

**Meereswissenschaftliche Berichte**  
MARINE SCIENCE REPORTS

No. 37

Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1998 auf der Basis von  
Phytoplankton-, Zooplankton- und Zoobenthosuntersuchungen

von

Norbert Wasmund, Jürgen Alheit, Falk Pollehne,  
Herbert Siegel und Michael L. Zettler

**Institut für Ostseeforschung**  
**Warnemünde**  
**1999**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Einleitung	6
2. Material und Methoden	6
2.1 Beprobungs-Strategie	6
2.2 Probenahme	7
2.3 Phytoplankton	10
2.4 Algenpigmente	10
2.5 Mesozooplankton	10
2.6 Makrozoobenthos	11
2.7 Sedimentation	11
2.8 Satellitendaten	12
2.9 Qualitätssicherung	13
2.10 Methodenkritik Zooplankton	14
3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1998	16
4. Ergebnisse	17
4.1 Phytoplankton	17
4.1.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Biomasse	17
4.1.1.1 Mecklenburger Bucht	17
4.1.1.2 Arkonasee	22
4.1.1.3 Bornholmsee	24
4.1.1.4 Gotlandsee	25
4.1.2 Sedimentation	26
4.1.3 Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration	32
4.1.4 Langzeittrend der Artenzusammensetzung	34
4.1.5 Langzeittrend der Chlorophyll a – Konzentration	44
4.2 Mesozooplankton	44
4.2.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Abundanz	44
4.2.1.1 Mecklenburger Bucht	44
4.2.1.2 Arkonasee	44
4.2.1.3 Bornholmsee	45
4.2.1.4 Gotlandsee	46
4.2.2 Vergleich mit dem Vorjahr	50
4.3 Makrozoobenthos	50
5. Diskussion	58
5.1 Phytoplanktonentwicklung in Beziehung zur Temperatur (Satellitendaten)	58
5.2 Phytoplanktonentwicklung in Beziehung zur Nährstoffkonzentration	59
5.3 Jahreszeitliche und räumliche Variabilität der Phytoplanktonblüten	61
5.4 Langzeit-Trends der Phytoplanktonentwicklung	64
5.5 Langzeit-Trends der Zoobenthosentwicklung	66
Danksagung	68
Literaturverzeichnis	69
Anhang	73

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse der durch das Institut für Ostseeforschung (IOW) im Jahre 1998 durchgeführten biologischen Umweltüberwachung im Rahmen des HELCOM werden vorgestellt und im Vergleich zu vorjährigen Ergebnissen diskutiert.

Während die Phytoplankton-Entwicklung im Jahre 1997 ungewöhnlich früh begann, kann das Jahr 1998 in dieser Hinsicht als ein "normales" Jahr angesehen werden. Die Frühjahrsblüte begann in der Mecklenburger Bucht Mitte März mit einer Kieselalgenentwicklung (*Chaetoceros* spp.), die im April in eine Phase mit Dinophyceen-Dominanz (*Gymnodinium* spp.) überging. In der Arkonasee begann die Frühjahrsblüte um den 20. März 1998 mit einer Kieselalgenentwicklung (*Chaetoceros* spp.), an die sich Anfang April eine Dinoflagellatenblüte (*Gymnodinium* spp.) anschloß. Auch in der Bornholmsee begann die Blüte schon Ende März, wurde hier aber von Anfang an von *Gymnodinium* spp. dominiert.

Im Sommer herrschten in der eigentlichen Ostsee Cyanobakterien und diverse Flagellaten vor. Die Kieselalge *Dactyliosolen fragilissimus* bildete im Juni/Juli 1998 in der Mecklenburger Bucht eine Blüte. Eine Probe vom 15.9.98 aus der Arkonasee zeigte eine Blüte von *Prorocentrum minimum*. Im Herbst dominierte in der eigentlichen Ostsee die Kieselalge *Coscinodiscus granii* und in der Mecklenburger Bucht der Dinoflagellat *Ceratium tripos*.

Die Aussagen zur Phytoplanktonentwicklung werden auch von Chlorophyll-Daten (sowohl analytisch als auch aus Satellitenbildern ermittelt) gestützt. Die Chlorophyll-Daten sind insbesondere für die Analyse von Langzeit-Trends der Phytoplankton-Biomasse nützlich. Verschiedene Hypothesen zur Erklärung des späteren Beginns der Frühjahrsblüte in den östlicheren Teilen der Ostsee und zur Verdrängung der Kieselalgen werden diskutiert.

Die Analyse der Sinkstoffe zeigte für das Jahr 1997 die Frühjahrsphase als quantitativ wichtigsten Zeitraum für den Partikelfluß. Dies steht im Gegensatz zum Vorjahr, in dem die Mengen der Frühjahrs- und Spätsommer/Herbstsedimentation ausgeglichener waren. Bei der qualitativen Analyse der absinkenden Phytoplanktonarten und -gruppen zeigte sich allerdings ein ähnliches Bild wie im Vorjahr. Die saisonale Sukzession der pelagischen Algengruppen in der Deckschicht wird im Fallenmaterial gut abgebildet.

Im Zooplankton hat die Abundanz der Rotatorien (*Synchaeta spec.*) im Vergleich zum Vorjahr stark zugenommen (Maximum im Mai, oft noch ein zweites im Oktober), die der Copepoden dagegen im allgemeinen abgenommen. Auffällig ist die jahreszeitliche Verschiebung der Maxima der Copepodenabundanz: 1997 wurden die Maxima erst im August erreicht, 1998 schon im Mai (Ausnahme: die Tiefenschichten im Bornholm- und Gotlandbecken). Die Abundanz der Cladoceren war 1998 deutlich geringer als 1997, insbes. im August. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, daß die realen Abundanzmaxima der verschiedenen Gruppen wegen der geringen Probennahmefrequenz durch das zeitliche Beprobungsraster gefallen sind. Auf generelle methodische Probleme wird ausführlich eingegangen.

Die Artenzahl des Makrozoobenthos nahm im Vergleich zu den Vorjahren zu und erreichte insgesamt 83. Sie lag 1998 zwischen 3 (Bornholmbecken) und 49 (Fehmarnbelt). Als besonders artenreich erwiesen sich die gut durchströmten und damit sandig-kiesigen Bereiche Fehmarnbelt, Darßer Schwelle und südliche Arkonasee. Auf den schlickigen Stationen in der Mecklenburger Bucht wäre z.B. *Euchone papillosa* (Polychaeta) hervorzuheben, dessen Bestände sich seit einiger Zeit wieder zu erholen scheinen. Wie im Vorjahr konnten auch 1998 an mehreren Stationen die Glazialrelikte *Pontoporeia femorata* und *Saduria entomon* beobachtet werden. Auch die Muscheln *Astarte borealis* und *A. elliptica* wurden an einigen Stationen festgestellt. Dahingegen fehlten einige Arten, die seit Jahren bzw. Jahrzehnten in der südlichen und westlichen Ostsee (Mecklenburger Bucht, Arkonabecken, Pommernbucht) nicht mehr gefunden werden. Dazu zählen *Monoporeia affinis*, *Buccinum undatum*, *Nassarius reticulatus*, *Astarte montagui*, *Scrobicularia plana* und *Macoma calcarea*. Die Individuendichten des Makrozoobenthos lagen 1998 zwischen 13 Ind. m<sup>-2</sup> (Bornholmbecken) und 7.235 Ind. m<sup>-2</sup> (südliche Arkonasee). Die Biomasse (als aschefreies Trockengewicht) schwankte zwischen 0,01 g m<sup>-2</sup> (Bornholmbecken) und 48,4 g m<sup>-2</sup> (östlich der Darßer Schwelle). Zur besseren Beurteilung des Makrozoobenthos wurden neben den herkömmlichen van-Veen-Greifern auch eine Dredge und Videotechnik eingesetzt. 7 Taxa konnten damit zusätzlich nachgewiesen werden. Außerdem erlaubte die Auswertung des Bildmaterials eine Analyse der Strukturen, des Substrates und der Verteilung (Patchiness) an den Stationen

## Summary

The results of the biological environmental monitoring carried out by the Baltic Sea Research Institute (IOW) in 1998 within the HELCOM programme are presented and discussed.

In 1998, the spring bloom of phytoplankton started in Mecklenburg Bight in the mid of March and was produced mainly by diatoms (*Chaetoceros* sp.). At later stages, the contribution of dinoflagellates (*Gymnodinium* spp.) increased continuously. In the Arkona Sea, the spring bloom started approximately on 20 March (*Chaetoceros* sp.), again followed by *Gymnodinium* spp. Also in the Bornholm Sea, the spring bloom started at the end of March, but was dominated by *Gymnodinium* spp. from the beginning.

In summer, cyanobacteria and several flagellates were the dominant groups in the Baltic Proper. The diatom *Dactyliosolen fragilissimus* formed a bloom in Mecklenburg Bight in June/July 1998. A sample from 15 September 1998 from the Arkona Sea showed a bloom of *Prorocentrum minimum*. In late autumn, the diatom *Coscinodiscus granii* dominated in the Baltic Proper but the dinoflagellate *Ceratium tripos* in Mecklenburg Bight.

The statements on phytoplankton development are supported by chlorophyll data (gathered both by fluorometric analysis and remote sensing). The chlorophyll data are especially useful for long-term trend analyses. Different hypotheses for explaining the relatively late spring blooms in the eastern parts of the Baltic Sea and the long-term replacement of diatoms by dinoflagellates in the spring blooms are discussed.

The analysis of sedimenting particles for the year 1997 revealed the prevalence of the spring season for the vertical flux of particulate matter, in contrast to 1996, when high sedimentation occurred also in late summer/autumn. The qualitative analysis of sedimenting phytoplankton species showed, however, similar patterns in 1996 and 1997. The seasonal cycle of pelagic algae was well reflected in the sediment traps.

The abundance of rotatoria (*Synchaeta* sp.) increased strongly in comparison with the previous year (maximum in May, frequently a second maximum in October), but the abundance of copepods decreased. A seasonal shift in the copepod maxima was conspicuous: in 1997, the peak was reached only in August, but in 1998 already in May (exception: deep water in the Bornholm Sea and Eastern Gotland Sea). The abundance of cladocerans in 1998 was clearly lower than in 1997, especially in August. It has to be admitted that the real abundance peaks of the different zooplankton groups may have been missed due to a rather low sampling frequency. Methodological problems are discussed in detail.

The number of species of macrozoobenthos increased when compared with data from previous years. It amounted to 83 in 1998 and ranged from 3 in the Bornholm Sea to 49 in the Fehmarn Belt. The well-flushed, sandy or gravelly areas of Fehmarn Belt, Darss Sill and southern Arkona Sea were especially rich in species. At silty stations in Mecklenburg Bight, the stock of *Euchone papillosa* (Polychaeta) recovered. As in the previous year, the glacial relicts *Pontoporeia femorata* and *Saduria entomon* occurred at several stations. Also the mussels *Astarte borealis* and *A. elliptica* were noticed. Some species, absent for years or decades in Mecklenburg Bight, Arkona Sea and Pomeranian Bay, are still missing: *Monoporeia affinis*, *Buccinum undatum*, *Nassarius reticulatus*, *Astarte montagui*, *Scrobicularia plana* and *Macoma calcarea*. The density of individuals of macrozoobenthos ranged from 13 ind. m<sup>-2</sup> (in Bornholm Sea) to 7.235 ind. m<sup>-2</sup> (southern Arkona Sea) in 1998. The biomass (as ash-free dry weight) was between 0,01 g m<sup>-2</sup> (Bornholm Sea) and 48,4 g m<sup>-2</sup> (east of Darss Sill).

For a better assessing of the macrozoobenthos, a dredge and video technique were applied besides the traditional van-Veen grab. Seven additional taxa could be found by these new methods. Moreover, the video images made an analysis of habitat structures, the substrate and the patchiness possible.

## **1. Einleitung**

Die hier vorgestellte Einschätzung des biologischen Zustandes der Ostsee ist Teil des im Auftrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) am Institut für Ostseeforschung Warnemünde durchgeführten Ostsee-Überwachungsprogramms. Im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung wurde dem IOW der deutsche Beitrag für das Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) übertragen. Dieses Programm richtet sich unter anderem auf die Erforschung der Stoff- und Energieflüsse im Ökosystem Ostsee, auf die Fragen zu Herkunft, Ausbreitung, Wirkung und Verbleib von anorganischen und organischen Einleitungen sowie auf die Erfassung längerfristiger Veränderungen abiotischer und biotischer Variablen. Die biologischen Untersuchungen können natürlich nur im Zusammenhang mit den hydrographischen und chemischen Bedingungen gewertet und interpretiert werden, welche bereits in einem separaten Bericht veröffentlicht worden sind (MATTHÄUS et al., 1999). Für rückblickende Betrachtungen wird das Studium vorjähriger Berichte (SCHULZ et al., 1992 a; BREUEL et al., 1993, 1994, 1995; JOST et al., 1996, WASMUND et al., 1998 a) empfohlen. Eine Zusammenfassung der Phytoplankton-Entwicklung in den Jahren 1993 bis 1997 wird auch von WASMUND et al. (1999) gegeben.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Beprobungs-Strategie**

Die Aufgabenstellung für das wissenschaftliche Programm war im wesentlichen durch die von der HELCOM erlassenen Vorschriften in Bezug auf die Methoden und den Umfang des Vorhabens bestimmt. Die bisher gültigen Guidelines (HELCOM, 1988) wurden im Verlaufe des Jahres 1999 durch ein neues Manual (HELCOM, 1998) ersetzt. Zur Wahrung der Kontinuität der Meßreihen wurden aber keine gravierenden methodischen Veränderungen vorgenommen.

Im Einzelnen umfassen die Methoden die Bestimmung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Phytoplankton, Mesozooplankton und Makrozoobenthos sowie des Chlorophyllgehalts von Wasserproben. Für die Auswertung und Dokumentation der Proben aus den Sinkstoff-Fallen sowie die Satellitenbilder gibt es noch keine verbindlichen HELCOM-Methodenvorschriften.

Mitarbeiter der Sektion Biologische Meereskunde nahmen im Jahre 1998 an fünf Terminfahrten im Februar, März, Mai, August und Oktober/November teil. Die Stationen für die Probenentnahmen und die Messungen folgten den Vorgaben durch die HELCOM (Abb. 1). Zur Erhöhung der Probenfrequenz und zur Verbesserung der Qualität von Zeitserien entwickelte HELCOM langfristig eine Strategie der nationalen Zuständigkeit für bestimmte Meeresgebiete (HELCOM 1998, Table C1). Demnach sollte Deutschland für die Phytoplanktonuntersuchungen in der Beltsee und der Arkonasee zuständig sein. Das bedeutet im konkreten Fall, daß dänische und schwedische Schiffe im Rahmen von Monitoringreisen weiterhin in der Beltsee und der Arkonasee Proben nehmen, diese aber dem IOW als dem für diese Gebiete zuständigen Institut zur wissenschaftlichen Bearbeitung übergeben. Im Gegenzug würde das IOW die in den übrigen Seegebieten genommenen Phytoplanktonproben seinerseits den zuständigen Partnern übergeben.

Dieses System ist aber noch nicht durchgesetzt, so daß das IOW im Jahre 1998 noch all seine Proben selbst ausgewertet hat, weshalb wir hier wie bisher auch über die Bornholm- und Gotlandsee berichten können. Aufgrund erster Vereinbarungen mit dänischen Kollegen erhielten wir aber bereits Phytoplanktonproben von dänischen Reisen, deren Daten wir in diesen Bericht mit einbezogen.

Auch im 1997 eingeführten Bund-Länder-Meßprogramm (BLMP) wurden die Zuständigkeiten im nationalen Rahmen nach ähnlichem System festgelegt. Die vom IOW in der Kieler Bucht (Station 360) genommenen Phytoplanktonproben werden dem LANU Kiel zur Auswertung übergeben. Im Gegenzug erhält das IOW vom LANU Kiel Proben der Stationen 012 und 022. Vom Jahre 1999 an werden die Proben der Station O22 aber vom StAUN Stralsund im Rahmen des Küsten-Monitoring bearbeitet. Im Zuge dieser Arbeitsteilung übergibt das IOW seine Phytoplankton-Proben sowie die Chlorophyll-Daten und Begleitparameter von den Stationen O22, O5, O9, O11, 133 und OB4 an das StAUN Stralsund. Trotz der Zuständigkeit des StAUN Stralsund für das Küsten-Monitoring in Mecklenburg-Vorpommern bleibt auch das IOW in der Pommerschen Bucht engagiert: Während bis 1997 neben anderen vorrangig die Station 162 von der Biologie beprobt wurde, waren es im Jahre 1998 die Stationen OB4, 133 und 160. Ab 1999 findet die biologische Probenahme in der Pommerschen Bucht nur noch in der Nähe der ODAS-Tonne (OB) statt.

Die genannten internationalen und nationalen Maßnahmen zur Erhöhung der Probenfrequenz betreffen bisher nur das Phytoplankton. Da es beim Zooplankton kaum Aktivitäten von anderen Instituten gibt, ist hier eine entsprechende Kooperation nicht möglich. Auch beim Zoobenthos ist ein Probenaustausch zur Zeit nicht sinnvoll. Der Zwang zur Erhöhung der Probenfrequenz besteht beim Makrozoobenthos wegen seiner Langlebigkeit nicht. Hier reicht eine einmalige Beprobung pro Jahr aus. Die Benthosbeprobungen wurden an 6 BMP-Stationen einmal pro Jahr im Herbst vorgenommen (Tabelle 1).

Neben seinem Engagement bei den internationalen und nationalen Anstrengungen zur besseren zeitlichen Auflösung der Phytoplankton-Zeitserien, entwickelte das IOW in dieser Richtung auch eine interne Strategie. Um die Zahl der gewonnenen Proben zu erhöhen, wurden an den wichtigsten Stationen in der Mecklenburger Bucht, der Arkonasee und der Bornholmsee nicht nur auf der Ausfahrt, sondern auch auf der Rückfahrt Proben genommen. Darüber hinaus wurden auch auf Fahrten, die im Rahmen anderer Projekte stattfanden, wichtige Monitoringstationen angelaufen. Dadurch kamen insgesamt bis zu 17 Probenahmen pro Jahr zustande (Tabelle 1).

## **2.2 Probenahme**

Das Probenwasser wurde mittels Rosettenwasserschöpfers aus verschiedenen Standardtiefen (1 m, 2,5 m, 5 m, 7,5 m, 10 m, 15 m, 20 m) sowie bei Vorliegen interessanter Strukturen (markante Sprungschichten, deutliche Fluoreszenzmaxima) auch aus zusätzlichen Wassertiefen genommen. Dabei wurden die Tiefenprofile von Salzgehalt, Temperatur, Sauerstoffgehalt und meistens auch Fluoreszenz aufgezeichnet. Das Probenwasser für die Nährstoffbestimmungen wurde parallel gewonnen. Die Phytoplanktonparameter (Phytoplanktonarten und -biomasse, Chlorophyll) wurden in der Regel aus demselben Schöpfer entnommen. Die methodische Bearbeitung der Variablen

erfolgte nach den Richtlinien des BMP (HELCOM, 1998). Eine kurze Übersicht über die angewendeten Methoden wird im folgenden gegeben.

**Tabelle 1 Häufigkeit der Probenahme (= Anzahl der Probentermine) für die biologischen Variablen an den einzelnen Stationen im Jahre 1998 (für Sinkstoff-Fallen: 1997).**

IOW- Stationsnummer	BMP- Stations- nummer	Chloro- phyll	Phyto- plankton	Zoo- plankton	Zoo- benthos	Sinkstoff- Fallen
<b>Beltsee</b>						
360	(N3)	5	5	1		
010	(N1)				1	
012	(M2)	5	17 ) <sup>1</sup>	5	1	
022		5	13 ) <sup>2</sup>			
05		6	6			
046	(M1)	10	10	7		
<b>Arkonasee</b>						
030	(K8)	9	11	9	1	
069	(K7)		3 ) <sup>3</sup>			
113	(K5)	10	11	9		
109	(K4)	1			1	
09		5	5			
011		5	5			
152	(K3)				1	
<b>Pommernbucht</b>						
133		5	5			
160		2	3	2		
OB4		5	5			
OB(=ODAS-Tonne)	(K58)	3		1		
<b>Bornholmsee</b>						
213	(K2)	10	10	9	1	
<b>Östl. Gotlandsee</b>						
259	(K1)	4	5	5		
271	(J1)	11	7	7		83

)<sup>1</sup> davon 8 Proben vom LANU Kiel und 4 Proben vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) genommen.

)<sup>2</sup> davon 8 Proben vom LANU Kiel genommen.

)<sup>3</sup> die 3 Proben vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) genommen.



### 2.3 Phytoplankton

Zur Gewinnung einer Oberflächen-Mischprobe wurde das Wasser von 1 m, 2,5 m, 5 m, 7,5 m und 10 m Tiefe zu gleichen Teilen vermischt. Die Proben (250 ml) wurden mit 1 ml saurer Lugolscher Lösung fixiert und so bis zur Auswertung gelagert (max. 6 Monate).

Die Biomasse der einzelnen Phytoplanktonarten wurde mikroskopisch entsprechend der traditionellen Methode nach UTERMÖHL (1958) bestimmt. Arten mit starker Variabilität der Größe wurden nach Größenklassen gezählt. Um eine statistisch akzeptable Abschätzung zu erhalten, wurden von den häufigsten Arten mindestens 50 Individuen und insgesamt pro Probe 500 Individuen gezählt, so daß wir auf einen statistischen Zählfehler für die häufigsten Einzelarten von etwa 28 % kommen. Jeder Art bzw. Größenklasse entspricht ein charakteristisches Individuenvolumen (Berechnung nach HELCOM 1998). Dieses wird mit der Anzahl der gezählten Individuen multipliziert, um auf das Biovolumen der jeweiligen Art zu kommen. Bei Annahme einer Dichte von  $1 \text{ g cm}^{-3}$  entspricht das Biovolumen zahlenmäßig der Biomasse (Frischmasse). Die Berechnung und Datenausgabe erfolgten mit Hilfe des von HELCOM empfohlenen Programms der Softwarefirma Kahma Ky (Helsinki). Auf eine weitere Umrechnung in Kohlenstoff-Einheiten wurde verzichtet, da der dazu empfohlene konstante Umrechnungsfaktor ( $F=0,11$ ) sehr fragwürdig ist.

### 2.4 Algenpigmente

Das Probenwasser aus den einzelnen Entnahmetiefen (1 m, 2,5 m, 5 m, 10 m, 15 m und 20 m) wurde separat, ohne Mischung der verschiedenen Wässer, analysiert. Zur Bestimmung der Algenpigmente wurde das Phytoplankton auf Glasfaserfiltern (Whatman GF/F) angereichert. Die Extraktion erfolgte in 90 %igem Aceton. Zur Verbesserung der Chlorophyllausbeute wurden die Filter homogenisiert. Zur Messung wurde ein Fluorometer benutzt. Die Messung und Berechnung der Konzentration des Phaeopigment a erfolgte nach der Ansäuerungs-Methodik von LORENZEN (1967).

### 2.5 Mesozooplankton

Das mit einem UNESCO-Standardnetz WP II (Maschenweite  $100\mu\text{m}$ ) (UNESCO, 1968) genommene Mesozooplankton wurde den Empfehlungen der HELCOM (1998) entsprechend bearbeitet. Die Fixierung erfolgte mittels Formaldehydlösung auf eine Endkonzentration von 4 %. Zur mikroskopischen Bearbeitung wurden aus der gut gemischten Probe Unterproben mittels einer weiten Pipette entnommen. Am umgekehrten Mikroskop wurden bei einer 50-fachen Vergrößerung mindestens 500 Individuen pro Probe gezählt. Damit ist der durch die Zählung bedingte Fehler für die Gesamtabundanz  $< 10 \%$  (nach EDLER, 1979). Für einzelne Arten und Gruppen ist er in Abhängigkeit von der gezählten Individuenzahl jedoch deutlich größer. Die Berechnung der Abundanz des Mesozooplanktons und die Erstellung der Datensätze für die HELCOM-Datenbank erfolgten mittels eines von der Firma Kahma Ky entwickelten Softwareprogramms. Die Umrechnung in entsprechende Biomassewerte erfolgte nicht, da die

saisonale und geographische Variabilität dieser Faktoren nicht ausreichend bekannt ist. Deshalb belassen wir es bei der Angabe der Abundanzen.

Obwohl Nauplien, Rotatorien und Tintinniden nicht zum Mesozooplankton gehören, sollen sie auch weiterhin mit erfaßt werden. Allerdings bedarf es noch einer eingehenderen Bewertung der Qualität der bisherigen Daten dieser Gruppen (vgl. Kap. 2.10).

## 2.6 Makrozoobenthos

Je nach Sedimenttyp wurden zwei verschiedene van-Veen-Greifer (980 cm und 1060 cm<sup>2</sup>) mit unterschiedlichen Gewichten (38 kg bzw. 70 kg sowie 23 kg) eingesetzt. Pro Station wurden 3 Parallelproben entnommen, die Sedimentproben jeweils einzeln durch ein Sieb mit 1 mm Maschenweite mit Seewasser gespült und der Siebrückstand mit 4 %igem Formalin fixiert (HELCOM 1998). Außerdem kam an den Stationen 30, 109 und 152 eine Dredge mit einer Spannweite von 1,5 m und einer Maschenweite von 5 mm zum Einsatz. Leider konnte sie aus wettertechnischen Gründen nicht an allen Stationen eingesetzt werden. Zur besseren Beurteilung der Substrateigenschaften und zur Determination ausgewählter Arten wurden Videoaufnahmen mit einem per Drift gezogenen Videoschlitten gemacht. Zur Verwendung kam eine üblicherweise als Überwachungskamera eingesetzte VK-C78ES (CCTV Power Zoomkamera) von Hitachi. Die Kamera wurde in eine Schwenk- und Neigeeinrichtung montiert und in einem PVC-Gehäuse untergebracht. Zusätzlich wurden zwei parallele Laser angebracht, die auf dem Sediment und im Videobild sichtbar, ständig einen konstanten Abstand markierten, so daß ein Maßstab zur Verfügung stand.

Die weitere Bearbeitung der Proben erfolgte im Labor. Die Taxa wurden bis auf wenige Gruppen (Anthozoa, Nemertini) bis zur Art bestimmt und die Abundanzen und Biomassen (Aschefreies Trockengewicht, AFTG) erfaßt, bei Mollusken inklusive Schalengewicht.

## 2.7 Sedimentation

Die Raten des vertikalen Partikelflusses (Sedimentation) werden bislang nur auf der Station 271 (BY15) in der zentralen Gotlandsee gemessen. Hier werden zur Erfassung der Menge und Qualität des aus der Deckschicht absinkenden Materials automatische Sinkstofffallen des Typs SM 234 mit einer Fangfläche von 0,5 m<sup>2</sup> verankert, die 18 in programmierbaren Zeitschritten auswechselbare Fanggläser besitzen. Die Verankerung wird bei einer Wassertiefe von 249 m ohne Oberflächenmarkierung ausgelegt und mit Hilfe von akustischen Auslösern nach 3 - 6 Monaten wieder aufgenommen. Die einzelnen Fangintervalle betragen zwischen 4 und 7 Tagen. In der Verankerung befand sich jeweils eine Falle unter der Halokline in 140 m Tiefe und eine weitere in Bodennähe bei 230 m Wassertiefe. Am aufgefangenen Material wurden Elementanalysen, Bestimmungen der natürlichen Isotopenzusammensetzung, Pigmentuntersuchungen sowie mikroskopisch-taxonomische Analysen durchgeführt.

Besonders 1997 kam es zu extremen Zeitverzügen durch lange Expositionszeiten der Fallen und lange Bearbeitungszeiten des Probenmaterials. Die ab August ausgelegte Verankerung konnte auf

mehreren vorgesehenen Fahrten im Winter 97/98 wegen stürmischen Wetters nicht geborgen werden. Beim letzten Versuch waren die Batterien der Auslöser entladen, so daß die Fallen erst im Sommer 1998 mit einem Suchdraht gedredged und aufgenommen werden konnten. Die Bearbeitung der Proben wurde durch die Rekonstruktion der IOW-Labors seit dieser Zeit soweit verschoben, daß die Analysen von partikulärem organischen Kohlenstoff und Stickstoff aus diesen Fallen erst zur Zeit durchgeführt werden und noch keine Ergebnisse vorliegen. Da die Analysen der anderen Variablen schneller durchgeführt werden konnten, ist eine Diskussion des gesamten Jahresverlaufes mit Einschränkungen möglich.

## 2.8 Satellitendaten

Für die Untersuchung der Phytoplanktonentwicklung in der Ostsee in Beziehung zur Wassertemperatur wurden Satellitendaten im sichtbaren und infraroten Spektralbereich verwendet. Karten der Wasseroberflächentemperatur (SST) wurden aus den Infrarotkanälen des Advanced Very High Resolution Radiometers an Bord der Wettersatelliten der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA abgeleitet und vom BSH Hamburg übernommen. Das BSH betreibt eine *SeaSpace*- HRPT (High Resolution Picture Transmission) Empfangsstation. Die Standardprozedur einschließlich der SST-Algorithmen sind bei SIEGEL et al. (1994b) beschrieben.

Daten der Wasserfarbe der Ostsee standen 1998 vom Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) zur Verfügung, die durch die National Aeronautics and Space Administration der USA bereitgestellt wurden. Mit SeaWiFS (Start im August 1997) steht nach dem Küstenfarb-scanner CZCS (1978-1986) erstmals wieder ein Sensor zur Verfügung, der die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Konzentration von Wasserinhaltsstoffen ermöglicht. Die Ableitung der für die Untersuchungen notwendigen Chlorophyllkonzentrationen erforderte umfangreiche methodische Arbeiten, da die Prozeduren, die im Rahmen des durch die NASA bereitgestellten Softwarepakets SEADAS Verwendung finden, für die Ostsee keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferten. Schwerpunkte in der Prozedur der Daten-evaluierung sind die Atmosphärenkorrektur und die Inhaltsstoffalgorithmen. Umfangreiche Tests haben gezeigt, daß der Hauptfehler durch die verwendete Atmosphärenkorrektur in der SEADAS-Standardprozedur verursacht wird, da sie davon ausgeht, daß die spektrale Rückstrahlung des Wassers bei 670nm vernachlässigbar ist, was für die Ostsee nicht anwendbar ist.

Die Abb. 2a zeigt am Beispiel vom 16.05.1998 die Ergebnisse der SEADAS-Prozedur einschließlich der Atmosphärenkorrektur und des globalen case-2-Wasseralgorithmus mit zu hohen Chlorophyllkonzentrationen zwischen 5 und 10 mg m<sup>-3</sup> in den zentralen Teilen der gesamten Ostsee. Gemessen wurden am 16. Mai nur etwa 1 mg m<sup>-3</sup> in der östlichen Gotlandsee.

Das im weiteren verwendete Verfahren benutzt eine Atmosphärenkorrektur, die von Sturm (JRC-Ispra) zur Verfügung gestellt wurde und die Rückstrahlung bei 670 nm berücksichtigt sowie Chlorophyllalgorithmen der Ostsee, die durch das IOW anhand von ground truth Messungen über mehr als 10 Jahre abgeleitet worden sind. Diese Beziehung verknüpft die Chlorophyllkonzentration mit dem Verhältnis von zwei Kanälen (510nm/670nm) in einem Potenzansatz mit den Koeffizienten  $A = 31.049$  und  $B = -2.115$ . Das Ergebnis ist in Abb. 2b dargestellt. Die abgeleiteten

Konzentrationen mit Werten unter  $1 \text{ mg m}^{-3}$  stimmen mit den Schiffsmessungen wesentlich besser überein.

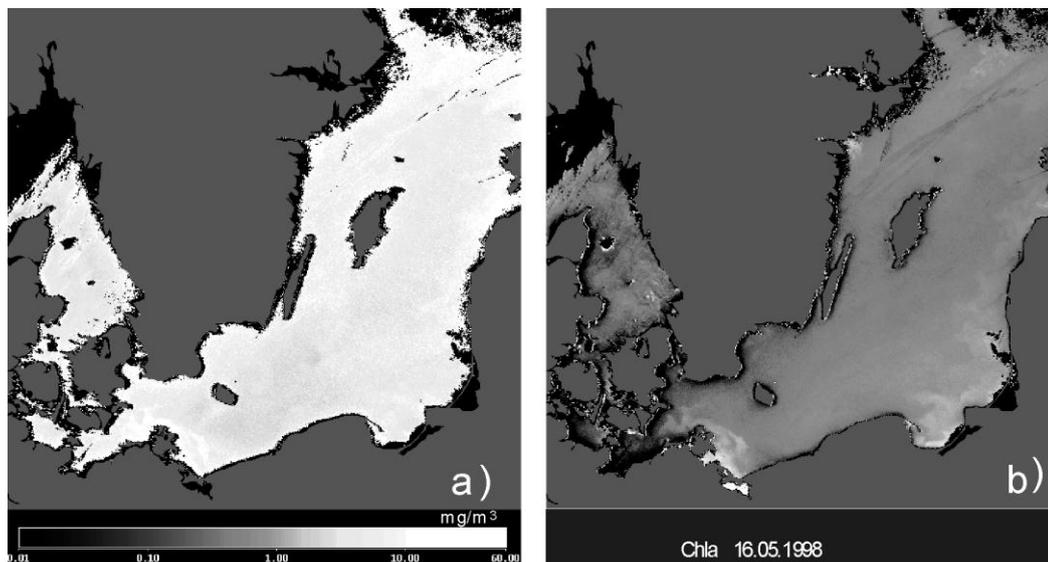


Abb. 2

Abgeleitete Chlorophyllkonzentrationen (a) SEADAS und (b) Atmosphärenkorrektur nach Sturm und IOW-Chlorophyll Algorithmus

## 2.9 Qualitätssicherung

Die Zusammenarbeit verschiedener Institute und Labors im nationalen (Bund-Länder-Meßprogramm) und internationalen (HELCOM) Rahmen macht eine Abstimmung der Methoden erforderlich, um die Vergleichbarkeit der Meßdaten zu gewährleisten. Gerade die Artbestimmung der Organismen ist subjektiv beeinflusst und wesentlich vom Kenntnisstand des Bearbeiters abhängig. Aus diesem Grunde gab es bereits in der Vergangenheit regelmäßige Weiterbildungsveranstaltungen, über die bereits WASMUND et al. (1998 a) berichteten.

Im Jahre 1998 begannen mit Einführung des Bund-Länder-Meßprogramms (BLMP) auch umfangreiche nationale Aktivitäten zur Qualitätssicherung, die von der Qualitätssicherungsstelle am Umweltbundesamt koordiniert wurden. Die Ergebnisse der Phytoplankton-Interkalibrierungen liegen zur Zeit noch nicht vor. Lediglich zum Test der Biomassebestimmung mit kultivierten Algen gibt es erste Ergebnisse. Die verschiedenen am BLMP beteiligten Institute haben hierzu mit ihren Methoden die Biomasse von definierten Algenproben bestimmt. Eine vorläufige Auswertung erbrachte, daß die Daten des IOW fast stets am Mittelwert der von den verschiedenen Labors bestimmten Biomassen lagen und im Gegensatz zu einigen anderen Labors eine relativ geringe Standardabweichung zeigten.

Ein Ring-Test zum Makrozoobenthos scheiterte an Mängeln in der Vorbereitung des Tests (schlechte Qualität der zentral verschickten Proben). Ein Gegen-Check von Labors, die dieselben Makrozoobenthos-Proben zu analysieren hatten, ist noch nicht ausgewertet.

Die von HELCOM (1998) vorgeschriebene Methode zur Chlorophyll-Bestimmung hat sich im Gegensatz zu den vorherigen Guidelines (HELCOM 1988) geändert: Es soll nicht mehr Aceton, sondern Ethanol als Extraktionsmittel verwendet werden. Wir blieben trotzdem bei unserer bisherigen Methode (Aceton-Extraktion), da wir schon 1996 nachweisen konnten, daß beide Methoden annähernd gleiche Werte liefern. Die von uns angewendete Methode wird auch von ICES (1999) empfohlen.

Auf dem "Second Workshop on Quality Assurance of Pelagic Biological Measurements in the Baltic Sea", Warnemünde, 16.-20.09.1995, verglichen zehn Institute des Ostseeraumes ihre Chlorophyllbestimmungsmethoden. Zum Beispiel lagen die Standardabweichungen der 5 Parallelen der Probe A für die einzelnen Institute in den Bereichen von 1,2 bis 5,2 % (unsere Methode 3,2 %). Das Extraktionsmittel hatte keinen deutlichen Einfluß (außer bei Gefahr einer schnelleren Verdunstung des Aceton).

Nach dem Workshop wurden umfangreiche methodische Experimente durchgeführt (WASMUND und TOPP, 1996). Spezielle Aspekte der Extraktion (Extraktionsmittel, Extraktionszeit, Homogenisation) wurden getestet mit natürlichem Phytoplankton und Kulturalgen (*Phaeodactylum tricorutum*, *Microcystis aeruginosa*, *Thalassiosira weissflogii*) in verschiedenen Chlorophyll a - Konzentrationen (3-80 mg m<sup>-3</sup>). 172 Proben, in 5 Parallelen, wurden gemessen. Dabei zeigte sich, daß die Extraktion in 90 %igem Aceton annähernd die gleichen Ergebnisse wie die in 96%igem Ethanol brachte, wenn die Filter homogenisiert wurden. Diese Experimente erlaubten Informationen zur Genauigkeit der Methode: 5 Parallelproben ergaben eine durchschnittliche Standardabweichung für Chlorophyll a (korrigiert für Phaeopigment) von 2,82 % (90% Aceton) bzw. 2,42 % (96% Ethanol).

Da das IOW das einzige Ostsee-Institut im Bund-Länder-Meßprogramm ist, in dem Zooplankton-Untersuchungen durchgeführt werden, ist eine Interkalibrierung (wie für das Phytoplankton und das Makrozoobenthos beschrieben) hier nicht möglich. Umso mehr ist eine kritische Überprüfung der eigenen Methodik (die auf den HELCOM-Empfehlungen beruht) erforderlich. Dieser Methodenkritik ist ein eigenes Kapitel gewidmet (Kap. 2.10).

## **2.10 Methodenkritik Zooplankton**

Eine Reihe methodischer Probleme verhindert weitgehend eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse des Mesozooplankton-Monitorings.

### **Maschenweite**

Die vorgegebene Maschenweite von 100µm hält die Nauplien der Copepoden nicht quantitativ zurück. Es wurde deshalb darauf verzichtet, die Anzahl der Nauplien in der Gesamtabundanz der Copepoden mit einzuschließen, wie noch im Jahresbericht für 1997 erfolgt. Ebenfalls ist unklar, ob auch Rotatorien, insbes. die Gattung *Synchaeta* durch die Maschen schlüpfen. Deshalb sind Aussagen bezüglich der Abundanz von Rotatorien, insbesondere die bisherige Annahme, daß die Rotatorien-Abundanz in den letzten Jahren stark zugenommen hat (Jahresberichten 1997 und 1998), nur als sehr vorläufig zu betrachten. Wenn man allerdings annimmt, daß die Fängigkeit der

Netze für die einzelnen Arten zwar nicht 100 %, aber doch relativ konstant ist, kann man auch für Langzeit-Untersuchungen noch vernünftige Relativ-Aussagen machen. Das Problem der Maschenweite ist auf einem Workshop in Warnemünde im Jahre 1996 experimentell untersucht worden (ICES, 1997). Die Fängigkeit der verschiedenen Netze bezüglich der einzelnen Zooplanktonarten wurde dort detailliert dargestellt.

#### Patchiness

Der nationale deutsche Beitrag zum HELCOM-Monitoring des Mesozooplanktons beschränkt sich in der Regel auf eine oder zwei Probennahmen pro Station pro Jahreszeit (die Sortierkapazität läßt die Bearbeitung größerer Probenmengen nicht zu). Wegen der fleckenhaften Verteilung von Planktonorganismen (patchiness) kann eine einmalige Probennahme zu völlig falschen Einschätzungen der Abundanz von Plankton im Untersuchungsgebiet führen. So wurden z. B. im Tiefenwasser der Station 213 am 7. August 1997 596 Copepoden m<sup>-3</sup> gezählt und am 11. August 20 354 Copepoden m<sup>-3</sup>, das 34fache des vorherigen Wertes. Solche extremen Unterschiede werden möglicherweise im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit von HELCOM durch zusätzliche Probennahme der Partnerländer ausgeglichen. Eine Interpretation der national gewonnenen Daten ist jedoch bei der geringen Anzahl von Proben höchst schwierig und problematisch.

#### Beprobungsfrequenz

Einige Organismengruppen wie z. B. Cladoceren bauen in wenigen Wochen große Populationen auf, die ebenso schnell wieder zusammenbrechen. Bei der extrem geringen Probenfrequenz im nationalen Beitrag zum HELCOM-Monitoring, wobei bis zu zwei Monate zwischen einzelnen Probennahmeterminen verstreichen, können solche natürlichen, explosionsartig verlaufenden Populationsentwicklungen durch das zeitliche Probenraster fallen und verborgen bleiben. Insbesondere zwischenjährliche Vergleiche, die nur auf den national erhobenen Daten beruhen, können völlig falsche Trends vortäuschen.

#### Zusammenfassung zu Artengruppen

Vielfach werden bei der Auswertung und der Ergebnisdarstellung zwei oder mehr Arten zu Artengruppen, z.B. Copepoden, zusammengefaßt. Das erfolgt, wie hier, zur übersichtlicheren Darstellung (und „weil es schon immer so gemacht wurde“) und da oft eine Artentrennung nicht durchgeführt werden kann. Die Zielsetzung des Monitoring ist, Trends in der Entwicklung mariner Populationen zu erkennen und, zum Verständnis des Ökosystems Ostsee, nach Kausalzusammenhängen zu suchen. Da unterschiedliche Arten sehr unterschiedlich auf denselben einwirkenden Faktor reagieren und unter Umständen sogar gegenläufige Reaktionen zeigen können, läuft eine Zusammenfassung zu Artengruppen den Zielen des Monitoring zuwider. Eine Interpretation der Trends in der Abundanz von Artengruppen ist vielfach unsinnig. Die Schwierigkeit der Artentrennung stellt beim Mesozooplankton ein ernsthaftes Problem dar.

#### Schlußfolgerungen

Die Methodik des Monitoring des Mesozooplankton muß gründlich überdacht und verbessert werden. Möglicherweise ist es sinnvoller, das Monitoring auf bestimmte, identifizierbare Schlüsselarten zu beschränken. Auf die Interpretation nicht interpretierbarer Ergebnisse sollte verzichtet werden. Ein den Umständen angepaßtes, effizientes Monitoring, das aussagekräftige Ergebnisse liefern soll, setzt allerdings eine intensive mehrjährige Forschung voraus.

### 3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1998

Zur Interpretation der biologischen Daten ist die Kenntnis der meteorologischen, hydrologischen und hydrochemischen Verhältnisse im entsprechenden Untersuchungszeitraum unbedingt erforderlich. Die wichtigsten physikalischen und chemischen Variablen werden im Rahmen des hydrographisch-chemischen Monitorings gemessen. Die Ergebnisse sind ausführlich bei MATTHÄUS et al. (1999) dargestellt. Hier soll nur ein kurzer Abriss zur besseren Einordnung der folgenden Ergebnisse gegeben werden.

Der Winter 1997/98 war in der nördlichen Ostsee mild, in der südlichen Ostsee sogar sehr mild und einer der wärmsten in diesem Jahrhundert (STRÜBING, 1998). An der Meßplattform "Darßer Schwelle" wurde das Minimum der Wassertemperatur Anfang Februar 1998 mit Werten um 2 °C registriert. Im Februar traten starke westliche Winde auf, die zu einem Anstieg des Wasserspiegels der Ostsee von 40 cm über Normal führten. Auch die Monate März bis Mai waren in der westlichen und zentralen Ostsee mild mit positiven Anomalien der Lufttemperatur an der Wetterstation Arkona von 1,4 - 1,5 K. Die thermische Schichtung der Wassersäule begann an der Darßer Schwelle Mitte April und war bis Ende August ausgeprägt. Insbesondere der Mai war niederschlagsarm und sonnig. Der Anstieg der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde in der Arkonasee Anfang Juni für fast zwei Wochen durch den Auftrieb kalten winterlichen Zwischenwassers unterbrochen. Der gesamte Sommer blieb kühl, mit negativen Temperaturanomalien an der Wetterstation Arkona von z.B. -1,3 K im Juli, hohen Niederschlägen, insbesondere im Juni, und relativ starken Winden. Das Maximum der Wassertemperatur an der Darßer Schwelle wurde Mitte August mit Werten um 16 °C erreicht. Auch die Monate Oktober bis Dezember waren mit Anomalien zwischen -1 und -3 K deutlich zu kalt. Die Windspitzen (westliche Winde bis 32 m s<sup>-1</sup>) traten im Oktober auf und führten zu einem starken Anstieg des Wasserspiegels um 90 cm innerhalb von 24 Tagen. Dieses Einstromereignis erreicht aber nicht die Stärke eines Salzwassereintruchs. Die kleineren Einströme im Laufe des Jahres 1998 hatten keine signifikanten Auswirkungen in der zentralen Ostsee, so daß Temperatur und Salzgehalt im Tiefenwasser der Gotlandsee wieder rückläufig waren.

Die Sturmereignisse vom Oktober 1997 führten sehr warmes und salzreiches Wasser in die Ostsee, das Ende Oktober mit Temperaturen von 11,5 bis 13 °C und Salzgehalten bis 18 PSU im Tiefenwasser des Bornholmbeckens beobachtet wurde. Dadurch waren die zentralen Ostseebecken zu Anfang 1998 wieder belüftet. Ab Mai 1998 wurden jedoch weite Teile des Bornholmbeckens ab 80 m Wassertiefe abermals anoxisch, ab August 1998 komplett auch das Gotlandtief und das Farötief ab 130-150 m Tiefe.

Der bereits von NEHRING et al. (1996) beobachtete Rückgang der Winterkonzentrationen der Nährstoffe im Oberflächenwasser setzte sich 1998 nicht eindeutig fort. In einigen Seegebieten (Mecklenburger Bucht, östliche Gotlandsee) stiegen die Phosphatkonzentrationen im Vergleich zu 1997 etwas an, während die Summe der anorganischen Stickstoffverbindungen größtenteils zurückging. Mit der im Frühjahr einsetzenden Phytoplanktonentwicklung sinken die Nährstoffkonzentrationen und erreichen im Sommer Werte, die an der analytischen Nachweisgrenze liegen. Im August beginnt in der zentralen Ostsee eine Akkumulation von Nitrit im oberen Bereich der Salzgehaltssprungschicht (50-70 m), wahrscheinlich aufgrund eines verstärkten Mineralisierungsgeschehens. Im weiteren Jahresverlauf dehnt sich dieser Bereich bis zur

Oberfläche aus. Im Winter wird das Nitrit zu Nitrat oxydiert. In der westlichen Ostsee und vor allem in den inneren Bereichen der Lübecker und der Pommerschen Bucht werden im Winter aber höhere Nitrit-Konzentrationen beobachtet (0,85 - 1,75 mmol m<sup>-3</sup>), die auf Einträge aus dem Einzugsgebiet sowie eine noch nicht abgeschlossene Nitrifikation deuten (MATTHÄUS et al., 1999).

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Phytoplankton**

#### **4.1.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Biomasse**

Entsprechend den sich im Jahresverlauf verändernden Umweltbedingungen verändert sich auch die Biomasse der einzelnen Phytoplanktonarten erheblich. Unter günstigen Wachstumsbedingungen kommt es zu plötzlichen Massenvermehrungen des Phytoplanktons. Diese plötzlich entstandenen hohen Biomassen, die mit starken Trübungen des Wassers einhergehen, werden als "Blüten" bezeichnet. Sie verbrauchen die Ressourcen relativ schnell und können sich dadurch nicht lange halten. Blüten sind also meistens nur von kurzer Dauer. Deshalb können sie bei einem zu weitabständigen Probennahmerhythmus leicht übersehen werden. Auf die Notwendigkeit der Erhöhung der Probenfrequenz sind wir schon in Kapitel 2.1 eingegangen. Durch die dort dargestellten Maßnahmen konnten wir die Probenanzahl insbesondere in der Mecklenburger Bucht weiter erhöhen. Trotzdem sind einige Blüten, speziell die Frühjahrsblüten, in den 1998er Daten nicht ausreichend repräsentiert.

Aus unseren langjährigen Datenreihen wissen wir, daß im Untersuchungsgebiet jährlich drei markante Blüten (Frühjahrsblüte, Sommerblüte, Herbstblüte) vorkommen, die oft noch in Phasen unterschiedlicher Artenentwicklungen unterteilt werden können (vgl. WASMUND et al., 1998 a und b). Da sich Verlauf und Artenzusammensetzung der Blüten in den verschiedenen Seegebieten unterscheiden, sollen diese separat behandelt werden.

Die Jahresgänge der Biomasse der wichtigsten taxonomischen Gruppen sind in den Abb. 3 - 5 für die am häufigsten beprobten Stationen dargestellt.

##### **4.1.1.1 Mecklenburger Bucht**

###### **Frühjahrsblüte**

Insbesondere in den westlichen Gebieten der Ostsee findet man im allgemeinen innerhalb der Frühjahrsblüte zuerst eine Entwicklung von Kieselalgen (Bacillariophyceae), die dann von Dinoflagellaten (Dinophyceae) abgelöst wird (am besten sichtbar in Abb. 4 a). Die Frühjahrsblüte der Kieselalgen beginnt in der Mecklenburger Bucht normalerweise im März, also eher als in den östlicheren Teilen der Ostsee. Wahrscheinlich ist die Flachheit des Gewässers für eine schnellere Aufheizung, die Herausbildung der thermischen Schichtung und für den frühen Entwicklungszeitpunkt entscheidend. Auch in der Pommernbucht gab es bisher Hinweise auf eine früh einsetzende Algenentwicklung.

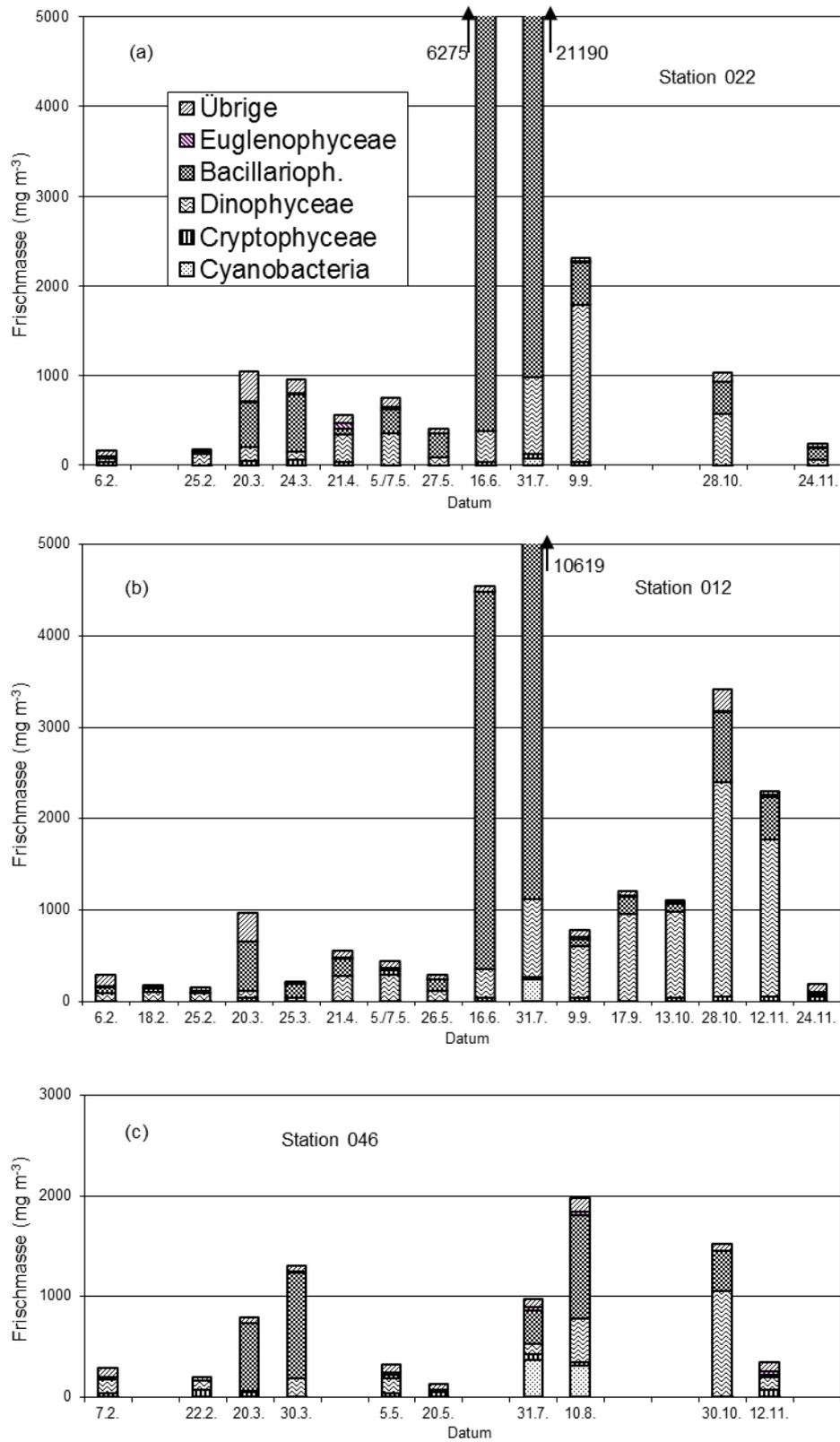


Abb. 3

Jahresgang 1998 der Phytoplanktonbiomasse in taxonomischen Gruppen in (a) der Lübecker Bucht, (b) der zentralen Mecklenburger Bucht und (c) der östlichen Mecklenburger Bucht (Mischproben aus 0-10 m Tiefe).

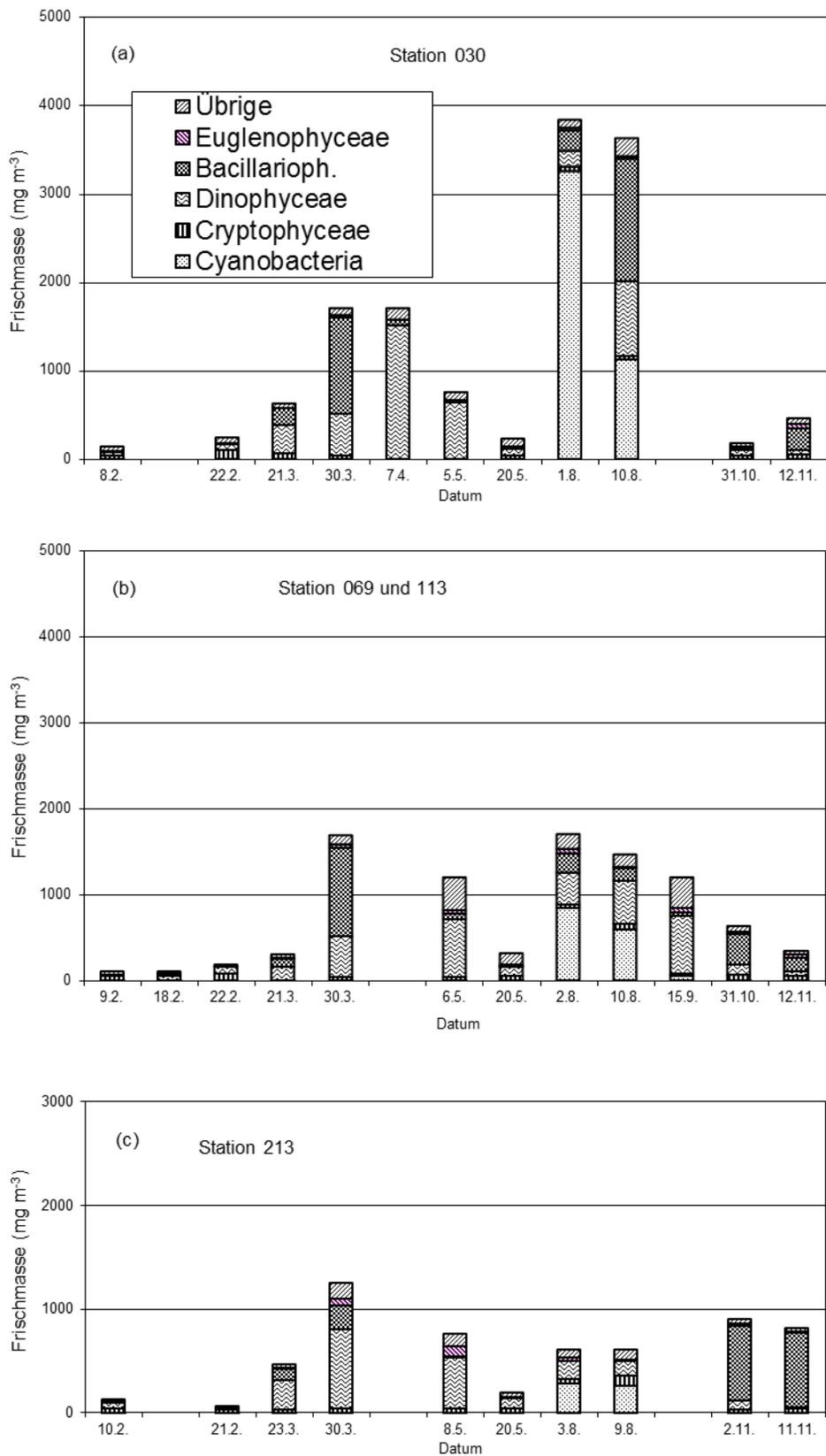


Abb. 4

Jahresgang 1998 der Phytoplanktonbiomasse in taxonomischen Gruppen in der Arkonasee (a und b) und der Bornholmsee (c). Mischproben aus 0-10 m Tiefe. Die dänischen Proben von Station 069 (15 km nordwestlich der Stat. 113) wurden in die Datenreihe der Station 113 mit einbezogen.

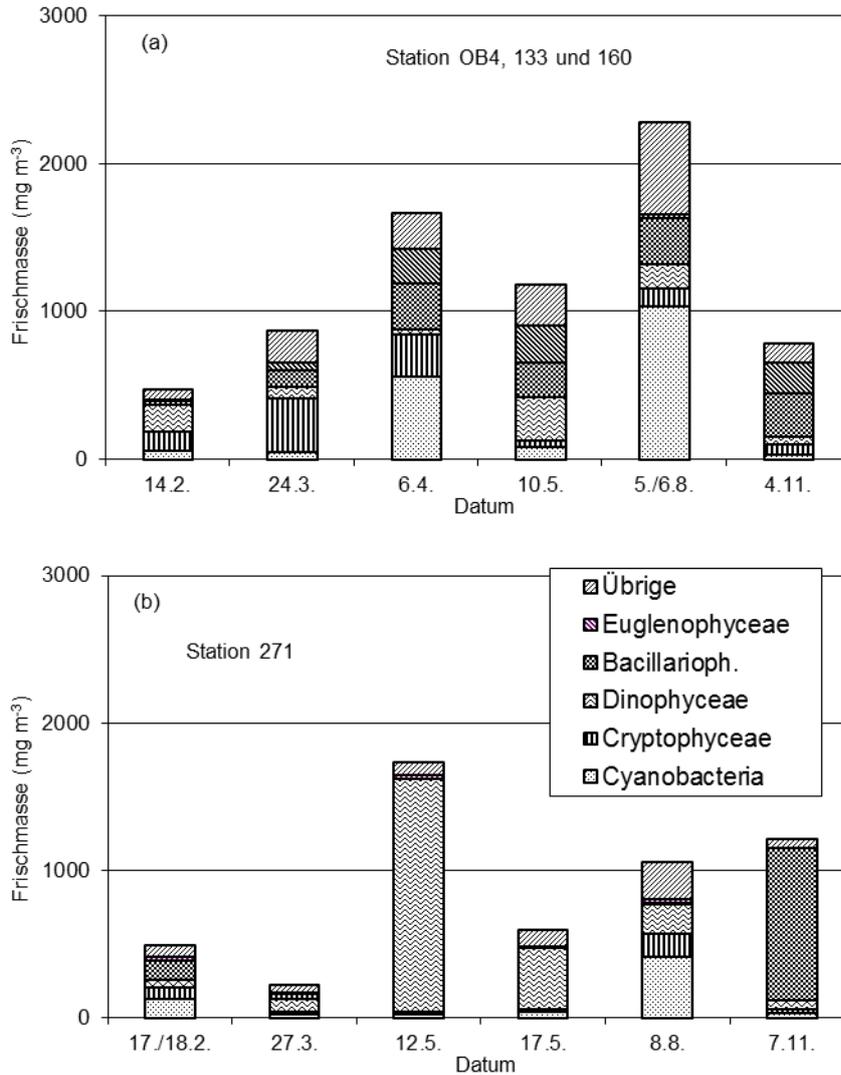


Abb. 5

Jahresgang 1998 der Phytoplanktonbiomasse in taxonomischen Gruppen in (a) der Pommer-schen Bucht (Mittelwerte aus Stationen OB4, 133 und 160) und (b) der östlichen Gotlandsee (Mischproben aus 0-10 m Tiefe).

Im Februar 1998 fanden wir in der Mecklenburger Bucht (einschl. Lübecker Bucht) die für den Winter typischen geringen Phytoplanktonbiomassen (bis  $290 \text{ mg m}^{-3}$ ), hauptsächlich aus Cryptophyceen (*Teleaulax* spp.) und Dinophyceen (*Ceratium tripos*, *Heterocapsa rotundata*, *Gymnodinium* sp.) bestehend (Abb. 3 a-c). Wir schließen in unsere Phytoplankton-Biomasseangaben generell auch den autotrophen Ciliaten *Myrionecta rubra* ein, der zwar nicht zu den Algen gehört, aber wie diese Photosynthese betreibt und oft einen erheblichen Anteil an der Biomasse ausmacht (z.B. am 6.2.98 an Station 12:  $108 \text{ mg m}^{-3}$ ). Im Winter, also vor der Wachstumsperiode, finden wir die jährlichen Nährstoffmaxima. Diese liegen im Jahre 1998 in der Mecklenburger Bucht bei etwa  $0,6 \text{ mmol m}^{-3}$  Phosphat,  $6-12 \text{ mmol m}^{-3}$  Nitrat und  $16 \text{ mmol m}^{-3}$  Silikat.

Zum 20.3.98 hat sich eine Biomasse von etwa  $1000 \text{ mg m}^{-3}$  aufgebaut. Dabei waren die Nährstoff-Konzentrationen auf etwa  $0,3 \text{ mmol m}^{-3}$  Phosphat,  $2-4 \text{ mmol m}^{-3}$  Nitrat und etwa  $13 \text{ mmol m}^{-3}$  Silikat zurückgegangen. Die Phytoplanktonblüte hatte also bereits eingesetzt, hatte wegen der Nährstoffressourcen aber noch genügend Wachstumspotential, so daß die Spitze der Blüte im April zu erwarten war. Zu jener Zeit fanden aber keine Messungen statt, so daß wir keine direkten Informationen über die Höhe der gebildeten Biomasse haben. Aus den Winterkonzentrationen der Nährstoffe, die während der Blüte im allgemeinen vollständig aufgebraucht werden, kann man jedoch auf die Höhe der potentiell gebildeten Biomasse schließen. Da die Produktion durch Stickstoff limitiert ist (siehe Diskussion in Kap. 5.2), bestimmt die vorhandene Stickstoff-Menge die maximal mögliche Biomasse. Das Molverhältnis C:N in Algen beträgt im Durchschnitt 6,6. So wäre beispielsweise der im Winter an der Station 012 vorhandenen Menge an Nitrat und Nitrit von  $7,7 \text{ mmol m}^{-3}$  eine potentiell zu fixierende Masse an Kohlenstoff von  $50,8 \text{ mmol m}^{-3}$  (=  $610 \text{ mg m}^{-3}$ ) äquivalent. Das würde bei Annahme eines Faktors "org.Kohlenstoff / Frischmasse = 0.11" (HELCOM 1998) einer während der Frühjahrsblüte zu bildenden Protoplasma-Masse von  $5544 \text{ mg m}^{-3}$  entsprechen. Die Protoplasma-Masse entspricht bei den meisten Algen der Biomasse (Frischmasse). Speziell die Kieselalgen haben jedoch eine große Vakuole, die nicht zum Protoplasma gehört und kaum organischen Kohlenstoff enthält, aber trotzdem zur Biomasse gerechnet werden muß. Die zu bildende Kieselalgen-Biomasse ist somit noch erheblich höher als die zu errechnende Protoplasma-Masse. Einen einfachen Umrechnungsfaktor zwischen Protoplasma-Masse und Biomasse der Kieselalgen gibt es nicht, denn dieser hängt von der jeweiligen Art, insbesondere von der Zellgröße ab. Da die Vakuole kein Chlorophyll enthält, ist die Chlorophyll-Konzentration eher zur Protoplasma-Masse (bzw. zum Kohlenstoffgehalt) als zur Biomasse korreliert.

Die frühe Phase der Frühjahrsblüte (Ende März) in der Mecklenburger Bucht bestand vorwiegend aus Kieselalgen (*Chaetoceros*-Arten, insbesondere *Ch. borealis* und *Ch. decipiens*, weiterhin *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina* und *Skeletonema costatum*), Haptophyceen (*Phaeocystis pouchetii*), Dinophyceen (*Gymnodinium* spp.) und Cryptophyceen (*Teleaulax acuta*). Die im Jahre 1997 blütenbildende *Thalassiosira baltica* wurde nicht mehr gefunden. Auch das ungewöhnlich frühe Auftreten von *Peridiniella catenata* im Jahre 1997, die sonst nicht in der Mecklenburger Bucht, sondern in der eigentlichen Ostsee die Frühjahrsblüten bildet, konnte im Jahre 1998 nicht bestätigt werden. In dieser Beziehung war 1998 ein "normales" Jahr. Die schon aus den Vorjahren bekannte Ablösung der Kieselalgen durch Dinophyceen innerhalb der Frühjahrsblüte trat auch 1998 ein: Sowohl am 21.4. als auch am 5.-7.5.1998 waren die Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Heterocapsa rotundata*) dominant.

#### Sommerblüte

Im Mai 1998 begann in der westlichen Mecklenburger Bucht (einschl. Lübecker Bucht) bereits das Wachstum von *Dactyliosolen fragilissimus*, welches üblicherweise erst im Sommer eine Blüte bildet. Es wurde schon Ende Mai zur dominierenden Art und bildete im Juni und Juli eine gewaltige Blüte. Es muß hier aber nochmals betont werden, daß in den Biomassewerten die Vakuole enthalten ist, die bei dem großzelligen *Dactyliosolen fragilissimus* bis 85 % der Biomasse ausmacht, aber nur wenig organischen Phosphor, Stickstoff und Kohlenstoff sowie kein Chlorophyll enthält. Noch am 10.8.98 wurden hohe Biomassen von *Dactyliosolen fragilissimus* bis

in die westliche Arkonasee (Station 030, Abb. 4 a) hinein beobachtet. Eine derartige Blüte war im Jahre 1997 nicht gefunden worden.

Ab Ende Juli traten hauptsächlich Dinoflagellaten (*Ceratium tripos*, *Prorocentrum minimum*, *Glenodinium* sp., *Gymnodinium* sp.) und Cyanobakterien (*Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon* sp., *Anabaena* sp.) auf. Während *Ceratium* von Westen in die Mecklenburger Bucht vordringt, sind Blüten von Cyanobakterien eher auf die eigentliche Ostsee beschränkt. Im Gegensatz zu dem extrem warmen Sommer 1997 wurden während des durch Tiefdruckgebiete geprägten August 1998 keine Cyanobakterienblüten in der Mecklenburger Bucht beobachtet.

#### Herbstblüte

Im September und Oktober dominierte der Dinoflagellat *Ceratium tripos*. Daneben sind noch *Prorocentrum minimum*, *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Protoperidinium steinii* sowie insbesondere in der Lübecker Bucht die Kieselalgen *Cerataulina pelagica*, *Proboscia alata*, *Guinardia flaccida* und *Dactyliosolen fragilissimus* bedeutsam. In der Mecklenburger Bucht trat *Guinardia flaccida*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Thalassiosira* spp. und die Chrysophyceen *Distephanus speculum* in Erscheinung, während die sonst vorherrschende Kieselalge *Coscinodiscus granii* nun in diesem Seegebiet bedeutungslos blieb.

#### 4.1.1.2. Arkonasee

##### Frühjahrsblüte

Im allgemeinen beginnt die Frühjahrsblüte in der Arkonasee mit einer Kieselalgenentwicklung in der zweiten Märzhälfte. Sie reicht bis weit in den April hinein, wobei sie sukzessive von Dinoflagellaten abgelöst wird, die zum Mai hin dominant werden. Diese Dinoflagellatenblüte erreicht aber nicht die hohen Biomassen der vorangegangenen Kieselalgenblüte, da sie von Anfang an nährstofflimitiert ist.

Während die Kieselalgenblüte im Jahre 1997 nach einem relativ milden Februar früher als üblich begann, konnte sie 1998 nach einem sogar noch milderem Winter erst in der zweiten Märzhälfte beginnen. Im Februar 1998 lagen die Phosphat-Konzentrationen im Oberflächenwasser bei  $0,4 \text{ mmol m}^{-3}$ , die Summe der anorganischen Stickstoff-Verbindungen bei  $3,4 \text{ mmol m}^{-3}$  und die Silikat-Konzentration bei  $11 \text{ mmol m}^{-3}$ . Bis zum 21.3.98 hatten sich die Stickstoff-Konzentrationen um etwa  $0,5 \text{ mmol m}^{-3}$  verringert. Die Phytoplanktonbiomasse zeigte im westlichen Teil der Arkonasee (Station 030, Abb. 4 a) bereits einen Anstieg, so daß zu dieser Zeit etwa der Beginn der Phytoplanktonblüte angenommen werden muß. Bereits zum 30. März war die Phytoplankton-Biomasse sowohl an Station 030 als auch an Station 113 (Abb. 4 b) auf etwa  $1700 \text{ mg m}^{-3}$  angestiegen. Dabei war sowohl die Phosphat-Konzentration als auch die der anorganischen Stickstoff-Verbindungen im Oberflächenwasser auf etwa  $0,2 \text{ mmol m}^{-3}$  und die Silikat-Konzentration auf  $8 - 9 \text{ mmol m}^{-3}$  gesunken. Die Blüte hatte also noch Wachstumspotential. Sie wurde am 30.3.98 an beiden Stationen hauptsächlich von den Kieselalgen *Chaetoceros* sp. ( $9 \times 5 \mu\text{m}$ ) und *Skeletonema costatum* gebildet. Es waren aber auch Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *G. splendens*, *Peridiniella catenata*, *Heterocapsa rotundata*) sowie der

photoautotrophe Ciliat *Myrionecta rubra* in ziemlich hohen Abundanzen vertreten. Interessant ist, daß am Blütenbeginn (Probe vom 21.3.98, Station 030) auch *Thalassiosira levanderi* beteiligt war, die aber zum 30.3.98 wieder weitgehend aus dem Oberflächenwasser verschwand und z.B. am 30.3.98 an Station 113 in 50 m Wassertiefe den größten Teil der Biomasse ausmachte.

Die Kieselalgenblüte verschwand an Station 030 bereits zum 7.4.98 fast vollständig aus dem Oberflächenwasser. Dafür kamen die Dinophyceen, insbesondere *Gymnodinium cf. lohmannii* und *G. splendens* nun voll zur Entfaltung. Ihre Dominanz hielt noch bis zum 5.5.98 an. An Station 113 trat noch *Heterocapsa rotundata* sowie der Ciliat *Myrionecta rubra* hinzu.

Die drei Untersuchungsstationen in der Pommerschen Bucht (Stationen OB4, 133 und 160; Mittelwerte siehe Abb. 5 a) sind mehr oder weniger stark durch den Oder-Ausstrom beeinflusst. Verschiedene Arten (z.B. *Pseudanabaena* sp., *Asterionella formosa*, *Pediastrum* spp., *Coelastrum microporum*, *Skeletonema subsalsum*) sind wahrscheinlich mit dem Süßwasser eingetragen. Auch verschiedene Cryptophyceen (*Teleaulax* spp.) und Euglenophyceen (*Eutreptiella* sp.) waren stark vertreten.

#### Sommerblüte

Vom Juni und Juli lagen aus der Arkonasee keine Proben vor. Zu dieser Zeit konnte in der Mecklenburger Bucht eine Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* nachgewiesen werden (siehe oben). Es ist wahrscheinlich, daß eine solche Blüte auch in der Arkonasee auftrat. Jedenfalls findet man diese Art auf Station 030 am 10.8.98 mit einer Biomasse von  $1082 \text{ mg m}^{-3}$  und an Station O11 (vor Saßnitz) am 5.8.98 sogar mit  $4560 \text{ mg m}^{-3}$ . Auch auf den übrigen Stationen der Arkonasee ist sie Anfang August die dominierende Kieselalgenart. Die wichtigste Gruppe sind zu dieser Zeit allerdings die Cyanobakterien. Auch hier weiß man wenig über den Beginn der Blüte. Wahrscheinlich beginnt das Wachstum der stickstoff-fixierenden Cyanobakterien (*Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon* sp., *Anabaena* spp.) schon nach der Frühjahrsblüte, wenn der organische Stickstoff im Wasser fast aufgezehrt ist, aber noch Phosphat vorhanden ist. Das überschüssige Phosphat wird von den Cyanobakterien aufgenommen und gespeichert. Ihren Stickstoff nehmen diese Algen dann als  $\text{N}_2$  auf. Sie wachsen aber erst zu Blüten aus, wenn bestimmte Licht- und Temperaturgrenzen ( $120 \text{ W m}^{-2}$ ,  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ ) überschritten werden (WASMUND, 1997). Bei Windgeschwindigkeiten unter etwa  $6 \text{ m s}^{-1}$  reichern sich die Algen wegen ihres Auftriebs an der Wasseroberfläche an. Da im August 1998 windiges Wetter vorherrschte, kam es im allgemeinen nicht zu solchen Aufräumungen. Lediglich an Station 113 trafen wir sowohl am 2. als auch am 10. August Windstärken von unter  $4 \text{ m s}^{-1}$  an, verbunden mit dem Auftreten der genannten Oberflächenblüten von *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. Weiterhin sind zu dieser Zeit *Gymnodinium cf. lohmannii*, *Glenodinium* sp., *Prorocentrum minimum*, *Heterocapsa rotundata*, *Woronichinia compacta*, *Pyramimonas* sp., *Eutreptiella* sp., *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax acuta* und natürlich das oben schon genannte *Dactyliosolen fragilissimus* bedeutsam.

## Herbstblüte

Die sich im Herbst in der Mecklenburger Bucht entwickelnde Blüte von *Ceratium tripos* erstreckt sich normalerweise bis in die westliche Arkonasee (Stat. 30). Im Jahre 1998 fehlen uns allerdings Daten vom September und Oktober. Da aber bereits in unserer Probe vom 10.8.98 an Station 030 (aber nicht Stat. 113) *Ceratium tripos* vorkam, nehmen wir an, daß sich diese Art in den folgenden Wochen noch weiter entwickelt hat. Selbst am 31.10. und 12.11.98 konnte *Ceratium tripos* noch in unseren Proben gefunden werden. Eine Probe vom 15.9.98 von Station 069 zeigte eine Blüte von *Prorocentrum minimum* (532 mg m<sup>-3</sup>). Zum Ende Oktober war diese Art wieder vollständig verschwunden. Zu dieser Zeit war *Ceratium tripos* an den Stationen 030, 09, 069 und 113 der dominierende Dinoflagellat. Die größte Biomasse entfiel an Station 113 aber auf große centrische Kieselalgen (meistens *Coscinodiscus granii*, bis 125 µm).

### 4.1.1.3 Bornholmsee

#### Frühjahrsblüte

Am 23.3.98 konnte in der Bornholmsee (Stat. 213, siehe Abb. 4 c) bereits eine erhöhte Phytoplankton-Biomasse (*Gymnodinium cf. lohmannii*, *Thalassiosira baltica*, *Chaetoceros* spp.) festgestellt werden. Die Nährstoffkonzentrationen verharrten aber noch auf dem Winter-Niveau: 0,5 mmol m<sup>-3</sup> Phosphat, 3,5 mmol m<sup>-3</sup> anorganischer Stickstoff, 11 mmol m<sup>-3</sup> Silikat. Wie im westlichen Teil der Arkonasee (Stat. 030) scheint die Phytoplanktonblüte zu dieser Zeit gerade begonnen zu haben. Innerhalb einer Woche verringerte sich die Phosphatkonzentration dann um 0,1 mmol m<sup>-3</sup> und die Nitratkonzentration um 1,1 mmol m<sup>-3</sup>, während die Phytoplanktonbiomasse auf 1255 mg m<sup>-3</sup> anwuchs. Diese Blüte wurde im Gegensatz zur Arkonasee aber nicht primär aus Kieselalgen (*Chaetoceros* sp.), sondern Dinophyceen (*Gymnodinium cf. lohmannii* / *G. splendens*) gebildet. Zum 8.5.98 waren die Kieselalgen fast vollständig verschwunden; die wichtigsten Arten waren *Gymnodinium cf. lohmannii*, *Peridiniella catenata*, *Eutreptiella* sp., *Pyramimonas* sp., *Glenodinium* sp. und *Heterocapsa rotundata*. Dabei ging die Phosphatkonzentration nur auf 0,2 mmol m<sup>-3</sup>, die Stickstoffkonzentration aber auf 0,3 mmol m<sup>-3</sup> zurück. Wegen des Ausbleibens der Kieselalgenblüte hielt sich die Silikat-Konzentration auf dem Winter-Niveau. Zum 20.5.98 war die Blüte beendet.

#### Sommerblüte

Im Juli und August bilden im allgemeinen *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. Blüten. Im Jahre 1998 konnten bereits Ende Juni Cyanobakterien-Akkumulationen im Satellitenbild beobachtet werden (Abb. 31 b). Wegen des windigen Wetters kam es während der Monitoringfahrt im August zu keinen Cyanobakterien-Oberflächenblüten. Selbst bis in 10 m Tiefe kamen die diazotrophen Cyanobakterien nur mit 217-260 mg m<sup>-3</sup> vor. Als Begleitarten traten hauptsächlich *Gymnodinium cf. lohmannii*, *G. cf. albulum*, *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax acuta*, *Woronichinia compacta*, *Eutreptiella* sp., *Pyramimonas* sp., *Prorocentrum minimum*, *Dinophysis norvegica* und *Ebria tripartita* auf.

## Herbstblüte

Im Oktober des Jahres 1997 konnte erstmals eine Herbstblüte des großen Dinoflagellaten *Gymnodinium cf. lohmannii* in der Bornholmsee festgestellt werden. Leider fehlen uns 1998 wieder Proben aus diesem Zeitraum, so daß wir nicht prüfen können, ob solch eine Blüte regelmäßiger auftritt. So können wir mit unseren Proben nur die bislang ziemlich regelmäßig gefundene Herbstblüte der Kieselalge *Coscinodiscus granii* bestätigen. Sie wird begleitet von *Prorocentrum minimum*, *Eutreptiella* sp., *Gymnodinium cf. lohmannii* und *Gyrodinium fusiforme*.

### 4.1.1.4 Gotlandsee

Die Gotlandsee ist kein einheitliches Seegebiet. Es läßt sich zumindest das westliche von dem östlichen Gotlandbecken abtrennen. Auch der nördliche Teil der Gotlandsee sollte als "nördliche eigentliche Ostsee" separat behandelt werden. Im Süden stellt die Danziger Bucht ein eigenständiges Seegebiet dar. Das biologische Monitoring des IOW wurde nur im östlichen Gotlandbecken (Station 259 im südlichen Teil und Station 271 im zentralen Teil) durchgeführt. Stellvertretend für beide Stationen wird in Abb. 5 b nur die Station 271 gezeigt.

## Frühjahrsblüte

Erfahrungsgemäß beginnt die Blüte in der östlichen Gotlandsee später als in den bereits besprochenen Seegebieten. Das bestätigt sich auch im Jahre 1998. Wir fanden am 27.3.98 noch geringen Phytoplankton-Biomassen, aber im Gegensatz zu den Februarproben immerhin schon  $30 \text{ mg m}^{-3}$  *Peridiniella catenata* und  $24 \text{ mg m}^{-3}$  *Thalassiosira levanderi*. Die Winterkonzentration der Nährstoffe ( $0,5 \text{ mmol m}^{-3}$  Phosphat,  $3,9 \text{ mmol m}^{-3}$  anorganischer Stickstoff,  $11 \text{ mmol m}^{-3}$  Silikat an den Stationen 259 und 271) hatten sich zum 27. bzw. 29.3.98 noch nicht reduziert. Zum 11.5.98 war die Phytoplankton-Biomasse an Station 259 auf  $617 \text{ mg m}^{-3}$  (davon  $205 \text{ mg m}^{-3}$  *Peridiniella catenata*,  $71 \text{ mg m}^{-3}$  *Glenodinium* sp. und  $31 \text{ mg m}^{-3}$  *Gymnodinium cf. lohmannii*) angewachsen. Auf Station 271 wurde am 12.5.98 eine Biomasse von  $1731 \text{ mg m}^{-3}$  (davon  $703 \text{ mg m}^{-3}$  *Peridiniella catenata*,  $534 \text{ mg m}^{-3}$  *Gymnodinium cf. lohmannii* und  $249 \text{ mg m}^{-3}$  *Glenodinium* sp.) bestimmt. Daneben kamen noch *Heterocapsa rotundata*, *Pyramimonas* sp., *Eutreptiella* sp., *Aphanizomenon* sp., *Protoperidinium longispinum* und der Ciliat *Myrianecta rubra* in erwähnenswerten Biomassen vor. Zu dieser Zeit waren die Stickstoffkonzentrationen an beiden Stationen schon bis auf etwa  $0,4 \text{ mmol m}^{-3}$  abgesunken, was für die Beendigung der Blüte spricht. Am 17.5.98 hatte die Sedimentation der Blüte schon eingesetzt. In 1 m Wassertiefe war an Station 271 nur noch eine Biomasse von  $597 \text{ mg m}^{-3}$  (davon nur noch  $15 \text{ mg m}^{-3}$  *Peridiniella catenata* und  $236 \text{ mg m}^{-3}$  *Gymnodinium cf. lohmannii*) zu finden. Das Biomassemaximum befand sich dagegen mit  $1260 \text{ mg m}^{-3}$  in 30 m Tiefe ( $36 \text{ mg m}^{-3}$  *Peridiniella catenata*, aber  $786 \text{ mg m}^{-3}$  *Gymnodinium cf. lohmannii*). Phosphat war noch mit  $0,1 \text{ mmol m}^{-3}$  und Silikat mit  $10 \text{ mmol m}^{-3}$  vorhanden.

## Sommerblüte

Bereits Ende Juni konnten auf Satellitenbildern südlich von Gotland Cyanobakterien-Akkumulationen an der Wasseroberfläche gefunden werden (Abb. 31 b). Während der Monitoringfahrt im August 1998 traten in der Gotlandsee, im Gegensatz zum Jahre 1997, wegen starken Windes keine Oberflächenblüten von Cyanobakterien (*Nodularia spumigena* und

*Aphanizomenon* sp.) auf. Diese Cyanobakterienarten waren aber vorhanden und nur durch den Wind in der Wassersäule verteilt. Als Begleitarten kommen verschiedene Cryptophyceen (*Teleaulax acuta*, *T. amphioxeia*, *Plagioselmis prolonga*), *Pyramimonas* sp., *Dinophysis norvegica*, *Gymnodinium* cf. *albulum*, *Pseudanabaena* sp., *Ebria tripartita* (= heterotroph), *Eutreptiella* sp., *Woronichinia compacta*, unbestimmte Haptophyceen sowie der autotrophe Ciliat *Myrionecta rubra* vor. Wie im Vorjahr kam es in der Tiefe der Temperatursprungschicht (um 20 m) zu einer Anreicherung von *Dinophysis norvegica*.

#### Herbstblüte

Während 1997 an Station 271 keine Herbstblüte nachgewiesen werden konnte, fanden wir am 7.11.1998 die typische Blüte von *Coscinodiscus granii*. Eine entsprechende Blüte wurde am 9.11.1998 an Station 259 nicht beobachtet (auch nicht in 38 und 50 m Tiefe). Es fanden sich aber centrische Kieselalgen von 30-40 µm Durchmesser in einer Biomasse von 207 mg m<sup>-3</sup>, daneben auch einige *Coscinodiscus granii*, *Aphanizomenon* sp., *Teleaulax acuta*, *Prorocentrum minimum* und *Gymnodinium* cf. *lohmanni*.

#### 4.1.2 Sedimentation

Die dieser Messung zugrunde liegende Hypothese nimmt an, daß bei einer Veränderung der Einträge von eutrophierenden Stoffen die Sedimentationsrate dieser Elemente langfristig ebenfalls ansteigen muß. Das Gotlandbecken ist das Seegebiet mit dem größten Volumen in der zentralen Ostsee und damit relevant für eine Übertragung der Ergebnisse auf die Ostseescale. Die Sedimentationsereignisse werden im Jahresverlauf durch zwei Quellen gespeist. Im Winterhalbjahr treten Maxima auf, die durch resuspendiertes Material vom Sediment des Beckens und der Beckenrandgebiete gekennzeichnet sind. Hier sind vor allem die mineralischen Komponenten dominant, das Verhältnis von biogenem Kohlenstoff zu mineralischen Bestandteilen nimmt ab.

Während sich in der bodennahen Falle deutlich die Resuspensionsereignisse der Winterperiode durch hohe Werte von Seston (Summengewicht des absinkenden Materials, Abb. 6), partikulärem organischem Kohlenstoff (Abb. 7) und mineralischen Bestandteilen, die auch in lithogenem Material vorhanden sind (Silikat und Phosphor, Abb. 8-9), abzeichnen, zeigt die Falle oberhalb des Bodenwassers in allen gemessenen Variablen ein völlig anderes Verteilungsmuster. Hier treten vor allem die Sedimentationsmuster der pelagischen Organismen in den Vordergrund. Es sind dabei deutlich die Effekte der absinkenden Frühjahrsblüte zwischen März und Mai zu erkennen, die im wesentlichen aus Diatomeen besteht, und daher auch von entsprechender Silikatsedimentation begleitet ist.

Durch einen technischen Fehler blieben die Probennehmer beider Fallen in der Sommerperiode über zwei Monate in einer Stellung stehen, so daß das zwischen Mai und Juli absinkende Material in einem Glas aufgefangen wurde. Die mikroskopischen Analysen dieser Probe zeigten eine fast identische Artenzusammensetzung wie die in der Maiprobe (hauptsächlich Diatomeen; Abb. 10 a, b).

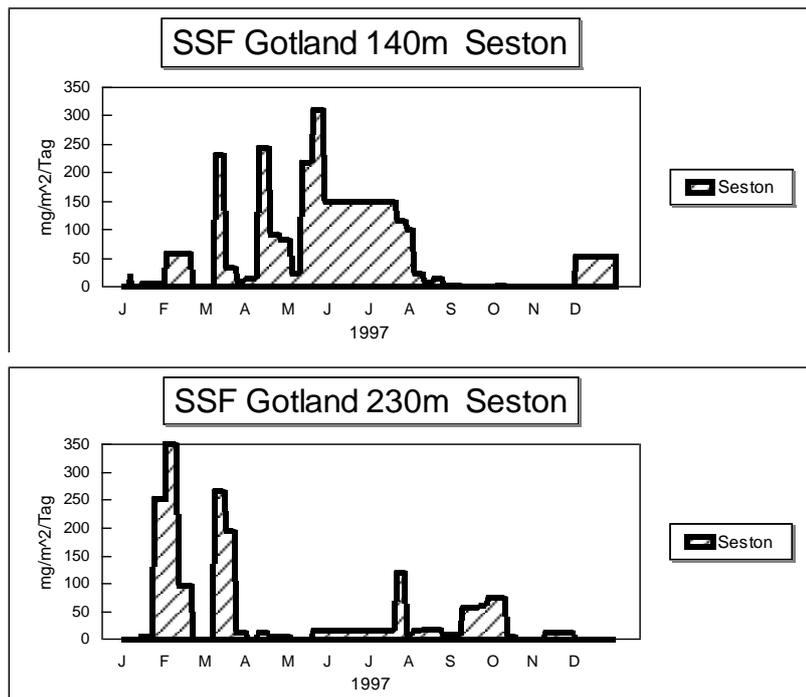


Abb. 6  
Tägliche Sedimentationsraten von Seston (Massefluß) in zwei unterschiedlichen Sedimentationshorizonten (140, 230 m) auf der Station 271 im Jahre 1997.

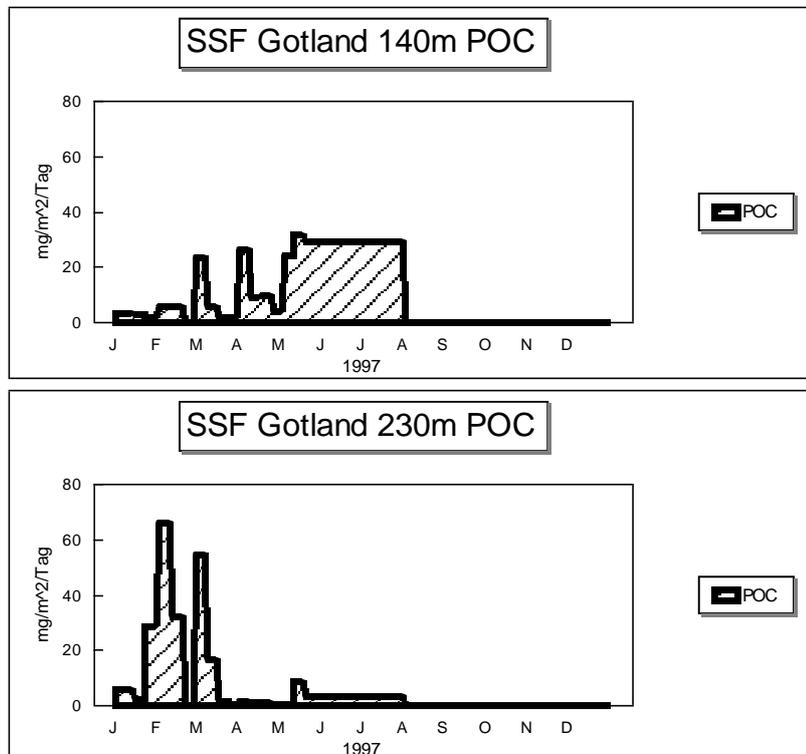


Abb. 7  
Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) in zwei unterschiedlichen Sedimentationshorizonten (140, 230 m) auf der Station 271 im Jahre 1997.

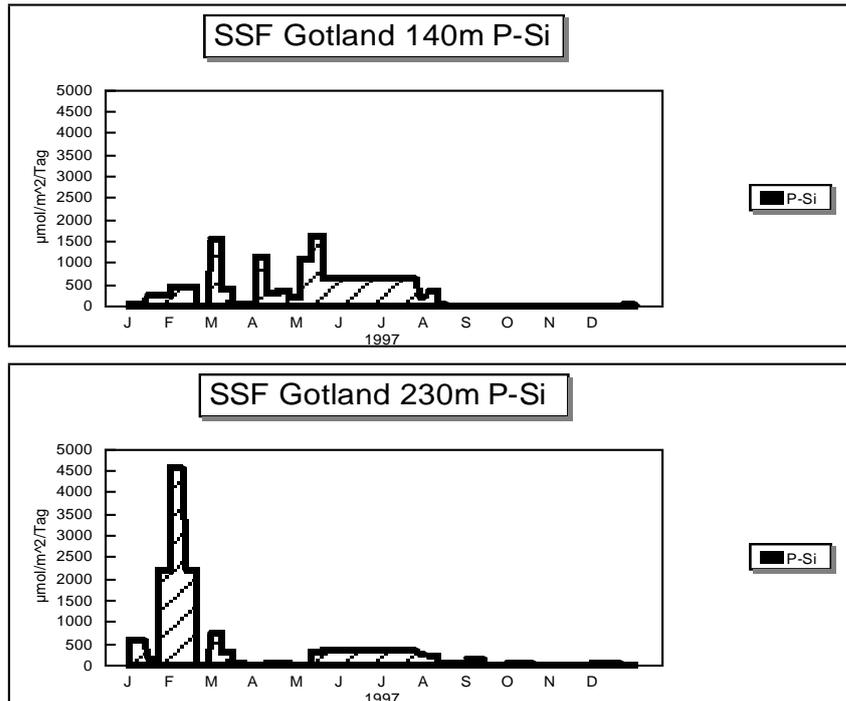


Abb. 8

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem Silikat (PSi) in zwei unterschiedlichen Sedimentationshorizonten (140, 230 m) auf der Station 271 im Jahre 1997.

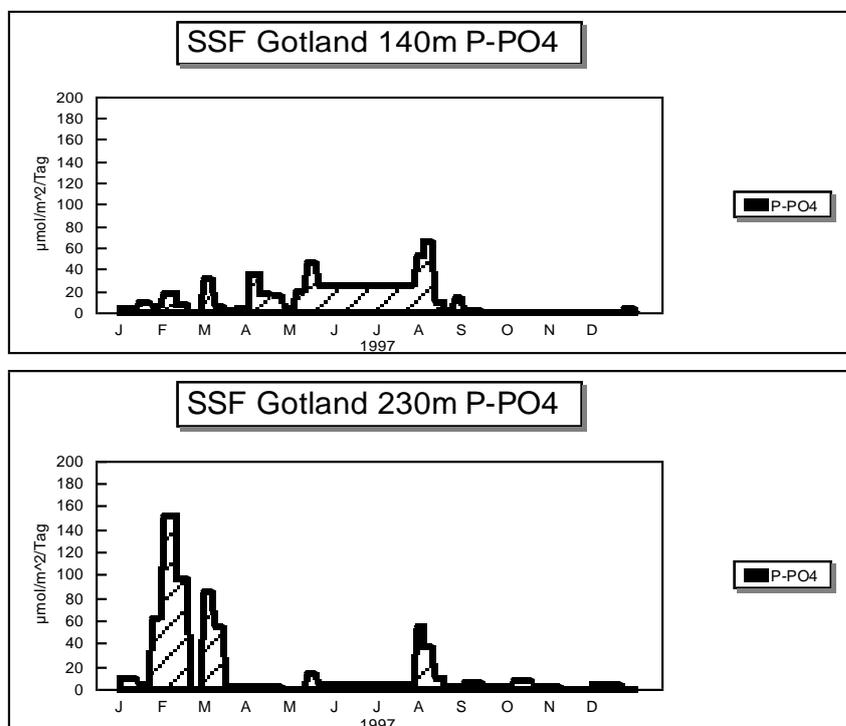


Abb. 9

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem Phosphat (P-PO<sub>4</sub>) in zwei unterschiedlichen Sedimentationshorizonten (140, 230 m) auf der Station 271 im Jahre 1997.

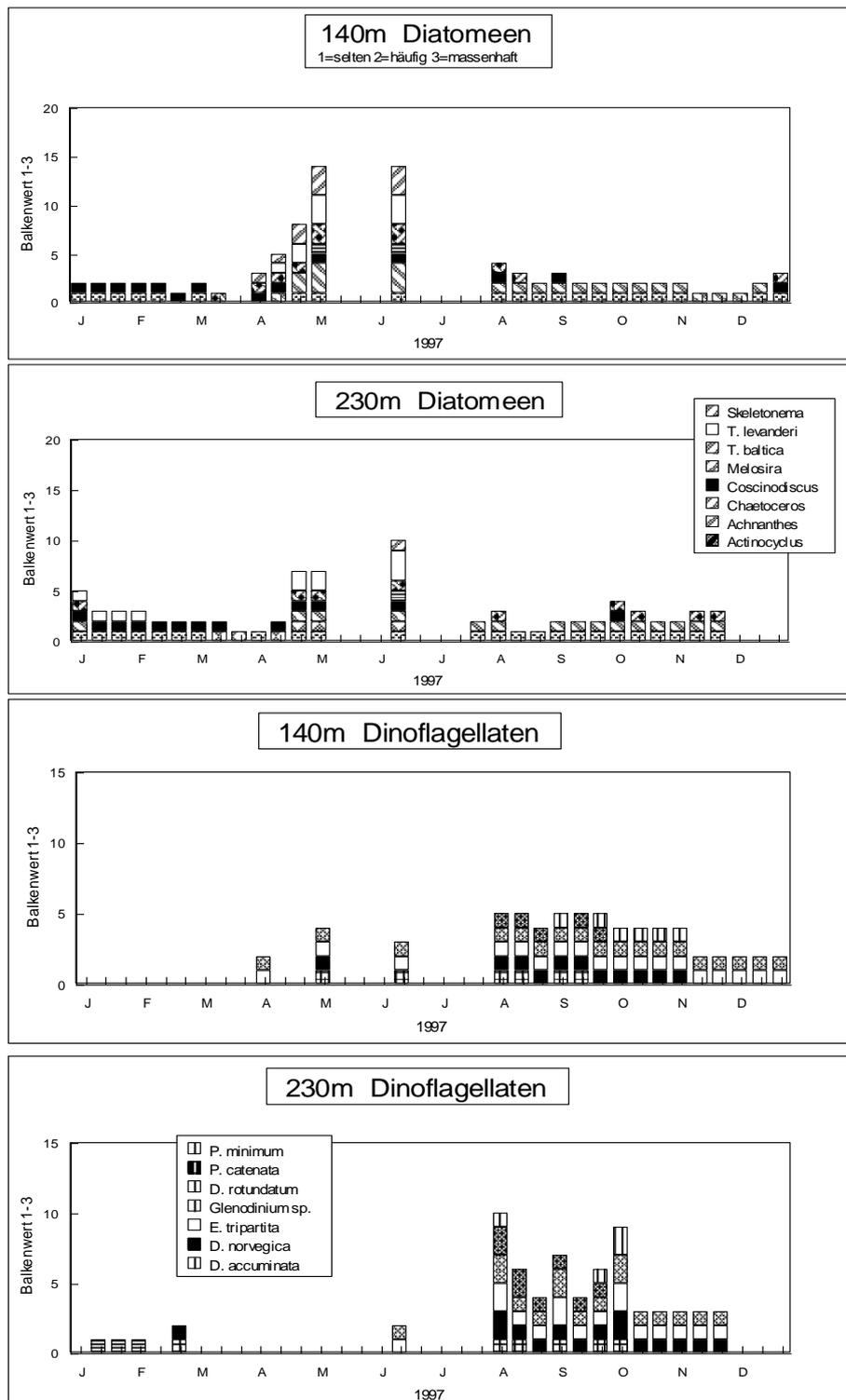


Abb. 10

Relative Häufigkeit von Kieselalgen (Diatomeen) und Dinoflagellaten in den Sinkstoff-Fallen von 140 m und 230 m Tiefe in der östlichen Gotlandsee (Stat. 271) im Verlaufe des Jahres 1997. Die genannten Arten sind: *Thalassiosira levanderi*, *Thalassiosira baltica*, *Prorocentrum minimum*, *Peridiniella catenata*, *Dinophysis rotundata*, *Ebria tripartita*, *Dinophysis norvegica*, *Dinophysis acuminata*.

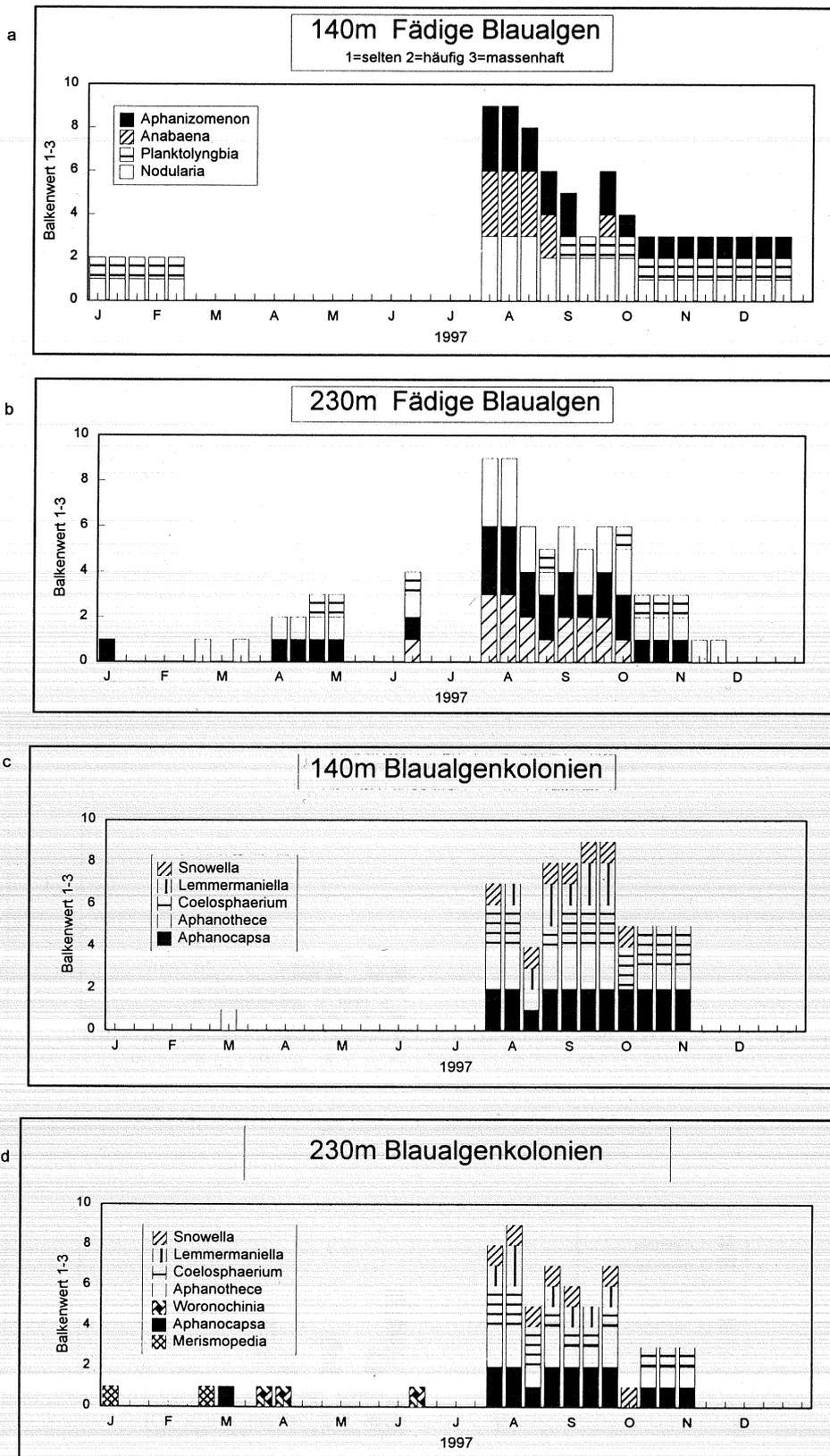


Abb. 11

Relative Häufigkeit von fädigen und coccalen koloniebildenden Cyanobakterien in den Sinkstoff-Fallen von 140 m und 230 m Tiefe in der östlichen Gotlandsee (Stat. 271) im Verlaufe des Jahres 1997.

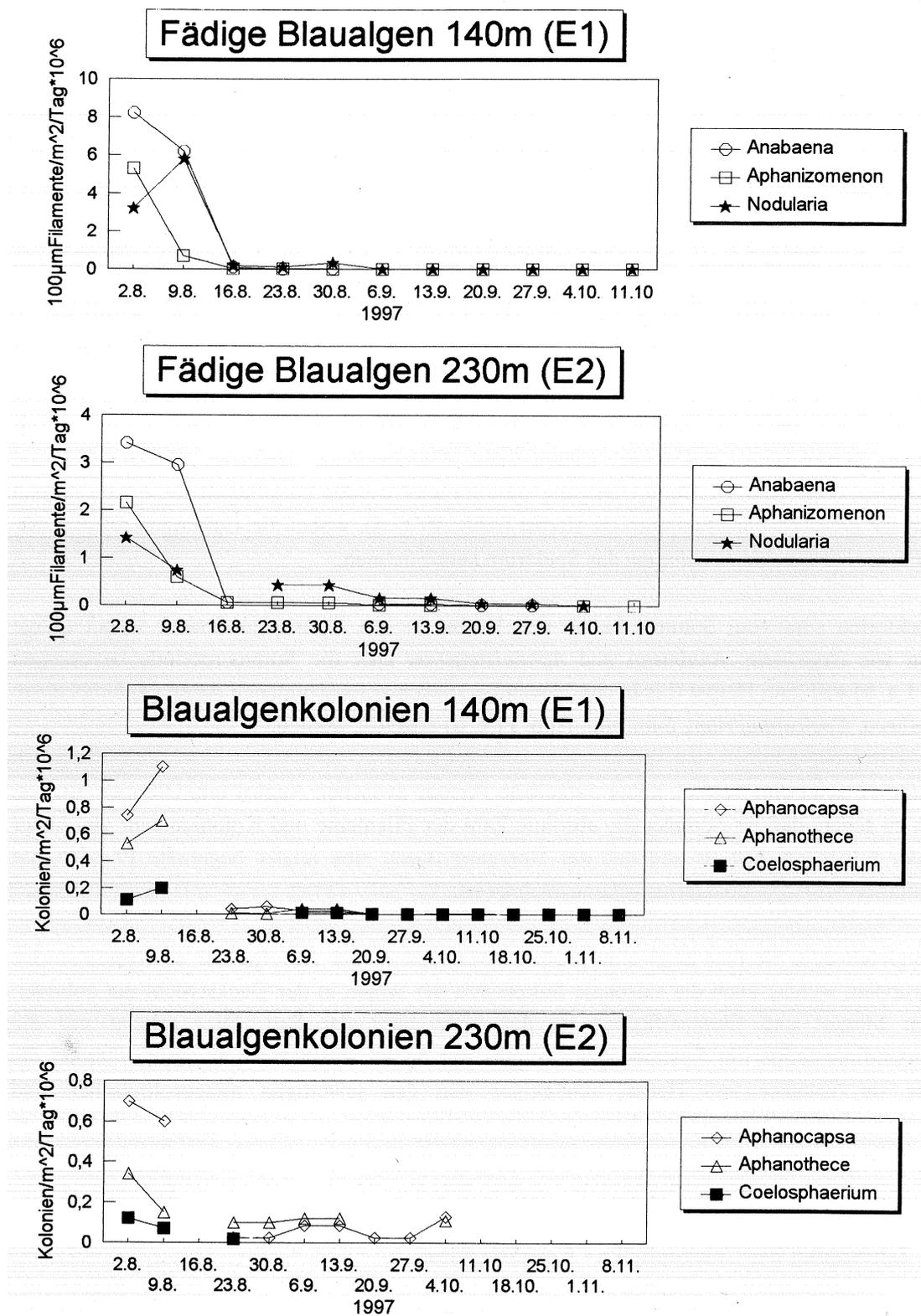


Abb. 12

Sedimentationsrate von fädigen und coccalen koloniebildenden Cyanobakterien in den Sinkstoff-Fallen von 140 m und 230 m Tiefe in der östlichen Gotlandsee (Stat. 271) vom 2.8. bis 8.11.1997.

Da dieses Material zudem einen hohen Silikatanteil besitzt, läßt sich vermuten, daß ein Großteil des Materials schon im Mai mit der Hauptmasse der Frühjahrsblüte abgesunken ist. Die sonst oft gefundenen sekundären Maxima der Elementflüsse im Spätsommer und Herbst fallen in diesem Jahr äußerst niedrig aus. In der quantitativen Betrachtung ist mit einem rein vertikalen Modell nicht erklärlich, warum sich diese biologisch bedingten Ereignisse nicht auch in der tiefen Falle finden. Hier ist zu vermuten, daß ein großer Teil des Materials lateral abgeführt wird, bevor er den Boden erreicht.

Die qualitative Betrachtung der Artenzusammensetzung der sedimentierenden erkennbaren Algengruppen und -Arten zeigt ein sehr viel typischeres Muster als die Elementflüsse und auch viel größere Kohärenz zwischen den Fallen in 120 und 230 m Tiefe:

Ganz ähnlich wie im Vorjahr ist die Frühjahrsphase von März bis Juni durch eine absinkende Diatomeengemeinschaft gekennzeichnet, die auch in ganz ähnlicher Zusammensetzung auftrat (Gattungen *Actinocyclus*, *Achnantes*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Melosira*, *Skeletonema* und *Thalassiosira*, Abb. 10 a, b). Beim Übergang zum Sommer werden Dinoflagellaten in den Proben häufiger, sie erreichen ein Maximum im Herbst (Abb. 10 c, d), wobei die Gattungen *Dinophysis*, *Ebria*, *Prorocentrum* und *Peridinium* das Spektrum kennzeichnen.

Cyanobakterien sind vom Sommer bis in den Herbst in den Proben zu finden, wobei fädige Gruppen wie *Nodularia*, *Anabaena* und *Aphanizomenon* eher die Sommerperiode bevorzugen (Abb. 11 a, b) und zum Herbst (bis in den November) durch koloniebildende Arten (*Aphanocapsa*, *Aphanotheca*, *Coelosphaerium*, *Snowella*, Abb. 11 c, d) abgelöst werden.

Abbildung 12 zeigt eine zeitlich höher aufgelöste Periode zwischen August und Oktober. Hier ist deutlich zu sehen, daß im Sommer die absolute Zahl der Filamente und Kolonien sehr viel höher als in der folgenden Zeit ist und daß der Übergang durch eine relativ begrenzte Phase hoher Sedimentation von Cyanobakterien gekennzeichnet ist.

Der Vergleich zum Vorjahr zeigt eine große Ähnlichkeit in der Abfolge der sedimentierenden Algengruppen, welche auch die saisonale Sukzession der Algen in der Deckschicht gut abbildet. Bei den Masse- und Elementflüssen ist das nicht ganz der Fall. Hier scheint nur die Frühjahrssedimentation ein feststehendes Ereignis mit hohen Absinkraten zu sein, während die Prozesse im Sommer und Herbst abhängiger von den jeweiligen meteorologischen und hydrographischen Bedingungen sind.

#### **4.1.3 Jahresgang der Chlorophyll a - Konzentration**

Proben zur Bestimmung der Chlorophyll a – Konzentration wurden in der Regel parallel zu den Phytoplankton-Proben entnommen. Das Chlorophyll gilt als ein Biomasse-Äquivalent. 1 mg Chlorophyll a soll etwa 30 (im Frühjahr und Herbst) bis über 60 (im Sommer) mg organischem Kohlenstoff der Algen entsprechen (nach GARGAS et al., 1978).

**Tabelle 2: Mittlere Konzentrationen von Chlorophyll a und Phaeopigment a (in mg m<sup>-3</sup>) in der euphotischen Zone (0 bis 20 m Tiefe, in flacheren Gewässern bis zum Grund).**

Station	Datum	Chl. a	Phaeo. a	Station	Datum	Chl. a	Phaeo. a
360	6.2.98	1.33	0.69	30	20.5.98	1.63	0.83
360	19.3.98	4.75	1.07	30	1.8.98	2.89	0.28
360	4.5.98	0.94	0.61	30	10.8.98	4.15	0.62
360	30.7.98	2.40	0.33	30	31.10.98	1.48	0.50
360	27.10.98	4.71	0.17	30	12.11.98	1.27	0.54
12	6.2.98	1.07	0.70	113	9.2.98	1.34	0.72
12	20.3.98	6.56	1.20	113	22.2.98	1.35	0.61
12	5.5.98	1.28	1.18	113	21.3.98	1.92	0.42
12	31.7.98	2.63	0.17	113	30.3.98	6.73	1.42
12	28.10.98	4.63	0.01	113	30.3.98	6.17	1.24
22	6.2.98	0.94	0.75	113	6.5.98	2.88	1.22
22	20.3.98	7.49	1.15	113	20.5.98	1.40	0.64
22	5.5.98	1.33	1.12	113	16.7.98	2.27	0.23
22	31.7.98	3.04	0.32	113	27.7.98	4.42	0.24
22	28.10.98	1.79	0.32	113	2.8.98	3.33	0.45
O5	7.2.98	1.35	0.70	113	10.8.98	4.02	0.48
O5	22.2.98	0.95	0.60	113	31.10.98	2.89	0.65
O5	20.3.98	1.53	1.39	113	12.11.98	1.71	0.72
O5	5.5.98	1.31	0.80	109	9.5.98	1.61	0.53
O5	31.7.98	3.48	0.27	109	3.11.98	3.23	0.77
O5	12.11.98	1.70	0.97	O11	13.2.98	1.48	0.63
46	7.2.98	1.35	0.71	O11	24.3.98	2.52	0.72
46	22.2.98	0.98	0.62	O11	9.5.98	3.40	1.38
46	20.3.98	2.53	0.79	O11	5.8.98	6.50	0.50
46	30.3.98	4.56	0.92	O11	4.11.98	3.52	0.89
46	5.5.98	0.83	0.84	133	14.2.98	2.15	0.91
46	20.5.98	1.05	0.75	133	24.3.98	3.18	1.34
46	31.7.98	2.63	0.49	133	10.5.98	4.47	2.27
46	10.8.98	2.16	0.41	133	5.8.98	12.88	4.24
46	30.10.98	3.00	0.41	133	4.11.98	3.41	2.00
46	12.11.98	1.40	0.66	OB	10.5.98	3.42	2.13
O9	8.2.98	1.66	0.75	OB	6.8.98	6.26	2.22
O9	20.3.98	2.11	0.44	OB	4.11.98	4.46	1.64
O9	6.5.98	0.89	0.47	OB4	14.2.98	1.55	0.97
O9	1.8.98	3.21	0.65	OB4	24.3.98	3.17	2.20
O9	30.10.98	1.66	1.61	OB4	10.5.98	4.48	3.49
30	8.2.98	1.28	0.65	OB4	6.8.98	9.89	2.76
30	22.2.98	1.46	0.68	OB4	4.11.98	3.82	2.32
30	21.3.98	2.62	0.57	160	14.2.98	1.82	0.84
30	30.3.98	5.89	1.67	160	24.3.98	2.57	0.89
30	7.4.98	0.79	0.41	160	6.4.98	4.93	2.49
30	6.5.98	0.97	0.76				

Station	Datum	Chl. a	Phaeo. a	Station	Datum	Chl. a	Phaeo. a
213	10.2.98	0,89	0,37	259	7.8.98	3,13	0,45
213	21.2.98	0,75	0,29	259	9.11.98	2,53	0,71
213	23.3.98	1,39	0,22	271	17.2.98	0,33	0,10
213	30.3.98	4,08	0,67	271	18.2.98	0,31	0,10
213	8.5.98	1,05	0,55	271	27.3.98	1,19	0,22
213	20.5.98	1,00	0,38	271	12.5.98	1,99	0,40
213	3.8.98	3,85	0,59	271	16.5.98	1,15	0,33
213	9.8.98	3,21	0,46	271	17.5.98	1,14	0,36
213	2.11.98	3,79	0,37	271	18.5.98	1,14	0,43
213	11.11.98	3,64	0,24	271	19.5.98	1,15	0,41
259	19.2.98	0,39	0,11	271	25.7.98	4,71	0,54
259	29.3.98	2,71	0,38	271	8.8.98	3,46	0,36
259	11.5.98	1,23	0,32	271	7.11.98	4,76	0,39

Nach EDLER (1979) und HELCOM (1988) entspricht 1 mg organischer Kohlenstoff etwa 9 mg Algen-Frischmasse. Eine Korrelation zwischen Chlorophyll a - Konzentration und Phytoplankton-Frischmasse wurde schon in den Vorjahren (WASMUND et al., 1998 a) nachgewiesen. Der Chlorophyll-Jahresgang entspricht etwa den bereits in Abb. 3 - 5 dargestellten Jahresgängen der Biomasse. Da die Chlorophyll-Konzentrationen im Gegensatz zur Phytoplankton-Frischmasse recht exakt zu ermitteln sind (vgl. Kapitel 2.9), sollen die Meßwerte direkt in Tabellenform gezeigt werden (Tabelle 2). Die Interpretation des Jahresgangs an den verschiedenen Stationen wollen wir hier nicht noch einmal vornehmen, sondern verweisen auf das Kapitel 4.1.1. Aber auch hier gilt das bereits erwähnte Problem, daß mit der punktuellen Probennahme die Variabilität der Phytoplanktonbiomasse nicht adäquat widerspiegelt wird. Insbesondere wird die Spitze der Biomasseentwicklung meistens nicht getroffen.

#### 4.1.4. Langzeittrend der Artenzusammensetzung

Die Phytoplanktondaten von 1997 dienen der Fortschreibung der Datenreihe des Ostsee-Monitorings. Bis zum Jahre 1993 sind die von allen Ostsee-Anliegern gewonnenen Daten gemeinsam ausgewertet worden (HELCOM, 1996) und stehen jetzt allgemein zur Verfügung. Für die Jahre 1994 bis 1998 konnten bisher nur die eigenen Daten verwendet werden. Daraus ergeben sich die in Abb. 13 bis 17 dargestellten Entwicklungen der Phytoplanktonbiomasse und -zusammensetzung von 1979 bis 1998 in den verschiedenen Seegebieten und zu den einzelnen Jahreszeiten. Die starken Schwankungen der absoluten Biomassen sind methodisch bedingt und erlauben keine Trenduntersuchungen. Ursachen und Konsequenzen werden in Kapitel 5.4 diskutiert. Es wird offensichtlich, daß gerade bei der subjektiv beeinflussten mikroskopischen Methode große Abweichungen zwischen den verschiedenen Bearbeitern bezüglich der Bestimmung der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons entstehen, wohingegen diese Methode die einzig mögliche ist, um qualitative Abschätzungen vorzunehmen. Deshalb betrachten wir in den Abb. 13 - 17 nur die relative Zusammensetzung der Phytoplankton-Gemeinschaft und verweisen für die Betrachtung der Phytoplankton-Biomasse auf die Chlorophyll-Konzentration (Kapitel 4.1.5).

Es muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die hohen Cyanobakterienbiomassen zu Beginn der Meßreihe (Abb. 14 b - 17 b) fehlerhaft sind. Sie beruhen auf einem Berechnungsfehler (Hajdu, pers. Mitt., 23.6.98), wurden von HELCOM aber noch nicht offiziell korrigiert und können daher auch von uns nicht abgeändert werden.

Wesentliche qualitative Veränderungen lassen sich speziell bei der Frühjahrsblüte feststellen. Wie schon oben ausführlich dargelegt, besteht die Frühjahrsblüte hauptsächlich aus Kieselalgen und Dinoflagellaten, wobei in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee die Kieselalgen, in der Bornholmsee und der Gotlandsee die Dinoflagellaten deutlich dominieren (vgl. Abb. 13 und 14 mit Abb. 15 - 17). In der Bornholmsee und südlichen Gotlandsee setzen sich die Dinoflagellaten auf Kosten der Kieselalgen immer stärker durch. Während auch in diesen Seegebieten in den 80er Jahren die Frühjahrs-Kieselalgenblüten dominierten, waren in den 90er Jahren fast nur noch Dinoflagellatenblüten im Frühjahr zu finden. Auch 1998 fanden wir in der Bornholmsee und Gotlandsee keine Kieselalgenblüte. Diese bereits von WASMUND et al. (1998 b) beschriebene Tendenz setzte sich also 1998 fort. Der Rückgang der Kieselalgen kann mit der verringerten Silikatzehrung in Verlaufe des Frühjahrs bestätigt werden (Säulendarstellung in Abb. 18). Silikat wird nur von den Kieselalgen benötigt und nimmt deshalb im Wasser analog zum Kieselalgenwachstum ab. Aus Abb. 18 wird deutlich, daß die Silikatzehrung während des Frühjahrs von West nach Ost geringer wird. In der Bornholmsee und Gotlandsee kam es zu keiner bedeutenden Silikatabnahme im Verlaufe des Frühjahrs, also keiner Kieselalgenblüte. Die Winterkonzentrationen des Silikat (Linien-Darstellung in Abb. 18) dürften nach wie vor für eine Kieselalgenblüte ausreichen, so daß das Silikatangebot nicht die Ursache für die beschriebene Entwicklung sein kann. Mögliche Ursachen werden in Kapitel 5.3 und 5.4 diskutiert.

Wegen der natürlichen Variabilität der Artenzusammensetzung von Jahr zu Jahr ist es schwer, dauerhafte Veränderungen nachzuweisen. Insbesondere in der Kieler Bucht wurden in den vergangenen Jahren stärkere Vorkommen von neuen und potentiell toxischen Arten im Spätfrühjahr und Sommer beobachtet (*Dictyocha speculum*, *Prorocentrum minimum*, *Chrysochromulina polylepsis*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*). Von einer deutlichen Zunahme neuer oder toxischer Arten kann aber nicht die Rede sein.

Die jeweils 8 wichtigsten Arten (von ihrer Biomasse her) in den einzelnen Seegebieten und zu den einzelnen Jahreszeiten sind in den Tabellen A1 bis A3 im Anhang dargestellt. Um einen Langzeit-Vergleich zu ermöglichen, wurde nicht nur das Jahr 1998, sondern auch die Jahre 1993-1997 gezeigt. Es wird deutlich, daß sich das Artenmuster in den vergangenen sechs Jahren nicht geändert hat. Lediglich die blütenbildenden Kieselalgen des Frühjahrs sind von Jahr zu Jahr recht veränderlich. Veränderungen innerhalb der Cryptophyceen sind nur vorgetäuscht: Bis zum Jahre 1993 wurde meistens *Rhodomonas minuta* (= *Rh. lacustris*) bestimmt. Eine neue taxonomische Bearbeitung der Cryptophyceen machte ab 1994 die Aufspaltung dieser Art in *Plagioselmis prolonga*, *Teleaulax amphioxeia* und *Hemiselmis* sp. erforderlich. Ab 1997 wurde auch *Teleaulax acuta* bestimmt.

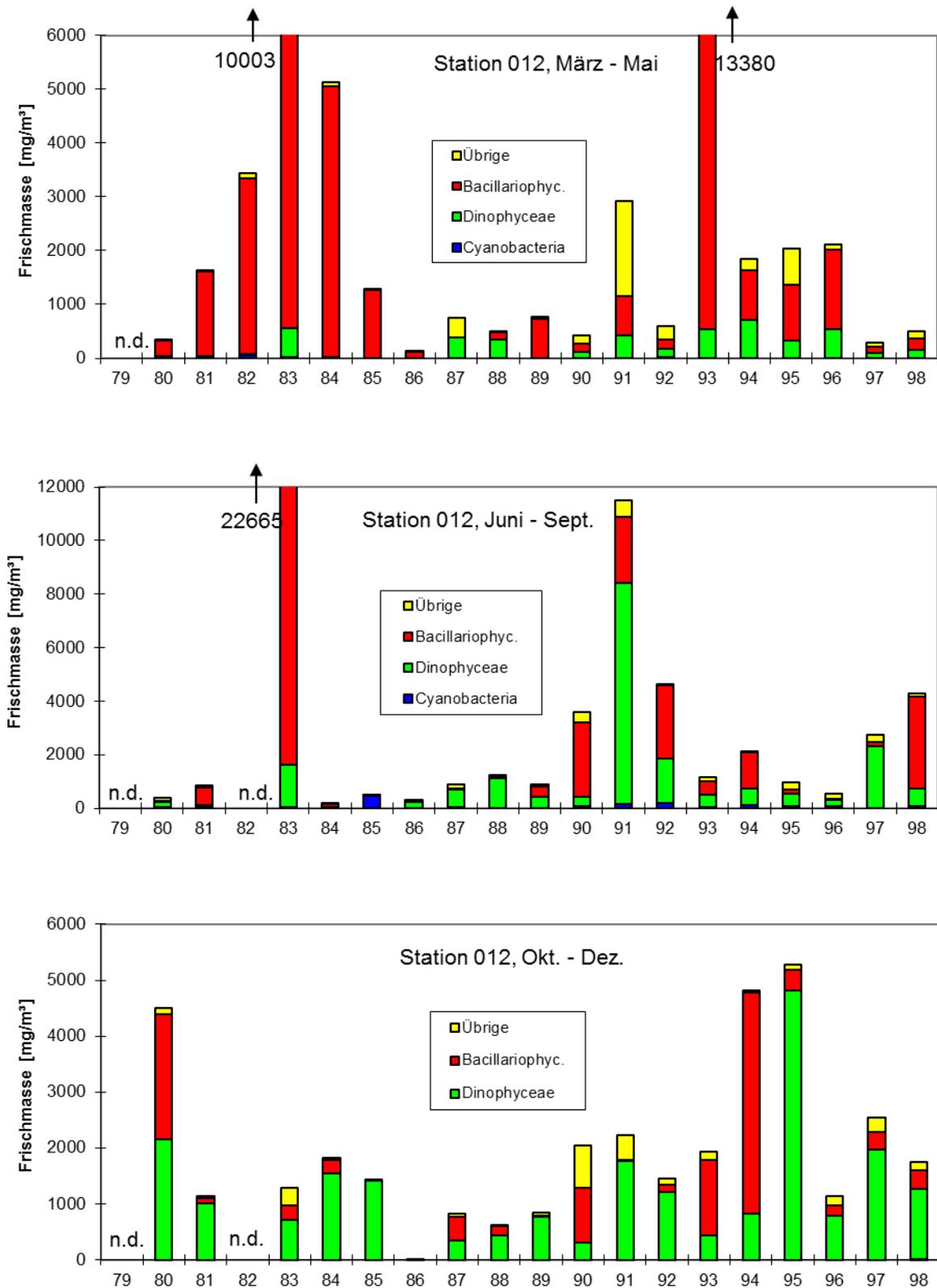


Abb. 13

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1998, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012).

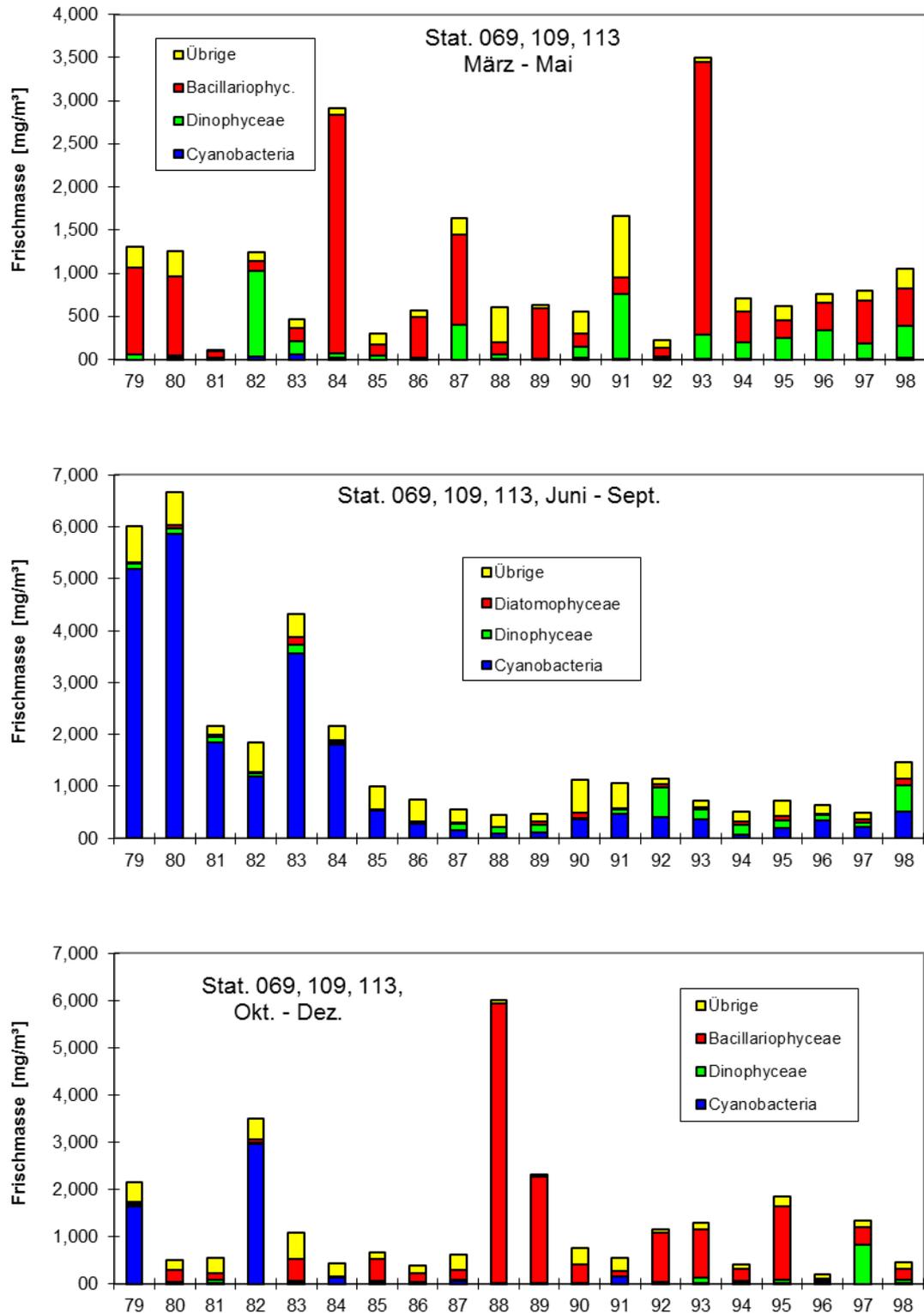


Abb. 14

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1998, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Arkonasee (Stat. 069, 109 und 113 zusammengefaßt).

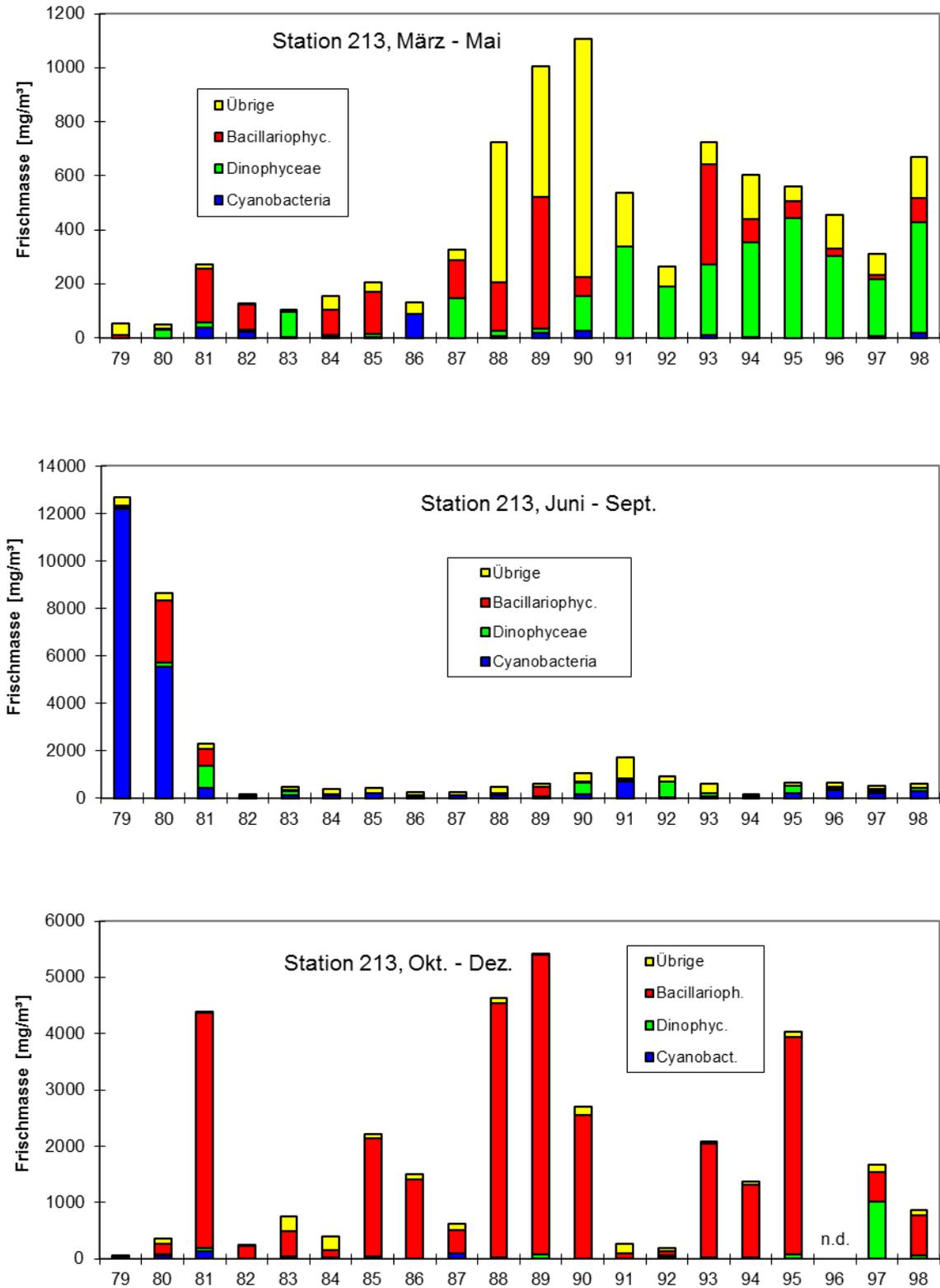


Abb. 15

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1998, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Bornholmsee (Stat. 213).

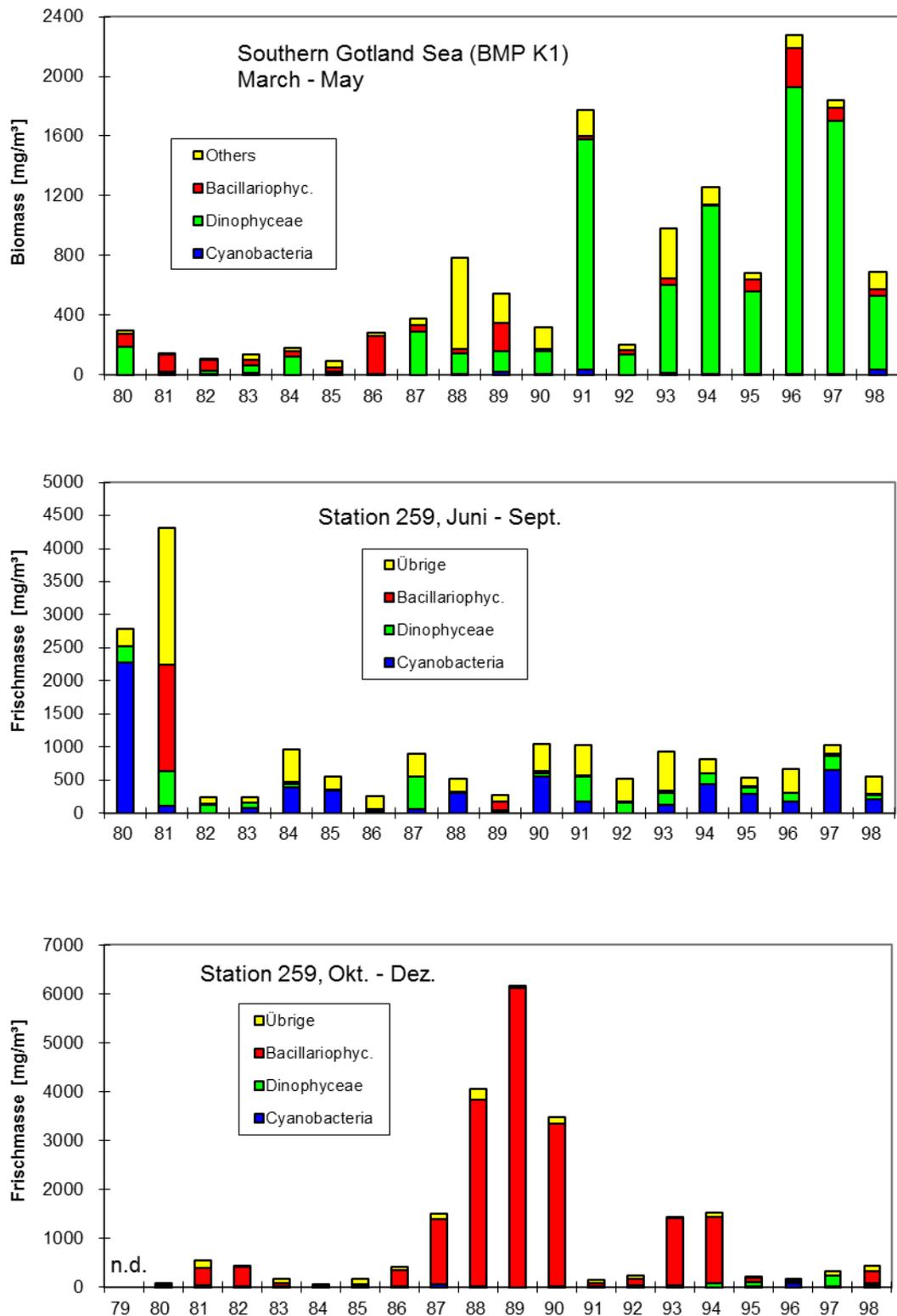


Abb. 16

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1998, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der südlichen Gotlandsee (Stat. 259).

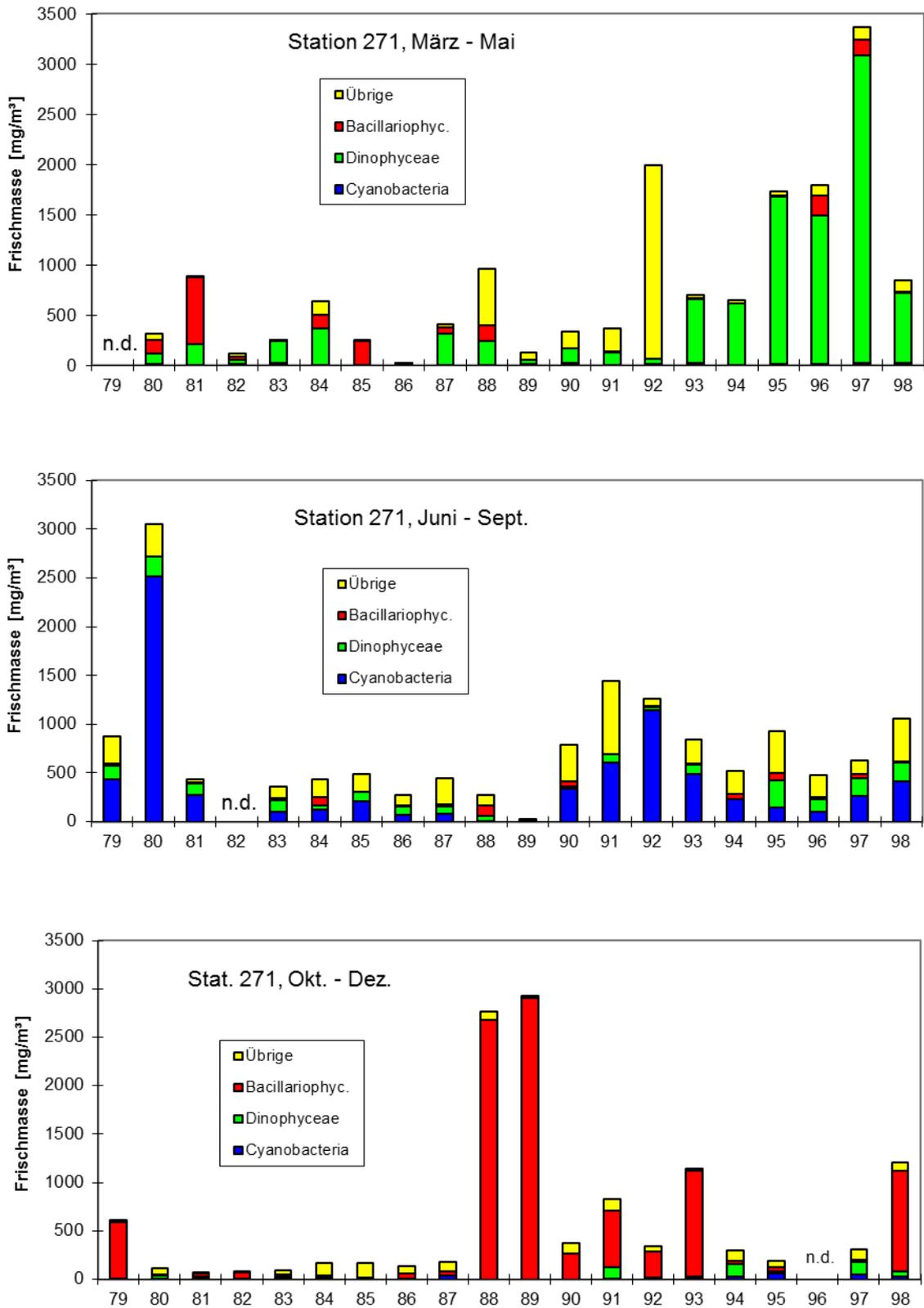


Abb. 17

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1998, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der östlichen Gotlandsee (Stat.271).

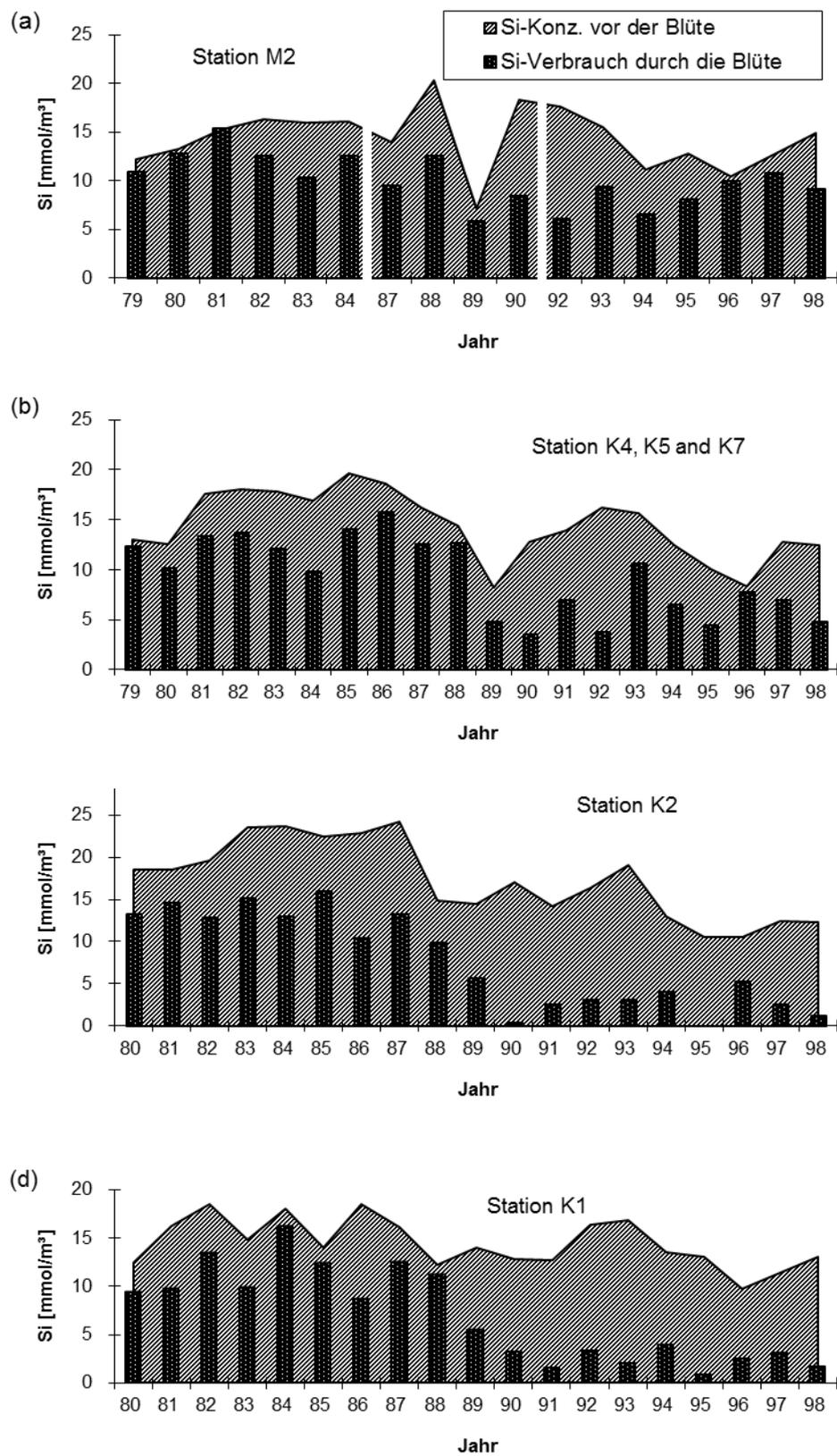


Abb. 18

Silikatkonzentration im Oberflächenwasser vor der Frühjahrsblüte (Linie) und Verringerung der Silikatkonzentration während der Blüte (Säulen) von 1980 bis 1998 in (a) der Mecklenburger Bucht, (b) der Arkonasee, (c) der Bornholmsee und (d) der südlichen Gotlandsee (Stat. 259).

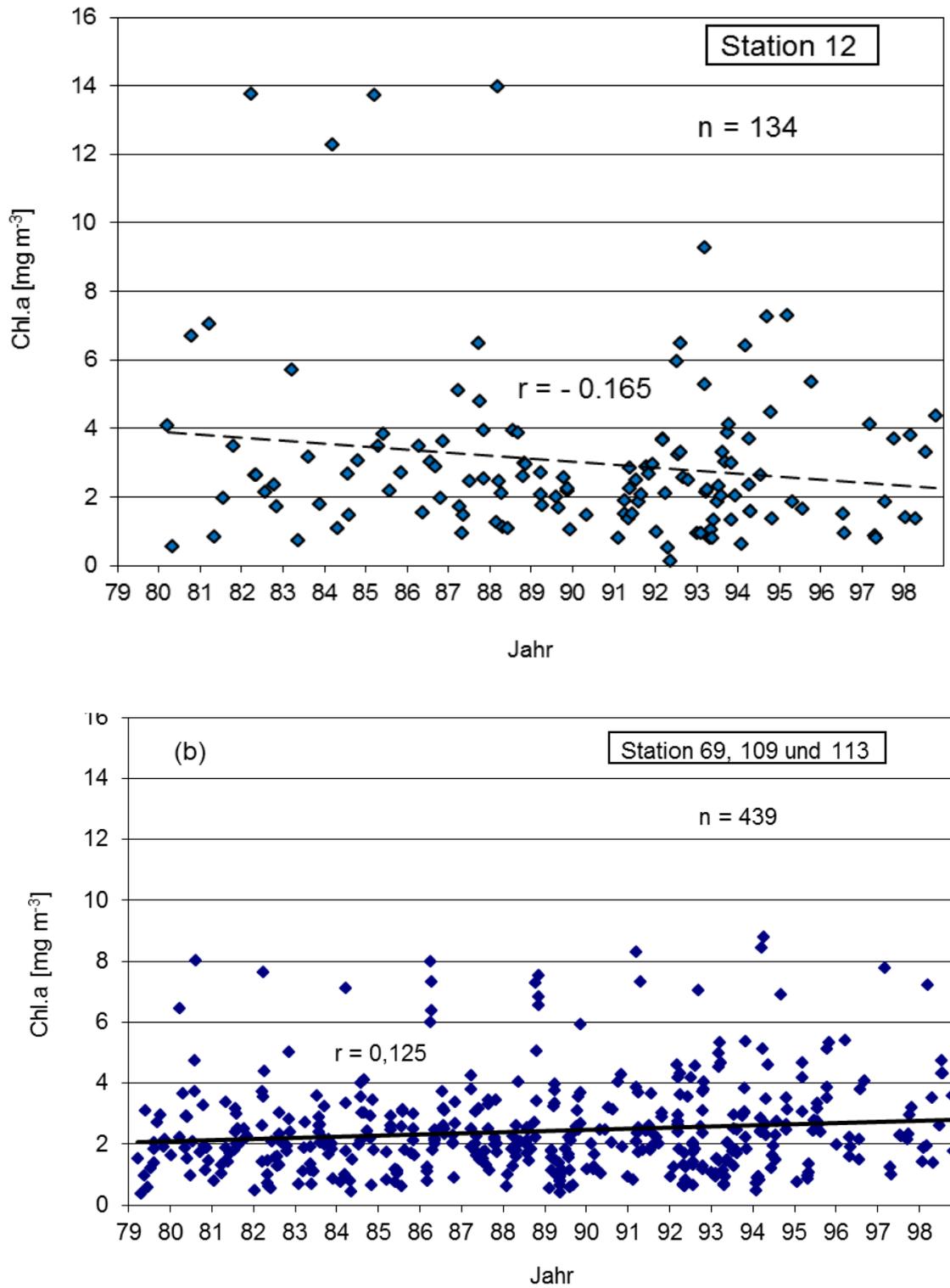


Abb. 19

Trend der Chlorophyll a – Konzentrationen (Mittelwerte aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Mecklenburger Bucht und (b) der Arkonasee.

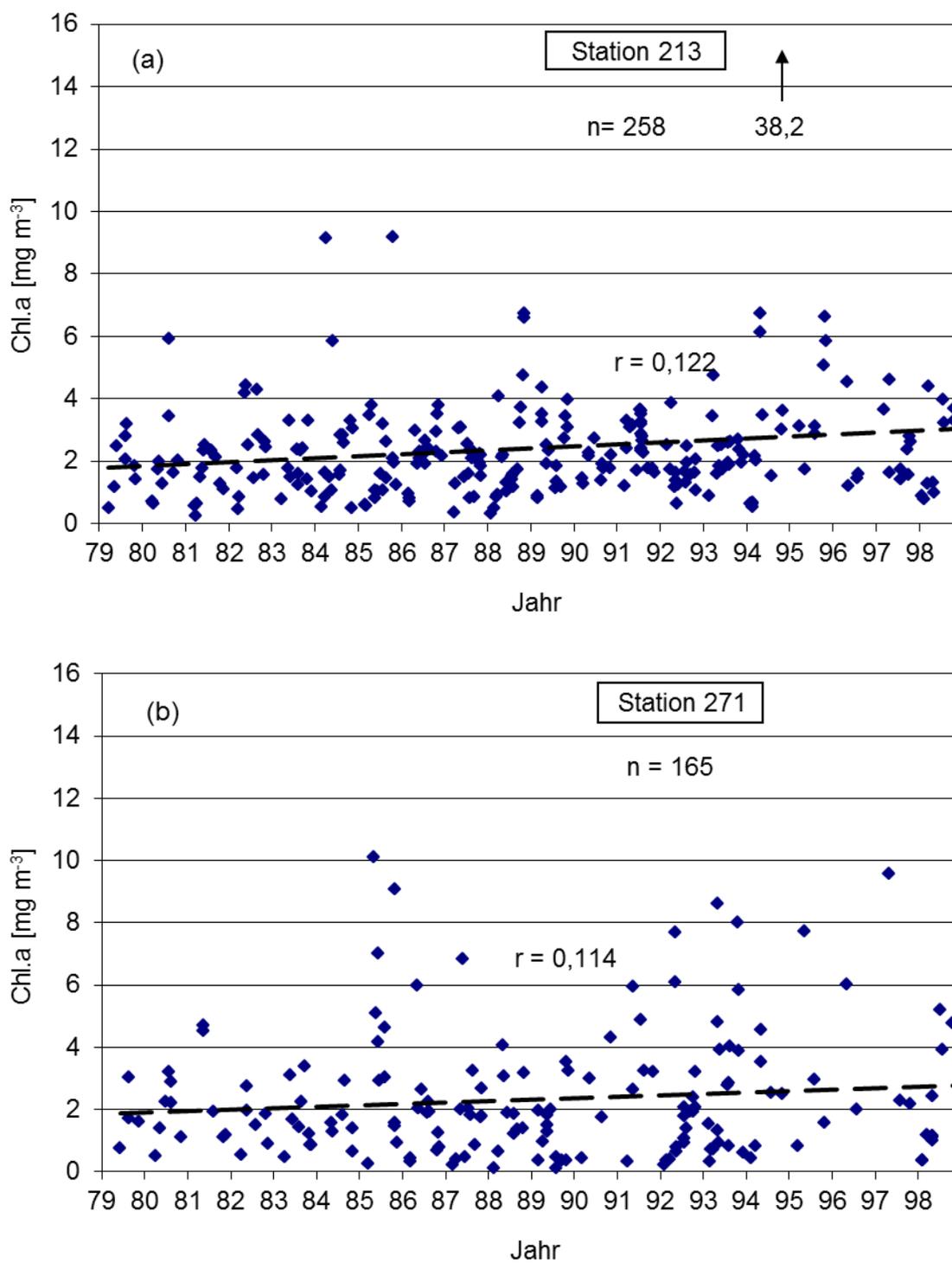


Abb. 20

Trend der Chlorophyll a – Konzentrationen (Mittelwerte aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Bornholmsee und (b) der östlichen Gotlandsee.

#### 4.1.5 Langzeittrend der Chlorophyll a – Konzentration

Wie bereits erwähnt, kann man den Trend der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons am besten mit der Chlorophyll a – Konzentration widerspiegeln.

In der Mecklenburger Bucht zeigt sich bei Darstellung aller Oberflächen-Chlorophyll a - Werte (einschl. der HELCOM-Daten bis 1993) eine negative Tendenz (Abb. 19 a), die aber für eine Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von 0,05 noch nicht signifikant ist (t-Test). Der schwache Anstieg der Werte der Arkonasee (Abb. 19 b) ist wegen der hohen Anzahl an Meßwerten sogar für  $p = 0,01$  noch signifikant. In der Bornholmsee (Abb. 20 a) war der Anstieg bis 1997 für  $p = 0,05$  signifikant. Bei Einbeziehung der 1998er Daten ist er nicht mehr signifikant. Das könnte für eine Trendumkehr sprechen. In der östlichen Gotlandsee (Abb. 20 b) ist der Trend nach wie vor nicht signifikant.

## 4.2. Mesozooplankton

### 4.2.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Abundanz

#### 4.2.1.1 Mecklenburger Bucht

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Mecklenburger Bucht wird durch die Station 12 repräsentiert (Abb. 21), die insgesamt fünfmal beprobt wurde.

Die zahlenmäßig dominante Gruppe war, außer im Mai, über das gesamte Jahr hinweg die der Copepoden, deren Bestandsdichten von Ende März bis Oktober zwischen 4 400 bis 25 300 Individuen  $m^{-3}$  lagen, wobei die Höchstwerte im Mai festgestellt wurden. Die höchsten Abundanzwerte hatten: Anfang Februar und Ende März nicht bestimmbare Stadien (Copepodite od. Adulte) von *Oithona similis*, Anfang Mai Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, Ende Juli und Ende Oktober wiederum nicht bestimmbare Stadien von *Oithona similis*. Rotatorien, *Synchaeta* spec., hatten die höchsten Abundanzwerte im Mai mit 33 400 Individuen  $m^{-3}$  und Cladoceren, hauptsächlich *Evadne nordmanni*, wiesen Maxima in Mai und Juli auf.

#### 4.2.1.2 Arkonasee

Der Jahresgang des Zooplankton in der Arkonasee wird durch die Station 113 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt siebenmal beprobt, während das Tiefenwasser zur Zeit der Sprungschichtbildung neunmal untersucht werden konnte (Abb. 22).

Deckschicht: Die dominante Gruppe waren, außer im Mai, die Copepoden, deren Individuendichten von Anfang Februar bis Mitte November zwischen 3 000 bis 38 000 Individuen  $m^{-3}$  lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar weibliche *Acartia longiremis* und Copepodite von *Acartia* spec. und *Temora longicornis*, im März Copepodite von *Acartia* spec., im Mai Copepodite von *Acartia* spec. und *Temora longicornis*, im August Copepodite von *Acartia* spec., im Oktober/November Copepodite von *Temora longicornis*, *Acartia* spec., *Pseudocalanus elongatus* und *Centropages hamatus*. Weitere wichtige Gruppen waren Rotatorien im Mai mit

Individuendichten von  $76\,000\text{ m}^{-3}$ , und Cladoceren, hauptsächlich *Evadne nordmanni* und *Bosmina*, im August mit Individuendichten bis zu  $5\,500\text{ m}^{-3}$ .

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe, außer im Mai, waren die Copepoden, deren Individuendichten von Februar bis November zwischen  $1\,900$  bis  $15\,500$  Individuen  $\text{m}^{-3}$  lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar nicht bestimmbar Stadien von *Oithona similis* und Copepoditen von *Centropages hamatus*, im März Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, im Mai männliche *Acartia longiremis* und Copepodite von *Temora longicornis*, im August Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und im Oktober/November Copepodite von *Temora longicornis*. Im Mai waren Rotatorien mit Individuendichten von  $180\,000\text{ m}^{-3}$  die dominante Gruppe. Cladoceren traten kaum in Erscheinung.

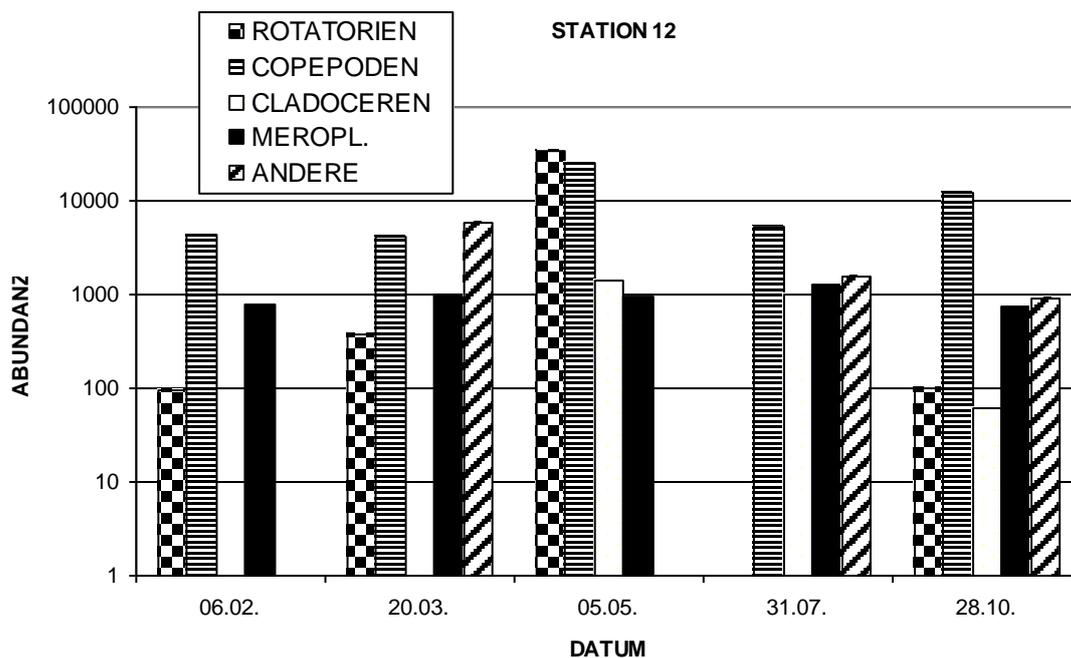


Abb. 21

Zooplanktonabundanz (Ind.  $\text{m}^{-3}$ ) im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht im Jahre 1998.

#### 4.2.1.3 Bornholmsee

Der Jahresgang des Zooplankton in der Bornholmsee wird durch die Station 213 repräsentiert. Sowohl die Deckschicht als auch das Tiefenwasser wurden insgesamt neunmal beprobt (Abb. 23).

Deckschicht: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Februar bis November zwischen  $1\,100$  bis  $23\,000$  Individuen  $\text{m}^{-3}$  lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar Copepodite von *Acartia spec.* und *Temora longicornis*, im März Copepodite von *Acartia spec.*, im Mai Adulte von *Acartia bifilosa* und Copepodite von *Acartia spec.*, *Temora longicornis* und *Centropages hamatus*, im August adulte *Acartia bifilosa* und *Acartia longiremis* und Copepodite von *Centropages hamatus*, *Acartia spec.* und *Temora longicornis*, im November adulte Weibchen von *Acartia longiremis* und Copepodite von *Centropages hamatus*, *Temora*

*longicornis* und *Acartia* spec. Rotatorien wiesen ein Abundanzmaximum im Mai auf und ein zweites im November. Cladoceren (*Bosmina*) hatten im August die höchsten Abundanzen.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren, außer im Mai, die Copepoden, deren Individuendichten von Februar bis November zwischen 800 bis 46 000 Individuen m<sup>-3</sup> lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: Im Februar und März adulte Weibchen und nicht bestimmbare Stadien von *Oithona similis*, im Mai adulte Männchen von *Acartia bifilosa* und Weibchen von *Acartia longiremis* und Copepodite von *Acartia* spec. und *Temora longicornis*, im August adulte Männchen und Weibchen von *Temora longicornis*, adulte Weibchen von *Acartia longiremis*, nicht bestimmbare Stadien von *Oithona similis* und Copepodite von *Centropages hamatus*, *Temora longicornis* und *Pseudocalanus elongatus* und im November adulte Weibchen von *Acartia longiremis*, nicht bestimmbare Stadien von *Oithona similis* und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, *Centropages hamatus* und *Temora longicornis*. Rotatorien wiesen ein Abundanzmaximum im Mai auf und ein zweites im November. Cladoceren traten kaum in Erscheinung.

#### 4.2.1.4 Gotlandsee

Der Jahresgang des Zooplankton in der Gotlandsee wird durch die Station 271 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt sechsmal beprobt, während das Tiefenwasser siebenmal untersucht werden konnte (Abb. 24).

Deckschicht: Außer im Mai waren die Copepoden die dominante Gruppe, deren Individuendichten von Ende März bis Anfang November zwischen 1 000 bis 8 000 Individuen m<sup>-3</sup> lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, im März Copepodite von *Acartia* spec., im Mai Copepodite von *Acartia* spec. und *Temora longicornis*, im August Copepodite von *Eurytemora* spec. und im November Copepodite von *Temora longicornis* und *Centropages hamatus*. Rotatorien waren im Mai mit Individuendichten von bis zu 60 000 Individuen m<sup>-3</sup> die dominante Gruppe und zeigten auch im August und November relativ hohe Werte. Cladoceren, insbes. *Evadne normanni*, gab es in größeren Mengen im August.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Anfang Februar bis November zwischen 600 bis 3 700 Individuen m<sup>-3</sup> lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, im März adulte Weibchen und Copepoditen von *Pseudocalanus elongatus*, im Mai, August und November Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*. Rotatorien traten kaum auf, sehr geringe Mengen von Cladoceren gab es im August und November.

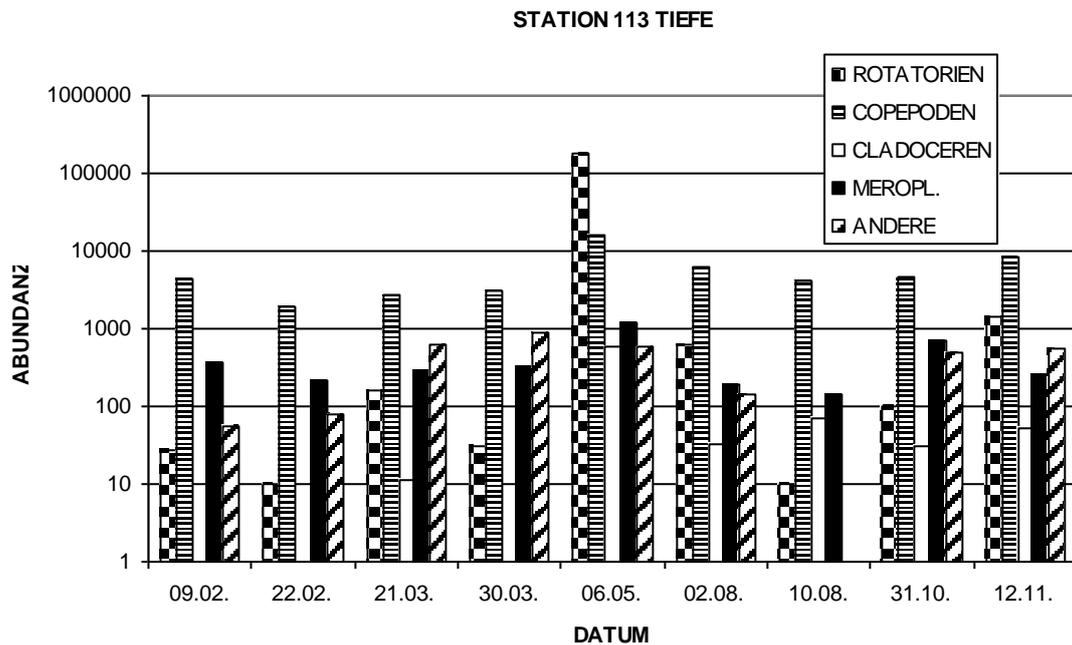
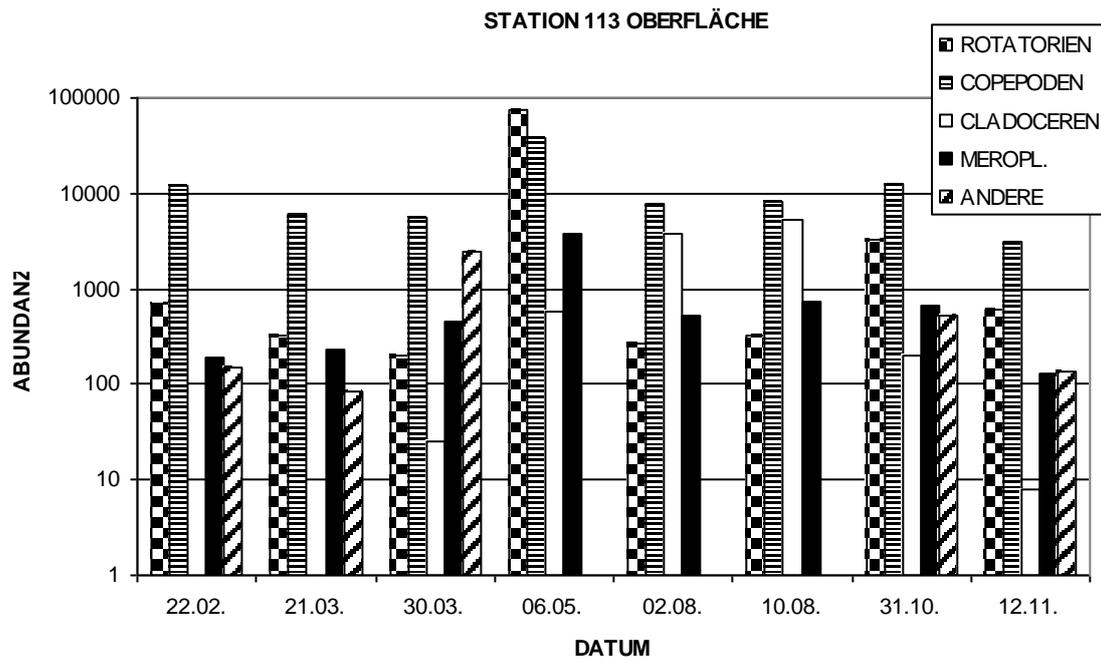


Abb. 22

Zooplanktonabundanz (Ind. m<sup>-3</sup>) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der Arkonasee im Jahre 1998.

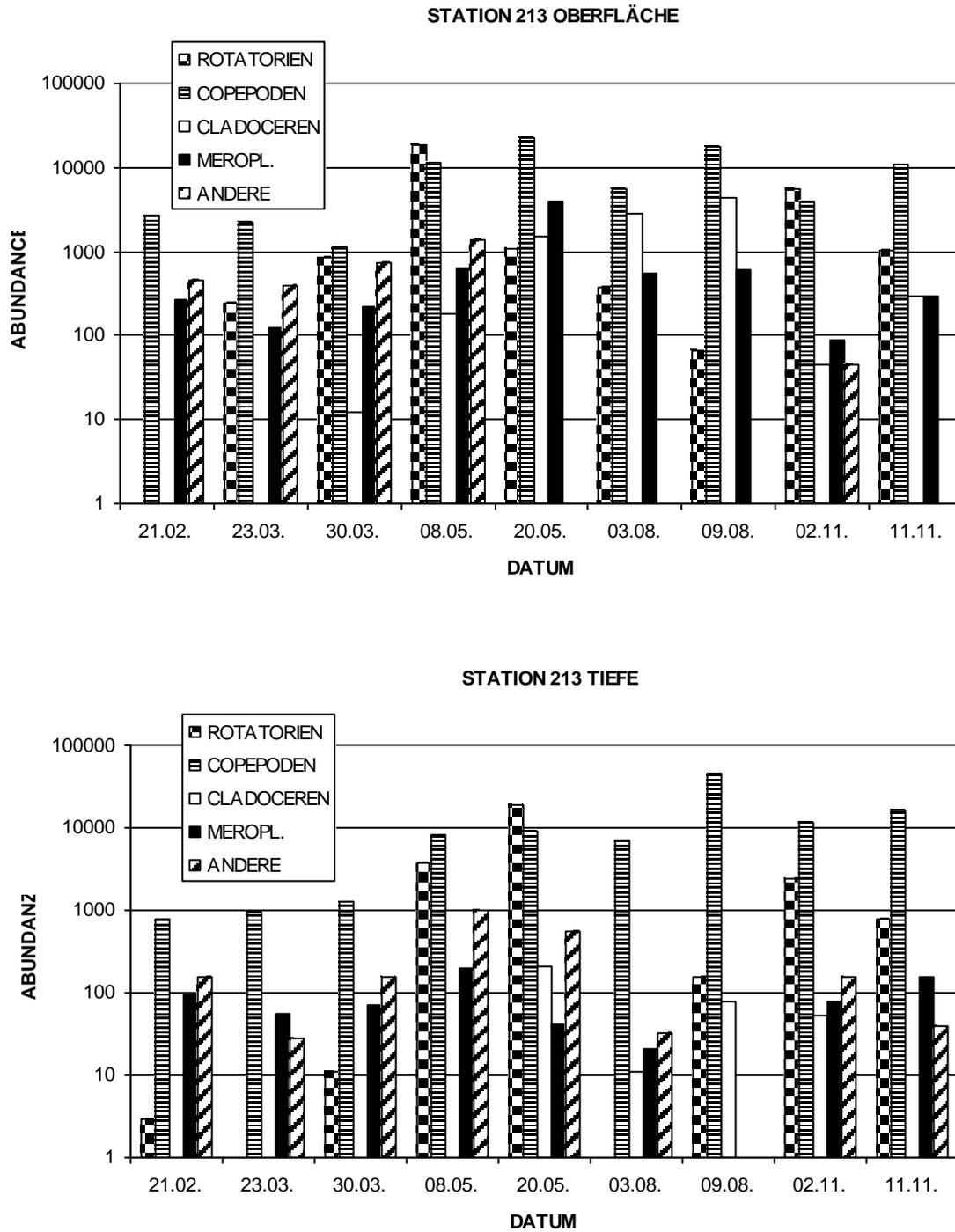


Abb. 23

Zooplanktonabundanz (Ind. m<sup>-3</sup>) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der Bornholmsee im Jahre 1998.

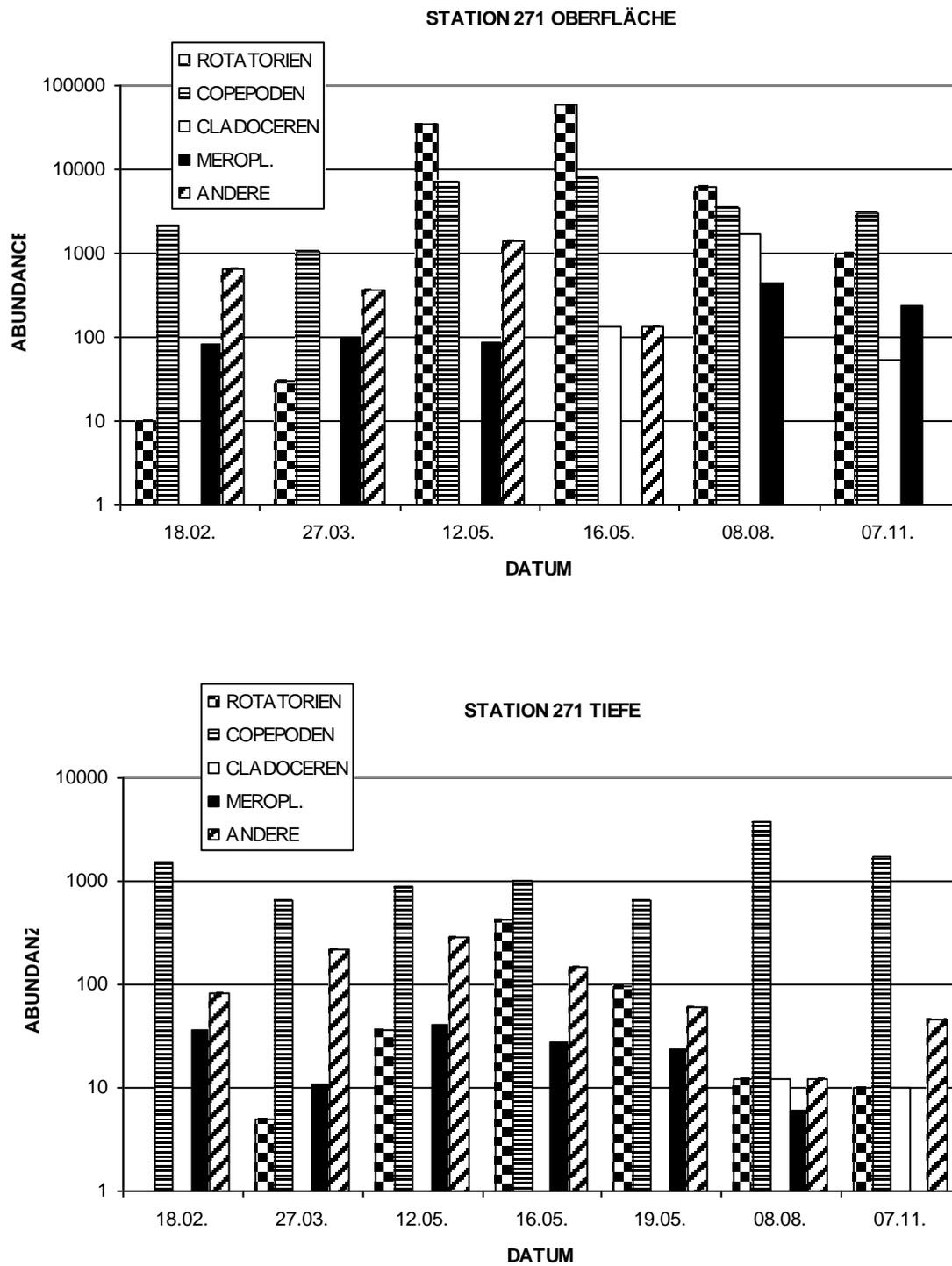


Abb. 24

Zooplanktonabundanz (Ind. m<sup>-3</sup>) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der östlichen Gotlandsee im Jahre 1998.

#### 4.2.2 Vergleich mit dem Vorjahr

Die Abundanz der Rotatorien (*Synchaeta spec.*) hat auf allen Stationen wieder stark zugenommen und zeigt für Mai konsistent sehr viel höhere Werte als im Vorjahr. Falls die Rotatorien jedoch relativ kurzzeitige Abundanzmaxima haben, kann natürlich nicht ausgeschlossen werden, daß diese 1997 durch das zeitliche Beprobungsraaster fielen. Oft ist auch im Oktober noch ein zweites Maximum ausgeprägt. Da bei den Rotatorien die Art nicht bestimmt wird, ist dem Verf. nicht bekannt, ob die beiden Abundanzmaxima durch dieselbe oder verschiedene Arten verursacht werden.

Die Abundanz der Copepoden hat 1998 im allgemeinen abgenommen. Auffällig ist die jahreszeitliche Verschiebung der Maxima der Copepodenabundanz. 1997 wurden auf allen Stationen die Abundanzmaxima erst im August erreicht und die Copepodenhäufigkeit war in der zweiten Jahreshälfte relativ hoch. 1998 lagen jedoch auf allen Stationen die Abundanzmaxima im Mai (Ausnahme: die Tiefenschichten im Bornholm- und Gotlandbecken). Wegen der oben geschilderten Schwierigkeiten bez. der Artbestimmung kann nicht festgestellt werden, ob die Abundanzmaxima verschiedenen Arten zuzuordnen sind. Wegen der exponierten Stellung der Copepoden im Nahrungsnetz der Ostsee, hat die Verschiebung der Abundanzmaxima wahrscheinlich auch große Auswirkungen auf ihre Räuber- und Beutepopulationen. Es kann allerdings wiederum nicht ausgeschlossen werden, daß weitere Abundanzmaxima durch das zeitliche Beprobungsraaster gefallen sind.

Mit wenigen Ausnahmen in den tieferen Schichten war 1998 Mai mit Abstand der Monat mit den höchsten Gesamtindividuentichten, geprägt durch die Maxima bei Copepoden und Rotatorien. Demgegenüber lag das Gesamtmaximum 1997 im August. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, daß wir über keine Informationen bezüglich Juni und Juli verfügen. So wäre es denkbar, daß die tatsächlichen Maxima in beiden Jahren zeitgleich lagen, aber durch das zeitliche Probenraaster gefallen sind.

Die Abundanz der Cladoceren war 1998 deutlich geringer als 1997, insbes. im August. Wegen der extrem kurzen Blütezeit der Cladoceren könnte das Maximum in 1998 jedoch bei der geringen Probennahmefrequenz verpaßt worden sein.

#### 4.3 Makrozoobenthos

Im Oktober/November 1998 wurden an 6 Stationen je 3 Proben mit einem van-Veen-Greifer genommen und auf Makrozoobenthos untersucht. Zusätzlich kam an 3 Stationen (30, 109, 152) eine Dredge zum Einsatz, um die selteneren und vagilen Arten zu erfassen. Im Vergleich zum Vorjahr stieg die Gesamtartenzahl von 61 auf 83 (Tab. 3, Abb. 25). Während für die Stn. 213 (Bornhombecken) erst ab 1993 und für die Stn. 12 (Mecklenburger Bucht) ab 1992 Daten vorliegen, wurden die anderen Bereiche seit 1991 jährlich untersucht. 1996 fiel die Beprobung aller Stationen leider aus, so daß hier keine Aussagen gemacht werden können.

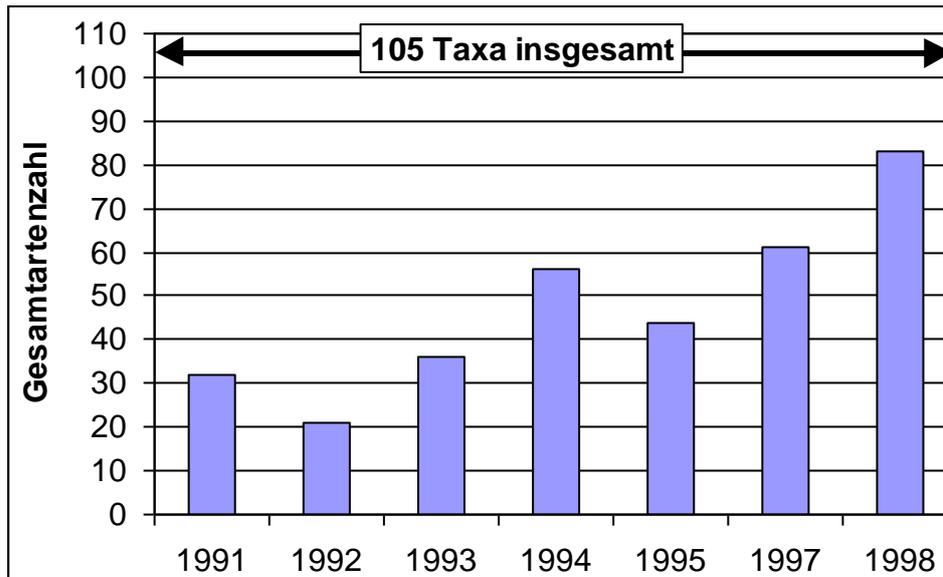


Abb. 25: Gesamtanzahl der vorgefundenen Taxa and den Stationen 10, 12, 30, 109, 152 und 213 von 1991 bis 1998 (1996 keine Daten)

Die Artenzahl lag 1998 zwischen 3 (Stn. 213) und 49 (Stn. 10). Der Einsatz von Videotechnik diente sowohl zur Erfassung der Substrate als auch der Determination und Quantifizierung ausgewählter Taxa. An Arten wurden epibenthische Vertreter (*Asterias rubens*, *Ophiura albida*) und auch deutlich zuzuordnende Lebensspuren (*Arctica islandica*, *Arenicola marina*) registriert.

Im Durchschnitt lag die Artenzahl und Diversität an allen Stationen höher als in den Vorjahren. Eine Ausnahme bildete die Station 12 (Mecklenburger Bucht), wo die Artenzahl von 29 auf 22 sank. Als besonders artenreich erwiesen sich die gut durchströmten und damit sandig-kiesigen Bereiche Fehmarnbelt (Stn. 10), Darßer Schwelle (Stn. 30) und südl. Arkonasee (Stn. 152). Die Habitatbeurteilung (Substrat, Strömung, Phytal, Struktur) konnte hervorragend anhand des Videomaterials erfolgen.

**Tabelle 3: Verbreitung des Makrozoobenthos an 6 Stationen im Okt./Nov. 1998,**  
 \*=Arten wurden nur mit Dredge oder Video nachgewiesen.

Taxa	10	12	30	109	152	213
<b>ANTHOZOA</b>	X					
<b>HYDROZOA</b>						
<i>Clytia hemisphaerica</i>	X					
<i>Halitholus yoldia-arcticae</i>			X		X	
<i>Laomedea flexuosa</i>		X	X		X	
<i>Opercularella pumila</i>	X	X				
<b>PRIAPULIDA</b>						
<i>Halicryptus spinulosus</i>	X		X	X	X	

<b>NEMATHELMINTHES</b>						
Nemertini	X	X	X*			
<b>PLATHELMINTHES</b>						
Turbellaria	X					
<b>MOLLUSCA</b>						
<i>Acanthodoris pilosa</i>	X					
<i>Alloides (Corbula) gibba</i>	X	X		X		
<i>Arctica islandica</i>	X	X		X		
<i>Arenomya (Mya) arenaria</i>	X		X		X	
<i>Astarte borealis</i>	X		X			
<i>Astarte elliptica</i>	X		X*	X*		
<i>Cerastoderma lamarcki</i>			X*			
<i>Hydrobia ulvae</i>	X		X	X		
<i>Macoma balthica</i>	X	X	X	X	X	
<i>Mya truncata</i>	X					
<i>Mysella bidentata</i>	X					
<i>Mytilus edulis</i>			X	X*	X	
<i>Odostomia rissoides</i>			X*			
<i>Parvicardium ovale</i>	X					
<i>Syndosmya (Abra) alba</i>	X	X				
<b>ANNELIDA</b>						
<i>Nais elinguis</i>	X				X	
<i>Paranais litoralis</i>					X	
<i>Tubifex costatus</i>			X		X	
<i>Tubificoides benedeni</i>			X			
<i>Ampharete acutifrons</i>				X		X
<i>Ampharete baltica</i>	X		X		X*	
<i>Arenicola marina</i>			X			
<i>Aricidea cerrutii</i>			X			
<i>Bylgides (Antinoella) sarsi</i>	X	X	X*	X	X	
<i>Capitella capitata</i>			X			
<i>Cirrophorus eliasoni</i>	X					
<i>Eteone longa</i>			X			
<i>Euchone papillosa</i>	X	X				
<i>Fabricia sabella</i>					X	
<i>Harmothoe imbricata</i>	X		X*			
<i>Harmothoe impar</i>	X					
<i>Hediste diversicolor</i>			X			
<i>Heteromastus filiformis</i>	X	X		X		
<i>Nephtys ciliata</i>	X	X		X*		
<i>Nephtys hombergi</i>		X		X*		
<i>Nephtys kersivalensis</i>	X					
<i>Nereimyra punctata</i>	X					
<i>Pectinaria koreni</i>	X	X				

<i>Pherusa plumosa</i>	X					
<i>Pholoe assimilis</i>	X					
<i>Pholoe baltica</i>	X	X				
<i>Phyllodoce maculata</i>	X					
<i>Phyllodoce mucosa</i>	X					
<i>Polydora ciliata</i>		X	X			
<i>Polydora quadrilobata</i>		X		X		
<i>Pygospio elegans</i>			X		X	X
<i>Scalibregma inflatum</i>	X	X				
<i>Scoloplos armiger</i>	X	X	X	X		
<i>Spio gonocephala</i>	X		X			
<i>Terebellides stroemi</i>	X	X				
<i>Trochochaeta multisetosa</i>		X		X*		
<b>CRUSTACEA</b>						
<i>Ampithoe rubricata</i>	X					
<i>Balanus crenatus</i>			X			
<i>Bathyporeia pilosa</i>			X			
<i>Corophium crassicorne</i>			X			
<i>Crangon crangon</i>			X*		X*	
<i>Diastylis rathkei</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Gammarus oceanicus</i>			X		X*	
<i>Gammarus salinus</i>			X		X	
<i>Gammarus zaddachi</i>			X		X*	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	X		X			
<i>Hyperia galba</i>					X*	
<i>Jaera albifrons</i>					X	
<i>Mysis mixta</i>				X*	X*	
<i>Neomysis integer</i>					X*	
<i>Pontoporeia femorata</i>	X	X		X		
<i>Saduria entomon</i>			X*		X	
<b>BRYOZOA</b>						
<i>Alcyonidium hirsutum</i>			X		X*	
<i>Callopora lineata</i>	X					
<i>Electra crustulenta</i>			X		X	
<i>Eucratea loricata</i>	X					
<i>Valkeria uva</i>	X					
<b>ECHINODERMATA</b>						
<i>Asterias rubens</i>	X*					
<i>Ophiura albida</i>	X					
<b>TUNICATA</b>						
<i>Dendrodoa grossularia</i>	X					
<b>Summe 83 Taxa</b>	<b>49</b>	<b>22</b>	<b>38</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>3</b>
<b>Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>)</b>	3149	1818	6695	562	7235	13
<b>Biomasse (g AFTG/m<sup>2</sup>)</b>	29,4	8,0	48,4	8,1	11,9	0,0

Die Darßer Schwelle stellt auf Grund ihrer hydrographischen Beschaffenheit für viele marine euryhaline Arten eine natürliche Grenze dar. Westlich der Darßer Schwelle (Stn. 10 und 12 mit 27 bzw. 24 m Wassertiefe) wurden 54 Taxa beobachtet. Besonders hervorzuheben wären hierbei z.B. *Euchone papillosa* (Polychaeta), dessen Bestände sich seit einiger Zeit wieder zu erholen scheinen. Die Dichten lagen bei ca. 100 Ind. m<sup>-2</sup> (Stn. 12). *Opercularella pumila* (Hydrozoa) als Kommensale auf den Röhren des Polychaeten trat ebenfalls nach jahrelanger Abwesenheit wieder auf. Von den Polychaeten sind weiterhin *Nephtys kersivalensis*, *Nereimyra punctata*, *Pherusa plumosa* und *Scalibregma inflatum* hervorzuheben. Andere Arten die sich auf diesen Bereich beschränkten waren die Muscheln *Mya truncata*, *Mysella bidentata*, *Parvicardium ovale* und *Syndosmya alba* sowie *Ophiura albida* und *Asterias rubens* (Echinodermata) und *Dendrodoa grossularia* (Tunicata).

Im Arkonabecken (Stn. 30 und 109 mit 23 bzw. 47 m Wassertiefe) lag die Artenzahl noch bei 47. Interessant war das Auftreten von *Alloides gibba* (Bivalvia) an der Stn. 109, da die Art bisher nie östlich der Darßer Schwelle angetroffen wurde. Es konnte nur ein Einzeltier beobachtet werden. *Ampharete acutifrons* (Polychaeta) erreichte an derselben Station Dichten von über 120 Ind. m<sup>-2</sup> und trat damit nach *Scoloplos armiger* subdominant auf. Ebenfalls hervorzuheben sind die Arten *Odostomia rissoides* (Gastropoda) und die Crustacea *Balanus crenatus*, *Bathyporeia pilosa* und *Corophium crassicorne*, die nur an der Stn. 30 festgestellt wurden.

Im südlichen Arkonabecken (Stn. 152 mit 32 m Wassertiefe) lag die Artenzahl noch bei 25 (11 im Vorjahr, 8 durch Dredgenachweis). Hervorzuheben wären hier die Crustacea *Hyperia galba*, *Jaera albifrons*, *Mysis mixta* und *Saduria entomon*. Mit 4.000 Ind. m<sup>-2</sup> war *Pygospio elegans* (Polychaeta) die dominante Art (55 %). Mit 1.500 Ind. m<sup>-2</sup> rangierte *Macoma balthica* (Bivalvia) auf Rang 2, erreichte aber mit 7,8 gAFTG m<sup>-2</sup> 65 % Biomassedominanz an dieser Station.

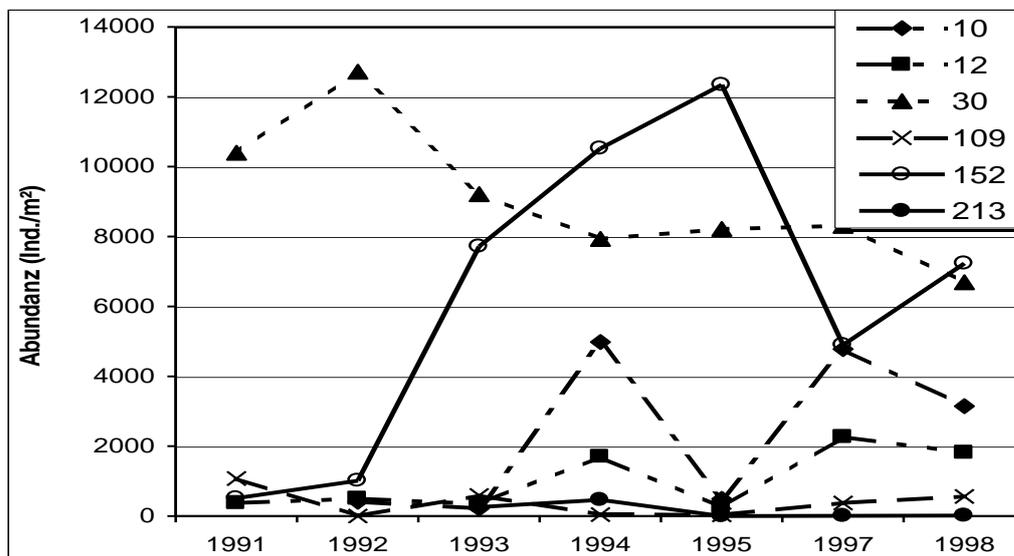


Abb. 26

Abundanzen (Ind.m<sup>-2</sup>) an den Stationen 10, 12, 30, 109, 152 und 213 von 1991 bis 1998 (1996 keine Daten).

Das Bornholmbecken (Stn. 213 mit 90 m Wassertiefe) zeigte ausgesprochen lebenswidrige Bedingungen. Auf dem Videobild konnten deutlich großflächige *Beggiatoa*-Flecken, bedingt durch  $H_2S$ , beobachtet werden. Dennoch wurden insgesamt 4 Individuen von 3 Arten nachgewiesen. Sicher stand jedoch ein unmittelbares Absterben des ganzen Makrozoobenthos bevor. Viele tote Quallen (*Aurelia aurita*) auf dem Sediment zeugten von Sauerstoffdefiziten in der freien Wassersäule, welche sich durch Messungen mit der Sonde bestätigten.

Wie im Vorjahr konnte auch 1998 an mehreren Stationen die Glazialrelikte *Pontoporeia femorata* und *Saduria entomon* beobachtet werden. Auch die Muscheln *Astarte borealis* und *A. elliptica* wurden an einigen Stationen festgestellt. Dahingegen fehlten einige Arten, die seit Jahren bzw. Jahrzehnten in der südlichen und westlichen Ostsee (Mecklenburger Bucht, Arkonabecken, Pommernbucht) nicht mehr gefunden werden. Dazu zählen *Monoporeia affinis*, *Buccinum undatum*, *Nassarius reticulatus*, *Astarte montagui*, *Scrobicularia plana* und *Macoma calcarea*. Oft trifft man nur Schalenmaterial (Mollusca) an.

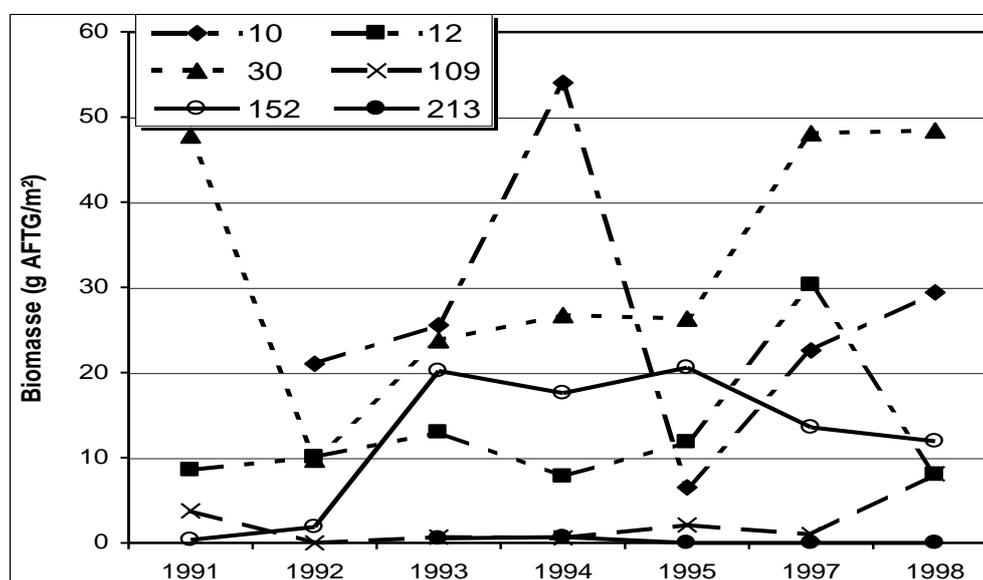


Abb. 27

Biomassen (g AFTG  $m^{-2}$ ) an den Stationen 10, 12, 30, 109, 152 und 213 von 1991 bis 1998 (1996 keine Daten).

Entgegen der Zunahme bei den Artenzahlen wurden bei den Abundanzen und Biomassen sowohl Zu- als auch Abnahmen (Abb. 26 und 27) beobachtet. Die Individuendichten lagen 1998 zwischen 13 Ind.  $m^{-2}$  (Stn. 213) und 7.235 Ind.  $m^{-2}$  (Stn. 152) (s. Tab. 3 und Abb. 26). Die Biomasse (AFTG) schwankte zwischen 0,01 gAFTG  $m^{-2}$  (Stn. 213) und 48,4 gAFTG  $m^{-2}$  (Stn. 30). Die hohen Biomassen an der Stn. 30 wurden zum größten Teil durch die Muscheln *Arenomya arenaria* (50 %) und *Mytilus edulis* (37 %) getragen.

Vergleicht man die Stationen bezüglich der relativen Abundanz (%) von 1991 bis 1998 so fällt auf, daß sich die Verhältnisse innerhalb der Gruppen (Crustacea, Annelida, Mollusca und Rest) verschoben haben (Abb. 28). An der Station 10 nahm die Dominanz der Annelida seit 1993 stetig

zu, wohingegen die Mollusca von ca. 50 auf 20 % abnahmen. Die Crustacea konnten ebenfalls leicht zunehmen und lagen 1997/98 zwischen 35 und 55 %.

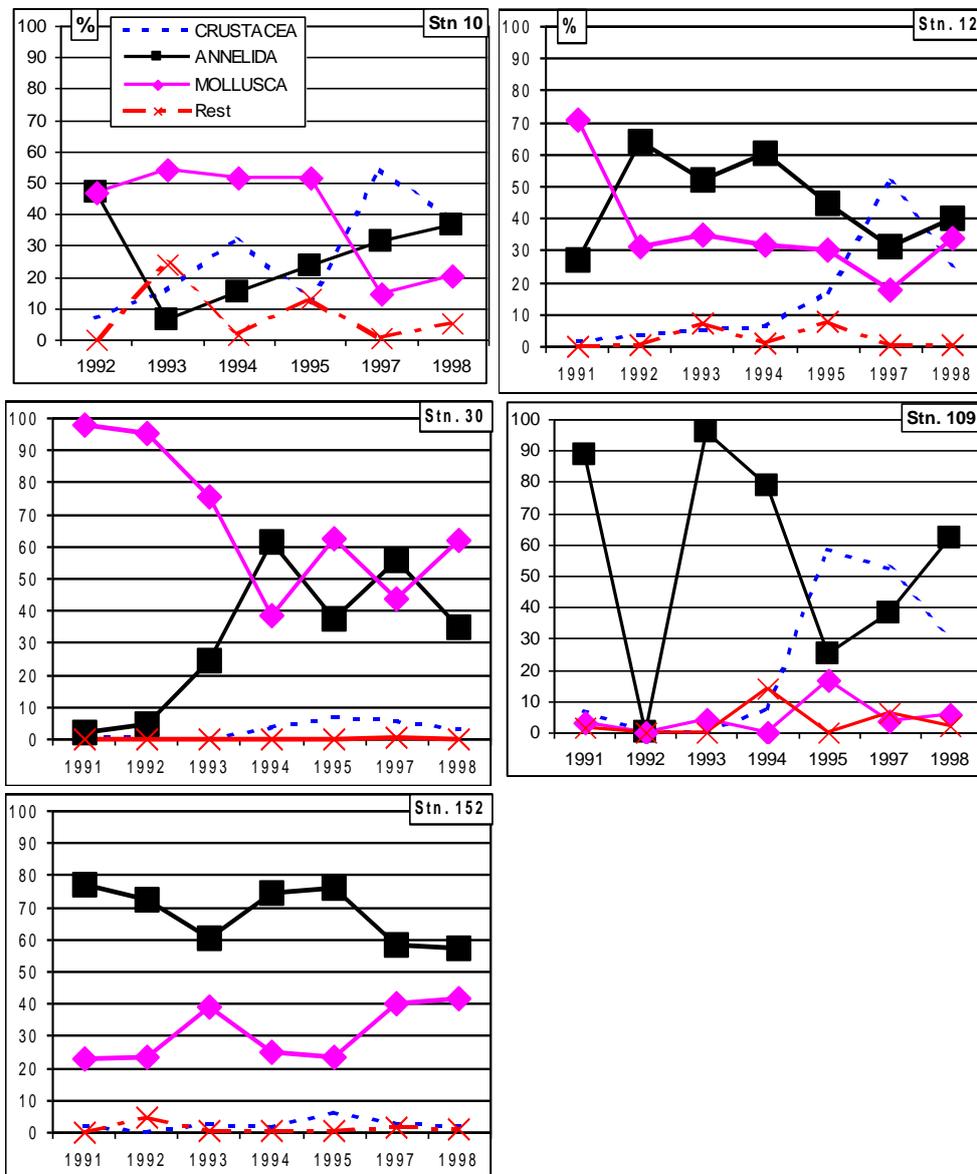


Abb. 28

Dominanzen (%) der Tiergruppen an den Monitoringstationen von 1991 bis 1998

In aller Regel verhielten sich die Dominanzen von Mollusca und Annelida gegenläufig (Stn. 10, 30, 109 und 152). Nur an der Station 12 wurde bis 1997 eine gleichzeitige Abnahme der Annelida und Mollusca mit gleichzeitiger Zunahme der Crustacea festgestellt. Gegenläufig verhielt sich das Jahr 1998, wo die Polychaeta und Mollusca wieder zunahmen (35-40 %) und die Crustacea auf 25 % zurückgingen. Bei den Crustacea stellte sich *Diastylis rathkei* an allen Stationen als dominantes Faunenelement dar. Bei den Mollusca waren es *Syndosmya alba* (Stn. 10 und 12), *Mytilus edulis* (Stn. 30 und 152), *Hydrobia ulvae* (Stn. 30) und *Macoma balthica* (Stn. 152). Innerhalb der

Annelida war *Scoloplos armiger* (Stn. 10 und 109), *Terebellides stroemi* (Stn. 12) und *Pygospio elegans* (Stn. 30 und 152) dominant. Die Stn. 213 (Bornholmsee) wurde nur sporadisch besiedelt, weshalb sie nicht weiter ausgewertet wurde.

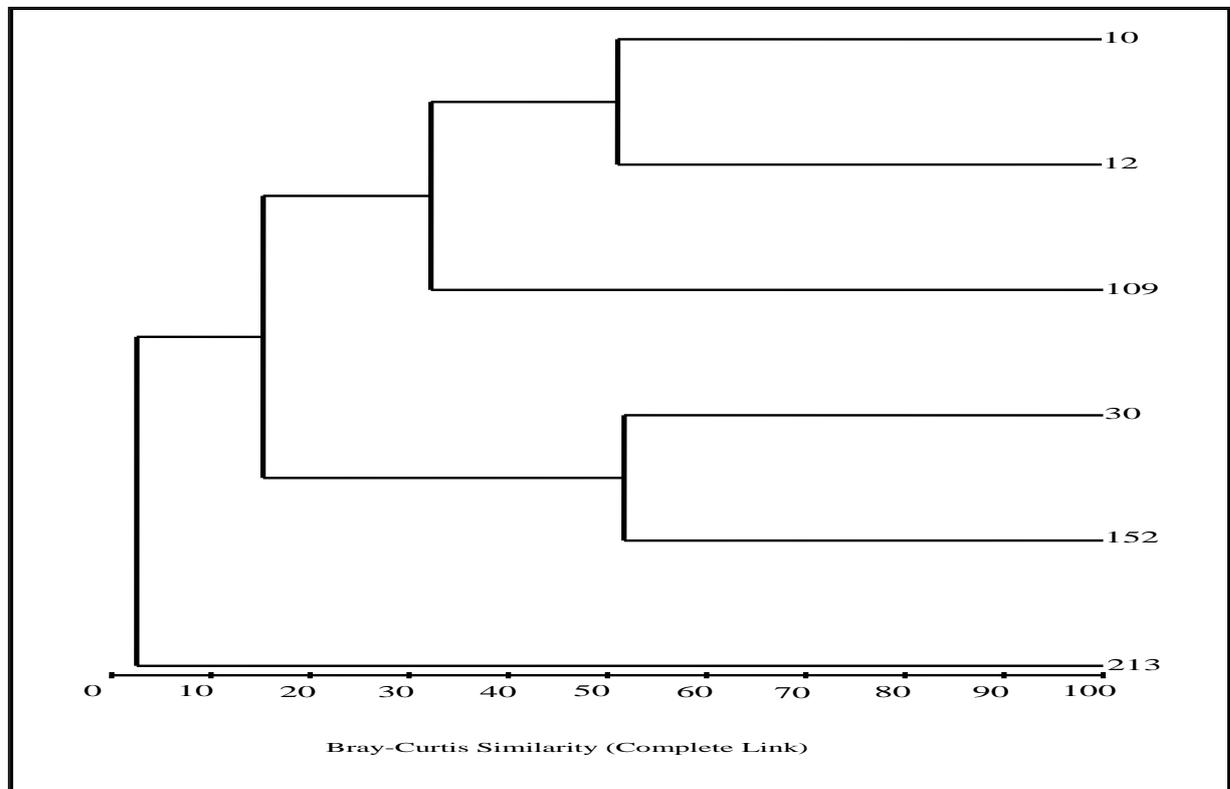


Abb. 29

Cluster-Analyse der 6 Monitoringstationen (data set abundances, fourth root transformation, complete link)

Ähnlich wie im vergangenen Jahr stellte sich auch 1998 die Clusteranalyse auf der Grundlage der Arten- und Individuenzahlen dar (Abb. 29). Mit jeweils über 50 % Ähnlichkeit bildeten die Stationen 10 und 12 sowie 30 und 152 zwei Gruppen. Die Station 109 hatte mit der Gruppe 1 (10 und 12) die größten Gemeinsamkeiten. Diese Ähnlichkeiten basierten größtenteils auf den dominanten Arten *Diastylis rathkei* und *Syndosmya alba* (Stn. 10 und 12) bzw. auf *Pygospio elegans* und *Mytilus edulis* (Stn. 30 und 152).

## 5. Diskussion

### 5.1 Phytoplanktonentwicklung in Beziehung zur Temperatur (Satellitendaten)

Im Mittelpunkt der Untersuchungen im Jahr 1998 stand die Planktonentwicklung in der Ostsee in Relation zur Wasseroberflächentemperatur. Das Jahr 1998 war charakterisiert durch eine milden Winter und ein relativ warmes Frühjahr, wobei die Lufttemperaturen um 2K höher lagen als das langjährige Mittel. Die daraus resultierende frühzeitig einsetzende thermische vertikale Schichtung der Wassersäule induzierte eine Phytoplanktonproduktion. Bereits im Februar konnten Chlorophyllkonzentrationen von mehr als  $2 \text{ mg m}^{-3}$  gemessen werden. Die eigentliche Frühjahrsblüte setzte dann aber wie gewöhnlich Ende März in der Arkonasee ein. Lange wolkenreiche Perioden im Frühjahr und Sommer begrenzten die Zahl der nutzbaren Satellitenszenen. Eine Serie vom Mai 1998 gestattete die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung. Tägliche Messungen in diesem Zeitraum belegen einen Rückgang der Konzentrationen von mehr als  $2 \text{ mg m}^{-3}$  am 12.05. bis auf weniger als  $1 \text{ mg m}^{-3}$  bis zum 19.05.98, verursacht durch die Zunahme der Windgeschwindigkeit am 13.05.1998. Diese Entwicklung belegen auch Satellitenszenen vom 10. und 18.5.1998. Die Beispiele der SST und der Chlorophyllverteilung vom 18.5.1998 in Abb. 30 zeigen hohe Korrelationen in den Oberflächenmuster während der Frühjahrsblüte. Besonders deutlich wird diese Beziehung an den warmen Filamenten mit hohen Chlorophyllkonzentrationen östlich Gotland und in der südwestlichen Ostsee sowie an den Auftriebsgebieten kalten Wassers an den Ost- und Südküsten der Ostsee aufgrund nordöstlicher Winde.

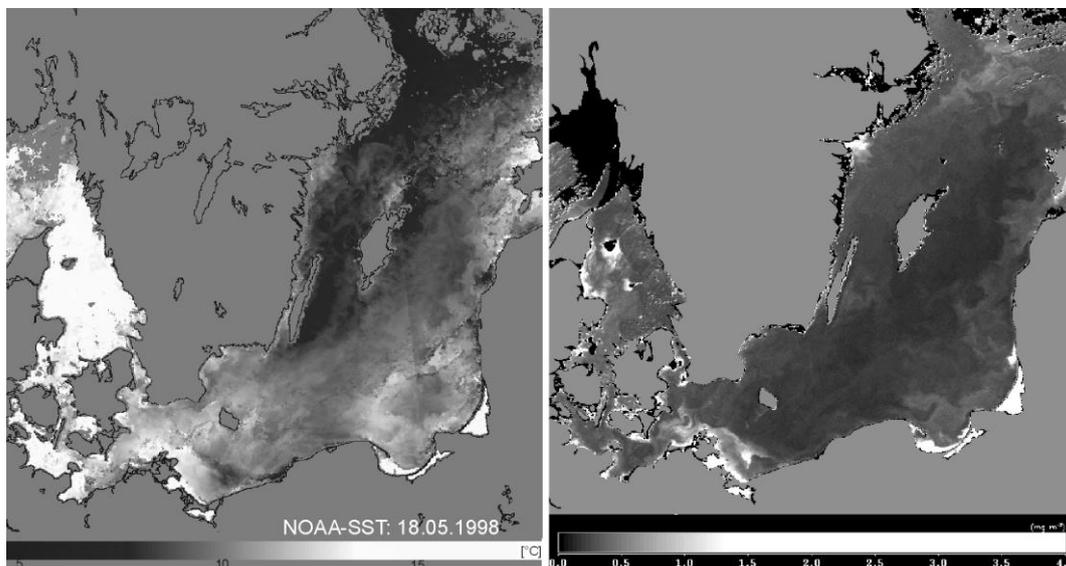


Abb. 30  
SST (sea surface temperature) Verteilung und Chlorophyll am 18. Mai 1998

Die Satellitenfernerkundung im sichtbaren Spektralbereich ist eine effektive Methode für die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung von Oberflächenakkumulationen der Cyanobakterien mit ihren heterogenen Verteilungsmustern, wie schon im Bericht des Jahres 1997 und anhand von CZCS-Daten (Siegel et al. 1999a) gezeigt werden konnte. Die Entwicklung und die Intensität der Akkumulationen, die normalerweise im July–August auftreten, sind abhängig

von den meteorologischen, hydrographischen und chemischen Bedingungen. Nach dem milden Winter und der zeitigen Frühjahrsblüte 1998 waren die anorganischen Stickstoffverbindungen bereits im Juni in der Deckschicht verbraucht und somit die Lebensbedingungen für die den molekularen Stickstoff fixierenden Cyanobakterien vorhanden. Oberflächenakkumulationen konnten somit auch bereits im Juni beobachtet werden. In der Abb. 31 vom 20.06.1998 sind Ansammlungen mit typischen Strukturen südlich von Gotland zu erkennen, die sich auch in der Wasseroberflächentemperatur mit höheren Werten wiederfinden. Außerdem haben westliche Winde vom 16-22.6.1998 zur Herausbildung eines Transportbandes entlang der polnischen Küste geführt, das sowohl in der SST als auch in der Chlorophyllkonzentration beobachtet wurde.

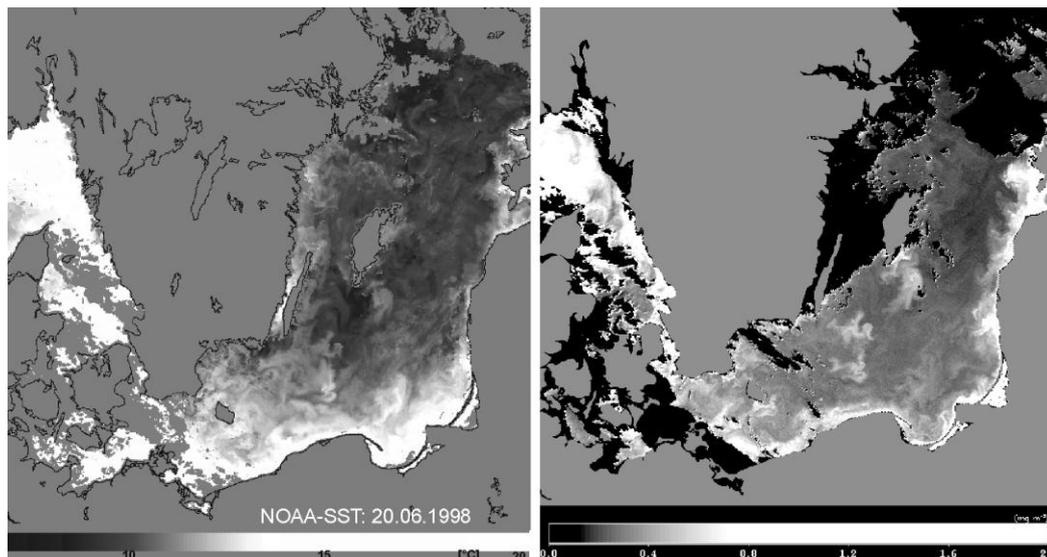


Abb. 31  
SST Verteilung und Chlorophyll am 20. Juni 1998

Der weitere Verlauf des Sommers war durch sehr wechselhaftes Wetter gekennzeichnet, was sich nicht nur auf die weitere Entwicklung der Cyanobakterien, sondern auch auf die Luft- und Wassertemperaturen auswirkte. So wurden im Monat August die niedrigsten Luft- und Wassertemperaturen der 90er Jahre beobachtet. Die Monatsmittel der Wasseroberflächentemperatur haben kaum Werte über 17 °C erreicht (SIEGEL et al., 1999b; MATTHÄUS et al., 1999). Die Ergebnisse zur Untersuchung der Phytoplanktonentwicklung in der Ostsee 1998 sind in SIEGEL et al. (1999c) zusammengefaßt.

## 5.2 Phytoplanktonentwicklung in Beziehung zur Nährstoffkonzentration

Auf die Abhängigkeit des Phytoplankton-Wachstums von anorganischen Nährstoffen wurde bereits im Kapitel 4.1.1 Bezug genommen. Nicht nur die für die Photosynthese notwendigen Verbindungen Wasser und Kohlendioxid sowie Licht-Energie sind für den Aufbau von Biomasse erforderlich, sondern ebenso verschiedene Makro- und Mikronährstoffe, von denen Phosphor, Stickstoff und speziell bei den Kieselalgen auch Silizium die wichtigsten sind. Für den Aufbau des Körpers sind sie in bestimmten Verhältnissen erforderlich. Nach REDFIELD et al. (1963) beträgt das Molverhältnis von Kohlenstoff : Stickstoff : Phosphor = 106 : 16 : 1. Die N:P-Verhältnisse im

Ostseewasser sind demgegenüber nicht optimal. Nach MATTHÄUS et al. (1999) liegen sie im winterlichen Oberflächenwasser der eigentlichen Ostsee etwa zwischen 7 und 8. Der Grund für die relative Stickstoff-Armut der Ostsee dürfte in Denitrifikationsprozessen zu suchen sein, die zwar im Tiefenwasser stattfinden, sich in der Bilanz aber bis in die Oberflächenschicht auswirken. Die planktische Primärproduktion in der eigentlichen Ostsee ist also stickstofflimitiert (vgl. GRANÉLI et al., 1990). Wenn man die Abnahme der Nährstoffe im Wasser aufgrund des Wachstums der Frühjahrsblüte verfolgt, stellt man aber fest, daß diese nicht entsprechend dem Redfield-Verhältnis verbraucht werden. Neben anderen möglichen Gründen ist ein wichtiger sicher die verstärkte Aufnahme des überschüssigen Phosphor ("luxury uptake"; vgl. WASMUND et al., 1998 b). So wird zwar der Stickstoff im Oberflächenwasser durch die Frühjahrsblüte fast vollständig aufgebraucht, doch auch die Phosphat-Konzentration sinkt bis auf unter  $0.1 \text{ mmol m}^{-3}$  ab. Der gespeicherte Phosphor kommt insbesondere den Cyanobakterien zugute, die den Stickstoffmangel durch Nutzung des reichlich vorhandenen molekularen Stickstoffs ( $\text{N}_2$ ) ausgleichen können. Diese stickstoff-fixierenden (diazotrophen) Cyanobakterien haben dadurch einen Konkurrenzvorteil und bilden im Sommer eindrucksvolle Blüten (WASMUND, 1997). Sie sind ihrerseits wiederum durch Phosphat limitiert.

Ein völlig anderes Bild findet sich in den Küstengewässern der Ostsee (WASMUND et al., 1999). In der Pommerschen Bucht, aber auch in der Danziger Bucht, den litauischen Küstengewässern vor Klaipeda und den Küstengewässern der Rigaer Bucht findet man schon im Frühjahr Phosphat-Limitation. Die in diese Gewässer mündenden großen Flüsse haben sehr hohe N:P-Verhältnisse.

Wegen der Nährstoffabhängigkeit des Phytoplanktonwachstums kann man prinzipiell die potentiell zu bildende Phytoplanktonbiomasse aus der Abnahme der Nährstoffkonzentrationen berechnen. Das funktioniert aber nur bei den Blüten, deren Entwicklung fast ausschließlich auf neuer Produktion beruht. Hier wäre in erster Linie die Frühjahrsblüte zu nennen, die die im Winter akkumulierten Nährstoffe nutzt.

Auch die im Sommer wachsenden stickstoff-fixierenden Cyanobakterien beruhen im Prinzip auf neuer Produktion. Deren potentiell zu bildende Biomasse läßt sich grob berechnen, wenn man von folgender Annahme ausgeht: Die N:P - Verhältnisse in der eigentlichen Ostsee liegen vor der Vegetationsperiode bei 7-8 (MATTHÄUS et al., 1999). Das bedeutet im Vergleich mit dem Ideal-Verhältnis (nach REDFIELD et al., 1963: N:P=16) eine Unterversorgung mit Stickstoff. Wenn die Stickstoff-Ressourcen aufgebraucht sind, müßte Phosphat übrig bleiben. Wenn auch dieses überschüssige Phosphat zum Wachstum der Organismen genutzt werden soll, müssen zusätzliche Stickstoff-Quellen erschlossen werden. Dazu sind im wesentlichen nur die stickstoff-fixierenden Cyanobakterien in der Lage, die den Luft-Stickstoff binden. Auf diese Weise können sie auch das überschüssige Phosphat verwerten.

Die weiteren Blüten des Jahres basieren hauptsächlich auf regenerierter Produktion, d.h. auf kurzfristig remineralisierten Nährstoffen, die wegen der schnellen Umsätze nicht zu messen sind.

Ein Beispiel zur Berechnung der potentiell aus den winterlichen Stickstoff-Konzentrationen zu bildenden Biomasse der Frühjahrsblüte wurde in Kapitel 4.1.1.1 gegeben. Sie würde in der Mecklenburger Bucht bei etwa  $610 \text{ mg m}^{-3}$  Kohlenstoff liegen. Das entspricht einer "Protoplasma-Frischmasse" von etwa  $5544 \text{ mg m}^{-3}$ . Auf das Problem, daß speziell bei Kieselalgen wegen der

großen Vakuole Protoplasmamasse nicht gleich Biomasse ist, wurde hingewiesen. Bei Annahme eines C:Chl.a-Faktors von 30 (nach GARGAS et al., 1978) dürfte die maximal mögliche Chlorophyll-a – Konzentration der Frühjahrsblüte bei etwa  $20 \text{ mg m}^{-3}$  liegen.

Unter Verwendung der allgemeinen Formel, nach der das Mol-Verhältnis in der Biomasse C:P=106 ist, kann man errechnen, daß zur Bildung einer Biomasse von  $610 \text{ mg m}^{-3}$  Kohlenstoffgehalt (=  $50,8 \text{ mmol m}^{-3} \text{ C}$ ) eine Phosphormenge von  $0,48 \text{ mmol m}^{-3}$  erforderlich ist. Von der im Wasser vorhandenen Phosphatmenge von  $0,66 \text{ mmol m}^{-3}$  bleiben also  $0,18 \text{ mmol m}^{-3}$  übrig. Diese werden von den Algen zum großen Teil zwar auch aufgenommen, aber letztlich wohl nur gespeichert (luxury uptake), so daß sie für ein weiteres Biomassewachstum zur Verfügung stehen, wenn nur wieder Stickstoff verfügbar wird. Tatsächlich wird dem System im Sommer neuer Stickstoff zugeführt durch die stickstoff-fixierenden Cyanobakterien. Sie können mit den  $0,18 \text{ mmol m}^{-3}$  Phosphat eine Biomasse mit einem C-Gehalt von  $19,1 \text{ mmol m}^{-3}$  (=  $229 \text{ mg m}^{-3} \text{ C}$ ) produzieren. Bei Verwendung des groben Umrechnungsfaktors Kohlenstoff : Frischmasse = 0,11 entspricht das einer Biomasse von  $2082 \text{ mg m}^{-3}$ .

Diese Biomasse muß sich letztlich aber nicht insgesamt in den Cyanobakterien wiederfinden, denn diese geben einen Teil der assimilierten Substanzen wieder ab (vgl. OHLENDIECK et al., subm.), so daß sie über das Nahrungsgewebe der gesamten Biozönose zugute kommen. Es muß nochmals betont werden, daß diese Rechnung nur für die neue, nicht aber für die regenerierte Produktion gelten kann.

Diese Rechnung ist für die Mecklenburger Bucht noch relativ einfach, da hier die Tiefe der Salzsprungschicht (permanente Halocline) etwa mit der Tiefe der euphotischen Schicht zusammenfällt. Das heißt, daß alle Nährstoffe in der durchmischten Schicht auch dem Phytoplanktonwachstum zur Verfügung stehen. In den anderen Seegebieten beginnt die Entwicklung der Frühjahrsblüte zwar auch erst, wenn die Tiefe der durchmischten Schicht kleiner oder gleich der Tiefe der euphotischen Schicht ist (vgl. WASMUND et al., 1998), doch stellt hier die erste, noch sehr labile Phase der Thermocline die Grenzschicht dar. Durch diese kann durchaus noch ein Nährstoffaustausch erfolgen, und speziell die Dinoflagellaten der Frühjahrsblüte könnten sogar gezielt die Thermocline durchwandern, um die darunter noch vorkommenden Nährstoffe zu nutzen. Dadurch kommt es zu einer Nährstoffabnahme auch unterhalb der Zone des aktiven Phytoplanktonwachstums. Dieser Nährstoffverbrauch müßte noch zusätzlich in die Rechnung einbezogen werden.

### 5.3 Jahreszeitliche und räumliche Variabilität der Phytoplanktonblüten

#### Frühjahrsblüte

Während die Phytoplankton-Entwicklung im Jahre 1997 ungewöhnlich früh begann, kann das Jahr 1998 in dieser Hinsicht als ein "normales" Jahr angesehen werden. Die Frühjahrsblüte begann in der Mecklenburger Bucht Mitte März mit einer Kieselalgenentwicklung (*Chaetoceros* spp.), die im April in eine Phase mit Dinophyceen-Dominanz (*Gymnodinium* spp.) überging. In der Arkonasee begann die Blütenentwicklung um den 20. März (im westlichen Teil etwas eher, im zentralen Teil etwas später). Auch hier fanden wir zuerst eine Kieselalgenblüte und eine sich Anfang April anschließende Dinoflagellatenblüte. Diese zwei voneinander getrennten Phasen der Frühjahrsblüte

sind von der westlichen Ostsee sei längerem bekannt (vgl. SMETACEK, 1978). Sie werden in der Bornholmsee und Gotlandsee im allgemeinen nicht beobachtet. Tatsächlich fanden wir im Jahre 1998 die Frühjahrsblüte in der Arkonasee und der Bornholmsee gleichzeitig. Aber im Gegensatz zur Arkonasee war sie in der Bornholmsee schon Ende März von Dinoflagellaten dominiert. Der Zeitpunkt der Blüte in der östlichen Gotlandsee kann wegen fehlender Probennahme nicht genau bestimmt werden. Er liegt mit Sicherheit aber deutlich später als in der Bornholmsee.

Unsere Beobachtungen sind wichtig für die Bewertung verschiedener Hypothesen, die wir schon im vorjährigen Bericht diskutiert haben (WASMUND et al., 1998 a):

Der von West nach Ost verzögerte Frühjahrsblütenbeginn (vgl. KAISER, SCHULZ, 1976 sowie WASMUND et al., 1998 a) läßt sich mit der Zunahme der Wassertiefe bzw. der Tiefe der Salzsprungschicht in östliche Richtung erklären. Die Erwärmung der Wassersäule dauert in den tieferen Seegebieten viel länger als in den flacheren. Damit verzögert sich die Stabilisierung der Wassersäule, die Voraussetzung für die Bildung einer Blüte ist. Das gilt aber nur nach kalten Wintern, in denen die Temperatur des Dichtemaximums des Wassers (z.B. 2,4 °C bei Salzgehalt von 8 PSU) unterschritten wird, so daß sich mit der Erwärmung im Frühjahr die gesamte Wassersäule bis in die Tiefe der permanenten Salzsprungschicht umwälzt, bevor es zur thermischen Stabilisierung kommen kann. Nach milden Wintern findet die Stabilisierung sofort mit der ersten Erwärmung statt, unabhängig von der Wassertiefe, denn das erwärmte Wasser bleibt wegen seiner geringeren Dichte an der Oberfläche. Die Verzögerung des Blütenbeginns nach Osten hin ist deshalb nicht in gleichem Maße nach milden Wintern zu beobachten (vgl. SCHULZ et al., 1992 b). Das Jahr 1998 wäre ein Beispiel für einen vorangegangenen milden Winter. Im Winter 1997/98 sanken die Temperaturen des Oberflächenwassers in der Arkona-, Bornholm- und östlichen Gotlandsee nicht unter 2,5 °C ab. Das Dichtemaximum des Wassers, das noch unter dieser Temperatur liegt, wurde also bei der winterlichen Abkühlung nicht erreicht. Dementsprechend fanden wir zumindest von der Mecklenburger Bucht bis zur Bornholmsee ein relativ gleichzeitiges Auftreten der Blüte. Lokale Verzögerungen kann es natürlich durch starken Wind (dadurch tiefere Durchmischung der Wassersäule) und starke Bewölkung geben.

Diese Theorie erklärt zwar den unterschiedlichen Zeitpunkt des Blütenbeginns, aber nicht die unterschiedliche Zusammensetzung der Blüten in den verschiedenen Seegebieten. Man könnte annehmen, daß es bestimmte zeitliche Fenster für die Entwicklung einer Kieselalgenblüte (im März) und für die Dinophyceen-Entwicklung (im April/Mai) gibt. Wenn die Algenentwicklung z.B. in der Gotlandsee überhaupt erst im April/Mai stattfindet, fällt die Kieselalgen-Entwicklung dort aus, und es kommt gleich zur Dinoflagellaten-Frühjahrsblüte. Das Jahr 1998 widerspricht aber dieser Hypothese, denn wir fanden zur gleichen Zeit eine Kieselalgenblüte in der Arkonasee und eine Dinophyceenblüte in der Bornholmsee.

Eventuell lassen sich die Erscheinungen mit dem hypothetischen Fehlen einer Kieselalgen-Impfpopulation in den östlichen Seegebieten erklären. Zur Entwicklung einer Algenblüte müssen nicht nur Nährstoffe und Licht ausreichend zur Verfügung stehen, sondern auch die Algen selbst, durch deren Vermehrung sich erst die Blüte aufbauen kann.

Wenn wir annehmen, daß die für das Frühjahr typischen Kieselalgen am Gewässergrund überwintern, stellt sich die Frage, wie sie im nächsten Jahr wieder in das Oberflächenwasser

kommen. Da sie über keinen aktiven Bewegungsmechanismus verfügen, müssen sie mit vertikalen Strömungen aufwärts transportiert werden. Wie oben dargestellt, reicht die Zirkulation nur nach kalten Wintern bis in die Tiefe der Salzsprungschicht. Nach milden Wintern dürfte es dann nicht zu Kieselalgenentwicklungen kommen können. Tatsächlich scheinen die Kieselalgenblüten in den östlicheren Seegebieten nach milden Wintern auszufallen (siehe Kapitel 5.4). Aber in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee sind sie trotzdem vorhanden. Woher kommen die Impfpopulationen dafür ?

In den flachen Gewässerteilen, insbesondere den Küstenregionen, findet die vertikale Zirkulation in jedem Falle bis zum Grund statt. Von hier aus können die Algen vertikal verdriftet werden in die offene See. In dem Falle würden sich die Blüten von der Küste aus in die See schieben. Das ist tatsächlich beobachtet worden (vgl. auch Abb. 2 b und 30 b). In den vergangenen Jahren begannen die Blüten fast immer in den flachen Buchten (Lübecker Bucht, Pommersche Bucht). Wir beobachteten auch in der zentralen Danziger Bucht sehr frühe Kieselalgenblüten, obwohl sie sehr tief ist. Die Küstennähe scheint hier also wichtig zu sein. In den kleineren Seegebieten (Mecklenburger Bucht, Arkonasee) können die Algen bis in die zentralen Bereiche vordringen. In den großen Seegebieten (östliche Gotlandsee) ist die Entfernung zu groß, denn gerade die Kieselalgen tendieren während des Transports generell zum Absinken. Hier beginnt die Blüte erst mit der Entwicklung der Dinophyceen, die sich meistens später als die Kieselalgen entwickeln. Wie das Aufsteigen der Dinoflagellaten aus dem Sediment ausgelöst wird, ist noch nicht geklärt. Wenn sie in der östlichen Gotlandsee später in Erscheinung treten als z.B. in der Bornholmsee, könnte das mit der größeren Wassertiefe (also die Entfernung, die von den Algen überwunden werden muß) zusammenhängen. Insgesamt erklärt diese "Impfpopulations-Hypothese" gleichzeitig das Ausbleiben der Kieselalgen und damit die Verzögerung des Beginns der Frühjahrsblüte in den größeren, östlichen Seegebieten. Sie erklärt allerdings wiederum nicht, warum nach einem milden Winter die Blüte in verschiedenen Seegebieten relativ gleichzeitig erfolgt.

#### Sommerblüte

Im Juni und Juli werden traditionell keine Monitoringfahrten durchgeführt. Wegen der geringen Nährstoff-Konzentrationen nahm man an, daß im Frühsommer ein Biomasseminimum, also keine Blüte zu finden ist. Deshalb waren wir überrascht, mit zusätzlichen Probennahmen im Juni 1994 in der westlichen Mecklenburger Bucht erstmalig eine Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* gefunden zu haben (Breuel et al., 1995), zumal wir annahmen, daß großzellige Kieselalgen im allgemeinen hohe Nährstoff-Konzentrationen bevorzugen. Nachdem eine Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* im Jahre 1997 nicht nachgewiesen werden konnte, trat sie im Jahre 1998 in der Mecklenburger Bucht und wahrscheinlich auch in der Arkonasee wieder auf.

Die stickstoff-fixierenden Cyanobakterienblüten, die in der eigentlichen Ostsee regelmäßig im Juli und August vorkommen, sind dagegen gut untersucht. Da sie sich nur bei Windgeschwindigkeiten von weniger als  $6 \text{ m s}^{-1}$  in den obersten Wasserschichten anreichern sollen (WASMUND, 1997), traten sie während der windreichen Monitoringfahrt vom August nur selten (Station 113) in Erscheinung. In unseren Mischproben von 0 - 10 m Tiefe waren sie aber gut repräsentiert.

Auch das Picoplankton, das hauptsächlich zu den Cyanobakterien gehört, hat im Sommer sein Biomassemaximum. Picoplankter sind durch ihr hohes Zelloberfläche : Volumen – Verhältnis besonders effektiv in der Aufnahme kleinster noch verfügbarer Nährstoffkonzentrationen.

### Herbstblüte

Der Dinoflagellat *Ceratium tripos* beginnt seine Entwicklung in der Mecklenburger Bucht schon im Sommer und wächst langsam zum Herbst bis zu Blüten-Konzentrationen heran. Seine Verbreitung endet in der Arkonasee. Weiter östlich wurde bislang keine Dinoflagellatenblüte gefunden. Das lag aber sicherlich an der mangelnden Probennahme. Im Jahre 1997 wurden erstmals auch Anfang Oktober Probennahmen durchgeführt. Zu dieser Zeit trat in der Arkona- und Bornholmsee eine Blüte des Dinoflagellaten *Gymnodinium* cf. *lohmannii* auf. Daß in diesen Seegebieten im Herbst Dinoflagellatenblüten auftreten können, war bislang unbekannt. Im Jahre 1998 stand uns aus dem fraglichen Zeitraum nur eine Probe aus der zentralen Arkonasee zur Verfügung. Tatsächlich enthielt sie eine Dinoflagellatenblüte; in diesem Jahr aber nicht *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, sondern *Prorocentrum minimum*.

Die Situation von Oktober/November ist dagegen aufgrund der traditionell zu dieser Zeit stattfindenden Monitoringfahrt gut bekannt: Es ist mit einer Blüte von *Coscinodiscus* zu rechnen. In der Mecklenburger Bucht trat im Herbst 1998 aber nicht diese Art, sondern verschiedene andere Kieselalgenarten (z.B. *Guinardia flaccida*) in Erscheinung. In der Arkonasee, der Bornholmsee und der östlichen Gotlandsee dominierte aber wie üblich *Coscinodiscus granii*.

## 5.4 Langzeit-Trends der Phytoplanktonentwicklung

Ein wesentliches Anliegen des Ostsee-Monitoringprogramms der HELCOM ist die Überwachung der anthropogenen Einflüsse auf die Meeresumwelt. Das wichtigste dieser Probleme ist nach wie vor die Eutrophierung der Ostsee. Die in den 60er und 70er Jahren stark angestiegenen Nährstoffkonzentrationen dürften zu einem Anstieg der Phytoplanktonbiomasse geführt haben. Es liegen aus dieser Zeit aber keine systematisch erhobenen Phytoplankton-Zeitreihen aus der Ostsee vor. Dieser Mangel wurde durch das HELCOM-Monitoringprogramm behoben. Seit nunmehr 20 Jahren werden nach einer einheitlichen Methodik und einem abgestimmten Programm regelmäßig die Daten erfaßt.

Speziell bei der Biomassebestimmung nach der Utermöhl-Methode läßt sich die subjektive Komponente nicht ganz ausschließen. Ohnehin ist der methodische Fehler der mikroskopischen Zählmethode recht groß. Deshalb beziehen wir uns bei Angaben zur Phytoplankton-Gesamtbiomasse für Trenduntersuchungen auf die Chlorophyll a - Werte.

Seit etwa 1979 pegeln sich die Winterkonzentrationen der Nährstoffe unter starken Schwankungen mehr oder weniger auf ein Niveau ein (HELCOM, 1996). Trotzdem steigt die Phytoplankton-Biomasse weiter an (WASMUND et al., 1998 a, p.37). Ab etwa 1990 geht der Kunstdüngerverbrauch drastisch zurück, was seit einigen Jahren sogar zu einer leichten Verringerung der winterlichen Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser sowie seit etwa zwei Jahren auch zu einer Verringerung der anorganischen Stickstoffkonzentrationen führt (MATTHÄUS et al., 1999). Demgegenüber steigt die Phytoplanktonbiomasse (als Chlorophyll) weiterhin an (Abb. 19 b). Das läßt auf eine stark verzögerte Reaktion biologischer Komponenten, also eine Pufferwirkung und hohe Elastizität im Ökosystem, schließen. Die erwartete Trendumkehr könnte sich nun in der Bornholmsee ankündigen. Während die lineare Regression bis zum Jahre 1997 noch signifikant war, konnte nach Einbeziehung der 1998er Werte keine Signifikanz mehr

erreicht werden (Abb. 20 a). Schon visuell kann aus den Einzelwerten der letzten 5 Jahre in der Abb. 20 a eine abnehmende Tendenz abgelesen werden. Die abnehmende Tendenz (nicht signifikant) in der Mecklenburger Bucht (Abb. 19 a) kommt durch 4 hohe Einzelwerte in den 80er Jahren zustande. Solche Extremwerte spiegeln Sondersituationen wider, wie z.B. das Maximum einer Blüte, das nur ausnahmsweise getroffen wird. Dadurch erhält die gesamte Datenreihe ein schiefes Bild und es können Trends vorgetäuscht werden, die es in dem Maße nicht gibt. Erst wenn solche Blütensituationen in allen Jahren gleichermaßen erfaßt werden, kann man von repräsentativen Datenreihen ausgehen. Dieses erreicht man nur durch zeitlich höhere Auflösung der Datenserien, im optimalen Fall mit kontinuierlicher Registrierung.

An qualitativen Veränderungen im Phytoplankton ist in erster Linie die Zunahme der Dinoflagellaten im Frühjahr seit 1989 in der südlichen eigentlichen Ostsee zu erwähnen (siehe Kapitel 4.1.4). Die damit verbundene Abnahme der Kieselalgen spiegelt sich auch in einer verringerten Zehrung des Silikat im Frühjahr wider (Abb. 18). Als Ursache für den Populationswechsel bietet sich nach WASMUND et al. (1998 b) die Wassertemperatur des Winters an, die seit 1989 deutlich über dem langjährigen Mittel lag. Auch der Winter 1997/98 ist als milder Winter einzustufen. Die winterliche Minimaltemperatur des Oberflächenwassers lag mit 2,5 - 3,5 °C noch über der Temperatur des Dichtemaximums, welche bei den Salzgehalten der südlichen eigentlichen Ostsee bei etwa 2,3 - 2,4 °C liegt. Wenn das Oberflächenwasser nicht unter diese Temperatur abkühlt, kommt es bei der Erwärmung im Frühjahr nicht zu einer Durchmischung, sondern zu einer Stabilisierung der Wassersäule. Das könnte von Nachteil für die unbeweglichen Kieselalgen sein, aber von Vorteil für die aktiv in die oberen Wasserschichten aufsteigenden Dinoflagellaten. Sollte diese Hypothese richtig sein, so hätte die Artenverschiebung klimatisch-hydrographische Ursachen und wäre kein Eutrophierungseffekt. Es ist auch hervorzuheben, daß die stärkere Entwicklung der Dinoflagellaten in der Frühjahrsblüte nicht auf der Basis neuer Arten, sondern hauptsächlich durch die immer schon blütenbildende Art *Peridiniella catenata* erfolgte.

Die erstmals 1997 zu Anfang Oktober in der Bornholmsee gefundene Dinoflagellatenblüte (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*, Abb. 15 c) könnte eine regelmäßige Erscheinung sein. Zwar standen uns 1998 wieder keine Proben von September/Oktober aus der Bornholmsee zur Verfügung, doch in der Arkonasee fanden wir Mitte September eine Blüte des Dinoflagellaten *Prorocentrum minimum* (Abb. 14 b).

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons unterliegt starken natürlichen Schwankungen, so daß deutliche, gerichtete Veränderungen auf Artebene zur Zeit nicht zu dokumentieren sind (vgl. Tabellen A1 – A3).

## 5.5 Langzeit-Trends der Zoobenthosentwicklung

1998 fand kein Salzwassereinbruch statt (MATTHÄUS et al., 1999). Dennoch konnten wir an fast allen Stationen eine deutliche Artenzunahme feststellen. Zum einen ist die Zunahme sicher auf die zusätzlichen Methoden, d.h. den Einsatz der Dredge und der Videotechnik zurückzuführen. 6 Taxa (*Cerastoderma lamarcki*, *Odostomia rissoides*, *Crangon crangon*, *Hyperia galba*, *Mysis mixta*, *Neomysis integer*) wurden ausschließlich mit der Dredge erbeutet und eine (*Asterias rubens*) ausschließlich anhand des Videomaterials identifiziert (Abb. 32). Die Anwendung von

Videotechnik im Monitoring kann durch unsere Erfahrungen und Erfahrungen dritter nur unterstützt werden (ANONYMUS, 1999; RUMOHR, 1995; VORBERG, VAN BERNEM, 1998). Zum anderen können wir seit den letzten Jahren eine allmähliche Artenzunahme und Ausbreitung beobachten, was durch die Ansiedlung und Ausbreitung bei günstigen Sauerstoff- und Strömungsverhältnissen bedingt war (s.a. GOSELCK et al., 1998). Besonders zu den Reproduktionszeiten und den Larvenaufkommen benthischer Arten (meist im Herbst bis Frühjahr) spielen günstige Vektoren eine große Rolle.

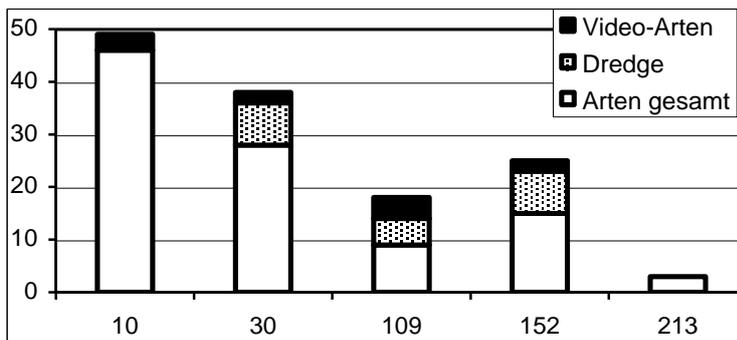


Abb. 32

Artenzahlen an den untersuchten Monitoringstationen (ohne Stn. 12) inklusive der Darstellung über die Anzahl der mit Video und Dredge nachgewiesenen Taxa

Die Zunahme in der Artenzahl in den westlichen Untersuchungsstationen (Stn. 10 und 12) ist auch durch die differenzierte Betrachtung der Hydrozoa und Bryozoa bedingt, die an der Stn. 10 insgesamt 5 Arten stellten. Weiterhin konnten einige Taxa erstmals nachgewiesen werden. So traten *Acanthodoris pilosa* und *Mya truncata* (Mollusca) sowie *Nephtys kersivalensis* (Polychaeta) erstmals im Fehmarnbelt auf. Auf Station 12 konnten erstmals die Polychaeten *Pholoe baltica* und *Scalibregma inflatum* nachgewiesen werden. Allerdings fehlten die langjährig an dieser Station beobachteten *Halicryptus spinulosus* (Priapulida) und *Gastrosaccus spinifer* (Crustacea). Der Rückgang in der Artenzahl in der Mecklenburger Bucht von 22 auf 15 Arten ist noch nicht als bedrohlich einzustufen und liegt eher in den Besiedlungsschwankungen, wenn man berücksichtigt, daß vor 1997 die mittlere Artenzahl 12 und 1997 die Artenzahl je Greifer etwa 18 war. Zu berücksichtigen bleibt ebenfalls, daß 1997 5 und 1998 nur 3 Greifer gemittelt wurden. Ebenso wie im letzten Jahr muß das Auftreten der sauerstoffsensitiven Taxa *Pontoporeia femorata* (Crustacea), *Euchone papillosa* und *Astarte elliptica* hervorgehoben werden. Das deutet darauf hin, daß in den letzten beiden Jahren in diesem Gebiet kein akuter Sauerstoffmangel geherrscht haben kann. Alle drei Arten waren nur in sehr geringen Abundanzen vertreten. Bei *Euchone papillosa* wurde jedoch eine leichte Zunahme gegenüber dem Vorjahr beobachtet. Außerdem traten neben ausgewachsenen Exemplaren zunehmend juvenile auf, die auf eine erfolgreiche Reproduktion oder Larvenfall hindeuten. Nachdem SCHULZ (1969) die Art noch in geringen Abundanzen nachweisen konnte, verschwand der Polychaet für längere Zeit aus der Mecklenburger (einschl. Lübecker) Bucht und wurde in der Ostsee als vom Austerben gefährdet eingestuft (GOSELCK et al., 1996). Die Bestände scheinen sich seit etwa 2 Jahren leicht zu erholen. Die Besonderheit von *P. femorata* wurde im letzten Jahr ausführlicher diskutiert (WASMUND et al., 1998 a), weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Die Stn. 30 (östlich der Darßer Schwelle) zeichnete sich durch eine hohe Artenstetigkeit aus. Von 1991 bis 1998 konnten ca. 20 Arten regelmäßig beobachtet werden (8 Taxa 100 %). Dazu zählten u.a. die Mollusca *Arenomya arenaria*, *Astarte borealis*, *Hydrobia ulvae*, *Macoma balthica* und *Mytilus edulis*. Von den Polychaeta zeigten *Hediste diversicolor*, *Pygospio elegans* und *Scoloplos armiger* die höchste Stetigkeit. Die durch die Strömung über der Darßer Schwelle verursachte gute Sauerstoffversorgung gewährleistet eine relative stabile und typische Lebensgemeinschaft der Sandböden mit aufgelagerten *Mytilus*aggregaten. Dazu zählen sowohl langlebige Muscheln als auch tiefgrabende Polychaeten (s.a. RUMOHR, 1996). Während die relative Abundanz von *P. elegans* von 1997 bis 1998 von 32 auf 21 % sank, nahm die von *Hydrobia ulvae* von 12 auf 26 % zu. Beide Arten scheinen sich bei 1.000 bis 3.000 Ind./m<sup>2</sup> "einzupendeln" (Abb. 33).

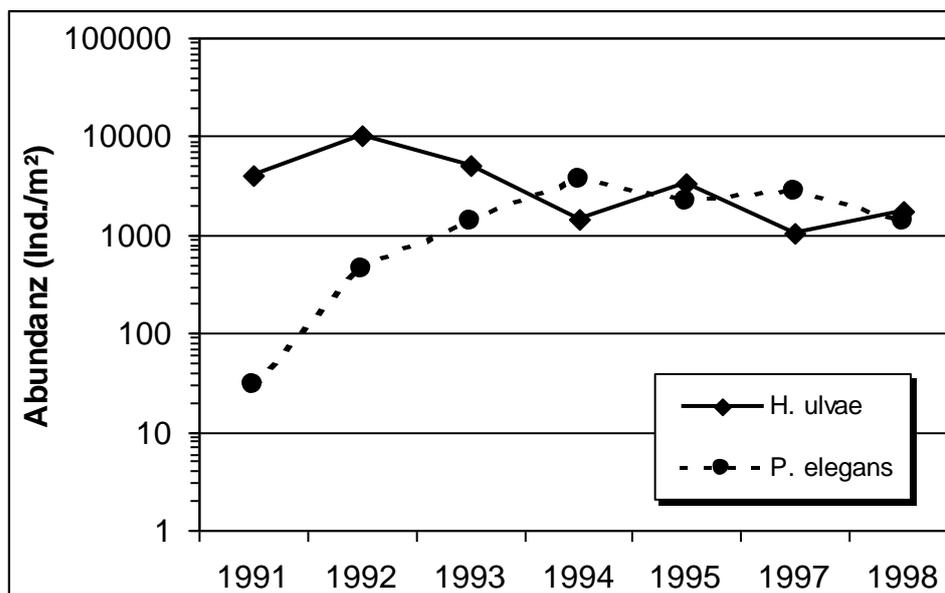


Abb. 33

Abundanzen von *Hydrobia ulvae* und *Pygospio elegans* an der Station 30 von 1991 bis 1998.

Eine 1997 durchgeführte Vermessung aller an der Stn. 30 angetroffenen *Hydrobia ulvae* stellt die Abb. 34 dar. Da sich 1998 eine ähnliche Verteilung darbot, wurde die Vermessung nicht wiederholt. Deutlich wird jedoch zum einen das zahlenmäßig zu Gunsten der Weibchen verschobene Verhältnis von 1,26 : 1 sowie deren größeren Körpermaße. Die Weibchen erreichten eine mittlere Höhe von 2,9 mm (max. 4,0 mm). Die Männchen blieben mit durchschnittlich 2,79 mm (max. 3,7 mm) etwa 0,11 mm kleiner. In den höheren Größenklassen überwogen anteilmäßig jeweils die Weibchen.

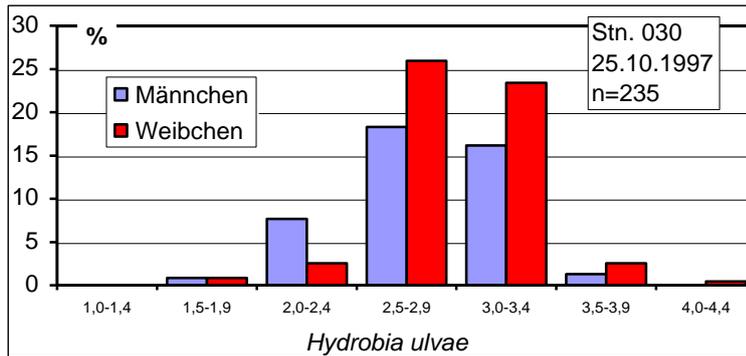


Abb. 34

Größenklassen und Geschlechterverhältnis von *Hydrobia ulvae* an der Stn. 30 im Oktober 1997.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch an anderen Hydrobiidae gemacht (z.B. BICK, ZETTLER 1994), wo das Verhältnis von Weibchen zu Männchen 1,3-1,7 : 1 war. Die zu erreichenden Größen sind sehr abhängig vom Sedimenttyp, der Siedlungsdichte und der Nahrungsverfügbarkeit (MORRISEY, 1990). Die exponierten und sandigen Substrate an der Stn. 30 lassen eher ein verringertes Wachstum zu.

Das Auftreten von *Arctica islandica* an der Stn. 109 (Arkonabecken) entspricht nach OERTZEN und SCHULZ (1973) der östlichen Verbreitungsgrenze der Art. Seit dem Beginn des Monitorings kann die Islandmuschel in geringen Abundanzen dort nachgewiesen werden. In der Bornholmsee (Stn. 213) hat seit 1993 ein rapider Rückgang an Arten stattgefunden, der auf die starken Sauerstoffzehrungen im Sediment zurückzuführen ist. Die Salzgehalte und Sauerstoffwerte sind im grundnahen Bereich rückläufig (MATTHÄUS et al., 1999), so daß erst nach einer starken Einstromsituation mit einer Wiederbesiedlung zu rechnen ist. Diese wird jedoch mehr oder weniger schnell wieder zum Zustand der Artenlosigkeit tendieren. Als Monitoringstation ist somit die Stn. 213 zwar in der Lage, über kurzfristige Wiederbesiedlungen eine Einstromsituation zu indizieren, jedoch spiegeln sich langfristige Änderungen eher an den anderen Stationen wider.

### Danksagung

Die Autoren danken den am Ostseeüberwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung, insbesondere den für die Probenbearbeitung zuständigen Kolleginnen, Frau REGINA HANSEN, Frau KÄTE KUNERT, Frau CHRISTINE PETERS, Frau HEIDE SANDBERG, Frau INA TOPP sowie Frau SABINE FEISTEL, Frau MONIKA GERTH, Herrn HARRY BECHER, Herrn BERND KAYSER und Herrn THOMAS OHDE. Frau G. TSCHERSICH (BSH) gebührt Dank für die Bereitstellung der NOAA-Daten. Den Kapitänen und Besatzungen der Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ und „Alexander v. Humboldt“ sei gedankt für die Unterstützung während der Meßfahrten. Lücken in unserer Phytoplankton-Datenreihe konnten geschlossen werden durch zusätzliche Proben, die uns von Frau Göbel (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein) und Dr. Gunni Aertbjerg (Danmarks Miljøundersøgelse, Roskilde) zur Verfügung gestellt wurden. Das vom Institut für Ostseeforschung durchgeführte biologische Monitoring wird finanziell getragen durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

## Literaturverzeichnis

ANONYMUS (1999): Biologisches Monitoring auf der Hohen See – Revision bestehender Untersuchungen. – Umwelt, **4**, 172-174.

BICK, A., ZETTLER, M. L. (1994): The distribution of hydrobiids and the effects of sediment characteristics on the population dynamics of *Hydrobia ventrosa* in a coastal region of the southern Baltic. – Int. Revue ges. Hydrobiol., **79**, 325-336.

BREUEL, G., JOST, G., KAISER, W., POWILLEIT, M., WASMUND, N., v. BODUNGEN, B. (1993): Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1992. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 51 pp.

BREUEL, G., JOST, G., KAISER, W., POWILLEIT, M., WASMUND, N. v. BODUNGEN, B. (1994): Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1993. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 65 pp.

BREUEL, G., JOST, G., KAISER, W., POWILLEIT, M., WASMUND, N., v. BODUNGEN, B. (1995): Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1994. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 58 pp.

EDLER, L. (ed.), 1979: Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. - The Baltic Marine Biologists. Publ. No. **5**, Malmö 1979, 38 pp.

GARGAS, E., NIELSEN, G.E. MORTENSEN, S. (1978): Phytoplankton production, chlorophyll-a and nutrients in the open Danish waters 1975-1977. - The Belt Project. The National Agency of Environmental Protection, Denmark, 103 pp.

GOSELCK, F., ARLT, G., BICK, A., BÖNSCH, R., KUBE, J., SCHROEREN, V., VOSS, J. (1996): Rote Liste und Artenliste der benthischen wirbellosen Tiere des deutschen Meeres- und Küstenbereiches der Ostsee. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz **48**, 41-51.

GOSELCK, F., BÖNSCH, R., KREUZBERG, M. (1998): Küstenmonitoring Zoobenthos Bericht 1997. - Gutachten für das Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern vom Institut für Angewandte Ökologie GmbH, Neu Broderstorf.

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.

HELCOM (1988): Guidelines for the Baltic Sea Monitoring Programme for the third stage. Part D. Biological determinands. - Baltic Sea Environ. Proc. No. **27 D**, 1-161.

HELCOM (1996): Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; background document. - Baltic Sea Environ. Proc. No. **64 B**, 1-252.

HELCOM (1998): Manual for marine monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. - HELCOM EC8/97, updated by EC MON 3/98, Version 1.0, June 1998.

ICES (1997): Report of the ICES/HELCOM workshop on quality assurance of biological measurements in the Baltic Sea. Warnemünde 15-19 October 1996. – ICES CM 1997/E:5.

ICES (1999): Report of the working group on phytoplankton ecology. Lowestoft (UK), 14-17 April 1999. – ICES CM 1999/C:3.

JOST, G., KAISER, W., POSTEL, L., POWILLEIT, M., WASMUND, N., v. BODUNGEN, B. (1996): Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1995. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 36 pp.

KAISER, W., SCHULZ, S. (1976): Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. - Fischerei-Forschung, Wiss. Reihe **14**, 77-81.

LORENZEN, C.J. (1967): Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr. **12**, 343-346.

NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K. (1996): Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, No. **16**, 43 pp.

MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H. U., NAGEL K., SIEGEL, H. (1999): Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1998. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, No. **35**, 69 pp.

MORRISEY, D.J. (1990): Factors affecting individual body weight in field populations of the mudsnail *Hydrobia ulvae*. – J. Mar. Ass. U.K., **70**, 99-106.

OERTZEN, J.-A. VON, SCHULZ, S. (1973): Beitrag zur geographischen Verbreitung und ökologischen Existenz von Bivalviern der Ostsee. – Beitr. Meereskunde, **32**, 75-88.

OHLENDIECK, U., STUHR, A., SIEGMUND, H. (subm.): Nitrogen fixation by diazotrophic Cyanobacteria in the Baltic and the significance of the newly fixed nitrogen for the pelagic foodweb. – J. Mar. System.

REDFIELD, A. C., KETCHUM, B. H., RICHARDS, F. A. (1963): The influence of organisms on the composition of sea water. In HILL, M. N. (ed.), The sea 2. Wiley, New York, pp. 26-77.

RUMOHR, H. (1995): Monitoring the marine environment with imaging methods. – Scientia Marina, **59** (Suppl. 1), 129-138.

RUMOHR, H. (1996): Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats. – Arch. Fish. Mar. Res., **44**(3), 179-214.

SCHULZ, S. (1969): Das Makrobenthos der südlichen Beltsee (Mecklenburger Bucht und angrenzende Seegebiete). – Beitr. Meereskunde, **26**, 21-46.

SCHULZ, S., KAISER, W., BREUEL, G. (1992 a): Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1991. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 37 pp.

SCHULZ, S., KAISER, W., BREUEL, G. (1992 b): A comparison of biological data from 1976-1990 and 1991 - the influence of a warm winter. - ICES, Biol. Oceanogr. Comm., Committee Meeting, Nr. L: **19**, 1-5.

SIEGEL, H., GERTH, M., RUDLOFF, R., TSCHERSICH, G., (1994): Dynamical features in the western Baltic Sea investigated by NOAA-AVHRR-Data. - Dt. Hydrogr. Z., **3**, 191-209

SIEGEL, H., GERTH, M., NEUMANN, T. DOERFFER, R., (1999 a): Case studies on phytoplankton blooms in coastal and open waters of the Baltic Sea using Coastal Zone Colour Scanner data. - Int. J. Rem. Sens., **20**, 1249-1264.

SIEGEL, H., GERTH, M., TIESEL, R., TSCHERSICH, G., (1999b): Seasonal and interannual variations in satellite derived Sea Surface Temperature of the Baltic Sea in the 1990's. - Deutsch. Hydrogr. Z., submitted.

SIEGEL, H., GERTH, M., OHDE, T. (1999 c): Remote sensing of phytoplankton blooming in the Baltic Sea using SeaWiFS data. - Proc. IGARSS'99, Hamburg, 28 June - 2 July 1999.

STRÜBING, K. (1998): The ice winter of 1997/98 on the German coasts between Ems and Oder, with a survey of the entire Baltic Sea. Dt. Hydrogr. Z., **50**, 81-89.

STURM, B. (1998): A simple atmospheric correction algorithm applied to contemporaneously taken SeaWiFS and MOS data. - Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Workshop on MOS-IRS and Ocean Colour, Inst. Space Sensor Techn., Berlin, 1998, 103-110.

SMETACEK, V. (1978): Die Jahressukzession des Phytoplanktons: Ursache und Bedeutung für das marine Ökosystem. - Verh. Gesellschaft für Ökologie, Kiel 1977, 23-28.

UNESCO (1968): Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling. - UNESCO Paris 1968, 174 pp.

UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. -Ass. intern. Limnol. théor. **9**, 1-38.

VORBERG, R., VAN BERNEM, K.-H. (1998): Application of underwater video and imaging sonar in ecological investigations in the subtidal zone of the Wadden Sea. – Arch. Fish. Mar. Res., **46**(3), 195-203.

WASMUND, N. (1997): Occurrence of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea in relation to environmental conditions. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **82**, 169-184.

WASMUND, N., J. ALHEIT, F. POLLEHNE, H. SIEGEL & M.L. ZETTLER (1998 a): Ergebnisse des Biologischen Monitorings der Ostsee im Jahre 1997 im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen. - *Meereswiss. Ber., Warnemünde No. 32*, 66pp.

WASMUND, N., NAUSCH, G., MATTHÄUS, W. (1998 b): Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea – spatio-temporal development and long-term trends. - *J. Plankton Res.*, **20**, 1099-1117.

WASMUND, N., NAUSCH, G., POSTEL, L., WITEK, Z., ZALEWSKI, M., GROMISZ, S., LYSIAK-PASTUSZAK, E., OLENINA, I., KAVOLYTE, R., JASINSKAITE, A., MÜLLER-KARULIS, B., IKAUNIECE, A., OJAVEER, H., KALLISTE, K., JAANUS, A. (1999) Trophic status of coastal and open areas of the south-eastern Baltic Sea based on nutrient and phytoplankton data from 1993 – 1997. - *Meereswiss. Ber., Warnemünde (im Druck)*.

WASMUND, N., TOPP, I. (1996): Methodische Untersuchungen zur Chlorophyllbestimmung. IOW Warnemünde (unveröff.).

## ANHANG

**Tabelle A1: Die 8 wichtigsten Phytoplankton-Arten (in Prozent der Phytoplanktonbiomasse) im Oberflächenwasser der Arkonasee zu den verschiedenen Jahreszeiten von 1993 bis 1998.**

Frühjahr (März-Mai)	(%)	Sommer (Juni-Sept.)	(%)	Herbst (Okt.-Dez.)	(%)
<b>1993</b>					
Chaetoceros debilis	54.5	Aphanizomenon "baltica"	32.0	Prorocentrum minimum	18.7
Skeletonema costatum	17.1	Gymnodinium cf. lohmannii	16.3	Actinocyclus octonarius	15.0
Gymnodinium cf. lohmannii	7.0	Gymnodinium cf. arcticum	12.5	Rhodomonas minuta	11.4
Gymnodinium cf. arcticum	3.2	Nodularia spumigena	6.3	Heterocapsa rotundata	9.1
Peridiniella catenata	3.2	Rhodomonas minuta	6.1	Coscinodiscus granii	7.4
Thalassiosira levanderi	3.0	Microcystis reinboldii	4.9	Pyramimonas sp.	5.4
Thalassiosira baltica	2.6	Heterocapsa rotundata	2.7	Gymnodinium cf. arcticum	3.9
Heterocapsa rotundata	1.6	Protoperidinium sp.	2.3	Ceratium tripos	2.2
<b>1994</b>					
Thalassiosira levanderi	14.9	Prorocentrum minimum	26.7	Coscinodiscus granii	69.1
Thalassiosira baltica	16.3	Dactyliosolen fragilissimus	19.1	Teleaulax amphioxeia	6.4
Skeletonema costatum	13.4	Phacus sp.	12.1	Eutreptiella sp.	3.4
Peridiniella catenata	7.5	Eutreptiella sp.	10.6	Plagioselmis prolonga	3.3
Gymnodinium cf. lohmannii	6.5	Aphanizomenon "baltica"	6.7	Gymnodinium cf. lohmannii	3.3
Protoperidinium sp.	5.3	Plagioselmis prolonga	3.2	Prorocentrum minimum	2.7
Pyramimonas sp.	1.3	Teleaulax amphioxeia	2.8	Actinocyclus octonarius	2.2
Actinocyclus octonarius	1.2	Gymnodinium album	2.8	Aphanizomenon "baltica"	1.1
<b>1995</b>					
Skeletonema costatum	60.2	Aphanizomenon "baltica"	19.2	Coscinodiscus granii	81.8
Phacus sp.	6.9	Phacus sp.	19.0	Ceratium tripos	6.0
Thalassiosira baltica	6.7	Gymnodinium cf. lohmannii	10.5	Eutreptiella sp.	3.3
Gymnodinium cf. lohmannii	6.1	Coscinodiscus granii	8.8	Teleaulax amphioxeia	1.9
Thalassiosira levanderi	1.9	Nodularia spumigena	6.8	Gymnodinium cf. lohmannii	1.3
Peridinium hangoei	1.9	Eutreptiella sp.	4.0	Pyramimonas sp.	0.8
Peridiniella catenata	1.5	Pyramimonas sp.	3.8	Plagioselmis prolonga	0.6
Heterocapsa rotundata	1.3	Plagioselmis prolonga	3.0	Phacus sp.	0.5
<b>1996</b>					
Gymnodinium cf. lohmannii	21.0	Nodularia spumigena	26.3	Nodularia spumigena	12.5
Thalassiosira levanderi	16.4	Aphanizomenon "baltica"	19.4	Teleaulax amphioxeia	8.8
Peridiniella catenata	13.5	Eutreptiella sp.	5.7	Eutreptiella sp.	7.5
Melosira nummuloides	6.2	Plagioselmis prolonga	4.6	Aphanizomenon "baltica"	7.1
Skeletonema costatum	4.5	Phacus sp.	3.7	Pyramimonas sp.	6.4
Gymnodinium sp.	3.6	Protoperidinium sp.	3.3	Gymnodinium cf. lohmannii	6.1
Peridinium hangoei	3.5	Teleaulax amphioxeia	2.8	Plagioselmis prolonga	4.8
Thalassiosira baltica	3.0	Anabaena sp.	2.6	Phacus sp.	3.2
<b>1997</b>					
Thalassiosira levanderi	23.0	Aphanizomenon "baltica"	19.2	Gymnodinium cf. lohmannii	51.6
Achnanthes taeniata	22.4	Gymnodinium cf. lohmannii	17.2	Coscinodiscus granii	27.4
Gymnodinium cf. lohmannii	10.4	Ceratium tripos	8.4	Pyramimonas sp.	2.5
Peridiniella catenata	6.1	Gymnodinium sp.	4.4	Plagioselmis prolonga	1.8
Phacus sp.	2.2	Phacus sp.	3.7	Teleaulax amphioxeia	1.4
Skeletonema costatum	1.9	Prorocentrum minimum	3.5	Ceratium tripos	0.8
Teleaulax amphioxeia	1.9	Plagioselmis prolonga	3.3	Eutreptiella sp.	0.6
Heterocapsa rotundata	1.8	Eutreptiella sp.	2.6	Ebria tripartita	0.4
<b>1998</b>					
Gymnodinium cf. lohmannii	27.8	Prorocentrum minimum	39.1		
Gymnodinium sp.	9.6	Nodularia spumigena	19.1		
Skeletonema costatum	7.6	Aphanizomenon "baltica"	11.0		
Heterocapsa rotundata	3.0	Dactyliosolen fragilissimus	9.1		
Peridiniella catenata	2.9	Prorocentrum minimum	3.7		
Pyramimonas sp.	2.3	Glenodinium sp.	3.2		
Eutreptiella sp.	1.9	Gymnodinium cf. lohmannii	2.4		
Thalassiosira levanderi	0.9	Anabaena sp.	1.3		

**Tabelle A2: Die 8 wichtigsten Phytoplankton-Arten (in Prozent der Phytoplanktonbiomasse) im Oberflächenwasser der Bornholmsee zu den verschiedenen Jahreszeiten von 1993 bis 1998.**

<b>Frühjahr (März-Mai)</b>	<b>(%)</b>	<b>Sommer (Juni-Sept.)</b>	<b>(%)</b>	<b>Herbst (Okt.-Dez.)</b>	<b>(%)</b>
<b>1993</b>					
Coscinodiscus sp.	32.1	Rhodomonas minuta	16.2	Actinocyclus octonarius	36.1
Chaetoceros debilis	31.2	Gymnodinium cf. arcticum	15.6	Coscinodiscus granii	26.4
Skeletonema costatum	9.8	Aphanizomenon "baltica"	13.3	Rhodomonas minuta	2.9
Gymnodinium cf. lohmannii	6.6	Gymnodinium cf. lohmannii	10.2	Prorocentrum minimum	2.9
Gymnodinium cf. arcticum	3.2	Microcystis reinboldii	5.0	Gymnodinium cf. arcticum	2.8
Peridiniella catenata	1.8	Nodularia spumigena	4.8	Thalassiosira baltica	1.9
Thalassiosira levanderi	1.7	Pyramimonas sp.	3.9	Heterocapsa rotundata	0.7
Thalassiosira baltica	1.5	Eutreptiella sp.	3.7	Pyramimonas sp.	0.3
<b>1994</b>					
Peridiniella catenata	79.0	Plagioselmis prolonga	32.6	Coscinodiscus granii	92.1
Gymnodinium cf. lohmannii	3.5	Aphanizomenon "baltica"	22.8	Gymnodinium cf. lohmannii	1.7
Proto-peridinium sp.	2.1	Pyramimonas sp.	20.2	Eutreptiella sp.	1.6
Skeletonema costatum	1.4	Actinocyclus octonarius	7.3	Actinocyclus octonarius	1.3
Thalassiosira levanderi	0.9	Teleaulax amphioxeia	3.1	Teleaulax amphioxeia	1.2
Actinocyclus octonarius	0.8	Thalassiosira levanderi	1.6	Plagioselmis prolonga	0.3
Dinophysis norvegica	0.4	Gymnodinium album	1.3	Prorocentrum minimum	0.2
Thalassiosira baltica	0.4	Amphidinium sp.	1.2	Dinophysis norvegica	0.2
<b>1995</b>					
Gymnodinium cf. lohmannii	42.1	Gymnodinium sp.	36.5	Coscinodiscus granii	94.8
Peridiniella catenata	23.0	Aphanizomenon "baltica"	29.2	Gymnodinium cf. lohmannii	1.6
Proto-peridinium sp.	6.1	Gymnodinium cf. lohmannii	7.3	Actinocyclus octonarius	0.9
Thalassiosira levanderi	4.5	Plagioselmis prolonga	5.7	Eutreptiella sp.	0.5
Dinophysis norvegica	2.4	Teleaulax amphioxeia	3.6	Teleaulax amphioxeia	0.4
Phacus sp.	2.2	Eutreptiella sp.	2.9	Plagioselmis prolonga	0.2
Skeletonema costatum	2.1	Nodularia spumigena	2.8	Phacus sp.	0.1
Gymnodinium westificii	1.2	Dinophysis norvegica	1.8	Gymnodinium cf. arcticum	0.1
<b>1996</b>					
Peridiniella catenata	76.5	Aphanizomenon "baltica"	13.7		
Gymnodinium cf. lohmannii	4.0	Nodularia spumigena	10.8		
Glenodinium sp.	2.0	Gymnodinium cf. lohmannii	10.5		
Thalassiosira baltica	1.7	Pyramimonas sp.	6.1		
Peridinium hangoei	0.9	Thalassiosira baltica	5.8		
Gymnodinium album	0.8	Proto-peridinium sp.	5.7		
Heterocapsa rotundata	0.5	Eutreptiella sp.	4.6		
Teleaulax amphioxeia	0.5	Plagioselmis prolonga	4.1		
<b>1997</b>					
Peridiniella catenata	30.9	Gymnodinium sp.	17.7	Gymnodinium cf. lohmannii	57.1
Gymnodinium cf. lohmannii	22.7	Chaetoceros danicus	10.5	Coscinodiscus granii	24.3
Heterocapsa rotundata	4.0	Gymnodinium cf. lohmannii	9.9	Teleaulax acuta	4.9
Peridinium hangoei	3.7	Aphanizomenon "baltica"	9.4	Prorocentrum minimum	1.8
Teleaulax amphioxeia	2.5	Nodularia spumigena	8.0	Plagioselmis prolonga	1.4
Aphanizomenon "baltica"	2.1	Phacus sp.	5.3	Pyramimonas sp.	1.0
Thalassiosira levanderi	2.0	Plagioselmis prolonga	4.8	Eutreptiella sp.	1.0
Glenodinium sp.	1.8	Pyramimonas sp.	4.3	Teleaulax amphioxeia	0.8
<b>1998</b>					
Gymnodinium cf. lohmannii	22.8	Aphanizomenon "baltica"	35.6	Coscinodiscus granii	81.2
Gymnodinium sp.	20.5	Gymnodinium cf. lohmannii	12.9	Prorocentrum minimum	2.8
Peridiniella catenata	7.7	Ebria tripartita	3.4	Eutreptiella sp.	2.2
Eutreptiella sp.	6.3	Gymnodinium album	3.3	Teleaulax acuta	1.2
Pyramimonas sp.	4.2	Plagioselmis prolonga	3.2	Plagioselmis prolonga	1.2
Thalassiosira baltica	2.7	Eutreptiella sp.	2.8	Gymnodinium cf. lohmannii	0.9
Skeletonema costatum	2.2	Teleaulax acuta	2.8	Gyrodinium sp.	0.6
Glenodinium sp.	2.2	Nodularia spumigena	1.9	Pyramimonas sp.	0.6

**Tabelle A3: Die 8 wichtigsten Phytoplankton-Arten (in Prozent der Phytoplanktonbiomasse) im Oberflächenwasser der östlichen Gotlandsee zu den verschiedenen Jahreszeiten von 1993 bis 1998.**

<b>Frühjahr (März-Mai)</b>	<b>(%)</b>	<b>Sommer (Juni-Sept.)</b>	<b>(%)</b>	<b>Herbst (Okt.-Dez.)</b>	<b>(%)</b>
<b>1993</b>					
Peridiniella catenata	11.3	Microcystis reinboldii	24.7	Coscinodiscus granii	75.4
Gymnodinium cf. arcticum	8.1	Aphanizomenon "baltica"	18.3	Gymnodinium cf. lohmannii	6.2
Gymnodinium cf. lohmannii	8.0	Gymnodinium cf. arcticum	13.4	Gymnodinium cf. arcticum	3.2
Pyramimonas sp.	7.8	Nodularia spumigena	7.7	Actinocyclus octonarius	3.1
Katodinium rotundatum	7.0	Rhodomonas minuta	5.9	Rhodomonas minuta	2.4
Protoperidin. longispinum	4.2	Gymnodinium cf. lohmannii	5.2	Eutreptiella sp.	1.7
Protoperidinium sp.	3.3	Pyramimonas sp.	4.1	Dinophysis norvegica	1.6
Dinophysis baltica	3.2	Coelosphaer. kuetzingianum	2.9	Nodularia spumigena	0.6
<b>1994</b>					
Peridiniella catenata	72.8	Nodularia spumigena	38.1	Coscinodiscus granii	75.5
Protoperidinium sp.	5.0	Gymnodinium sp.	36.4	Dinophysis norvegica	7.5
Gymnodinium cf. lohmannii	3.3	Plagioselmis prolunga	12.7	Gymnodinium cf. lohmannii	2.6
Glenodinium sp.	2.6	Pyramimonas sp.	2.2	Teleaulax amphioxeia	2.3
Dinophysis norvegica	1.0	Teleaulax amphioxeia	1.9	Aphanizomenon "baltica"	1.4
Dinophysis acuminata	0.9	Aphanizomenon "baltica"	1.8	Pyramimonas sp.	1.3
Actinocyclus octonarius	0.3	Amphora coffeaeformis	1.6	Eutreptiella sp.	1.1
Phacus sp.	0.2	Thalassiosira levanderi	0.5	Plagioselmis prolunga	0.9
<b>1995</b>					
Peridiniella catenata	68.0	Aphanizomenon "baltica"	22.5	Coscinodiscus granii	48.6
Gymnodinium cf. lohmannii	11.5	Phacus sp.	22.4	Woronichinia compacta	8.6
Glenodinium sp.	6.0	Gymnodinium cf. lohmannii	19.2	Gymnodinium cf. lohmannii	6.7
Peridinium hangoei	3.9	Protoperidinium sp.	9.2	Eutreptiella sp.	5.9
Protoperidinium sp.	2.3	Pyramimonas sp.	5.9	Teleaulax amphioxeia	4.6
Eutreptiella sp.	0.8	Thalassiosira levanderi	5.2	Aphanizomenon "baltica"	2.7
Dinophysis norvegica	0.7	Nodularia spumigena	4.9	Woronichinia naegeliana	2.6
Thalassiosira baltica	0.6	Gymnodinium album	4.3	Actinocyclus octonarius	2.3
<b>1996</b>					
Peridiniella catenata	56.6	Nodularia spumigena	17.4	Aphanizomenon "baltica"	23.6
Gymnodinium cf. lohmannii	17.9	Gymnodinium cf. lohmannii	11.8	Nodularia spumigena	12.7
Glenodinium sp.	4.4	Aphanizomenon "baltica"	10.0	Plagioselmis prolunga	6.0
Thalassiosira levanderi	3.1	Protoperidinium sp.	6.7	Gymnodinium westificii	4.7
Thalassiosira baltica	2.2	Phacus sp.	4.2	Teleaulax amphioxeia	3.0
Peridinium hangoei	2.0	Eutreptiella sp.	3.6	Katodinium rotundatum	2.6
Katodinium rotundatum	0.8	Plagioselmis prolunga	3.3	Protoperidinium sp.	2.5
Skeletonema costatum	0.8	Thalassiosira levanderi	2.9	Pyramimonas sp.	1.3
<b>1997</b>					
Peridiniella catenata	53.8	Aphanizomenon "baltica"	21.2	Gymnodinium cf. lohmannii	18.6
Gymnodinium cf. lohmannii	23.1	Nodularia spumigena	20.2	Prorocentrum minimum	13.6
Gymnodinium sp.	10.0	Gymnodinium cf. lohmannii	15.2	Aphanizomenon "baltica"	10.5
Thalassiosira baltica	2.1	Protoperidinium sp.	8.0	Pyramimonas sp.	6.3
Peridinium hangoei	1.0	Plagioselmis prolunga	5.6	Teleaulax acuta	5.8
Dinophysis norvegica	0.7	Gymnodinium album	3.2	Dinophysis norvegica	5.7
Glenodinium sp.	0.7	Thalassiosira levanderi	2.2	Teleaulax amphioxeia	4.3
Phacus sp.	0.7	Pyramimonas sp.	1.8	Ebria tripartita	3.7
<b>1998</b>					
Peridiniella catenata	25.7	Aphanizomenon "baltica"	17.7	Coscinodiscus granii	64.1
Gymnodinium cf. lohmannii	20.4	Nodularia spumigena	11.0	Aphanizomenon "baltica"	2.4
Gymnodinium sp.	15.0	Teleaulax acuta	5.4	Eutreptiella sp.	2.2
Glenodinium sp.	8.4	Dinophysis norvegica	4.7	Teleaulax acuta	2.0
Pyramimonas sp.	3.1	Pyramimonas sp.	4.6	Gymnodinium cf. lohmannii	1.9
Aphanizomenon "baltica"	2.9	Gymnodinium album	3.8	Glenodinium sp.	1.4
Heterocapsa rotundata	2.1	Ebria tripartita	3.6	Pyramimonas sp.	1.1
Eutreptiella sp.	1.6	Teleaulax amphioxeia	2.5	Prorocentrum minimum	1.1