

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENCE REPORTS

No. 13

Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in zwei
unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee
(Pommernbucht, Gotlandsee)

von

Bettina Meyer-Harms

Institut für Ostseeforschung
Warnemünde
1996

Die vorliegende Arbeit ist inhaltlich die unveränderte Fassung einer Dissertation, die 1995 im Institut für Ostseeforschung Warnemünde angefertigt und von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät zu Rostock angenommen wurde.

Das dieser Arbeit zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 03F0105A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Summary

Danksagung

	Seitenzahl
1. Einleitung	1
2. Material und Methode	4
2.1 Untersuchungsgebiete	4
2.2 Probenahmestrategie	7
2.3 Überblick der Probenahme an einer Driftstation und der späteren Probenaufarbeitung	7
2.4 Beprobung der Wassersäule	9
2.4.1 Isolierung von <i>Dinophysis norvegica</i> in der Gotlandsee	9
2.5 Probenahme des Zooplanktons und anschließende Bearbeitung	10
2.6 Bestimmung von POC und PON des suspendierten Materials sowie TG, C und N von <i>Acartia bifilosa</i>	12
2.7 Phytoplanktonzählungen mittels der Utermöhlmethode	
2.8 Pigmentuntersuchungen mittels der HPLC-Technik	12
2.8.1 Nutzung der Phytoplanktonpigmente als chemo- taxonomische Biomarker	12
2.8.2 Funktionsweise der HPLC	15
2.8.2.1 Allgemeiner Überblick	15
2.8.2.2 Laboranlage und Trennmethode	15
2.8.2.3 Eichung der HPLC-Anlage	17
2.8.2.4 Aufarbeitung der für die Pigmentanalytik bestimmten Proben	21
2.8.3 Umrechnung der Zellzählungen, der Markerpigmente und der Chl.a-Konzentrationen in Kohlenstoffäquivalente	21
2.9 Bestimmung von $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnissen	24
2.9.1 Voraussetzungen für die Verwendung von $\delta^{15}\text{N}$ als Tracer für die Bestimmung der Aufnahme von diazotrophen Cyano- bakterien durch calanoide Copepoden	24
2.9.2 Analyse von $\delta^{15}\text{N}$ des suspendierten Materials, der isolierten Cyanobakterien und der calanoiden Copepoden	25
2.9.3 Berechnung des $\delta^{15}\text{N}$ des Phytoplanktons	25
2.10 Durchführung der Freßexperimente nach der Differenzmethode	26
2.11 Statistische Auswertung	28

3.	Ergebnisse der Driftexperimente in der Pommernbucht und der Gotlandsee 1993/1994	29
3.1	Ergebnisse der Untersuchungen in der Pommernbucht 1993	29
3.1.1	Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials	29
3.1.2	Phytoplanktonverteilung	32
3.1.3	Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen	35
3.1.4	Zooplanktonverteilung	41
3.1.5	Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden	42
3.1.6	Vergleich der prozentualen Verteilung der Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden	45
3.1.7	$\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und von <i>Acartia bifilosa</i>	48
3.2	Ergebnisse der Untersuchungen in der Pommernbucht 1994	49
3.2.1	Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials	49
3.2.2	Phytoplanktonverteilung	51
3.2.3	Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen	53
3.2.4	Zooplanktonverteilung	56
3.2.5	Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden	56
3.2.6	Vergleich der prozentualen Verteilung der Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden	59
3.2.7	$\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und von <i>Acartia bifilosa</i>	61
3.2.8	Freßexperimente mit <i>Acartia bifilosa</i>	62
3.3	Ergebnisse der Untersuchungen in der Gotlandsee 1993	65
3.3.1	Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials	65
3.3.2	Phytoplanktonverteilung	67
3.3.3	Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen	70
3.3.4	Zooplanktonverteilung	71
3.3.5	Vergleich der Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt der häufigsten Copepoden und in der Wassersäule	73

	Seitenzahl
3.3.6 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und der dominanten Copepoden	76
3.3.7 Freßexperimente mit <i>Acartia bifilosa</i>	78
3.4 Ergebnisse der Untersuchungen in der Gotlandsee 1994	82
3.4.1 Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials	82
3.4.2 Phytoplanktonverteilung	84
3.4.3 Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen	87
3.4.4 Zooplanktonverteilung	88
3.4.5 Vergleich der Markerpigment-Konzentrationen im Magen- Darmtrakt der häufigsten Copepoden und in der Wassersäule	91
3.4.6 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und der dominanten Copepoden	93
3.4.7 Freßexperimente mit <i>Acartia bifilosa</i>	94
4. Zusammenfassende Betrachtung sowie Diskussion der Ergebnisse aus der Pommernbucht und der Gotlandsee 1993/94	98
4.1 Phytoplanktonverteilung	98
4.2 Kritische Betrachtung der in dieser Arbeit angewendeten Berechnungsformen für die Ermittlung der C-Äquivalente	102
4.3 Zooplanktonverteilung	107
4.4 Ernährungsstrategien calanoider Copepoden in der Pommernbucht und der Gotlandsee	108
4.5 Bedeutung der Cyanobakterien als Nahrung für calanoide Copepoden in der Gotlandsee	114
4.6 Beitrag der calanoiden Copepoden zum Kohlenstofffluß in der Pommernbucht und der Gotlandsee	117
5. Zusammenfassung	123
6. Literaturverzeichnis	126
7. Anhang	138

Artenverzeichnis

Acartia bifilosa (Giesbrecht)

Acartia tonsa (Dana)

Acartia longiremis (Lilljeborg)

Centropages hamatus (Lilljeborg)

Eurytemora affinis (Poppe)

Pseudocalanus elongatus (Boeck)

Temora longicornis (Müller)

Summary

The aim of the thesis was to analyze the feeding strategy of calanoid copepods in two areas of the Baltic Sea which were characterized by different levels of eutrophication in the summer and early autumn. The two research areas were the Pomeranian Bay and the Gotland Sea. Based on phytoplankton biomass, the former one is considered to be eutrophic to hypertrophic, whereas the Gotland Sea is an oligotrophic to mesotrophic basin. The goal of the Pomeranian Bay study was to determine alterations in the phytoplankton community caused by the mixing processes of water discharged from the Oder river with the water of the bay and the impact of these processes on the feeding activity of calanoid copepods. In contrast to the Pomeranian Bay, the Gotland Sea, in summer, is characterized, by a stable stratification of the water column, oligotrophic nutrient conditions in the mixed layer and a low phytoplankton biomass. When compared to the Pomeranian Bay, the phytoplankton community in the Gotland Sea consists of small phytoplankton species ($\leq 10 \mu\text{m}$) and diazotrophic cyanobacteria. The goal of the Gotland Sea study was to find out whether the copepods feed on nitrogen-fixing cyanobacteria and small phytoplankton species. In addition, the contribution of calanoid copepods to the carbon flux was to be estimated in both areas under investigation.

The samples were analyzed using different methods: measurements of marker pigments (HPLC), cell counts using the Utermöhl method, zooplankton counts and determination of $\delta^{15}\text{N}$. In contrast to the routine methods, the zooplankton was not size-fractionated. The specimens were separated according to species and developmental stage in the analyses and grazing experiments. All experiments were carried out using natural phytoplankton concentrations and compositions. *Acartia bifilosa* was abundant in both areas under investigation and thus allowed direct comparisons of trophic pathways between the two areas.

The composition of phytoplankton (the diet of the copepods) was determined using marker pigments and Utermöhl cell counts. The food spectrum of the copepods was determined by pigment analysis of gut content. Additional grazing experiments with *A. bifilosa* allowed a compact interpretation of the field data. The grazing experiments were evaluated in conjunction with marker pigment measurements and cell counts. The determination of ingestion of cyanobacteria by the copepods was complemented by the $\delta^{15}\text{N}$ -analysis. This method allows the differentiation between ingested cyanobacteria and other phytoplankton organisms. In order to be able to compare the results of the cell counts and the pigment analyses, the data were converted into chl.a-equivalents. The conversions were made using chl.a/marker pigment ratios from the literature (laboratory cultures), as well as using chl.a/marker pigment ratios from pigment measurements in the two research areas (field and grazing experiments), estimated by multiple regression analysis.

The main results of the thesis are summarized as follows:

- The copepods in the Pomeranian Bay and in the Gotland Sea exhibit different feeding strategies. Copepods in the Pomeranian Bay, which has a mean phytoplankton biomass of $400 \mu\text{g C} * \text{L}^{-1}$ feed selectively on crypto.- and dinophyceae. In the Gotland Sea, which has a mean biomass of $120 \mu\text{g C} * \text{L}^{-1}$, feeding of copepods is very opportunistic, except when they prey upon the cyanobacteria, which means that the composition of the diet corresponds to the availability of the food. The ingestion rates determined by pigment measurements in the Pomeranian Bay were around $844 \text{ ng C} * \text{Ind.}^{-1} * \text{day}^{-1}$. This corresponds to 71 % of body-C content. In the Gotland Sea, the maximum ingestion rate of *A. bifilosa* was $241 \text{ ng C} * \text{Ind.}^{-1} * \text{day}^{-1}$ in 1993, in contrast to 1994, when this value was $914 \text{ ng C} * \text{Ind.}^{-1} * \text{day}^{-1}$. These values correspond to 22 % (1993) and 51 % (1994) of the body-C content. The assimilation efficiencies show that the ingested food was used increasingly less economically at high ingestion rates. In 1994, the assimilation efficiencies were 58 % and 46 % in the Pomeranian Bay and in the Gotland Sea, respectively. In 1993, in the Gotland Sea, when the food supply was suboptimal, the assimilation efficiency was 89 %.
- In the Pomeranian Bay, feeding upon the primarily colonies-forming cyanobacteria was low. In contrast, in the Gotland Sea, the ingestion of diazotrophic cyanobacteria probably depends on the physiological status of the bloom. It seems that at start of the bloom the cyanobacteria are hardly fed upon (2 % of the cyanobacteria biomass, Gotland Sea 1993). However, during the stationary and the regressing phase of the bloom, feeding on cyanobacteria increases considerably (20 % of the cyanobacteria, Gotland Sea 1994).
- 1.1% and 3.3 % of the primary production were ingested by calanoid copepods in the Pomeranian Bay and in the Gotland Sea, respectively. In the nutrient limited system of the Gotland Sea, $2.3 \text{ mg C m}^{-3} * \text{day}^{-1}$ were excreted by the copepods into the mixed layer. According to the Redfield ratio, this corresponds to $0.3 \text{ mg N} * \text{m}^{-3} * \text{day}^{-1}$. Consequently, at a mean depth of 0 - 15 m of the mixed layer, $321 \mu\text{mol} * \text{m}^{-2} * \text{day}^{-1}$ were excreted by the copepods. 20 % of this amount of nitrogen results from the new production of diazotrophic cyanobacteria.
- The comparison between the chl.a-equivalents determined by chl.a/marker pigment ratios from algal cultures, and those determined by chl.a/marker pigment ratios from pigment measurement in the Pomeranian Bay and the Gotland Sea, which were calculated by multiple regression analysis, showed that the estimation by multiple regression analysis is a good tool to consider the variation in the pigment composition caused by changing light conditions. The application of conversion factors gained from laboratory cultures is not

recommended for the calculation of chl.a-equivalents from marker pigment concentrations in estuarine systems, which are characterized by variable light conditions due to horizontal and vertical mixing processes.

- The agreement of the determinations of phytoplankton composition using cell counts and pigment measurements is good. However, the pigment composition of the isolated *Dinophysis norvegica* in the Gotland Sea, exhibiting alloxanthin (marker for cryptophytes) as marker pigment instead of peridinin (marker for dinoflagellates), demonstrates clearly that pigment analysis should be complemented by random samples of cell counts.
- The evaluation of the grazing experiments using cell counts and pigment measurements showed in the Pommeranian Bay and the Gotland Sea, the pigment analysis is a useful method to determine taxon-specific ingestion rates by calanoid copepods. Pigment analysis allows to obtain good reproducible results at a low time investment. Also, the variance is smaller when compared to that resulting from cell counts according to the Utermöhl method.

Acknowledgements

I thank the Federal Ministry for Education, Science, Research and Technology (BMBF) for the support of this project (03F0105A).

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Bodo von Bodungen danke ich recht herzlich, daß er mir die Doktorarbeit am IOW ermöglichte. Für die Freiheit, die er mir in der Bearbeitung des Themas gewährte, und die gute Betreuung gerade in der Endphase dieser Arbeit bedanke ich mich.

Herrn Falk Pollehne möchte ich für seine stete Diskussionsbereitschaft im Verlauf dieser Arbeit danken.

Herrn Günter Jost sei herzlichst für die gründliche Durchsicht der Arbeit gedankt. Seine Anmerkungen waren sehr hilfreich und konstruktiv.

Gedankt sei auch Susanne Busch, Käte Kunert, Norbert Wasmund sowie Regina Hansen die mir bei der taxonomischen Bestimmung des Phytoplanktons behilflich waren. Bedanken möchte ich mich ferner bei Frau Sandberg, die mir bei der Zooplanktonbestimmung hilfreich zur Seite stand, sowie der Besetzung der Prof. A. Penck und A. v. Humboldt für deren hilfreiche Unterstützung während der Probenahme.

Ein großer Dank gilt der Werkstatt-Crew sowie der Bibliotheksbesetzung Annemarie Schröder und Brigitte Sievert, die mit einem großen Engagement meine Wünsche in die Tat umsetzten. Bedanken möchte ich mich weiterhin bei Katja Fennel, die mir bei der multiplen Regressionsanalyse sehr behilflich war. Weiterhin möchte ich mich bei Bernd Schlichting (Abt. EDV) bedanken, der mir half so manches Computerproblem zu lösen, ohne dabei die Ruhe zu verlieren. Dies gilt auch für seine Kolleginnen B. Heinrich und S. Biesel, die in der Endphase dieser Arbeit im Poolraum mit Rat und Tat behilflich waren. Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Patrick Bonaker (Abt. Geologie), der mir die Karte über die Ostsee (Abb.1) zur Verfügung stellte, bei Monika Gerth, Herbert Siegel und Marco Beckert (Abt. Physik), die mir die Abbildung für die Pommernbucht überließen (Abb. 2 und 3) sowie bei Christoph Humborg der die schematische Darstellung der HPLC-Anlage (Abb. 6) erstellte. Bedanken möchte ich mich weiterhin bei Uli Struck, der mir über so manche Konvertierungsprobleme bei der Erstellung einiger Abbildungen hinweghalf, sowie bei Maren Voss, die mich mit viel Geduld in die Geheimnisse der $\delta^{15}\text{N}$ -Analytik einweihte.

Ganz besonderer Dank gilt meinem Mann Jockel, der mit einer unermütlchen Geduld meine Launen in den letzten Monaten über sich ergehen ließ und mir in den zahlreichen Tiefpunkten immer wieder Mut zusprach. Seine Toleranz in dieser Zeit verdient einen ganz besonderen Dank.

1. Einleitung

Im pelagischen Bereich mariner Systeme stellen die Copepoden ein wichtiges Bindeglied zwischen der autotrophen Produktion und Vertretern höherer trophischer Stufen innerhalb des Nahrungsnetzes dar (Weber, 1994). Dementsprechend wird seit vielen Jahren die Ernährung und die Sekundärproduktion der Copepoden in der Literatur intensiv diskutiert (siehe z. B. Ryther, 1969; Lasker, 1988; Kleppel et al., 1991). Dabei zeigte sich, daß das Wachstum und die Reproduktion der Copepoden wesentlich durch die Nahrungsqualität und -quantität beeinflusst wird (Durbin et al., 1983; Roman, 1984). Dies hat letztlich auch Auswirkungen auf die Produktion in den höheren trophischen Ebenen (Hardy, 1924; Ryther, 1969; Smith und Eppley, 1982). Der Einfluß der Futterkonzentration sowie -zusammensetzung auf die Nahrungsaufnahme bzw. Eiproduktion ist im Freiland nur sehr schwierig zu quantifizieren. Die Erkenntnisse über die Ernährungsstrategie der Copepoden beruhen daher weitgehend auf Laborversuchen, die unter definierten Bedingungen durchgeführt wurden, so daß die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Freilandverhältnisse häufig problematisch ist. In den letzten Jahren ist das Interesse an der Überprüfung der Laborergebnisse durch Feldversuche daher stetig gestiegen (Literaturzusammenfassung bei Kleppel, 1993). Daraufhin waren die Methoden zur Bestimmung der Ingestionsraten des Zooplanktons unter Freilandbedingungen bzw. Freiland angenäherten Bedingungen in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher Analysen, Vergleiche und Diskussionen. Bis heute gibt es jedoch keine klare Bewertung der jeweiligen Methoden in Bezug auf ihre spezifischen Anwendungsmöglichkeiten und Aussagegenauigkeiten (Literaturzusammenfassung siehe bei Morales und Harris, 1990). Obwohl die Freilandmethoden kontrovers diskutiert werden, haben die bisherigen Untersuchungen wichtige Erkenntnisse über die komplexen Beziehungen innerhalb des Nahrungsnetzes geliefert. Es zeigte sich, daß z. B. die Kenntnis des Fraßdruckes herbivorer Zooplankter wesentlich zum Verständnis der Dynamik pelagischer Ökosysteme beiträgt (Morales and Harris, 1990). Kleppel (1993) faßt die bisherigen Erkenntnisse der trophischen Beziehungen, die sich aus dem Vergleich der bisherigen Labor- und Freilanddaten ergeben, in drei Punkten wie folgt zusammen:

- 1) Die Energie fließt nicht wie früher angenommen durch eine Nahrungskette, sondern durch ein viel komplizierteres Nahrungsnetz.
- 2) Kleine Phyto- und Mikrozooplankter sind wichtige Bestandteile des Nahrungsspektrums des Mesozooplanktons.
- 3) Die Beschreibung des Material- und Energieflusses kann nur durch ein verbessertes Verständnis des Nahrungsangebotes und der artspezifischen Nahrungsansprüche der jeweiligen Mesozooplankter im Ökosystem erreicht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Phytoplanktongemeinschaften in der Wassersäule und die taxon-spezifische Nahrungsaufnahme calanoider Copepoden in zwei Seegebieten mit

unterschiedlichen Nahrungsspektrum (Pommernbucht, Gotlandsee) mittels Zellzählungen und Pigmentmessungen untersucht. Die Aussagequalität beider Methoden wird anhand von Freßexperimenten mit definierten Arten und Entwicklungsstadien, die in der natürlich vorhandenen Phytoplanktonkonzentration inkubiert werden, überprüft. Die vorliegende Arbeit will durch die Analyse des selektiven Freßverhaltens calanoider Copepoden einen Beitrag zum besseren Verständnis des Kohlenstoffflusses innerhalb pelagischer Ökosysteme leisten.

Die Pommernbucht ist nach der Definition von Nixon (1995) aufgrund ihres organischen Kohlenstoffgehaltes ein eutrophes bis hypertrophes Ästuarsystem, welches durch Stoffeinträge aus der Oder und deren Vermischungsprozesse mit dem Ostseewasser geprägt wird. Durch die vorliegende Arbeit soll geklärt werden, wie sich die Phytoplanktongesellschaft während des Vermischungsprozesses eines aus der Oder austretenden Wasserkörpers mit Ostseewasser verändert und inwieweit hierdurch die Freßaktivität calanoider Copepoden beeinflusst wird. Mit den vorliegenden Untersuchungen soll der Beitrag calanoider Copepoden zum Kohlenstofffluß in diesem System abgeschätzt werden. Die Untersuchungen in der Pommernbucht werden im Rahmen eines vom BMBF geförderten interdisziplinären Verbundprojektes "**TR**ansport- und **UM**satz-Prozesse in der **P**ommernbucht" (TRUMP) durchgeführt. Ziel von TRUMP ist die Erfassung, Quantifizierung und Modellierung der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die den Verbleib der eingetragenen Flußfrachten steuern. Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf die Analyse der Wechselwirkungen zwischen physikalischen Transportprozessen und biologisch-chemischen Stoffumwandlungen im Jahresverlauf unter Berücksichtigung lokaler Gradienten zwischen Odermündung und den Rändern der Ostseebecken.

Die Gotlandsee ist ein in der zentralen Ostsee gelegenes Seegebiet, das sich in den Sommermonaten im Gegensatz zur Pommernbucht aufgrund einer stabilen Schichtung des Wasserkörpers durch oligotrophe Nährstoffverhältnisse in der photischen Zone (Nixon, 1995) und einer geringen Phytoplanktonbiomasse auszeichnet. Die Phytoplanktongemeinschaft der Gotlandsee setzt sich im Vergleich zur Pommernbucht aus kleinen Formen ($< 10 \mu\text{m}$) sowie diazotrophen Cyanobakterien zusammen. Inwieweit in diesem oligo- bis mesotrophen Seegebiet, die häufig in Massen auftretenden diazotrophen Cyanobakterien den calanoiden Copepoden als Nahrung dienen können, ist eine der zentralen Fragestellungen in dieser Arbeit. Des weiteren soll auch in diesem System anhand der gewonnenen Ergebnisse der Beitrag calanoider Copepoden zum Kohlenstofffluß abgeschätzt werden. Die Produktions- und Wachstumsmuster in der Gotlandsee werden im Rahmen eines Institutsprojektes **GO**tland**BE**cken-**ST**ickstoffprojekt (GOBEST), der Abteilung Biologische Meereskunde des Instituts für **O**stseeforschung **W**arnemünde (IOW) untersucht. Im Mittelpunkt der Erhebung steht die Analyse der Beteiligung der Cyanobakterien an der autotrophen Produktion und der Verbleib des durch sie fixierten Materials im pelagischen Stoffkreislauf.

Die in dieser Arbeit vorgelegten Ergebnisse zur Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in der Pommernbucht und der Gotlandsee beruht auf einer Kombination verschiedener methodischer Ansätze, die sich in folgenden drei Punkten kurz zusammenfassen lassen.

1. Es wird mit den natürlichen Konzentrationen und Artenzusammensetzungen des Phytoplanktons in der Wassersäule gearbeitet.
2. Es werden definierte Arten und Entwicklungsstadien calanoider Copepoden verwendet anstatt Größenfraktionen.
3. Es kann durch den Vergleich der Pigmentzusammensetzung im Magen-Darmtrakt der Copepoden aus der Wassersäule mit den Ergebnissen der Freßexperimente die direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse von sogenannten Laboruntersuchungen auf Freilandbedingungen überprüft werden.

Durch die Kombination der Punkte 1 - 3 wird versucht, die eingangs beschriebenen Probleme bei der Verwendung von Labordaten für die Interpretation der Freilandverhältnisse zu vermeiden, um somit neue detaillierte Erkenntnisse zum selektiven Freßverhalten calanoider Copepoden im Pelagial der Ostsee zu ermöglichen. Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit wird der Beitrag der calanoiden Copepoden am Kohlenstofffluß in den Untersuchungsgebieten Pommernbucht und Gotlandsee ermittelt. Diese Ergebnisse gehen ein in die Beschreibung der Stoffbilanzierungen, die im Rahmen der Projekte TRUMP und GOBEST erstellt werden.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiete

Die Lage der Untersuchungsgebiete in der Pommernbucht und in der Gotlandsee sind der Abbildung 1 zu entnehmen.

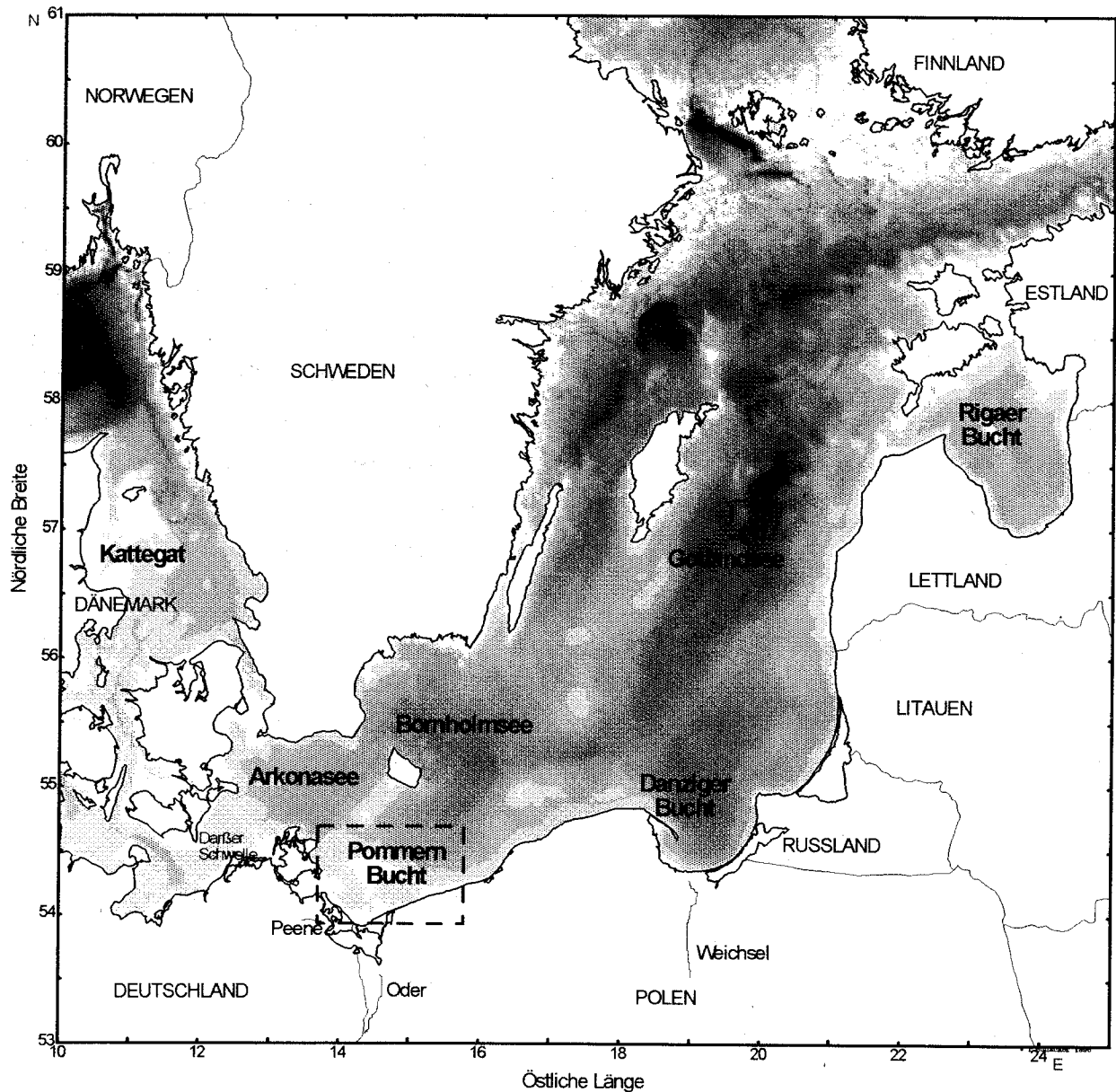


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsgebiete (gestrichelte Kästchen) in der Ostsee (Maßstab 1:5000000). Die Intensität der Graufärbung kennzeichnet die Wassertiefe.

Pommernbucht

Die Oder bildet ein ausgedehntes Ästuarsystem. Ihre Süßwasserfracht gelangt über das Oderhaff durch drei Auslässe in die Pommernbucht, die Swine transportiert ca. 60 - 70 %, die Dzwina 15 - 20 % und der Peenestrom 15 - 20 % der Wassermassen (Siegel et al., 1996, im Druck, Abb. 2). Durch die Verweildauer des Oderwassers im Oderhaff bzw. im Greifswalder Bodden und durch die dort stattfindenden Umsatzprozesse beinhaltet das Flußwasser, welches die Pommernbucht erreicht, hohe Konzentrationen an anorganischen Nährsalzen sowie anorganischen und organischen suspendierten Materials. Das Wasser der Pommernbucht steht aufgrund fehlender topographischer Hindernisse im freien Austausch mit der angrenzenden Arkona- und Bornholmsee (Abb. 1).

Windinduzierte Niveauunterschiede im Wasserstand zwischen dem Oderhaff und der südlichen Pommernbucht führen zu unregelmäßigen pulsartigen Ausstromereignissen aus den drei Oder-Auslässen (Bodungen et al., 1995). Dadurch werden vorübergehend separate Wasserkörper gebildet, die sich in ihren hydrologischen, chemischen und biologischen Bedingungen von dem Buchtenwasser abgrenzen (Abb. 3). Je nach Windstärke und -richtung werden diese Ausstrom-"Blasen" in verschiedene Richtungen verdriftet und unterschiedlich schnell mit dem Wasser der Pommernbucht vermischt. Bis zur vollständigen Vermischung eines solchen Wasserkörpers können je nach Windverhältnissen zwischen 1 - 5 Tagen vergehen (Siegel et al., 1996; im Druck). Zur Identifizierung des Flußwasserzustroms können hydrologische Parameter, wie Salzgehalt und Temperatur sowie die optischen Eigenschaften des Wassers herangezogen werden (Siegel et al., 1996, im Druck). Die dynamischen Prozesse in der Bucht werden durch die meteorologischen Verhältnisse, durch die Erdrotation (Ekman-Transport), die Bodenstruktur sowie die Küstenmorphologie beeinflusst (Siegel et al., 1996, im Druck). So wird bei westlichen Winden die Ausstrom-Fahne durch den auf der Coriolis-Kraft basierenden Ekman-Transport an die polnische Küste gedrückt. Bei anhaltenden Westwinden kann sich ein "Transportband" entwickeln, das bis in die Gdanske Bucht reicht. Bei östlichem Wind verbreitert der Ekman-Transport die Süßwasserfahne, wobei sie effektiv mit dem Buchtenwasser vermischt wird. Das seewärts verdrängte Wasser wird durch den Auftrieb von kalten und salzreichen Tiefenwassers ersetzt (Bodungen et al., 1995).

Gotlandsee

Die Gotlandsee, in der zentralen Ostsee gelegen (Abb.1), ist im Gegensatz zur Pommernbucht ein verhältnismäßig stabiles System, da der direkte Einfluß durch Flußwasserzufuhr fehlt. Das salzreiche, schwere Tiefenwasser, welches unregelmäßig durch advective Vorgänge, die sogenannten Salzwassereinbrüche aus dem Kattegat einströmt, wird von salzarmen, leichtem Oberflächenwasser überlagert (Matthäus, 1986). Somit trennt eine permanente Halokline das Tiefenwasser von dem darüberliegenden Wasserkörper, der nur im Winter stärkeren Ver-

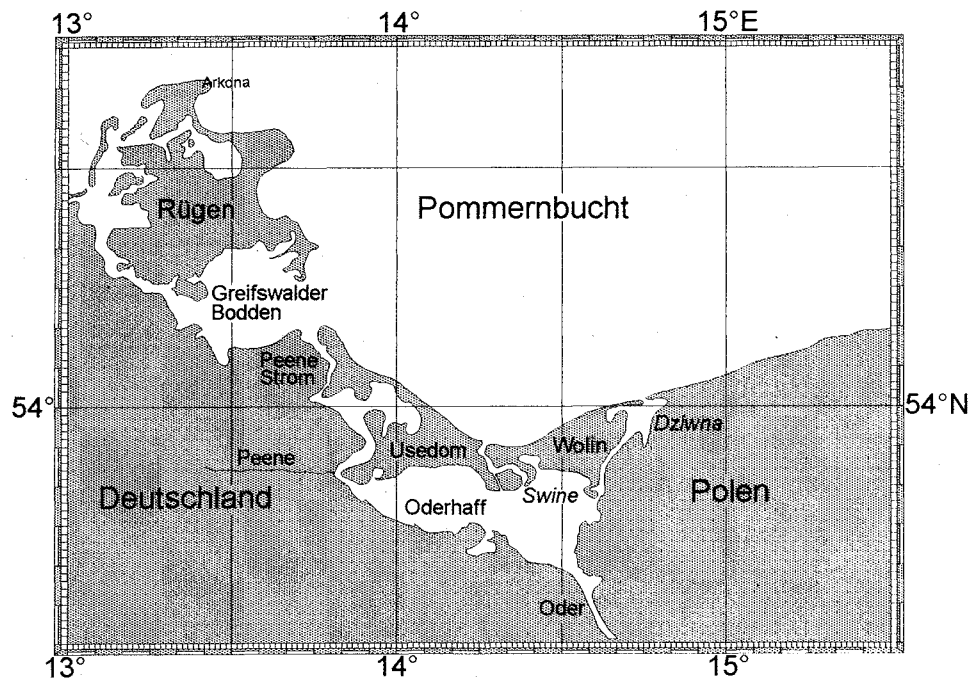


Abbildung 2: Übersicht über das Oderästuar mit den drei Oder-Auslässen Peenestrom, Swine und Dzwina.

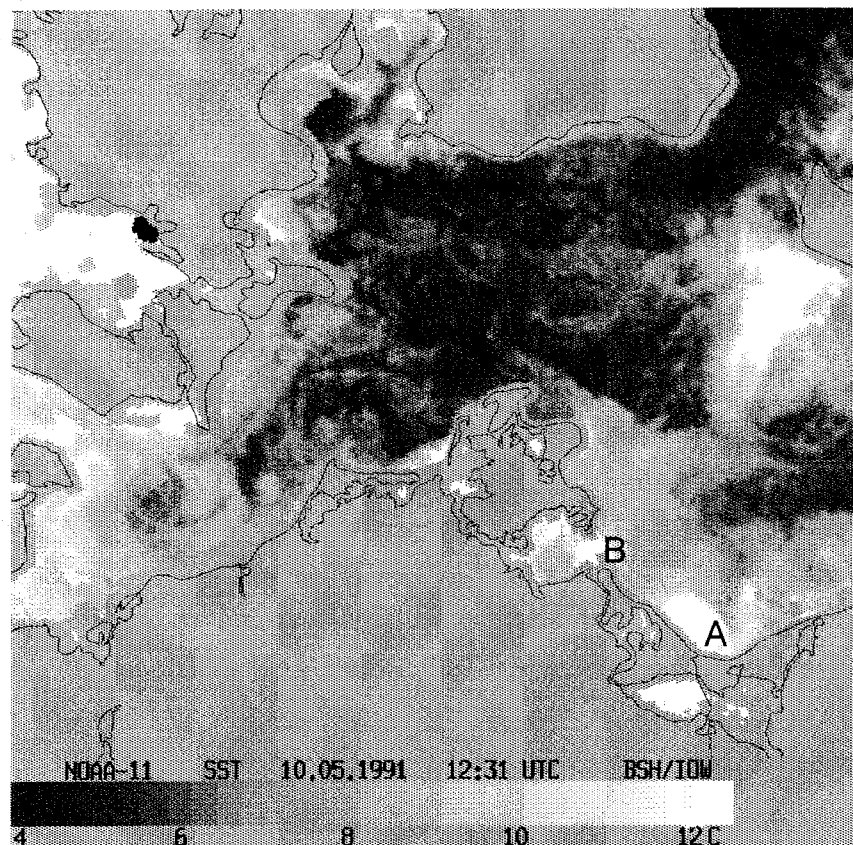


Abbildung 3: Darstellung von Ausstromereignissen aus der Swine (A) und dem Greifswald Bodden (B) anhand der Oberflächentemperatur.

mischungsprozessen unterworfen ist. Durch die im Sommer sich bildende Thermokline wird das salzarme Oberflächenwasser in eine durchmischte Oberflächenschicht und einen darunter liegenden Winterwasserkörper geteilt. Dies bedingt eine rasche Erschöpfung stickstoffhaltiger Nährsalze in der euphotischen Zone (Wulff und Rahm, 1988; Graneli et al. 1990). Im Sommer zeichnet sich das Produktionssystem in der Gotlandsee daher durch oligotrophe Nährsalzverhältnisse und geringe Phytoplanktonbiomasse aus. Die autotrophe Gemeinschaft reagiert darauf mit einer entsprechenden Verschiebung der Artenzusammensetzung. Im Verlauf des Sommers nimmt der Anteil von kleinen Phytoplanktern ($< 10 \mu\text{m}$), die sich an geringe Nährstoffkonzentrationen anpassen können, und der Anteil an Cyanobakterien, die mit Hilfe ihrer Heterocysten in der Lage sind atmosphärischen Stickstoff zu fixieren (Kahru et al., 1994), an der autotrophen Biomasse ständig zu.

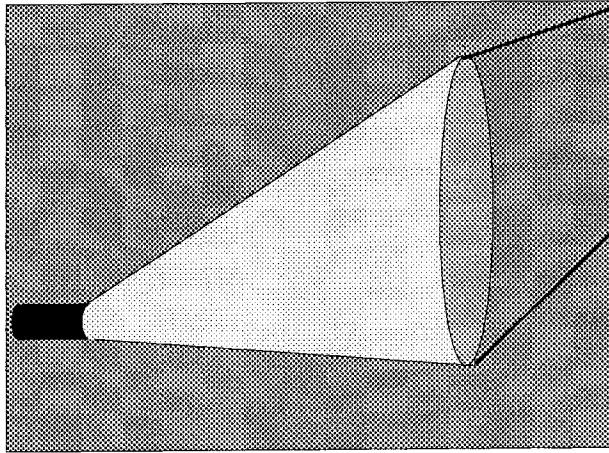
2.2 Probenahmestrategie

In der Pommernbucht und der Gotlandsee erfolgte die Probenahmestrategie anhand von Driftexperimenten nach dem Lagrangschen Prinzip (Brown et al., 1989). Diese Methode ermöglicht die Analyse der zeitlichen Entwicklung und der Vermischungsprozesse innerhalb eines Wasserkörpers sowie der Reaktion der Copepoden auf die sich daraus ergebenden Veränderungen der Phytoplanktongemeinschaft bzw. -biomasse. Sowohl in der Pommernbucht als auch in der Gotlandsee wurde der zu untersuchende Wasserkörper mit einer Boje markiert und verfolgt. In der Pommernbucht wurde der aus dem Oderhaff in die Pommernbucht eintretende Wasserkörper durch die konservativen Parameter Salzgehalt und Temperatur charakterisiert.

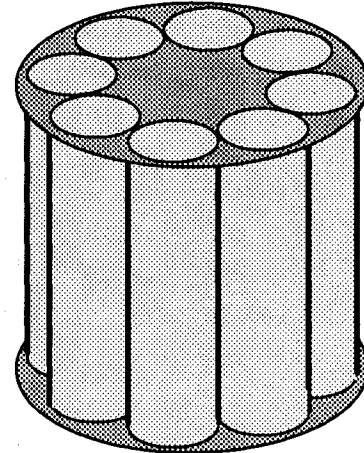
2.3 Überblick der Probenahme an einer Driftstation und der späteren Probenaufarbeitung

Für ein besseres Verständnis der Zusammenhänge der in den Kapiteln 2.4 bis 2.10 beschriebenen Probenaufarbeitungen sind in der Abbildung 4 die jeweiligen Einzelschritte mit den dazugehörigen Kapiteln, in denen die Methoden ausführlich erläutert werden, schematisch zusammengefaßt worden.

Zooplanktonnetz mit 200 μ m Maschenweite
(siehe Kapitel 2.5)



CTD-Sonde mit Wasserschöpfern
(siehe Kapitel 2.4)



Zooplanktonproben (siehe Kapitel 2.5)

Wasserproben (siehe Kapitel 2.4)

Aussortieren lebender
Copepoden (siehe Kapitel 2.9)

Inkubationswasser
für Freßexperimente
(Kapitel 2.10)

Taxonomische Bestimmung
(Kapitel 2.5)
Pigmentbestimmung
einzelner Arten
(Kapitel 2.8)

$\delta_{15}\text{N}$ -Bestimmung (Kapitel 2.5)
TG und Elementarzusammensetzung (C/N)
(Kapitel 2.6)

Isolierung von *Dinophysis norvegica*
(Kapitel 2.4.1)
PON, POC, C/N (Kapitel 2.6.)
Utermöhlzählung (Kapitel 2.7)
 $\delta_{15}\text{N}$ -Bestimmung (Kapitel 2.9)

Bestimmung der Nahrungsaufnahme
der Copepoden (vergl. Kapitel 2.10)

Abbildung 4: Schematische Übersicht der Probennahme, mit Angabe der Kapitel in denen die jeweiligen Schritte detailliert erläutert werden. Die Abkürzungen sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

2.4 Beprobung der Wassersäule

Auf jeder Station wurde zunächst mit Hilfe einer CTD-Sonde (OM-87, Möckel, 1980) ein Tiefenprofil der Temperatur-, Salzgehalts-, Sauerstoff- und Fluoreszenzverteilung erstellt. In verschiedenen Tiefen, die entsprechend den Sondenprofilen ausgewählt wurden, sind mit 12 * 2,7 Liter Teflon-Schöpfern Wasserproben genommen, worden deren Nährstoffkonzentrationen (NO₃, NH₄, Si, PO₄) Gehalt an partikulären organischen Kohlenstoff (POC), partikulären organischen Stickstoff (PON), Phytoplankton- und Pigmentzusammensetzungen sowie $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnisse analysiert wurden. Die in dieser Arbeit verwendeten Nährstoffdaten sowie die Lichtmessungen und Primärproduktionsraten wurden im Rahmen des Verbundprojektes TRUMP von G. Nausch (Abt. Chemie, IOW) und F. Pollehne (Abt. Biologie, IOW) durchgeführt. Die Wasserproben, die für die Phytoplanktonzählung bestimmt waren, wurden mit 1 %iger Lugolscher Lösung fixiert. Für die übrigen Analysen wurden 0,5 Liter in der Pommernbucht und 1 Liter in der Gotlandsee filtriert (25 mm \varnothing GF/F Filter = Glasfaserfilter). Nach der Filtration wurden die Filter zur POC- und PON-Bestimmung des suspendierten Materials mit konzentrierter Salzsäure angesäuert, um den anorganischen Kohlenstoffanteil zu entfernen (Grashoff et al., 1983). In der Gotlandsee wurden aus den Tiefen mit hoher Abundanz an diazotrophen Cyanobakterien diese mit einer Impföse aus Wasserschöpferproben isoliert, auf einen GF/F-Filter (8 mm \varnothing) überführt und bis zur weiteren Analyse von $\delta^{15}\text{N}$ bei -20 °C gelagert. Für die Bestimmung von POC, PON sowie $\delta^{15}\text{N}$ wurden vorgeglühte Filter verwendet (450 °C, 12 Stunden). Alle Filtrate wurden bei -20 °C an Bord eingefroren.

In der Pommernbucht wurde anhand der Einzelergebnisse aus den jeweils beprobten Wassertiefen (1993: 1,5; 3,0; 5,0; 7,0 m; 1994: 1,5; 3,0; 5,0; 7,5 m) für alle untersuchten Parameter (vergl. Abb. 4) ein gewichteter Mittelwert für die gesamte Wassersäule berechnet. Dazu mußten die jeweiligen Werte zunächst über die Wassersäule integriert und anschließend durch die integrierte Tiefe geteilt werden. Dieses Verfahren konnte angewendet werden, da durch die Vermischungsprozesse eine anfängliche Sprungschicht stetig abgebaut wurde. Durch die Beprobung der gesamten Wassersäule sollte das potentiell vorhandene Nahrungsangebot vollständig erfaßt werden.

2.4.1 Isolierung von *Dinophysis norvegica* in der Gotlandsee

In den Sommermonaten tritt *D. norvegica* in der zentralen Ostsee nahe der Thermokline (15 - 20 m) in hohen Konzentrationen auf. Für die Beurteilung der Nutzung dieses Dinoflagellaten als Futterorganismus für Copepoden war es zunächst erforderlich, die Pigmentzusammensetzung dieser Art zu bestimmen, da diese bisher unbekannt ist. Die gelb-orange Fluoreszenz dieser Art wird auf Phycoerythrin in ihren Chloroplasten zurückgeführt. Es wird

vermutet, daß die Chloroplasten dieser Art daher von Cryptophyceen abstammen müßten. Die Pigmentzusammensetzung wurde in dieser Arbeit anhand von aus dem Plankton isolierten *D. norvegica* ermittelt. Die Ergebnisse werden im Kapitel 4.1 ausführlich diskutiert.

Durch mikroskopische Beobachtungen anhand von Wasserproben aus verschiedenen Tiefen wurde die Abundanz von *D. norvegica* an Bord bestimmt. Die Wasserschöpferproben aus den Tiefen mit der höchsten Dichte dieser Art wurden zunächst durch eine 64 µm Gaze filtriert, um eine Kontamination durch größere fädige Cyanobakterien auszuschließen. Das Filtrat wurde anschließend zur Anreicherung von *D. norvegica* durch ein 35 µm Gaze gegeben. Bevor das Konzentrat von *D. norvegica* auf einen GF/F-Filter (25 mm ø) überführt wurde, erfolgte eine Kontrolle der Probe unter dem Binokular. Die Filter wurden bis zur weiteren Analyse der Pigmente mittels der HPLC-Technik zunächst in flüssigen Stickstoff schockgefroren und anschließend bei -20 °C gelagert.

2.5 Probenahme des Zooplanktons und anschließende Bearbeitung

Die Probenahme des Zooplanktons erfolgte mit einem WP-2-Schließnetz mit 200 µm Maschenweite.

Für die qualitative und quantitative Erfassung der Zooplankter wurde mit einem Netzbecher mit 200 µm Gaze und einer Hievgeschwindigkeit von $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ gefischt. In der Pommernbucht wurden an den einzelnen Driftstationen Vertikalhols über die gesamte Wassersäule durchgeführt. In der Gotlandsee erfolgte aufgrund der stabilen Schichtungsverhältnisse nur jeweils an der ersten Driftstation eine Probenahme in unterschiedlichen Tiefenhorizonten. Zur Beurteilung, inwieweit das Zooplankton in der Gotlandsee eine Vertikalwanderung durchführt, wurden die Proben zu unterschiedlichen Tageszeiten genommen. 1993 wurde um 10.00 und 22.00 Uhr in den Tiefenhorizonten 0 - 10 m, 10 - 30 m, 30 - 60 m und 60 - 100 m Zooplankton gefischt. Die Probenahme 1994 erfolgte in den Tiefenhorizonten 0 - 30 m, 30 - 60 m und 60 - 100 m in einer höheren zeitlichen Auflösung (alle 4 Stunden). Für die spätere mikroskopische Auswertung im Labor wurden alle Fänge in 4%igen Formalin fixiert.

Für die Durchführung der Freßexperimente sowie für die Bestimmung der Phytoplanktonpigmente im Magen-Darmtrakt, der Analyse des $\delta^{15}\text{N}$ -Gehaltes sowie des Trockengewichtes (TG), C- und N-Gehaltes war es erforderlich, lebende unversehrte Tiere zu erhalten. Dazu wurde ein geschlossener Netzbecher verwendet und das Planktonnetz mit $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ gehievt.

Die gefangenen Copepoden wurden in drei Gruppen aufgeteilt:

- A) Ein Teil des Fanges wurde für die Analyse der Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt der Copepoden sofort auf 200 µm Gaze filtriert, mit flüssigen Stickstoff schockgefroren und anschließend bei -20 °C gelagert.
- B) Ein anderer Teil des Zooplanktonfanges wurde für C- und N- sowie $\delta^{15}\text{N}$ -Analysen verwendet. Die Tiere wurden vor dem Einfrieren zur Defäkation in filtriertes Seewasser überführt, um einen störenden Einfluß der Magen-Darm-Füllung auszuschließen. Nach ca. einer Stunde wurden die Copepoden auf 200 µm Gaze filtriert und ebenfalls in flüssigen Stickstoff schockgefroren und anschließend bei -20 °C gelagert.
- C) Für die Freßexperimente wurden lebende, unversehrte Tiere der dominanten Art *Acartia bifilosa* unter einem Binokular aussortiert. Damit eine direkte Vergleichbarkeit der Datensätze möglich ist, war es erforderlich, sich auf eine Copepodenart zu konzentrieren, die in beiden Untersuchungsgebieten in ausreichender Individuendichte vorkommt. Vor dem Einsatz in den Freßversuch wurden die Tiere zur Defäkation für ca. eine Stunde in filtriertes Seewasser überführt. Die Freßexperimente sind im Detail unter Punkt 2.10 beschrieben.

Basierend auf der Auswertung der taxonomischen Zählungen der Zooplanktonproben wurden aus den eingefrorenen Proben (A und B) die dominanten Vertreter der calanoiden Copepoden nach Arten getrennt aussortiert. Diese Arbeit erfolgte unter einem Binokular, das mit einem Kühltisch und einer Kaltlichtlampe ausgestattet war (Fa. Zeiss, Vergrößerungsbereich 6 - 66 fach). Alle isolierten Copepoden wurden mehrmals in 1 °C kaltes Wasser überführt, um anhaftende Algen zu entfernen. Für die Bestimmung des Pigmentgehaltes wurden 500 - 700 Individuen (Ind.) der wichtigsten Vertreter der calanoiden Copepoden nach Arten getrennt auf GF/F-Filter (8 mm ø) pipettiert. Für die Analysen von $\delta^{15}\text{N}$ wurden 120 Ind. auf vorgeglühte GF/F-Filter (8 mm ø; 450 °C, 12 Stunden) überführt.

Die Bestimmung des TG, C- und N-Gehaltes erfolgte nur für *A. bifilosa*, da diese Daten vor allem für die Interpretation der Freßexperimente erforderlich sind, die ausschließlich mit *A. bifilosa* durchgeführt wurden. Für die Analysen wurden jeweils 120 Ind. (aus Probe B) auf vorgewogene und vorgeglühte GF/F-Filter (8 mm ø; 450 °C, 12 Stunden) pipettiert. Alle Filter wurden bis zur abschließenden Analyse bei -20 °C eingefroren.

Um zu prüfen, inwieweit die Vertikalwanderung des Zooplanktons mit der Freßaktivität korreliert, wurde in der Gotlandsee zu Beginn der Drift zu unterschiedlichen Tageszeiten (1993: 10.00 und 22.00 Uhr; 1994 alle 4 Stunden) Zooplankton aus dem Tiefenhorizont 0 - 30 m gefischt. Anhand der Konzentration der Phytoplanktonpigmente im Magen-Darmtrakt wurde die Freßaktivität der Copepoden bestimmt. Die Probenahme und -bearbeitung wurde wie unter A beschrieben durchgeführt.

2.6 Bestimmung von POC und PON des suspendierten Materials sowie TG, C und N von *Acartia bifilosa*

Für die Bestimmung von POC und PON des suspendierten Materials wurden die nach Punkt 2.4 gewonnenen Filter getrocknet (60 °C, 12 Stunden) und in Zinn-Kartuschen (Heraeus CHN Kartuschen) überführt.

Die unter 2.5 beschriebenen Filter für die C- und N-Bestimmung von *A. bifilosa* wurden nach der Trocknung bei 60 °C für 12 Stunden zur Bestimmung des TG gewogen und anschließend ebenfalls in Zinnkartuschen überführt.

Die Analysen wurden mit einem C/N-Meßgerät der Firma Fisons (EA 1108) durchgeführt. Die Kalibrierung zur Bestimmung der C- und N-Konzentrationen erfolgte mit Acetanelid als Standard.

2.7 Phytoplanktonzählung mittels der Utermöhlmethode

Die Bestimmung der Phytoplanktonzusammensetzung erfolgte nach der von Utermöhl (1931, 1958) beschriebenen Methode. Es wurde ein Umkehrmikroskop der Firma Zeiss (IM 35) benutzt. Die Arten wurden nach Pankow (1990) bestimmt. Die Volumen- und Kohlenstoffberechnungen der Phytoplanktonzellen erfolgte nach den bei Edler (1979) angegebenen Berechnungsgrundlagen. Für die Klassifizierung der in dieser Arbeit bestimmten Phytoplanktongruppen wurde die Systematik nach van den Hoek (1984) angewendet.

2.8 Pigmentuntersuchungen mittels der HPLC-Technik

2.8.1 Nutzung der Phytoplanktonpigmente als chemotaxonomische Biomarker

Die drei Hauptpigmentgruppen autotropher Organismen sind die Chlorophylle, die Carotinoide und die Phycobiliproteine (Rowan, 1989). Die Carotinoide üben nach Libbert (1993) in der Photosynthese im wesentlichen zwei Funktionen aus. Sie übertragen als akzesorische Pigmente die absorbierte Energie mit einer Effektivität von 15 - 90 % (d. h. 10 - 85 % Energieverlust) auf das Chlorophyll bzw. Bacteriochlorophyll und dienen weiterhin als Schutzpigmente, um das lichtempfindliche Chlorophyll vor photooxidativer Zerstörung zu schützen. Nicht alle Carotinoide besitzen diese Doppelfunktion, einige dienen nur als Schutzpigmente (z. B. Zeaxanthin).

Die Pigmentzusammensetzung einer Vielzahl von Arten unterschiedlichster Algengruppen ist bereits mit Hilfe von unterschiedlichen chromatographischen Trennmethode untersucht worden (Übersicht bei Wright et al., 1991 und Millie et al., 1993). Diese Untersuchungen zeigten, daß die verschiedenen Phytoplanktongruppen sich hinsichtlich ihrer Pigmentausstattung eindeutig unterscheiden. Einzelne Chlorophylle und Carotinoide können daher als taxonomisches Erkennungsmerkmal für bestimmte Algengruppen verwendet werden (Millie et al., 1993; Abb. 5).

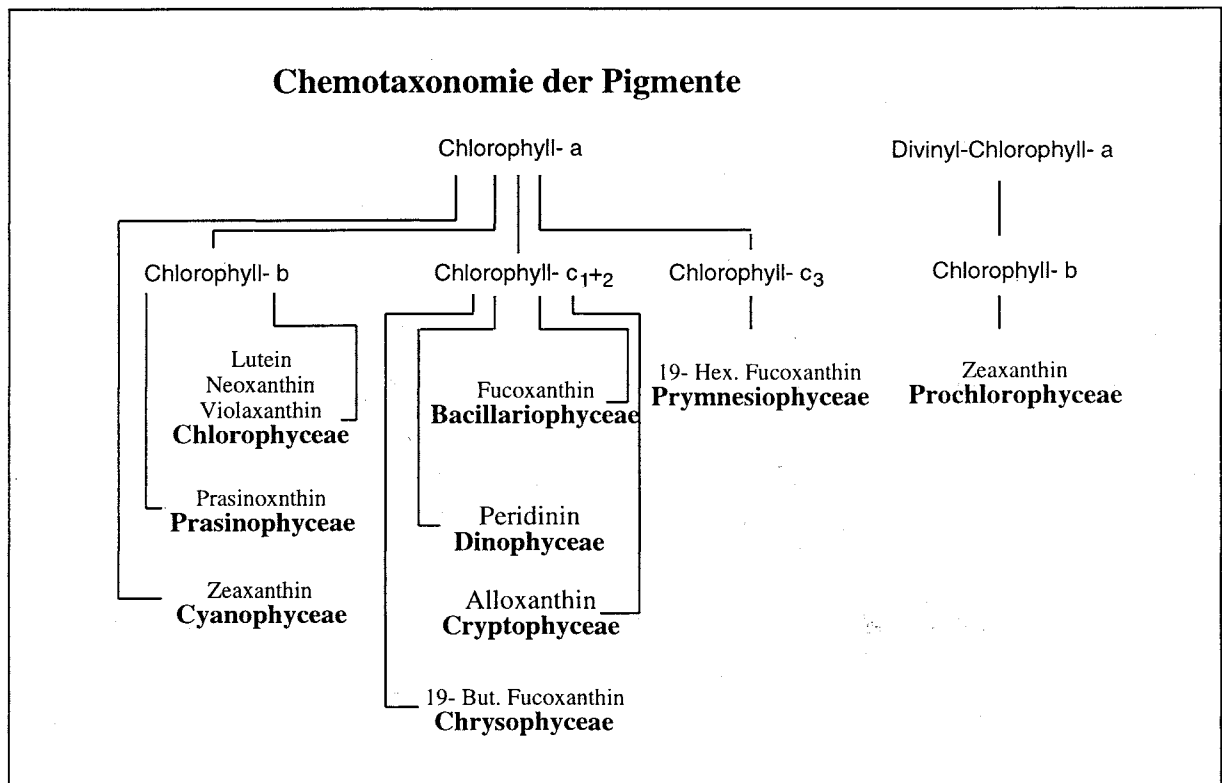


Abbildung 5: Schematische Übersicht der gruppenspezifischen Carotinoide der wichtigsten autotrophen Organismengruppen.

Mit Hilfe der Analyse dieser sogenannten Markerpigmente in der Wassersäule ist es daher möglich, die Zusammensetzung einer Phytoplanktonpopulation und deren zeitliche Veränderung (Sukzession) zu beschreiben. Für die Verwendung der Markerpigmente zur Beschreibung der Phytoplanktonzusammensetzung in verschiedenen geographischen Regionen liegen eine Reihe an Publikationen vor, z. B. für den Antarktischen Ozean (Bidigare et al., 1986; Gieskes und Elbrächter, 1986; Buma et al., 1990), den tropischen Nord-Ost Atlantik (Gieskes und Kraay, 1983a, 1986b), den subtropischen Atlantik (Veldhuis und Kraay; 1990; Goericke und Welschmeyer, 1993), den gemäßigten Nord-Ost Atlantik (Williams und Claustre, 1991; Barlow et al., 1993), den Nordpazifik (Ondrusek et al., 1991), den westlichen tropischen

Pazifik (Everitt et al., 1990) und die Nordsee (Gieskes und Kraay, 1980; Riegman und Rowe, 1994; Karlson, 1995).

Die Pigmentanalytik bietet neben der reinen taxonomischen Beschreibung ferner die Möglichkeit, die zeitliche Veränderung in der Wassersäule durch die Betrachtung der Ab- und Umbauprodukte, bedingt durch Alterungsprozesse des Phytoplanktons oder durch Wegfraß durch das Zooplankton, zu untersuchen. Die wichtigsten Markerpigmente sind dabei die Derivate des Chlorophyll-a (Chl.a): Das Chlorophyllid-a, die Phaeopigmente (Phaeophytin-a und Phaeophorbid-a) sowie die sterischen Iso- und Allomere von Chl.a. Die Bestimmung von Phaeophytin-a in der Wassersäule erlaubt Aussagen über den Entwicklungszustand der Phytoplanktonpopulation, da die Phaeophytin-a-Konzentration in absterbenden Algen besonders hoch ist (Jensen und Sakshaug, 1973; Jeffrey, 1974). Die Detektion von Phaeophorbid-a in der Wassersäule wird hingegen als Maß für die Freßaktivität herbivorer Planktonorganismen herangezogen (Shuman und Lorenzen, 1975), da es über die Faeces als Stoffwechselendprodukt ausgeschieden wird (Lorenzen, 1967).

Der Abbauweg der verschiedenen Carotinoide während der Passage durch den Magen-Darmtrakt herbivorer Zooplankter ist bisher wenig untersucht worden. In der Literatur sind bisher nur Derivate von Fucoxanthin, 19-Hexanoyloxyfucoxanthin und Peridinin beschrieben worden, die jeweils polarer als ihr Ursprungsstoff sind (Repeta und Gagosian, 1981, 1982, 1987; Nelson, 1989; Gieskes et al., 1991). Einige Autoren weisen darauf hin, daß diese Farbstoffe im Verdauungstrakt von Copepoden nicht abgebaut zu werden scheinen (z. B. Jeffrey, 1974; Hallegraeff, 1981; Kleppel und Pieper, 1984; Nelson, 1989). Bisher ist nur für β -Carotin beschrieben, daß es in das Gewebe von den Copepoden eingebaut werden kann (Paanakker und Hallegraeff, 1978; Ringelberg, 1980; Castillo et al., 1982).

Die relative Stabilität bestimmter Carotinoide und Chlorophylle ermöglicht es, mittels der Erfassung der Pigmentzusammensetzung im Magen-Darmtrakt von Zooplanktern und in den Faeces Aussagen über Freßpräferenzen zu machen (Kleppel und Pieper, 1984; Kleppel et al., 1985, 1988; Klein et al., 1986; Burkhill et al., 1987; Nelson, 1989; Strom und Welschmeyer, 1991; Head and Harris, 1992; Head, 1992; Preston, 1992; Head and Horne, 1993; Swadling und Marcus, 1994; Head and Harris, 1994). Wenn ein Markerpigment in seinem relativen Anteil zum Gesamtpigmentgehalt in den Tieren bzw. Faeces gegenüber der Wassersäule angereichert vorliegt, kann dies als ein Indiz für eine Selektion der dazugehörigen Phytoplanktongruppe als Futter gedeutet werden (Burkhill et al., 1987; Kleppel, 1988; Head, 1994).

2.8.2 Funktionsweise der HPLC

2.8.2.1 Allgemeiner Überblick

HPLC ist die Abkürzung für High Performance Liquid Chromatography. Ein in einem Eluent gelöstes Substanzgemisch wird unter hohem Druck (400 psi) durch eine Trennsäule transportiert und dabei in die einzelnen Komponenten getrennt (Unger, 1989). Für die HPLC benötigt man eine Apparatur, bestehend aus Versorgungseinheit (Fließmittelreservoir, Pumpe), Dosiervorrichtung, Vor- und Trennsäule, Detektor und Auswertesystem (siehe Abb. 6). Der Mechanismus der Trennung einer Probe beruht auf Wechselwirkungen zwischen dem zu trennenden Stoffgemisch mit unpolarer stationärer und polarer mobiler Phase. Bei der in dieser Arbeit verwendeten "reverse phase"-HPLC besteht die unpolare stationäre Phase aus 5 µm porösen Kieselgel-Teilchen, an deren Oberfläche n-Octadecylgruppen chemisch gebunden sind. Die mobile Phase wird in Form eines Gradienten (von einem stark polaren zu einem schwächer polaren Lösungsmittel) durch die Säule gepumpt. Es erfolgt somit eine Trennung nach Polaritäten, so daß die Pigmente mit zunehmendem hydrophoben Charakter verzögert eluieren. Die einzelnen, nacheinander aus der Säule austretenden Farbstoffe und deren Abbauprodukte werden dann photo- und fluorometrisch detektiert, und sowohl qualitativ als auch quantitativ bestimmt.

2.8.2.2 Laboranlage und Trennmethode

Die in dieser Arbeit verwendete HPLC-Apparatur der Firma MERCK-HITACHI bestand aus:

- Interface Module D-6000
- Gradientenpumpe (L6200 A)
- Säulenthermostat mit einem Einspritzventil "RHEODYNE 7125"
- Diode-Array-Detector (DAD) L4500
- Fluoreszenz Spektrophotometer F-1050
- Computer zur digitalen Datenaufnahme und Drucker

Zur Trennung der Phytoplanktonpigmente wurde die Methode von Kraay (1992) angewendet. Es wurden drei Fließmittel verwendet. Fließmittel A besteht aus einer 0,5 molaren Ammoniumacetatlösung in Methanol und Wasser in einem Verhältnis von 85 : 15 und einem pH von 7,2. Eluent B besteht aus Acetonitril und Wasser im Verhältnis 90 : 10. Das Fließmittel C besteht aus 100 % Ethylacetat. Die Fließgeschwindigkeit betrug 0,8 ml * Min.⁻¹.

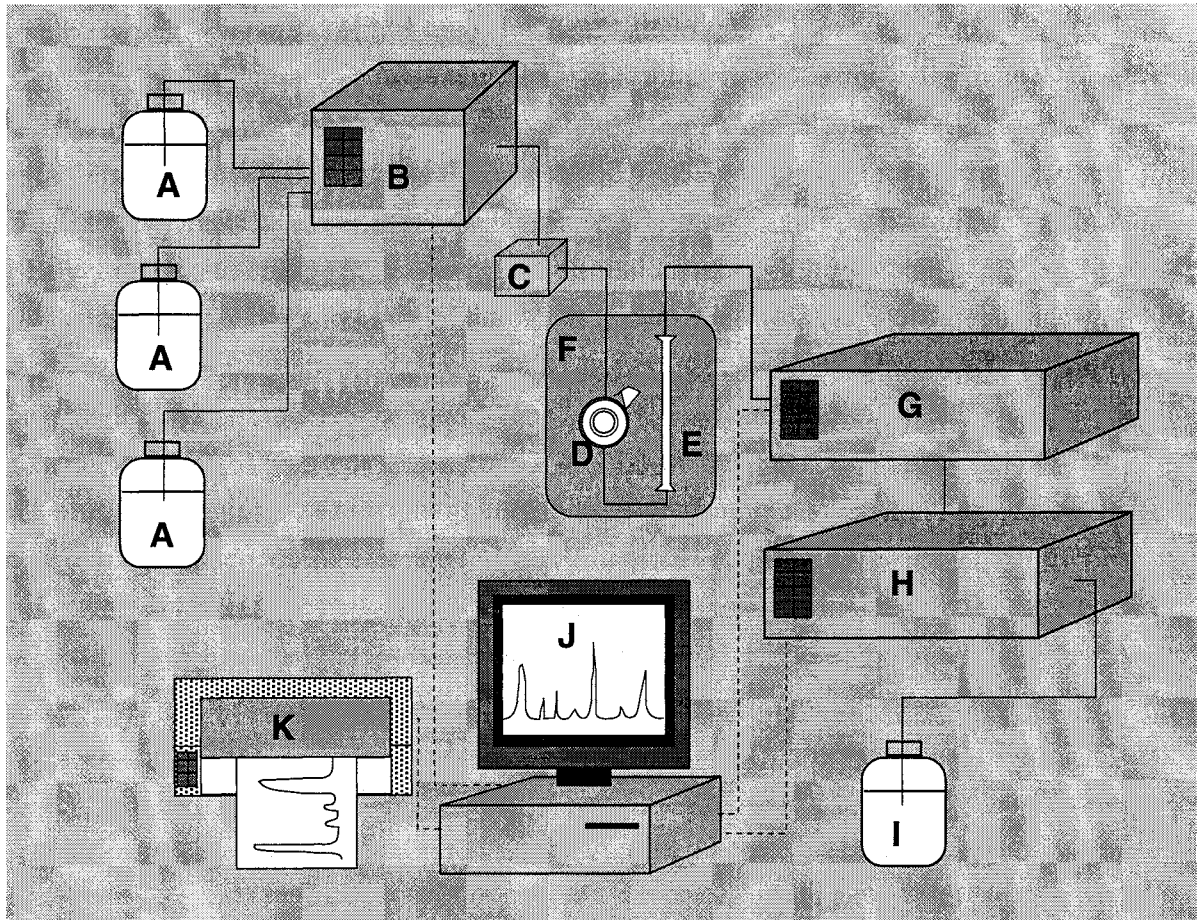


Abbildung 6: Schematischer Aufbau der verwendeten HPLC-Anlage

- A = Laufmittel
- B = Gradientenpumpe
- C = Mischkammer
- D = Injektionsventil
- E = Trennsäule mit Vorsäule
- F = Säulentermostat
- G = Dioden-Array-Detektor
- H = Fluorometer
- I = Abfallbehälter der Laufmittel
- J = Computer zur Pumpensteuerung und Datenaufnahme
- K = Plotter zum Ausdruck der Chromatogramme

Der in dieser Arbeit verwendete Lösungsmittelgradient ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Alle verwendeten Lösungsmittel waren "HPLC-grade" (Firma Merck) und wurden nach dem Ansetzen über einen Teflonfilter mit der Porenweite von 0,45 µm filtriert. Die verwendeten Laufmittel wurden durch die Zufuhr von Helium entgast, um Luftblasen im System zu vermeiden.

Als Trennsäule diente eine mit Kieselgelpartikel gefüllte Kartusche der Firma BioRad (Bio.Sil C18 HL 90-5) mit einer Größe von 150 * 4,6 mm. Zur Schonung der Hauptsäule wurde eine Vorsäule der Größe 30 * 4,6 mm mit gleichen Füllmaterial verwendet. Die Säulentemperatur wurde mit Hilfe des Säulenthermostates auf 25 °C gehalten, um temperaturbedingte Schwankungen der Retentionszeiten zu vermeiden.

Die Absorption der Pigmente wurde im DAD einerseits bei einer festen Wellenlänge von 436 nm gemessen. Da der DAD über 500 Photodioden besitzt, kann gleichzeitig für jedes gemessene Pigment das Absorptionsspektrum zwischen 300 - 700 nm erfaßt werden. Dies ermöglicht, daß neben dem Chromatogramm parallel Pigmentspektren erstellt werden können. Das dahinter geschaltete Fluorometer hat für die fluoreszierenden Farbstoffe eine Anregungswellenlänge von 440 nm und eine Emission von 650 nm.

Tabelle 1: Darstellung des verwendeten Lösungsmittelgradienten für die HPLC-Analytik.

Zeit (Min.)	Lösungsmittel in %		
	A	B	C
0	60	40	0
2	0	100	0
7	0	50	50
17	0	50	50
21	0	30	70
28,5	0	30	70
29,5	0	100	0
30,5	60	40	0

2.8.2.3 Eichung der HPLC-Anlage

Qualitativ

Die meisten in dieser Arbeit für die Eichung verwendeten Pigmente wurden bis auf Chlorophyll a und b (Firma Sigma) sowie Zeaxantin und β -Carotin (Firma Roth) selbst hergestellt.

Für alle der in dieser Arbeit relevanten Phytoplanktongruppen wurden zunächst Chromatogramme von Reinkulturen, die am Institut für Ostseeforschung kultiviert wurden, erstellt (Abb. 7) und mit Chromatogrammen der jeweiligen Phytoplanktonklassen aus der Literatur verglichen (Wright et al., 1991; Kraay, 1992). Phaeophytin-a wurde durch Ansäuern von Chl.a-Standard mit 0,1N HCL und anschließender Neutralisation mit NaOH hergestellt.

Die Identifizierung der aufgetrennten Pigmente erfolgte anschließend mit Hilfe ihrer spezifischen Absorptionsspektren (Mantoura und Llewellyn, 1984; Wright et al., 1991), die mit dem DAD detektiert wurden.

Quantitativ

Für die quantitative Eichung der HPLC-Analytik wurden die identifizierten Pigmente in gekühlten, lichtundurchlässigen Reagenzgläsern aufgefangen. Dadurch wurde der durch Licht oder Wärme induzierte Ab- und Umbau der Pigmente auf ein Minimum reduziert. Die isolierten Farbstoffe wurden mit Stickstoff begast, um das Lösungsmittelgemisch zu entfernen. Dieser Vorgang wurde mehrmals wiederholt, um das jeweilige Pigment zu konzentrieren. Die Farbstoffe wurden in dem Lösungsmittel gelöst, in dem der molare Extinktionskoeffizient des jeweiligen Pigments bestimmt wurde (JGOFS-Protokolle, 1994). Zur Bestimmung der Reinheit wurde eine Unterprobe der Pigmentlösung in die Anlage gespritzt. Erwies sich das Pigment als rein (ein Peak im Chromatogramm), wurde das Absorptionsspektrum in der Spektrenbibliothek des Computers abgespeichert. Die abgespeicherten Spektren bildeten die Basis für die schnelle und sichere Pigmentidentifizierung der Freilandproben (Abb. 8). Die Pigmentkonzentrationen wurden mit einem Photometer der Firma KONTRON (UVIKON Spektrophotometer 941) bestimmt, indem die Absorption der jeweiligen Farbstoffe bei ihren spezifischen Wellenlängen ermittelt wurden (JGOFS-Protokolle, 1994). Zur Korrektur der Trübung der Pigmentlösungen wurden diese bei einer Absorption von 750 nm gemessen.

Die Pigmentstandardkonzentration wurden wie folgt nach den JGOFS Protokollen (1994) berechnet:

$$\text{Konzentration} = ((A_{\text{max}} - A_{750\text{nm}}) / E * l) * 1000 = \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$$

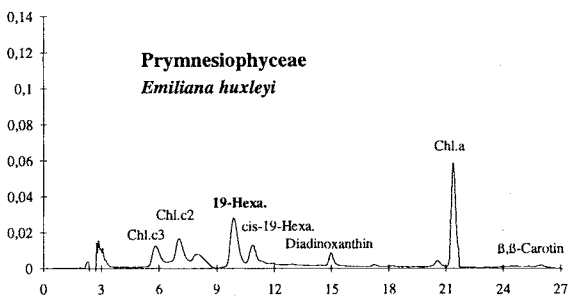
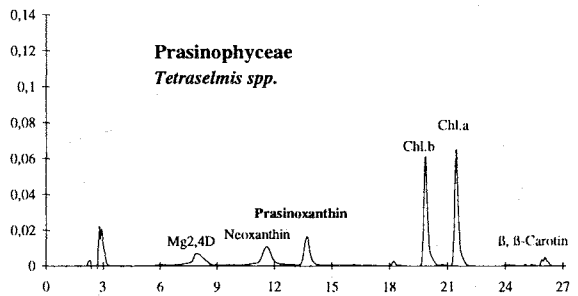
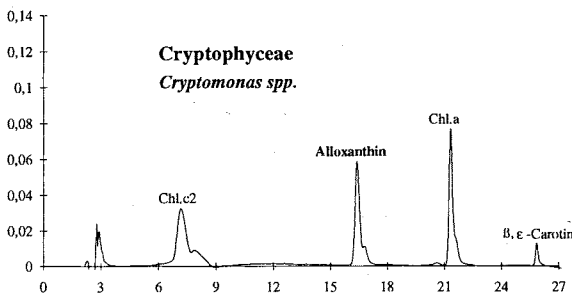
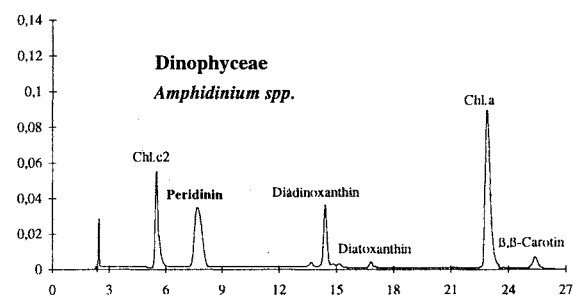
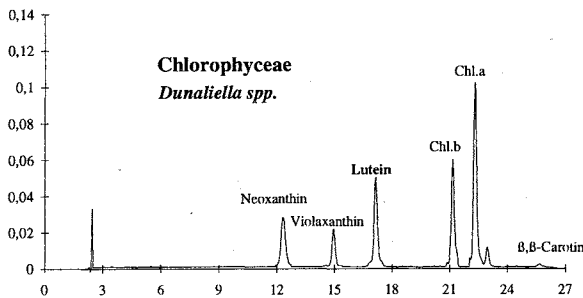
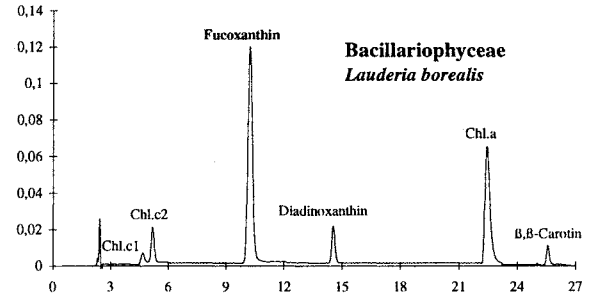
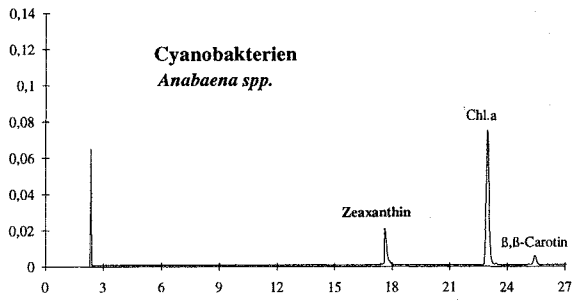
A_{max} = Absorptionsmaximum

$A_{750 \text{ nm}}$ = Absorption bei 750 nm zur Korrektur der Lichtstreuung (Trübung)

E = Extinktionskoeffizient ($\text{L g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

l = Küvettenlänge (cm)

Absorption



Retentionszeiten (Min.)

Abbildung 7: Chromatogramme von im Labor gehaltenen Algenkulturen, die als Grundlage für die spätere Isolierung der Markerpigmente verwendet wurden. Die unterschiedlichen Retentionszeiten von einzelnen Pigmenten zwischen den vier oberen und den drei unteren Chromatogrammen sind auf einen Wechsel der Trennsäule zurückzuführen.

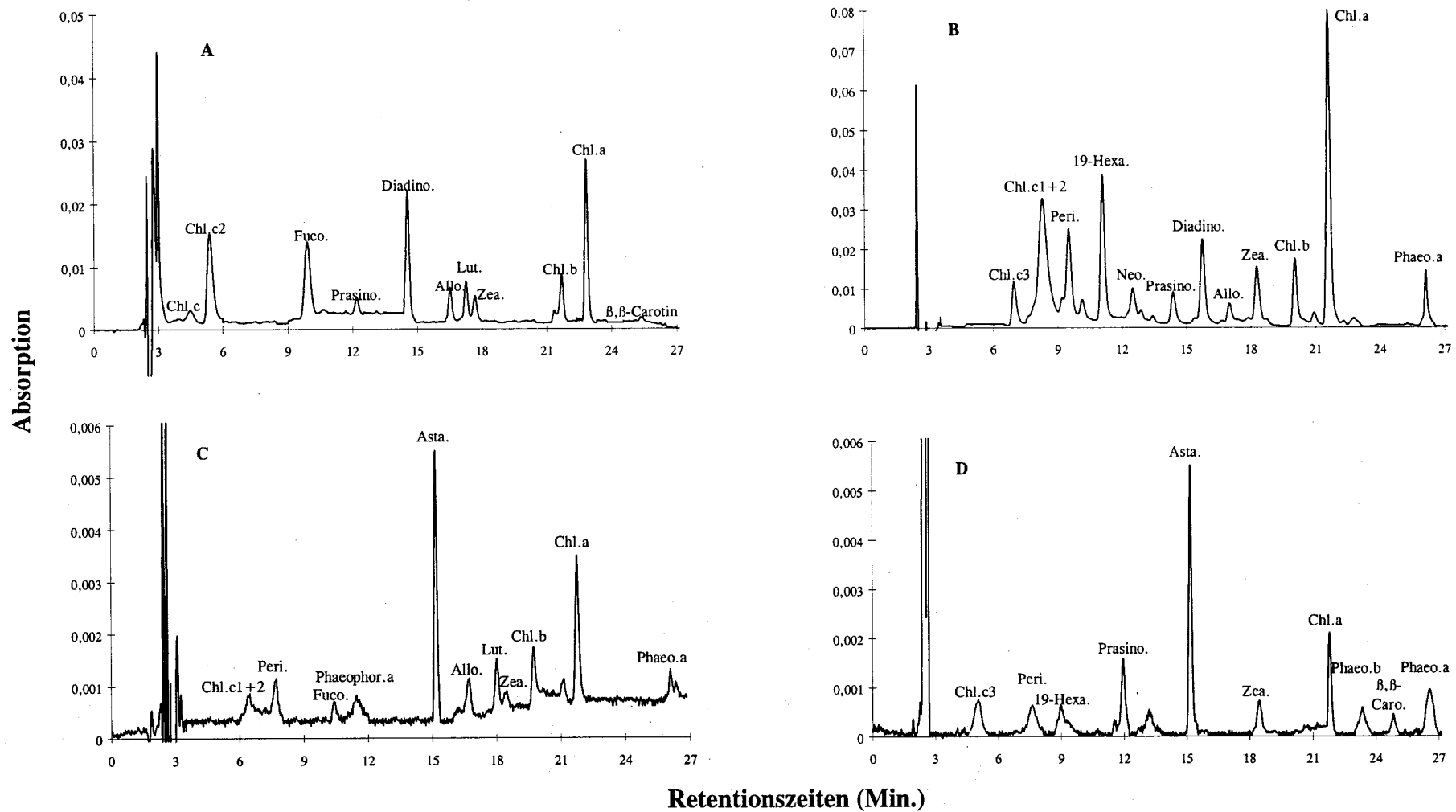


Abbildung 8: Chromatogramme von Wasserproben aus der Pommernbucht (A, Station 775/10, 5 m); der Gotlandsee (B, Station 750, 6 m) sowie von *Acartia bifilosa* aus der Pommernbucht 1993 (C, n = 500) und der Gotlandsee 1994 (D, n = 600).

Die Berechnungen der Pigmentkonzentrationen einer Freilandprobe erfolgte mit Hilfe von Regressionsgleichungen, die anhand von Eichgeraden der Pigmentstandards ermittelt wurden.

Zur Prüfung der Retentionszeiten der gemessenen Pigmente wurde vor Beginn der an einem Tag durchgeführten Analysen eine Mischung aus verschiedenen Algenkulturen eingespritzt.

2.8.2.4 Aufarbeitung der für die Pigmentanalytik bestimmten Proben

Die Filter mit den fixierten Wasserproben sowie der isolierten *D. norvegica* wurden in 5 ml Extraktionsmittel (Methanol-Ammoniumacetat) im Eisbad homogenisiert. Das Homogenat wurde in ein Reagenzglas überführt und bei 0 °C und 12000 g zentrifugiert. Der Überstand wurde mit einer Spritze aufgenommen und zur Entfernung von Rückständen durch einen Teflon-Aufsatzfilter in ein Eppendorf-Hütchen bzw. Reagenzglas gespritzt. Von dieser Lösung werden ca. 0,5 ml in die HPLC-Anlage injiziert.

Die Filter mit den Copepoden (siehe Punkt 2.5) wurden auf die gleiche Weise aufgearbeitet, nur wurden sie in 3 ml Extraktionsmittel homogenisiert. Bei der Probennahme und -aufarbeitung wurde stets darauf geachtet, daß nur wenig Licht an die Proben kam, um eine lichtinduzierte Umwandlungen von Pigmenten zu vermeiden, wie sie z. B. aus dem Xanthophyll-Zyklus bekannt ist (Libbert, 1991).

Zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit des gesamten Komplexes der Probennahme, -extraktion, -vorbehandlung und -injektion wurde in den jeweiligen Untersuchungsgebieten von einer Wasserprobe 10 Unterproben auf GF/F-Filter filtriert und wie oben beschrieben behandelt. Die Reproduzierbarkeit der Anlage lag bei $\pm 2 - 3 \%$.

2.8.3 Umrechnung der Zellzählungen, der Markerpigmente und der Chl.a-Konzentrationen in Kohlenstoffäquivalente

Für einen Vergleich der Zellzählungen (Utermöhl) mit den Pigmentmessungen (HPLC) ist es notwendig, daß beide Ergebnisse in eine einheitliche Bezugsgröße umgerechnet werden. Hierzu bietet sich die Umrechnung in Kohlenstoffäquivalente an. Die Umrechnung der Zellzählungen in Kohlenstoffäquivalente sind unter Punkt 2.7 beschrieben und werden im Verlauf dieser Arbeit als **Ber.1** bezeichnet.

Für die Berechnung von Kohlenstoffäquivalenten anhand der Pigmentbestimmungen ist es zunächst erforderlich, die gemessenen Markerpigmentkonzentrationen in Chl.a-Äquivalente umzurechnen. Mit Hilfe dieser Umrechnung kann der Beitrag der jeweiligen Phyto-

planktongruppe zur Chl.a-Konzentration und damit später ihr Anteil am Phytoplankton-Kohlenstoff bestimmt werden. Eine Umrechnung von Markerpigmentkonzentrationen in Chl.a-Äquivalente kann einerseits anhand von in der Literatur beschriebenen Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen erfolgen, die durch die Analyse von Phytoplanktonkulturen ermittelt wurden (Tab. 2). Diese werden in dieser Arbeit als **Ber.2** bezeichnet.

Andererseits können anhand der in der vorliegenden Arbeit im Freiland ermittelten Markerpigment- und Chl.a-Konzentrationen für das jeweilige Untersuchungsgebiet spezifische Umrechnungsfaktoren ermittelt werden. Diese Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse wurden im Rahmen dieser Arbeit für die Wassersäule und für die Kontrollen der Freßexperimente, nach 24-stündiger Inkubation in einer konstanten Tiefe, berechnet (Tab. 3). In dieser Arbeit wird diese Berechnungsform als **Ber.3** bezeichnet. Beispiele für eine solche Berechnung sind bei Gieskes und Kraay (1983 b: Nordsee), Gieskes et al. (1988: Banda See), Barlow et al. (1993: Nord-Ost Atlantik; 1995: Mittelmeer;) sowie Letelier et al. (1993: tropischer Pazifik) zu finden. Zur Bestimmung der Anteile der jeweiligen Phytoplanktongruppen an der gesamten Phytoplanktongemeinschaft wurde die multiple Regression, die auf der Methode der kleinsten Quadrate beruht (Sachs, 1991), angewendet. Daraus ergibt sich:

$$\text{Chl.a (gesamt)} = x_0 + x_1 (\text{Pigment a}) + x_2 (\text{Pigment b}) \dots + x_n (\text{Pigment n})$$

x_0 ist ein Term für einen nicht näher definierten Rest an Chl.a. Im Extremfall, wenn keine Markerpigmente bestimmt wurden, entspricht x_0 der gemessenen Konzentration von Chl.a.

Bei der Anwendung der Ber.2 wird davon ausgegangen, daß sich das Chl.a/Markerpigment-Verhältnis bei verschiedenen Lichtqualitäten und -intensitäten oder unterschiedlichen Nährsalzangeboten nur unwesentlich verändert. In der Vergangenheit wurden diese Annahmen in Laborexperimenten für die Beziehung zwischen Chl.a und mehreren photosynthetisch aktiven Carotinoiden verschiedener Phytoplankter bestätigt (z. B. Healey et al., 1967; Jeffrey et al., 1975; Caretto und Cartoggio, 1976; Veski und Jeffrey, 1977; Withers et al., 1981; Caron et al., 1983; Klein, 1988). In neueren Untersuchungen wurden diese Vermutungen jedoch in Frage gestellt (Latasa und Berdalet, 1994; Johnson et al., 1992; Johnson und Sakshaug, 1993; McManus, 1995). Anhand der hier vorliegenden Arbeit sollen diese Annahmen anhand von Freilanduntersuchungen überprüft werden.

Die Umrechnung der ermittelten Chl.a-Äquivalente in Kohlenstoffeinheiten erfolgte mit Umrechnungsfaktoren aus der Literatur. Bis auf die Gruppe der Dinophyceae, die laut Literatur

Tabelle 2: Gruppenspezifische Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse. Die aufgeführten Verhältnisse stellen Mittelwerte der in den jeweiligen Arbeiten beschriebenen Verhältnissen dar. Die Berechnung der Verhältnisse beruhen auf der Analyse von Monokulturen, die im Labor gehältert wurden. (n = Anzahl der untersuchten Arten)

Gruppe	Markerpigment	n	Chl.a/Markerpigment Verhältnis	Quellen
Cyanophyceae	Zeaxanthin	4	4,0 ± 0,3	2, 10
Bacillariophyceae	Fucoxanthin	14	1,8 ± 0,5	1b, 2, 3, 4, 5, 6
Chlorophyceae	Lutein	17	5,0 ± 1,8	1a, 2
Dinophyceae	Peridinin	7	2,3 ± 0,5	2, 3, 7
Cryptophyceae	Alloxanthin	4	3,0 ± 1,2	1b, 2, 7
Prasinophyceae	Prasinoxanthin	3	3,5 ± 0,6	8
Prymnesiophyceae	19-Hexanoyloxy- fucoxanthin	2	1,1 ± 0,1	6, 9,

Quellen: 1a: Hager und Stransky, 1970a; 1b: Hager und Stransky, 1970b; 2: Meyerhöfer, 1994; 3: Vesk und Jeffrey, 1977; 4: Owens und Wold, 1986; 5: Stauber und Jeffrey, 1988; 6: Bidigare, 1989; 7: Burkhill et al, 1987; 8: Hooks et al, 1988; 9: Wright und Jeffrey, 1987; 10: Kahna, 1988.

Tabelle 3: Gruppenspezifische Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse, berechnet anhand der in dieser Arbeit ermittelten Pigmentkonzentrationen für die Untersuchungsgebiete Pommernbucht und Gotlandsee. Die Berechnungen erfolgten einerseits mit Pigmentkonzentrationen aus unterschiedlichen Tiefen der Wassersäule (siehe Punkt 2.4) und andererseits mit Pigmentkonzentrationen aus den Kontrollen der Freßexperimente (nach 24-stündiger Inkubation in konstanter Wassertiefe, siehe Punkt 2.10). Die Erläuterungen zu den Abkürzungen sind der Tabelle A im Anhang zu entnehmen. Die unterschiedlichen Werte, die aus den Pigmentkonzentrationen der Wassersäule und der Freßexperimente resultieren, sind im wesentlichen auf die unterschiedlichen Lichtbedingungen zurückzuführen. (siehe Diskussion: Punkt 4.2)

Pommernbucht (Wassersäule; n = 60): Chl.a = 0,014 + 3,1 (Zea.) + 0,5 (Fuco.) + 1,7 (Lut.) + 0,01 (Peri.) + 0,2 (Allo.) + 0,5 (Prasi.)
Pommernbucht (Kontrollen der Freßexperimente; n = 24): Chl.a = 0,005 + 0,5 (Zea.) + 1,4 (Fuco.) + 5,1 (Lut.) + 2,8 (Peri.) + 2,3 (Allo.) + 0,1 (Prasi.)
Gotlandbecken (Wassersäule: Durchmischte Schicht 0-15 m; n = 50): Chl.a = 0,0287 + 0,61 (Zea.) + 1,3 (Fuco.) + 2,2 (Peri.) + 1,5 (Allo.) + 1,2 (Prasi.) + 0,9 (19-Hexa.)
Gotlandbecken (Wassersäule: 16-50 m; n = 55): Chl.a = 0,0285 + 0,63 (Zea.) + 0,9 (Fuco.) + 1,5 (Peri.) + 1,0 (Allo.) + 0,8 (Prasi.) + 0,6 (19-Hexa.)
Gotlandbecken (Kontrollen der Freßexperimente; n = 40): Chl.a = 0,0095 + 0,51 (Zea.) + 1,6 (Fuco.) + 2,4 (Peri.) + 2,7 (Allo.) + 2,7 (Prasi.) + 1,2 (19-Hexa.)

einen höheren C-Gehalt als andere Phytoplankter besitzt (Strahtmann, 1966), wurde ein Umrechnungsfaktor von 50 zugrunde gelegt (siehe Kiørboe et al., 1982). Für die Dinophyceae wurde ein Umrechnungsfaktor von 70 gewählt (Parsons et al., 1984; Knoppers, 1982). Diese Umrechnungsfaktoren sind durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt worden (siehe Parsons et al., 1984).

Die gemessenen Chl.a-Konzentrationen wurden für die Berechnung der C-Äquivalente mit den oben genannten Faktor von 50 (Kiørboe et al., 1982) multipliziert. Diese Umrechnungsmethode wird im weiteren Verlauf der Arbeit als **Ber.4** bezeichnet.

2.9 Bestimmung von $\delta^{15}\text{N}$ Isotopenverhältnissen

2.9.1 Voraussetzungen für die Verwendung von $\delta^{15}\text{N}$ als Tracer für die Bestimmung der Aufnahme von diazotrophen Cyanobakterien durch calanoide Copepoden

Zahlreiche Untersuchungen aus marinen, limnischen und terrestrischen Ökosystemen haben gezeigt, daß innerhalb des Nahrungsnetzes von einer Trophieebene zur nächsten eine Fraktionierung der stabilen Stickstoffisotope stattfindet. Der Stickstoff in der jeweils nächst höheren trophischen Ebene besitzt ein um 3,5 ‰ schwereres $\delta^{15}\text{N}$ -Signal als der Stickstoff der jeweiligen Nahrung (Literaturübersicht bei Montoya, 1994).

Durch die Nutzung unterschiedlicher Stickstoffquellen für die Primärproduktion bei diazotrophen Cyanobakterien und beim Phytoplankton kann zwischen diesen beiden Gruppen differenziert werden. Diazotrophe Cyanobakterien sind in der Lage, bei Nitratlimitation, wie sie im Untersuchungszeitraum in der Gotlandsee vorhanden war, Luftstickstoff zu fixieren (Kahru et al., 1994), der einen $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von ca. 0 ‰ besitzt, weshalb der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Cyanobakterien ebenfalls in diesem Bereich liegt. Im Gegensatz dazu liegt bei dem nitrataufnehmenden Phytoplanktern das $\delta^{15}\text{N}$ -Signal mit durchschnittlich 6 ‰ deutlich höher (Liu und Kaplan, 1989).

Basierend auf dieser Grundlage kann anhand der $\delta^{15}\text{N}$ -Verhältnisse der Copepoden sowie dem der Cyanobakterien und der übrigen Phytoplanktonorganismen die prozentuale Zusammensetzung der Nahrungskomponenten bestimmt werden.

2.9.2 Analyse von $\delta^{15}\text{N}$ des suspendierten Materials, der isolierten Cyanobakterien und der calanoiden Copepoden

Die unter Punkt 2.4 und 2.5 beschriebenen Filter mit dem suspendierten Material, den isolierten Cyanobakterien sowie den Copepoden wurden bei 60 °C für 12 Stunden getrocknet und anschließend für die weitere Analyse in Zinnkartuschen überführt.

Die Analyse des $\delta^{15}\text{N}$ erfolgte mit einem Massenspektrometer der Firma Finnigan (Delta-S). Die Anlage wurde mit Luftstickstoff ($\delta^{15}\text{N} = 0 \text{ ‰}$) als Standardgas geeicht. Zur Bestimmung von $\delta^{15}\text{N}$ wird jede Probe gegen ein Referenzgas gemessen ($\delta^{15}\text{N} = -8,09 \text{ ‰}$). Der $\delta^{15}\text{N}$ Wert in der Probe berechnet sich wie folgt:

$$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰} = ((R(\text{Probe}) : R(\text{Referenz})) - 1) * 1000; \quad R = \text{Verhältnis von } ^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$$

Proben mit positiven $\delta^{15}\text{N}$ ($> 0 \text{ ‰}$) sind gegenüber dem Standard mit ^{15}N angereichert und Proben mit negativen $\delta^{15}\text{N}$ ($< 0 \text{ ‰}$) besitzen einen geringeren Anteil von ^{15}N -Atomen als der Standard.

2.9.3 Berechnung des $\delta^{15}\text{N}$ des Phytoplanktons

Für die Ermittlung des $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes der restlichen Phytoplankter (= Gesamtphytoplankton - Cyanobakterien; nachfolgend der Einfachheit halber als Phytoplankton bezeichnet) muß zunächst anhand der ermittelten C-Äquivalente (Ber.3) der Stickstoffgehalt über das Redfield-Verhältnis für das Phytoplankton und die Cyanobakterien bestimmt werden (dividieren der C-Konzentrationen durch 6,6; Redfield, 1963). Die Berechnung des $\delta^{15}\text{N}$ -Gehaltes des Phytoplanktons erfolgte mittels folgender Gleichung:

$$\delta^{15}\text{N} (\text{susp. Material}) * \text{PON} (\text{Cyanob.} + \text{Phytopl.}) = \delta^{15}\text{N} (\text{Cyanob.}) * \text{PON} (\text{Cyanob.}) + \delta^{15}\text{N} (\text{Phytopl.}) * \text{PON} (\text{Phytopl.})$$

Durch Auflösen der Gleichung nach dem gesuchten Term ergibt sich:

$$\delta^{15}\text{N} (\text{Phytopl.}) = \frac{[\delta^{15}\text{N} (\text{susp. Material}) * \text{PON} (\text{Cyanob.} + \text{Phytopl.}) - \delta^{15}\text{N} (\text{Cyanob.}) * \text{PON} (\text{Cyanob.})]}{\text{PON} (\text{Phytopl.})}$$

2.10 Durchführung der Freßexperimente nach der Differenzmethode

Bei dieser Methode wird der Verlust an Nahrung aus einem Inkubationsmedium gemessen. Dies kann in Form von Zellzählungen (mittels Partikelzählgerät oder Utermöhlmethode) als auch anhand der Bestimmung von Chl.a-Konzentrationen (mittels Fluorometer, HPLC-Technik) bzw. anderer Pigmente (z. B. Carotinoide mittels HPLC-Technik) erfolgen (Chervin, 1978). Für die Bestimmung einer selektiven Nahrungsaufnahme anhand von Phytoplanktonproben aus dem Freiland eignet sich lediglich die Auswertung mit der Utermöhlmethode oder der Pigmentanalytik mittels der HPLC-Technik.

Das Inkubationswasser für die Freßratenbestimmung wurde aus der Tiefenstufe des Chlorophyllmaximums entnommen, welches zuvor mit der Fluoreszenzsonde ermittelt wurde. In der Pommernbucht wurde das Seewasser über 200 µm Gaze filtriert, um größere herbivore Organismen vom Versuch auszuschließen. In der Gotlandsee wurden alle Versuche mit unfiltriertem Seewasser durchgeführt, da ein Großteil der Cyanobakterienfäden größer als 200 µm waren, und diese als potentiell Futter nicht ausgeschlossen werden sollten. Ein Teil des Inkubationswassers wurde auf acht 3-Liter Polycarbonatflaschen verteilt. Der andere Teil wurde für die Bestimmung des t_0 -Wertes für die spätere Pigmentanalyse filtriert und anschließend bei -20 °C gelagert sowie für die Phytoplanktonzählung fixiert ($n = 4$; siehe Punkt 2.4). In 4 der 8 abgefüllten Flaschen wurden 20 - 50 Individuen von *A. bifilosa* überführt (Freßansätze (F), siehe Abb. 9) und 4 Flaschen dienten als Kontrolle (K). Die Inkubation erfolgte für 24 Stunden (t_{24}) in einer konstanten Tiefe entsprechend des Chlorophyllmaximums (ca. 2 m in der Pommernbucht und ca. 5 m in der Gotlandsee) in einem am Drifter befestigten Plexiglasbehälter. Am Ende des Versuchs wurden Unterproben zur Bestimmung der Zellzahlen und der Markerpigmentkonzentrationen aus den Inkubationsflaschen entnommen. Aus der Differenz der Markerpigmente sowie der Zellzahlen zum Zeitpunkt t_0 und t_{24} wurde nach Frost (1972), die Ingestionsraten berechnet:

1) Berechnung der Wachstumsrate (w) der Algen

$$w = (\ln K_{24} - \ln K_0) / t$$

K_0 : Algenkonzentration zum Beginn des Versuchs in den Kontrollen

K_{24} : Algenkonzentration am Ende des Versuchs in den Kontrollen

t : Dauer der Inkubation (24 Stunden)

2) Berechnung der Grazingrate (g) unter Berücksichtigung der Wachstumsrate (w)

$$g = -[(\ln F_{24} - \ln F_0) / t] + w$$

F_0 : Algenkonzentration zum Beginn des Versuchs in den Freßansätzen

F_{24} : Algenkonzentration am Ende des Versuchs in den Freßansätzen

t : Dauer der Inkubation (24 Stunden)

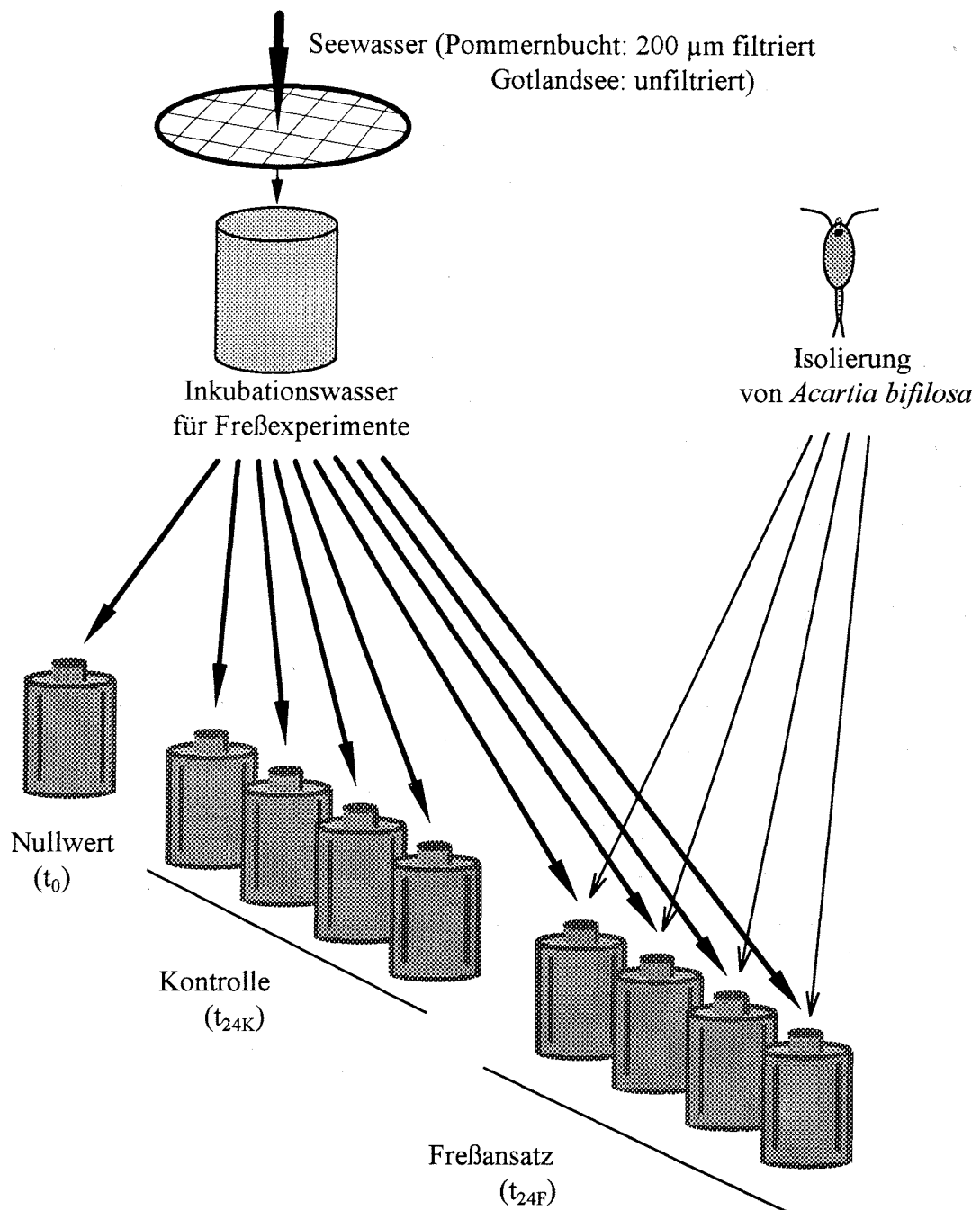


Abbildung 9: Versuchsschema für die Durchführung der Freßexperimente. Es wurden jeweils zu Beginn (t_0) und am Ende des Versuchs nach 24 Stunden (Kontrolle: t_{24K} , Freßansatz: t_{24F}) aus dem Inkubationsmedium Unterproben für Zellzählungen und Pigmentmessungen entnommen

3) Berechnung der mittleren Algenkonzentration (A) im Freßansatz

bei w ungleich g ist $k = [F_0 * (F_{24} / F_0 - 1)] / t * (w - g)$

bei $w = g$ ist $k = A_0 = A_{24}$ (kein Nettowachstum)

4) Berechnung der Ingestionsrate (I)

$I = (g * k * V) / N = (\text{Zellzahl, } \mu\text{g Pigment bzw. } \mu\text{g C} * \text{Ind.}^{-1} * \text{Tag}^{-1})$

V : Volumen des Versuchsgefäßes (ml)

N : Anzahl der Copepoden pro Freßansatz

Die Freßraten, die sich aus den Phytoplanktonzählungen und den HPLC-Messungen ergaben, wurden zum besseren Vergleich in C-Äquivalente umgerechnet (siehe Punkt 2.8.3). Die Zellzählungen wurden mittels der Ber.1 in C-Äquivalente umgerechnet. Für die Kalkulation der C-Äquivalente der Carotinoide wurde die Ber.3 herangezogen (siehe Tab. 3 Punkt 2.8.3). Die Umrechnung der Chl.a-Konzentrationen in C-Äquivalente erfolgte nach der Ber.4 (siehe Punkt 2.8.3).

2.11 Statistische Auswertung

Die Überprüfung von Unterschieden zwischen zwei Mittelwerten erfolgte mit dem T-Test nach Sachs (1991). Die Regressionsanalyse sowie die Ermittlung der Vertrauensbereiche für die Regressionsgeraden wurden ebenfalls nach Sachs (1991) durchgeführt.

Die Berechnung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse mittels multipler Regression (siehe Punkt 2.8.3) wurde mit dem Programm "Matlab" ausgeführt. Das Programm ermittelte für die in dieser Arbeit aufgeführten Gleichungen Korrelationskoeffizienten (r^2) zwischen 0,91 und 0,97.

3. Ergebnisse der Driftexperimente in der Pommernbucht und der Gotlandsee 1993/1994

Die Ergebnisse werden getrennt nach Untersuchungsgebieten und Untersuchungszeitraum beschrieben. Kapitel 3.1 und 3.2 befassen sich mit den in der Pommernbucht 1993 und 1994 vorgefundenen Verhältnissen. Die Daten für die Gotlandsee 1993 und 1994 werden in den Kapitel 3.3 und 3.4 aufgeführt.

3.1 Ergebnisse der Untersuchungen in der Pommernbucht 1993

Es werden die abiotischen Bedingungen im Untersuchungszeitraum 1993 beschrieben, sowie die Phytoplankton- und Zooplanktonverteilung dargestellt und die Ergebnisse der Markerpigment- und der $\delta^{15}\text{N}$ -Analytik ausgewertet.

3.1.1 Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials

Der Verlauf der Driftexperimente 1 and 2 (D1 und D2) vom 27.09.1993 bis 05.10.1993 in der Pommernbucht ist in der Abbildung 10 dargestellt. Das erste Driftexperiment begann an der

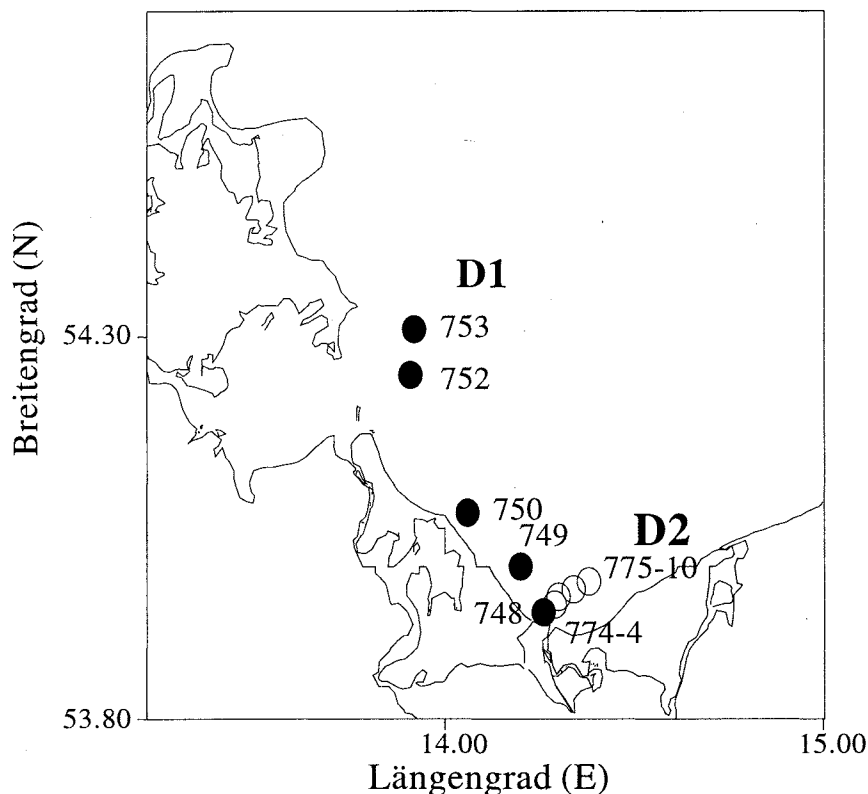


Abbildung 10: Verlauf der Driftexperimente D1 (schwarze Punkte) und D2 (Kreise) in der Pommernbucht 1993.

Mündung der Swine (Station 748) und führte in nordwestlicher Richtung an der Öffnung des Greifswalder Bodden vorbei. Während des Experimentes wurden 5 Stationen (748, 749, 750, 752, 753) nach je 12 bis 24 Stunden beprobt (Abb. 10). Das Driftexperiment endete nach 72 Stunden an der Station 753. Der zweite Driftverlauf bewegte sich von der Mündung der Swine aus in östlicher Richtung entlang der Küste und dauerte 36 Stunden. Zwischen den Probenahmen an den Stationen 774-4, 774-10, 775-4 und 775-10 (Abb. 10) lagen jeweils 12 Stunden. Die konservativen Parameter Salzgehalt und Temperatur dienten der Charakterisierung der in den jeweiligen Driftexperimenten markierten Wasserkörper (Abb. 11).

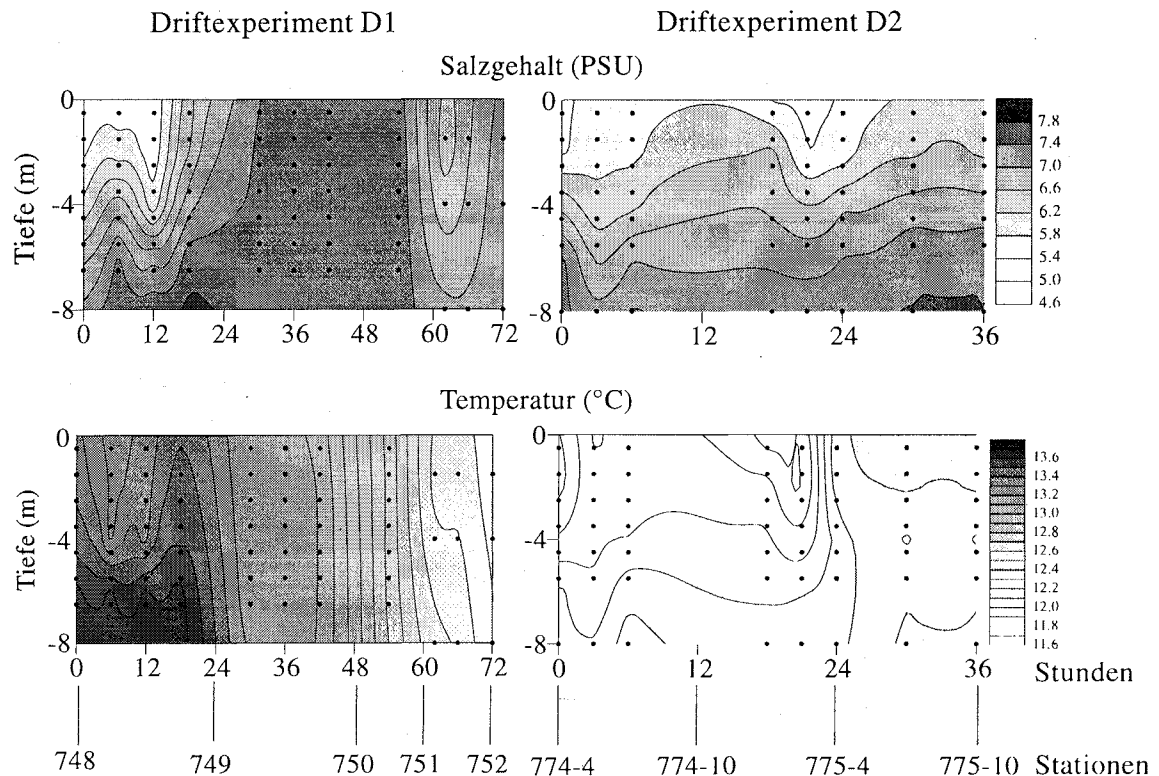


Abbildung 11: Veränderungen des Salzgehaltes (links) und der Temperatur (rechts) im Verlauf der Driftexperimente D1 und D2 in der Pommernbucht 1993.

Zu Beginn des **ersten Driftexperimentes (D1)** wurde ein niedriger Oberflächensalzgehalt von 4,6 PSU registriert (Abb. 11). Im Verlauf der ersten 48 Stunden stieg der Salzgehalt bis auf 7,9 PSU stetig an. Dies deutet auf eine zunehmende Vermischung des Flußwassers mit dem Buchtenwasser hin. Der während des weiteren Driftverlaufes registrierte Abfall des Salzgehaltes (Station 752, 6,3 PSU) erklärt sich durch den Zufluß salzärmeren Wassers aus dem Greifswalder Bodden (Abb. 11). Am Ende der Drift, nach 72 Stunden an der Station 753, wurde ein Salzgehalt von 7,5 PSU gemessen. Dies zeigt, daß auch eine Vermischung des aus dem Greifswalder Bodden austretenden Wassers mit dem Ostseewasser stattfand. Während des ersten Driftexperimentes scheinen daher zwei Vermischungsereignisse stattgefunden zu haben. Anhand der gemessenen Oberflächentemperaturen konnte dies jedoch nicht bestätigt

werden. Die Wassertemperaturen an der Oberfläche sanken von 13,5 °C am Anfang der Drift kontinuierlich bis auf 12,1 °C am Ende des Driftexperimentes ab (Abb. 11).

Die höchsten Konzentrationen von Nitrat, Phosphat und Silikat wurden zu Beginn der Drift gemessen (Tab. 4). Die Werte nahmen während der ersten Hälfte des Driftexperimentes ab und variierten an den Stationen 752 und 753 stark. Am Ende des Driftverlaufes wurden für alle Parameter deutlich niedrigere Werte gemessen als zu Beginn der Drift (Tab. 4). Die Ammoniumkonzentrationen lagen im Bereich von 1,2 bis 2,3 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Während des zweiten **Driftverlaufes (D2)** waren kaum Vermischungsprozesse zu beobachten. Am Anfang der zweiten Drift wurde an der Swinemündung ein Oberflächensalzgehalt von 5,2 PSU gemessen. Im Verlauf des Driftexperimentes war der Salzgehalt nur geringen Schwankungen unterworfen. Er lag im Bereich von 5,2 bis 6,2 PSU (Abb. 11). Die Oberflächentemperaturen schwankten zwischen 11,6 °C zu Beginn des Driftexperimentes und 12,2 °C am Ende der Drift (Abb. 11). Die höchsten Nährsalzkonzentrationen wurden wie im ersten Driftverlauf im Mündungsbereich der Swine gemessen (Tab. 4). Die geringsten Konzentrationen wurden nach 36 Stunden an der letzten Station des zweiten Driftexperimentes (775-10) detektiert.

Tabelle 4: Gewichtete Mittelwerte der Nährstoffkonzentrationen aus vier Tiefenstufen (1,5; 3,0; 5,0; 7,0 m) der Wassersäule (siehe Punkt 2. 4) während des ersten (D1) und zweiten (D2) Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993.

Stationen	Nährstoffe ($\mu\text{mol} \cdot \text{Liter}^{-1}$)			
	Ammonium	Nitrat	Phosphat	Silikat
D1				
748	1,21	6,10	1,99	47,43
749	1,83	3,62	1,33	32,07
750	2,32	1,85	0,75	21,31
752	1,76	5,29	1,55	35,79
753	1,50	1,04	0,80	23,03
D2				
774-4	2,44	6,18	1,55	39,69
774-10	1,53	5,62	1,42	32,02
775-4	0,98	5,65	1,11	33,99
775-10	0,82	3,38	1,11	32,00

Der POC-Gehalt in der Wassersäule lag während beider Driftexperimente im Bereich von 0,57 bis 0,84 mg C * L⁻¹ (Tab. 5). Die PON-Konzentrationen variierten zwischen 0,08 und 0,14 mg N * L⁻¹. Die für den zweiten Driftverlauf beschriebenen geringen Vermischungsprozesse bilden sich auch in einer geringen Variation der POC- sowie PON-Konzentrationen ab. Die molaren C/N-Verhältnisse lagen im Bereich von 7,0 bis 8,6 während der ersten Drift und zwischen 7,2 und 7,9 während der zweiten Drift.

Tabelle 5: Gewichtete Mittelwerte des partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und -Stickstoffgehaltes (PON) sowie des molaren C/N-Verhältnisses des suspendierten Materials aus vier Tiefenstufen der Wassersäule (1,5; 3,0; 5,0; 7,0 m) des ersten (D1) und zweiten Driftexperimentes (D2) in der Pommernbucht 1993.

Stationen	Suspendiertes Material		
	POC (mg L ⁻¹)	PON (mg L ⁻¹)	C / N (molar)
D1			
748	0,79	0,11	8,4
749	0,84	0,14	7,0
750	0,57	0,08	8,3
752	0,75	0,11	7,9
753	0,74	0,10	8,6
D2			
774-4	0,70	0,11	7,4
774-10	0,81	0,12	7,9
775-4	0,80	0,13	7,2
775-10	0,80	0,13	7,2

3.1.2 Phytoplanktonverteilung

Während des **ersten Driftverlaufes** wurde an der ersten Station (748) die höchste Phytoplanktonkonzentration mit über $5 * 10^6$ Zellen * L⁻¹ gezählt (Abb. 12). Die Gesamtzellzahl nahm bis zur Station 750 auf $1,1 * 10^6$ Zellen * L⁻¹ ab und stieg an der Station 752 wieder auf $4,1 * 10^6$ Zellen * L⁻¹ an. Zum Ende der Drift wurden nur noch $1,0 * 10^6$ Zellen * L⁻¹ gezählt.

Die Cyanobakterien stellten den höchsten Anteil mit mehr als $1,8 * 10^6$ Zellen * L⁻¹, gefolgt von den Bacillariophyceae und Chlorophyceae mit maximal $1,3 * 10^6$ Zellen * L⁻¹ (Abb. 12).

Die Cryptophyceae waren mit $0,002 - 0,9 \cdot 10^6 \cdot \text{Zellen L}^{-1}$ und die Dinophyceae mit $0,04 - 0,2 \cdot 10^6 \cdot \text{Zellen} \cdot \text{L}^{-1}$ am Phytoplanktonbestand beteiligt. Während der Drift wurden in der Gruppe der Prasinophyceae $0,005 - 0,07 \cdot 10^6 \cdot \text{Zellen} \cdot \text{L}^{-1}$ gezählt (Abb. 12). Die größten Variationen in den Abundanzen wurden im Verlauf der Drift bei den Cyanobakterien und Bacillariophyceae registriert.

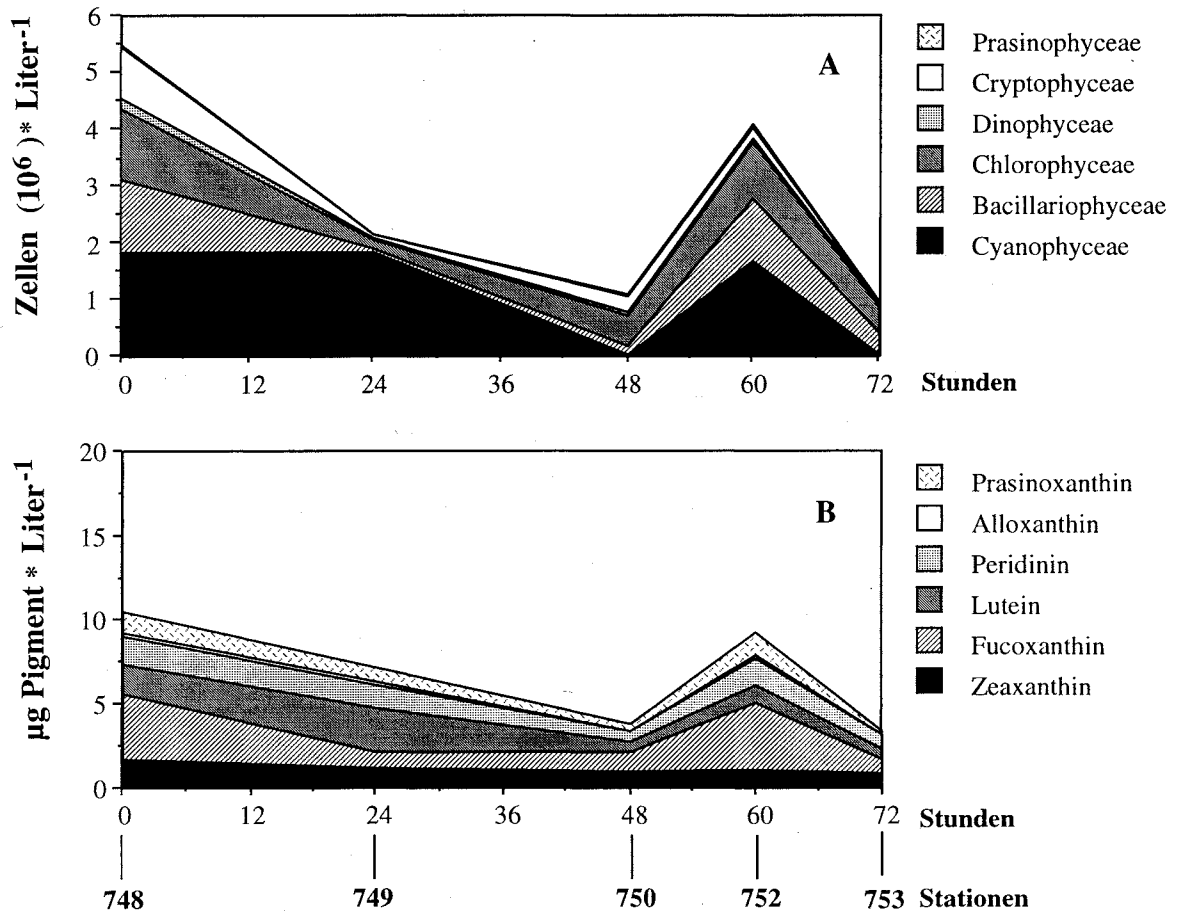


Abbildung 12: Verteilung der einzelnen Phytoplanktongruppen während des ersten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993. Gegenübergestellt sind die über die Wassersäule gewichteten Mittelwerte der Zellzählungen (A) und der Markerpigmentkonzentrationen (B).

Bei den Cyanobakterien dominierten die Kolonien von *Microcystis* spp. und *Gomphosphaeria pusilla*, gefolgt von den kettenförmigen Formen wie *Oscillatoria* spp. und *Anabaena* spp. In der Gruppe der Bacillariophyceae waren die Arten *Thalassiosira levanderi*, *Coscinodiscus grannii*, *Skeletonema costatum*, *Leptozylindrus danicus*, *Asterionella formosa* und *Nitzschia delicatissima* die häufigsten Vertreter. Die Repräsentanten der Chlorophyceae während des ersten Driftexperimentes waren *Monoraphidium* spp., *Oocystis* spp., *Tetrastrum* spp.,

Scenedesmus spp., *Crucigenia tetrapedia*, *Aktinastrum hantzschii* und *Coelastrum microporum*. Als einzige Art in der Gruppe der Cryptophyceae wurde *Rhodomonas minuta* während der Probennahme gefunden. Zu der Gruppe der Dinophyceae gehörten *Katodinium rotundatum* und *Prorocentrum minimum*, und bei den Prasinophyceae konnte nur *Pyramimonas marina* in den Proben identifiziert werden. In einigen Phytoplanktongruppen konnte während des Versuchszeitraumes eine Verschiebung im Artenspektrum beobachtet werden. Die Cyanobakterien wurden nach 60 Stunden nur noch durch die koloniebildenden Formen *Microcystis* und *Gomphosphaeria* repräsentiert. An der Station 752 kamen neben *Microcystis* wieder kettenbildende Formen wie *Aphanizomenon flos-aqua*, *Anabaena* spp. und *Oscillatoria* spp. vor. An dieser Station zählten *Chaetoceros* sowie *Skeletonema costatum* zu den dominanten Arten in der Gruppe der Bacillariophyceae, wobei sich am Ende des Driftexperimentes *Chaetoceros* in dieser Gruppe durchsetzte.

Ergänzend zur Zellzählung wurde die Verteilung der Chl.a-Konzentration als Marker für die gesamte Phytoplanktonbiomasse und die Markerpigmente als Indikator für die jeweiligen Phytoplanktongruppen mit der HPLC-Methode bestimmt. Die Abnahme der Algenzellen bis zur Station 750 und ihr erneuter Anstieg an der Station 752 konnte durch die Chl.a- (Tab. 6) und die Carotinoidkonzentrationen der jeweiligen Algengruppen (Abb. 12) bestätigt werden. Allerdings war die Variationsbreite bei dem Markerpigment der Cyanobakterien (Zeaxanthin) im Driftverlauf gering ($1,7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ am Anfang und $0,8 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ am Ende der Drift). Dieser Befund steht im Gegensatz zum Ergebnis der Zellzählung. Die Pigmente Fucoxanthin ($0,8 - 4,1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; Bacillariophyceae) sowie Lutein ($0,6 - 2,6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; Chlorophyceae) stellten den Hauptanteil der gemessenen Markerpigmente während des ersten Driftexperimentes (Abb. 9). Peridinin (Dinophyceae) lag in ähnlichen Konzentrationen wie Prasinoxanthin vor ($0,6 - 1,6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; Prasinophyceae). Alloxanthin, das Markerpigment der Cryptophyceae, war nur in geringen Mengen in der Wassersäule vorhanden ($0,04 - 0,26 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

Während des **zweiten Driftexperimentes** waren nur geringe Veränderungen innerhalb sowie zwischen den jeweiligen Algengruppen zu beobachten (Abb. 13). Die Gesamtzellzahl schwankte zwischen $3,5$ und $3,9 \cdot 10^6$ Zellen $\cdot \text{L}^{-1}$. Die Cyanobakterien und die Bacillariophyceen zählten mit jeweils $1,5 \cdot 10^6$ Zellen $\cdot \text{L}^{-1}$ zu den dominanten Gruppen. Zu den Vertretern der Cyanobakterien gehörten die fädigen Formen *Anabaena* spp. und *Oscillatoria* spp. sowie die koloniebildenden Formen *Microcystis* spp. und *Gomphosphaeria pusilla*. Die Bacillariophyceae wurden durch die Arten *Leptozylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima*, *Skeletonema costatum* und *Thalassiosira levanderi* repräsentiert. Die Zellzahl der Chloro-, Dino-, Crypto- und Prasinophyceae lag im Bereich von $0,05$ bis $0,4 \cdot 10^6$ Zellen $\cdot \text{L}^{-1}$, wobei die Cryptophyceae den größten Anteil stellten (Abb. 13). Die Chlorophyceae waren mit *Aktinastrum hantzschii*, *Crucigenia quadrata*, *Coelastrum microporum*, *Monoraphidium* spp., *Pediastrum* spp. und *Scenedesmus* spp. vertreten. *Katodinium rotundatum* und *Prorocentrum*

minimum waren die häufigsten Vertreter der Dinophyceae. *Rhodomonas minuta* wurde für die Cryptophyceae und *Pyramimonas marina* für die Prasinophyceae identifiziert.

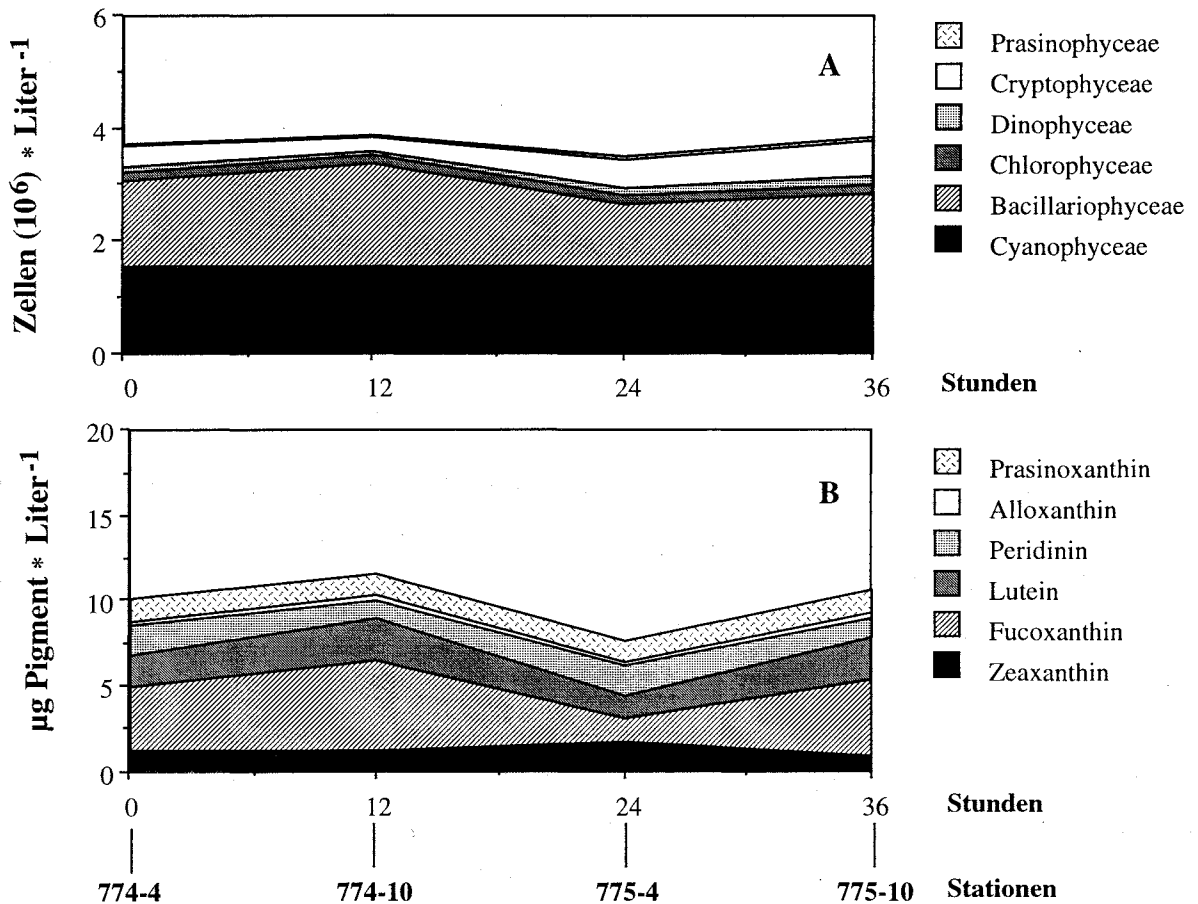


Abbildung 13: Verteilung der einzelnen Phytoplanktongruppen während des zweiten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993. Gegenübergestellt sind die über die Wassersäule gewichteten Mittelwerte der Zellzählungen (A) und der Markerpigmentkonzentrationen (B).

Die Ergebnisse der Zellzählungen während des zweiten Driftexperimentes konnten durch die HPLC-Analysen bestätigt werden. Nur geringe Konzentrationsveränderungen der Markerpigmente sowie des Chl.a wurden in der Wassersäule detektiert (Abb. 13 und Tab. 6). Fucoxanthin stellte den größten Anteil der Carotinoide mit $1,3 - 5,2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Zeaxanthin, Lutein, Peridinin und Prasinoxanthin lagen in einem Konzentrationsbereich von $1,0$ bis $2,5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Das Pigment Alloxanthin, welches die Cryptophyceae repräsentiert, erreichte Konzentrationen von $0,2$ bis $0,3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

3.1.3 Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen

Für den Vergleich der Zellzählungen mit den Pigmentmessungen wurde in dieser Arbeit als gemeinsame Maßeinheit der Kohlenstoff gewählt (vergl. Punkt 2.8.3). Im Verlauf dieser

Arbeit werden die Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der C-Äquivalente wie folgt bezeichnet:

- Ber.1: Berechnung der C-Äquivalente erfolgte aus der Umrechnung der Zählraten.
- Ber.2: Umrechnung der gemessenen Markerpigmentkonzentrationen erfolgte mit in der Literatur beschriebenen Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen, die an im Labor gehälteren Monokulturen bestimmt wurden. Zur Berechnung der C- Äquivalente wurden die errechneten Chl.a-Äquivalente mit einem Faktor von 50 bzw. 70 für Dinophyceae multipliziert.
- Ber.3: Umrechnung der gemessenen Markerpigmentkonzentrationen in C-Äquivalente erfolgte mit den in dieser Arbeit über multiple Regression ermittelten Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen und anschließender Multiplikation mit den unter Ber.2 genannten Faktoren.

Die C-Äquivalente aller drei Berechnungsformen zeigen während des **Driftexperimentes D1** eine vergleichbare Tendenz (Abb. 14 A, B, C). Die Phytoplanktonbiomasse nahm von Station 748 bis 750 ab. Der Einfluß des Greifswalder Boddens führte an der Station 752 zu einem Anstieg der autotrophen Biomasse. Durch die weitere Vermischung mit Ostseewasser reduzierte sich der Phytoplanktonbestand an der Station 753 erneut (Abb. 14).

Die C-Daten, die auf der Ber.2 beruhen, liegen zwischen $1578 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ am Anfang der Drift und $547 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ nach 72 Stunden (Tab. 6). Sie liegen damit ca. 10 mal höher als die Werte der Ber.1. Die C-Konzentrationen, die sich aus der Ber.3 ergeben, liegen zwischen $539 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ an der Station 748 und $215 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ an der Station 753 (Tab. 6) und damit um einen Faktor von ca. 3 über denen der Ber.1. Die C-Äquivalente, die sich aus den Pigmentdaten ergeben (Ber.2 und Ber.3), unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Absolutwerte um den Faktor von 2,5 bis 3,5 (Tab. 6).

Die Chlorophyceae, Cyanobakterien und Bacillariophyceae stellten bei den C-Äquivalenten, die aus den Pigmentdaten resultieren (Ber.2, Ber.3), sowie nach Ber.1 den Hauptanteil am gesamten Phytoplanktonkohlenstoff. Qualitative Unterschiede gibt es auch in der Gruppe der Prasino-, Crypto- und Dinophyceae zwischen der Ber.1 mit der Ber.2 und Ber.3. Der Anteil der Prasinophyceae an der Summe des C-Gehaltes ist, nach den Analysen der Markerpigmente zu urteilen höher, ([Faktor 50 (Ber.2) und 5 (Ber. 3)]), als es der C-Gehalt aus den Zählungen (Ber.1) vermuten läßt. In der Gruppe der Cryptophyceae ist nach der Ber.2 und Ber.3 der C-Anteil 3fach höher bzw. 5fach niedriger als gegenüber der Ber.1. Die Gruppe der Dinophyceae hatte nach der Ber.3 nur einen geringen Anteil am gesamten Kohlenstoffgehalt des Phytoplanktons. Dieser geringe Anteil ist auf das geringe Chl.a/Markerpigment-Verhältnis zurückzuführen, was in diese Berechnung eingeht. (Tab. 3, vergl. Punkt 2.8.3, und Abb. 14).

Tabelle 6: Gewichtete Mittelwerte der Summe der C-Äquivalente berechnet anhand der Zellzählungen (Ber.1) und den Pigmentmessungen (Ber.2 und Ber.3) sowie Darstellung der gewichteten Mittelwerte der Chl.a-Konzentrationen aus vier Tiefenstufen (1,5; 3,0 ; 5,0 ; 7,0 m) der Wassersäule der beiden Driftexperimente in der Pommernbucht 1993.

Stationen	C - Äquivalente ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$)			Chl. a ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$) mit HPLC bestimmt
	Ber.1	Ber.2	Ber.3	
D1				
748	170	1578	539	10,66
749	119	1301	450	10,78
750	78	598	234	2,46
752	108	1273	373	7,71
753	53	547	214	1,24
D2				
774-4	168	1517	476	10,68
774-10	210	1756	578	10,83
775-4	144	1275	463	10,52
775-10	186	1632	501	10,46

Beim Vergleich der C-Äquivalente der Zählungen und der Pigmentdaten des **zweiten Driftexperimentes** ergibt sich ein vergleichbares Bild wie beim ersten Driftverlauf (Abb. 15 A, B, C). Der C-Gehalt, der sich aus den Pigmentdaten ergibt (Ber.2 und Ber.3), ist wesentlich höher als der aus den Zählungen (Ber.1, Tab. 6). Die Ber.2 ergibt einen fast 10fach höheren Wert gegenüber Ber.1, und der C-Gehalt anhand der Ber.3 ist bis zu 3fach höher. In der Gruppe der Dinophyceae gab es auch während des zweiten Driftexperimentes erhebliche Abweichungen der C-Äquivalente zwischen der Ber.1 und Ber. 3.

Eine detaillierte Übersicht der C-Anteile der einzelnen Phytoplanktongruppen am Gesamtkohlenstoff, die anhand der Ber.1, Ber.2 und Ber.3 ermittelt wurden, sind für beide Driftexperimente in der Tabelle 7 aufgeführt.

Erhebliche Abweichungen der Konzentrationen der C-Äquivalente ergeben sich bei einem Vergleich der Ber.2 und der Ber.3, die über die Markerpigmente bestimmt wurden. Dies ist auf die unterschiedlichen Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse zurückzuführen, die in die jeweilige Berechnung eingehen (siehe Tab. 2 und 3 in 2.8.3). Eine gute Übereinstimmung der berechneten C-Äquivalente gab es in der Gruppe der Cyanobakterien. Aus den Quotienten der C-Gehalte der Ber.2 zu Ber.3 ergibt sich ein Faktor von 1,3 (siehe Tab. 7), das heißt, daß

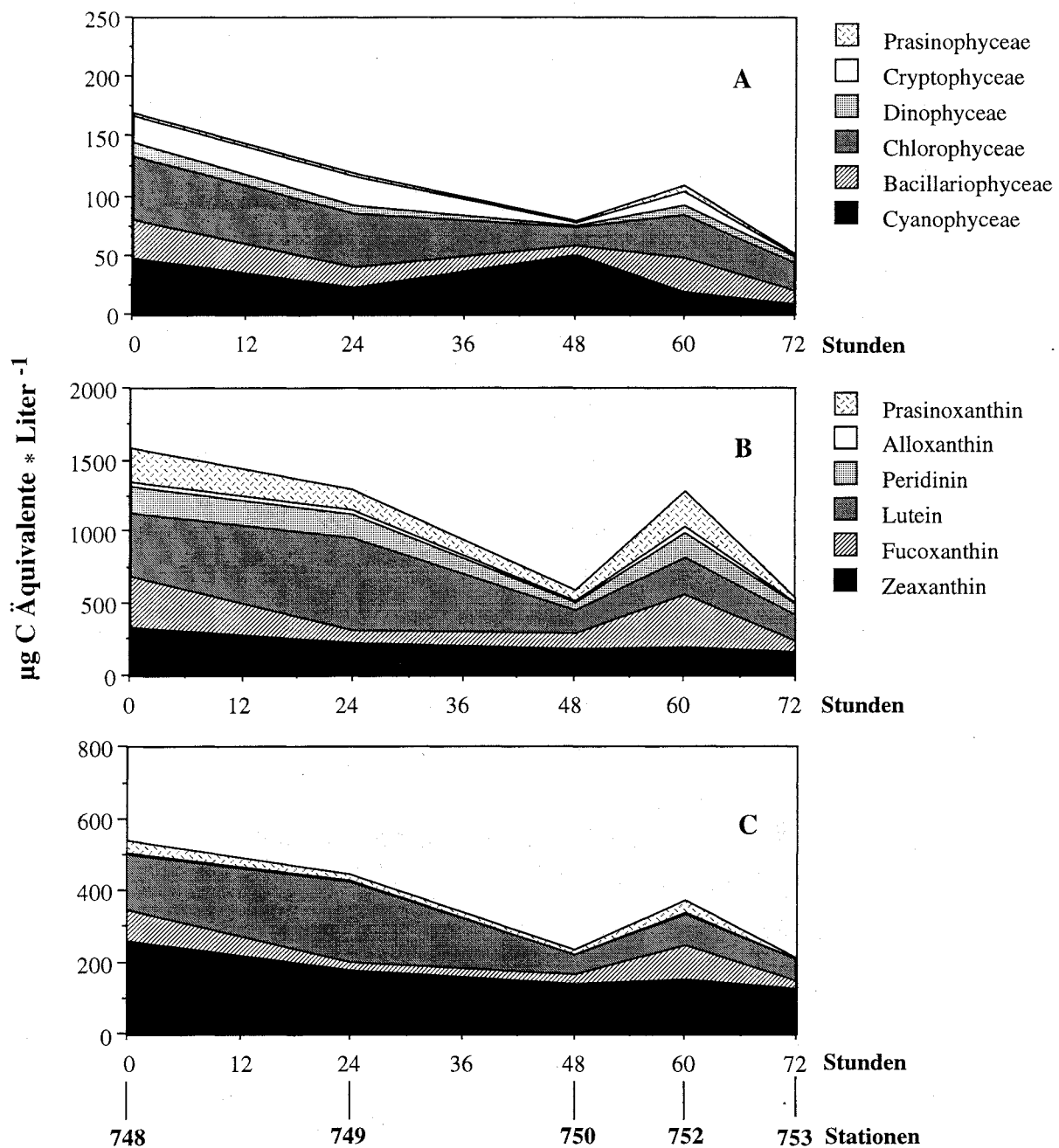


Abbildung 14: Vergleich der aus den Daten des ersten Driftexperiment in der Pommernbucht 1993 kalkulierten C-Äquivalente, die anhand der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsmethoden ermittelt wurden (vergl. 2.8.3).

A: Berechnung der C-Äquivalente aus den Zählraten (Ber.1)

B: Berechnung der C-Äquivalente aus den gemessenen Markerpigmentkonzentrationen mit den in der Literatur für Monokulturen beschriebenen Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen (Ber.2). Zur Berechnung der C-Äquivalente, wurden die errechneten Chl.a-Äquivalente mit einem Faktor von 50 (bzw. 70 für Dinophyceae) multipliziert.

C: Berechnung der C-Äquivalente aus den gemessenen Markerpigmentkonzentrationen mit den in dieser Arbeit über multiple Regression ermittelten Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen (Ber.3) und anschließender Multiplikation der unter **B** aufgeführten Faktoren.

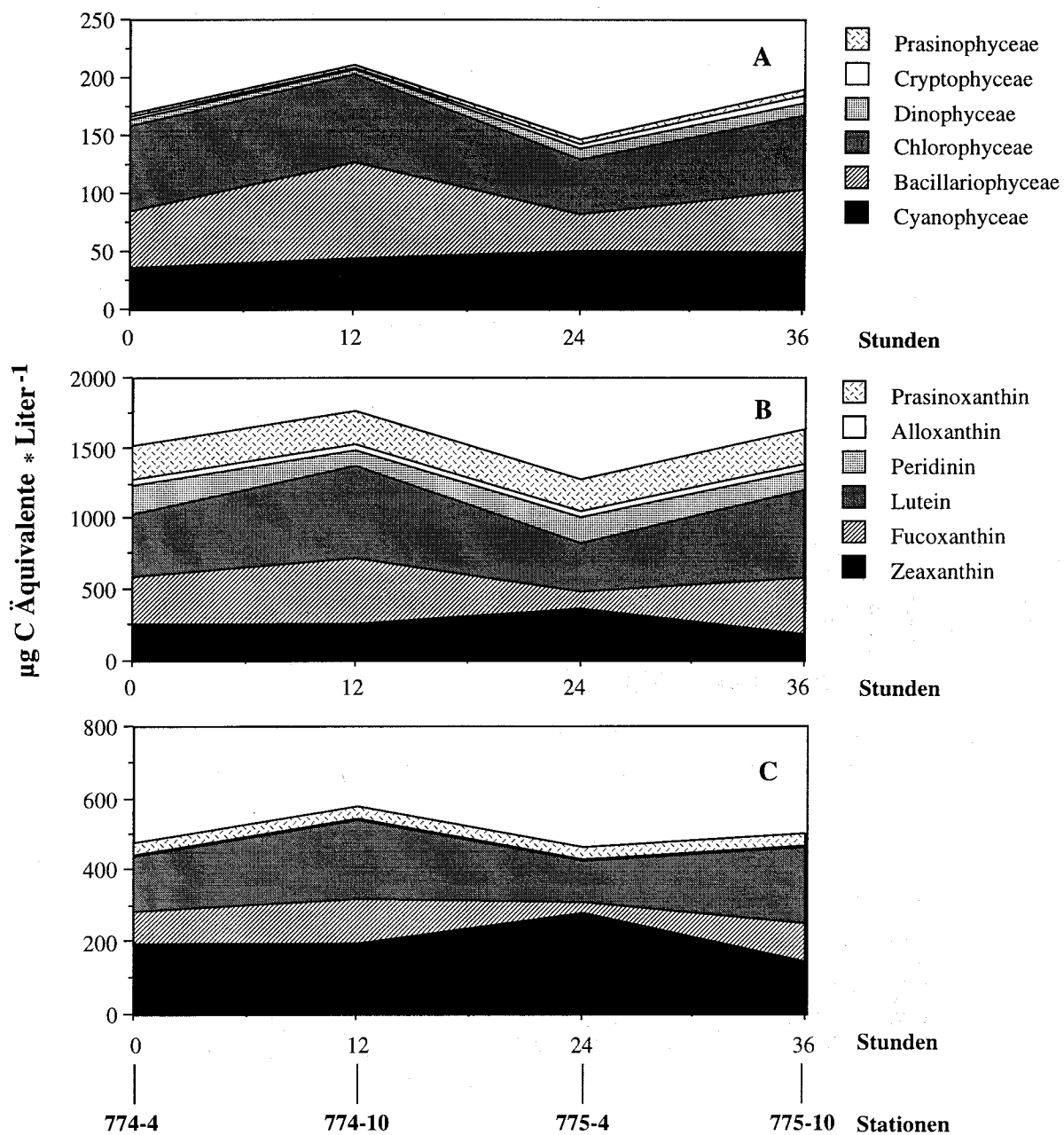


Abbildung 15: Vergleich der aus den Daten des zweiten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993 kalkulierten C-Äquivalente, die anhand der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsmethoden ermittelt wurden (Ber.1, Ber.2, Ber.3; vergl. Abb. 14).

mittels Ber.2 ein ca. 30 % höherer C-Anteil errechnet wird als nach Ber.3. Die C-Äquivalente der übrigen Phytoplanktongruppen, die anhand der Ber.3 ermittelt wurden, sind gegenüber der Ber.2 mit Ausnahme der Dinophyceae ca. 3 bis 12fach niedriger. Die Abweichungen beider Berechnungsformen (Ber.2 und Ber.3) waren bei den Dinophyceae am größten (vergl. Abb. 14 und 15).

Tabelle 7: Kohlenstoff (C)-Äquivalente, berechnet anhand der Zählraten (Ber.1) und den Markerpigmentkonzentrationen (Ber.2 und Ber.3; vergl. Punkt 2.8.3) der Driftexperimente in der Pommernbucht 1993. Die Abkürzungen der Phytoplanktongruppen und der Markerpigmente sind der Tabelle A im Anhang zu entnehmen.

Ber.1	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Stationen	Cyanob.	Bacill.	Cloro.	Dino.	Crypto.	Prasino.
748	49	31	53	12	22	3
749	23	17	45	6	26	2
750	51	7	15	2	2	1
752	19	29	36	8	12	4
753	9	12	23	6	1	2
774-4	36	48	74	5	3	2
774-10	44	82	76	4	2	2
775-4	50	31	48	9	4	2
775-10	49	53	65	11	6	2

Ber.2	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Stationen	Zea.	Fuco.	Lut.	Peri.	Allo.	Prasi.
748	338	351	445	184	36	224
749	235	83	645	156	35	147
750	185	106	155	69	9	74
752	201	365	255	178	39	235
753	170	74	170	88	6	39
774-4	259	337	444	200	39	238
774-10	260	464	646	122	33	231
775-4	365	119	342	186	42	221
775-10	193	394	622	136	45	242

Ber.3	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Sationen	Zea.	Fuco.	Lut.	Peri.	Allo.	Prasi.
748	258	91	154	0,9	2,9	32
749	180	22	223	0,7	2,9	21
750	141	28	54	0,3	0,7	10
752	153	95	88	0,8	3,2	33
753	130	19	59	0,4	0,5	5
774-4	198	87	153	0,9	3,2	34
774-10	198	121	223	0,6	2,7	33
775-4	279	31	118	0,9	3,4	31
775-10	147	102	214	0,6	3,7	34

3.1.4 Zooplanktonverteilung

Die Häufigkeit der Meroplankter, der Rotatorien, der Cladoceren und Cyclopoiden während des **ersten Driftexperimentes** schwankten zwischen 20 und 82 % der gesamten Zooplanktonabundanz (Abb. 16, rechte Spalte). *Acartia bifilosa* war die dominante Art der adulten calanoiden Copepoden. Ihr Anteil schwankte zwischen 10 und 48 % während des gesamten Driftverlaufes. Die höchsten Zahlen (48 % bzw. 25 %) wurden an der Station 749 und 752 sowie 753 (Abb. 16, linke Spalte) registriert. Weitere Vertreter der calanoiden Copepoden waren *Acartia tonsa* mit einem prozentualen Anteil von 5 bis 27 % und *Temora longicornis* mit 1 - 4 % am Zooplanktonaufkommen (Abb. 16). *Centropages hamatus* war nur an der Station 752 mit einem Anteil von 3 % vertreten. Die Copepodidstadien von *Acartia* spp. trugen mit 3 - 46 % zum Zooplanktonbestand bei.

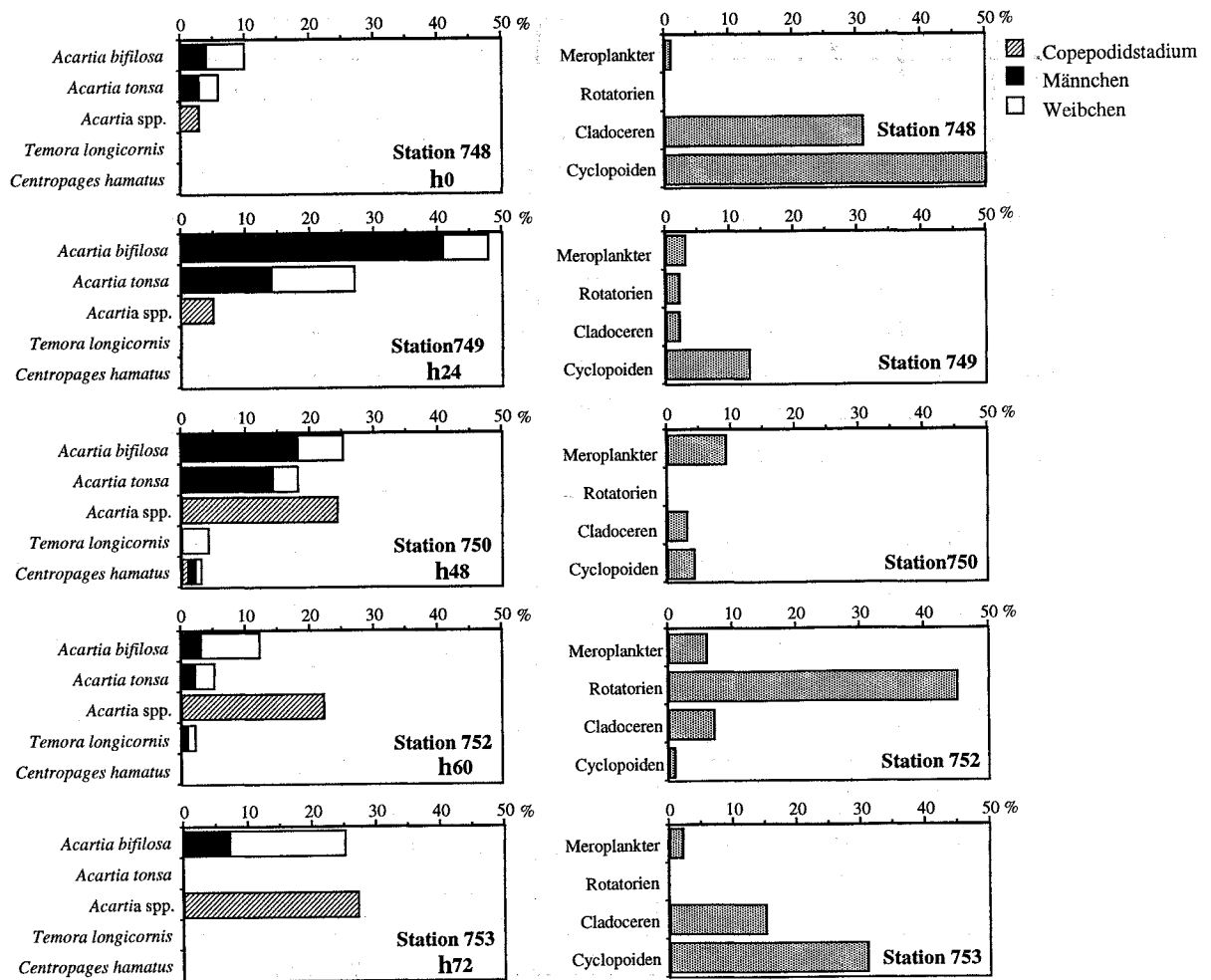


Abbildung 16: Zooplanktonverteilung an den jeweiligen Stationen des ersten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993. Der zeitliche Verlauf der Probenahme umfaßte 72 Stunden (h0 - h72). Die linke Spalte zeigt den prozentualen Anteil der calanoiden Copepoden am gesamten Mesozooplankton. Die rechte Spalte zeigt die prozentualen Häufigkeiten der anderen Gruppen des Zooplanktons.

Während des **zweiten Driftexperimentes** stellten die Larvenstadien benthischer Organismen (Meroplankter) sowie Cladoceren und Cyclopoiden zwischen 36 und 58% der Zooplankter. Mit einem Anteil von 18 % am Gesamtzooplankton war *A. bifilosa* die dominante Art der adulten calanoiden Copepoden. Die Copepodidstadien von *Acartia* spp. waren mit einem Anteil von 45 % am Zooplanktonbestand beteiligt, *Temora longicornis* hingegen nur mit 1 % (Abb. 17).

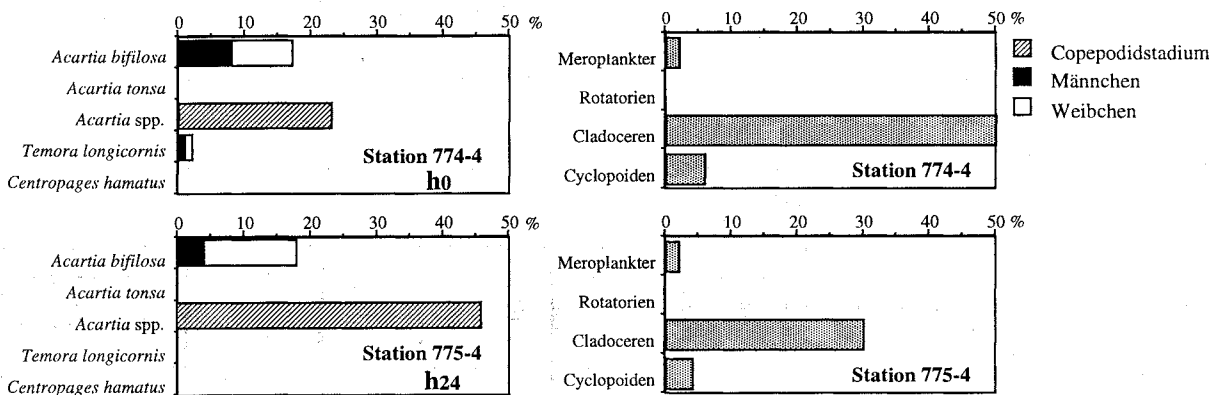


Abbildung 17: Zooplanktonverteilung an den jeweiligen Stationen des zweiten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993. Der zeitliche Verlauf der Probenahme umfaßte 24 Stunden (h0 und h24). Die linke Spalte zeigt den prozentualen Anteil der calanoiden Copepoden am gesamten Mesozooplankton. Die rechte Spalte zeigt die prozentualen Häufigkeiten der anderen Gruppen des Zooplanktons.

3.1.5 Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden

Da *A. bifilosa* die dominante Art der calanoiden Copepoden war (Punkt 3.1.4), wurden während beider Driftexperimente die Markerpigmente im Magen-Darmtrakt dieser Art analysiert. Zusätzlich wurden an den Stationen 749 und 752 des ersten Driftexperimentes aufgrund der hohen Abundanz die Pigmente im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* ebenfalls untersucht.

Generell läßt sich eine gute Übereinstimmung der Pigmente im Magen-Darmtrakt und in der Wassersäule sowohl bei *A. bifilosa* als auch bei *A. tonsa*, feststellen (vergl. Abb. 12 und 13 mit Abb. 18 und 19 bzw. Tab. 8 und 9). Die Pigmentkonzentrationen, die an den Stationen 749 und 752 im Magen-Darmtrakt beider Copepodenarten detektiert wurden, unterscheiden sich nur geringfügig (vergl. Tab. 8 und 9). Die höchsten Pigmentkonzentration in den Tieren wurden für Fucoxanthin, Peridinin, Lutein und Zeaxanthin detektiert (Tab. 8 und Tab. 9). Nachfolgend wird die Konzentration der einzelnen Pigmente im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* während beider Driftexperimente ausführlich beschrieben (siehe Abb. 18 und Abb. 19).

Tabelle 8: Chl.a- sowie Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. biflosa* im Verlauf des ersten und zweiten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993 (n = 4; \pm STABW). Jede Probe umfaßte 500 Individuen (Ind.). Die Abkürzungen der Markerpigmente sind der Tabelle A im Anhang zu entnehmen.

Stationen	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	\pm	Zea.	\pm	Fuco.	\pm	Lut.	\pm	Peri.	\pm	Allo.	\pm	Prasi.	\pm
D1														
748	1,13	0,31	0,40	0,10	1,66	0,29	0,38	0,14	0,06	0,01	0,24	0,06	0,22	0,04
749	1,19	0,53	0,31	0,05	0,25	0,01	0,50	0,18	0,05	0,01	0,23	0,01	0,19	0,04
750	1,03	0,11	0,21	0,05	1,60	0,11	0,11	0,02	0,32	0,01	0,06	0,01	0,05	0,02
752	1,15	0,19	0,27	0,03	0,74	0,08	0,33	0,05	0,76	0,02	0,26	0,01	0,29	0,06
753	0,87	0,10	0,05	0,05	0,20	0,04	0,15	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
D2														
774-4	1,11	0,42	0,35	0,09	1,46	0,04	0,38	0,02	0,66	0,13	0,26	0,01	0,26	0,04
774-10	1,16	0,51	0,33	0,05	2,37	0,12	0,54	0,09	0,52	0,10	0,23	0,01	0,23	0,02
775-4	1,19	0,17	0,58	0,05	1,03	0,18	0,34	0,03	0,07	0,01	0,28	0,01	0,28	0,02
775-10	1,18	0,24	0,24	0,08	1,84	0,18	0,45	0,02	0,42	0,09	0,23	0,01	0,24	0,01

Tabelle 9: Chl.a- sowie Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* an zwei Station während des ersten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993 (n = 4; \pm STABW). Jede Probe umfaßte 500 Individuen (Ind.).

Stationen	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	\pm	Zea.	\pm	Fuco.	\pm	Lut.	\pm	Peri.	\pm	Allo.	\pm	Prasi.	\pm
D1														
749	0,97	0,22	0,37	0,03	0,42	0,02	0,48	0,22	0,09	0,02	0,29	0,02	0,26	0,03
752	1,01	0,10	0,09	0,04	0,71	0,04	0,27	0,01	0,62	0,02	0,31	0,02	0,34	0,04

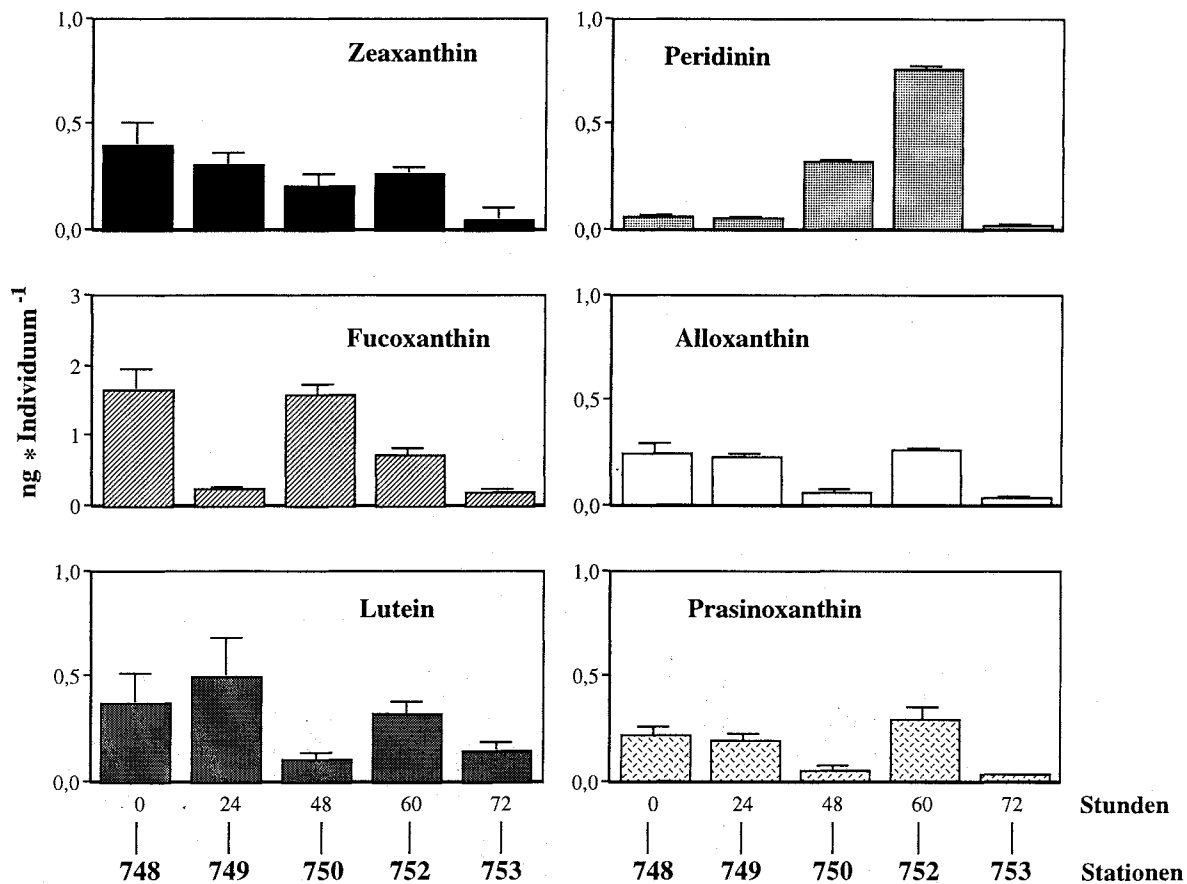


Abbildung 18: Konzentration der Markerpigmente im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* an den jeweiligen Stationen des ersten Driftexperimentes (D1) in der Pommernbucht 1993 (n = 4). Jede Probe umfaßte 500 Individuen.

Die Absolutwerte der Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt während der 1. und 2. Drift können der Tabelle 8 entnommen werden. Während des ersten Driftexperimentes wurden für die Pigmente Zeaxanthin, Fucoxanthin, Lutein, Alloxanthin und Prasincoxanthin mit einigen Ausnahmen eine abnehmende Tendenz der Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* festgestellt (Abb. 18). Für einzelne Pigmente gab es speziell an den Stationen 750 und 752 starke Abweichungen von dieser pauschalen Tendenz (Abb. 18). Das Pigment Peridinin wies im Gegensatz dazu eine zunehmende Konzentration bis zur Station 752 auf. Die niedrigsten Konzentrationen wurden auch bei diesem Pigment an der letzten Station des Driftexperimentes gemessen.

Die Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* während des **zweiten Driftexperimentes** unterlagen nur geringen Schwankungen. An der Driftstation D2 (Station 774-10) gab es bei Fucoxanthin und Lutein eine deutliche Zunahme (Abb. 19). Peridinin und Zeaxanthin variierten an der folgenden Station (775-4) im Vergleich zum Driftverlauf besonders stark. Die Pigmente Alloxanthin und Prasincoxanthin zeigten während des gesamten Driftexperimentes keine signifikanten Veränderungen.

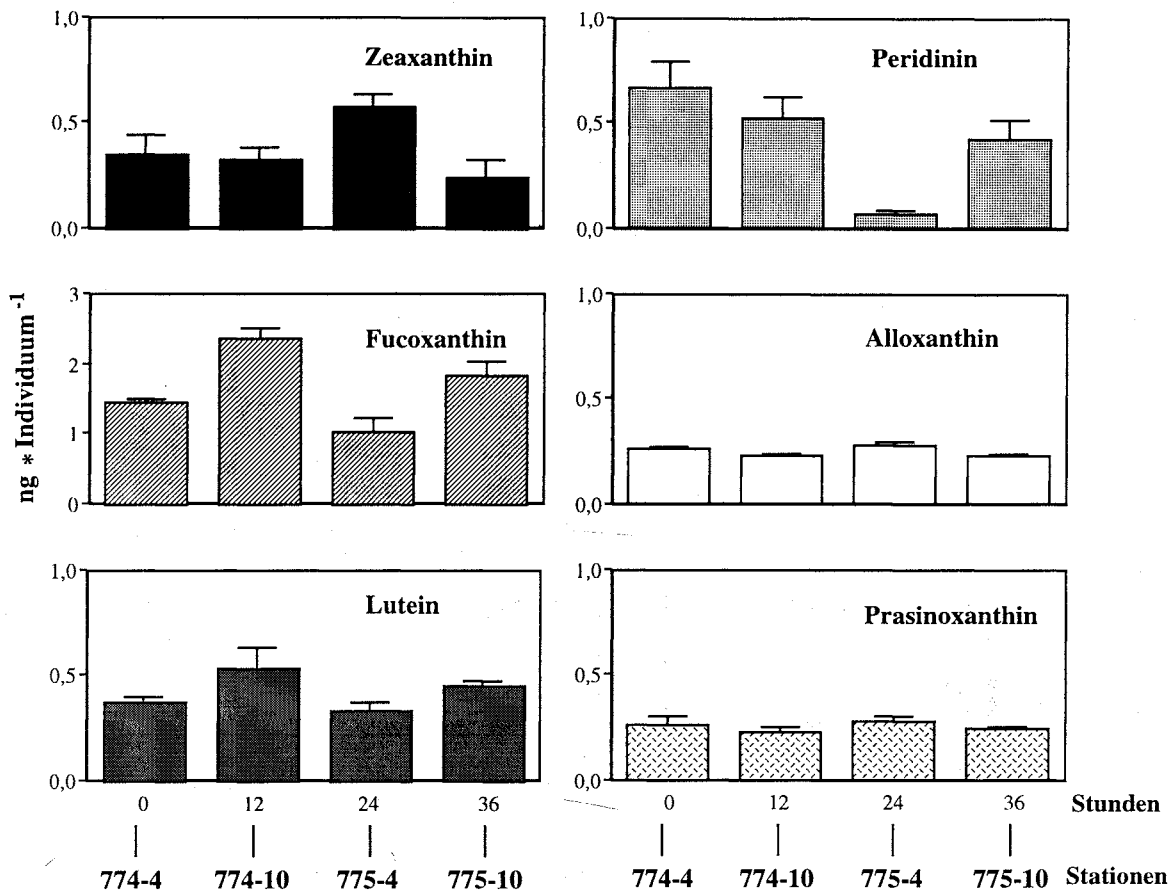


Abbildung 19: Konzentration der Markerpigmente im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* an den jeweiligen Stationen des zweiten Driftexperimentes (D2) in der Pommernbucht 1993 (n = 4). Jede Probe umfaßte 500 Individuen.

3.1.6 Vergleich der prozentualen Verteilung der Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden

Die prozentuale Häufigkeit der Markerpigmente in der Wassersäule spiegelt sich weitgehend im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* und *A. tonsa* wieder (siehe Abb. 20 und 21). Nachfolgend wird die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Pigmente im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* im Vergleich zu deren Häufigkeit in der Wassersäule ausführlich beschrieben.

Während des **Driftexperimentes D1** dominierte das Pigment Fucoxanthin gegenüber den anderen Carotinoiden sowohl in der Wassersäule als auch in *A. bifilosa*. In der Wassersäule beträgt der Anteil dieses Pigmentes 13 - 44 % und im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* 16 - 67 %. Auch die Pigmente Zeaxanthin, Prasinoxanthin und Lutein treten im Driftverlauf sowohl in der Wassersäule als auch im Magen-Darmtrakt in vergleichbaren Häufigkeiten auf. Dagegen ist im Magen-Darmtrakt der prozentuale Anteil von Alloxanthin (3 - 15 %) höher als

in der Wassersäule (1 - 3 %). Peridinin ist während des ganzen Driftverlaufes mit relativ gleichbleibender Häufigkeit (15 - 23 %) in der Wassersäule vorhanden. Der Anteil dieses Pigmentes in den Copepoden ist dagegen starken Variationen unterworfen (siehe Abb. 20).

Bei *A. tonsa* waren an der Station 749 die Pigmente Fucoxanthin und Alloxanthin im höheren Maße in den Tieren (22 % bzw. 15 %) als in der Wassersäule (13 % bzw. 3 %) vorhanden. An der Station 752 traf dies sowohl für Alloxanthin als auch für Peridinin zu (Abb. 21).

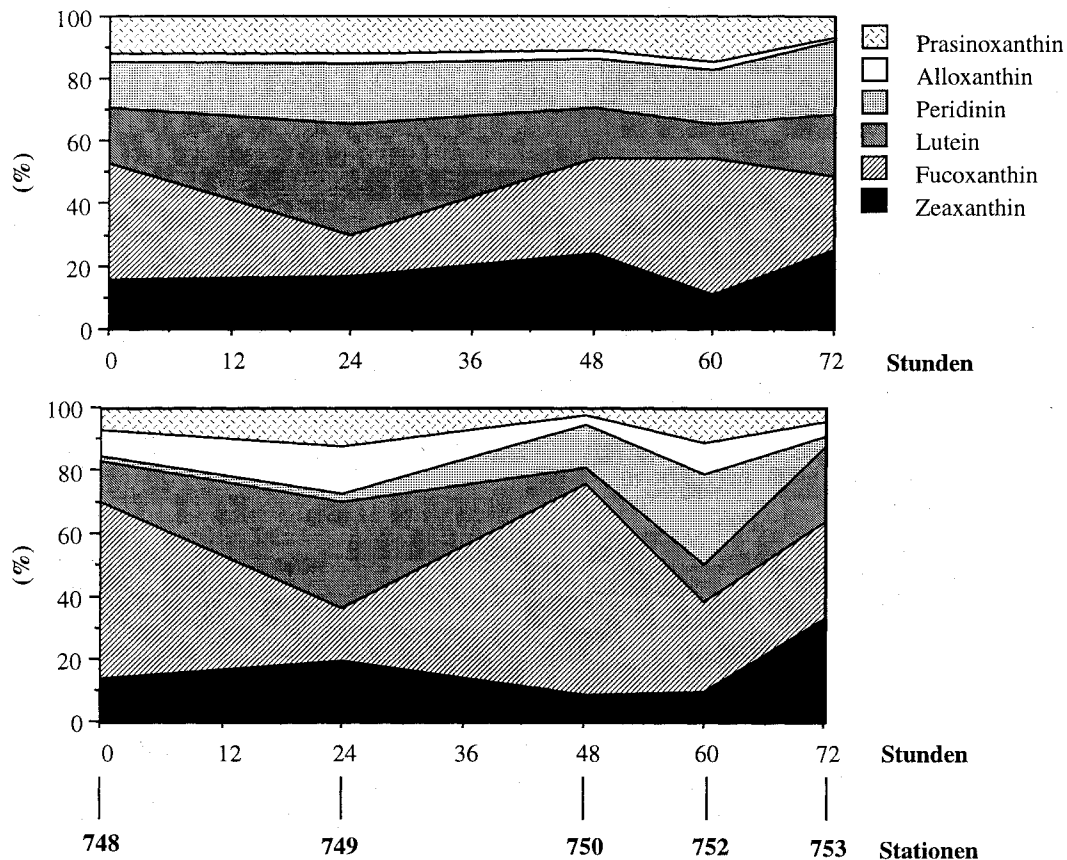


Abbildung 20: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule (oben) und im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* (unten) während des ersten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993.

Im Verlauf der **zweiten Drift** wurde nur an *A. bifilosa* (siehe 3.1.4) Pigmentuntersuchungen durchgeführt. Das Pigment Fucoxanthin ist vergleichbar zur 1. Drift das häufigste Markerpigment im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* (Abb. 22). Sein Anteil lag mit 40 - 56 % in den Tieren allerdings höher als in der Wassersäule (17 - 41 %). Diese Tendenz gilt ebenfalls für Alloxanthin, welches im Magen-Darmtrakt einen Anteil von 5 bis 11% besitzt, in der Wassersäule dagegen nur 0,2 - 0,3 % der Gesamtpigmentmenge ausmacht. Bei Lutein und Prasinoxanthin ist der prozentuale Anteil mit 5 - 11% dieser Pigmente im Magen-Darmtrakt niedriger als in der Wassersäule (1 - 17 %, Abb. 22). Am Anfang der Drift stellte Peridinin einen Anteil von 20 % im Magen-Darmtrakt, dies entspricht recht genau der Häufigkeit dieses

Pigmentes im Wasserkörper (21 %). Zum Ende der Drift fällt der Anteil im Magen-Darmtrakt auf 12 % zurück, während der Prozentsatz in der Wassersäule kaum variierte (Abb. 22).

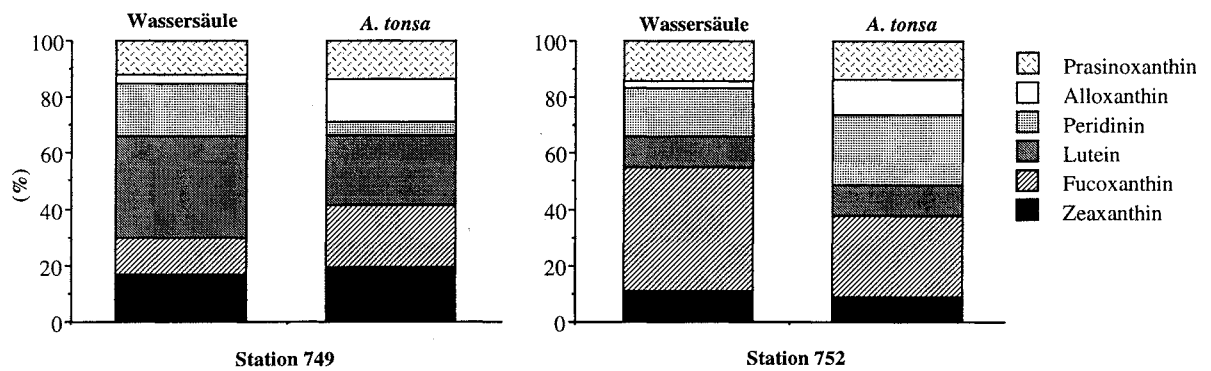


Abbildung 21: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *Acartia tonsa* an den Stationen 749 und 752 des ersten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993.

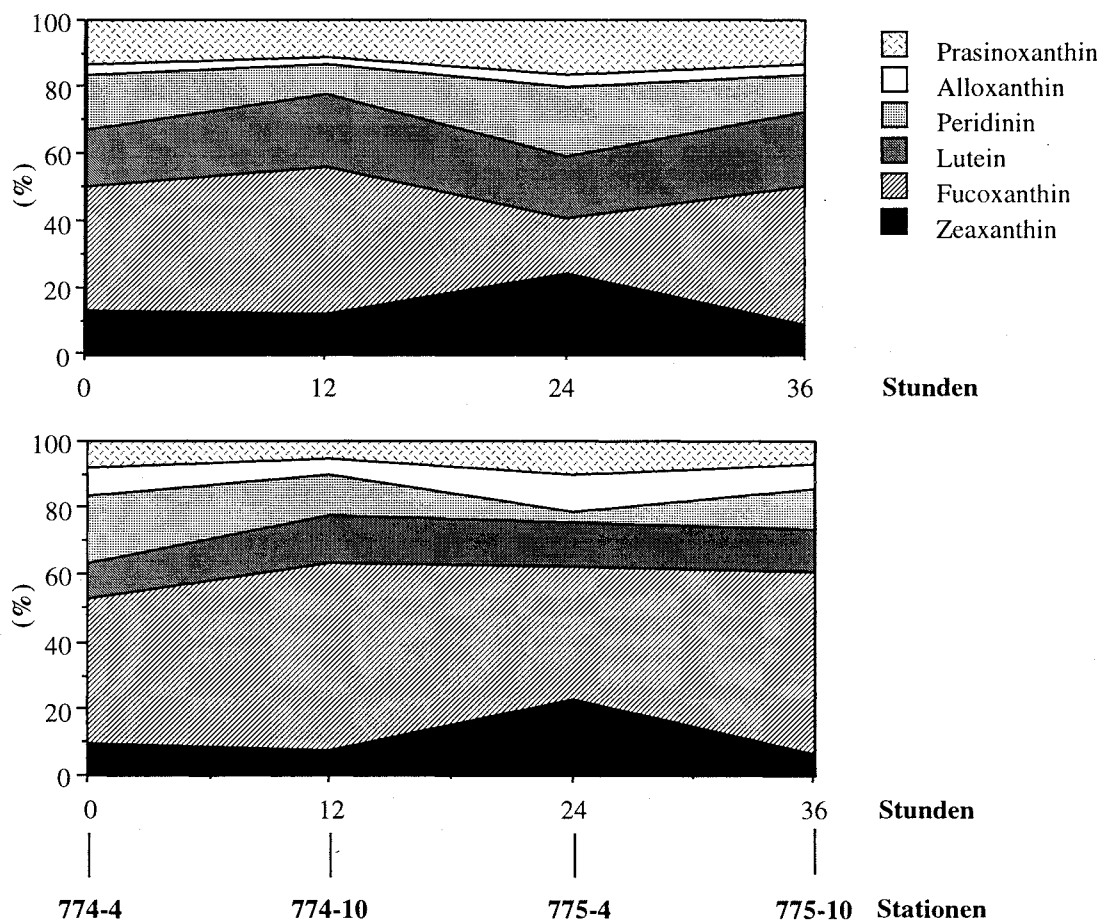


Abbildung 22: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule (oben) und im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* (unten) während des zweiten Driftexperimentes in der Pommernbucht 1993.

3.1.7 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und von *Acartia bifilosa*

Die in *A. bifilosa* gefundenen ^{15}N -Isotopenverhältnisse stehen in enger Beziehung zu den im Wasser am suspendierten Material gemessenen Werten. Die gefundene lineare Beziehung zwischen den beiden gemessenen Parametern ist signifikant ($p < 0,01$). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Daten von *A. bifilosa* sind im Durchschnitt um 3,56 ‰ (D1) bzw. 2,50 ‰ (D2) höher. Die Isotopenwerte sind während des ersten Driftexperimentes an der Station 748 im Mündungsbereich der Swine am höchsten und nehmen mit Ausnahme der Station 752 im Verlauf der Drift ab (Abb. 23). Während des zweiten Driftexperimentes war die Schwankungsbreite der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sehr gering (10,90 - 11,03 ‰).

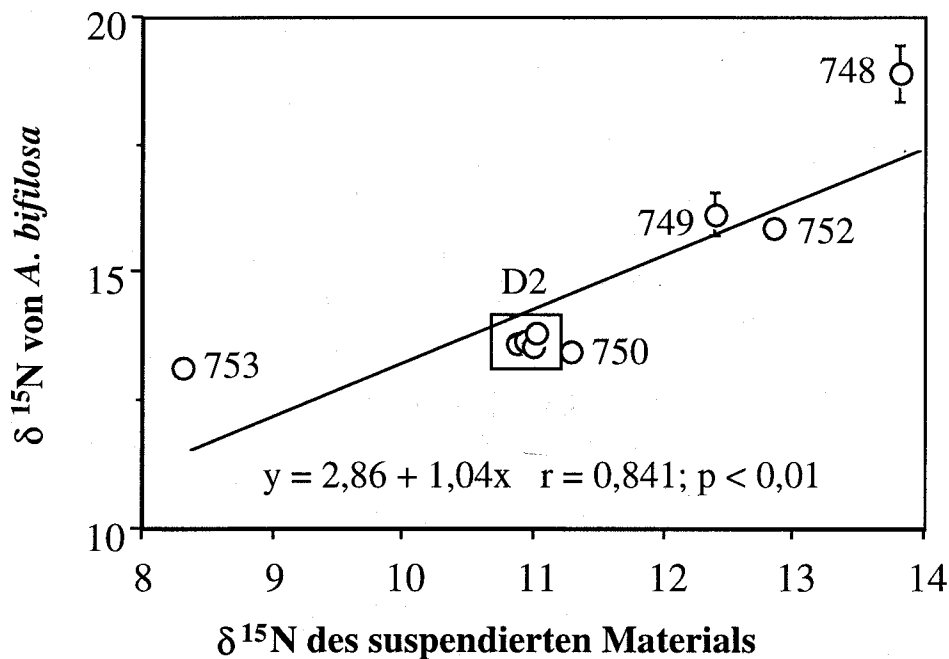


Abbildung 23: Darstellung der Beziehung der über die Wassersäule gewichteten Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des suspendierten Materials mit den Isotopenwerten der an den jeweiligen Stationen gefischten *A. bifilosa* beider Driftexperimente ($n = 3$, \pm STABW). Jede Probe umfaßte 120 Individuen.

3.2 Ergebnisse der Untersuchungen in der Pommernbucht 1994

Die Ergebnisse für das Jahr 1994 werden entsprechend den Untersuchungen in der Pommernbucht 1993 dargestellt. Die Untersuchungen wurden 1994 durch Freßexperimente ergänzt.

3.2.1 Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials

Der Verlauf des Driftexperimentes vom 27.06.1994 bis 02.07.1994 ist in Abb. 24 dargestellt. Die Drift begann im Bereich der Swinemündung, bewegte sich in den ersten 24 Stunden in westlicher Richtung entlang der Küste und setzte sich ostwärts in die Pommernbucht fort (Abb. 24). Während der Drift wurden 6 Stationen im Abstand von 24 Stunden beprobt (194, 195, 197, 198, 199, 200).

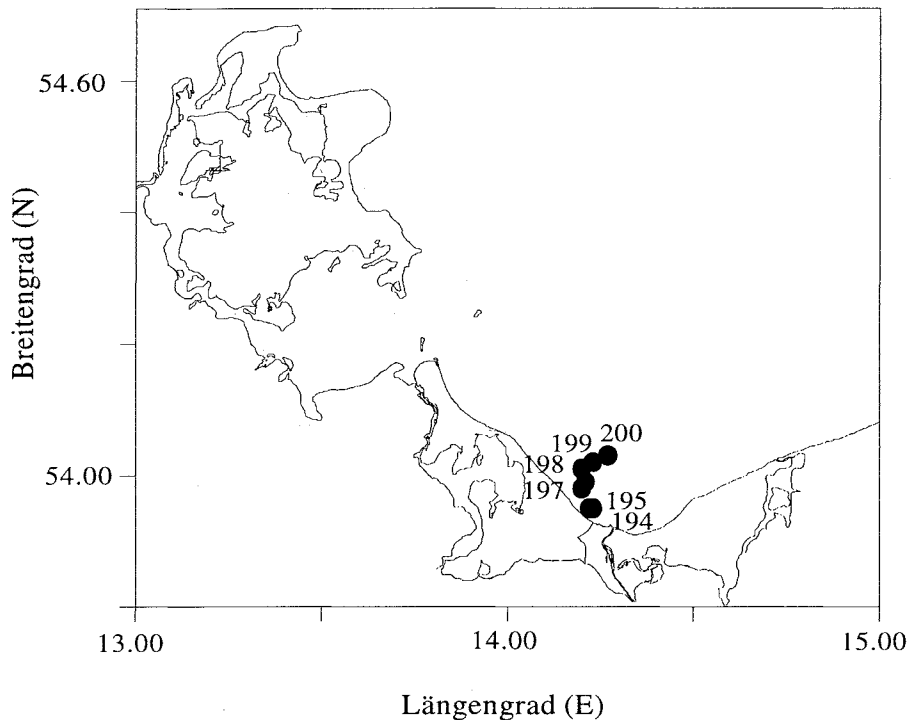


Abbildung 24: Driftverlauf der Untersuchungen in der Pommernbucht 1994. Die Drift begann an der Station 194 und verlief über die Stationen 195, 197, 198, 199 bis zur Station 200.

Der Oberflächensalzgehalt betrug am Anfang des Driftexperimentes 4,2 PSU (Station 194) und stieg bis zum Ende der Drift (Station 200) bis auf 7,5 PSU an (Abb. 25). Nach dem Salzgehalt zu urteilen, fand in dem Driftverlauf eine kontinuierliche Vermischung des Flußwassers aus der Swine mit dem Buchtenwasser statt. Die Oberflächentemperatur variierte während des Driftexperimentes zwischen 18,5 °C und 19,0 °C (Abb. 25).

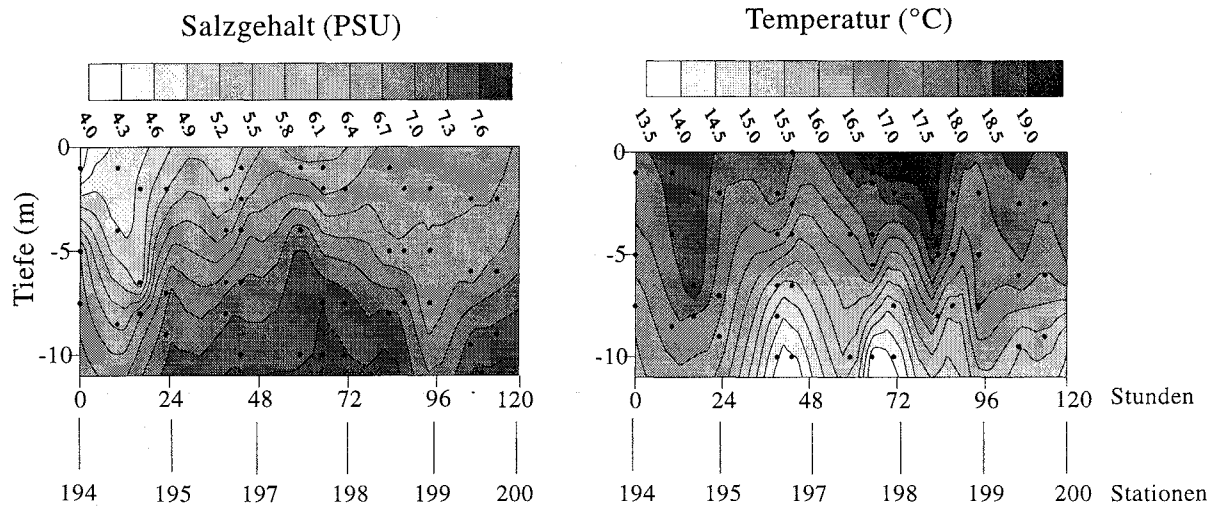


Abbildung 25: Salzgehalt- (links) und der Temperaturänderungen (rechts) während des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Im Verlauf der Drift lag die Nitratkonzentration in der Wassersäule zwischen $0,01$ und $0,10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Ammonium wurde in einer Konzentration von $0,29$ bis $0,64 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, Phosphat mit $0 - 0,02 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ und Silikat mit $3,62 - 7,66 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ gemessen (Tab. 10).

Der POC-Gehalt erreichte Werte zwischen $1,89 \text{ mg C} \cdot \text{L}^{-1}$ am Anfang der Drift und $0,80 \text{ mg C} \cdot \text{L}^{-1}$ am Ende der Drift (Tab. 11). Die PON-Werte lagen im Bereich von $0,12$ bis $0,29 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$ (Tab. 11). Das molare C/N-Verhältnis war im Verlauf des Driftexperimentes größeren Schwankungen unterworfen ($7,2 - 12,2$; Tab. 11).

Tabelle 10: Gewichtete Mittelwerte der Nährstoffkonzentrationen aus vier Tiefenstufen ($1,5$, $3,0$; $5,0$; $7,5 \text{ m}$) der Wassersäule (siehe Punkt 2. 4) des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Nährstoffe	Stationen					
	194	195	197	198	199	200
	Nährstoffkonzentrationen ($\mu\text{mol} \cdot \text{Liter}^{-1}$)					
Ammonium	0,61	0,32	0,64	0,49	0,29	0,57
Nitrat	0,10	0,04	0,02	0,06	0,01	0,04
Phosphat	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
Silikat	7,19	7,29	5,27	4,42	3,62	7,66

Tabelle 11: Gewichtete Mittelwerte des POC- und PON-Gehaltes sowie des molaren C/N-Verhältnisses des suspendierten Materials aus vier Tiefenstufen (1,5; 3,0; 5,0; 7,5 m) der Wassersäule des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Stationen	Suspendiertes Material		
	POC (mg)	PON (mg)	C / N (molar)
194	1,89	0,29	7,6
195	1,37	0,20	8,0
197	1,12	0,15	8,7
198	1,26	0,12	12,2
199	1,55	0,21	8,6
200	0,80	0,13	7,2

3.2.2 Phytoplanktonverteilung

Zu Beginn der Drift wurden die höchsten Zellzahlen von $53 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹ ermittelt (Abb. 26). Am Ende der Drift wurden nur noch $6 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹ ausgezählt und die geringsten Dichten wurden nach 72 Stunden an der Station 198 registriert ($3 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹).

Die Chlorophyceae stellten den höchsten Anteil mit bis zu $32 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹, gefolgt von den Bacillariophyceae mit $19 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹ und den Cyanobakterien mit $14 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹. Der Beitrag der Dinophyceae an der Phytoplanktonpopulation war mit $1 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹ gering. Die Crypto- sowie Prasinophyceae waren mit maximal $0,03$ bzw. $0,02 \cdot 10^6$ Zellen \cdot L⁻¹ an der Phytoplanktongemeinschaft beteiligt.

Die Hauptarten der Grünalgen waren *Actinastrum hatschii*, *Monoraphidium* spp., *Teetrastrum* spp. sowie *Scenedesmus* spp. Die dominierende Art der Bacillariophyceae war *Thalassiosira levanderi*. Die Cyanobakterien wurden in erster Linie durch die fädige Art *Oscillatoria* spp. vertreten sowie durch die koloniebildenden Formen *Merismopedia* spp., *Microcystis* spp. und *Gomphosphaeria* spp. Bei den Dinophyceae konnte nur *Katodinium rotundatum* registriert werden. In der Gruppe der Cryptophyceae ist nur *Rhodomonas minuta* und bei den Prasinophyceae nur *Pyramimonas marina* in den Phytoplanktonproben identifiziert worden.

Die mit der Utermöhlmethode ermittelten hohen Zellzahlen an der Swinemündung wurden durch die mit der HPLC-Methode ermittelten Pigmentmessungen (Chl.a, Tab. 12 und Carotinoide, Abb. 26) bestätigt. Die Pigmentkonzentrationen nahmen im Gegensatz zu den Zählenden innerhalb der ersten 72 Stunden nicht stetig ab (Abb. 26). Das dominante Pigment in der Wassersäule war Fucoxanthin, das Markerpigment der Bacillariophyceae. Es schwankte zwischen $7,9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ am Anfang der Drift und $1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ am Ende der Drift. Im weiteren folgten Peridinin (Dinophyceae) mit einer Zunahme von $1,5 - 5,1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, Lutein (Chlorophyceae) mit $1,7 - 4,6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ und Zeaxanthin (Cyanobakterien) mit $0,4 - 1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (Abb. 26). Die ermittelten Peridininkonzentrationen stehen im Widerspruch zu den ausgezählten Konzentrationen der Dinophyceae (vergl. Abb. 26 A und B). Die Pigmente Alloxanthin und Prasinoxanthin waren während des Driftverlaufes nur in geringen Konzentrationen in der Wassersäule vorhanden ($0,1 \mu\text{g} - 0,4 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), dies stimmt mit den Zellzählungen überein.

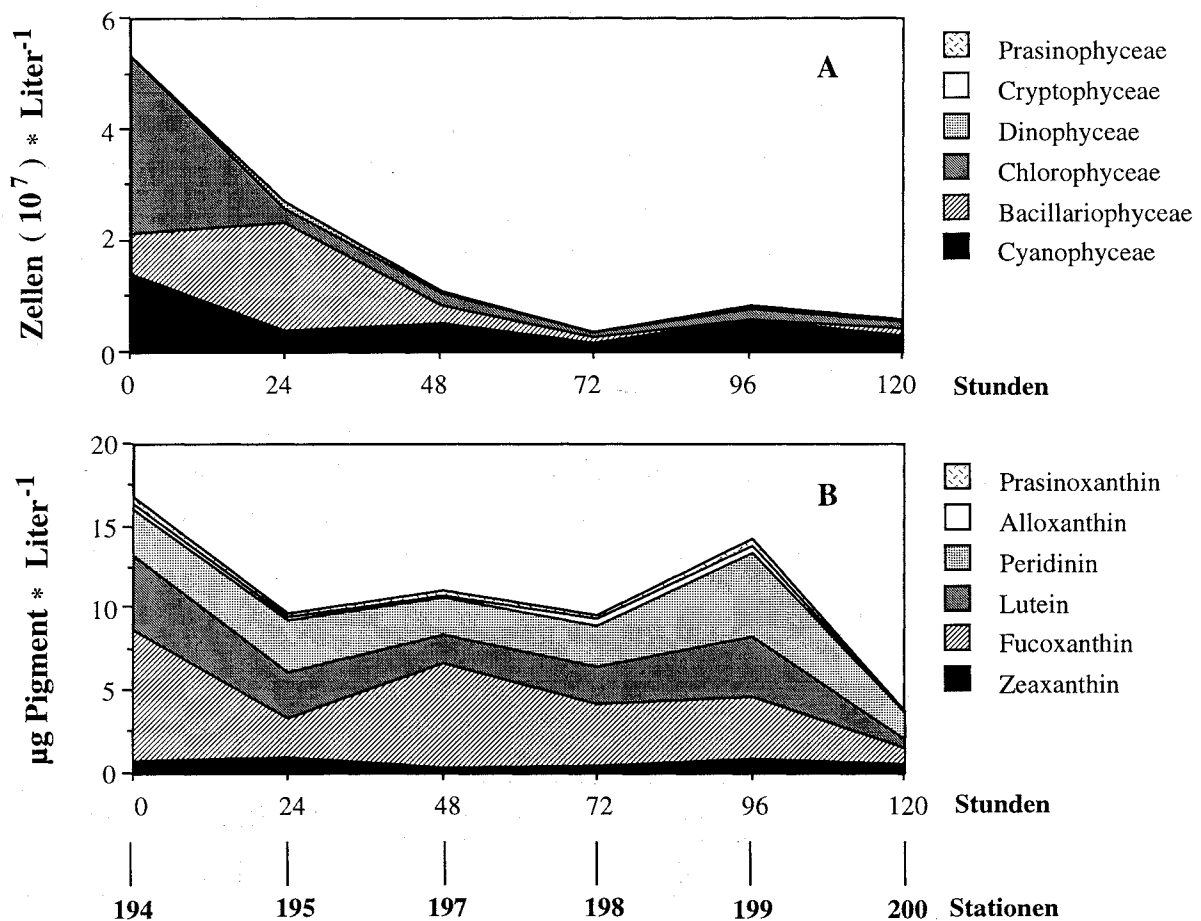


Abbildung 26: Verteilung der einzelnen Phytoplanktongruppen während des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994. Gegenübergestellt sind die über vier Tiefenstufen (1,5; 3,0; 5,0; 7,5 m) der Wassersäule gewichteten Mittelwerte der Zellzählungen (A) und der Markerpigmente (B).

3.2.3 Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen

Die C-Äquivalente, die anhand der in dieser Arbeit angewendeten Berechnungsmethoden ermittelt wurden (Ber.1 - 3; siehe Punkt 2.8.3), zeigen im Verlauf der Drift ein ähnliches Bild (Abb. 27). Allerdings liegen die C-Konzentrationen der Ber.2 bis um das 4fache höher als die C-Werte der Ber.1 und Ber.3 (Tab. 12). Die C-Äquivalente, die mittels Ber.3 errechnet wurden, zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Ber.1 (Tab. 12).

Eine detaillierte Übersicht der berechneten C-Äquivalente der einzelnen Phytoplanktongruppen am Gesamtkohlenstoff, die anhand der Ber.1 - 3 ermittelt wurden, sind der Tabelle 13 zu entnehmen. Die Chlorophyceae, Cyanobakterien und Bacillariophyceae stellen bei allen drei Berechnungsformen den Hauptkohlenstoffanteil des Phytoplanktons (Abb. 27 und Tab. 13). Der Anteil der Prasino-, Crypto- und Dinophyceae ist auf der Basis des C-Gehaltes bei den Ber.1 und 2 gegenüber dem C-Gehalt der Ber.3 deutlich höher (Tab. 13).

Die erheblichen Abweichungen der C-Äquivalente zwischen der Ber.2 und Ber.3 sind auf die unterschiedlichen Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse zurückzuführen, die für die jeweiligen Berechnungsformen verwendet wurden (siehe Tab. 2 und 3 Punkt 2.8.3). Lediglich bei den Cyanobakterien, die über das Pigment Zeaxanthin charakterisiert wurden, gab es eine weitgehende Übereinstimmung der C-Äquivalente bei Ber.2 und 3 (Tab. 13).

Tabelle 12: Gewichtete Mittelwerte der Summe der C-Äquivalente berechnet anhand der Zellzählungen (Ber.1) und den Pigmentmessungen (Ber.2 und Ber.3; vergl. Punkt 2.8.3) sowie Darstellung der gewichteten Mittelwerte der Chl.a-Konzentrationen aus vier Tiefenstufen (1,5; 3,0; 5,0; 7,5 m) der Wassersäule des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Stationen	C - Äquivalente ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$)			Chl. a ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$) mit HPLC bestimmt
	Ber.1	Ber.2	Ber.3	
194	849	2463	722	15,31
195	407	1541	461	7,96
197	346	1398	354	6,74
198	327	1382	358	6,76
199	670	2138	560	10,08
200	120	540	157	4,45

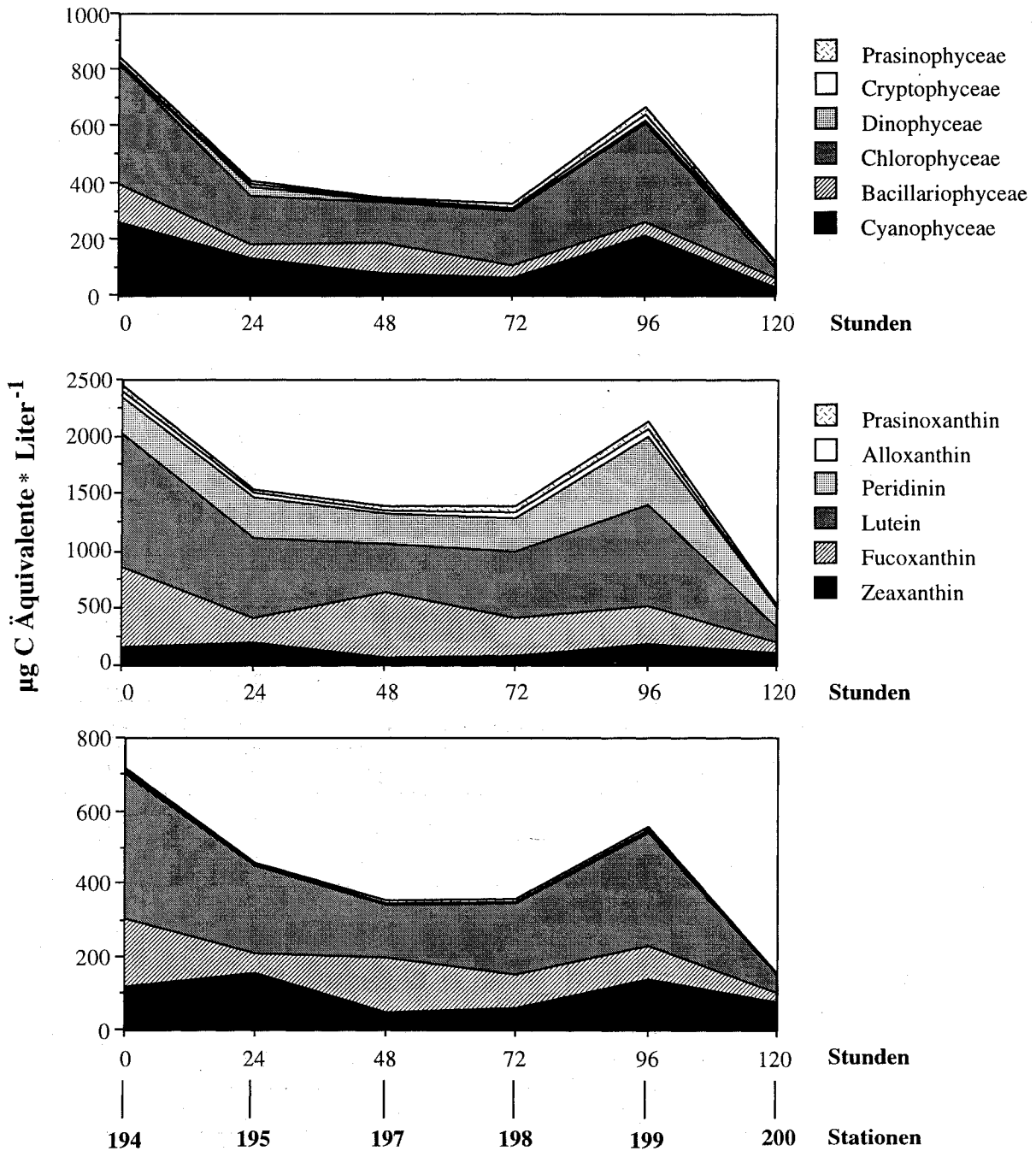


Abbildung 27: Vergleich der aus den Daten des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994 kalkulierten C-Äquivalente, die anhand der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsmethoden ermittelt wurden (Ber.1, Ber.2, Ber.3; siehe Punkt 2.8.3 und Abb. 14).

Tabelle 13: Aufgeführt sind die C-Äquivalente, die sich aus der Umrechnung der Zählraten (Ber.1) und den Markerpigmentkonzentrationen (Ber.2 und Ber.3; vergl. Punkt 2.8.3). aus dem Driftexperiment in der Pommernbucht 1994 ergeben. Die Abkürzungen der Phytoplanktongruppen und die der spezifischen Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Ber.1	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Stationen	Cyanob.	Bacill.	Cloro.	Dino.	Crypto.	Prasino.
194	261	136	425	5	5	17
195	133	43	176	33	13	9
197	79	111	138	10	3	5
198	63	40	197	3	8	16
199	217	47	346	13	20	27
200	34	30	38	15	0	3

Ber.2	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Stationen	Zea.	Fuco.	Lut.	Peri.	Allo.	Prasi.
194	158	711	1157	312	53	72
195	202	213	703	366	32	25
197	64	575	420	258	27	54
198	80	343	570	291	54	44
199	188	342	890	587	56	75
200	106	95	133	174	9	23

Ber.3	C-Äquivalente ($\mu\text{g C} * \text{Liter}^{-1}$)					
Stationen	Zea.	Fuco.	Lut.	Peri.	Allo.	Prasi.
194	121	185	400	2	4	10
195	154	55	243	2	3	4
197	49	149	145	1	2	8
198	61	89	197	1	4	6
199	144	89	308	3	5	11
200	81	25	46	1	1	3

3.2.4 Zooplanktonverteilung

Die Meroplankter, die Rotatorien, die Cladoceren und Cyclopoiden bildeten an der ersten Driftstation (194) 78 % des Zooplanktonbestandes. Im weiteren Driftverlauf lag ihr Anteil zwischen 25 und 46 %. Während des gesamten Driftexperimentes war *A. bifilosa* die dominierende Art der calanoiden Copepoden (Abb. 28). Sie stellte 15 - 47 % des Gesamtzooplanktons. Im Gegensatz dazu betrug der Anteil am Gesamtzooplankton von *A. tonsa* 3 - 26 %, von *A. longiremis* 0 - 7 %, von *Temora longicornis* 0 - 1 %, von *Eurytemora affinis* 0 - 5 % und von *Centropages hamatus* 0 - 2 %. Die Copepodidstadien von *Acartia* spp. waren mit 1 - 19 % an der Zooplanktonabundanz beteiligt (Abb. 28).

3.2.5 Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden

Für den gesamten Driftverlauf wurde die Pigmentverteilung im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* analysiert, da diese Art während des gesamten Driftexperimentes in ausreichender Individuendichte vorkam. Ergänzend dazu wurden an den Stationen 197 und 200 die Markerpigmente im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* analysiert.

Im folgenden wird die Pigmentverteilung im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* während des Driftverlaufes ausführlich beschrieben. Die höchsten Pigmentkonzentrationen wurden in den Tieren an der Swinemündung und der Station 199 gemessen. Die Pigmente Fucoxanthin, Lutein und Peridinin liegen in bis zu 10fach höheren Konzentrationen im Magen-Darmtrakt vor als die Pigmente Zeaxanthin, Alloxanthin und Prasinoxanthin. Die Pigmentkonzentrationen von Zeaxanthin, Lutein und Alloxanthin wiesen in den Copepoden im Verlauf der Drift eine hohe Schwankungsbreite auf (Tab. 14 und Abb. 29). Der Pigmentgehalt von Peridinin und Prasinoxanthin unterlag in den Tieren nur geringen Variationen während des Driftexperimentes (Tab. 14 und Abb. 29). Die Konzentrationen von Fucoxanthin nahmen dagegen von Station 197 bis 200 stetig ab. Die niedrigsten Konzentrationen wurden bei allen Markerpigmenten an der letzten Driftstation (200) gemessen.

Die Pigmentverteilung im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* an den Stationen 197 und 200 ist vergleichbar mit den an diesen Stationen gemessenen Pigmentverhältnissen von *A. bifilosa*. Beide Arten unterschieden sich anhand ihrer Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt kaum (Tab. 14 und Tab. 15). Bei *A. tonsa* wurden für die Pigmente Fucoxanthin, Lutein und Peridinin die höchsten Konzentrationen detektiert (Tab. 15).

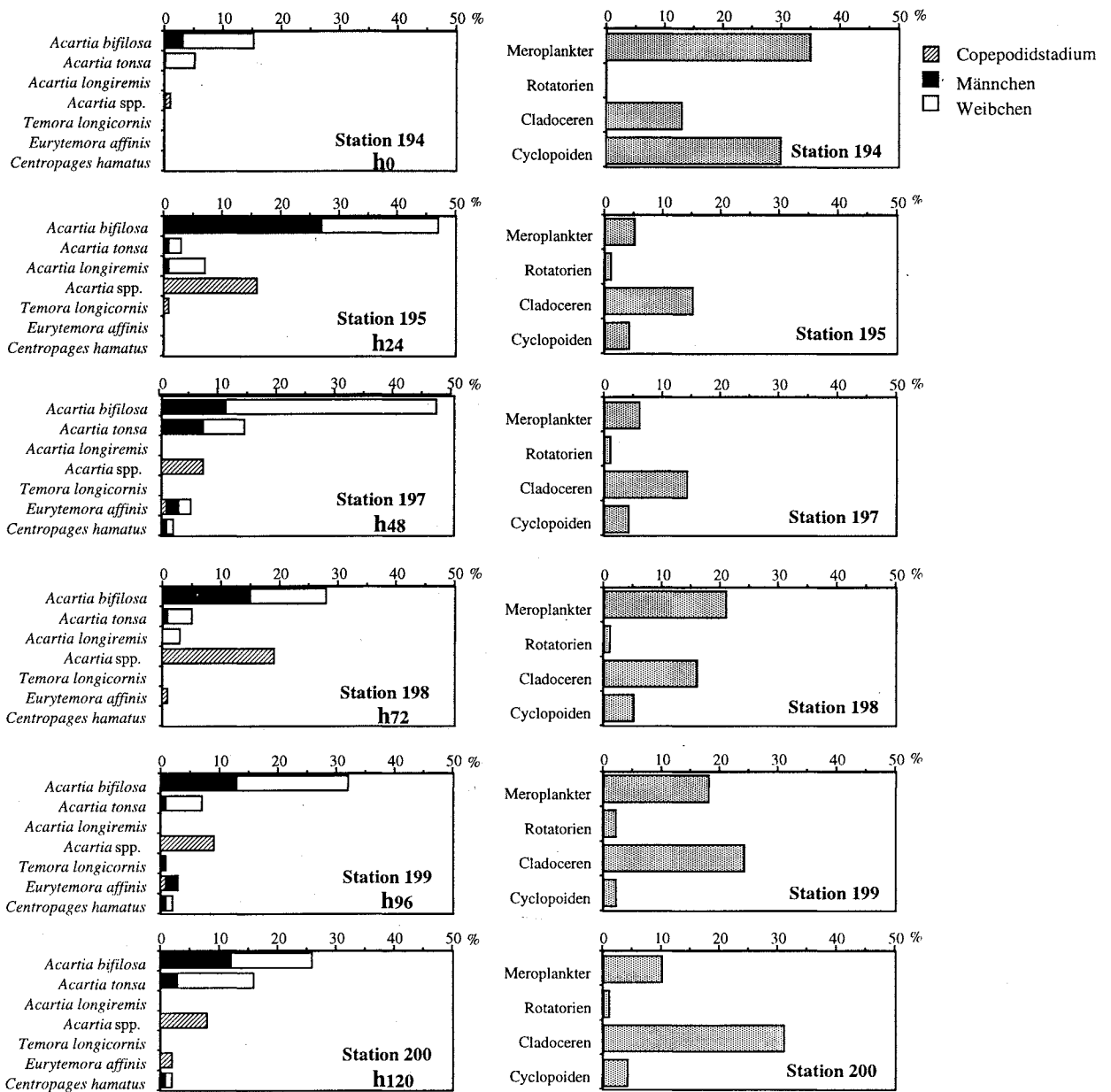


Abbildung 28: Zooplanktonverteilung an den Stationen des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994. Die linke Spalte repräsentiert den Anteil der calanoiden Copepoden am gesamten Meso-zooplankton. Die rechte Spalte zeigt die prozentualen Häufigkeiten der anderen Gruppen des Zooplanktons. Der zeitliche Verlauf der Probennahme umfaßte 120 Stunden (h0 - h120).

Tabelle 14: Chl.a- sowie Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* im Verlauf des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994 (n = 4; ± STABW). Jede Probe umfaßte 500 Individuen (Ind.). Die Abkürzungen der Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Stationen	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Lut.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±
194	1,17	0,11	0,26	0,06	1,98	0,18	1,63	0,14	1,64	0,11	0,29	0,06	0,08	0,02
195	1,13	0,23	0,26	0,06	0,69	0,078	0,59	0,06	1,17	0,02	0,13	0,01	0,04	0,01
197	0,99	0,27	0,08	0,01	1,71	0,13	0,15	0,01	1,32	0,09	0,14	0,01	0,07	0,01
198	0,72	0,04	0,12	0,03	1,39	0,21	0,63	0,08	1,38	0,12	0,24	0,06	0,06	0,01
199	1,04	0,13	0,24	0,05	1,20	0,10	1,78	0,13	1,93	0,12	0,28	0,02	0,09	0,02
200	0,63	0,05	0,16	0,02	0,51	0,03	0,16	0,04	1,11	0,03	0,13	0,02	0,04	0,01

Tabelle 15: Chl.a- sowie Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* im Verlauf des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994 (n = 3). Jede Probe umfaßte 500 Individuen (Ind.). Die Abkürzungen der Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Stationen	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Lut.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±
197	1,13	0,21	0,19	0,09	2,04	0,20	0,13	0,09	1,71	0,54	0,36	0,12	0,11	0,01
200	0,97	0,19	0,19	0,08	0,54	0,10	0,20	0,06	1,17	0,18	0,15	0,07	0,06	0,03

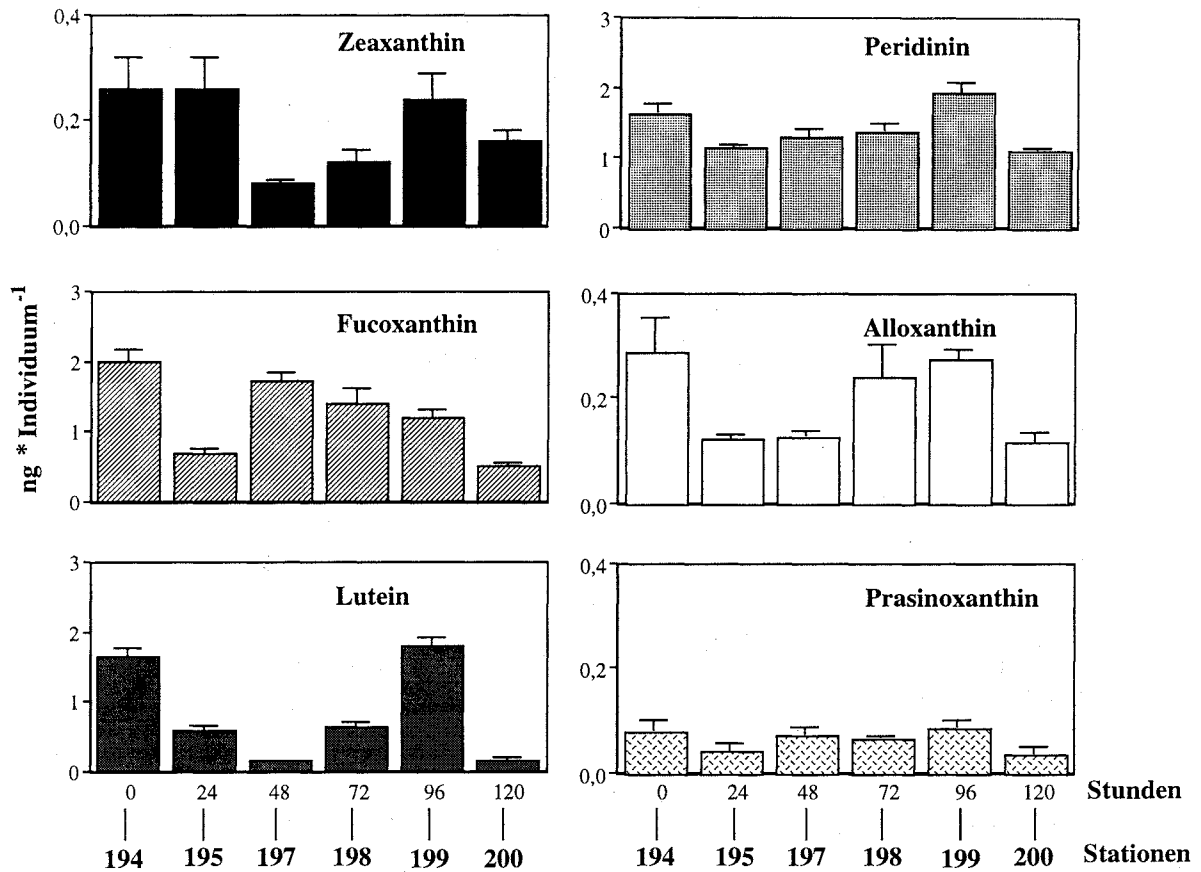


Abbildung 29: Konzentration der Markerpigmente im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* an den jeweiligen Stationen des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994 (n = 4). Jede Probe umfaßte 500 Individuen.

3.2.6 Vergleich der prozentualen Verteilung der Markerpigmente der jeweiligen Algengruppen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden

Die prozentuale Verteilung der Markerpigmente in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* sowie *A. tonsa* wies deutliche Unterschiede auf (Abb. 30 und Abb. 31). Der prozentuale Anteil von Peridinin und Alloxanthin war in den Tieren wesentlich höher als in der Wassersäule. In *A. bifilosa* variierte der relative Anteil von Peridinin zwischen 28 und 53 % und bei *A. tonsa* lag er bei 38 % bzw. 50 %, obwohl es in der Wassersäule nur mit 1 - 12% vertreten war. Alloxanthin hatte in den Copepoden einen Anteil von 4 - 6 % (*A. tonsa*: Station 197 = 8 %, Station 200 = 7 %), in der Wassersäule hingegen stellte dieses Pigment nur 0,2 - 3 % der gesamten Pigmentkonzentration. Fucoxanthin hatte in den Copepoden nur einen geringfügig höheren Anteil (*A. bifilosa*: 22 - 50 %; *A. tonsa*: Station 197, 45 %; Station 200, 23 %) als in der Wassersäule (7 - 32 %). Lutein war in der Wassersäule das häufigste

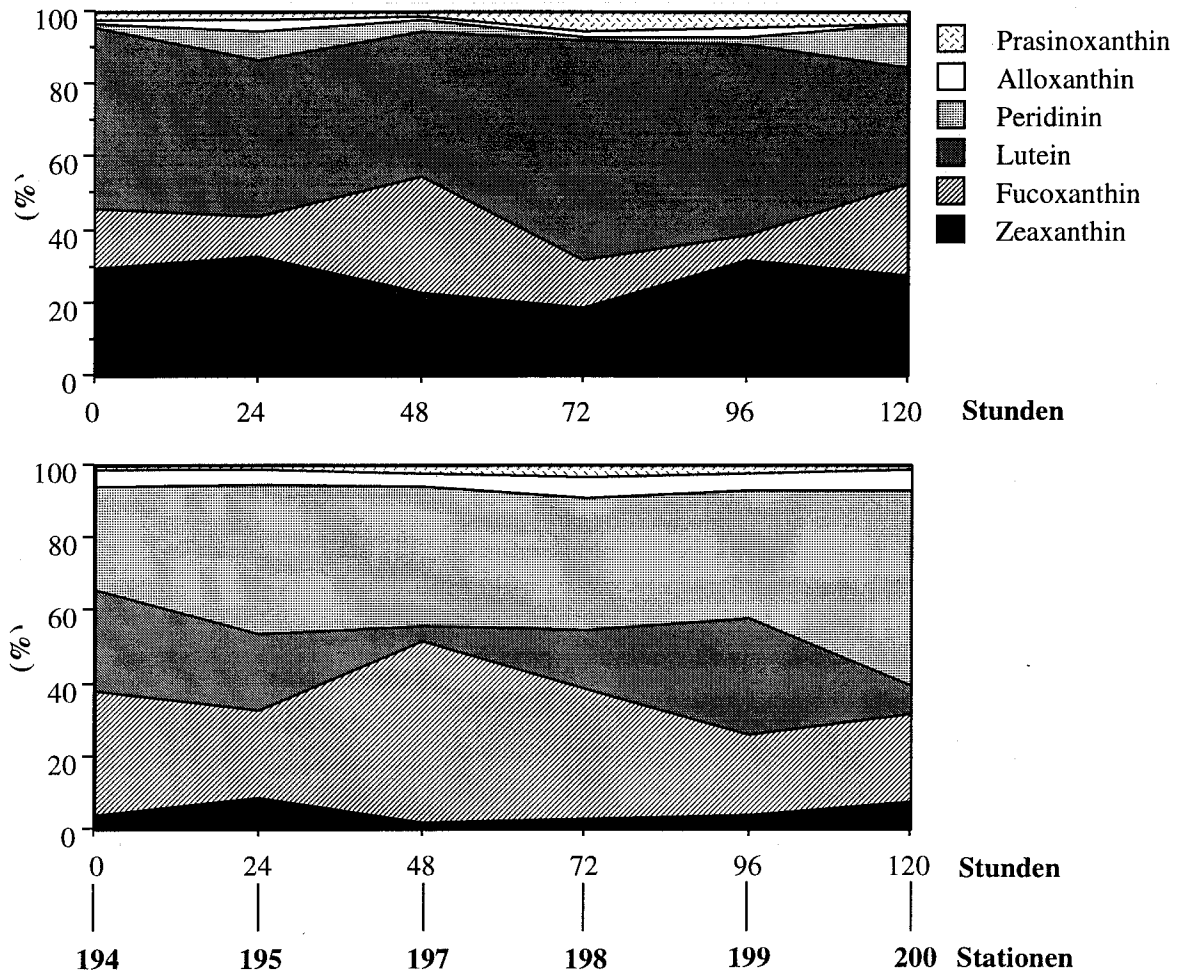


Abbildung 30: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule (oben) und im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* (unten) während des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

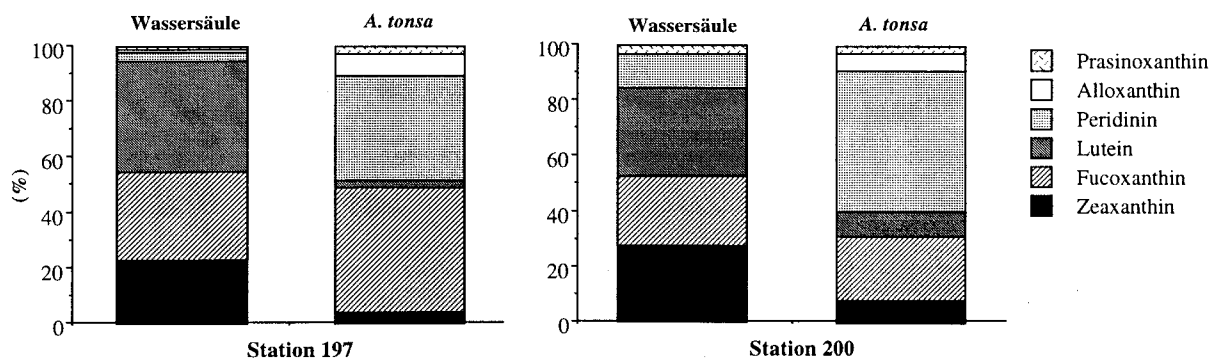


Abbildung 31: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *Acartia tonsa* an den Stationen 197 und 200 des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Pigment (32 - 60 %). In *A. bifilosa* betrug der Anteil von Lutein 4 - 32 % und im Magen-Darmtrakt von *A. tonsa* 3 % (Station 197) bzw. 9 % (Station 200). Die prozentuale Verteilung von Prasinoxanthin in der Wassersäule (1 - 5%) stimmte weitgehend mit denen im Magen-Darmtrakt der Copepoden überein (*A. bifilosa*: 1 - 3 %; *A. tonsa*: Station 197, 2 %; Station 200, 3 %). Zeaxanthin war gegenüber der Wassersäule in den Tieren kaum vertreten (Wassersäule: 19 - 33 %; Copepoden: 2 - 8 %).

3.2.7 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und von *Acartia bifilosa*

Die in *A. bifilosa* gefundenen $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnisse standen in enger Beziehung zu den im Wasser am suspendierten Material gemessenen Werten. Die gefundene lineare Beziehung zwischen den beiden gemessenen Parametern ist signifikant ($p < 0,001$; Abb. 32). Die Isotopenwerte waren im Bereich der Swinemündung (Station 194) am höchsten und nahmen im Verlauf der Drift nahezu stetig ab. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Daten von *A. bifilosa* sind im Durchschnitt um 3,1 ‰ höher als die Werte des suspendierten Materials (Abb. 32).

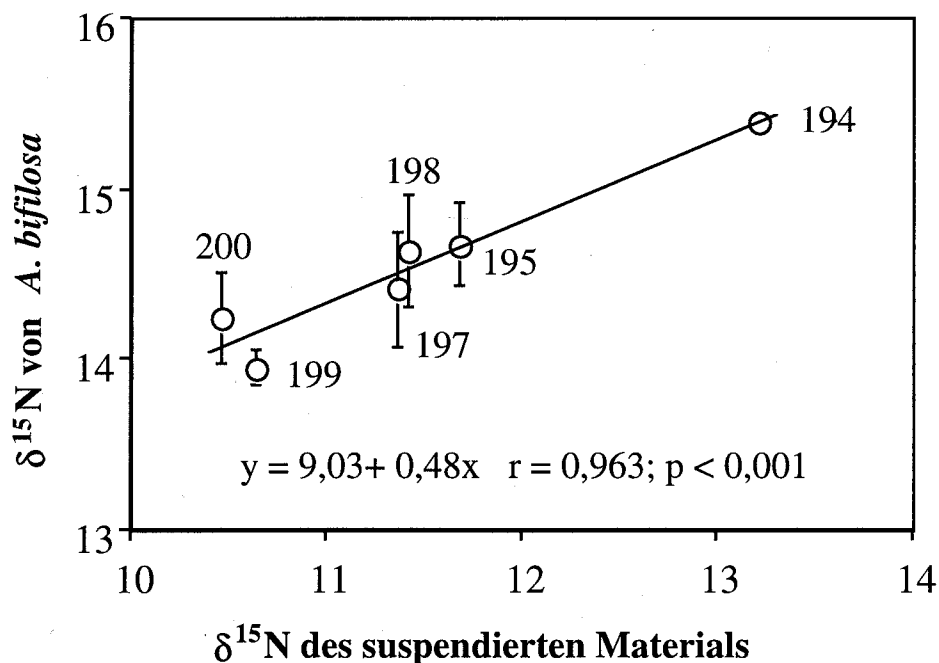


Abbildung 32: Darstellung der Beziehung der über die Wassersäule gewichteten Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des suspendierten Materials mit den Isotopenwerten der an den jeweiligen Stationen gefischten *A. bifilosa* während des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994 ($n = 3$; \pm STABW). Jede Probe umfaßte 120 Individuen.

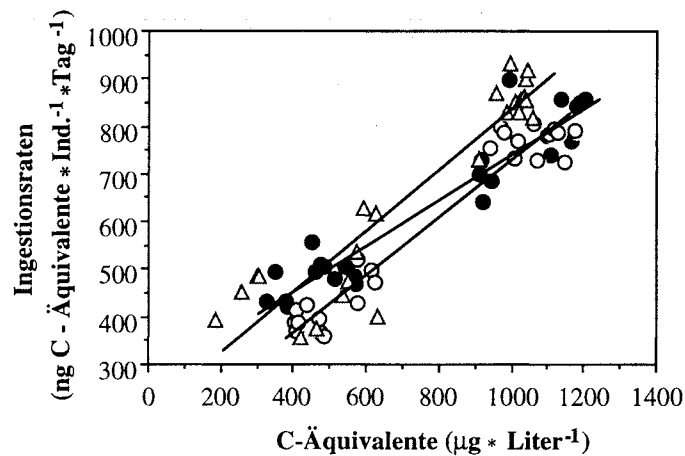
3.2.8 Freßexperimente mit *Acartia bifilosa*

Die in den Freßversuchen ermittelten Phytoplanktonkonzentrationen zum Zeitpunkt t_0 und t_{24} wurden anhand von Zellzählungen (Ber.1) sowie Pigment- ([Carotinoide (Ber.3) und Chl.a-Messungen (Ber.4)]) bestimmt (vergl. 2.8.10)

Die Ingestionsraten aller drei Berechnungsformen (Ber.1, Ber.3 und Ber.4; Abb. 33) steigt mit der Zunahme der mittleren Algenkonzentration (angegeben in C-Äquivalente). Die gefundenen linearen Beziehungen sind signifikant. Da die Steigungen der linearen Regressionen < 1 sind, kann man davon ausgehen, daß sich mit zunehmenden Futterangebot der relative Fraßdruck reduziert.

Die höchsten Ingestionsraten wurde nach Ber.1 ermittelt, gefolgt von Ber.3 und Ber.4 (Tab. 16). Nach der Ber.1 wurden $309 - 873 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ von *A. bifilosa* aufgenommen, dies entspricht $16 - 58 \%$ ihres Körperkohlenstoffes (% C_K). Basierend auf der Ber.3 haben die Copepoden $444 - 844 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ingestiert ($23 - 71 \%$ C_K) und nach Ber.4 zwischen 390 und $790 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ($20 - 52 \%$ C_K). Eine detaillierte Auflistung der taxonspezifischen Ingestionsraten in Relation zum C-Gehalt von *A. bifilosa* ist der Tab. 17 zu entnehmen.

Betrachtet man die Beziehungen zwischen den taxon-spezifischen C-Konzentration im Inkubationsmedium und den Ingestionsraten innerhalb der jeweiligen Algenklassen, so ergibt sich in allen Fällen eine signifikante lineare Korrelation (Abb. 34), das heißt mit steigendem Nahrungsangebot nimmt die Nahrungsaufnahme proportional zu. Die Steigungen der Regressionsgleichungen, die sich aus der Beziehung der mittleren Algenkonzentration (ausgedrückt in C-Äquivalente) und den taxon-spezifischen Ingestionsraten ergeben, stellen ein Maß für den Fraßdruck dar, der durch *A. bifilosa* auf die jeweilige Phytoplanktonklasse ausgeübt wird. Somit wurde sowohl nach Ber.1 als auch nach Ber.3 der höchste Fraßdruck durch die Copepoden auf die Dino- und Cryptophyceae ausgeübt und obwohl die Cyanobakterien in hoher Abundanz im Inkubationsmedium vorhanden waren, wurden diese jedoch nur in geringen Mengen von den Tieren aufgenommen. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Befunden, nach denen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* die Konzentrationen der Markerpigmente Peridinin und Alloxanthin gegenüber der Wassersäule angereichert sind und Zeaxanthin nur in geringen Mengen detektiert wurde (vergl. Abb. 30 mit Abb. 34).



- △ Ber.1 = Zellzählungen $y = 199,85 + 0,63x$ $r = 0,927$; $p < 0,001$
 ● Ber.3 = Markerpigmente $y = 263,96 + 0,48x$ $r = 0,951$; $p < 0,001$
 ○ Ber.4 = Chl.a $y = 132,07 + 0,60x$ $r = 0,971$; $p < 0,001$

Abbildung 33: Beziehung zwischen den mittleren Algenkonzentrationen ausgedrückt in C-Äquivalenten und den ermittelten Ingestionsraten von *Acartia bifilosa* im Verlauf des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Tabelle 16: Individuenspezifische Trockengewichte (TG), Kohlenstoff- (C) und Stickstoff-Werte (N) und deren Standardabweichungen ($n = 5$; pro Probe 120 Tiere), und Ingestionsraten von *Acartia bifilosa* ($n = 4$) ermittelt anhand der in dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsformen (Ber.1, Ber.2, Ber.3; vergl. 2.10) während des Driftexperimentes in der Pommernbucht 1994.

Stationen	<i>Acartia bifilosa</i>						Ingestionsraten (ng C * Ind. ⁻¹ * Tag ⁻¹)					
	TG (µg)	±	C (µg)	±	N (µg)	±	Ber.1	±	Ber.3	±	Ber.4	±
194	3,17	0,09	1,21	0,11	0,29	0,04	856	28	844	48	757	36
195	3,25	0,23	1,81	0,09	0,30	0,04	827	66	688	37	768	31
197	3,20	0,12	1,31	0,08	0,24	0,02	539	95	485	16	480	40
198	3,20	0,22	1,74	0,14	0,31	0,02	415	82	515	28	386	29
199	3,02	0,08	1,51	0,22	0,27	0,04	873	59	804	60	790	15
200	3,76	0,53	1,94	0,13	0,34	0,03	309	42	444	35	390	17

Tabelle 17: Ingestionsraten der Phytoplanktongruppen in % des Körperkohlenstoffes von *Acartia bifilosa* über C-Äquivalente der Zellzählungen (Ber.1, oben) und der Pigmente (Ber.3, unten) ermittelt ($n = 4$; ± STABW).

Phytoplanktongruppen, Markerpigmente	Ingestionsrate in % des Körperkohlenstoffes von <i>Acartia bifilosa</i>											
	194	±	195	±	197	±	198	±	199	±	200	±
Cyanophyceae, Zeaxanthin	5,40	0,60	4,62	0,50	4,26	0,56	3,17	0,62	5,97	0,48	1,24	0,48
	0,12	0,01	0,10	0,01	0,10	0,02	0,05	0,01	0,14	0,02	0,11	0,03
Bacillariophyceae, Fucoxanthin	30,12	1,41	11,21	1,26	14,76	2,27	6,90	0,89	14,80	2,30	5,57	0,26
	22,34	1,15	8,51	1,23	10,63	0,76	8,31	0,78	10,29	0,90	6,81	0,57
Chlorophyceae, Lutein	12,42	0,74	8,15	0,60	7,63	0,99	6,24	0,54	12,22	1,11	3,76	0,88
	20,60	1,83	10,69	1,05	10,04	0,80	7,96	0,53	13,00	0,89	6,58	0,89
Dinophyceae, Peridinin	12,19	1,10	13,74	0,86	6,49	2,23	3,30	1,23	14,75	1,32	2,84	0,50
	20,70	1,67	17,33	1,87	11,45	0,83	9,68	1,38	22,62	4,08	7,76	0,94
Cryptophyceae, Alloxanthin	6,76	0,63	5,57	0,80	4,85	1,88	3,00	1,93	6,59	1,14	1,71	0,33
	5,77	1,02	1,34	0,30	4,64	0,68	3,51	0,44	7,05	0,74	1,61	0,46
Prasinophyceae, Prasinoloxanthin	3,88	1,05	2,40	1,16	3,17	1,07	1,25	0,84	3,46	0,74	0,82	0,70
	0,19	0,02	0,04	0,01	0,14	0,04	0,11	0,03	0,15	0,05	0,03	0,01
Summe	70,77	2,34	45,69	3,67	41,16	7,25	23,86	4,73	57,79	3,91	15,94	2,19
	69,73	3,98	38,00	2,02	37,00	1,21	29,62	1,58	53,26	3,96	22,90	1,79

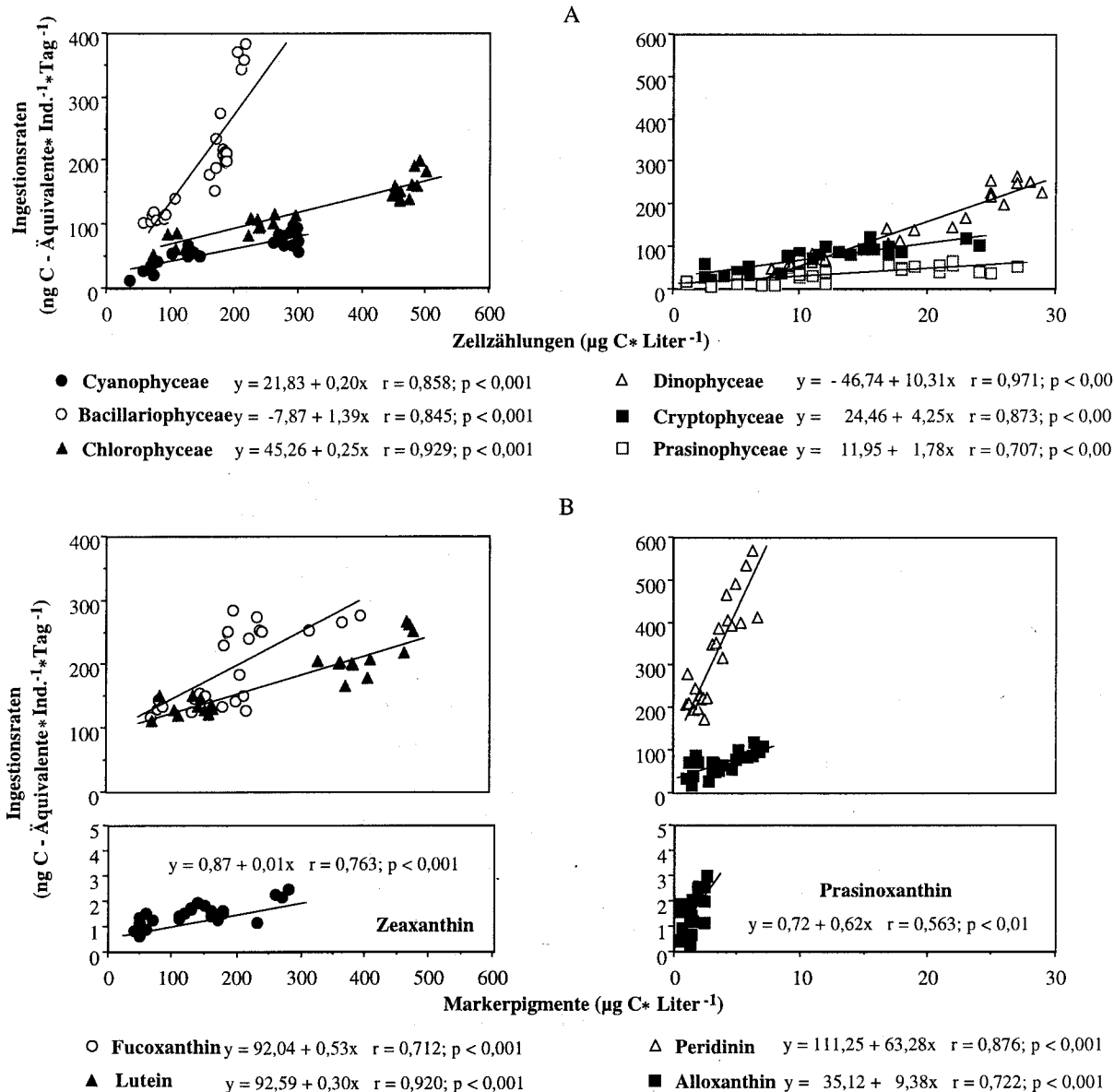


Abbildung 34: Beziehungen zwischen den mittleren Algenkonzentrationen (ausgedrückt in C-Äquivalenten) der einzelnen Phytoplanktongruppen im Inkubationsmedium und den anhand von Zellzählungen (A; mittels Ber.1) und Markerpigmentkonzentrationen (B; mittels Ber.3) ermittelten taxon-spezifischen Ingestionsraten von *Acartia bifilosa* im Verlauf des Driftexperimentes 1994.

3.3 Ergebnisse der Untersuchungen in der Gotlandsee 1993

Bei den Untersuchungen in der Gotlandsee werden die Veränderungen in der Wassersäule während des Driftverlaufes differenziert nach Tiefenstufen betrachtet.

3.3.1 Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC und PON-Gehalte des suspendierten Materials

Der Driftverlauf der in dieser Arbeit in dem Untersuchungszeitraum vom 28.06.1993 bis 02.07.1993 beprobten Stationen (369, 370, 371, 372, 373) ist in Abb. 35 dargestellt. Die Lage des Untersuchungsgebietes ist der Abb. 1 zu entnehmen.

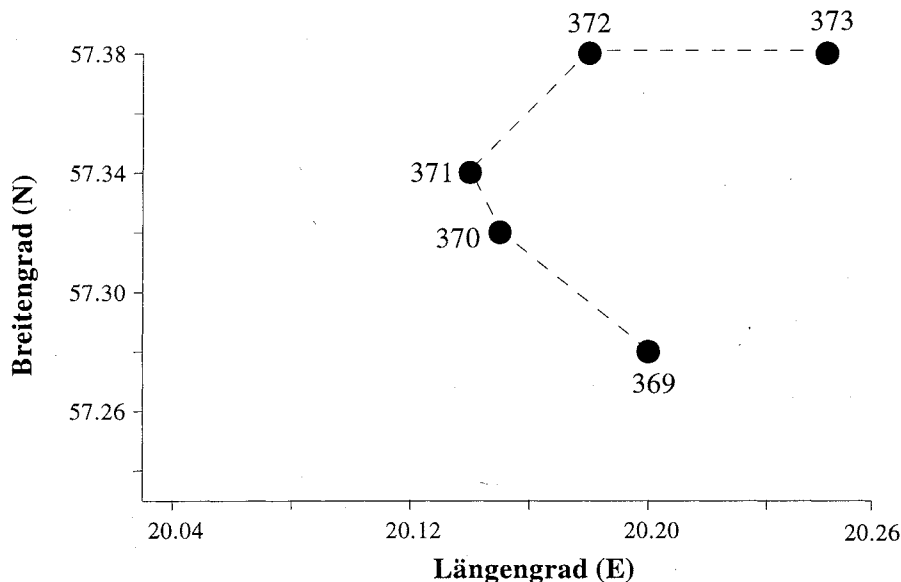


Abbildung 35: Driftverlauf mit den einzelnen Stationen während der Untersuchungen in der Gotlandsee 1993.

Die Darstellungen von Salzgehalt und Temperatur während des Driftverlaufes in Form von Isolinien zeigt eine typische Sommersituation der zentralen Ostsee mit ihrem dreigeschichteten Wasserkörper (Abb. 36). Das warme salzarme Oberflächenwasser (durchmischte Schicht = Sommerwasser) ist durch eine sommerliche Thermokline von dem kälteren, salzarmen Winterwasser getrennt, welches durch die permanente Halokline vom salzreichen Ostseetiefenwasser abgegrenzt ist.

Die Nitrat- und Phosphatkonzentrationen stiegen von 5 bis 100 m stetig von $0,06 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Nitrat und $0,03 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Phosphat in der durchmischten Schicht bis $10,8 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Nitrat bzw. $2,1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Phosphat unterhalb der Halokline an (Tab. 18). Die Ammoniumkonzentrationen

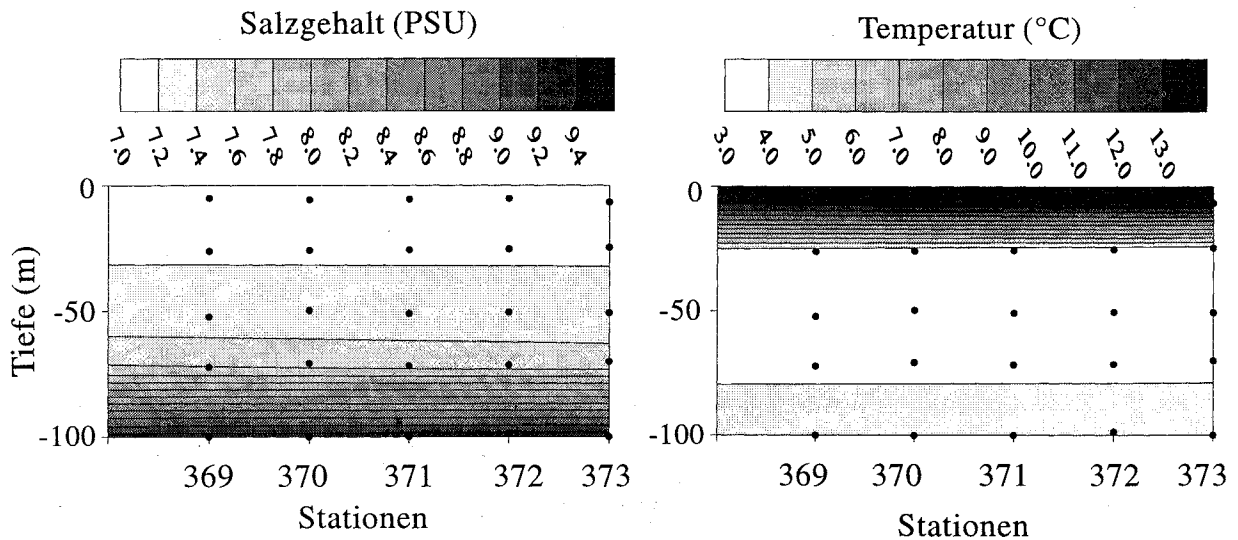


Abbildung 36: Salzgehalt- und Temperaturveränderungen während der Untersuchungen in der Gotlandsee 1993.

Tabelle 18: Mittelwerte der Nährsalzkonzentrationen in verschiedenen Tiefen der Wassersäule während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1993. (n = 5; ± STABW).

Tiefe (m)	Nährsalzkonzentrationen ($\mu\text{mol} \cdot \text{Liter}^{-1}$)					
	Ammonium	±	Nitrat	±	Phosphat	±
5	0,25	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02
25	0,36	0,22	0,08	0,02	0,31	0,05
50	0,75	0,09	0,08	0,01	0,42	0,02
70	1,30	0,07	3,13	0,84	0,78	0,04
100	0,24	0,14	10,83	0,62	2,12	0,10

trationen zeigen ein ähnliches Muster. Sie stiegen von $0,2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ in 5 m Tiefe bis auf $1,3 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ in 70 m Tiefe an. In 100 m Tiefe wurden dagegen nur $0,2 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ detektiert (Tab. 18).

Der Gehalt an partikulären organischen Kohlenstoff (POC) sowie Stickstoff (PON) sank von 5 bis 70 m Tiefe stetig ab (Tab. 19). Die Konzentrationen lagen in der durchmischten Schicht bei $0,37 - 0,57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ für POC und $0,05 - 0,09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ für PON. Unterhalb des Sommerwassers war die Variabilität beider Parameter gering. Die POC- und PON-Konzentrationen lagen im Bereich von $0,10$ bis $0,17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (POC) und $0,01 - 0,02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (PON). Das molare C/N-Verhältnis zeigt für den Tiefenhorizont von 1 bis 25 m einen mittleren Wert von $8,4 \pm 1,2$ und von 20 bis 100 m Tiefe ein Mittel von $15,2 \pm 3,5$.

Tabelle 19: Mittelwerte des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) und Stickstoffs (PON) sowie des molaren C/N-Verhältnisses des suspendierten Materials während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1993 (n = 5; ± STABW).

Tiefe (m)	Suspendiertes Material					
	POC (mg * Liter ⁻¹)	±	PON (mg * Liter ⁻¹)	±	C/N (molar)	±
5	0,57	0,12	0,07	0,02	9,5	0,6
10	0,55	0,14	0,09	0,02	7,1	0,7
15	0,37	0,06	0,05	0,01	8,6	0,8
20	0,15	0,02	0,02	0,00	8,8	0,1
25	0,17	0,03	0,02	0,00	9,9	1,1
30	0,11	0,02	0,01	0,00	12,8	0,1
50	0,10	0,01	0,01	0,00	11,7	0,6
70	0,10	0,01	0,01	0,00	11,7	1,1
90	0,13	0,01	0,01	0,00	15,2	1,5
100	0,16	0,05	0,01	0,00	18,7	5,3

3.3.2 Phytoplanktonverteilung

Die höchsten mittleren Zellzahlen wurden während des Driftverlaufes in der Gruppe der Cyanobakterien registriert ($6 \cdot 10^6$ Zellen * L⁻¹; Abb. 37). Es folgten mit erheblichen Abstand die Gruppe der Prasinophyceae und Prymnesiophyceae mit ($0,2 \cdot 10^6$ Zellen * L⁻¹). Die Cryptophyceae waren mit ($0,1 \cdot 10^6$ Zellen * L⁻¹) am Phytoplanktonbestand beteiligt (Abb. 37). In der Gruppe der Dino- und Bacillariophyceae wurden nur $0,05$ bzw. $0,03 \cdot 10^6$ Zellen * L⁻¹ gezählt. Während des Driftverlaufes waren die höchsten Schwankungen der Zellzahlen innerhalb der Prasi- und Prymnesiophyceae zu verzeichnen (Abb. 37).

Die dominanten Arten bei den Cyanobakterien waren in den obersten 10 m die kettenbildenden Formen wie *Anabaena* spp. und *Aphanizomenon flos-aqua* und unterhalb von 10 m die koloniebildende Formen *Microcystis* spp. *Gomphosphaeria* spp. und *Aphanothaece* spp. Bei den Bacillariophyceae dominierten *Thalassiosira baltica* und *Skeletonema costatum*. *Prorocentrum minimum*, *Katodinium rotundatum*, *Gymnodinium simplex* und *Dinophysis norvegica* stellten die Arten der Dinophyceae. In der Klasse der Cryptophyceae war *Rhodomonas lacustris* sowie *R. baltica* vorhanden, und in der Gruppe der Prymnesiophyceae wurde nur die Art *Prymnesium* spp. sowie in der Klasse der Prasinophyceae nur *Pyramimonas orientalis* registriert.

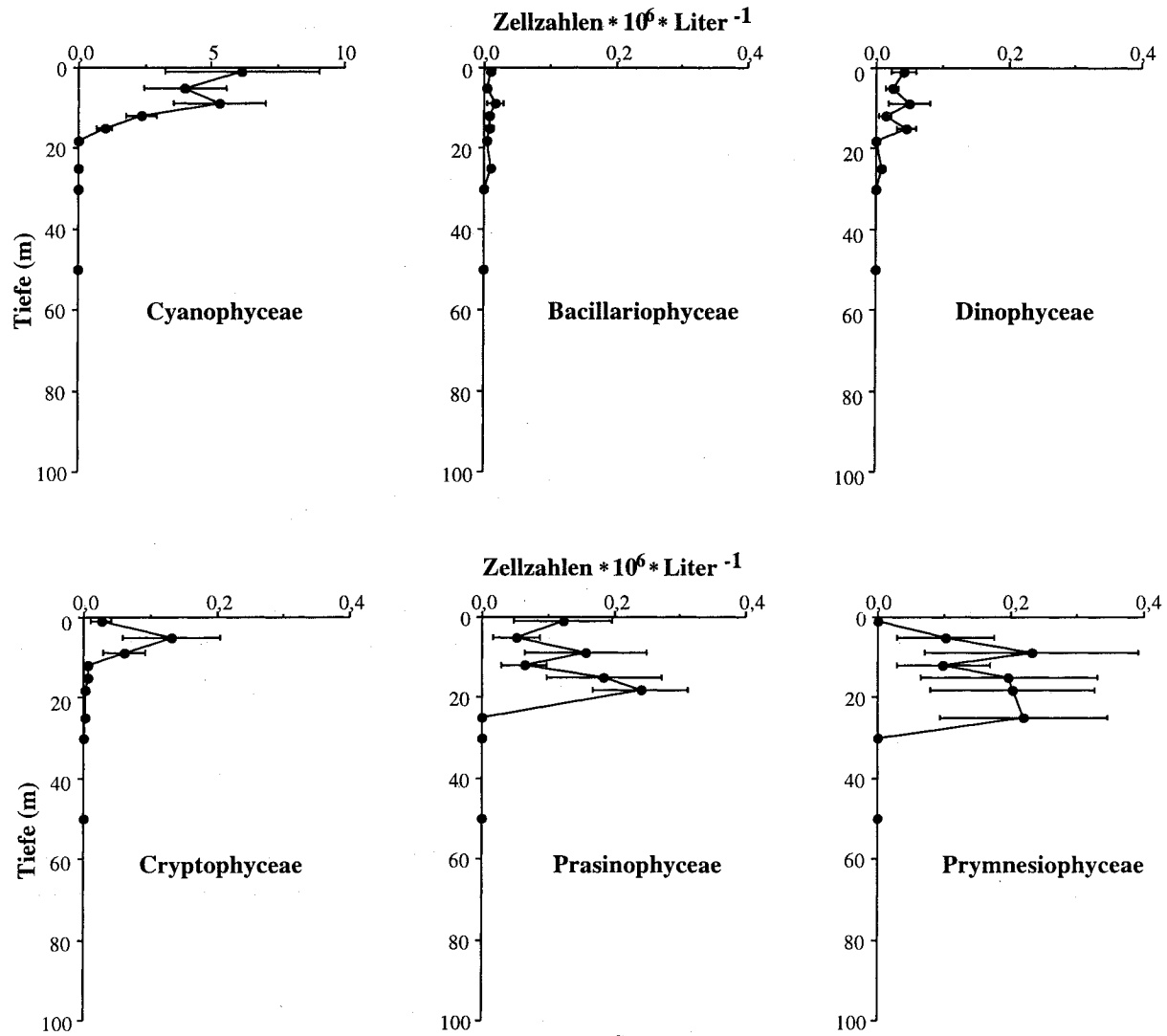


Abbildung 37: Vertikalverteilung der Phytoplanktonklassen während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1993. Dargestellt sind mittlere Werte für alle Stationen basierend auf den Zellzählungen ($n = 5$; \pm STABW).

Ergänzend zu den Zellzählungen wurde mittels der HPLC-Technik die vertikale Verteilung der Chl.a-Konzentrationen, als Marker für die gesamte Phytoplanktonbiomasse sowie die spezifischen Markerpigmente der einzelnen Phytoplanktongruppen bestimmt. Der Chl.a-Gehalt war in den ersten fünf Metern der Wassersäule am höchsten. Dies steht in Übereinstimmung zu den Zellzählungen (vergl. Abb. 37 und Abb. 38). Innerhalb der durchmischten Schicht lag die Phytoplanktonbiomasse zwischen $1,8 \mu\text{g Chl.a} * \text{L}^{-1}$ (1 m Tiefe) und $0,9 \mu\text{g Chl.a} * \text{L}^{-1}$ (12 m Tiefe). Unterhalb von 12 m Tiefe sank die Chl.a-Konzentration bis auf $0,002 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$ in 50 m Tiefe ab. Die Phaeophytin-a-Konzentration als

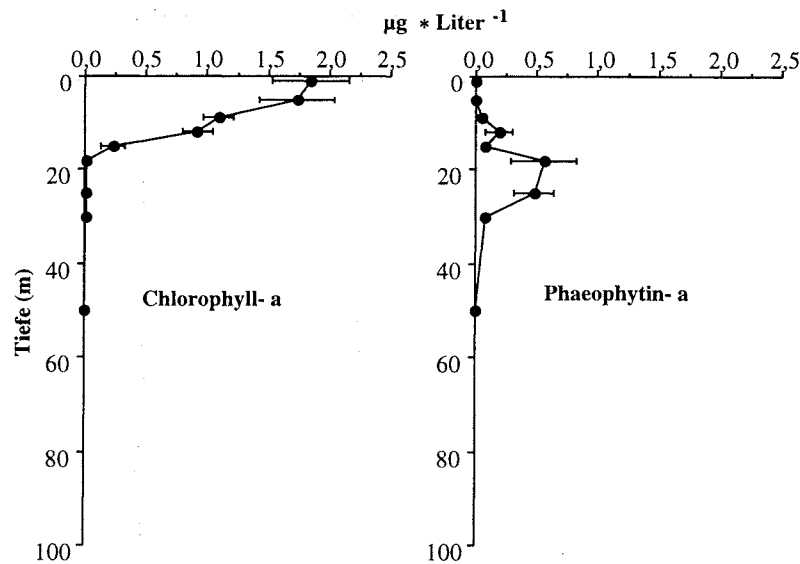


Abbildung 38: Vertikalverteilung der Chlorophyll-a- und Phaeophytin-a Konzentrationen während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1993. Dargestellt sind mittlere Werte für alle Stationen ($n = 5$; \pm STABW).

Indikator für Abbauprozesse autotrophen Materials war während des Driftverlaufes in der Wassersäule gering. Sie lag in 1 bis 15 m in einen Konzentrationsbereich von 0 bis $0,2 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$ und von 15 bis 50 m zwischen 0 und $0,6 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$ (Abb. 38).

Die vertikale Verteilung der Markerpigmente entsprach weitgehend dem Verteilungsmuster der dazugehörigen Algengruppe in der Wassersäule, die mit der Utermöhlmethode analysiert wurden (vergl. Abb. 37 und 39). Eine Ausnahme ergibt sich bei dem Vergleich der Zellzählungen der Cryptophyceae mit den Konzentrationen ihres Markerpigmentes Alloxanthin. In der Gruppe der Cryptophyceae wurden in 12 und 15 m Tiefe nur geringe Zellzahlen von 5 bis $6 * 10^3 \text{ Zellen} * \text{L}^{-1}$ gezählt, jedoch mit der HPLC-Methode die höchsten Alloxanthinkonzentrationen detektiert (vergl. Abb. 37 und 39). Die höchsten Pigmentkonzentrationen wurden bei Zeaxanthin, dem Markerpigment der Cyanobakterien, gemessen. In 1 bis 15 m schwankten die Konzentrationen zwischen 2,5 und $0,5 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$. In diesem Tiefenhorizont lagen Fucoxanthin und Peridinin im Konzentrationsbereich von 0,01 bis $0,02 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$. Für Alloxanthin wurden $0,01 - 0,04 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$, für Prasinoxanthin $0,02 - 0,03 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$ und für 19-Hexanoyloxyfucoxanthin $0,02 - 0,09 \mu\text{g} * \text{L}^{-1}$ detektiert. Die höchsten Konzentrationsschwankungen waren bei der Klasse der Prasinophyceae vorhanden.

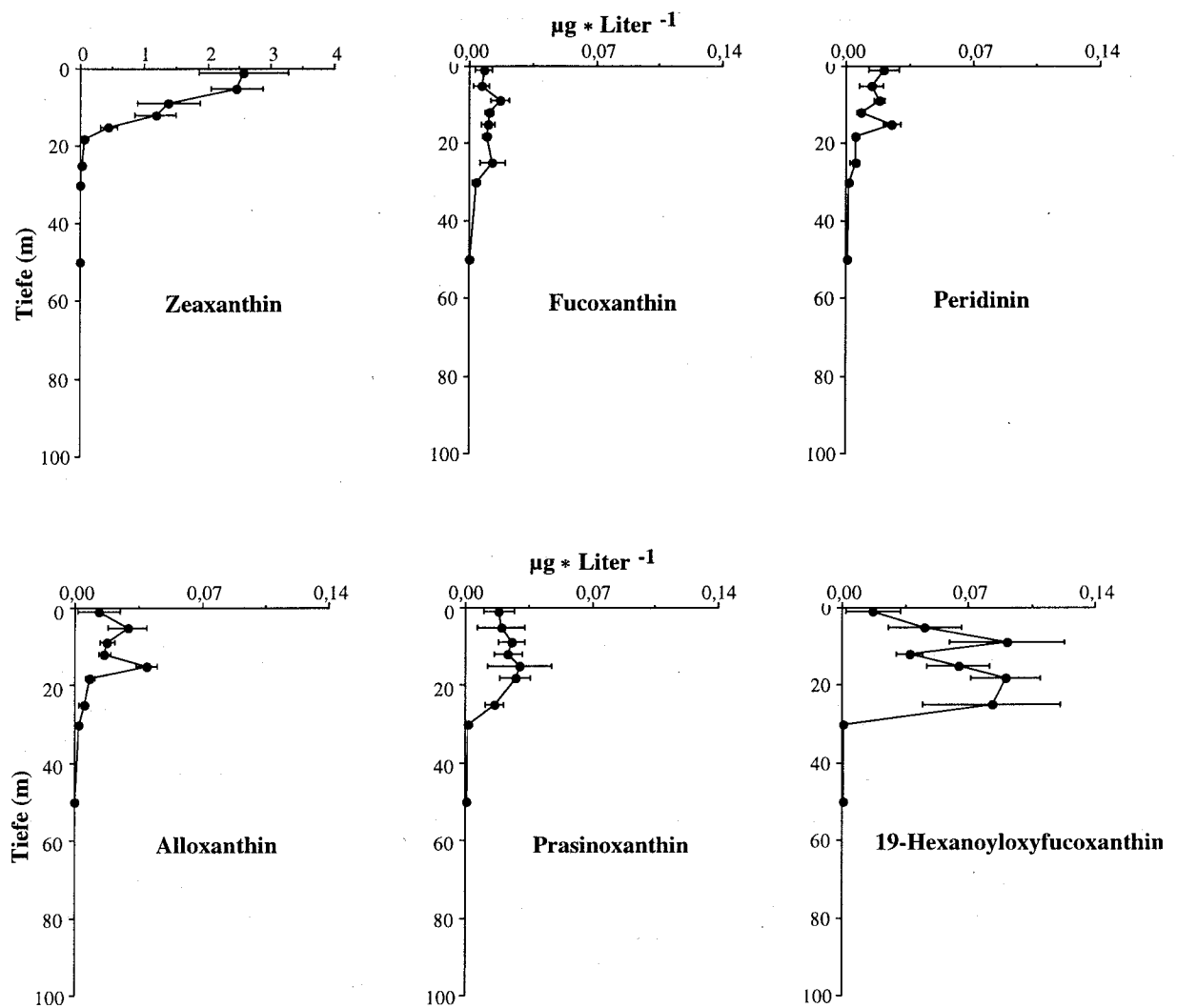


Abbildung 39: Vertikalverteilung der spezifischen Markerpigmente der jeweiligen Phytoplanktonklassen während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1993. Dargestellt sind mittlere Werte für alle Stationen ($n = 5$; \pm STABW).

3.3.3 Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen

Die Summe der C-Äquivalente, die sich aus den in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsformen ergeben (Ber.1, Ber.2, Ber.3; Punkt 2.8.3), sind in der Tabelle 20 aufgeführt. Die C-Konzentrationen der Ber.1 sind bis zu 2fach niedriger im Vergleich zu Ber.2, liegen aber höher als die C-Gehalte nach Ber.3 (Tab. 20).

Die C-Äquivalente für die jeweiligen Algengruppen, die sich anhand der Ber.1 - 3 ergeben, sind in der Tabelle 21 aufgeführt. Bei einem Vergleich der C-Konzentrationen ergibt sich nur für die Gruppe der Prasinophyceae eine gute Übereinstimmung zwischen Ber.1 und 2. Ansonsten ergeben sich nach der Ber.2 auf Grundlage der einzelnen Phytoplanktonklassen

bzw. deren Markerpigmente höhere C-Gehalte als nach Ber.1. Die C-Äquivalente der Ber.3 sind mit Ausnahme der Ergebnisse für die Gruppe der Cyanobakterien geringfügig höher als die C-Werte der Ber.1. Die Ber.2 und Ber.3 zeigen eine weitgehende Übereinstimmung der C-Äquivalente bei den Bacillario-, Dino- und Prymnesiophyceae. Die höchsten Abweichungen im C-Gehalt zwischen Ber.2 und Ber.3 ergeben sich bei den Cyanobakterien (Faktor 6,6). In der Klasse der Crypto- sowie Prasinophyceae liegen die Konzentrationen um einen Faktor von 2 bzw. 3 nach Ber.3 höher als nach Ber.2.

Tabelle 20: Summe der C-Äquivalente der Phytoplanktongruppen während des 5-tägigen Driftverlaufes in der Gotlandsee 1993, die sich anhand der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsform ergeben (vergl. Punkt 2.8.3). Ber.1: Zellzählung; Ber.2: Pigmentmessung und Umrechnungsfaktoren aus der Literatur; Ber.3: Pigmentmessung und berechnete Umrechnungsfaktoren.

Tiefe (m)	C-Äquivalente ($\mu\text{g} \cdot \text{Liter}^{-1}$)					
	Ber.1	±	Ber.2	±	Ber.3	±
1	166	79	522	145	85	24
5	104	42	505	89	83	17
9	132	49	295	104	53	18
12	99	26	249	68	42	12
15	57	26	110	33	26	7
18	10	4	25	7	7	3
25	3	2	15	6	5	3
30	0	0	1	0,9	1	0,4
50	0	0	1	0,9	1	0,1

3.3.4 Zooplanktonverteilung

Die calanoiden Copepoden bildeten in dem Untersuchungsgebiet die dominante Gruppe des Mesozooplanktons. Exemplarisch wird dies für die Station 369 in Abb. 40 belegt. Um 10.00 Uhr stellten die Copepoden 88 - 100 % und um 22.00 Uhr 95 - 100 % der Gesamtindividuenzahl des Mesozooplanktons an dieser Station (Abb. 40). Der verbleibende Rest von 1 - 12 % gehörte zur Gruppe der Cladoceren. Bei der Zooplanktonverteilung um 10.00 Uhr waren in den jeweiligen Tiefenstufen folgende adulte Copepoden vorhanden: In 0 - 30 m Tiefe betrug der Anteil von *Acartia bifilosa* 24 %, von *Temora longicornis* 18 %, von *Eurytemora affinis* 5 % und *Centropages hamatus* 3 % vom gesamten Mesozooplankton. Die Copepodidstadien von *Pseudocalanus elongatus* waren mit 16 %, von *Acartia* spp. mit 11 %, *T. longicornis*

Tabelle 21: Kohlenstoff (C)-Konzentrationen der einzelnen Phytoplanktonklassen die mittels der in dieser Arbeit angewendeten Berechnungsformen ermittelt wurden (Ber.1, Ber.2, Ber.3; vergl. 2.8.3) während des 5-tägigen Driftverlaufes in der Gotlandsee 1993 (n = 5; ± STABW). Die Abkürzungen der Phytoplanktongruppen und die der spezifischen Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Ber.1		C-Äquivalente ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Cyanob.	±	Bacill.	±	Dino.	±	Crypto.	±	Prasino.	±	Prym.	±	
1	157	74	0,2	0,1	2,4	1,0	1,9	1,1	3,7	2,3	0,4	0,3	
5	90	34	0,1	0,1	2,1	0,8	9,1	5,2	1,6	1,1	0,7	0,5	
9	118	39	0,3	1,8	3,1	1,9	4,3	2,2	4,7	2,8	1,6	1,1	
12	94	23	0,2	0,1	2,2	1,5	0,4	0,2	1,9	1,0	0,7	0,5	
15	41	19	0,2	0,2	7,8	2,4	0,4	0,2	5,5	2,6	1,8	1,2	
18	0,2	0,1	0,1	0,04	0,7	0,2	0,1	0,4	7,2	2,16	1,4	0,9	
25	0,1	0,1	0,2	0,1	0,8	0,2	0,2	0,7	0,02	0,01	1,5	0,9	
30	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	
50	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	

Ber.2		C-Äquivalente ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±	
1	512	140	0,7	0,5	3,3	1,0	2,0	1,7	3,2	1,5	0,9	0,8	
5	492	83	0,6	0,4	2,2	0,8	4,4	1,6	3,4	2,3	2,5	1,1	
9	278	99	1,5	0,5	2,9	0,3	2,7	0,6	4,5	1,3	5,0	1,8	
12	238	65	1,0	0,2	1,3	0,3	2,5	0,5	4,1	1,3	2,1	0,4	
15	90	27	0,9	0,3	4,0	0,5	6,0	0,9	5,3	3,1	3,6	1,0	
18	12	4	0,9	0,2	0,9	0,2	1,3	0,3	4,8	1,5	5,0	1,1	
25	5	2	1,1	0,6	0,8	0,3	0,7	0,4	2,8	0,9	4,6	2,1	
30	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,04	
50	0,2	0,2	0,0	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0	0,2	0,1	0,03	0,03	

Ber.3		C-Äquivalente ($\mu\text{g} * \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±	
1	78	21	0,5	0,3	3,2	0,9	1,0	0,9	1,1	0,5	0,8	0,7	
5	75	13	0,4	0,3	2,1	0,7	2,1	0,8	1,2	0,9	2,0	0,9	
9	42	15	1,1	0,3	2,8	0,3	1,3	0,3	1,5	0,4	4,0	1,4	
12	36	10	0,7	0,1	1,2	0,3	1,2	0,3	1,4	0,5	1,7	0,3	
15	14	4	0,7	0,2	3,8	0,5	2,9	0,4	1,8	1,1	2,9	0,8	
18	2	0,7	0,5	0,1	0,6	0,4	0,4	0,4	1,1	0,4	2,7	0,6	
25	0,8	0,5	0,6	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,7	0,2	2,5	1,1	
30	0,03	0,03	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04	0,03	0,02	
50	0,03	0,03	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,04	0,03	0,02	0,02	

und *E. affinis* war mit 6 bzw. 3 % am Zooplanktonbestand beteiligt. Es konnte für *P. elongatus* nur das fünfte Copepodidstadium (CV) nachgewiesen werden.

In dem Tiefenhorizont von 30 bis 60 m dominierte das CV-Stadium von *P. elongatus* mit einem Anteil von 75 % am Gesamtzooplankton. Die Arten *A. longiremis* und *T. longicornis* stellten 10 %, gefolgt von *C. hamatus* mit 4 % der gesamten Zooplanktonabundanz.

In 60 - 100 m wurde das Mesozooplankton zu 90 % von dem Copepodidstadium CV von *P. elongatus* vertreten. *T. longicornis* und *C. hamatus* waren jeweils mit 4 % und adulte *P. elongatus* sowie *C. hamatus* mit je 1 % am Zooplanktonbestand beteiligt.

Ein Tag-Nacht-Rhythmus bei der Vertikalverteilung konnte innerhalb des Beprobungszeitraums für keine der Arten nachgewiesen werden.

3.3.5 Vergleich der Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt der häufigsten Copepoden und in der Wassersäule

Es wurden die Konzentrationen der Markerpigmente im Magen-Darmtrakt der Arten *A. bifilosa*, *T. longicornis* und *P. elongatus* (CV) um 10.00 und 22.00 Uhr in der durchmischten Schicht (ca. 0 - 15 m) ermittelt (Tab. 22). Während des gesamten Driftverlaufes wurden um 10.00 Uhr Proben genommen. Die in den Tieren sowie in der Wassersäule gemessenen Pigmentkonzentrationen variierten zwischen den Proben Tagen nur geringfügig, so daß die Werte gemittelt werden konnten. Die für 22.00 Uhr dargestellten Konzentrationen der Markerpigmente beruhen dagegen nur auf Proben, die an der Station 369 genommen worden sind. Gegenüber den Pigmentanalysen der um 10.00 Uhr genommenen Proben ergaben sich für die 22.00 Uhr Fänge im Mittel, mit Ausnahme von Zeaxanthin, höhere Pigmentgehalte. Unter Berücksichtigung der hohen Standardabweichung beider Datensätze sind jedoch keine Aussagen bezüglich der Nahrungsaufnahme während der Tag- und Nachtperioden möglich (Tab. 22). Zeaxanthin, das Markerpigment der Cyanobakterien, wurde in den geringsten Konzentrationen im Magen-Darmtrakt aller Copepoden nachgewiesen. Dies steht im Gegensatz zu der hohen Zeaxanthinkonzentration in der Wassersäule (vergl. Abb. 41).

Ein Vergleich der mittleren Pigmentkonzentration in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa*, *T. longicornis* und *P. elongatus* (CV-Stadium) während des 5tägigen Driftverlaufes ergab für die Ergebnisse in der durchmischten Schicht (ca. 0 - 15 m; Probennahme 10.00 Uhr) mit der Ausnahme von Zeaxanthin eine weitgehende Übereinstimmung. Das Pigment Zeaxanthin, welches den höchsten Anteil in der Wassersäule

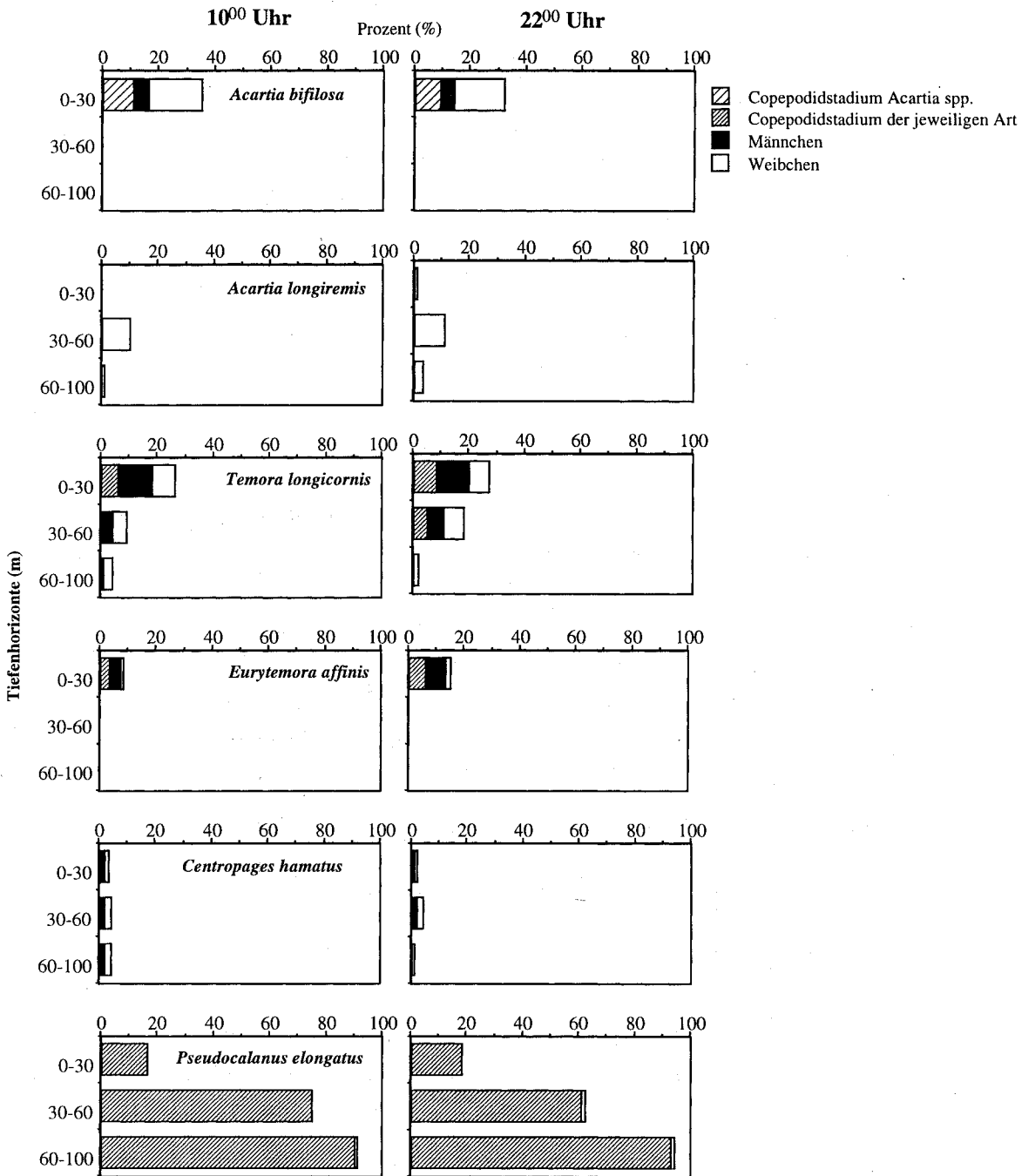


Abbildung 40: Prozentualer Anteil der calanoiden Copepoden am gesamten Mesozooplanktonbestand in den Tiefenstufen (0 - 30; 30 - 60; 60 - 100 m) während des Tages (10.00 Uhr) und der Nacht (22.00 Uhr) an der ersten Driftstation 369 in der Gotlandsee 1993.

Tabelle 22: Chl.a- und Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt adulter *A. bifilosa* (n = 25 um 10.00 Uhr; n = 5 um 22.00 Uhr), *Temora longicornis* (n = 15 um 10.00 Uhr; n = 5 um 22.00 Uhr) und CV-Stadium von *Pseudocalanus elongatus* (n = 15 um 10.00 Uhr; n = 5 um 22.00 Uhr). Die Probennahme in den Tiefenhorizont von 0 bis 15 m erfolgte um 10.00 Uhr an jeder Driftstation während des 5-tägigen Driftverlaufes in der Gotlandsee 1993. Die Ergebnisse um 22.00 Uhr beruhen auf Proben, die an der ersten Driftstation 369 genommen wurden. Die Abkürzungen der Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

10.00 Uhr	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
Copepoden	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±
<i>Acartia bifilosa</i>	0,16	11 %	0,002	36 %	0,013	44 %	0,017	13 %	0,013	57 %	0,016	6 %	0,029	14 %
<i>Temora longicornis</i>	0,23	4 %	0,001	75 %	0,015	17 %	0,016	7 %	0,021	65 %	0,019	8 %	0,028	44 %
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (CV)	0,18	9 %	0,001	41 %	0,018	27 %	0,024	18 %	0,017	69 %	0,010	15 %	0,010	16 %
	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
22.00Uhr	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±
<i>Acartia bifilosa</i>	0,19	14 %	0,001	54 %	0,015	46 %	0,019	19 %	0,13	53 %	0,016	10 %	0,031	7 %
<i>Temora longicornis</i>	0,25	7 %	0,002	66 %	0,016	23 %	0,017	13 %	0,025	61 %	0,029	12 %	0,034	31 %
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (CV)	0,20	9 %	0,002	53 %	0,019	44 %	0,026	25 %	0,019	58 %	0,012	20 %	0,012	12 %

ausmacht (73 - 97 %), stellt den geringsten Anteil der Markerpigmente im Magen-Darmtrakt der untersuchten Copepoden (ca. 8 %). Der prozentuale Anteil der anderen Markerpigmente ist in den Tieren wesentlich höher als in der Wassersäule (Abb. 41). Das Pigment 19-Hexanoyloxyfucoxanthin (Prymnesiophyceae) hatte mit 33 % den höchsten Anteil im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa*, jedoch betrug deren prozentualer Anteil in der durchmischten Schicht nur 0,7 - 11 % (Abb. 41). Die Anreicherung von Peridinin war im Magen-Darmtrakt von *T. longicornis* mit 19 % und *P. elongatus* (CV-Stadium) mit 30 % gegenüber der Wassersäule (0,5 - 4 %) besonders hoch (Abb. 41).

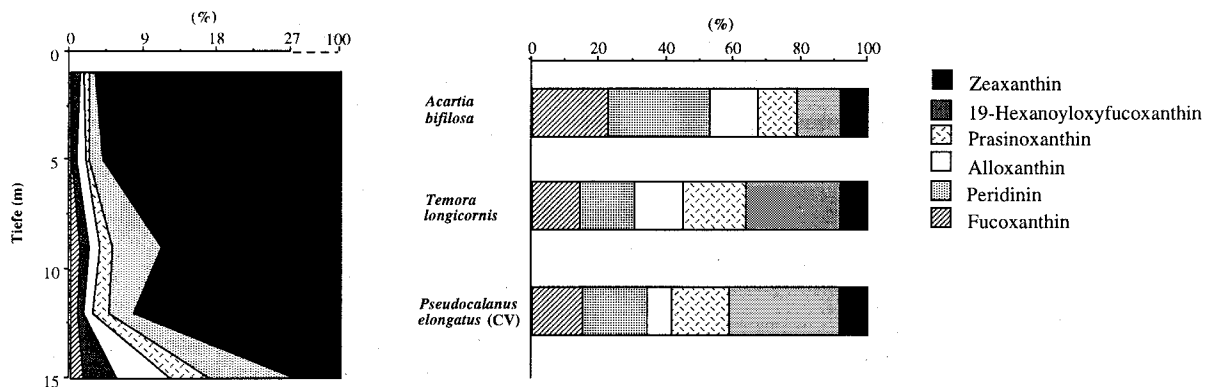


Abbildung 41: Vergleich der mittleren prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der durchmischten Schicht der Wassersäule (0 - 15 m; Probennahme 10.00 Uhr, links) und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden (rechts) während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1993.

3.3.6 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und der dominanten Copepoden

Die Isotopenwerte $\delta^{15}\text{N}$ von *A. bifilosa*, *T. longicornis* und *P. elongatus* (CV) liegen im Mittel bei 11,1 ‰. Das suspendierte Material hat einen gewichteten Mittelwert für den Tiefenhorizont 0 - 15 m von 2,0 ‰ und die isolierten Cyanobakterien-Aggregate einen mittleren Wert von $0,16 \text{ ‰} \pm 0,05$ ($n = 12$; Abb. 42 oben).

Für die Berechnung des Isotopensignals des restlichen Phytoplanktons gingen die Mittelwerte der gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des suspendierten Materials in 5, 10 und 15 m ein (5 m = $0,9 \text{ ‰} \pm 0,06 \text{ ‰}$; 9 m = $1,6 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$ und 15 m = $2,0 \text{ ‰} \pm 0,08 \text{ ‰}$; $n = 5$), sowie die mittels des Redfield-Faktors für C:N von 6,6 indirekt über die C-Äquivalente der Tabelle 21 (Ber.3) ermittelte PON-Gehalt der Cyanobakterien und des restlichen Phytoplanktons sowie deren Summe (= PON-Gehalt der Phytoplanktongemeinschaft, vergl. Punkt 2.9.1). Daraus ergibt

sich für die drei Tiefen ein mittleres Isotopensignal für das übrige Phytoplankton von $6,3\text{‰} \pm 1,9\text{‰}$.

Aus dem gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Signal der isolierten Cyanobakterien von $0,16\text{‰}$ und dem indirekt bestimmten $\delta^{15}\text{N}$ -Signal des restlichen Phytoplanktons von $6,3\text{‰}$ berechnet sich ein Anteil der Cyanobakterien von 70% in der durchmischten Schicht an der gesamten Phytoplanktonbiomasse (Abb. 42 unten). Aufgrund des $\delta^{15}\text{N}$ -Signals der Copepoden muß man davon ausgehen, daß die Cyanobakterien einen mittleren Anteil von 17% bei den CV-Stadien von *P. elongatus* und 21% bei *A. bifilosa* und 15% *T. longicornis* an der assimilierten Nahrung darstellen (Abb. 42 unten). Gegenüber dem Anteil der Cyanobakterien in der Wassersäule (0 - 15 m) stellten sie einen relativ geringen Anteil der Nahrung der Copepoden dar. Dieser Befund steht im Einklang zu den Pigmentuntersuchungen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der Copepoden (siehe 3.3.5).

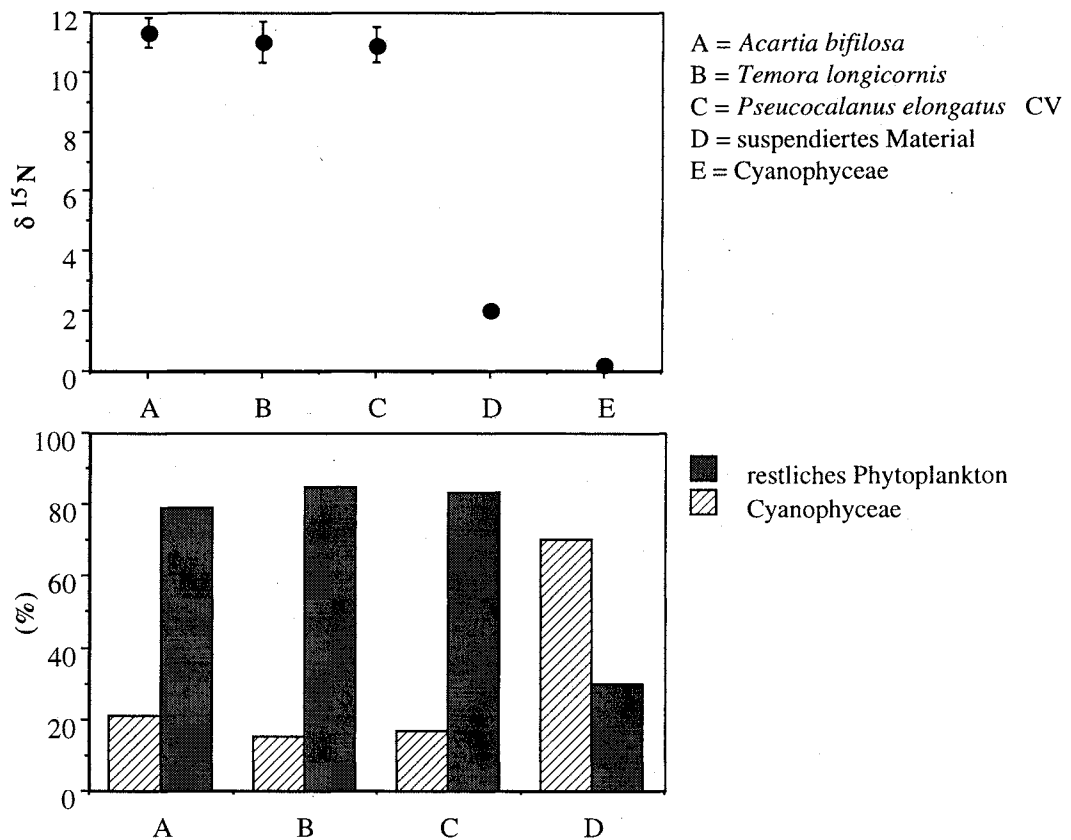


Abbildung 42: Oben: $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopensignal der dominanten Copepoden, des suspendierten Materials und der isolierten Cyanobakterien. Unten: Darstellung der sich aus den oben angeführten Daten ergebenden prozentualen Verteilung der Cyanobakterien und des übrigen Phytoplanktons an der assimilierten Nahrung der Copepoden sowie der Anteil der Cyanobakterien am suspendierten Material in der Wassersäule während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1993 in der durchmischten Schicht (0 - 15 m).

3.3.7 Freßexperimente mit *Acartia bifilosa*

Die Ingestionsraten wurden anhand der Zellzählungen, der Markerpigment- sowie der Chl.a-Konzentrationen im Inkubationswasser zum Zeitpunkt t_0 und t_{24} bestimmt und nach den in dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsformen in C-Äquivalente umgerechnet (Ber.1, Ber.3 und Ber.4; Punkt 2.10).

Die Beziehung der nach Frost (1972) bestimmten mittleren Algenkonzentrationen im Inkubationswasser (in C-Äquivalenten) und der Ingestionsraten ergab nach Ber.1 und Ber.3 eine signifikante positive, hingegen nach Ber.4 eine signifikant negative Korrelation (Abb. 43). Da die Steigung der Ber.1 und Ber.3 > 1 ist, kann man davon ausgehen, daß sich mit zunehmenden Futterangebot der relative Fraßdruck erhöht. Dies steht im Widerspruch zur Ber.4, wonach der Fraßdruck mit steigendem Nahrungsangebot abnahm. Die Ingestionsraten, die mittels Ber.1 berechnet wurden, ergaben eine um den Faktor 2 bis 3 geringere Aufnahmeraten als nach Ber.3 und Ber.4 (Abb. 43 und Tab. 23). In dem 5tägigen Driftverlauf wurden von *A. bifilosa* nach Ber.1 zwischen 53 und 84 $\text{ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ingestiert, was 6 - 7 % ihres Körperkohlenstoffs (CK) entspricht. Nach Ber.3 wurden 179 - 241 $\text{ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (15 - 22 % CK) und nach Ber.4 zwischen 139 und 199 $\text{ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (13 - 21 % CK) aufgenommen (Tab. 23).

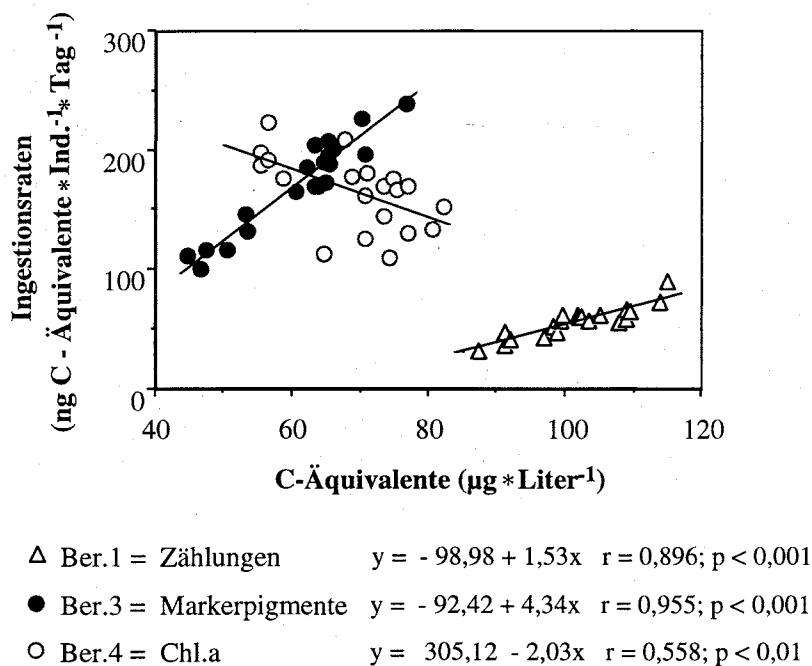


Abbildung 43: Beziehung zwischen den mittleren Algenkonzentrationen ausgedrückt in C-Äquivalenten und den ermittelten Ingestionsraten von *Acartia bifilosa* im Verlauf des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1993.

Tabelle 23: Individuenspezifische Trockengewichte (TG), Kohlenstoff- (C) und Stickstoff-Werte (N) (n = 5; ± STABW, pro Probe 120 Tiere) und Ingestionsraten von *Acartia bifilosa* (n = 4) ermittelt anhand der in dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsformen (Ber.1, Ber.2, Ber.3; vergl. 2.10) während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1993.

Stationen	<i>Acartia bifilosa</i>						Ingestionsraten (ng C * Ind. ⁻¹ * Tag ⁻¹)					
	TG (µg)	±	C (µg)	±	N (µg)	±	Ber.1	±	Ber.3	±	Ber.4	±
396	2,31	0,14	1,11	0,06	0,21	0,04	64	21	241	50	139	22
370	2,26	0,07	1,13	0,04	0,20	0,06	74	15	239	42	153	43
371	2,00	0,03	0,96	0,09	0,19	0,03	53	19	196	69	199	19
372	2,37	0,11	1,21	0,09	0,21	0,05	84	25	179	38	165	27
373	2,33	0,10	1,07	0,05	0,20	0,02	66	15	183	73	170	12

Tabelle 24: Taxon-spezifische Ingestionsraten in % des Körperkohlenstoff-Gehaltes von *Acartia bifilosa*, ermittelt anhand der Zellzählungen (Ber.1, oben) und der Markerpigmente (Ber.3, unten; n = 4).

Phytoplanktongruppen, Markerpigmente	Ingestionsrate in % des Körperkohlenstoffes von <i>Acartia bifilosa</i>									
	369	±	370	±	371	±	372	±	373	±
Cyanophyceae Zeaxanthin	0,14	0,06	0,13	0,05	0,17	0,09	0,11	0,07	0,15	0,08
	0,26	0,13	0,55	0,14	0,61	0,36	0,35	0,42	0,48	0,20
Bacillariophyceae, Fucoxanthin	0,08	0,06	0,11	0,03	0,02	0,02	0,08	0,06	0,04	0,04
	3,32	0,51	2,99	0,46	1,57	0,52	1,63	0,18	2,06	1,03
Dinophyceae, Peridinin	1,65	0,65	2,02	0,23	1,82	0,64	2,05	0,26	1,78	0,40
	6,30	1,21	6,18	0,64	6,13	2,40	3,74	1,24	5,16	2,14
Cryptophyceae, Alloxanthin	1,76	0,45	1,85	0,58	1,62	0,52	1,65	0,65	1,86	0,38
	3,84	0,37	3,79	0,75	3,31	0,83	2,80	0,50	2,82	1,14
Prasinophyceae, Prasinoxanthin	0,99	0,37	1,20	0,17	0,99	0,25	1,70	0,43	1,45	0,15
	4,37	1,67	3,76	0,97	5,34	1,57	3,58	0,80	3,83	1,32
Prymnesiophyceae, 19-Hexanoyloxy- fucoxanthin	1,17	0,33	1,26	0,27	0,95	0,49	1,39	0,57	0,90	0,37
	3,71	0,64	3,84	0,77	3,49	1,54	2,69	0,34	2,76	0,96
Summe	5,78	1,75	6,57	0,67	5,57	1,50	6,98	1,61	6,17	0,84
	21,79	3,17	21,11	1,11	20,45	5,82	14,78	2,53	17,12	6,25

Die Beziehung der einzelnen Phytoplanktongruppen bzw. Markerpigmente (in C-Äquivalente) im Inkubationsmedium mit den taxon-spezifischen Ingestionsraten, die anhand Ber.1 und Ber.3 ermittelt wurden, ergaben mit Ausnahme der Cyanobakterien mit ihrem Markerpigment Zeaxanthin für alle Phytoplanktongruppen signifikant positive Korrelationen. Im Bezug auf die Cyanobakterien ergab sich nach Ber.1 keine - und nach Ber.3 eine signifikant negative Korrelation (Abb. 44). Nach der Ber.1 ergaben sich geringere Ingestionsraten gegenüber Ber.3 (Abb. 44).

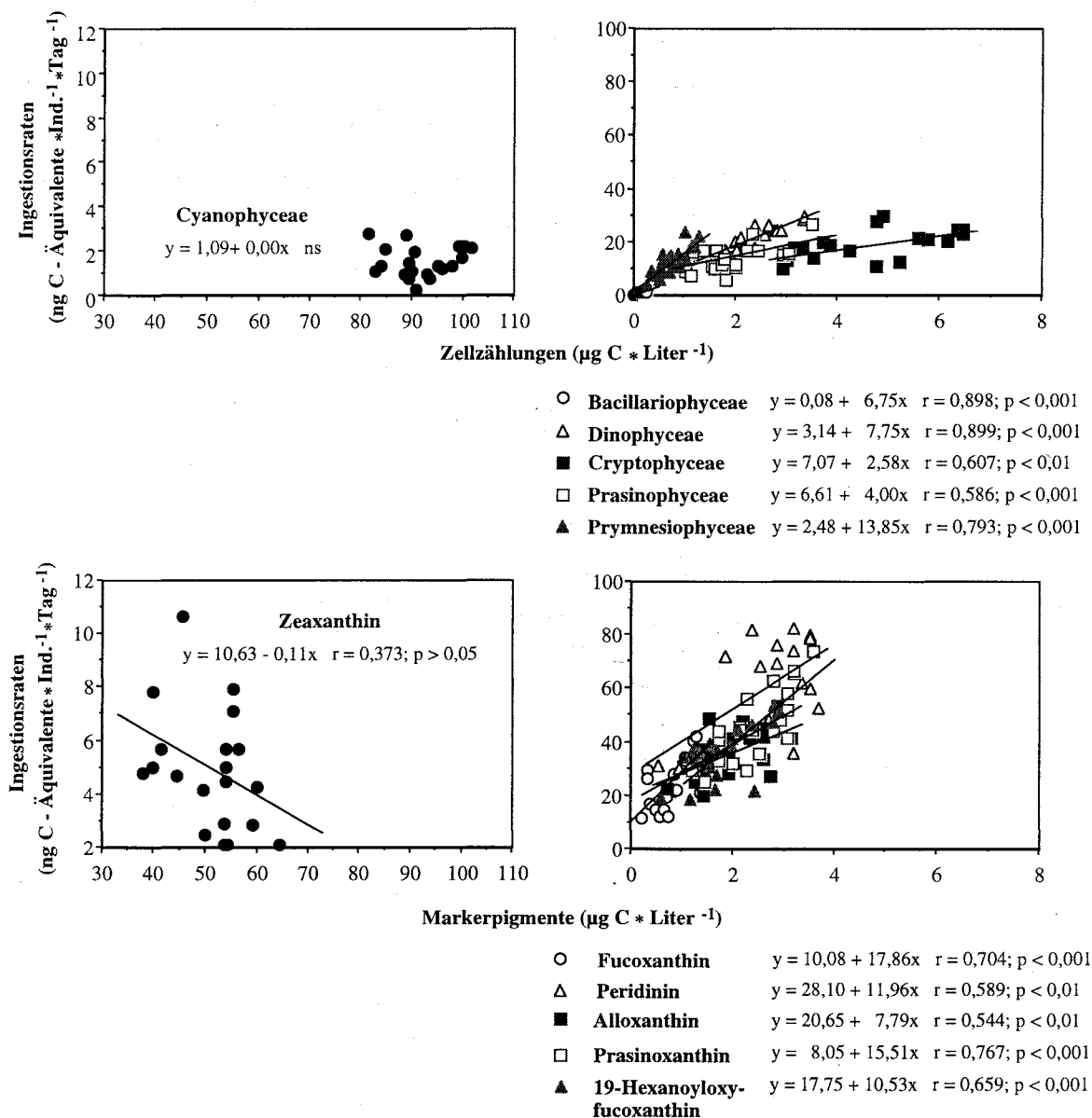


Abbildung 44: Beziehungen zwischen den mittleren Algenkonzentrationen der einzelnen Phytoplanktongruppen (in C-Äquivalenten) im Inkubationsmedium und den ermittelten taxonspezifischen Ingestionsraten von *Acartia biflosa* im Verlauf des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1993.

Die Steigung, die sich aus der Beziehung der gruppenspezifischen Phytoplanktonkonzentrationen und den taxonspezifischen Ingestionsraten ergibt, stellt ein Maß für den Fraßdruck von *A. bifilosa* auf die einzelnen Phytoplanktonklassen dar. Somit unterlag nach der Ber.1 die Klasse der Prymnesiophyceae dem höchsten Fraßdruck. Es folgten die Dino-, Bacillario-, Prasino- und Cryptophyceae. Nach Ber.3 wurde jedoch eine andere Ernährungsstrategie von *A. bifilosa* ermittelt. Es wurde der höchste Fraßdruck auf die Bacillariophyceae ausgeübt, und im Anschluß daran folgten die Prasino-, Dino-, Prymnesio- und Cryptophyceae. Dies steht in weitgehender Übereinstimmung mit den im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* angereicherten Konzentrationen der jeweiligen Markerpigmente dieser Phytoplanktongruppen (Abb. 41). Eine detaillierte Übersicht der taxonspezifischen Ingestionsraten (in % Körperkohlenstoff von *A. bifilosa*) ist der Tabelle 14 zu entnehmen. Die geringe Aufnahme der Cyanobakterien (2 % des täglich ingestierten C-Gehaltes) in Relation zu deren hohen Konzentration in der Wassersäule steht im Einklang zu den Pigmentmessungen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* und der Wassersäule (3.3.5) sowie zu den Ergebnissen, die sich aus den $\delta^{15}\text{N}$ -Analysen ergaben (3.3.6).

3.4 Ergebnisse der Untersuchungen in der Gotlandsee 1994

Die durchgeführten Analysen in der Gotlandssee 1994 entsprechen denen des vorangegangenen Jahres.

3.4.1 Abiotische Parameter, anorganische Nährsalze sowie POC- und PON-Gehalte des suspendierten Materials

Der Driftverlauf der in dieser Arbeit beprobten Stationen während des Driftexperimentes vom 18.07.1994 bis 22.07.1994 in der Gotlandsee ist in der Abb. 45 dargestellt. Die Lage des Untersuchungsgebietes in der Gotlandsee ist der Abb. 1 zu entnehmen.

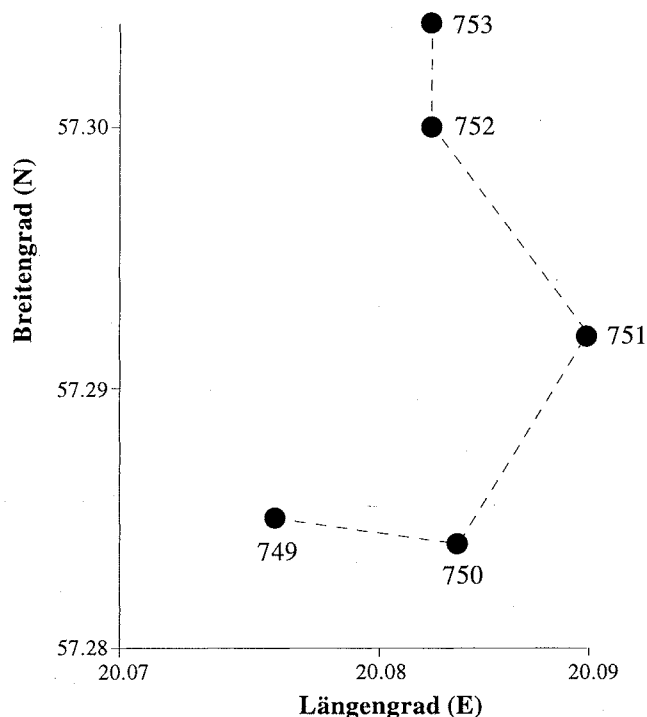


Abbildung 45: Driftverlauf mit den Stationsnummern in der Gotlandsee 1993.

Die Isolinien des Salzgehaltes und der Temperatur zeigen wie im Untersuchungszeitraum 1993 eine Dreischichtung der Wassersäule. Unterhalb von 30 m trennt die Thermokline das sogenannte Winterwasser, welches sich durch geringe Schwankungen im Salzgehalt und der Temperatur auszeichnet, von dem salzarmen Sommerwasser. Das Winterwasser wird in 70 m Tiefe durch die haline Sprungschicht vom Ostseetiefenwasser getrennt.

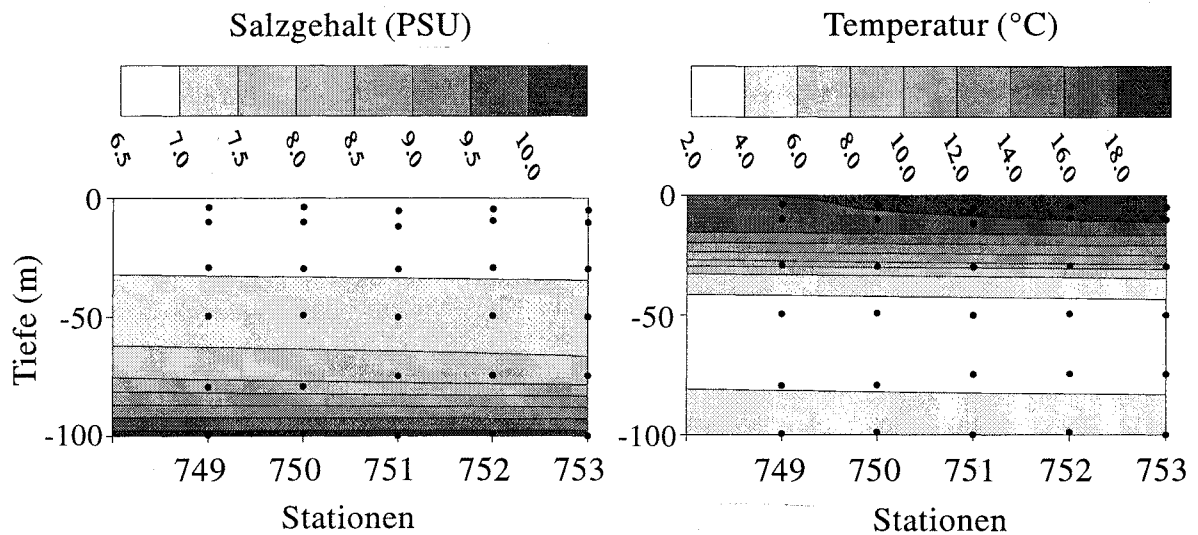


Abbildung 46: Salzgehalt- und Temperatur-Veränderungen während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994.

Die Nährstoffe Phosphat und Nitrat lagen zwischen 5 und 30 m in nur geringen Konzentrationen vor (Tab. 25). Die Konzentrationen für Phosphat lagen zwischen 0 und $0,02 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ und für Nitrat zwischen $0,02$ und $0,04 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Die Ammoniumkonzentration lag in den obersten 30 m bei $0,24 - 0,27 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ und stieg wie Phosphat und Nitrat im Tiefenhorizont des Winterwassers an. Im Tiefenwasser der Ostsee, unter der Halokline, wurden die höchsten Nährstoffkonzentrationen gemessen (Tab. 25).

Tabelle 25: Nährsalzkonzentrationen in den untersuchten Tiefenstufen während des 5-tägigen Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994.

Tiefe (m)	Nährsalzkonzentrationen ($\mu\text{mol} \cdot \text{Liter}^{-1}$)					
	Ammonium	\pm	Nitrat	\pm	Phosphat	\pm
5	0,27	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
10	0,24	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
30	0,27	0,06	0,03	0,02	0,04	0,03
50	1,52	0,24	0,16	0,06	0,38	0,03
70	1,39	0,56	0,24	0,07	1,03	0,30
100	1,07	0,20	0,12	0,01	2,71	0,09

Der partikuläre organische Kohlenstoff- (POC) sowie Stickstoffgehalt (PON) nahm von 5 bis 50 m Tiefe stetig ab (Tab. 26). Der POC-Gehalt lag in mittleren Konzentration von $0,54 \text{ mg} * \text{L}^{-1}$ in 5 m Tiefe bis $0,11 \text{ mg} * \text{L}^{-1}$ in 50 m Tiefe vor. Der PON-Gehalt schwankte in diesem Bereich zwischen $0,08$ und $0,01 \text{ mg} * \text{L}^{-1}$. Das molare C/N-Verhältnis lag in der durchmischten Schicht zwischen $7,5$ und $7,9$ (Tab. 26) und unterhalb der Thermokline zwischen $7,0$ und $12,8$.

Tabelle 26: Mittelwerte der partikulären organischen Kohlenstoff- (POC) und Stickstoffgehalte (PON) sowie der molaren C/N-Verhältnisse des suspendierten Materials während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1994 ($n = 5$; \pm STABW).

Tiefe (m)	Suspendiertes Material					
	POC ($\text{mg} * \text{Liter}^{-1}$)	\pm	PON ($\text{mg} * \text{Liter}^{-1}$)	\pm	C/N (molar)	\pm
5	0,54	0,08	0,08	0,02	7,9	0,3
10	0,58	0,14	0,09	0,02	7,5	0,5
15	0,46	0,08	0,07	0,01	7,7	0,4
20	0,26	0,04	0,04	0,01	7,6	0,9
25	0,21	0,06	0,03	0,01	8,2	5
30	0,16	0,02	0,02	0,01	9,3	1,8
50	0,11	0,03	0,01	0,00	12,8	1,0
70	0,14	0,05	0,02	0,01	8,2	1,0
90	0,10	0,03	0,01	0,01	11,7	1,9
100	0,12	0,03	0,02	0,01	7,0	0,09

3.4.2 Phytoplanktonverteilung

Zur Darstellung der Vertikalverteilung der jeweiligen Algengruppen wurden die Ergebnisse für jede Tiefenstufe während des 5tägigen Driftverlaufes gemittelt. Die höchsten mittleren Zellzahl wurden in der Gruppe der Cyanobakterien mit maximal $30 * 10^6 \text{ Zellen} * \text{L}^{-1}$ (in 5 m Tiefe) gezählt (Abb. 47). Die Prymnesiophyceae waren mit bis zu $0,7 * 10^6 \text{ Zellen} * \text{L}^{-1}$ (in 15 m Wassertiefe) und die Prasinophyceae sowie Dinophyceae mit $0,2 * 10^6 \text{ Zellen} * \text{L}^{-1}$ in der Wassersäule vertreten. In der Gruppe der Crypto- und Bacillariophyceae lagen die höchsten Zellzahlen im Mittel bei jeweils $0,02 * 10^6 \text{ Zellen} * \text{L}^{-1}$. Die höchsten Schwankungsbreiten in den Abundanzen wurden bei den Cyanobakterien und den Prymnesiophyceae registriert (Abb. 47).

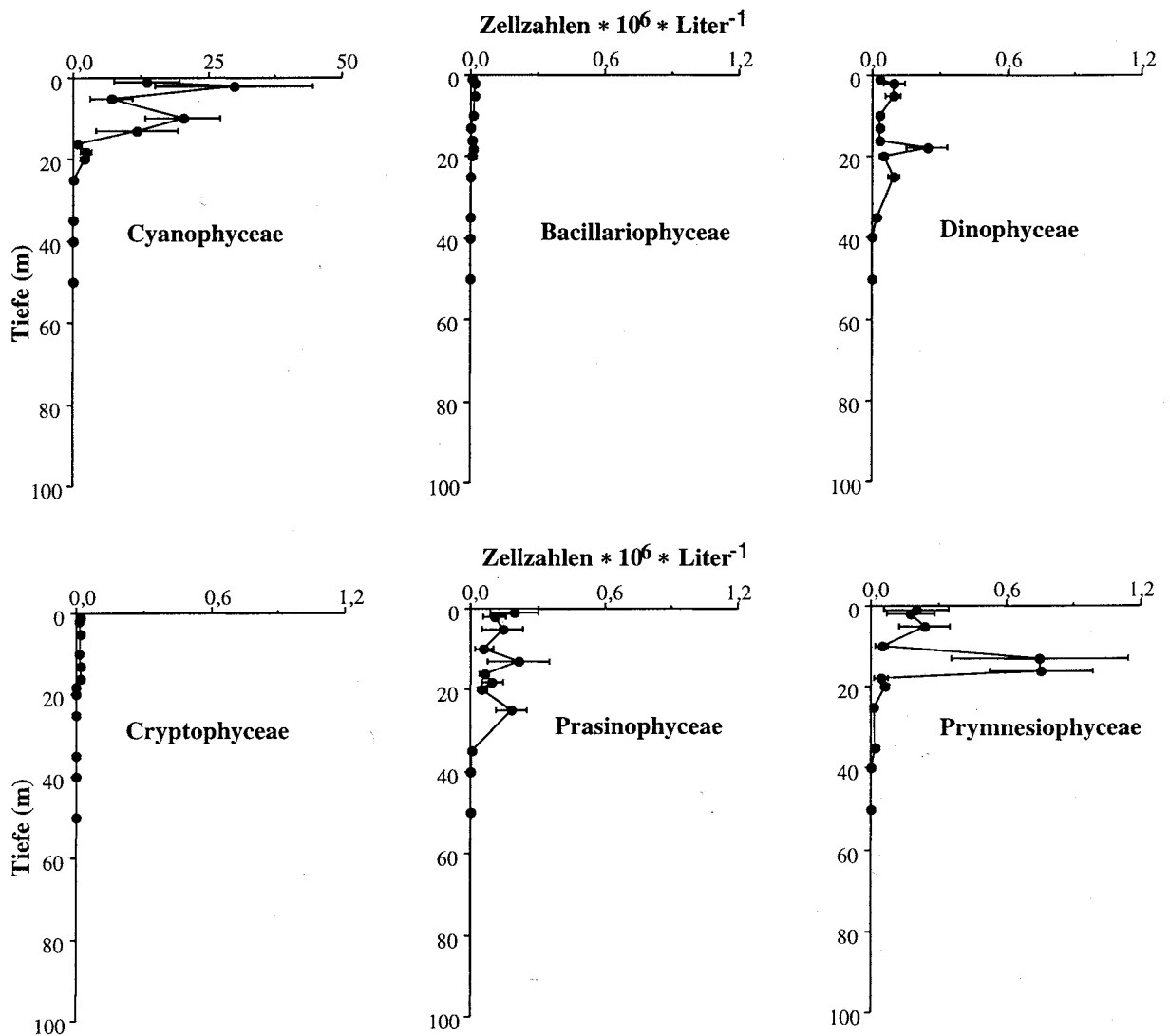


Abbildung 47: Darstellung der Vertikalverteilung der Phytoplanktonklassen ermittelt anhand der Zellzählungen während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1994 ($n = 5$; \pm STABW).

Die häufigsten Arten innerhalb der Cyanobakterien waren *Anabaena* spp. und *Aphanizomenon flos-aqua* sowie *Nodularia spumigena*. Die Bacillariophyceae wurden durch *Skeletonema costatum* und *Chaetoceros* spp. repräsentiert und die Prasinophyceae durch *Pyramimonas* spp. *Dinophysis norvegica*, *Prorocentrum minimum* sowie *Gymnodinium* spp. waren die Vertreter der Dinophyceae. In der Gruppe der Prymnesiophyceae wurde nur *Prymnesium parvum* als einzige Art identifiziert. Die Cryptophyceae waren nur durch *Rhodomonas lacustris* vertreten.

Ergänzend zu den Zellzählungen wurde die vertikale Verteilung der Phytoplanktonbiomasse anhand der Chl.a-Konzentration und der gruppenspezifischen Markerpigmente der Phytoplanktongruppen mittels der HPLC-Methode analysiert.

Während des fünftägigen Driftverlaufes wurden in den obersten 13 m mittlere Chl.a-Konzentrationen von 2 bis 5 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ gemessen (Abb. 48). Unterhalb der durchmischten Schicht lag die Chl.a-Konzentration zwischen 1,9 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in 18 m Tiefe und 0,1 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in 70 m Tiefe. In dem Tiefenhorizont von 1 bis 70 m wurden Phaeophytin-a-Konzentrationen, die als ein Marker für Abbauprozesse des autotrophen Materials herangezogen werden können, in einem Konzentrationsbereich von 0,5 bis 2 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ gemessen (Abb. 48).

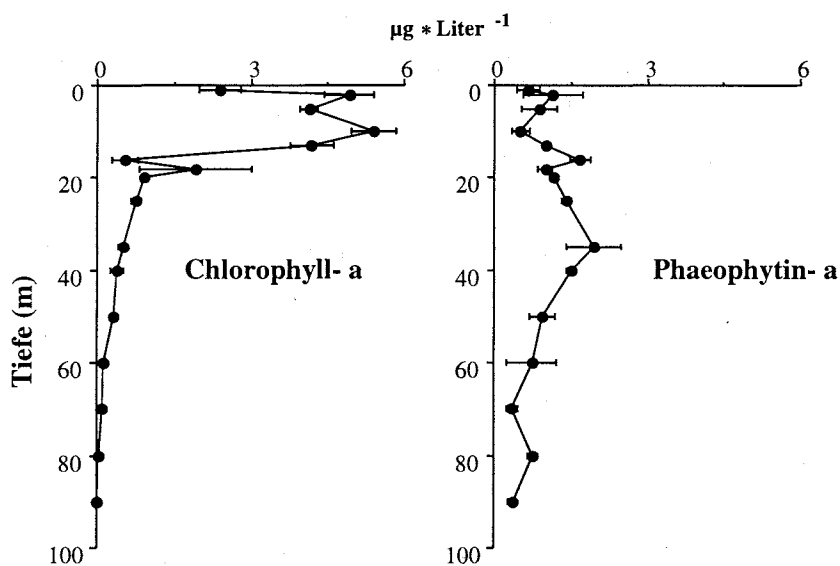


Abbildung 48: Vertikalverteilung der Chlorophyll-a- und Phaeophytin-a-Konzentrationen während des 5-tägigen Driftverlaufes in der Gotlandsee 1994 ($n = 5$; \pm STABW).

Die mittleren Markerpigmentkonzentrationen während des 5tägigen Driftverlaufes sind in Abb. 49 dargestellt. Das vertikale Verteilungsmuster der Markerpigmente stimmt bei den meisten Phytoplanktongruppen mit den Zellzählungen der jeweiligen Algenklassen überein, Ausnahmen bilden jedoch die Prymnesio- und Cryptophyceae (vergl. Abb. 47 und 49). So wurden für die Prymnesiophyceae, mit ihrem Markerpigment 19-Hexanoyloxyfucoxanthin, die geringsten Konzentrationen in den Tiefen detektiert, in den die meisten Zellen gezählt wurden (16 und 18 m). Wie bereits bei den Untersuchungen 1993 beobachtet, wichen die Konzentrationen der Zellzahlen der Cryptophyceae und die ihres Markerpigmentes Allo-xanthin (in den Tiefenstufen 18 und 25 m) erheblich voneinander ab.

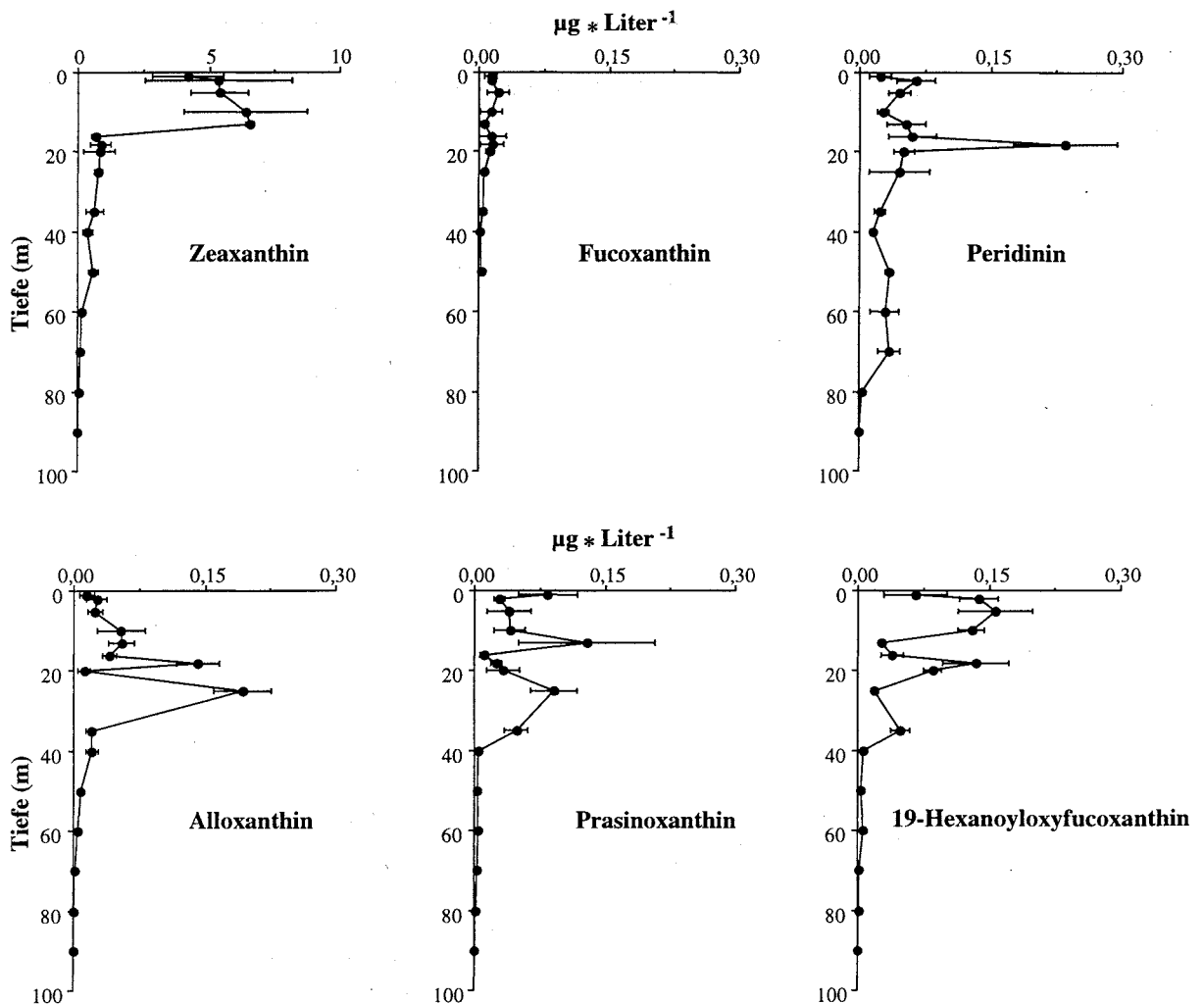


Abbildung 49: Vertikalverteilung der Markerpigmentkonzentrationen während der 5-tägigen Drift in der Gotlandsee 1994 ($n = 5, \pm \text{STABW}$).

3.4.3 Vergleich zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen

Die Summe der C-Äquivalente, die sich aus den in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsformen ergeben (Ber.1, Ber.2 und Ber.3, vergl. 2.8.3) sind in der Tabelle*27 aufgeführt. Die C-Konzentrationen der Ber.1 unterscheiden sich von der Ber.3 in dem Tiefenhorizont von 1 bis 15 m um einen Faktor von 1,3 bis 2,5 und zwischen 16 und 50 m um einen Faktor von 0,6 bis 1,4 (Tab.*27). Die größten Abweichungen im C-Gehalt gibt es bei der Ber. 2 im Vergleich zur Ber.3 (Tab.*27). Diese hohen Abweichungen zwischen den C-Äquivalenten der Ber.2 und 3 beruhen auf den unterschiedlichen Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen der einzelnen Algengruppen, die in die jeweilige Berechnung eingehen (Tab. 2 und 3). Eine detaillierte Übersicht der C-Äquivalente der jeweiligen Algengruppen, die sich aus den Zellzählungen und Pigmentmessungen ergaben sind in der Tab. 28 aufgeführt.

Tabelle*27: Summe der C-Äquivalente der Phytoplanktongruppen, die sich anhand der in dieser Arbeit verwendeten Berechnungsformen ergeben. Ber.1: Zellzählungen; Ber.2: Pigmentmessungen und Umrechnung mit Literaturfaktoren; Ber.3: Pigmentmessungen und Umrechnung mit den in diese Arbeit berechneten Faktoren; (n = 5; ± STABW).

	C- Äquivalente ($\mu\text{g} \cdot \text{Liter}^{-1}$)					
Tiefe (m)	Ber.1	±	Ber.2	±	Ber.3	±
1	256	113	865	282	141	47
2	419	205	1099	568	184	91
5	118	62	1106	228	183	39
10	305	105	1306	482	212	77
15	280	177	1352	50	221	14
16	33	19	157	43	34	10
18	181	70	214	92	44	20
20	59	20	186	126	37	22
25	36	10	213	47	45	11
35	12	8	146	73	27	13
40	8	2	85	39	15	10
50	0,5	0,1	127	41	24	7

3.4.4 Zooplanktonverteilung

Die Abbildung 50 zeigt die Verteilung des Mesozooplanktons in drei Tiefenhorizonten (0 - 30; 30 - 60; 60 - 100 m), die in 4-Stunden-Intervallen an der Station 749 gefischt wurden. Die calanoiden Copepoden waren in allen Tiefenstufen die dominante Gruppe des Mesozooplanktons. Ihr Anteil an der gesamten Zooplanktonabundanz betrug während des Beprobungszeitraums von 24 Stunden in dem Tiefenhorizont 0 - 30 m 75 - 92 %, in 30 - 60 m 9 - 99 % und in 60 - 100 m 95 - 100 %. Die verbleibenden Mesoplankter waren in 0 - 30 m sowie 30 - 60 m vor allem Cladoceren. Eine Ausnahme stellte der Zooplanktonfang um 8.00 Uhr dar, neben den calanoiden Copepoden (75 %) und Cladoceren (14 %) wurden viele Cirrepedialarven (14 %) gezählt. In dem Tiefenhorizont 60 - 100 m war der verbleibende Anteil von 5 % am Gesamtzooplankton auf Polychaetenlarven zurückzuführen.

Innerhalb von 0 - 30 m war die dominante Art aller adulten Individuen *A. bifilosa* mit 25 - 36 %, gefolgt von *T. longicornis* (7 - 14 %), *C. hamatus* (6 - 11 %), *E. affinis* (4 - 12 %) und

Tabelle 27: Kohlenstoff (C)-Konzentrationen der einzelnen Phytoplanktonklassen die mittels der in dieser Arbeit angewendeten Berechnungsformen ermittelt wurden (Ber.1, Ber.2, Ber.3; vergl. 2.8.3) während des 5-tägigen Driftverlaufes in der Gotlandsee 1994 (n = 5; ± STABW). Die Abkürzungen der Phytoplanktongruppen und die der spezifischen Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Ber.1		C-Äquivalente ($\mu\text{g} \cdot \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Cyanob.	±	Bacill.	±	Dino.	±	Crypto.	±	Prasino.	±	Prym.	±	
1	246	108	0,2	0,1	3,0	1,0	1,3	0,6	4,0	2,0	1,6	1,2	
2	400	196	0,9	0,2	13	6,0	0,9	0,5	3,0	1,0	1,2	0,8	
5	104	56	0,8	0,2	6,0	2,0	1,1	0,5	4,0	2,0	1,6	1,2	
10	300	102	0,6	0,3	2,0	1,0	0,9	0,5	1,0	0,8	0,3	0,2	
15	258	165	0,0	0,0	11	5,0	1,4	0,7	4,0	2,5	5,2	4,1	
16	13	7,0	0,5	2,0	10	5,0	1,4	0,8	1,0	0,3	6,9	3,9	
18	34	14	0,5	0,1	143	54	0,1	0,1	3,0	1,3	0,7	0,5	
20	28	9,0	0,3	0,1	29	10	0,0	0,0	1,0	0,6	0,3	0,1	
25	4,0	1,0	0,0	0,0	27	7,0	0,0	0,0	5,0	2,0	0,1	0,0	
35	10	7,0	0,0	0,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	
40	7,0	2,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
50	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Ber.2		C-Äquivalente ($\mu\text{g} \cdot \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±	
1	839	271	1,2	0,6	3,7	1,4	2,2	1,3	15	6	3,6	2,0	
2	1071	561	1,3	0,3	10	2,6	4,0	1,8	4,9	1,1	7,6	1,2	
5	1078	217	2,0	1,1	7,3	1,5	3,6	1,3	6,8	4,4	8,6	2,3	
10	1278	472	1,3	1,1	4,3	0,7	8,1	4,1	7,1	3,2	7,1	0,8	
15	1310	31	0,6	0,5	8,6	2,5	8,1	2,3	23	14	1,4	0,1	
16	136	36	1,3	1,6	9,7	3,2	6,2	1,2	1,9	0,7	2,2	0,7	
18	176	77	1,4	1,2	3,8	6,8	21	3,6	4,3	1,2	7,4	2,1	
20	164	119	1,1	0,4	8,2	1,3	1,8	1,1	5,8	3,4	4,7	0,6	
25	159	33	0,5	0,1	7,3	4,0	29	5,0	16	4,7	1,1	0,2	
35	128	68	0,4	0,2	3,8	0,7	3,0	0,8	8,4	2,3	2,7	0,6	
40	78	37	0,2	0,1	2,4	0,3	3,2	1,0	0,8	0,2	0,6	0,1	
50	119	40	0,3	0,3	5,5	0,4	1,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,1	

Ber.3		C-Äquivalente ($\mu\text{g} \cdot \text{Liter}^{-1}$)											
Tiefe	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±	
1	128	41	0,9	0,5	3,5	1,3	1,1	0,6	4,9	2	2,9	1,6	
2	163	86	1,0	0,2	9,8	2,4	1,9	0,9	1,7	0,4	6,1	1,0	
5	164	33	1,5	0,8	6,9	1,4	1,8	0,7	2,3	1,5	6,9	1,8	
10	195	72	1,0	0,8	4,1	0,7	4,0	2,0	2,4	1,1	5,7	0,7	
15	200	5	0,4	0,3	8,1	2,4	4,0	1,1	7,6	4,6	1,1	0,1	
16	21	6	0,7	0,8	8,5	2,1	2,1	0,4	0,4	0,2	1,2	0,4	
18	28	12	0,7	0,6	2,5	4,5	7,3	1,2	1,0	0,3	4,1	1,1	
20	26	19	0,6	0,2	5,5	0,9	0,6	0,4	1,4	0,8	2,6	0,3	
25	25	5	0,3	0,1	4,9	2,7	10	1,7	3,8	1,1	0,6	0,1	
35	20	11	0,2	0,1	2,5	0,4	1,0	0,3	2,0	0,5	1,5	0,3	
40	12	9	0,1	0,04	1,6	0,2	1,1	0,3	0,2	0,0	0,2	0,1	
50	19	6	0,2	0,1	3,7	0,3	0,4	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	

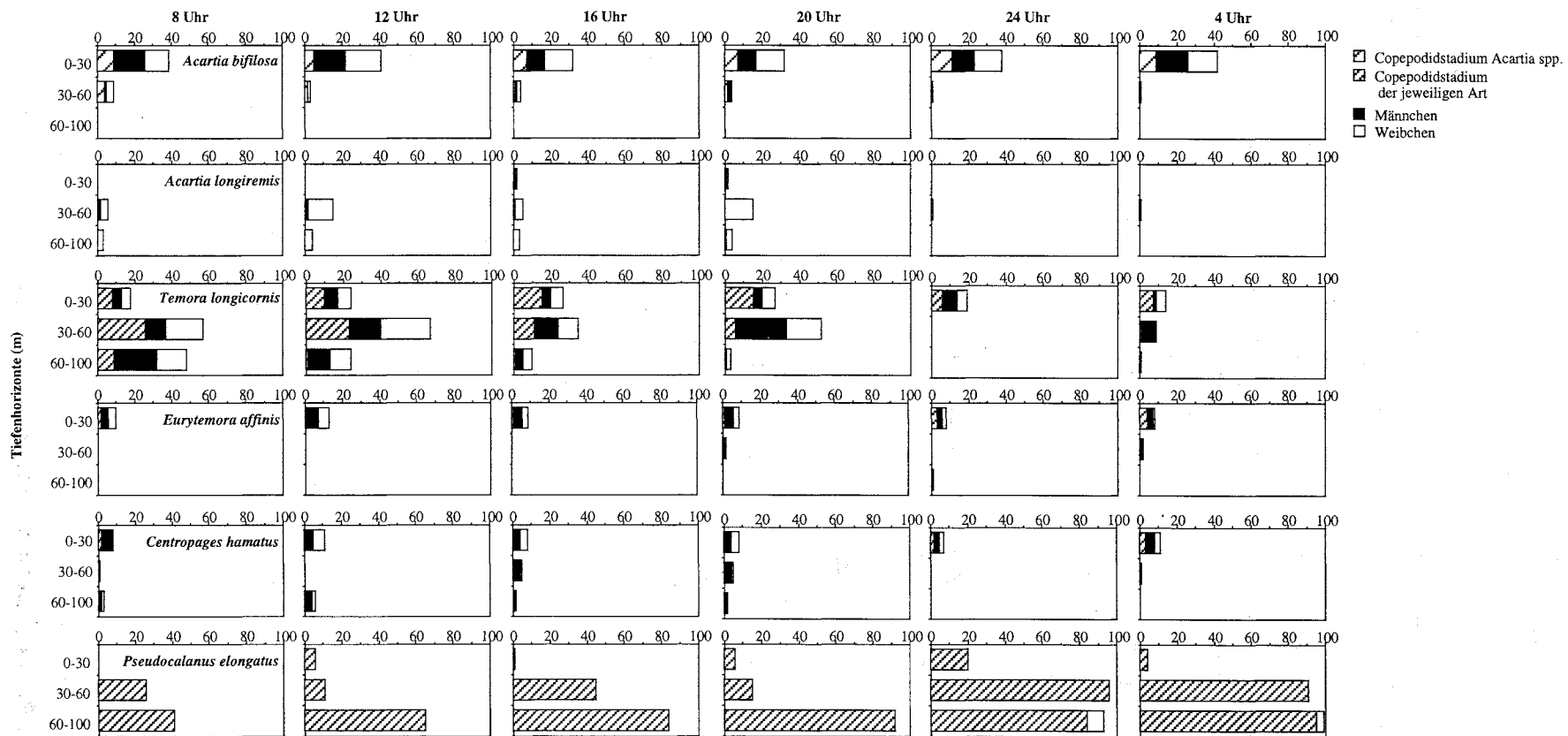


Abbildung 50: Prozentualer Anteil der calanoiden Copepoden am gesamten Mesozooplanktonbestand in den Tiefenstufen (0 - 30; 30 - 60; 60 - 100 m). Die Probennahme erfolgte in 4-Stunden-Intervallen an der ersten Driftstation 749 in der Gotlandsee 1994.

A. longiremis mit einen Anteil von 0 bis 2 % (Abb. 50). In der Tiefe von 0 bis 60 m konnten bei allen Zooplanktonfängen nur Copepodidstadien der Art *P. elongatus* identifiziert werden. Innerhalb der Copepodidstadien dominierte *T. longicornis* mit 6 - 15 % und *Acartia* spp. mit 5 - 11 %. Die verbleibenden Arten waren mit nur 0 - 6 % am Zooplanktonbestand beteiligt (Abb. 50).

In dem Tiefenhorizont von 30 bis 60 m betrug der Anteil von *T. longicornis* 8 - 46 % sowie von *A. longiremis* 1 - 15 % der gezählten Organismen in diesem Tiefenbereich. Die übrigen Copepodenarten trugen mit einen Anteil von 0 bis 7 % am Mesozooplanktonbestand bei (Abb. 50). Den Hauptanteil der Copepodidstadien stellte *P. elongatus* mit 26 - 96 % am gesamten Zooplankton.

In dem Tiefenbereich von 60 - 100 m dominierten die Copepodidstadien von *P. elongatus* mit 41 - 95 % und in den Zooplanktonfängen um 24.00 und 4.00 Uhr wurden adulte Weibchen dieser Art identifiziert. In diesem Tiefenhorizont wurde in einigen Fängen nur noch *P. elongatus* in größeren Mengen gezählt (Abb. 50).

Die Auswertung der Proben der Zooplanktonfänge liefert im Gegensatz zu den Untersuchungen 1993 Hinweise auf eine diurnale Vertikalwanderung von *T. longicornis*, *C. hamatus* und den Copepodidstadien von *P. elongatus* (Abb. 50).

3.4.5 Vergleich der Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt der häufigsten Copepoden und in der Wassersäule

Aufgrund der unter Punkt 3.4.4 beschriebenen Zooplanktonverteilung wurden die Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa*, *T. longicornis* und in den Copepodidstadien von *P. elongatus* (CV und CII - IV) während der fünftägigen Drift bestimmt. Eine detaillierte Übersicht der jeweiligen Markerpigmentkonzentrationen in den untersuchten Individuen ist der Tabelle 28 zu entnehmen. Das Markerpigment der Cyanobakterien (Zeaxanthin) wurde im Gegensatz zu den Untersuchungen 1993 in hohen Konzentrationen im Magen-Darmtrakt der Tiere detektiert (Tab. 28). Die Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* und *T. longicornis* zeigten um 0.00 und 4.00 Uhr im Mittel die höchsten Pigmentkonzentrationen. Die geringsten Markerpigmentkonzentrationen wurden am frühen Nachmittag (12.00 und 16.00 Uhr) gemessen (Tab. 29).

Die prozentuale Verteilung der Pigmente im Magen-Darmtrakt der untersuchten Copepoden stimmte 1994 mit der Pigmentverteilung in der Wassersäule besser überein als 1993. Die in der Wassersäule dominanten Cyanobakterien stellten 1994 einen wichtigen Bestandteil der

Tabelle 28: Chl.a- und Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von adulten *A. bifilosa* (n = 25), *Temora longicornis* (n = 15), *Pseudocalanus elongatus* (CV und CII - CIV, n = 10) während der 5-tägigen Drift 1994. Die Abkürzungen der Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Stationen	Markerpigmente (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±
<i>Acartia bifilosa</i>	0,34	12 %	0,27	22 %	0,02	48 %	0,04	16 %	0,02	23 %	0,03	16 %	0,10	18 %
<i>Temora longicornis</i>	0,41	14 %	0,31	17 %	0,01	16 %	0,05	14 %	0,02	18 %	0,02	21 %	0,09	23 %
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (CV)	0,44	10 %	0,42	43 %	0,01	24 %	0,04	16 %	0,02	5 %	0,04	19 %	0,14	5 %
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (CII - CIV)	0,30	13 %	0,25	29 %	0,02	53 %	0,04	20 %	0,02	13 %	0,04	24 %	0,13	36 %

Tabelle 29: Chl.a- und Markerpigment-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* und *Temora longicornis*. Die Probenahme erfolgte in vier Stundenintervallen an der ersten Driftstation 749 in der Gotlandsee 1994 (n = 5; ± STABW). Die Abkürzungen der Markerpigmente sind in der Tabelle A im Anhang erläutert.

Uhrzeit der Probenahme	<i>Acartia bifilosa</i> (ng * Ind. ⁻¹)													
	Chl.a	±	Zea.	±	Fuco.	±	Peri.	±	Allo.	±	Prasi.	±	19-Hexa.	±
8	0,27	5%	0,23	31%	0,02	18%	0,02	17%	0,02	48%	0,01	25%	0,10	19%
12	0,24	9%	0,25	20%	0,02	31%	0,04	9%	0,03	21%	0,02	33%	0,07	8%
16	0,21	15%	0,27	34%	0,01	15%	0,04	30%	0,02	18%	0,03	34%	0,07	4%
20	0,35	10%	0,29	20%	0,02	6%	0,04	37%	0,02	35%	0,03	20%	0,09	8%
24	0,47	4%	0,37	8%	0,02	13%	0,06	21%	0,04	8%	0,03	10%	0,13	2%
4	0,41	8%	0,38	16%	0,02	20%	0,06	20%	0,04	22%	0,04	3%	0,12	3%
	<i>Temora longicornis</i> (ng * Ind. ⁻¹)													
8	0,31	13%	0,26	14%	0,02	13%	0,04	20%	0,02	30%	0,03	19%	0,07	11%
12	0,25	11%	0,27	22%	0,02	7%	0,05	28%	0,01	24%	0,02	18%	0,07	9%
16	0,31	7%	0,26	25%	0,01	27%	0,05	29%	0,03	24%	0,02	32%	0,08	13%
20	0,39	10%	0,31	9%	0,02	18%	0,07	13%	0,04	16%	0,03	35%	0,12	3%
24	0,52	9%	0,37	11%	0,01	3%	0,08	14%	0,04	8%	0,03	13%	0,13	7%
4	0,50	15%	0,40	10%	0,02	13%	0,08	6%	0,06	12%	0,05	4%	0,14	3%

aufgenommenen Nahrung dar. Gegenüber den prozentualen Anteilen in der Wassersäule lagen die Pigmente der übrigen Phytoplankter im Magen-Darmtrakt der Copepoden um einen Faktor von 10 angereichert vor (Abb. 51). Die relativ hohe Aufnahme der Cyanobakterien durch die untersuchten Copepoden steht im Gegensatz zu den Untersuchungen 1993 (siehe Abb. 41).

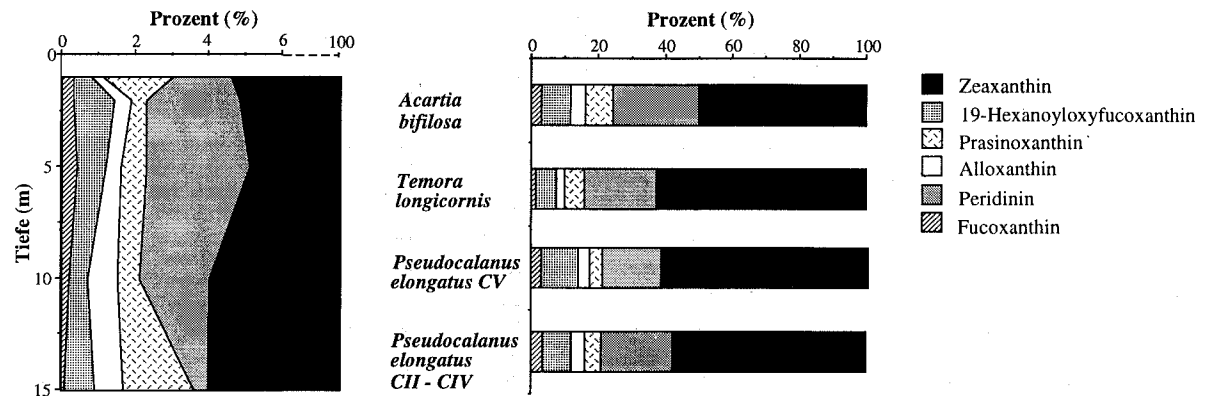


Abbildung 51: Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Markerpigmente in der Wassersäule (links) und im Magen-Darmtrakt der dominanten Copepoden (rechts) während des 5-tägigen Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994.

3.4.6 $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenwerte des suspendierten Materials aus der Wassersäule und der dominanten Copepoden

Die Isotopenwerte von $\delta^{15}\text{N}$ der dominanten calanoiden Copepoden (*A. bifilosa*, *T. longicornis*, *P. elongatus* CII - IV und CV) liegen im Mittel zwischen 7,4 ‰. Das Isotopensignal des suspendierten Materials besitzt für den Tiefenhorizont 0 - 15 m einen mittleren Wert von 1,5 ‰ ($n = 15$) und die isolierten diazotrophen Cyanobakterien einen Mittelwert von $0,45 \text{ ‰} \pm 0,09 \text{ ‰}$ ($n = 15$, Abb. oben).

Zur Berechnung der prozentualen Häufigkeiten der Cyanobakterien an der Phytoplanktonbiomasse sowie deren Anteil an der assimilierten Nahrung der untersuchten Copepoden mußte das $\delta^{15}\text{N}$ -Signal des restlichen Phytoplanktons ermittelt werden (siehe 2.9.1). In diese Berechnung gingen folgende Mittelwerte ein: Das $\delta^{15}\text{N}$ -Signal des suspendierten Materials (5 m: $1,1 \pm 0,1 \text{ ‰}$; 10 m: $2,4 \pm 0,9 \text{ ‰}$, 15 m: $1,10 \pm 0,2 \text{ ‰}$) und der indirekt bestimmte PON-Gehalt der Cyanobakterien, des restlichen Phytoplanktons und deren Summe (= PON-Gehalt der gesamten Phytoplanktongemeinschaft) in 5, 10 sowie 15 m (Tab. 27, Ber.3). Die indirekte Bestimmung der PON-Äquivalente der Cyanobakterien und des übrigen Phytoplanktons anhand der C-Äquivalente (Tab. 27, Ber.3) erfolgte mit dem Faktor von 6,6 für das Verhältnis C : N (Redfield, 1963). Für das übrige Phytoplankton wurde somit aus den drei Tiefen ein mittleres Isotopensignal von $6,3 \pm 0,9 \text{ ‰}$ berechnet.

Somit ergibt sich anhand der des $\delta^{15}\text{N}$ -Signals der isolierten Cyanobakterien von 0,45 ‰ und des restlichen Phytoplanktons von 6,3 ‰ ein 82 ‰iger Anteil der Cyanobakterien an der Phytoplanktonbiomasse (Abb. 52 unten). Der relative Anteil der Cyanobakterien an der assimilierten Nahrung der untersuchten Copepoden lag zwischen 42 ‰ und 60 ‰ (Abb. 52 unten). Dies steht im Einklang zu den Pigmentuntersuchungen in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* (vergl. Abb. 51). Im Vergleich zu den Untersuchungen 1993 in der Gotlandsee war der Anteil der aufgenommenen Cyanobakterien während des Driftexperimentes 1994 wesentlich höher (siehe 3.3.6).

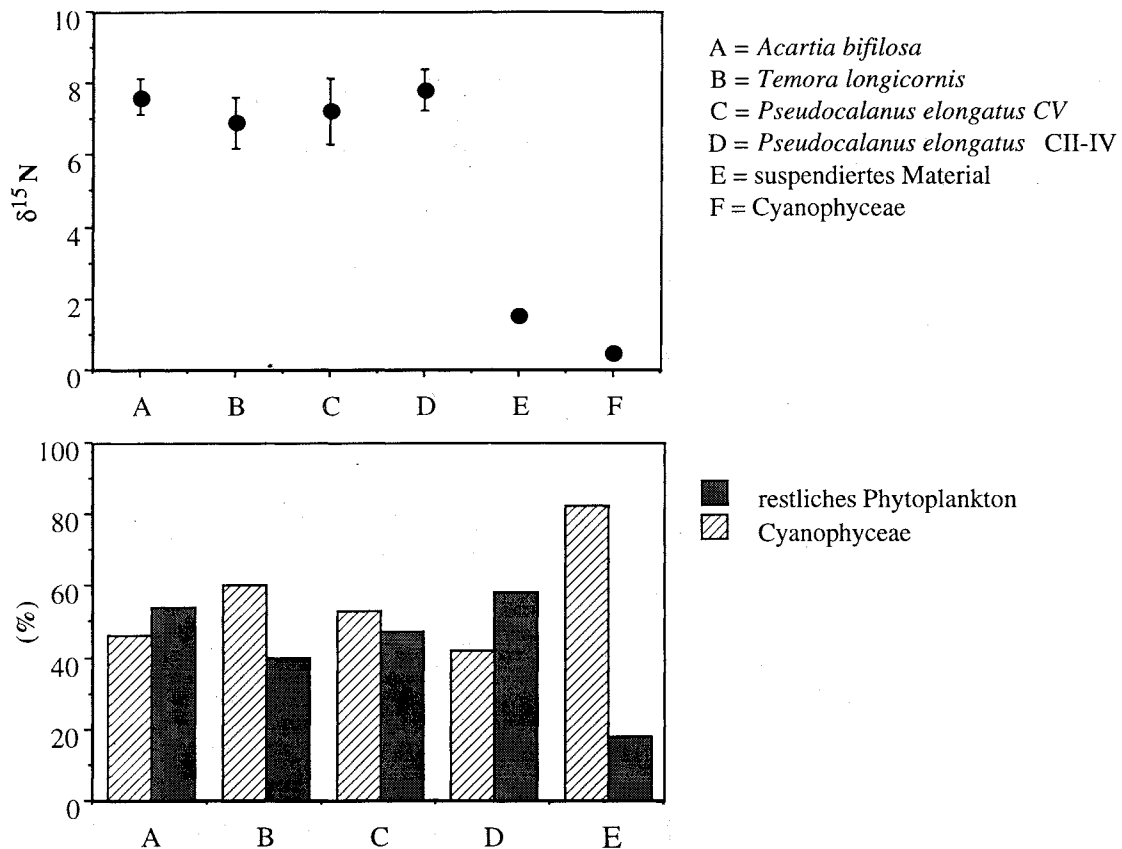


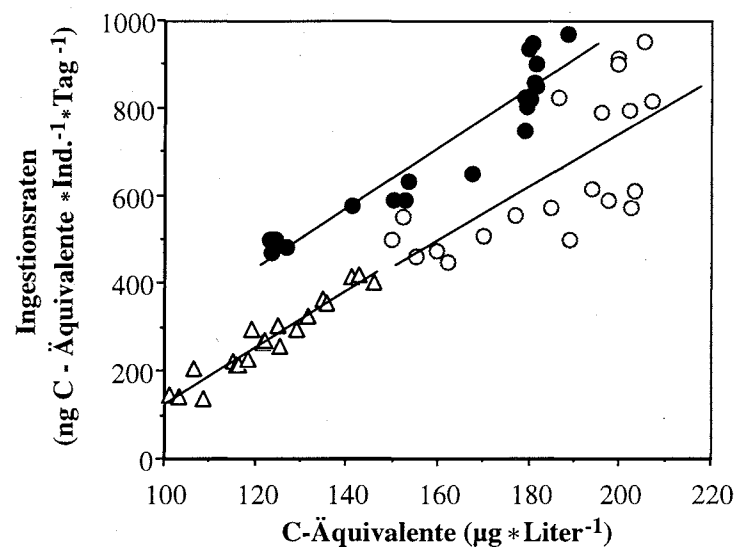
Abbildung 52: Oben: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der dominanten Copepoden, des suspendierten Materials sowie der isolierten Cyanobakterien. Unten: Darstellung der sich aus den oben angeführten Daten ergebenden prozentualen Verteilung der Cyanobakterien und der übrigen Phytoplankter an der assimilierten Nahrung der Copepoden sowie der Anteil der Cyanobakterien am suspendierten Material in der Wassersäule während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994 in der durchmischten Schicht (0 - 15 m).

3.4.7 Freßexperimente mit *Acartia bifilosa*

Die Ingestionsraten wurden über die Zellzählungen, die Messungen der Markerpigment- sowie der Chlorophyll-Konzentrationen des Inkubationswassers bestimmt und nach den in

dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsformen in C-Äquivalente umgerechnet Ber.1, Ber.3 und Ber.4; vergl. 2.10).

Die Beziehung der mittleren Algenkonzentrationen des Inkubationswassers (ausgedrückt in C-Äquivalenten) und der Ingestionsraten, die anhand Ber.1, Ber.3 und Ber.4 ermittelt wurden, ergibt für alle drei methodischen Ansätze eine signifikant positive Korrelation (Abb. 53). Die geringsten Ingestionsraten wurden mit der Ber.1 bestimmt (siehe Tab. 30). Sie lagen zwischen 158 und 371 ng C * Ind.⁻¹ * Tag⁻¹, was 11 - 20 % des Körperkohlenstoffes (% CK) von *A. bifilosa* entspricht. Nach der Ber.3 wurden 488 - 914 ng C * Ind.⁻¹ * Tag⁻¹ (23 - 51 % CK) und nach Ber.4 472 - 891 ng C * Ind.⁻¹ * Tag⁻¹ (23 - 49 % CK) ingestiert.



- | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| △ Ber.1 = Zählungen | $y = - 523,37 + 6,50x$ | $r = 0,966; p < 0,001$ |
| ● Ber.3 = Markerpigmente | $y = - 377,58 + 6,79x$ | $r = 0,947; p < 0,001$ |
| ○ Ber.4 = Chl.a | $y = - 465,15 + 6,04x$ | $r = 0,708; p < 0,001$ |

Abbildung 53: Beziehung zwischen der mittleren Algenkonzentrationen in den Versuchsgefäßen und den Ingestionsraten (in C-Äquivalente), die im 5-tägigen Driftverlauf in der Gotlandsee 1994 ermittelt wurden.

Die Beziehung der mittleren Algenkonzentration der jeweiligen Phytoplanktonklassen in den Inkubationsgefäßen und den taxonspezifischen Ingestionsraten (Abb. 54) zeigt für alle Phytoplanktongruppen eine positive signifikante Korrelation. Die Nahrungsaufnahme steigt proportional zum Nahrungsangebot an. Es ergaben sich jedoch nach der Ber.1 geringere Ingestionsraten im Vergleich zur Ber.3. Nimmt man die Steigung der Regressionsgleichungen als ein Maß für ein selektives Freßverhalten, so wurden nach Ber.1 die Prymnesiophyceae als Nahrung bevorzugt, hingegen nach Ber.3 die Crypto-, Prasino- und Prymnesiophyceae (Abb. 54). Nach Ber.1 betrug der Anteil der aufgenommenen Cyanobakterien 24 % der täglich ingestierten Kohlenstoffmenge, entsprechend 4 % CK von *A. bifilosa*. Nach Ber. 3 erreichten

die Cyanobakterien 20 % der aufgenommenen Phytoplanktonmenge. Dies sind 11 % C_K der Copepoden (Tab. 31), da die absolute Ingestionsrate nach dieser Berechnungsgrundlage wesentlich höher ausfällt (vergl. Tab. 30). Die erhöhte Aufnahme der Cyanobakterien steht im Einklang mit den Ergebnissen der Pigmentmessungen im Magen-Darmtrakt sowie denen der Isotopenmessungen (vergl. 3.4.5 und 3.4.6), jedoch im Gegensatz zu den Untersuchungen 1993 (vergl. Tab. 24).

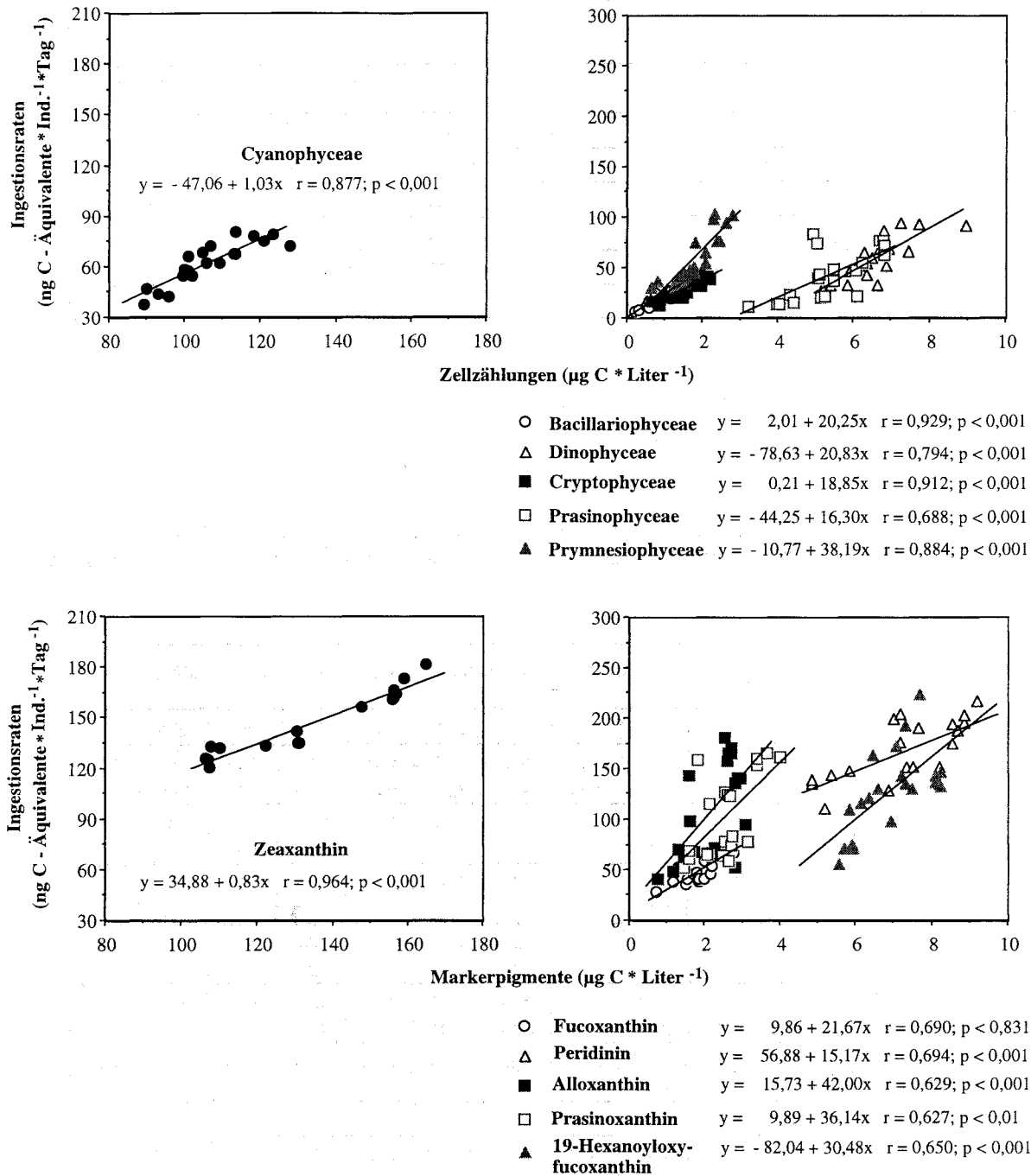


Abbildung 54: Beziehung zwischen den mittleren Konzentrationen der jeweiligen Algen- oder Markerpigmente (in C-Äquivalente nach Ber.1 oben und Ber.3 unten) und den taxonspezifischen Ingestionsraten während des Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994.

Tabelle 30: Individuenspezifische Trockengewichte (TG), Kohlenstoffgehalt (C) und Stickstoff (N), (n = 5; pro Probe 120 Tiere) und Ingestionsraten von *A. bifilosa* (n = 4) während des 5-tägigen Driftexperimentes in der Gotlandsee 1994. Die Ingestionsraten wurden anhand der in dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsformen in C-Äquivalente umgerechnet (Ber.1: aus Zellzählungen; Ber.3: aus Markerpigment-Konzentrationen; Ber.4: aus Chl.a-Konzentrationen; vergl. 2.10).

Stationen	<i>Acartia bifilosa</i>						Ingestionsraten (ng C * Ind. ⁻¹ * Tag ⁻¹)					
	TG (µg)	±	C (µg)	±	N (µg)	±	Ber.1	±	Ber.3	±	Ber.4	±
749	2,94	0,07	1,82	0,05	0,36	0,02	219	8	601	33	543	45
750	3,10	0,11	2,08	0,02	0,25	0,02	297	24	488	14	472	22
351	2,92	0,03	1,81	0,05	0,31	0,05	371	59	914	76	891	67
352	2,49	0,05	1,48	0,03	0,29	0,02	158	32	832	65	761	101
353	2,97	0,09	1,96	0,03	0,30	0,03	323	72	701	167	575	28

Tabelle 31: Taxon-spezifische Ingestionsraten in % des Körperkohlenstoff-Gehaltes von *Acartia bifilosa*, ermittelt anhand der Zellzählungen (Ber.1, oben) und der Markerpigmente (Ber.3, unten; n = 4).

Phytoplanktongruppen, Markerpigmente	Ingestionsrate in % des Körperkohlenstoffes von <i>Acartia bifilosa</i>									
	749	±	750	±	351	±	352	±	353	±
Cyanophyceae Zeaxanthin	3,09	0,11	3,30	0,12	4,33	0,13	2,88	0,25	3,38	0,25
	7,68	0,61	6,14	0,28	9,37	0,43	10,99	0,10	7,66	1,09
Bacillariophyceae, Fucoxanthin	1,00	0,06	1,15	0,14	1,56	0,38	0,59	0,14	1,22	0,46
	2,57	0,25	1,86	0,10	3,78	0,29	3,88	0,63	2,45	0,91
Dinophyceae, Peridinin	2,88	0,29	3,27	0,11	3,91	1,59	3,03	1,87	3,56	1,35
	7,85	0,65	6,49	0,80	10,69	0,70	12,69	1,96	9,18	1,40
Cryptophyceae, Alloxanthin	1,21	0,14	1,80	0,16	1,97	0,37	1,02	0,10	1,59	0,44
	4,00	1,13	2,62	0,57	7,64	1,95	11,13	0,35	5,14	2,47
Prasinophyceae, Prasincoxanthin	1,19	0,04	2,92	0,59	3,25	1,10	0,94	0,14	3,03	1,09
	4,32	0,19	3,04	0,16	8,86	0,26	8,01	2,49	4,61	1,88
Prymnesiophyceae, 19-Hexanoyloxy- fucoxanthin	2,68	0,20	1,85	0,32	5,46	0,22	2,24	0,18	3,70	0,27
	6,58	0,48	3,32	0,40	10,17	1,88	9,54	0,39	6,72	1,37
Summe	12,06	0,42	14,30	1,18	20,47	3,25	10,70	2,19	16,48	3,67
	33,01	1,83	23,47	0,67	50,51	4,18	56,24	4,37	35,76	8,54

4. Zusammenfassende Betrachtung sowie Diskussion der Ergebnisse aus der Pommernbucht und der Gotlandsee 1993/94

Die in dieser Arbeit angewendeten Methoden zur Bestimmung der Phytoplanktonzusammensetzung im Freiland und deren Nutzung für die Ernährung calanoider Copepoden in zwei unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee (Pommernbucht, Gotlandsee) bilden die Ausgangssituation für die Bestimmung der Ernährungsstrategie calanoider Copepoden.

Die im vorangegangenen Kapitel 3 dargestellten Einzelergebnisse der verschiedenen methodischen Ansätze und Berechnungsarten sollen im folgenden für die Phytoplankton- (4.1 und 4.2) und Zooplanktonverteilung (4.3) einer kritischen Bewertung unterzogen werden. Die Synthese aus Phytoplanktonverteilung und Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt der Copepoden in Kombination mit den Freßexperimenten ermöglicht die Bestimmung der Ernährungsstrategie der untersuchten Copepoden (4.4 und 4.5). Abschließend wird anhand der gewonnenen Ergebnisse sowie vorhandener Literaturdaten der Beitrag der calanoiden Copepoden zum Kohlenstofffluß für die Untersuchungszeiträume Juni/Juli bzw. September/Oktober in der Pommernbucht sowie für die Sommersituation in der Gotlandsee (Juni/Juli) abgeschätzt (4.6).

4.1 Phytoplanktonverteilung

Die Ergebnisse der Zellzählungen und der Pigmentmessungen in der Pommernbucht ergeben eine gute Übereinstimmung bei der Beurteilung der Phytoplanktonzusammensetzung und sind mit Untersuchungen im angrenzenden Greifswalder Bodden (Kell, 1989) und anderen Ästuarsystemen (z. B. Hudson River Ästuar, Bianchi et. al, 1993) vergleichbar. Nach der Definition von Liss (1976) sind die Vermischungsabläufe, wie sie in der Pommernbucht beobachtet wurden als konservativ zu bezeichnen. Im Verlauf der Vermischung zwischen dem Fluß- und dem Buchtenwasser, steigt der Salzgehalt kontinuierlich an (Siegel et. al, im Druck 1996), und die Chl.a-Konzentration (als Marker für die Phytoplanktonbiomasse) nimmt stetig ab. In bezug auf die Phytoplanktongemeinschaft hat die Abnahme der Biomasse keine eindeutige Änderung im Artenspektrum von limnischen (z. B. Chlorophyceae) zu marinen Formen (z. B. Cryptophyceae) zur Folge (Pollehne et al, 1996). Dies steht im Einklang mit Untersuchungen von Wasmund (1990) in der Darß-Zingster Boddenkette.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Phytoplanktonverteilungen und -zusammensetzungen in der Gotlandsee, die mittels Zellzählungen und Pigmentmessungen ermittelt wurden, entsprechen weitgehend den Untersuchungen, die im Rahmen des BEBOP-Projektes (Baltic

Extensive Blue-Green Operation) durchgeführt wurden (Petersen, 1991; Reckermann, 1991). Abweichungen wurden in dieser Arbeit für die Verteilung der Dinophyceae und Cryptophyceae mit ihrem gruppenspezifischen Pigmenten Peridinin und Alloxanthin festgestellt. Zur Verdeutlichung dieser Abweichungen wurden die artspezifischen Zählungen der Dino- und Cryptophyceae den dazugehörigen Markerpigmentdaten gegenübergestellt (Abb. 55). In beiden Untersuchungszeiträumen 1993/94 wurden die höchsten Alloxanthinkonzentrationen in den Tiefenstufen gemessen, in denen nach den Zählungen die Cryptophyceae nur in geringen Mengen oder gar nicht vorhanden waren (Tabelle B und C im Anhang). Eine Art, die in diesen Tiefen jedoch in hoher Abundanz auftrat, war der Dinoflagellat *Dinophysis norvegica*. Die Pigmentanalysen der aus dem Freiland isolierten *D. norvegica* haben gezeigt, daß diese Art im Gegensatz zu den meisten Dinophyceae Alloxanthin anstatt Peridinin als Markerpigment besitzt (Abb. 56). Dies erklärt die Diskrepanz zwischen Zellzählungen und Pigmentmessungen.

Die Pigmentzusammensetzung der übrigen in der Gotlandsee bestimmten Dinophyceae wurde anhand von Laborkulturen untersucht. Sie zeigten die typische Pigmentzusammensetzung der Dinophyceae mit dem Markerpigment Peridinin (siehe Abb. 7). Die für *D. norvegica* gefundene Abweichung in der Pigmentzusammensetzung ist von einigen weiteren Dinophyteen bekannt, die statt oder in Kombination mit Peridinin z. B. Fucoxanthin, 19-Hexanoyloxyfucoxanthin und/oder 19-Butanoyloxyfucoxanthin besitzen. Diese Abweichung im Pigmentbesteck einiger Dinophyceae wird als ein phylogenetisches Relikt interpretiert (zusammenfassende Literatur siehe bei Millie et al., 1993). In der Vergangenheit führten die Untersuchungen über die phylogenetische Herkunft der Chloroplasten bei der Gattung *Dinophysis* zu unterschiedlichsten Annahmen über deren Herkunft. Lessard und Swift (1986) berichten, daß *D. norvegica* bei einer Blaulicht-Anregung gelb-orange fluoresziert. Sie schließen daraus, daß die Chloroplasten von Cyanobakterien abstammen würden, die Phycoerythrobilin besaßen (Geider und Gunter, 1989). Schnepf und Elbrächter (1988) sowie Carpenter et al. (1995) sind jedoch der Ansicht, daß die Chloroplasten der Gattung *Dinophysis* aufgrund der Morphologie ihrer Thylakoide von Cryptophyteen abstammen müßten. Die Ergebnisse der Pigmentzusammensetzung von *D. norvegica* belegen die Vermutung von Schnepf und Elbrächter (1988) sowie Carpenter et al. (1995) und zeigen, daß die gruppenspezifischen Markerpigmente nicht für jede Art bzw. Gattung innerhalb der jeweiligen Phytoplanktonklasse ihre Gültigkeit besitzen.

Wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, ist die Bestimmung der Phytoplanktonzusammensetzung am besten durch eine Kombination der Pigmentanalytik mit mikroskopischen Zählungen zu erreichen, da beide Methoden für sich genommen in ihrer Aussagekraft eingeschränkt sind. Die Uthermöhlmethode weist erhebliche Unsicherheiten bei der Auszählung der Algenzellen auf. Bei den fädigen Cyanobakterien ist es oftmals schwierig, die Zellzahl

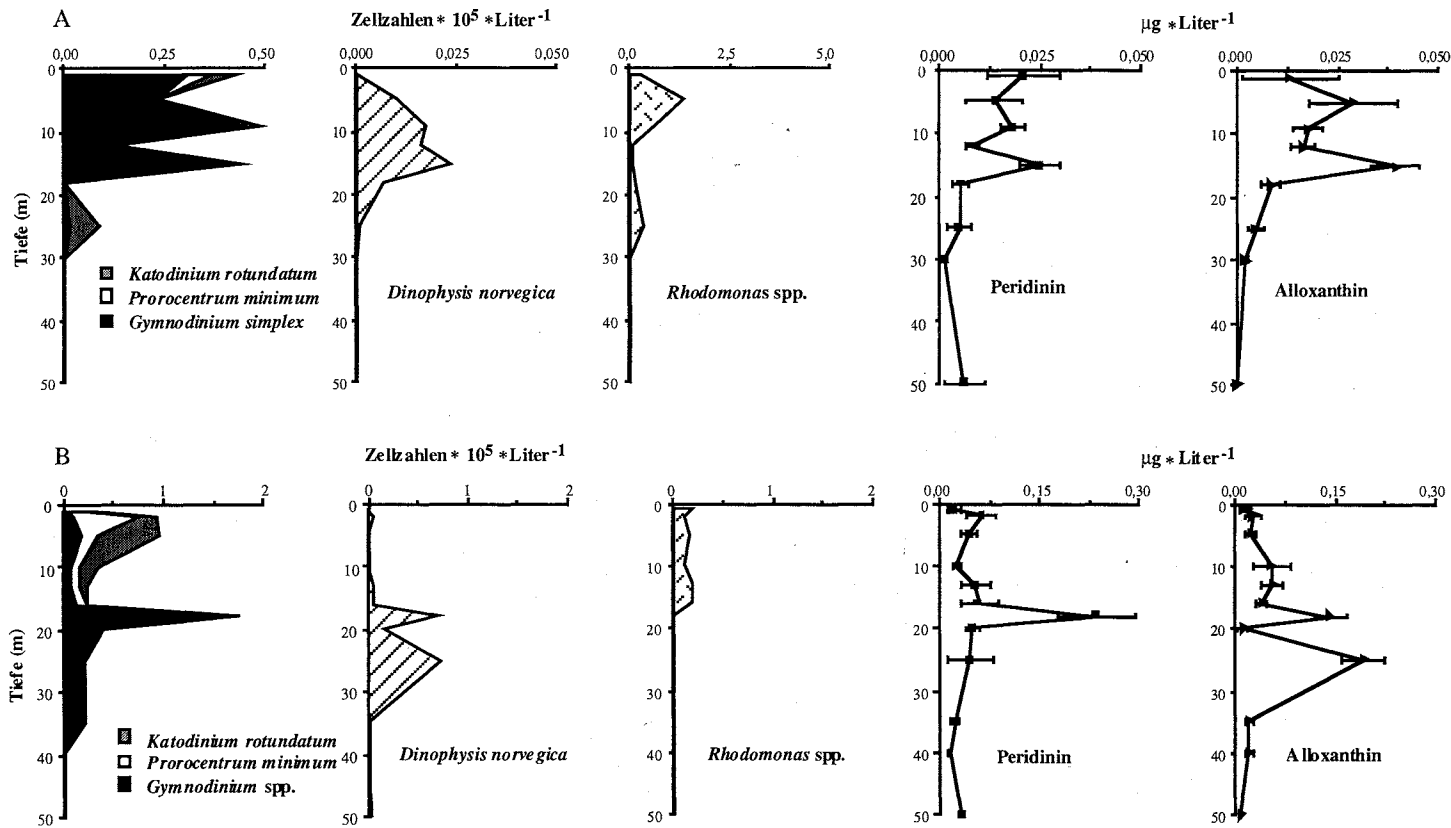


Abbildung 55: Vertikale Verteilung der mittleren Zellzählungen der während der jeweils 5-tägigen Untersuchungen 1993 (A) und 1994 (B) in der Gotlandsee vorkommenden Dinophyceae: *Katodinium rotundatum*, *Prorocentrum minimum*, *Gyrodinium simplex*, *Gyrodinium* spp. *Dinophysis norvegica* und Cryptophyceae: *Rhodomonas* spp. sowie die vertikale Verteilung der gruppenspezifischen Markerpigmente (Dinophyceae = Peridinin; Cryptophyceae = Alloxanthin). Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind den Tabellen (B und C) im Anhang zu entnehmen.

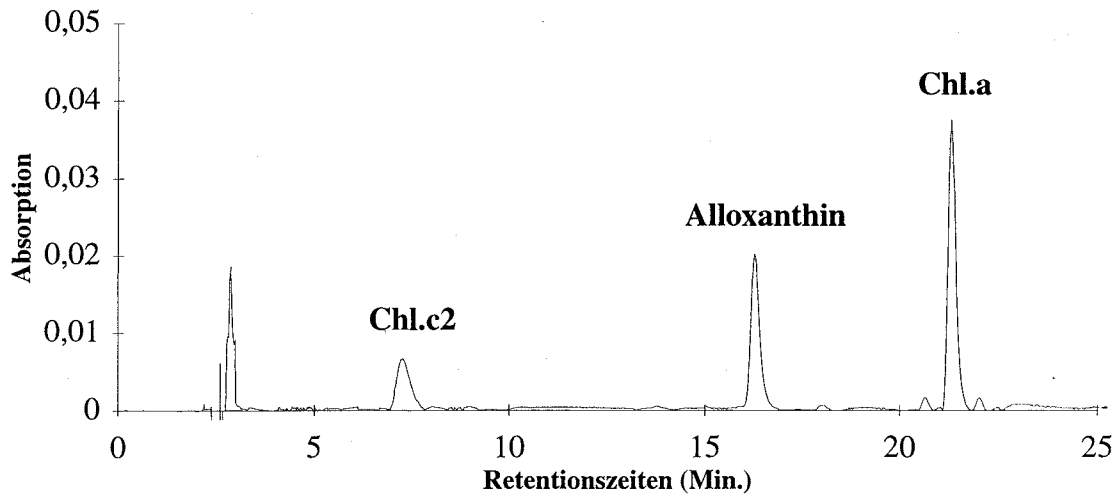


Abbildung 56: Chromatogramm der im Verlauf der Driftexperimente 1993/94 in der Gotlandsee isolierten *Dinophysis norvegica*.

pro Trichom zu erfassen, da die Abgrenzungen einer Zelle mikroskopisch kaum erkennbar sind (z. B. *Aphanizomenon flos-aqua*). Bei spiraligen Trichomen (z. B. *Nodularia spumigena*) ist nur eine Abschätzung der Trichomlänge möglich. Bei koloniebildenden Cyanobakterien (z. B. *Microcystis* spp., *Gomphosphaeria* spp., *Aphanothaece* spp.) beruht die Bestimmung der Zellzahl oftmals nur auf einer Abschätzung, da die Einzelzellen eine Größe von $< 3 \mu\text{m}$ besitzen und innerhalb der Kolonie räumlich angeordnet sind, so daß eine ständige Nachfokussierung bei der Auszählung erforderlich ist. Wenn Kolonien, die aus größeren coccalen Einzelzellen bestehen, zerfallen, so daß nur noch einzelne Zellen vorliegen (z. B. *Dyctiosphaerium* spp. = Chlorophyceae, *Merismopedia* spp. = Cyanobakterien), ist eine Zuordnung zu den jeweiligen Gruppen nur noch schwer möglich. In der Klasse der Crypto-, Prasino- und Prymnesiophyceae sind Formen bis zu $4 \mu\text{m}$ vertreten, deren genaue Identifizierung und Zuordnung zu den jeweiligen Klassen mit erheblichen Fehlern behaftet ist (Fogg, 1986; Meyerhöfer, 1994). Weitere Einschränkungen der Aussagegenauigkeit der Zellzählungen ergeben sich aufgrund der Fixierung, die zu Verlusten oder Deformierungen kleiner Phytoplankter führen (Booth, 1987; Gieskes und Kraay, 1983b). Bei einem hohen Detritusanteil und/oder einer Probe mit hohen Größenvariationen der Algen wird das Problem der Identifizierung und Zuordnung zu den jeweiligen Klassen noch größer (Tackx et al., 1995). Ein wesentlicher Kritikpunkt der Zellzählungen anhand der Utermöhlmethode ist die Abweichung der Ergebnisse der Zellzählungen sowie die Umrechnung in C-Äquivalente in Abhängigkeit vom jeweiligen Bearbeiter (Helcom Workshop, 1990; Millie et al., 1993).

Aufgrund der oben beschriebenen Probleme bei der Interpretation der Daten der Pigmentanalytik und denen der Zellzählungen sollte eine Erfassung des Phytoplanktonbestandes

anhand von Pigmentanalysen zumindest durch stichprobenartige Überprüfungen mittels mikroskopischer Zellzählungen ergänzt werden. Dieses ist auch für die folgende Betrachtung der Bestimmung des Anteils einzelner Phytoplanktongruppen an der Phytoplanktonbiomasse über ihre spezifischen Pigmente wichtig, da offensichtlich nicht in jedem Fall von einer konstanten Pigmentzusammensetzung in einzelnen Ordnungen und Klassen ausgegangen werden kann.

4.2 Kritische Betrachtung der in dieser Arbeit angewendeten Berechnungsformen für die Ermittlung der C-Äquivalente

Für den quantitativen Vergleich der Ergebnisse aus den Zellzählungen und den Pigmentmessungen (Ber.1 - 3) wurde in dieser Arbeit als gemeinsame Maßeinheit der C-Gehalt zugrunde gelegt (vergl. Punkt 2.8.3). Die Ber.1 beruht auf der Umrechnung der Zählraten und anhand Ber.2 und 3 werden die Markerpigmentkonzentrationen einerseits mit in der Literatur beschriebenen Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen und andererseits mit den in dieser Arbeit über multiple Regression ermittelten Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen zunächst in Chl.a-Äquivalente transformiert und durch anschließende Multiplikation mit einem Faktor von 70 für Dinophyceen und 50 für das restliche Phytoplankton in C-Äquivalente umgerechnet.

Bei einem Vergleich der C-Äquivalente der drei Berechnungsformen lagen die Konzentrationen der Ber.2 im Vergleich zu denen der Ber.1 und 3 deutlich höher. Eine weitgehend gute Übereinstimmung ergab sich sowohl in der Pommernbucht als auch in der Gotlandsee zwischen der Ber.1 und Ber.3.

Die Ursache der hohen C-Gehalte der Ber.2, resultiert aus den in diese Berechnung eingehenden Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen der jeweiligen Phytoplanktongruppen. Die Umrechnungsqualität der in dieser Arbeit verwendeten Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse (Literaturdaten und berechnete Faktoren) kann durch den Vergleich mit den gemessenen Chl.a-Konzentrationen in der Wassersäule bestimmt werden (Tab. 32). Bei einer Steigung von 1 stimmen die gemessenen mit den berechneten Chl.a-Konzentrationen überein, ist die Steigung > 1 sind die berechneten Werte größer bzw. bei einer Steigung < 1 kleiner als die gemessenen.

In beiden Untersuchungsgebieten ergab sich nach Ber.3, die auf den berechneten Chl.a/Markerpigmentverhältnissen beruht, eine weitgehende Übereinstimmung mit den real gemessenen Chl.a-Konzentrationen in der Wassersäule. Auch in den Freßexperimenten ergibt sich mit den für diese Versuche ermittelten Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen anhand Ber.3

Tabelle 32: Regressionsgleichungen der Beziehungen zwischen den in dieser Arbeit in der Wassersäule sowie in den Freßexperimenten gemessenen Chl.a-Konzentrationen und den anhand der Ber. 2 und 3 kalkulierten Chl.a-Äquivalenten. In der Pommernbucht resultiert die Anzahl der Proben (n) der Driftexperimente aus einem über die Wassersäule gewichteten Mittelwert und in der Gotlandsee gingen für die untersuchten Tiefenstufen die Mittelwerte der jeweiligen Driftexperimente in die Gegenüberstellung ein. Die Anzahl der Proben der Freßexperimente ergeben sich aus den Parallelmessungen (n = 4) pro Station (siehe: Kapitel 2.10) und der Anzahl der Driftstationen (Pommernbucht 6 Stationen und Gotlandsee 5 Stationen).

Driftexperimente	Ber.	Regressionsgleichungen	n
Pommernbucht 1993	2	$y = 7,76 + 2,11 x$ $r^2 = 0,880; p < 0,01$	9
	3	$y = 3,20 + 0,63 x$ $r^2 = 0,902; p < 0,001$	
Pommernbucht 1994	2	$y = 3,39 + 3,29 x$ $r^2 = 0,863 p < 0,05$	6
	3	$y = 0,26 + 0,99 x$ $r^2 = 0,928; p < 0,01$	
Gotlandsee 1993	2	$y = 0,54 + 6,09 x$ $r^2 = 0,975; p < 0,001$	9
	3	$y = 0,10 + 0,87 x$ $r^2 = 0,977 p < 0,001$	
Gotlandsee 1994	2	$y = -0,02 + 6,56 x$ $r^2 = 0,977; p < 0,001$	12
	3	$y = -0,11 + 1,10 x$ $r^2 = 0,982 p < 0,001$	
Freßexperimente			
Pommernbucht 1994	3	$y = 0,07 + 1,19 x$ $r^2 = 0,961; p < 0,001$	24
Gotlandsee 1993	3	$y = 0,23 + 0,93 x$ $r^2 = 0,907; p < 0,001$	20
Gotlandsee 1994	3	$y = -0,34 + 1,01 x$ $r^2 = 0,975; p < 0,001$	20

eine gute Übereinstimmung zwischen den kalkulierten Chl.a-Äquivalenten und den gemessenen Chl.a-Werten (Tab. 32). Die Ber.2, die auf Literaturdaten beruht, ergibt gegenüber den gemessenen Konzentrationen deutlich höhere Chl.a-Äquivalente (Tab. 32) und wurde daher für die Freßexperimente nicht mehr gesondert aufgeführt. Die unterschiedlich gute Übereinstimmung zwischen der Ber.3 und den gemessenen Chl.a-Werten während der Driftexperimente in der Pommernbucht 1993 und 1994 (Tab. 32) beruht auf dem Umstand, daß für die multiple Regression zur Berechnung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse aufgrund des geringen Datensatzes für die jeweiligen Untersuchungszeiträume die vorhandenen Daten gepoolt werden mußten. Die Abweichungen in der Umrechnungsqualität der Ber.3 beruhen auf unterschiedlich starken Vermischungsintensitäten des eingetragenen Oderwassers mit dem Buchtenwasser. Bei der Drift D2 1993 blieb die Schichtung weitgehend konstant (Abb. 11), so daß für die Berechnung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse die Messungen oberhalb und unterhalb der Sprungschicht separat in die Berechnung hätten eingehen müssen. Die gute Übereinstimmung der berechneten Chl.a-Äquivalente mit den gemessenen Chl.a-Konzentrationen des Driftexperimentes 1994 beruht auf der Tatsache, daß sich eine anfäng-

liche Sprungschicht während des Driftverlaufes rasch auflöste (Abb. 25) und somit die Algen einheitlich in der gesamten Wassersäule vermischt wurden.

Bei der Anwendung der in der Literatur beschriebenen Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Chl.a-Äquivalente, die alle auf Laborkulturen basieren, wird davon ausgegangen, daß unterschiedliche Lichtbedingungen zwar den Pigmentgehalt der Algen beeinflussen, jedoch nicht das Verhältnis von Chl.a zum jeweiligen Markerpigment (Vesk und Jeffrey, 1977; Kamiya und Miyachi, 1980; Jeffrey, 1984; Burkhill et al., 1987). Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, daß unterschiedliche Lichtbedingungen die Pigmentverhältnisse beeinflussen können (Johnsen et al., 1992; Johnson und Sakshaug, 1993; Latasa, 1995). Nach Latasa (1995) erhöht sich der Anteil der akzessorischen Pigmente Fucoxanthin und Peridinin im Vergleich zu Chl.a unter Schwachlichtbedingungen.

Diese Veränderung im Pigmentverhältnis bei wechselnden Lichtintensitäten wurde ebenfalls durch Untersuchungen von McManus (1995) in einem Ästuargebiet (Chesapeake Bay) bestätigt. In der Chesapeake Bay waren die Phytoplankter in der durchmischten Schicht (0 - 8 m) einem Lichtregime von $490 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ in 0,5 m Tiefe und $115 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ in 8 m Tiefe ausgesetzt. Eine Oberflächenprobe wurde für eine Zeitdauer von 24 Stunden im Labor inkubiert und mit $490 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$, der maximalen Lichtintensität die an der Wasseroberfläche gemessen wurde, bestrahlt. Nach 24stündiger Inkubation zeigte sich innerhalb der einzelnen Phytoplanktongruppen eine Veränderung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse gegenüber der Freilandpopulation. Bei wechselnden Lichtbedingungen sind die Algenzellen in der Lage, die Zusammensetzung ihrer Photosynthesepigmente innerhalb weniger Stunden zu verändern, um ihre Photosyntheseleistung zu optimieren (Falkowski, 1980).

Die Änderung der Pigmentverhältnisse durch wechselnde Lichtintensitäten wird durch die Untersuchungen in dieser Arbeit bestätigt. Die Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse, die einerseits integriert über die gesamte Wassersäule und andererseits bei den Freßexperimenten für eine konstante Wassertiefe ermittelt wurden, zeigen, daß aufgrund der unterschiedlichen Lichtbedingungen, die in der gesamten Wassersäule bzw. in einer konstanten Tiefe vorhanden waren, eine Verschiebung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse ausgelöst wurde (vergl. Tab. 2 und 3).

Der Einfluß des Faktors Licht auf die Phytoplankter wird nachfolgend für die Pommernbucht einer ausführlicheren Betrachtung unterzogen. In der Wassersäule wird durch die schnelle Vermischung von Fluß- und Buchtenwasser eine anfängliche Sprungschicht schnell aufgelöst (Abb. 11 D1; Abb. 25), so daß die Phytoplankter über die gesamte Wassersäule vermischt werden. Während des Driftverlaufes D1 in der Pommernbucht 1993 bewegten sich die Phyto-

planktonorganismen daher zwischen durchschnittlichen Lichtintensitäten von $430 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ an der Oberfläche bis $11 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ in 6 m Tiefe, während im Untersuchungszeitraum 1994 Lichtintensitäten von 1460 und $21 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ an der Wasseroberfläche bzw. in 6 m Tiefe gemessen wurden (Messungen 12.00 Uhr, Pollehne pers. Mitteilung). Die Algen in den Inkubationsgefäßen der Freßexperimente, die in einer konstanten Tiefe von 2 m für 24 Stunden gehältert wurden, waren 1993 einer maximalen Lichtintensität von $250 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ und 1994 von $600 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ ausgesetzt (Messung 12.00 Uhr, Pollehne pers. Mitteilung).

Die in der Gotlandsee festgestellten Abweichungen zwischen den Chl.a-Äquivalenten anhand Ber.2 und Ber.3 (Tab. 32) sind im wesentlichen auf die unterschiedlichen Chl.a/Zeaxanthin-Verhältnisse (das Markerpigment der Cyanobakterien) zurückzuführen (vergl. Tab. 2 und 3). Das Pigment Zeaxanthin hat die Funktion eines reinen Lichtschutzpigmentes (Kahna et al., 1988). Das bedeutet, daß bei hoher Lichtintensität das Chl.a/Zeaxanthin-Verhältnis sehr klein ist, da aufgrund der Schutzfunktion die Zeaxanthinkonzentration in den Cyanobakterienzellen ansteigt. Unter Schwachlichtbedingungen ist kein Schutz der Zelle notwendig und das Verhältnis wird größer. In der Gotlandsee, in der im Vergleich zur Pommernbucht stabile Schichtungsverhältnisse und hohe Lichtintensitäten vorhanden sind, beträgt die Lichtintensität in der durchmischten Schicht (0 - 15 m) an der Oberfläche $2000 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ und in 15 m Tiefe $50 \mu \text{ Einstein} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ (Messung 12.00 Uhr, Pollehne pers. Mitteilung). Die in dieser Arbeit in der Gotlandsee bestimmten Chl.a/Zeaxanthin-Verhältnisse von 0,5 - 0,6 (Tab. 3) stimmen mit den für ozeanische Gebiete mit vergleichbaren oder höheren Lichtintensitäten kalkulierten Chl.a/Zeaxanthin-Verhältnissen gut überein (Tab. 33). Das in der Ber.2 verwendete hohe Chl.a/Zeaxanthin-Verhältnis von 4,0 (Kahna, 1988; Meyerhöfer, 1994) führt zu einer Überschätzung der Chl.a-Äquivalente. Eine Erklärung für diese Abweichung in den Faktoren bietet die Interpretation, daß die Cyanobakterienkulturen sowohl bei Kahna (1988) als auch bei Meyerhöfer (1994) unter Schwachlichtbedingungen gehältert wurden, zumal in der Pommernbucht bei den dort vorherrschenden Lichtbedingungen, die als Schwachlichtbedingungen bezeichnet werden können (McManus, 1995), ein ähnlicher Wert von 3,1 errechnet wurde. Leider läßt sich diese Vermutung nicht anhand der Angaben in den Publikationen überprüfen, da die Beleuchtungsintensitäten nicht aufgeführt werden.

Alle für die Gotlandsee mittels multipler Regression berechneten Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse (Tab. 3) sind weitgehend mit Berechnungen aus verschiedenen ozeanischen Seegebieten vergleichbar (Tab. 33).

Die Abweichungen zwischen den C-Äquivalenten für die einzelnen Phytoplanktongruppen die sich aus den Zellzählungen (Ber.1 und der Ber.3) in der Pommernbucht und der Gotlandsee ergeben, beruhen weitgehend auf Unsicherheiten bei der Auszählung der Algen-

zellen. Die unter Punkt 4.1 diskutierten Schwierigkeiten bei den Zellzählungen gehen in die Umrechnung der Zählraten in C-Äquivalente ein und führen zu Diskrepanzen zwischen den C-Äquivalenten, die sich bei Ber.1 und Ber.3 ergeben. Als Resümee ergibt sich, daß die Ermittlung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse mittels multipler Regression eine gute Methode ist, um die durch wechselnde Lichtintensitäten resultierende Veränderung in der Pigmentzusammensetzung zu berücksichtigen. Es ist allerdings darauf zu achten, daß nur Algenpopulationen, die einem einheitlichen Lichtregime ausgesetzt sind, in die Berechnung eingehen. Hierzu ist auf jeweils ausreichende Probenmengen zu achten. Die Verwendung von Labordaten zur Umrechnung der Markerpigmentkonzentrationen in Chl.a-Äquivalente in Ästuargebieten mit variablen Lichtbedingungen durch horizontale und vertikale Vermischungsprozesse ist wenig ratsam.

Tabelle 33: Chl.a/Markerpigmentverhältnisse aus verschiedenen Untersuchungsgebieten, die mittels multipler Regressionsanalyse berechnet wurden.

Pigment	Chl.a/Markerpigment-Verhältnis	Untersuchungsgebiet	Quelle
Zeaxanthin	0,83	Mittelmeer	1
	0,69	Banda See (Indonesien)	4
Fucoxanthin	1,83	Mittelmeer	1
	1,34	Mittelmeer	2
	1,24	Nordöstlicher Atlantik	3
	1,72	Banda See (Indonesien)	4
	1,47	zentralen Nordsee	5
Peridinin	2,25	Mittelmeer	1
	2,79	Mittelmeer	2
	2,02	Nordöstlicher Atlantik	3
Alloxanthin	3,34	Mittelmeer	1
	3,60	Mittelmeer	2
	4,28	zentralen Nordsee	5
19-Hexanoyloxy-fucoxanthin	1,05	Mittelmeer	1
	1,14	Mittelmeer	2
	0,67	Nordöstlicher Atlantik	3
	0,73	Banda See (Indonesien)	4

Quellen: 1: Bustillos-Guzmán et al, 1995; 2: Barlow et al., 1995; 3: Barlow et al., 1993; 4: Gieskes et al., 1988; 5: Gieskes und Kraay, 1983

4.3 Zooplanktonverteilung

In den Küstenregionen sowie in den zentralen Bereichen der Ostsee bilden die calanoiden Copepoden über das Jahr gesehen die dominanten Vertreter des Mesozooplanktons. Ihr Anteil kann 80 - 90 % an der Biomasse sowie der Abundanz betragen (Wiktor, 1992; Postel, 1995). Zu den dominanten Arten in den Küstenregionen zählen *Acartia bifilosa*, *A. tonsa* (50 bis 90%iger Anteil) sowie *Temora longicornis* (10 bis 30 %iger Anteil; Wiktor, 1992). In den Untersuchungszeiträumen in der Pommernbucht stellten die Cladoceren, Rotatorien und Meroplankter den Hauptanteil des Mesozooplanktons. Die in dieser Arbeit beschriebenen Verteilungsmuster des Mesozooplanktons stimmen mit Untersuchungen von Postel (1995) in der Pommernbucht sowie von Brenning (1989) im angrenzenden Greifswalder Bodden überein. Des weiteren sind sie mit Untersuchungen in der Darß-Zingster Boddenkette (Heerkloss et al., 1984) sowie der Danziger Bucht vergleichbar (Wiktor, 1992).

Die jahreszeitlichen Verschiebungen in der Artenzusammensetzung sind auch in der zentralen Ostsee zu finden. Im Bereich von 0 - 10 m können im Mai die Rotatorien einen Anteil von 90% an der Trockenmasse einnehmen, die jedoch im Sommer durch die Cladoceren ersetzt werden (Postel, 1995). Zu den Hauptarten der calanoiden Copepoden in der Gotlandsee zählen: *Acartia* spp. und *Eurytemora affinis* in der durchmischten Schicht sowie *T. longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* und *Acartia* spp. im Winterwasser (damit ist der Tiefenhorizont zwischen thermischer und haliner Sprungschicht gemeint) und *P. elongatus* im salzreichen Tiefenwasser (Petersen, 1991; Postel, 1995, und diese Arbeit).

In den Untersuchungen in der Gotlandsee 1993 konnte wie auch in den Arbeiten von Petersen (1991) und Postel (1992) aufgrund der Probennahmestrategie keine Vertikalwanderungen für einzelne Zooplankter beschrieben werden. Die Untersuchungen 1994, in denen mit einer hohen zeitlichen Auflösung die Wassersäule beprobt wurde (alle 4 Stunden), ergab die Auswertung für die Arten *T. longicornis*, *P. elongatus* und *C. hamatus* ein Wanderverhalten im Abhängigkeit vom Tag-Nacht-Rhythmus. Dies bestätigt die Angaben von Stearns et al. (1989), nach denen für derartige Untersuchungen höchstens ein Zeitintervall von 3 bis 6 Stunden zwischen den einzelnen Probenahmen liegen darf. Ausgeprägte Vertikalwanderungen wurden von Tiselius (1988) für *T. longicornis* und von Russel und Young (1988) für *P. elongatus* nachgewiesen. In den genannten Arbeiten wurden wie in dieser Arbeit die höchsten Zooplanktondichten in dem obersten Tiefenhorizont von 0 bis 30 m in den späten Abend- und frühen Morgenstunden gezählt (ca. 5000 Ind. * m⁻³ im Gegensatz zu den Proben der Tagesfänge ca. 3000 m⁻³). Dieser Tag-Nacht-Rhythmus konnte auch durch die unterschiedlichen Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt von *T. longicornis* während der Untersuchungen 1994 bestätigt werden. Die höchsten Pigmentkonzentrationen wurden bei

dieser Art um 24.00 und 4.00 Uhr detektiert. Bei *A. bifilosa* konnte keine Vertikalwanderung anhand der ausgezählten Häufigkeiten beschrieben werden, jedoch zeigten die Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt das gleiche Muster wie bei *T. longicornis* (Tab. 29), hier war eventuell die Aufteilung der untersuchten Tiefenhorizonte zu grobmaschig. Burris (1980) stellte z. B. im Finnischen Golf innerhalb einer Wassersäule von 30 m eine Vertikalwanderung von *A. bifilosa* fest. Um 24.00 Uhr hatte *A. bifilosa* seine höchsten Abundanzen in der Wassertiefe des Chl.a-Maximums (15 m). Die im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* um 24.00 und 4.00 Uhr vorgefundenen hohen Pigmentkonzentrationen könnten daher auf eine Vertikalwanderung innerhalb der obersten 30 m zurückzuführen sein. Diese für die beiden untersuchten Arten beschriebenen Ergebnisse stehen im Einklang mit Literaturdaten (Tiselius, 1988; Petersen, 1991) für *Acartia* spp. und *T. longicornis* sowie für *A. tonsa* (Kleppel, 1988) und für zahlreiche andere Copepoden in anderen Seegebieten (Literaturübersicht siehe z. B. bei Peterson et al., 1990). Allerdings müssen Unterschiede im Pigmentgehalt im Magen-Darmtrakt nicht notwendigerweise auf Vertikalwanderungen beruhen, sondern können durch Tagesrhythmen in der Nahrungsaufnahme bedingt sein (Dagg und Grill, 1980; Head et al., 1985; Nicolajsen et al., 1983).

4.4 Ernährungsstrategien calanoider Copepoden in der Pommernbucht und der Gotlandsee

Die Untersuchungen in der **Pommernbucht** haben gezeigt, daß die Nahrungsaufnahme von *A. bifilosa* proportional zum Nahrungsangebot ansteigt. Die Beziehungen zwischen den Konzentrationen der Markerpigmente in der Wassersäule und den Pigmentgehalten im Magen-Darmtrakt der Untersuchungen 1993/94 sind hoch signifikant (Abb. 56). Ein Anstieg der Freßaktivität mit steigendem Futterangebot wurde ebenfalls für *A. bifilosa* im Gironde Ästuar (Irigoien et al., 1993), für *Acartia* spp. in der Oosterschelde (Tackx et al., 1990) sowie für *A. tonsa* in diversen Ästuargebieten beschrieben (Stearns et al., 1987; Turner, 1984; Turner und Tester, 1989; Tester und Turner, 1988; Richmann et al., 1977; Tackx et al., 1995). Die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse der Chl.a-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* und *A. tonsa* (Tab. 8,9 und 14,15) sowie die ermittelten Ingestionsraten von *A. bifilosa* (Tab. 16) stimmen weitgehend mit den Ergebnissen aus anderen Ästuargebieten überein (Tab. 34). Der Fraßdruck, unter dem hier das Verhältnis der aufgenommenen Nahrungsmenge zum vorhandenen Futterangebot verstanden wird, sinkt in der Pommernbucht mit zunehmender Nahrungskonzentration. Dieses Phänomen ist für Copepoden in Ästuargebieten sowie im Labor mit hohen Nahrungskonzentrationen typisch (siehe Kiørboe, 1985). In dieser Arbeit wurde für *A. bifilosa* und *A. tonsa* in der Pommernbucht ein selektives Freßverhalten zugunsten der Dino- und Cryptophyceae beschrieben, dies konnte jedoch nicht mit den Untersuchungen in Tab. 34 verglichen werden, da in allen Fällen keine taxon-spezifischen Ingestionsraten durchgeführt wurden. Dies trifft für die meisten Freilanduntersuchungen zu (siehe Kleppel, 1993). Es ist bekannt, daß vor allem in Auftriebsgebieten Diatomeen die Nah-

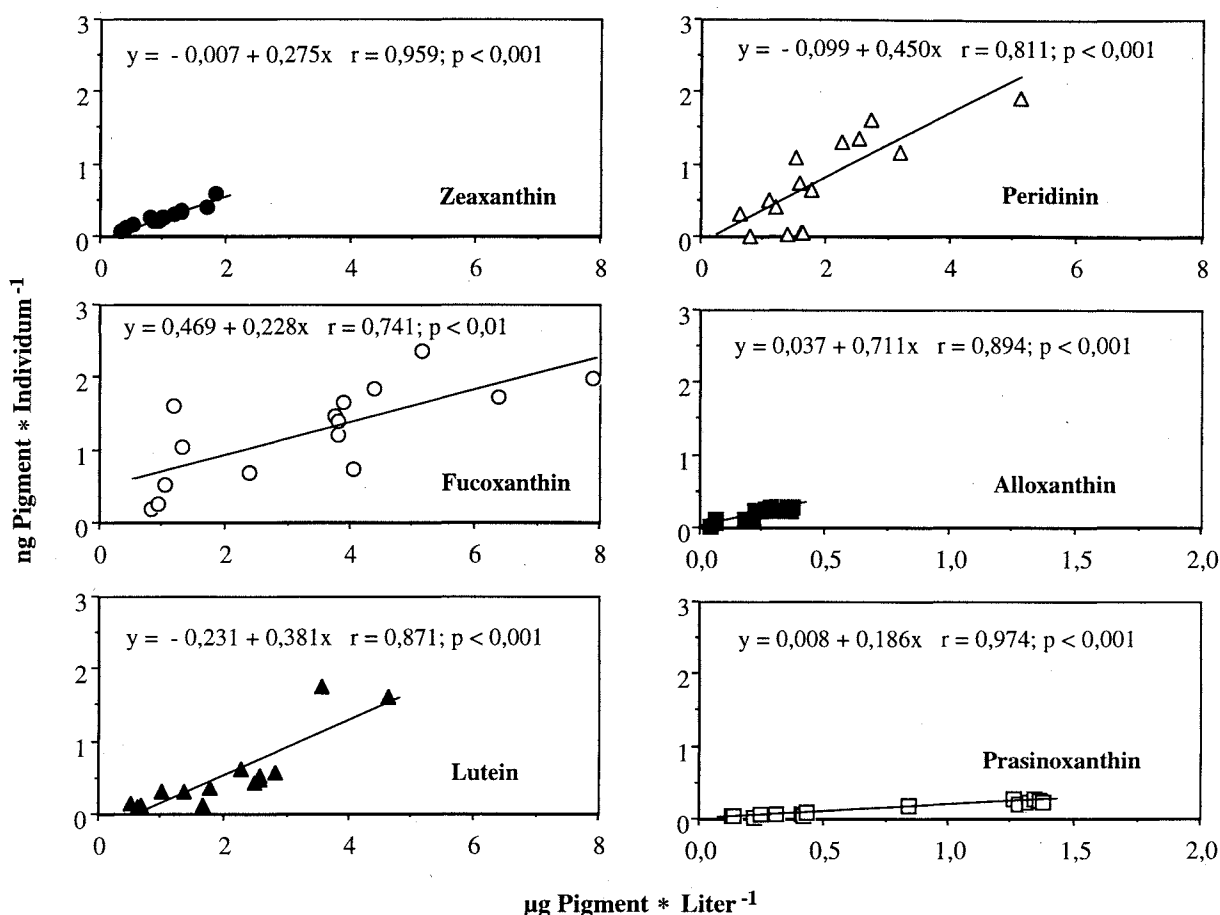


Abbildung 56: Beziehung zwischen den Markerpigmenten in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *Acartia bifilosa* während der Driftexperimente in der Pommernbucht 1993 und 1994. Die Pigmentkonzentrationen in der Wassersäule beruhen auf gewichteten Mittelwerten der Konzentrationen in den verschiedenen Tiefenstufen der Wassersäule an den einzelnen Driftstationen. Die Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt basieren auf Mittelwerten der Analysen an den einzelnen Driftstationen (STABW siehe Tab. 8 und 14).

rungsgrundlage für Copepoden bilden (Smith, 1982; Schnack und Elbrächter, 1982). Die Bedeutung der Dinoflagellaten als Nahrungsgrundlage für Copepoden ist schwierig zu spezifizieren und scheint zum einen bei den Copepoden von Art zu Art zu variieren und auch durch den physiologischen Zustand der Dinoflagellaten beeinflusst zu werden. Z. B. wurden in der Chesapeake Bay bei einer Dinoflagellatenblüte weniger als 5 % des Körperkohlenstoffes durch die aufgenommenen Dinoflagellaten gedeckt (Sellner und Olson, 1985). Im Gegensatz dazu waren in Los Angeles Harbour bis zu 60 % des aufgenommenen Körperkohlenstoffes auf die Ingestion von Dinoflagellaten zurückzuführen (Kleppel, 1992). Im Vergleich zu Diatomeen mit gleichen Volumina besitzen die Dinophyceae oftmals einen höheren Protein-, Lipid- und Kohlenhydratgehalt, so daß sie ein qualitativ hochwertiges Futter darstellen (Kleppel, 1993). Untersuchungen in der Pommernbucht zeigten während einer Blüte des Dinoflagellaten *Prorocentrum minimum* einen erheblichen Anstieg der Eiproduktion von *A. bifilosa* und *A. tonsa* (Schmidt pers. Mitteilung).

Generell kann während der Untersuchungen in der Pommernbucht 1993/94 aufgrund des geringen C/N-Verhältnisses von ca. 8 sowie des mittleren C/Chl.a-Verhältnisses von 32 nach Bianchi (1993) sowie Parson et al. (1984) auf eine rasch wachsende Phytoplanktongemeinschaft geschlossen werden, so daß davon ausgegangen werden kann, daß sich alle

Tabelle 34: Darstellung der Ingestionsraten und der Chl.a-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *Acartia* spp. in verschiedenen Ästuarsystemen in Abhängigkeit von der vorhandenen Phytoplanktonbiomasse.

Untersuchungs- gebiet	Phytopl. Biomasse	Copepoden- art	Chl.a-Konz. im Magen- Darmtrakt	Ingestionsraten		Quellen
				(ng C * Ind. ⁻¹ * Tag ⁻¹)	(% C)	
	(µg Chl.a * L ⁻¹)		(ng * Chl.a * Ind. ⁻¹)			
Gironde-Ästuar	1 - 7	<i>A. bifilosa</i>	0,1 - 0,9	133 - 545	7 - 27	1
Gironde-Ästuar	21	<i>A. bifilosa</i>		1256 - 1654	63 - 83	1
Newport-Ästuar	7 - 19	<i>A. tonsa</i>	0,5 - 1,5			2
Osterschelde	9 - 27	<i>Acartia</i> spp.			89 - 92	3
Mississippi- Delta	0,2 - 92	<i>A. tonsa</i>			1 - 150	4
Fourleague Bay	> 14	<i>A. tonsa</i>		630 - 2210	76 - 267	5

Quellen: 1: Irigoien et al., 1995; 2: Stearns et al., 1987; 3: Tackx et al., 1990; 4: Tester, 1988; Dagg, 1995.

Algengruppen in einen guten physiologischen Zustand befanden. In der Literatur wird angenommen, daß gerade unter solchen optimalen Futterangebotssituationen die Copepoden zu einer selektiven Nahrungsaufnahme übergehen (Cowles, 1979). Die Cyanobakterien, die im Verlauf der Driftexperimente vor allem durch koloniebildende Formen wie *Microcystis* spp. vertreten waren, wurden in der Pommernbucht kaum ingestiert, obwohl sie einen Großteil der Phytoplanktonbiomasse darstellten (im Mittel ca. 37 % 1993 und 25 % 1994). Dies stimmt mit Untersuchungen von Bianchi (1993) im Hudson-River-Ästuar überein, wo die dominante Art der Cyanobakterien (*Microcystis* spp.) nur wenig zur Nahrungsgrundlage der Copepoden beitrug.

In der Pommernbucht konnte das $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopensignal nicht für die Bestimmung des prozentualen Anteils der Cyanobakterien an der Nahrung der calanoiden Copepoden verwendet werden, da die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen in den Untersuchungszeiträumen für

das Wachstum der Phytoplankter keinen limitierenden Faktor darstellten (siehe Tab. 4 und 10). Die diazotrophen Cyanobakterien waren daher nicht auf die Fixierung von Luftstickstoff angewiesen und besaßen somit ein dem übrigen Phytoplankton entsprechendes $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopensignal. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnisse der Copepoden und des suspendierten Materials können als Indikator für den Vermischungsprozeß zwischen Oder- und Ostseewasser herangezogen werden, da nach Voss (pers. Mitteilung) die mit dem Flußwasser in die Pommernbucht gelangten Partikel mit 10 - 14 ‰ ein deutlich höheres $\delta^{15}\text{N}$ -Signal als die des Ostseewasser mit 3 - 10 ‰ besitzen. Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, daß sich die Isotopenverhältnisse in den Copepoden und dem suspendierten Material weitgehend entsprechen, so daß Rückschlüsse auf dem Driftverlauf möglich sind (siehe Abb. 32).

Die Ingestionsraten, die mittels Zellzählungen, Markerpigment- und Chl.a-Messungen bestimmt wurden, zeigen eine gute Übereinstimmung. Für eine Auswertung von Freßexperimenten empfiehlt es sich daher, zukünftig die Ingestionsraten auch anhand der Analyse von Markerpigmenten zu bestimmen. Diese Methode erlaubt eine taxon-spezifische Auswertung bei relativ geringem Zeitaufwand. Sie ist damit den anderen Methoden überlegen, die einerseits einen großen Zeitaufwand benötigen (Zellzählungen) und andererseits nur unspezifische Aussagen zur Nahrungsaufnahme ermöglichen (Chl.a-Messung).

In der **Gotlandsee** zeigte sich wie in der Pommernbucht im Verlauf der Untersuchungen 1993/94 eine Erhöhung der Ingestionsraten mit ansteigendem Nahrungsangebot (Abb. 57). Ausnahmen bildete jedoch das Markerpigment Zeaxanthin der Cyanobakterien 1993 und das Pigment Alloxanthin der Cryptophyceae, bedingt durch die Besonderheiten beim Dinoflagellaten *D. norvegica*. Die Abweichungen beim Anteil der Cyanobakterien an der Nahrungszusammensetzung der Copepoden zwischen den Untersuchungen 1993 und 1994 wird im Punkt 4.5 ausführlich diskutiert. Da *D. norvegica* wie die Cryptophyceae das Markerpigment Alloxanthin besitzt (siehe Punkt 4.1), mußten die Beziehungen zwischen dem Pigment in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa* getrennt für die Tiefenhorizonte 0 - 10 m und 10 - 15 m betrachtet werden, da *D. norvegica* in den Untersuchungszeiträumen 1993/94 in 10 - 15 m die höchste Dichten aufwies (siehe Abb. 57 und Tab. B und C im Anhang). In den obersten 10 m, in denen das Pigment Alloxanthin vor allem die Gruppe der Cryptophycean repräsentiert, ergibt sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Pigment in der Wassersäule und im Magen-Darmtrakt der Copepoden. In dem Tiefenhorizont 10 - 15 m konnte hingegen keine signifikante Beziehung zwischen den Alloxanthinkonzentrationen im Wasser und in den Tieren gefunden werden (Abb. 57). Die Ergebnisse lassen darauf schließen, daß *D. norvegica* von *A. bifilosa* nicht ingestiert wird. Diese Interpretation deckt sich mit den Beobachtungen von Pollinger (1989), nachdem hohe Populationsdichten von *D. norvegica* vor allem auf einen Mangel an Freßfeinden zurückzuführen ist.

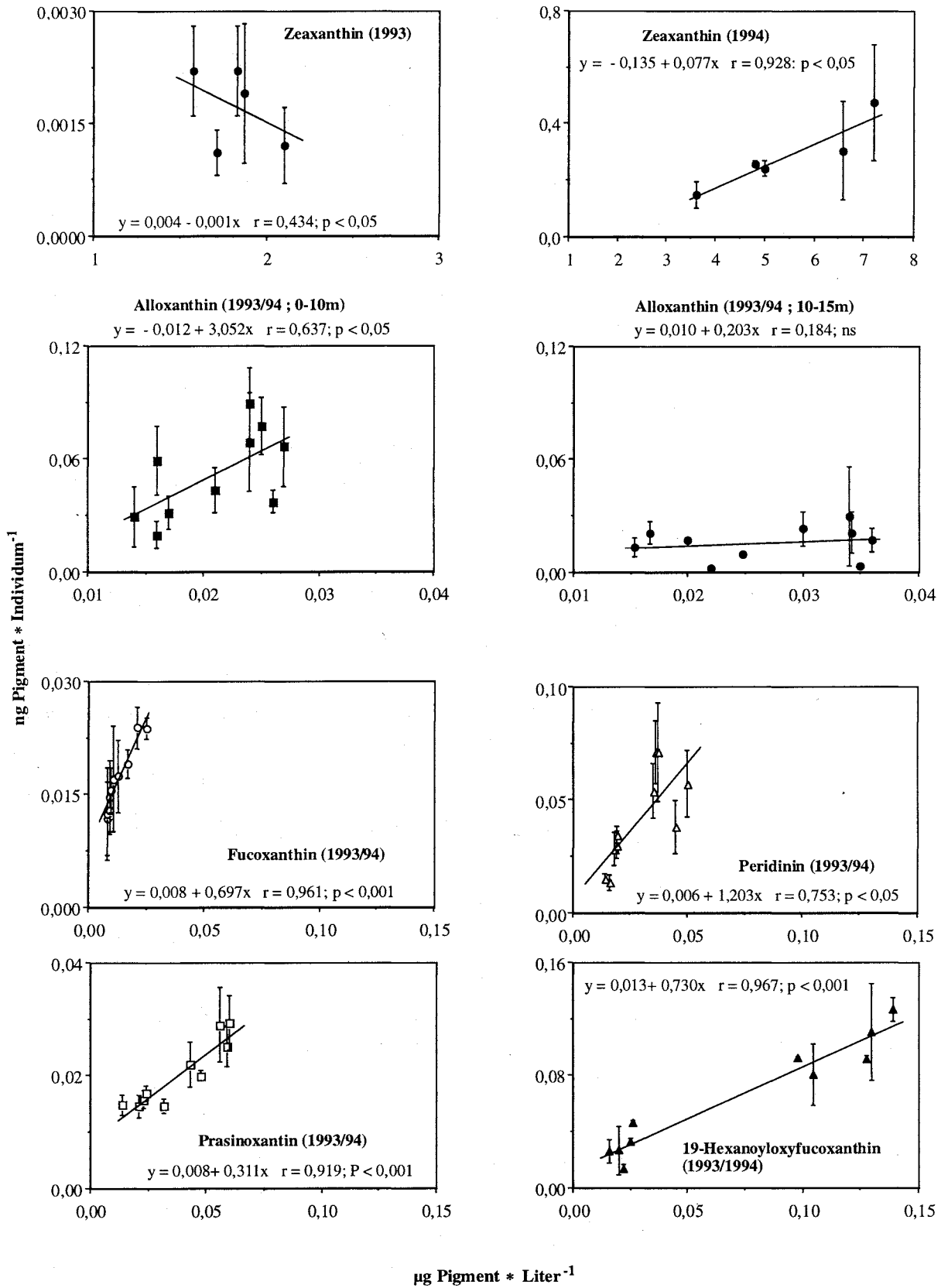


Abbildung 57: Beziehungen der über die durchmischte Schicht (0 - 15 m) gewichteten Mittelwerte der Pigmentkonzentrationen in der Wassersäule mit den Konzentrationen der jeweiligen Markerpigmente im Magen-Darmtrakt von *A. biflosa* im Driftverlauf 1993/94. (n = 40; Für jede Probe wurden 600 - 700 Individuen verwendet).

Die anhand der Markerpigmente ermittelten Ingestionsraten lagen für *A. bifilosa* 1993 bei maximal $241 \pm 50 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$, dies entspricht ca. 22 % ihres Körperkohlenstoffgehaltes. In den Untersuchungen 1994 wurden $914 \pm 76 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (51 % CK) aufgenommen. Diese Relation der aufgenommenen Nahrung zum Kohlenstoffgehalt der Tiere ist mit Ergebnissen aus gemäßigten Seegebieten vergleichbar, in denen ähnliche Nahrungskonzentrationen wie in der Gotlandsee vorliegen. In der Nordsee wurden für *A. clausii* sowie *P. elongatus* Ingestionsraten von 15 bis 54 % ihres Körperkohlenstoffgehaltes pro Tag (% CK $\cdot \text{Tag}^{-1}$) bestimmt (Weiße, 1983; Gamble, 1978). Poulet (1978) gibt für *Pseudocalanus* eine Ingestionsrate an, die über das Jahr gesehen zwischen 2,2 und 17,9 % CK $\cdot \text{Tag}^{-1}$ liegt. Dabei kann in Blütensituationen die Ingestionsrate bis auf 55% CK $\cdot \text{Tag}^{-1}$ ansteigen. Nicolajsen (1983) gibt für *P. elongatus* und *C. hamatus* aus dem Øresund bei einer Nahrungskonzentration von $2 \mu\text{g Chl.a} \cdot \text{L}^{-1}$ Ingestionsraten von $3 \text{ ng Chl.a} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ an.

Da in der Literatur die Chl.a-Konzentration häufig nur indirekt über die Darmfluoreszenz ermittelt wird, soll hier anhand eines Beispiels die Übertragbarkeit solcher Ergebnisse auf die in dieser Arbeit direkt gemessenen Chl.a-Konzentrationen überprüft werden. Die Untersuchungen von Tiselius (1988) ergaben bei einer Phytoplanktonbiomasse von $1,5 - 4 \mu\text{g Chl.a} \cdot \text{L}^{-1}$, in der kleine Phytoplankter von ca. $6 \mu\text{m}$ dominieren, für *P. elongatus* einen mittleren Wert von $0,36 \text{ ng Pigment} \cdot \text{Ind.}^{-1}$, für *Acartia* spp. $0,65 \text{ ng Pigment} \cdot \text{Ind.}^{-1}$, *T. longicornis* mit $1,50 \text{ ng Pigment} \cdot \text{Ind.}^{-1}$ und *A. tonsa* mit $0,5 - 0,80 \text{ ng Pigment} \cdot \text{Ind.}^{-1}$. Diese Werte liegen in vergleichbaren Größenordnungen wie die in dieser Arbeit beschriebenen Chl.a-Konzentrationen im Magen-Darmtrakt der untersuchten Copepoden in der Gotlandsee (*A. bifilosa*, *T. longicornis* sowie die Copepodidstadien von *P. elongatus* (CI-III und CV; vergl. Tab. 22, 28 und 29).

Bei einem Vergleich der taxon-spezifischen Ingestionsraten, die in der Gotlandsee und der Pommernbucht bestimmt wurden, zeigt sich, daß das Freßverhalten in beiden Seegebieten unterschiedlich war. In der Gotlandsee kann das Freßverhalten mit Ausnahme der Cyanobakterien als weitgehend opportunistisch eingestuft werden, das heißt, daß die Nahrungszusammensetzung weitgehend das Futterangebot widerspiegelt. In der Pommernbucht wurde dagegen ein stärkeres selektives Freßverhalten registriert. Diese Ergebnisse bestätigen die Aussage von Cowles (1979), nach der Copepoden eine selektive Nahrungsaufnahme erst betreiben wenn ausreichend Futter vorhanden ist (z. B. in Ästuarsystemen) und dieses Verhalten unterbinden wenn die Nahrung einen limitierenden Faktor darstellt (z. B. in oligotrophen Systemen). Freßversuche mit verschiedenen Copepoden (z. B. *Acartia clausii* und *T. longicornis*), denen unterschiedlich großen Nahrungspartikel aus dem Freiland angeboten wurden, haben gezeigt, daß sich die Copepoden in ihrer Nahrungsaufnahme der jeweils

dominanten Partikelgröße anpassen können (Poulet, 1978). Diese Untersuchungen decken sich mit den Ergebnissen in dieser Arbeit, die aufgezeigt haben, daß sich *A. bifilosa* der vorherrschenden Nahrungspartikelgröße des jeweiligen Seegebietes anpassen kann. So hatten z. B. in der Pommernbucht die vorherrschenden Nahrungspartikel eine Größe von 15 und 25 µm und in der Gotlandsee lagen sie mit Ausnahme der Cyanobakterien in der Größenordnung < 10 µm vor.

4.5 Bedeutung der Cyanobakterien als Nahrung für calanoide Copepoden in der Gotlandsee

Im Labor wurden zahlreiche Untersuchungen bezüglich einer direkten oder indirekten Beziehung zwischen Zooplanktonorganismen und Cyanobakterien durchgeführt (vergl. Literaturzitate bei Lampert 1987). Die meisten Autoren sehen in den Cyanobakterien kein geeignetes Futter für herbivore Zooplankter (Literaturübersicht bei Sellner et. al., 1994). Die anhand von Laboruntersuchungen ermittelten Ergebnisse haben gezeigt, daß der negative "Effekt" (d. h. schlechte Futterqualität) der Cyanobakterien für das Zooplankton nicht verallgemeinert werden kann. Die Verwertbarkeit der Cyanobakterien ist sowohl von der Zooplanktonart als auch vom jeweiligen Cyanobakterien-Stamm und dessen physiologischen Zustand abhängig (Lampert, 1987). Heerkloss et al. (1984) ermittelte für *A. tonsa* bei einem Nahrungsangebot an *Microcystis aeruginosa* eine Assimilationseffizienz von 50 bis 80 % und bei einem Futterangebot von *Oscillatoria redeckii* dagegen nur eine von 35 %.

Die höheren Ingestionsraten während der Untersuchungen 1994 gegenüber 1993 in der Gotlandsee ist vor allem auf die erhöhte Aufnahme von diazotrophen (stickstofffixierenden) Cyanobakterien und Bacillariophyceae (Verdopplung) sowie der Prymnesiophyceae (Verdreifachung) im Untersuchungszeitraum 1994 zurückzuführen. Betrachtet man die Beziehung der Konzentrationen der Cyanobakterien in der Wassersäule mit den Konzentrationen im Magen-Darmtrakt von *A. bifilosa*, so ergibt sich für die Driftexperimente 1993 eine signifikante negative, hingegen für 1994 eine signifikante positive Korrelation (Abb. 57). Diese Unterschiede in der Aufnahmerate der Cyanobakterien von *A. bifilosa*, *T. longicornis* sowie den Copepodidstadien von *P. elongatus* wurde durch die $\delta^{15}\text{N}$ -Analysen bestätigt und des weiteren anhand der Pigmentkonzentrationen im Magen-Darmtrakt der neben *A. bifilosa* untersuchten Copepoden. Für *A. bifilosa* konnte die unterschiedliche Nutzung der Cyanobakterien in den Jahren 1993/94 anhand der taxonspezifischen Ingestionsraten, die mittels Zellzählungen und Pigmentmessungen ermittelt wurden, gestützt werden.

Sellner (1994) gibt bei einer Cyanobakterienblüte von *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon flos-aqua* im Finnischen Golf für *A. bifilosa* eine maximale Ingestionsrate von $4,4 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.} \cdot \text{Tag}^{-1}$ an. Dies entspricht ca. 0,2 % des C_K-Gehaltes von *A. bifilosa*. Aufgrund dieser extrem geringen Ingestionsrate geht der Autor davon aus, daß die Cyanobakterien generell eine hemmende Wirkung auf die Ingestionsrate von *A. bifilosa* ausüben. Nach der Formel von Conover (1978), durch die der tägliche Bedarf für den Stoffumsatz eines Copepoden bestimmt werden kann ($2,02 \cdot W^{0,74}$, wobei $W = \mu\text{g C}$ des jeweiligen Copepoden darstellt) wird deutlich, daß in den Untersuchungen von Sellner (1994) die Individuen von *A. bifilosa* hungerten, da sie 5 % ihres C-Gehaltes hätten ingestieren müssen, um ihren Stoffumsatz zu decken. Die von Sellner gefundenen Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen der Untersuchungen 1993/94 in der Gotlandsee. Während der Untersuchungen 1993 wurde von *A. bifilosa* zwar weniger ingestiert als 1994 aber es war ausreichend, so daß die Tiere nicht hungerten. Die erhöhte Ingestion des übrigen Phytoplanktons bei ansteigendem Nahrungsangebot während der Untersuchungen 1993 belegt, daß die Cyanobakterien keine hemmende Wirkung auf die Ingestionsrate von *A. bifilosa* gehabt haben können. Die gute Ernährungssituation der Copepoden während der Untersuchungen 1994 wird durch die höheren Trockengewichte von *A. bifilosa* und die bei den Copepodidstadien (CV) von *Pseudocalanus* beobachteten Lipideinlagerungen gestützt. Besonders die Lipidreserven lassen darauf schließen, daß die gute Ernährungssituation schon einen längeren Zeitraum vor der Beprobung bestanden haben muß. Dies würde auch die zahlreichen jüngeren Copepodidstadien von *Pseudocalanus* (CII - CIV) während des Untersuchungszeitraums 1994 erklären. Da im Verlauf der Untersuchungen 1993/94 die gleichen Cyanobakterien dominierten (*Anabaena* spp. und *Aphanizomenon flos-aqua*) und 1994 nur in geringen Konzentrationen *Nodularia spumigena* vorhanden war, scheint die Ursache für die Unterschiede der Verwertbarkeit der Cyanobakterien eventuell im physiologischen Zustand der Cyanobakterienblüte zu liegen.

Im Verlauf der Untersuchungen 1994 war die Biomasse der Cyanobakterien und der Prymnesiophyceae ca. doppelt bzw. dreifach so hoch wie im Jahr zuvor. Die Situation der Nährstoffkonzentrationen zeigte, daß während der Untersuchungen 1994 im Gegensatz zu 1993 an einigen Stationen weder Nitrat noch Phosphat nachgewiesen werden konnte. Die Phaeophytin-a-Konzentrationen als ein Marker für Abbauprozesse (Jensen und Salshaug, 1973; Jeffrey, 1974) war 1993 wesentlich geringer als 1994. Die Untersuchungen 1993 deuten somit auf den Beginn einer Cyanobakterienblüte hin (Wachstumsphase), hingegen die Ergebnisse der Untersuchungen 1994 eher auf eine stationäre bzw. abbauende Phase schließen lassen. Weiterhin kann die erhöhte Bakterienzahl sowie -aktivität während der Untersuchungen 1994 (Jost, pers. Mitteilung) auf die stationäre bzw. Endphase einer Cyanobakterienblüte hindeuten (Hoppe, 1981). Nach Lindahl et al. (1978) wird in der Endphase einer Blüte von Cyanobakterien durch "DON-leaching" der durch N₂-Fixierung ge-

bundene Stickstoff der übrigen Phytoplanktongemeinschaft impulsartig zugänglich gemacht. Dies könnte eine der möglichen Ursachen für die höheren Zellzahlen besonders der kleinen Phytoplanktonorganismen (z. B. der Prymnesiophyceae) in der durchmischten Schicht sein. Die kleinen Phytoplankter können aufgrund ihres geringen Oberfläche/Volumen-Verhältnisses das DON schnell aufnehmen und umsetzen. Sahlsten und Sörensson (1989) fanden an der Thermokline in 15 m Tiefe die höchsten Aufnahmeraten von Nitrat und begründen dies mit einem höheren Angebot an Nitrat aus den tieferen Wasserschichten im Gegensatz zu der darüberliegenden Wassersäule. Dies könnte die hohe Abundanz der Prymnesiophyceae unterhalb der durchmischten Schicht erklären. Hoppe (1981) beschreibt mehrere Phasen einer *Nodularia*-Blüte. Die späteren Phasen sind gekennzeichnet durch eine ausgeprägte Aggregatbildung und eine sehr aktive mikroheterotrophe und autotrophe Gemeinschaft in diesen Aggregaten. Diese Beobachtung läßt auf einen durch "DON-leaching" der *Nodularia*-Zellen induzierten "microbial loop" schließen. Durch die Besiedlung der Cyanobakterien durch hetero- und autotrophe Mikroorganismen kann eventuell deren Aufnahme durch die Copepoden begünstigt werden.

Die Ingestionsraten der Cyanobakterien durch *A. bifilosa*, die über die Zellzählungen und Markerpigmentmessungen in den Freßexperimenten ermittelt wurden, standen 1993 im Widerspruch zu den Ingestionsraten, die anhand der Chl.a-Konzentrationen berechnet wurden. Die Aufnahmeraten anhand der Chl.a-Messungen nahmen mit steigender Biomasse ab, die mit den anderen Methoden ermittelten Raten hingegen zu. Anhand der taxonspezifischen Ingestionsraten ist zu erkennen, daß diese Unterschiede allein auf die Ingestion der Cyanobakterien und nicht auf die anderer Phytoplankter zurückzuführen waren. Der Anstieg in der Phytoplanktonbiomasse 1993 beruht im wesentlichen auf der Zunahme der Cyanobakterien, somit stellt der Summenparameter Chl.a kein repräsentatives Maß für das Nahrungsangebot da. Dies verdeutlicht, wie wichtig die taxon-spezifische Ingestionsraten sind, um genauere Aussagen bezüglich der Meidung und Bevorzugung einzelner Phytoplanktongruppen zu erhalten, da diese Ergebnisse in die Erstellung des C-Flusses mit eingehen. In der Tabelle 35 sind zur besseren Übersicht die prozentualen Anteile der Cyanobakterien in der Wassersäule sowie im Nahrungsspektrum der Copepoden, die sich anhand der verschiedenen Methoden ergeben, aufgeführt. Die Ergebnisse, die aus den Pigment- und Isotopenmessungen resultieren, zeigen eine weitgehende Übereinstimmung. Dies zeigt, daß die $\delta^{15}\text{N}$ -Analysen einen guten Tracer für die Aufnahme von diazotrophen Cyanobakterien durch calanoide Copepoden darstellen. Bisher ist nur für *Trichodesmium* ein spezifisches $\delta^{15}\text{N}$ -Signal beschrieben worden (Carpenter et al., 1996, im Druck). In der Gotlandsee geht man davon aus, daß durch die Erschöpfung des Nitrats in der photischen Zone, das einen Wert von 6 ‰ besitzt (Liu und Kaplan, 1989), dieses vollständig von den Phytoplanktern aufgenommen wurde, so daß sie ebenfalls ein $\delta^{15}\text{N}$ -Signal von 6 ‰ besitzen.

Diese Annahme wurde durch den in dieser Arbeit berechneten mittleren $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 6,3 ‰ für die Phytoplanktongemeinschaft unter Ausschluß der Cyanobakterien bestätigt.

Tabelle 35: Prozentualer Anteil der Cyanobakterien am gesamten Phytoplankton in der Wassersäule und an der aufgenommenen Nahrung der untersuchten Copepoden, berechnet anhand der Ergebnisse der Pigmentmessungen (Tab. 21 und 27; Ber.3) und denen der $\delta^{15}\text{N}$ -Analysen (Abb. 42 und 52). Die Ingestionsraten der Freßexperimente wurden separat für die Daten der Zellzählungen und der Pigmentmessungen berechnet.

Arten	Methoden					
	Pigmentmessungen		$\delta^{15}\text{N}$ -Analysen		Ingestionsraten der Freßexperimente	
	Wasser-säule	Copepoden	Wasser-säule	Copepoden	Zell-zählungen	Pigment-messungen
1993	84		70			
<i>A. bifilosa</i>		9		21	2,3	2,4
<i>T. longicornis</i>		8		15		
<i>P. elongatus</i> (CV)		8		17		
1994	90		82			
<i>A. bifilosa</i>		58		46	24	20
<i>T. longicornis</i>		62		60		
<i>P. elongatus</i> (CV)		63		53		
<i>P. elongatus</i> (<CV)		50		42		

4.6 Beitrag der calanoiden Copepoden zum Kohlenstofffluß in der Pommernbucht und der Gotlandsee

Nutzung der Primärproduktion durch adulte calanoide Copepoden

Die Primärproduktion in der **Pommernbucht** betrug während der Untersuchungszeiträume 1993/94 zwischen 100 und 400 mg C * m⁻³ * Tag⁻¹ (Pollehne, pers. Mitteilung). Die Anzahl der Copepoden variierte im Verlauf der Untersuchungen zwischen 2000 bis 5000 Individuen * m⁻³. Geht man von einer mittleren Primärproduktion von 250 mg C * m³ * Tag⁻¹ und einer mittleren Copepodendichte von 3500 Individuen * m⁻³ aus, so ergibt sich nach den in der Tabelle 16 berechneten Ingestionsraten (Ber.3) von 0,44 bis 0,84 µg C * Ind.⁻¹ * Tag⁻¹, daß 0,6 - 1,1 % der Primärproduktion von den Copepoden genutzt wird. Das bedeutet, daß minimal 1,54 und maximal 2,94 mg C * Tag⁻¹ von der Copepodenpopulation ingestiert werden.

Der geringe Prozentsatz, der an der Primärproduktion von den Copepoden in der Pommernbucht genutzt wird, ist mit Untersuchungen von Postel (pers. Mitteilung) in diesem Untersuchungsgebiet sowie mit Untersuchungen im Westerschelde-Ästuar (Escaravage und Soetaert, 1995) vergleichbar.

In der **Gotlandsee** betrug die Primärproduktion im Untersuchungszeitraum 1993/94 in der durchmischten Schicht (0 - 15 m) im Mittel $112 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (Pollehne, pers. Mitteilung) und die Anzahl der calanoiden Copepoden schwankte zwischen 3000 und 5000 Individuen $\cdot \text{m}^{-3}$ während des Beprobungszeitraumes. Nach den in dieser Arbeit berechneten Ingestionsraten ([Tab. 23, 1993 (Ber.3), und Tab. 30, 1994 (Ber.3)]) von 0,18 bis $0,24 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ für die Untersuchungen 1993 bzw. 0,49 - $0,91 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ während der Driftexperimente 1994 werden bei einer mittleren Individuendichte von 4000 Individuen $\cdot \text{m}^{-3}$ von den Copepoden 0,6 - 0,9 % (1993) bzw. 1,8 - 3,3 % (1994) der Primärproduktion ingestiert. Diese Werte entsprechen einer Ingestion von 0,72 bis $0,96 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ bzw. von 1,96 bis $3,64 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ während des Untersuchungszeitraumes 1993 bzw. 1994. Nach Petersen (1991) werden in den Sommermonaten in der Gotlandsee 3 - $4 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ von den calanoiden Copepoden ingestiert, was 2 - 3 % der Primärproduktion entspricht. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung zu den Untersuchungen in dieser Arbeit.

Kohlenstoffbilanz

Für die Erstellung einer Kohlenstoffbilanz muß neben der Ingestionsrate (siehe oben) das Wachstum und die Respiration sowie die Kotballenproduktion berechnet werden. Das Wachstum der Copepoden ist gleichzusetzen mit der Eiproduktion, da adulte Copepoden sich nicht mehr häuten. Die Eiproduktion ist nach Kiørboe (1985) direkt proportional der Ingestionsrate. Die Beziehung zwischen Ingestion (Ing.) und Eiproduktion (Prod.) läßt sich mit folgender Gleichung beschreiben: $\text{Prod.} = 0,36 \cdot \text{Ing.} + 0,10$. Geht man von der Annahme aus, daß der Anteil der Weibchen 50 % der Copepodenpopulation im natürlichen Biotop stellen (vergl. Abb. 28 für die Pommernbucht und Abb. 40 sowie Abb. 50 für die Gotlandsee), so ergibt sich in Abhängigkeit der für die Pommernbucht beschriebenen Ingestionsraten eine Eiproduktion zwischen $0,33$ und $0,58 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ (Abb. 59). Für die Berechnung der Respirationsleistung in der Pommernbucht wurden die von Schmidt (pers. Mitteilung) ermittelten Daten zugrunde gelegt. Die Respirationmessungen wurden von Frau Schmidt parallel zu den in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen durchgeführt. Der Sauerstoffverbrauch von *A. bifilosa* betrug im Mittel $0,6 \text{ } \mu\text{l O}_2 \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$. Die Umrechnung in C-Äquivalente wurden nach Parson et. al (1984) durchgeführt. Die Formel lautet: $\text{C-Äquivalent} (\mu\text{g}) = \mu\text{l O}_2 \cdot (12/22,4) \cdot \text{Ernährungssituation}$. Die Werte für die Ernährungssituation variieren nach Parson et. al (1984) zwischen 0,7 für Hungerbedingungen und 1,0 bei optimaler Ernährung. Kiørboe (1985) gibt bei durchschnittlichem Futterangebot einen Wert von 0,85 an. Das bedeutet, daß

in der Pommernbucht während des Untersuchungszeitraumes 1993/94 bei einem durchschnittlichen Futterangebot $0,96 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ sowie bei optimaler Ernährung $1,13 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ veratmet wurde (siehe Abb. 59). Die Exkretion (Kotballenproduktion) berechnet sich aus der Differenz von Ingestion und der Summe aus Eiproduktion und Respiration.

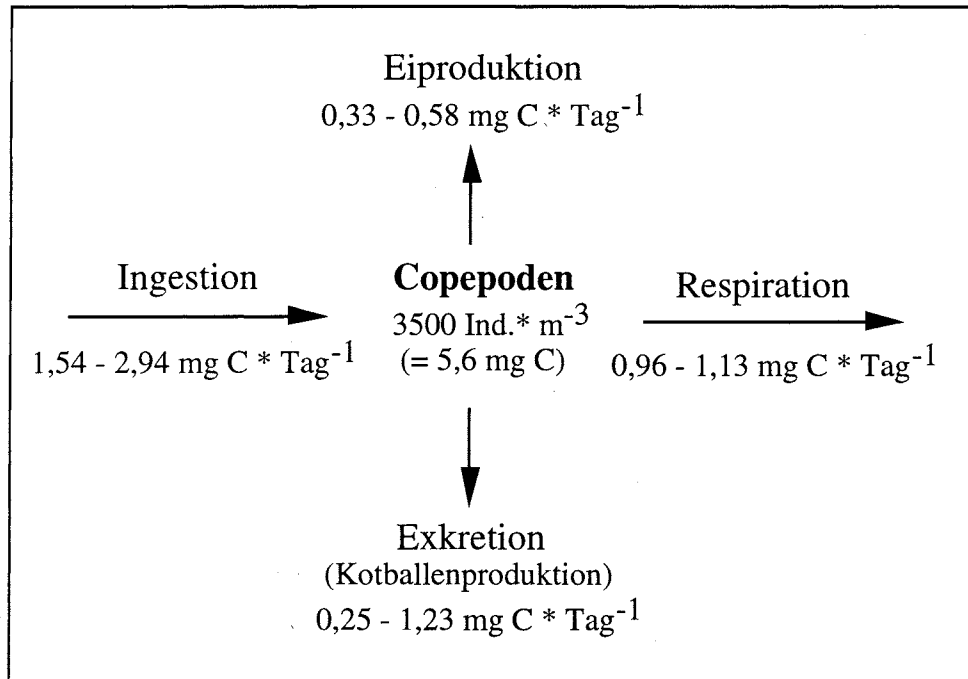


Abbildung 59: Darstellung der Kohlenstoffbilanz für die Pommernbucht.

Für die Gotlandsee ergeben sich nach den oben beschriebenen Berechnungsgrundlagen folgende Kohlenstoffbilanzen: Die Eiproduktion betrug 1993 $0,18 - 0,22 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ und 1994 $0,40 - 0,71 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ (Abb. 60). Für die Berechnung der Respirationleistung wurden Sauerstoffverbrauchswerte aus der Literatur verwendet, die anhand von Copepodengemeinschaften aus der durchmischten Schicht in der sommerlichen Gotlandsee ermittelt wurden. Des weiteren war das Nahrungsspektrum der Copepoden (Phytoplanktonzusammensetzung sowie -konzentration) mit den Ergebnissen in dieser Arbeit vergleichbar. So wurde für die Untersuchungen 1993 ein mittlerer Sauerstoffverbrauch von $0,29 \mu\text{l O}_2 \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (Weisse, 1985; Petersen, 1991) und für den Untersuchungszeitraum 1994 von $0,36 \mu\text{l O}_2 \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (Postel, 1992) zugrunde gelegt. Bei einem durchschnittlichen Nahrungsangebot werden im Verlauf der Untersuchungen 1993 $0,53 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ und 1994 $0,66 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ von den Copepoden veratmet (siehe Abb. 60). Auf die Exkretion (Kotballenproduktion) entfallen $0,01 - 0,21 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (1993) sowie $0,90 - 2,27 \text{ mg C} \cdot \text{Tag}^{-1}$ (1994).

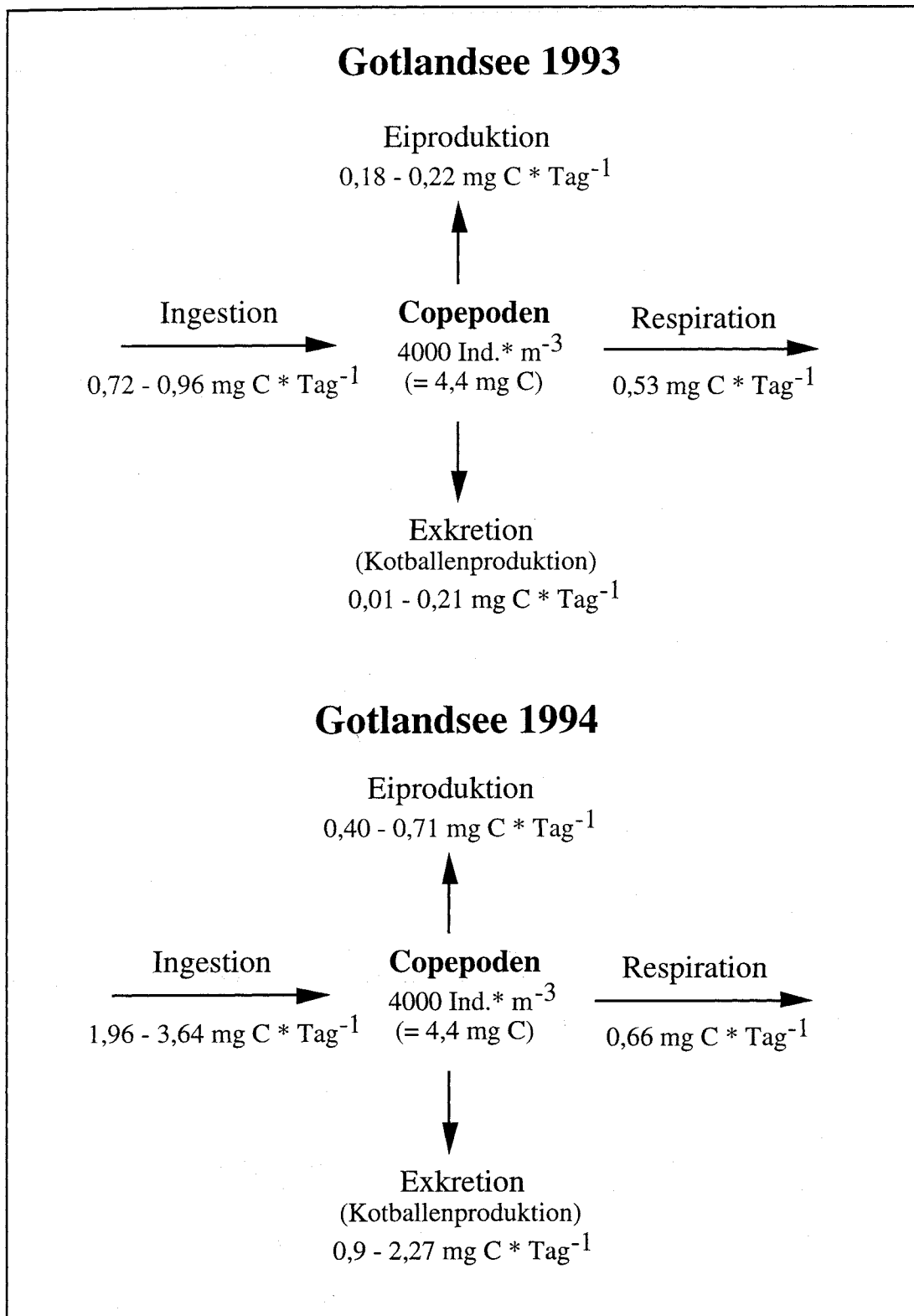


Abbildung 60: Darstellung der Kohlenstoffbilanz für die Gotlandsee.

Mit den oben genannten Kohlenstoffdaten für Respiration, Eiproduktion und Ingestion lassen sich drei Effizienzen berechnen (Tab. 36), mit denen die Umsetzung der aufgenommenen Nahrung quantifiziert werden kann. Es handelt sich dabei um:

1. Die Assimilationseffizienz: Sie berechnet sich bei den adulten Copepoden aus

$$\frac{\text{Respiration} + \text{Eiproduktion}}{\text{Ingestion}} * 100$$

Sie gibt den Anteil der aufgenommenen Kohlenstoffmenge an, die assimiliert wird.

2. Die Bruttowachstumseffizienz: Sie berechnet sich nach:

$$\frac{\text{Eiproduktion}}{\text{Ingestion}} * 100$$

Sie gibt denjenigen Teil der aufgenommenen Kohlenstoffmenge an, der in das Wachstum bzw. Eiproduktion investiert wird.

3. Die Nettowachstumseffizienz: Sie berechnet sich nach:

$$\frac{\text{Eiproduktion}}{\text{Eiproduktion} + \text{Respiration}} * 100$$

Sie gibt denjenigen Teil der assimilierten Kohlenstoffmenge an, der in das Wachstum bzw. Eiproduktion investiert wird.

Tabelle 36: Assimilations- und Wachstumseffizienzen der Copepoden in den beiden Untersuchungsgebieten.

Untersuchungsgebiet e	Ingestionsraten mg C * m ⁻³ * Tag ⁻¹	Assimilations- effizienz (%)	Bruttowachstums- effizienz (%)	Nettowachstums- effizienz (%)
Pommernbucht	1,54	84	21	26
	2,94	58	20	34
Gotlandsee 1993	0,72	99	25	25
	0,96	78	23	29
Gotlandsee 1994	1,96	54	20	38
	3,64	38	20	52

Die in diesem Kapitel ermittelten Assimilations- und Wachstumseffizienzen beschreiben die Futterverwertung eines Organismus unter bestimmten Umweltbedingungen; sie sind damit keine Konstanten. So kann die Assimilationseffizienz stark durch das Futterangebot und die -qualität beeinflusst werden, da z. B. Energiereserven unterschiedlich gut aufgeschlossen werden können und nicht jede Komponente gleichermaßen assimiliert werden kann (Corner und Davies, 1971).

Die Assimilationseffizienz für aquatische Crustaceen variiert zwischen 7 und 99 % (Conover, 1964; Corner und Cowey, 1968). In der Pommernbucht liegen die ermittelten Assimilationseffizienzen der Copepoden in vergleichbaren Größenordnungen wie die von Heerkloss et al. (1984) aus der Darß-Zingster-Boddenkette (40 - 90 %) und denen aus dem Westerschelde Ästuar (89 %, Escaravage und Soetaert, 1995). Die im Westerschelde Ästuar ermittelte Nettowachstumseffizienz von 38 % steht in guter Übereinstimmung zu den in der Pommernbucht bei optimalen Futterangebot ermittelten Werten (Tab. 36).

In Laboruntersuchungen ermittelte Kiørboe (1985) bei einer Futterkonzentration von $92 \mu\text{g C} \cdot \text{Liter}^{-1}$ eine Assimilationseffizienz von 84 % bzw. bei einem Nahrungsangebot von $367 \mu\text{g C} \cdot \text{Liter}^{-1}$ 55 %. Diese Konzentrationen des Phytoplanktonkohlenstoffes sowie die Assimilationseffizienzen sind mit den Berechnungen für die Gotlandsee vergleichbar. Die von Kiørboe (1985) bei diesen Futterkonzentrationen ermittelten Nettowachstumseffizienzen von 49 bzw. 41 % liegen im Vergleich zu den für die Gotlandsee bestimmten Werten weitgehend höher (Tab. 36).

Bei einem hohen Futterangebot wird die angebotene Nahrung zunehmend unökonomischer genutzt, was sich in niedrigen Assimilationseffizienzen ausdrückt (Conover, 1978). Diese Abhängigkeit zwischen der Nahrungskonzentration und den Assimilationseffizienzen zeigt sich anhand der ermittelten Daten aus den unterschiedlich trophierten Untersuchungsgebieten Pommernbucht und Gotlandsee (Tab. 36). Die Temperatur hat nach Mullin und Brooks (1970) keinen offensichtlichen Einfluß auf die Assimilationseffizienzen. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium mit ihren spezifischen Nahrungsansprüchen zeigen die Assimilationseffizienzen eine hohe Variationsbreite (Conover 1978). Dies zeigt, wie wichtig die art- und entwicklungsspezifische Bearbeitung von Planktonproben für die Analyse der Stoffflüsse innerhalb der pelagischen Nahrungsnetze ist.

5. Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, die Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in unterschiedlich trophierten Seegebieten in den Sommer- bis frühen Herbstmonaten der Ostsee zu untersuchen. Die Untersuchungsgebiete waren aufgrund der vorhandenen Phytoplanktonbiomasse zum einen die eutrophe bis hypertrophe Pommernbucht und zum anderen die oligotroph bis mesotrophe Gotlandsee. Das Hauptziel in der Pommernbucht war die Erfassung der Veränderung der Phytoplanktongemeinschaft während des Vermischungsprozesses eines aus der Oder austretenden Wasserkörpers mit dem Buchtenwasser. Es sollte festgestellt werden, inwieweit die Freßaktivität der calanoiden Copepoden durch diese Prozesse beeinflusst wird. Im Gegensatz zur Pommernbucht zeichnet sich die Gotlandsee in den Sommermonaten aufgrund der stabilen Schichtung des Wasserkörpers durch oligotrophe Nährstoffverhältnisse in der durchmischten Schicht und eine geringe Phytoplanktonbiomasse aus. Die Phytoplanktongemeinschaft in der Gotlandsee setzt sich im Vergleich zur Pommernbucht aus kleinen Formen ($\leq 10 \mu\text{m}$) sowie diazotrophen Cyanobakterien zusammen. Das Hauptziel in der Gotlandsee war die Beantwortung der Frage, inwieweit die stickstofffixierenden Cyanobakterien und die kleinen Phytoplanktonformen als Nahrung von den Copepoden genutzt werden. In beiden Untersuchungsgebieten wurde anhand der gewonnenen Ergebnisse der Beitrag der calanoiden Copepoden zum Kohlenstofffluß abgeschätzt.

Die Probenaufarbeitung erfolgte vergleichend mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen. Die Analytik umfaßte die Messung von Markerpigmenten (HPLC), Zellzählungen mittels der Utermöhlmethode, Zooplanktonzählungen und die Bestimmung von $\delta^{15}\text{N}$. Im Gegensatz zur sonst üblichen Methode wurden die Zooplankter nicht nur nach Größenfraktionen getrennt, sondern nach Arten und Entwicklungsstadien isoliert in die Experimente eingesetzt. Die Experimente wurden alle mit natürlichen Phytoplanktonkonzentrationen und -zusammensetzungen durchgeführt. *Acartia bifilosa* trat in beiden Systemen auf und erlaubte somit direkte Vergleiche zwischen den beiden unterschiedlich trophierten Seegebieten Pommernbucht und Gotlandsee.

Die Phytoplanktonzusammensetzung und somit die potentielle Nahrung der Copepoden in der Wassersäule wurde parallel anhand von Markerpigmenten sowie Zellzählungen bestimmt. Durch die Pigmentanalyse der Magen-Darm-Inhalte konnte das Nahrungsspektrum der Copepoden ermittelt werden. Anhand ergänzender Freßexperimente, die mit *A. bifilosa* durchgeführt wurden, war eine umfassendere Interpretation der Ergebnisse der Freilandanalysen möglich. Die Freßexperimente wurden parallel anhand von Markerpigmentmessungen und Zellzählungen ausgewertet. Die Bestimmung der Aufnahme von Cyanobakterien durch die Copepoden wurde durch die $\delta^{15}\text{N}$ -Analytik ergänzt. Diese Methode erlaubt die Differenzierung zwischen den aufgenommenen Cyanobakterien und dem restlichen Phyto-

plankton. Des weiteren wurden für eine Vergleichbarkeit die Ergebnisse der Zellzählungen und der Pigmentmessungen in C-Äquivalente umgerechnet, wobei die Umrechnung der Pigmentdaten anhand von Chl.a/Markerpigmentverhältnissen aus der Literatur sowie mittels der in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnisse anhand der multipler Regressionsanalyse erfolgte.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Pommernbucht sowie der Gotlandsee zeigen die calanoiden Copepoden eine unterschiedliche Ernährungsstrategie. In der Pommernbucht fand bei einer durchschnittlichen Phytoplanktonbiomasse von $400 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ ein selektives Freßverhalten zugunsten der Crypto- und Dinophyceae statt. In der Gotlandsee bei einer mittleren Biomasse von $120 \mu\text{g C} \cdot \text{L}^{-1}$ kann die Nahrungsaufnahme der Copepoden mit Ausnahme der Ingestion von Cyanobakterien als weitgehend opportunistisch eingestuft werden, das heißt, daß die Nahrungszusammensetzung weitgehend dem des Futterangebotes entspricht. Die anhand der Pigmentmessungen ermittelten maximalen Ingestionsraten lagen in der Pommernbucht bei $844 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$, dies entspricht 71 % ihres Körperkohlenstoff-Gehaltes. In der Gotlandsee wurden von *A. bifilosa* 1993 $241 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ hingegen 1994 $914 \text{ ng C} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ingestiert. Diese Werte entsprechen 22 bzw. 51 % ihres Körperkohlenstoffes. Es zeigte sich anhand der Assimilationseffizienzen, daß bei hohen Ingestionsraten die aufgenommene Nahrung zunehmend unökonomischer genutzt wird. In der Pommernbucht sowie in der Gotlandsee 1994 liegt die Assimilationseffizienz bei 58 % bzw. 46 %. In der Gotlandsee 1993 wurden bei einem suboptimalen Futterangebot höhere Assimilationseffizienzen ermittelt (89 %).
- Die vorwiegend koloniebildenden Cyanobakterien in der Pommernbucht wurden nur in geringen Umfang von den Copepoden aufgenommen. In der Gotlandsee werden die diazotrophen Cyanobakterien dagegen vermutlich in Abhängigkeit ihres physiologischen Zustands ingestiert. Es ist davon auszugehen, daß am Anfang einer Cyanobakterien Blüte diese kaum aufgenommen werden (2 % der Cyanobakterienbiomasse, Gotlandsee 1993). In der stationären bzw. abbauenden Phase einer Blüte nimmt die Ingestion durch die Copepoden jedoch erheblich zu (20 % der Cyanobakterienbiomasse, Gotlandsee 1994).
- In der Pommernbucht werden von calanoiden Copepoden bis zu 1,1 %, in der Gotlandsee dagegen bis 3,3 % der Primärproduktion ingestiert. In dem nährstofflimitierten System der Gotlandsee werden durch die Exkretion der Copepoden bis zu $2,3 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Tag}^{-1}$ dem Nahrungsnetz in der durchmischten Schicht zugeführt. Nach dem Redfieldverhältnis entspricht dies $0,3 \text{ mg N} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Tag}^{-1}$, bei einer durchmischten Schicht von 0 - 15 m

werden demnach ca. $321 \mu\text{mol N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1}$ von den Copepoden exkretiert. 20 % dieser Stickstoffmenge sind auf die neue Produktion der diazotrophen Cyanobakterien zurückzuführen.

- Der Vergleich zwischen den Chl.a-Äquivalenten, die mittels Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen von Algenkulturen bestimmt wurden, und den Chl.a/Markerpigment-Verhältnissen, die anhand der Pigmentmessungen aus der Pommernbucht und der Gotlandsee mittels multipler Regression ermittelt wurden, hat gezeigt, daß die Ermittlung der Chl.a/Markerpigment-Verhältnisse mittels multipler Regression eine gute Methode darstellt, um die durch wechselnde Lichtintensitäten resultierende Veränderung in der Pigmentzusammensetzung zu berücksichtigen. Die Verwendung von Umrechnungsfaktoren, die anhand von Laborkulturen ermittelt wurden, ist für die Kalkulation der Chl.a-Äquivalente aus Markerpigmentkonzentrationen in Ästuargebieten mit variablen Lichtbedingungen durch horizontale und vertikale Vermischungsprozesse wenig ratsam.
- Trotz der guten Übereinstimmung der Phytoplanktonzusammensetzungen, die mittels Zellzählungen und Pigmentmessungen ermittelt wurden, zeigt sich anhand der Pigmentzusammensetzung des in der Gotlandsee isolierten Dinoflagellaten *Dinophysis norvegica*, der anstatt Peridinin das Markerpigment Alloxanthin besitzt, daß die Pigmentanalytik durch stichprobenartige Überprüfungen mittels mikroskopischer Zellzählungen ergänzt werden sollte.
- Die Auswertung der Freßexperimente mittels Zellzählungen und Pigmentmessungen haben gezeigt, daß die Verwendung von Markerpigmenten zur Bestimmung der Abnahme der Phytoplankter im Inkubationsmedium sowohl in der Pommernbucht als auch in der Gotlandsee eine gute Methode darstellt, um taxon-spezifische Aussagen bezüglich der Ingestion zu ermöglichen. Mittels der Pigmentanalytik ist es möglich, mit einem relativ geringen Zeitaufwand gute reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, die eine geringere Varianz aufweisen als die Daten der Zellzählungen.

6. Literaturverzeichnis

- Barlow, R. G., Mantoura, R. F. C., Gough, M. A., Fileman, T. W., 1993: Pigment signatures of the phytoplankton composition in the northeastern Atlantic during the 1990 spring bloom. *Deep Sea-Research II* **40**, 459 - 477
- Barlow, R. G., Mantoura, R. F. C., Peinert, R. D., Miller, A. E. J., Fileman, T. W., 1995: Distribution, sedimentation and fate of pigment biomarkers following thermal stratification in the western Alboran Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **125**, 279 - 291
- Bianchi, T. S., Findlay, S., Dawson, R., 1993: Organic matter sources in the water column and sediments of the Hudson River Estuary: the use of plant pigments as tracers. *Estuarine, Coastal, Shelf Science* **36**, 359 - 376
- Bidigare, R. R., Frank, T. J., Zastrow, C., Brooks, J. M., 1986: The distribution of algal chlorophylls and their degradation products in the Southern Ocean. *Deep-Sea Res.* **33**, 923 - 937
- Bidigare, R. R., 1989: Photosynthetic pigment composition of the brown tide algae: unique chlorophyll and carotenoid derivatives. *Coastal and Estuarine Studies.* **35**, 57 - 75
- Bodungen, v. B., Graeve, M., Kube, J., Lass, U., Meyer-Harms, B., Mumm, N., Nagel, K., Pollehne, F., Powilleit, M., Reckermann, M., Sattler, C., Siegel, W., Wodarg, D., 1995: Stoff-Flüsse am Grenzfluß-Transport- und Umsatz-Prozesse im Übergangsbereich zwischen Oderästuar und Pommerscher Bucht (TRUMP). *Geowissenschaften*, **13**, 479 - 485
- Booth, B. C., 1987: The use of autofluorescence for analyzing oceanic phytoplankton communities. *Bot. Marina* **30**, 101 - 108
- Brenning, U., 1989: Das Zooplankton des Greifswalder Boddens. *Meer und Museum* **5**: 36 - 43
- Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J., 1989: Ocean circulation. Ed. by Bearman G. Pergamon Press, 238 pp
- Buma, A. G. J., Treguer, P., Kraay, G. W., Morvan, J., 1990: Algal pigment patterns in different watermasses of the Atlantic sektor of the southern Ocean during fall 1987. *Polar Biol.* **11**, 55 - 62
- Burkill, P. H., Mantoura, R. F. C. C. A., Llewellyn, C. A. and Owens, N. J. P., 1987: Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. *Mar. Biol.* **93**, 581-590
- Burris, J., 1980: Vertical migration of Zooplankton in the Gulf of Finland. *The American Midland Naturalist* **103**, 316 - 321

- Bustillos-Guzmán, J., Claustre H., Marty, J.-C., 1995: Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **124**, 247 - 258
- Caretto, J. I., Cartogio, J. A., 1976: Variations in pigment content of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* during growth. *Mar. Biol.* **36**, 105 - 112
- Caron, L. Jupin, H, Berkaloff, C., 1983: Effects of light quality on chlorophyll-forms Ca 684, Ca 690 and Ca 699 of the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *PS Res.* **4**, 21 - 33
- Carpenter, E. J., Janson, S., Boje, R., Pollehne, F., Chang, J., 1995: The dinoflagellate *Dinophysis norvegica*: biological and ecological observations in the Baltic Sea. *Eur. J. Phycol.* **30**, 1 - 9
- Carpenter, E. J., Harvey, H. R., Fry, B., Capone, D., 1996: Biochemical tracers of the marine Cyanobakterium *Trichodesmium*. *Deep-Sea Res.* im Druck
- Castillo, R., Negress-Sandargues, G., Lenel, G., 1982: General survey of carotenoids in crustaceans. In: *Carotenoid chemistry*. Eds by G. Britton, T. Goodwin. Oxford University Press London, 221 - 224
- Chervin, M. B., 1978: Assimilation of particulate organic carbon by estuarine and coastal copepods. *Mar. Biol.* **49**, 265 - 275
- Conover, R. J., 1964: Food relations and nutrition of zooplankton. *Symp. exp. mar. Ecol. in Narragansett mar. Lab. occ. Publ.* **2**, 81 - 89
- Conover, R. J., 1978: Transformation of organic matter. In: *Marine Ecology IV Dynamics*. Ed by O. Kinne. John Wiley & Sons, 221 - 499
- Corner, E. D. S., Cowey, C. B., 1968: Biochemical studies on the production of marine zooplankton. *Biol. Rev.* **43**, 393 - 426
- Corner, E. D. S., Davies, A. G., 1971: Plankton as a function in the nitrogen and phosphorus cycles in the sea. *Adv. mar. Biol.*, **9**, 101 - 204
- Cowles, T. J., 1979: The feeding response of copepods from the Peru upwelling system: food size selection. *J. mar. Res.* **13**, 601 - 622
- Dagg, M. J. 1995: Ingestion of phytoplankton by micro- and mesozooplankton communities in a productive subtropical estuary. *J. Pankt. Res.* **17**, 845 - 857
- Dagg, M. R., Grill, D. W., 1980: Natural feeding rates of *Centropages typicus* females in the New York Bight. *Limnol. Oceanogr.* **25**, 597 - 609
- Durbin, E. G., Durbin, A. G., Smayda, T. J., Verity, P. G., 1983: Food limitation of production by adult *Acartia tonsa* in Narragansett Bay, Rhode Island. *Limnol. Oceanogr.* **28**, 1199 - 1213

- Edler, L., 1979: Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic-Sea - Phytoplankton and chlorophyll. *The Baltic Mar. Publ.* **5**, 1 - 38
- Escaravage, V., Soetaert, K., 1995: Secondary production of the brackish copepod communities and their contribution to carbon fluxes in the Westerschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* **311**, 103 - 114
- Everitt, D. A., Wright, S. W., Volkman, J. K., Thomas, D. P., Lindstrom, E. J., 1990: Phytoplankton community in the western equatorial Pacific determined from chlorophyll and carotenoid pigment distributions. *Deep-Sea Res.* **37**, 975 - 997
- Falkowski, P. G. 1980: Light-shade adaptation in marine phytoplankton. In *Primary productivity in the sea*. Ed by P. G. Falkowski. Plenum Press New York, 99 - 119
- Fogg, G. E., 1986: Light and ultraphytoplankton. *Nature* **319**, 96
- Frost, B. W., 1972: Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* **17**, 805 - 815
- Gamble, J. D., 1978: Copepod grazing during a declining spring phytoplankton bloom in the northern North Sea. *Mar. Biol.* **49**, 303 - 315
- Geider, R. J., Gunter, P. A., 1989: Evidence for the presence of phycoerythrin in *Dinophysis norvegica*, a pink dinoflagellate. *Br. phycol. J.* **24**, 195 - 198
- Gieskes, W. W., Kraay, G. W., 1980: Primary productivity and phytoplankton pigments in the northern North Sea during FLEX '76. "Meteor" Forsch. -Ergebnisse **22**, 105 - 112
- Gieskes, W. W. C., Kraay, G. W., 1983 a: Unknown Chlorophyll a derivatives in the North Sea and the tropical Atlantic Ocean revealed by HPLC analysis. *Limnol. Oceanogr.* **28**, 757 - 766
- Gieskes, W. W. C., Kraay, G. W., 1983 b: Dominance of Cryptophyceae during the phytoplankton spring bloom in the central North Sea detected by HPLC analysis of pigments. *Mar. Biol.* **75**, 179 - 185
- Gieskes, W. W. C., Elbrächter, M., 1986: Abundance of nanoplankton-size chlorophyll-containing particles caused by diatom disruption in surface waters of the Southern Ocean (Antarctic Peninsula region). *Neth. J. Sea Res.* **20**: 291 - 303
- Gieskes, W. W. C., Kraay, G. W., 1986 b: Analysis of phytoplankton pigments by HPLC before, during and after mass occurrence of the microflagellate *Corymbellus aureus* during the spring bloom in the open northern North Sea in 1983. *Mar. Biol.* **92**, 45 - 52

- Gieskes, W. W. C., Kraay, G. W., Nontji, A., Setiapermana, D., Sutomo, 1988: Monsoonal alteration of mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): A mathematical analysis of algal fingerprints. *Neth. J. Sea Res.* **22**, 123 - 137
- Gieskes, W. W. C., Engelkes, M. M., Kraay, G. W., 1991: Degradation of diatom chlorophyll to colourless, non-fluorescing compounds during copepod grazing. *Hydrobiol. Bull.* **25**, 65 - 72
- Goericke, R., Welschmeyer, N. A., 1993: The marine prochlorophytes *Prochlorococcus* contributes significantly to phytoplankton biomass and primary production in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research I* **40**, 2283 - 2294
- Grashoff, H., 1976: Methods of seawater analysis. Chemie Weinheim, 317 pp
- Granéli, E., Wallström, K., Larsson, U., Granéli, W., Elmgren, R., 1990: Nutrient limitation of primary production in the Baltic Sea area. *Ambio.* **19**, 142 - 151
- Hager, A., Sransky, H., 1970a: Das Carotinidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xantophyllzyklus in verschiedenen Algenklassen - III. Grünalgen. *Arch. Mikrobiol.* **72**, 68 - 83
- Hager, A., Sransky, H., 1970b: Das Carotinidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xantophyllzyklus in verschiedenen Algenklassen - V. Einzelne Vertreter der Cryptophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae und Phaeophyceae. *Arch. Mikrobiol.* **73**, 77 - 89
- Hallegraeff, G. M., 1981: Seasonal study of phytoplankton pigments and species at a coastal station off Sydney: Importance of diatoms and the nanoplankton. *Mar. Biol.* **61**, 107 - 118
- Hardy, A. C., 1924: The herring in relation to its animate environment. Part I: The food and feeding habits of the herring with special references to the east coast of England. *Fish. Invest. Lond. (Ser. II)* **7**, 1 - 53
- Head, E. J. H., Harris, L. R., Abou Debs, A., 1985: Effects of daylength and food concentration on in situ diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **24**, 281 - 288
- Head, E. J. H., 1992: Gut pigment accumulation and destruction by arctic copepods *in vitro* and *in situ*. *Mar. Biol.* **112**, 583 - 592
- Head, E. J. H., Harris, L. R., 1992: Chlorophyll and carotenoid transformation and destruction by *Calanus* spp. grazing on diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **86**, 229 - 238
- Head, E. J. H., Harris, L. R., 1994: Feeding selectivity by copepods grazing on natural mixtures of phytoplankton determined by HPLC analysis of pigments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **110**, 75 - 83
- Head, E. J. H., Horne, E. P. W., 1993: Pigment transformation and vertical flux in an area of convergence in the North Atlantic. *Deep Sea Res. II*, **40**, 329 - 346

- Healey, F. P., Coombs, J., Volcani, B. E., 1967: Changes in pigment content of the diatom *Navicula pelliculosa* (Breb.). Arch. Mikrobiol. **59**, 131 - 142
- HELCOM-Workshop: Baltic sea environment proceedings - Helsinki commission- **38**: Third biological intercalibration workshop, 27 - 31 August 1990, Visby, Sweden
- Heerkloss, R., Arndt, H., Hellwig, J., Vietinghoff, U., Georgi, F., Wessel, B., Schnese, W., 1984: Consumption and assimilation by zooplankton related to primary production in the baltic coastal water inlet Barther Bodden. Limnologia **15**, 387 - 394
- Heerkloss, R., Borner, R., Krummhaar, B., Arndt, H., Schnese, W., 1984: Growth inhibition in estuarine zooplankters due to blue-green algae. *Ophelia supplement* **3**, 45 - 49
- Hoek Van, C., 1984: Algen. Thieme Verlag Stuttgart, 481 pp
- Hooks, C. E., Bidigare, R. R., Keller, M. D., Guillard, R. R. L., 1988: Coccoid eukaryotic marine ultraplankters with four different HPLC pigment signatures. J. Phycol. **24**, 571 - 580
- Hoppe, H.-G., 1981: Blue-Green algae agglomeration in surface water: a microbiotope of high bacterial activity. Kieler Meeresforsch. Sonderh. **5**, 291 - 303
- Irigoiien, X., Castel, J., Sautour, B., 1993: In *situ* grazing activity of planktonic copepods in the Gironde estuary. Cah. Biol. Mar. **34**, 225 - 237
- Jeffrey, S. W., 1974: Profiles of photosynthetic pigments in the ocean using thin-layer chromatography. Mar. Biol. **26**, 101 - 110
- Jeffrey, S. W., Humphrey, G. F., 1975: New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁, c₂ in higher plants and phytoplankton. Biochem. Physiol. Pfl. **167**, 191 - 194
- Jeffrey, S. W., 1984: Responses of unicellular marine plants to natural blue - green light environments. In: Blue light effects in biological systems. Ed by H. Senger. Springer Verlag Berlin
- Jensen, A., Sakshaug, E., 1973: Studies on the phytoplankton ecology of the Trondheimsfjord. II Chloroplast pigments in relation to abundance and physiological state of the phytoplankton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. **11**, 137 - 155
- JGOFS-Protocols: Protocols for the Joint Ocean Global Flux Study (JGOFS), core measurements, manual and guides 1994: Scientific committee in ocean research, Intergovernmental Oceanographic Commission, Unesco, 170pp
- Johnsen, G., Sakshaug, E. und Vernet, M., 1992: Pigment composition, spectral characterisation and photosynthetic parameters in *Chrysochromolina polylepsis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. **83**: 241-249

- Johnsen, G. und Sakshaug, E., 1993: Bio-optical characteristics and photoadaptive responses in toxic and bloom-forming dinoflagellates *Gyrodinium aurelum*, *Gymnodinium galatheanum*, and two strains of *Prorocentrum minimum*. J. Phycol. **29**: 627-642
- Kahru, M, Horstmann, U., Rud, O., 1994: Satellite detection of increased cyanobacteria blooms in the Baltic Sea: Natural fluctuations or ecosystem change? Ambio. **23**, 469 - 472
- Kamiyia, A., Miyiachi, S., 1980: Blue light effects on some algae collected from subsurface chlorophyll layer in the western Pacific Ocean. In: Senger, H. (ed.) The blue light syndrome. Springer Berlin 605 - 615 pp
- Kana, T. N. Gilbert, P. M., Goericke, R., Weschmeyer, N. A., 1988: Zeaxanthin and β -carotin in *Synechococcus* WH7803 respond differently to irradiance. Limnol. Oceanogr. **33**, 1623 - 1627
- Karlson, B., 1995: On the role of pico- and nanopankton in the Skagerrak. Ph. D. Department of Marine Botany Göteborg, University Sweden
- Kell, V., 1989: Das Phytoplankton des Greifswalder Boddens. Meer und Museum **5**, 25 - 35
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F., Nicolajsen, H., 1982: Ingestion rate and gut clearance in the planktonic copepod *Centropages hamatus* (Lilljeborg) in relation to food concentration and temperature. Ophelia **21**, 181 - 194
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F. and Hamburger, K., 1985: Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa* : Relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. Mar. Ecol. Prog. Ser. **26**, 85 - 97
- Klein, B., Gieskes, W. W. C., Kraay, G. W., 1986: Digestion of chlorophylls and carotenoids by the marine protozoan *Oxyrrhis marina* studied by HPLC analysis of algal pigments. J. Plankt. Res. **8**, 827 - 936
- Klein, B., 1988: Variations of pigment content in two benthic diatoms during growth in batch cultures. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. **115**, 237 - 248
- Kleppel, G. S., 1992: Environmental regulation of feeding and egg production by *Acartia tonsa* off southern California. Mar. Biol. **112**, 57 - 65
- Kleppel, G. S., 1993: On the diets of calanoid copepods. Mar. Ecol. Prog. Ser. **99**, 183 - 195
- Kleppel, G. S., Holliday, D. V., Pieper, R. E., 1991: Trophic interactions between copepods and microplankton: a question about the role of diatoms. Limnol. Oceanogr. **36**, 172 - 178
- Kleppel, G. S., Pieper, R. E., 1984: Phytoplankton pigments in the gut contents of planktonic copepods from coastal waters off southern California. Mar. Biol. **78**, 193 - 198
- Kleppel, G. S., Pieper, R. E., Trager, G., 1988: Variability in the gut contents of individual *Acartia tonsa* from waters off Southern California. Mar. Biol. **97**, 185 - 190

- Kleppel G. S., Willbanks, L., Pieper, R. E., 1985: Diel variation in body carotenoid content and feeding activity in marine zooplankton assemblages. *J Plankt. Res.* **7**, 569 - 580
- Knoppers, B., 1982: Die Charakterisierung partikulärer, organischer Substanz im Meer. Reports Sonderforschungsbereich 95. Universität Kiel **66**, 49 pp
- Kraay, G. W., Zapata, M., Veldhuis, M. J., 1992: Separation of chlorophylls c₁, c₂ and c₃ of marine phytoplankton by reversed-phase-C18-high-performance liquid chromatography. *J. Phycol.* **28**, 708 - 712
- Lampert, W., 1987: Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine Freshwater Research* **21**, 483 - 490
- Lasker, R., 1988: Food chains and fisheries: an assessment after 20 years. In: *Toward a theory on biological-physical interactions in the world oceans*. Ed by B. J. Rothschild. Kluwer Boston, 173 - 182
- Latasa, M. und Berdalet, E., 1994: Effect of nitrogen or phosphorus starvation on pigment composition of cultured *Heterocapsa* sp.. *J. Plankt. Res.* **16**, 83-94
- Latasa, M., 1995: Pigment composition of *Heterocapsa* sp. and *Thalassiosira weissflogii* growing in batch cultures under different irradiances. *Sci. Mar.* **59**, 25-37
- Lessard, E. J., Swift, E., 1986: Dinoflagellates from the North Atlantic classified as phototrophic or heterotrophic by epifluorescence microscopy. *J. Plankt. Res.* **8**, 1209 - 1215
- Litelier, R. M., Bidigare, R. R., Hebel, D. V. und Ondrusek, M., 1993: Temporal variability of phytoplankton community structure based on pigment analysis. *Limnol. Oceanogr.* **38**: 1420-1437
- Libbert, E., 1993: *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie*. Gustav Fischer Verlag Jena, 434 pp
- Lindahl, G., Wallström, K., Brattberg, G., 1978: On nitrogen fixation in a coastal area of the northern Baltic. *Kieler Meeresforschungen, Sonderheft* **4**, 171 - 177
- Liss, P. S., 1976: Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. In: *Estuarine Chemistry*. Ed by J. D. Burton, P. D. Liss. Academic Press, 93 - 130
- Liu, K., Kaplan, I. R., 1989: The eastern tropical Pacific as a source of ¹⁵N-enriched nitrate in seawater off southern California. *Limnol. Oceanogr.* **34**, 820 - 830
- Lorenzen, C. J., 1967: Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* **12**, 343 - 346
- McManus, B., 1995: Phytoplankton abundance and pigment changes during simulated *in situ* dilution experiments in estuarine waters: possible artifacts caused by algal light adaptation. *J. Plankt. Res.* **17**, 1705-1716

- Mantoura, R. F. C., Llewellyn, C. A., 1984: The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Analyt. Chim. Acta* **151**, 297 - 314
- Matthäus, W., 1986: Charakteristische Eigenschaften von Stagnationsperioden im Tiefenwasser der Ostsee. *Beiträge zur Meereskunde* **55**, 39 - 53
- Meyerhöfer, M., 1994: Plankton-Pigmente und deren Abbauprodukte als Biomarker zur Beschreibung und Abschätzung der Phytoplankton-Sukzession und Sedimentation im Nordatlantik. *Berichte aus dem Institut für Meereskunde* 251, 188 pp
- Millie, D. F., Pearl, H. W., Hurley, J. P., 1993: Microalgae pigment assessments using high-performance liquid chromatography: A synopsis of organismal and ecological applications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **50**, 2513 - 2527
- Möckel, F., 1980: Die ozenologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. *Beiträge zur Meereskunde* **43**, 5 - 14
- Montoya, J. P., 1994: Nitrogen Isotope fractionation in the modern Ocean: Implication for the sedimentary record. In : Carbon cycling in the glacial Ocean: Constraints on the Ocean's role in the global change. Eds by R. Zahn, T. F. Petersen, M. A. Kaminski, L. Labeyrie. NATO ASI Series. Springer Verlag, 259 - 279
- Morales, C. E., Harris, R. P., 1990: A review of gut fluorescence method for estimating ingestion rates of planktonic herbivores. ICES, C. M., L : 26, Session V
- Mullin, M. M., Brooks, E. R., 1970: The effect of concentration of food on body weight, cumulative ingestion, and rate of growth of the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Limnol. Oceanogr.* **15**, 748 - 755
- Nelson, J. R., 1989: Phytoplankton pigments in macrozooplankton faeces: variability in carotenoid alterations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **52**, 129 - 144
- Nicolajsen, H, Møhlenberg, F., Kiørboe, T., 1983: Algal grazing by the planktonic copepods *Centropages hamatus* and *Pseudocalanus* sp.: Diurnal and seasonal variation during the spring phytoplankton bloom in the Øresund. *Ophelia* **22**, 15 - 31
- Nixon, S. W., 1995: Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* **41**, 199 - 219
- Ondrusek, M. E., Bidigare, R. R., Sweet, S. T., Defreitas, D. A., Brooks, J. M., 1991: Distribution of phytoplankton pigments in the North Pacific Ocean in relation to physical and optical variability. *Deep-Sea Res.* **38**, 243 - 266
- Owens, T. G., Wold, E. R., 1986: Light-harvesting function in the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. I. Isolation and characterisation of pigment-protein complexes. *Plant. Physiol.* **80**, 732 - 738

- Paanakker, J. E., Hallegraeff, G. M., 1978: A comparative study of carotenoid pigmentation of the zooplankton of Lake Maarsseveen (Netherlands) and Lac Pavin (Auvergne, France). I. Chromatographic characterization of carotenoid pigments. *Comp. Biochem. Physiol.* **60 (B)**, 51 - 58
- Pankow, H., 1990: Ostsee Algenflora. Gustav Fischer Verlag Jena, 648 pp
- Parsons, T. R., Takahashi, M., Hargrave, B., 1984: Biological oceanographic processes. 3rd Edition, Pergamon Press, 330 pp
- Petersen, D., 1991: Untersuchungen zur Nahrungsökologie von Zooplanktonpopulationen in der mittleren Ostsee: Analyse einer Sommersituation. Diplomarbeit. Christian Albrechts Universität Kiel, 82 pp
- Peterson, W. T., Painting, S. J., Hutchings, L., 1990: Diel variations in gut pigment content, diel vertical migration and estimate of grazing impact for copepods in the southern Benguela upwelling region in October 1987. *J. Plankt. Res.* **12**, 259 - 281
- Pollehne, F., Busch, S., Jost, G., Meyer-Harms, B., Nausch, M., Reckermann, M., Schäning, P., Setzkorn, D., Wasmund, N., Witek, Z., 1996: Primary production patterns and heterotrophic use of organic materials. *Bull. Sea Fish. Inst.* **3**, 43 - 60
- Pollinger, U., 1989: Freshwater armored dinoflagellates: growth reproduction strategies, and population dynamics. In: Growth and reproductive of freshwater phytoplankton. Ed by C. D. Sandgren. Cambridge University Press, 134 - 174
- Postel, L., Hernandez Leon, S., Gomez, M., Torres, S., Mikkat, U., Portillo Hahnefeld, A., 1992: Zooplankton oxygen consumption and nutrient release in relation to species composition, animals size and environmental conditions in the Baltic Sea during May and August. ICES C.M., L : 21, Session V
- Postel, L., 1995: Zooplankton. In: Meereskunde der Ostsee. Ed by G. Rheinheimer. Springer Verlag, 150 - 160
- Poulet, S. A., 1978: Comparison between five coexisting species of marine copepods feeding on naturally occurring particulate matter. *Limnol. Oceanogr.* **23**, 1126 - 1143
- Preston, N. P., Burford, M. A., Coman, F. E., Rothlisberg, P. C., 1992: Natural diet of larval *Penaeus merguensis* (Decapoda: Penaeidae) and its effect on survival. *Mar. Biol.* **113**, 181 - 191
- Reckermann, M., 1991: Untersuchungen zur Bildung und Abgabe von gelösten organischen Substanzen durch Phytoplankton in der mittleren Ostsee. Diplomarbeit Universität Kiel, 122 pp
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F. A., 1963: The influence of organism on the composition of sea water. In: The Sea. Ed by M. N. Hill. Wiley New York, 26 - 77 pp

- Repeta, D. J., Gagosian, R. B., 1981: Carotenoid transformation products in the upwelled water off the Peruvian coast: suspended particulate matter, sediment trap material, and zooplankton fecal pellet analysis. *Adv. Organic Geochemistry*: 380 - 388
- Repeta, D. J., Gagosian, R. B., 1982: Carotenoid transformations in coastal marine waters. *Nature* **295**, 51 - 54
- Repeta, D. J., Gagosian, R. B., 1987: Carotenoid diagenesis in recent marine sediments. I. The Peru continental shelf (15°S/75°W). *Cosmochim. Acta* **51**, 1001 - 1009
- Richmann, S., Heinle, D. R., Huff, R., 1977: Grazing by adult estuarine calanoid Copepods of the Chesapeake Bay. *Mar. Biol.* **42**, 69 - 84
- Riegman, R., Rowe, A., 1994: Nutritional status and pigment composition of phytoplankton during spring and summer *Phaeocystis* blooms in dutch coastal waters (Marsdiep Area). *Neth. J. Sea Res.* **32**, 13 - 21
- Ringelberg, J., 1980: Aspects of red pigmentation in zooplankton, especially copepods. In: *Evolution and ecology of zooplankton communities*. Ed by W. C. Kerfoot. University of New Hampshire Press Hanover, 91 - 97
- Roman, M. R., 1984: Utilization of detritus by the copepod *Acartia tonsa* *Limnol. Oceanogr.* **29**, 949 - 959
- Rowan, K. S., 1989: *Photosynthetic pigments of algae*. Cambridge University Press, 315 pp
- Russel, R. F., Young, M., 1988: *Advances in marine biology*. Academic Press **15**, 2 - 211
- Ryther, J. H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* **166**, 72 - 76
- Siegel, H., Gerth, M., Schmidt, T. 1996: Water exchange in the Pomeranian Bight investigated by satellite data and shipboard measurements. *Cont. Shelf Research*. im Druck
- Sachs, L., 1991: *Angewandte Statistik*. Springer Verlag Berlin, 846 pp
- Sahlsten, E., Sörensson, F., 1989: Planktonic nitrogen transformations during a declining cyanobacteria bloom in the Baltic Sea. *J. Plankt. Res.* **6**, 1117 - 1128
- Schnack, S. B., Elbrächter, M., 1981: On the food of calanoid copepods from the northwest African upwelling region. In: *Coastal upwelling*. Ed by F. A. Richards. *Am. Geophysiks. Union, Washington DC*, 433 - 439
- Schnepf, E., Elbrächter, M., 1988: Cryptophycean-like double membrane bound chloroplast in the dinoflagellate *Dinophysis* Ehrenb.: evolutionary. phylogenetic and toxicological implications. *Bot. Acta* **101**, 196 - 203
- Sellner, K.G, Olson, M. M., 1985: Copepod grazing of red tides in Chesapeake Bay. In: *Toxic dinoflagellates*. Eds by D. M. Anderson, A. W. White, D. G. Baden. *Proc. 3rd int. Symp., St. Andrews, New Brunswick, Canada. Elsevier, New York*, 245 - 250

- Sellner, K. G., Olson, M. M., Kononen, K., 1994: Copepod grazing in a summer cyanobacteria bloom in the Gulf of Finland. *Hydrobiologia* **292/293**, 249 - 254
- Shuman, F. R., Lorenzen, C. J., 1975: Quantitative degradation of Chlorophyll by a marine herbivore. *Limnol. Oceanogr.* **20**, 580 - 586
- Smith, P. E., Eppley, R. W., 1982: Primary production and the anchovy population in the Southern California Bight: comparison of time series. *Limnol. Oceanogr.* **27**, 1 - 17
- Smith, S. L., 1982: The northwestern Indian Ocean during the monsoons of 1979: distribution, abundance and feeding of zooplankton. *Deep-Sea Res.* **29**, 1331 - 1353
- Stauber, J. L., Jeffrey, S. W., 1988: Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. *J. Phycol.* **24**, 158 - 172
- Stearns, D. E., Litaker, W., Rosenberg, G., 1989: Impacts of zooplankton grazing and excretion on short-interval fluctuations in Chlorophyll a and Nitrogen concentrations in a well-mixed estuary. *Estuaries, Coastal Shelf Science* **24**, 305 - 325
- Strahtmann, R. R., 1966: Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* **12**, 411 - 418
- Strom, S. L., Welschmeyer, N. A., 1991: Pigment-specific rates of phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the open subarctic Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **36**, 50 - 63
- Swadling, K. M., Marcus, N. M., 1994: Selectivity in the natural diets of *Acartia tonsa* Dana (Copepoda: Calanoida): Comparison of juveniles and adults. *J. Exp. Biol. Ecol.* **181**, 91 - 103
- Tackx, M. L. M., Bakker, C., Rijswijk Van, P., 1990: Zooplankton grazing pressure in the Oosterschelde (The Netherlands). *Neth. J. Sea Res.* **25**, 405 - 415
- Tackx, M. L. M., Zhu, L., De Coster, W., Billones, R., Daro, M. H., 1995: Measuring selectivity of feeding by estuarine copepods using image analysis combined with microscopic and Coulter counting. *ICES J. mar. Sci.* **52**, 419 - 425
- Tester, P. A. und Turner, J. T., 1988: Comparative carbon-specific ingestion rates of phytoplankton by *Acartia tonsa*, *Centropages velificatus* and *Eucalanus pileatus* grazing on natural phytoplankton assemblages in the plume of the Mississippi River (northern Gulf of Mexico continental shelf). *Hydrobiologia* **167**, 211 - 217
- Tiselius, P., 1988: Effects of diurnal feeding rhythms, species composition and vertical migration on the grazing impact of calanoid copepods in the Skagerrak and Kattegat. *Ophelia* **28**, 215 - 230
- Turner, J. T., 1984: Zooplankton feeding ecology: Contents of fecal pellets of the copepods *Acartia tonsa* and *Labidocera aestiva* from continental shelf waters near the mouth of the Mississippi River. *Mar. Ecol.* **5**, 265 - 282

- Turner, J. T., Tester, P. A., 1989: Zooplankton feeding ecology: nonselective grazing by the copepods *Acartia tonsa* Dana, *Centropages velificatus* De Olivera, and *Eucalanus pileatus* Giesbrecht in the plume of the Mississippi River. *J. Exp. Biol. Ecol.* **126**, 21 - 43
- Unger, K. K., 1989: Handbuch der HPLC. Teil 1 Leitfaden für Anfänger und Praktiker. GIT Verlag, 359 pp
- Utermöhl, H., 1931: Über das umgekehrte Mikroskop. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* **5**, 567 - 569
- Utermöhl, H., 1958: Zur Vervollkommnung der qualitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Theor. Angew. Limnol.* **9**, 1 - 38
- Veldhuis, M. J. W., Kraay, G. W., 1990: Vertical distribution and pigment composition of a picoplankton prochlorophyte in the subtropical North Atlantic: a combined study of HPLC-analysis of pigments and flow cytometry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **68**, 121 - 127
- Vesk, M., Jeffrey, S. W., 1977: Effect of blue-green light on photosynthetic pigments and chloroplast structure in unicellular marine algae from six classes. *J. Phycol.* **13**, 280-288
- Wasmund, N., 1990: Characteristics of phytoplankton in brackish waters of different trophic levels. *Limnologia* **20**, 47 - 51
- Weisse, T., 1983: Feeding of calanoid copepods in relation to *Phaeocystis pouchetii* in the German Wadden Sea area Sylt. *Mar. Biol.* **74**, 87 - 94
- Weisse, T., 1985: Die Biomasse und Stoffwechselaktivität des Mikro- und Mesozooplanktons in der Ostsee. *Berichte aus dem Institut für Meereskunde* **144**, 127 pp
- Weber, P., 1994: It comes down to the coast. *World watch*, Washington **2**, 20 - 29
- Williams, R., Claustre, H., 1991: Photosynthetic pigments as biomarkers of phytoplankton populations and processes involved in the transformation of particulate organic matter at the Biotrans site (47°N, 20°W). *Deep-Sea Res.* **38**, 347 - 355
- Wiktor, K., 1992: Fauna (Polish Baltic pollution). *Stud. Mater. Oceanol.* **61**, 191 - 198
- Withers, N. W., Fiksdahl, A., Tuttle, R. C., Liaaen-Jensen, S., 1981: Carotenoids of the Chrysophyceae. *Comp. Biochem. Physiol.* **68B**, 345 - 349
- Wright, S. W., Jeffrey, S. W., 1987: Fucoxanthin pigment markers of marine phytoplankton analyzed by HPLC and HPTLC. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **38**, 259 - 266
- Wright, S. W., Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C., Llewellyn, C. A., Bjørnland, T., Repeta, D., Welschmeyer, N. 1991: Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **77**, 183 - 196
- Wulff, F., Rahm, L., 1988: Long-term, seasonal and spatial variations of nitrogen, phosphorus and silicate in the Baltic: an overview. *Mar. Environm. Res.* **26**, 19 - 37

7. Anhang

Tabelle A: Abkürzungen

Allo.	Alloxanthin
Asta.	Astaxanthin (ein Pigment was die meisten Zooplankter besitzen)
Bacill.	Bacillariophyceae
C	Kohlenstoff
CK	Körperkohlenstoff
Chl.a	Chlorophyll a
Chl.c1	Chlorophyll c1
Chl.c2	Chlorophyll c2
Chl.c3	Chlorophyll c3
Chloro.	Chlorophyceae
Crypto.	Cryptophyceae
Cyanob.	Cyanophyceae bzw. Cyanobakterien
DAD	Diode Array Detektor
Diadino.	Diadinoxanthin
DON	gelöster organischer Stickstoff
Dino.	Dinophyceae
Fuco.	Fucoxanthin
GF/F	Glasfaserfilter
h	Zeit in Stunden bei den Zooplanktonverteilungen
19-Hexa.	19-Hexanoyloxyfucoxanthin
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
Ind.	Individuen
Ing.	Ingestion
Lut.	Lutein
Min.	Minute
N	Stickstoff
Neo.	Neoxanthin
Peri.	Peridinin
Phaeo.a	Phaeophytin-a
Phaophor.a	Phaophorbid-a
Phyto.	Phytoplankton
POC	Partikulärer organischer Kohlenstoff
PON	Partikulärer organischer Stickstoff
Prasi.	Prasinoxanthin
Prasino.	Prasinophyceae

Fortsetzung Tabelle A: Abkürzungen

Prod.	Produktion
STABW	Standardabweichung
susp.	suspendiert
t	Zeit in Stunden bei den Freißversuchen der Copepoden
TG	Trockengewicht
Zea.	Zeaxanthin

Tabelle B: Zellzahlen der während des 5-tägigen Driftverlaufes vorkommenden Dino- und Cryptophyceae in der Gotlandsee 1993 (n = 5; \pm STABW in %). Die Konzentrationen der Algen wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit der Abbildung 55 in Zellzahlen (10^5) * Liter⁻¹ angegeben.

Tiefe (m)	Dinophyceae				Cryptophyceae
	<i>Gymnodinium simplex</i>	<i>Prorocentrum minimum</i>	<i>Katodinium rotundatum</i>	<i>Dinophysis norvegica</i>	<i>Rhodomonas</i> spp.
Zellzahlen (10^5) * Liter⁻¹					
1	0,3063 \pm 55	0,0623 \pm 13	0,0603 \pm 20	0,0000 \pm 0	0,2655 \pm 58
5	0,2314 \pm 39	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0100 \pm 46	1,3202 \pm 55
9	0,4428 \pm 64	0,0064 \pm 33	0,0408 \pm 47	0,0170 \pm 24	0,6126 \pm 52
12	0,1254 \pm 70	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0158 \pm 48	0,0572 \pm 61
15	0,3910 \pm 30	0,0232 \pm 18	0,0273 \pm 41	0,0232 \pm 42	0,0545 \pm 39
18	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0068 \pm 36	0,1308 \pm 41
25	0,1400 \pm 0,68	0,0000 \pm 0	0,0726 \pm 16	0,0008 \pm 66	0,3107 \pm 31
30	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0
50	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0	0,0000 \pm 0

Tabelle C: Zellzahlen der während des 5 tägigen Driftverlaufes vorkommenden Dino- und Cryptophyceen. in der Gotlandsee 1994 (n = 5; ± STABW in Prozent %). Die Konzentrationen der Algen wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit der Abbildung 55 in Zellzahlen (10⁵) * Liter⁻¹ angegeben.

Tiefe (m)	Dinophyceae			Cryptophyceae
	<i>Gymnodinium</i> spp.	<i>Prorocentrum</i> <i>minimum</i>	<i>Dinophysis</i> <i>norvegica</i>	<i>Rhodomonas</i> spp.
Zellzahlen (10⁵) * Liter⁻¹				
1	0,0327 ± 29	0,2941 ± 20	0,0000 ± 0	0,1838 ± 44
2	0,0919 ± 43	0,8270 ± 49	0,0408 ± 32	0,1225 ± 61
5	0,1879 ± 77	0,7515 ± 27	0,0000 ± 0	0,1634 ± 47
10	0,0653 ± 40	0,2613 ± 54	0,0000 ± 0	0,1225 ± 62
13	0,0760 ± 58	0,1691 ± 40	0,0510 ± 26	0,2042 ± 52
16	0,1225 ± 43	0,1225 ± 47	0,0459 ± 37	0,2042 ± 57
18	1,4410 ± 35	0,3074 ± 44	0,6854 ± 42	0,0096 ± 69
20	0,3489 ± 31	0,0269 ± 26	0,1346 ± 45	0,0000 ± 0
25	0,1702 ± 35	0,0425 ± 33	0,7152 ± 23	0,0011 ± 36
35	0,1961 ± 29	0,0000 ± 0	0,0048 ± 41	0,0000 ± 0
40	0,0006 ± 90	0,0000 ± 0	0,0052 ± 18	0,0000 ± 0
50	0,0007 ± 42	0,0000 ± 0	0,0099 ± 12	0,0000 ± 0

Meereswissenschaftliche Berichte

MARINE SCIENCE REPORTS

- 1 (1990) Postel, Lutz:
Die Reaktion des Mesozooplanktons, speziell der Biomasse, auf küstennahen Auftrieb vor Westafrika (The mesozooplankton response to coastal upwelling off West Africa with particular regard to biomass)
- 2 (1990) Nehring, Dietwart:
Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee von 1979 bis 1988 – ein Vergleich (Hydrographic and chemical conditions in the western and central Baltic Sea from 1979 to 1988 – a comparison)
Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang:
Aktuelle Trends hydrographischer und chemischer Parameter in der Ostsee, 1958 – 1989 (Topical trends of hydrographic and chemical parameters in the Baltic Sea, 1958 – 1989)
- 3 (1990) Zahn, Wolfgang:
Zur numerischen Vorticityanalyse mesoskaler Strom- und Massenfelder im Ozean (On numerical vorticity analysis of mesoscale current and mass fields in the ocean)
- 4 (1992) Lemke, Wolfram; Lange, Dieter; Ender, Rudolf (Eds.):
Proceedings of the Second Marine Geological Conference – The Baltic, held in Rostock from October 21 to October 26, 1991
- 5 (1993) Ender, Rudolf; Lackschewitz, Klas (Eds.):
Cruise Report RV "Sonne" Cruise SO82, 1992
- 6 (1993) Kulik, Dmitri A.; Harff, Jan:
Physicochemical modeling of the Baltic Sea water-sediment column: I. Reference ion association models of normative seawater and of Baltic brackish waters at salinities 1–40 ‰, 1 bar total pressure and 0 to 30°C temperature
(system Na–Mg–Ca–K–Sr–Li–Rb–Cl–S–C–Br–F–B–N–Si–P–H–O)
- 7 (1994) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans-Ulrich; Nausch, Günther:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1993
- 8 (1995) Hagen, Eberhard; John, Hans-Christian:
Hydrographische Schnitte im Ostrandstromsystem vor Portugal und Marokko 1991 - 1992
- 9 (1995) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1994
Seifert, Torsten; Kayser, Bernd:
A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea
- 10 (1995) Schmidt, Martin:
Analytical theory and numerical experiments to the forcing of flow at isolated topographic features
- 11 (1995) Kaiser, Wolfgang; Nehring, Dietwart; Breuel, Günter; Wasmund, Norbert; Siegel, Herbert; Witt, Gesine; Kerstan, Eberhard; Sadkowiak, Birgit:
Zeitreihen hydrographischer, chemischer und biologischer Variablen an der Küstenstation Warnemünde (westliche Ostsee)
Schneider, Bernd; Pohl, Christa:
Spurenmittelkonzentrationen vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns

12 (1996)

Schinke, Holger:

Zu den Ursachen von Salzwassereinbrüchen in die Ostsee

13 (1996)

Meyer-Harms, Bettina:

Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in zwei unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee (Pommernbucht, Gotlandsee)