual cycle of an inshore pelagic system. Rapp. P.-v. Cons. Int. Explor. Mer 183: 126-135.

- Smetacek, V., L.J. Gordon, R. Scharek, H. Eicken, E. Fahrbach, G. Rohardt and S. Moore (subm.): Dense phytoplankton blooms under Weddell Sea pack-ice in early austral spring.
- Smith, W.O. and D.M. Nelson (1985): Phytoplankton bloom produced by a receding ice edge in the Ross Sea: Spatial coherence with the density field. *Science* 227: 163-166.
- Spero, H.J. and M.D. Moree (1981): Phagotrophic feeding and its importance to the life cycle of the holozoic dinoflagellate Gymnodinium fungiforme. *J. Phycol.* 17: 43-51.
- Spindler, M. and G.S. Dieckmann (1986): Distribution and abundance of planktonic foraminifera Neoglobobulimina pachyderma in sea ice of the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol.* 5: 185-191.
- Stegmann, P. and R. Peinert (1984): Interrelationships between herbivorous zooplankton and phytoplankton and their effect on production and sedimentation of organic matter in Kiel Bight. *Limnologica* 15: 487-495.
- Steemann-Nielsen, E. (1958): Experimental methods for measuring organic production in the sea. *Rapp. P.-v. Cons. int. Explor. Mer* 144: 38-46.
- Strathmann, R.R. (1967): Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* 12: 411-418.
- Sundström, B.G. (1986): The marine diatom genus Rhizosolenia. *Diss. Univ. Lund, Sweden*: 1-196.
- Sverdrup, H.U. (1953): On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 18: 287-295.
- Syvertsen, E.E. (1985): Resting spore formation in the antarctic diatoms Coscinodiscus furcatus Karsten and Thalassiosira australis Pergallo. *Polar Biol.* 4: 113-119.
- Unesco (1966): Determination of photosynthetic pigments in sea water. *Monogr. Oceanogr. Methodol. (Unesco)* 1: 1-66.
- Utermöhl, H. (1931): Über das umgekehrte Mikroskop. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 5: 567-596.
- Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton - Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9: 1-38.
- Veldhuis, M. J. W. and W. Admiraal (1985): Transfer of photosynthetic products in gelatinous colonies of Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae) and its effect on the measurement of excretion rate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 26: 301-304.
- Veldhuis, M. J. W. and W. Admiraal (1987): Influence of phosphate depletion on the growth and colony formation of Phaeocystis pouchetii. *Mar. Biol.* 95: 47-54.
- Veldhuis, M. J. W., F. Coljin and L.A.H. Venekamp (1986): The spring bloom of Phaeocystis pouchetii (Haptophyceae) in Dutch coastal waters. *Neth. J. Sea Res.* 20: 37-48.
- Venrick, E.L. (1978): How many cells to count. In: Sournia, A. (ed.): *Phytoplankton manual*. UNESCO, Paris: 167-180.
- Verity, P.G. (1986): Grazing of phototrophic nanoplankton by microzooplankton in Narragansett Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 29: 105-115.

- Verity, P.G. (1987): Abundance, community composition, size distribution, and production rates of tintinnids in Narragansett Bay, Rhode Island. *Est. Coast. Shelf Sci.* 24: 671-690.
- Wefer, G., G. Fischer, D. Fütterer and R. Gersonde (1988): Seasonal particle flux in the Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-Sea Res.* 35: 891-898.
- Weiß, T. (1983): Feeding of calanoid copepoda in relation to Phaeocystis pouchetii blooms in the German Wadden Sea area off Sylt. *Mar. Biol.* 74: 87-94.
- Wilson, D.L., W.O. Smith and D. Nelson (1986): Phytoplankton bloom dynamics of the western Ross Sea ice edge - I. Primary productivity and species-specific production. *Deep-Sea Res.* 33: 1375-1387.
- Witek, Z., M. Pastuszak and A. Grelowski (1982): Net-phytoplankton abundance in western Antarctic and its relation to environmental conditions. *Meeresforsch.* 29: 66-180.
- Zeitzschel, B., P. Diekmann and L. Uhlmann (1978): A new sediment trap. *Mar. Biol.* 45: 285-288.