

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENCE REPORTS

No. 43

Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1999 auf der Basis
von Phytoplankton- und Zooplanktonuntersuchungen

von

Norbert Wasmund, Jürgen Alheit, Falk Pollehne und Herbert Siegel

Institut für Ostseeforschung
Warnemünde
2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Einleitung	6
2. Material und Methoden	7
2.1 Beprobungs-Strategie	7
2.2 Probenahme	10
2.3 Phytoplankton	10
2.4 Algenpigmente	10
2.5 Mesozooplankton	11
2.6 Sedimentation	11
2.7 Fernerkundung	12
2.8 Qualitätssicherung	12
3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1999	13
4. Ergebnisse	14
4.1 Phytoplankton	14
4.1.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Biomasse	14
4.1.1.1 Mecklenburger Bucht	15
4.1.1.2 Arkonasee	17
4.1.1.3 Pommersche Bucht	22
4.1.1.4 Bornholmsee	23
4.1.1.5 Gotlandsee	24
4.1.2 Sedimentation	25
4.1.3 Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration	30
4.1.4 Langzeittrend der Artenzusammensetzung	34
4.1.5 Langzeittrend der Chlorophyll a – Konzentration	36
4.2 Mesozooplankton	48
4.2.1 Jahresgang von Artenzusammensetzung und Abundanz	48
4.2.1.1 Mecklenburger Bucht	48
4.2.1.2 Arkonasee	48
4.2.1.3 Bornholmsee	49
4.2.1.4 Gotlandsee	49
4.2.2 Vergleich mit Vorjahren	50
5. Diskussion	54
5.1 Zeitpunkt der Frühjahrsblüte	54
5.2 Artenzusammensetzung der Frühjahrsblüte	55
5.3 Untersuchung der Cyanobakterienentwicklung anhand von Satellitendaten	58
5.4 Langzeittrends der Phytoplanktonentwicklung	61
Danksagung	62
Literaturverzeichnis	63

Zusammenfassung

Die Artenzusammensetzung und Biomasse bzw. Abundanz des Phyto- und Zooplanktons des Jahres 1999 von der westlichen Ostsee bis in die östliche Gotlandsee werden im Zusammenhang mit Satelliten- sowie schiffsgebundenen physiko-chemischen Daten vorgestellt und diskutiert. Dabei werden Vergleiche mit dem Vorjahr bzw. der inzwischen 21-jährigen Datenreihe des Umweltüberwachungsprogramms im Rahmen des HELCOM gezogen, um eventuelle Trends abzuleiten. Zur Vervollständigung der saisonalen Angaben der Phytoplanktondynamik werden Daten von Sinkstoff-Fallen des Jahres 1998 herangezogen.

Die Frühjahrsblüte des Phytoplanktons begann im Jahre 1999 in fast allen untersuchten Seegebieten, von der Mecklenburger Bucht bis in die östliche Gotlandsee fast gleichzeitig, und zwar in der zweiten Märzhälfte. Die Entwicklung in der östlichen Gotlandsee war gegenüber der in der Bornholmsee und Arkonasee lediglich um etwa 1 Woche verzögert. Eine solche frühe Phytoplanktonentwicklung in der östlichen Gotlandsee ist auf unseren Fahrten bisher noch nicht beobachtet worden. Andererseits scheint die Entwicklung in flachen Küstengewässern (Lübecker Bucht, Pommersche Bucht) schon vor der in den offenen Gewässern zu beginnen, also wahrscheinlich in der ersten Märzhälfte.

Wie bereits in den Vorjahren, begann die Frühjahrsblüte in der Mecklenburger Bucht mit Kieselalgen. In der Arkonasee mischten sich in die frühe Phase der Frühjahrsblüte erstmalig aber hohe Anteile an Dinoflagellaten ein. In der Bornholmsee und der östlichen Gotlandsee bestand die Frühjahrsblüte von Anfang an aus Dinoflagellaten. In allen Seegebieten wurde ein beträchtlicher, oftmals sogar der größte Anteil der Frühjahrsblüte von dem photoautotrophen Ciliaten *Myrionecta rubra* ausgemacht. Er trat erstmals in dieser enormen Biomasse auf. Sein Anteil wuchs sogar zum Mai hin noch kräftig an.

Im August 1999 waren der Dinoflagellat *Ceratium tripos* und die Kieselalge *Dactyliosolen fragilissimus* die wichtigsten Arten in der Mecklenburger Bucht, in der Arkonasee immer noch *Myrionecta rubra*, in der Bornholmsee neben *Myrionecta rubra* die sonst erst im Herbst blütenbildende Kieselalge *Coscinodiscus granii* und in der Gotlandsee neben *Myrionecta rubra* das üblicherweise im Sommer blütenbildende Cyanobakterium *Nodularia spumigena*.

Aus Satellitenbildern war zu erkennen, dass die Entwicklung von Cyanobakterienblüten bereits Mitte Juni nach einer starken Erwärmung in der nördlichen eigentlichen Ostsee sowie dem Eingang zum Finnischen Meerbusen begann, sich dann in die westliche Gotlandsee und schließlich in die Bornholmsee und die östliche Gotlandsee fortpflanzte. Durch windiges Wetter im August wurden die Oberflächenblüten wieder untergemischt.

Im Oktober/November 1999 wurde die Herbstblüte in der Mecklenburger Bucht nicht mehr von *Ceratium tripos*, sondern von *Gymnodinium* sp. und erstmals insbesondere von der potentiell toxischen Kieselalge *Pseudo-nitzschia pungens* beherrscht.

Im Gegensatz zum Jahre 1997, in dem in der östlichen Gotlandsee nur geringe Sedimentationsereignisse im Herbst auftraten, trat 1998 wieder eine typische Zunahme des sedimentierten Materials ab September mit den höchsten Werten für den vertikalen Partikelfluß im

November/Dezember ein. Der biogene Anteil daran läßt sich hauptsächlich auf fädige und koloniebildende Cyanobakterien im September und eine späte Diatomeensedimentation im November zurückführen. Durch einen Ausfall der Geräte in der Frühjahrsperiode kann dieser für die Sedimentation biogenen Materials wichtige Zeitraum nicht beurteilt werden.

Der Langzeittrend einer Zunahme der Dinoflagellaten auf Kosten der Kieselalgen in den Frühjahrsblüten der eigentlichen Ostsee scheint sich fortzusetzen, denn im Jahre 1999 traten erstmals auch in der Arkonasee schon sehr frühe Dinoflagellatenblüten auf, die sogar höhere Biomassen zeigten als die sonst üblichen Kieselalgen. Die sommerliche Kieselalgenblüte (*Dactyliosolen fragilissimus*) ist in der westlichen Ostsee aber nach wie vor vorhanden. Darüber hinaus traten im Jahre 1999 hohe Konzentrationen der sonst erst im Herbst blütenbildenden Kieselalge *Coscinodiscus granii* in der Bornholmsee auf. Ob sie dort im Herbst noch einmal zur Entwicklung gekommen ist, konnte wegen der ausgefallenen Herbstfahrt nicht geprüft werden. Mögliche Artenverschiebungen zu dem photoautotrophen Ciliaten *Myrionecta rubra* sowie zu neuen Arten in der Herbstblüte in der Mecklenburger Bucht (*Gymnodinium* sp., *Pseudo-nitzschia pungens*) müssen in den nächsten Jahren gewissenhaft verfolgt werden. Ebenso muß sich in den kommenden Jahren erweisen, ob der bislang ansteigende Chlorophyll-Trend in der Bornholmsee nun endgültig gebrochen ist.

Die Abundanz der Copepoden hat auch 1999 im Vergleich zu den Vorjahren abgenommen, wobei diese Abnahme im August besonders gravierend war. Demgegenüber nahm die Abundanz der Cladoceren insbesondere im August deutlich zu. Die Rotatorien hatten ihre maximale Populationsentwicklung im Mai und zeigten im Vergleich zum Vorjahr einen Rückgang.

Summary

Species composition and biomass or abundance of phyto- and mesozooplankton from the western parts of the Baltic Sea to the Eastern Gotland Sea were studied and discussed in comparison with the already existing 21-years data base of the HELCOM monitoring programme and in relation to physico-chemical and satellite data.

In 1999, the spring bloom of phytoplankton began in all open sea regions investigated almost simultaneously in the second half of March. In contrast to previous years, there was only about one week delay in the bloom in the Eastern Gotland Sea in comparison with the southern Baltic Proper. On the other hand, the bloom developed already in early March in shallow coastal regions (Lübeck Bay, Pomeranian Bay). As usual, the spring bloom began with a diatom development in Mecklenburg Bight. The early growth of a dinoflagellate bloom in the Arkona Sea is, however, new. In the Bornholm Sea and the Gotland Sea, the spring bloom was composed of dinoflagellates from the beginning. In contrast to previous years, the photoautotrophic ciliate *Myrionecta rubra* developed to the dominant species in the Baltic Proper in spring and summer.

Surprisingly, the diatom *Coscinodiscus granii* grew to high biomasses in the Bornholm Sea already in summer, whereas the summer bloom of the diatom *Dactyliosolen fragilissimus* in the

Mecklenburg Bight was usual. Strong summer blooms of cyanobacteria (*Nodularia spumigena*) occurred only in the Gotland Sea.

The autumn bloom in the Mecklenburg Bight was no longer dominated by *Ceratium tripos* but by *Gymnodinium* sp. and the potentially toxic diatom *Pseudo-nitzschia pungens*.

Contrary to 1997, where sedimentation rates in the autumn period were low, sedimentation in the Gotland Sea in 1998 displayed the typical pattern of increased vertical particle flux towards the end of the year. The biogenic part of that sinking material consisted of filamentous and colonial cyanobacteria in September and a late diatom sedimentation period in November.

The change from diatom dominance to dinoflagellate dominance in spring blooms, noticed in the Bornholm Sea and Gotland Sea since 1989, is now also obvious in the Arkona Sea. It seems to be related to mild winter temperatures, not to nutrient concentrations. *Coscinodiscus granii*, which forms blooms normally in late autumn, developed already in summer in the Bornholm Sea. Special attention has to be paid to the future trends in the development of the ciliate *Myrionecta rubra*, which became dominant in spring and summer in the Baltic Proper and to *Pseudo-nitzschia pungens*, which formed a bloom in autumn in the Mecklenburg Bight.

The long-term increase in chlorophyll *a* concentrations in the Arkona Sea is still significant, whereas there is no longer a significant trend in the Bornholm Sea.

The abundance of copepods decreased in 1999 in comparison with previous years, whereas cladocerans increased, especially in August. Rotifers dominated in May but showed a decreasing tendency.

1. Einleitung

Die Ostsee ist als ein flaches Randmeer (415 023 km² einschl. Kattegat, 52 m durchschnittliche Tiefe) mit einem verhältnismäßig großen, intensiv genutzten Einzugsgebiet (1729 000 km², BERGSTRÖM, CARLSSON, 1994) seit Jahrzehnten einer starken Eutrophierung unterworfen. Insbesondere durch die hoch entwickelte Landwirtschaft und kommunale Abwässer (80 Mill. Einwohner im Einzugsgebiet) kommt es zu starken Nährstoffeinträgen in die See. Wegen der nur schmalen Verbindung zum Weltmeer verdünnen sich die Nährstoffe des freien Wassers kaum, sondern reichern sich im Wasser an oder akkumulieren am Meeresgrund. Dementsprechend erhöhen sich unter anderem die Primärproduktion, die Biomasse, die Trübung und der Sauerstoffbedarf zum Abbau der organischen Substanz. Ausführliche Erörterungen zum Eutrophierungsgeschehen in der Ostsee sind bei LARSSON et al. (1985) und ROSENBERG et al. (1990) nachzulesen.

Zum Schutze der Meeresumwelt in der Ostsee wurde im Jahre 1974 in Helsinki ein internationales Abkommen durch alle Küstenstaaten der Ostsee unterzeichnet. Mit dem Baltischen Monitoring Programm (BMP) der HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission, "Helsinki Commission") sollten sowohl die Auswirkungen der anthropogenen Aktivitäten vor dem Hintergrund der natürlichen Variabilität als auch die Wirkungen regulativer Maßnahmen erfaßt und dokumentiert werden. Dieses Programm läuft seit dem Jahre 1979 in der offenen Ostsee. Seit einigen Jahren trägt HELCOM auch der großen Bedeutung der Küstengewässer für das gesamte Ökosystem Rechnung und hat ein Küsten-Monitoringprogramm (CMP) eingeführt. BMP und CMP sollen weitgehend abgestimmt und mit den gleichen Methoden durchgeführt werden. Sie wurden deshalb zum COMBINE zusammengefaßt.

Die Durchführung des deutschen Anteils am Überwachungs-Programm in der offenen Ostsee hat das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung an das Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) übertragen. Die gewonnenen Daten werden über nationale Datenbanken (in Deutschland die Meeresumwelt-Datenbank MUDAB am BSH) jährlich an HELCOM gemeldet (zusammen mit einem nationalen Kommentar). Im Abstand von 5 Jahren werden die Ergebnisse in Periodischen Assessments zusammengefaßt und wissenschaftlich ausgewertet (HELCOM 1987, 1990, 1996). Das 4. Periodische Assessment ist unter maßgeblicher Mitarbeit des IOW in Arbeit. Detailliertere Auswertungen der eigenen Daten werden in den Jahresberichten für das BSH vorgenommen. Diese erfolgen wegen unterschiedlicher Berichtstermine für die hydrographisch-chemischen und die biologischen Daten separat. Die hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung für das Jahr 1999 ist bereits erschienen (MATTHÄUS et al., 2000). Die Ergebnisse des biologischen Teils des Ostsee-Überwachungsprogramms des Jahres 1999 sollen mit dieser Arbeit vorgelegt werden.

Für rückblickende Betrachtungen wird das Studium vorjähriger Berichte (SCHULZ et al., 1992; BREUEL et al., 1993, 1994, 1995; v. BODUNGEN et al., 1996; WASMUND et al., 1998 a, 1999) empfohlen. Eine Zusammenfassung der Phytoplanktonentwicklung in den Jahren 1993 bis 1997 sowohl von der offenen eigentlichen Ostsee als auch von deren Küstengewässern wird von WASMUND et al. (2000) gegeben. Diese Arbeit ist deshalb besonders wertvoll, da sie die Küsten-Daten vor Inkrafttreten des COMBINE-Programms dokumentiert.

2. Material und Methoden

2.1 Beprobungs-Strategie

Die Aufgabenstellung für das wissenschaftliche Programm war im wesentlichen durch die von 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, 1999) 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 Photoplanktons, Mesozooplanktons 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 1999 an vier Terminfahrten im Februar, März, Mai und August teil. Die bislang stets im Oktober/November durchgeführte Herbst-Fahrt wurde im Jahre 1999 aus Kostengründen kurzfristig gestrichen. Sie soll ab dem Jahre 2000 aber wieder durchgeführt werden. Da das Makrozoobenthos traditionell nur auf der Herbst-Fahrt beprobt wird, fehlen für das Jahr 1999 die entsprechenden Daten. Die Stationen für die Probenentnahmen und die Messungen folgten den Vorgaben durch HELCOM und BLMP (Abb. 1).

Zur Erhöhung der Probenfrequenz und zur Verbesserung der Qualität der Zeitserien entwickelte HELCOM langfristig eine Strategie der nationalen Zuständigkeit für bestimmte Meeresgebiete. Demnach sollte Deutschland für die Phytoplanktonuntersuchungen in der Beltsee und der Arkonasee zuständig sein. Das bedeutet im konkreten Fall, dass dänische Schiffe (in 1999 die „Gunnar Thorson“) im Rahmen ihrer Monitoringreisen in der Beltsee (Stat. 012) und der Arkonasee (Stat. 069) Proben nehmen und diese dem IOW als dem für diese Gebiete zuständigen Institut zur wissenschaftlichen Bearbeitung übergeben. Dieses System ist aber noch nicht Ostsee-weit durchgesetzt, doch die Probenübergabe vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) läuft bereits gut. Diese von dänischen Kollegen genommenen Phytoplanktonproben werden in diesen Bericht mit einbezogen. Sie sind speziell im Jahre 1999 die einzige Quelle für Daten aus dem Herbst.

In dem im Jahre 1997 eingeführten Bund-Länder-Messprogramm (BLMP) wurde die Gewinnung mariner Proben und deren Auswertung im nationalen Rahmen koordiniert und optimiert. Die vom IOW in der Kieler Bucht (Station 360) genommenen Phytoplanktonproben werden dem Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) zur Auswertung übergeben. Im Gegenzug erhält das IOW vom LANU Proben der Station 012. Im Zuge der Arbeitsteilung übergibt das IOW seine Phytoplankton-Proben sowie die Chlorophyll-Daten und Begleitparameter von den Stationen O22, O5, O9, O11, O133 und OB4 an das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG). Trotz der Zuständigkeit des LUNG für das Küsten-Monitoring in Mecklenburg-Vorpommern bleibt auch das IOW in der Pommerschen Bucht mit der MARNET-Station OB engagiert.

Zur besseren zeitlichen Auflösung der Phytoplankton-Zeitserien nutzt das IOW außer den regulären Monitoringfahrten auch Projektfahrten für Probenahmen an den wichtigsten Monitoringstationen. Hierbei handelte es sich konkret im Jahre 1999 um 2 Fahrten im September. Außerdem werden die wichtigsten Stationen in der Mecklenburger Bucht, der Arkonasee und der Bornholmsee nicht nur auf der Ausfahrt, sondern auch auf der Rückfahrt beprobt. Dadurch kommt trotz der geringen Zahl an Monitoring-Fahrten doch eine recht gute Abdeckung im Jahresverlauf zustande (Tabelle 1).

Die Auswertung der Sinkstoff-Fallen ist sehr aufwendig, so dass noch nicht der komplette Datensatz des Jahres 1999 vorliegt. Stattdessen werden hier die Daten der Sinkstoff-Fallen des Jahres 1998 gezeigt, die im vorigen Bericht noch nicht vorgestellt werden konnten.

Tabelle 1 Häufigkeit der Probenahme (= Anzahl der Probestermine) für die biologischen Variablen an den einzelnen Stationen im Jahre 1999 (für Sinkstoff-Fallen: 1998).

IOW- Stationsnummer	BMP- Stations- nummer	Chloro- phyll	Phyto- plankton	Zoo- plankton	Sinkstoff- Fallen
Beltsee					
360	(N3)	3	4	3	
012	(M2)	8	13) ¹	8	
022		1	5) ²		
O5		1	2		
046	(M1)	8	8	8	
Arkonasee					
030	(K8)	9	9	8	
069	(K7)	-	5) ³		
109	(K4)	3	1		
113	(K5)	8	9	8	
Pommernbucht					
OB	(K58)	4	6	4	
Bornholmsee					
213	(K2)	8	8	8	
Östl. Gotlandsee					
259	(K1)	4	4	4	
271	(J1)	5	4	4	40

)¹ davon 1 Probe vom LANU Kiel und 5 Proben vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) genommen.

)² davon 1 Probe vom LANU Kiel genommen.

)³ die 5 Proben vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) genommen.

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 COMBINE-Richtlinien (HELCOM, 1999). Eine kurze Übersicht über die angewendeten Methoden wird im folgenden gegeben.

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 je 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 1999). Dieses wird mit der Anzahl der gezählten Individuen multipliziert, um auf das Biovolumen der jeweiligen Art zu kommen. Bei Annahme einer Dichte von 1 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 mittels eines rotierenden Teflon-Stabs homogenisiert. Zur Messung wurde ein Fluorometer benutzt. Die Bestimmung der Konzentration des Phaeopigment a erfolgte nach der Ansäuerungs-Methodik von LORENZEN (1967). Zur Berechnung der Chlorophyll a – und Phaeopigment a – Konzentrationen wurden Formeln von EDLER (1979) und JGOFS (1993) benutzt.

2.5 Mesozooplankton

Das mit einem UNESCO-Standardnetz WP II (Maschenweite 100µm) (UNESCO, 1968) genommene Mesozooplankton wurde den Empfehlungen der HELCOM (1999) 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. Dadurch ist der durch die Zählung bedingte Fehler für die Gesamtabundanz < 10 % (nach EDLER, 1979). Für einzelne Arten und Gruppen ist er in Abhängigkeit von den gezählten Individuen 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.

2.6 Sedimentation

Die Raten des vertikalen Partikelflusses (Sedimentation) wurden auf der Station 271 (Gotland-Tief, Wassertiefe 249 m) bestimmt. 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. Hier wurden zur Erfassung der Menge und Qualität des aus der Deckschicht absinkenden Materials automatische Sinkstoff-Fallen des Typs SM 234 mit einer Fangfläche von 0,5 m² ohne Oberflächenmarkierung verankert, die 18 in programmierbaren Zeitschritten auswechselbare Fanggläser besitzen. Sie wurden 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.

Die ab August 1997 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. Daraus erklärt sich der Verlust von Daten zwischen März und Juli 1998.

2.7 Fernerkundung

Für die Untersuchung der Planktonentwicklung 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. (1994) beschrieben.

Daten der Wasserfarbe der Ostsee standen 1999 vom Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) zur Verfügung, die durch die National Aeronautics and Space Administration (NASA) bereitgestellt wurden. Die Ableitung der Chlorophyllkonzentrationen erfolgte nach einer Atmosphärenkorrektur mit der Prozedur von RUDDICK et al. (2000) unter Nutzung des IOW-Algorithmus. Dabei wurden die SST- Daten für die physikalisch-chemischen Untersuchungen und die Charakterisierung der Bedingungen für die Cyanobakterienentwicklung verwendet, wobei Einzelszenen und Monatsmittel zur Anwendung kamen. Die Auswertung der SeaWiFS-Daten konzentrierte sich auf die Cyanobakterienentwicklung in der Ostsee in Beziehung zur SST und den meteorologischen Bedingungen.

2.8 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. Die Arbeit nach einem gemeinsamen Methodenhandbuch (HELCOM, 1999) ist erste Voraussetzung für die Gewinnung vergleichbarer Daten. Darüber hinaus sind Interkalibrierungen zwischen den beteiligten Instituten erforderlich. 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. Auch im Jahre 1999 wurde die Reihe der jährlichen Phytoplanktonkurse und –workshops mit einem Treffen der Phytoplanktologen in Abisco (Schweden) fortgesetzt. Hier ging es um die Festlegung von allgemein zu verwendenden Größenklassen für die einzelnen Arten sowie deren Biomassefaktoren. Darüber hinaus wurden praktische Interkalibrierungen der Artenbestimmung bei Cyanobakterien und der Kieselalpengattung *Chaetoceros* durchgeführt.

Im Jahre 1998 begannen mit Einführung des Bund-Länder-Messprogramms (BLMP) auch umfangreiche nationale Aktivitäten zur Qualitätssicherung, die von der Qualitätssicherungsstelle am Umweltbundesamt (UBA) koordiniert wurden. Lediglich zum 1. Test, dem „Ringversuch Phytoplankton mit kultivierten Arten (RV PHYTKUL)“ liegt inzwischen eine Auswertung vor (GÜNTHER, UHLIG, 1999). Die verschiedenen am BLMP beteiligten Institute haben hierzu mit ihren hauseigenen Methoden die Biomasse von definierten Algenproben bestimmt. Die Güte der Bestimmung wird anhand der Z-scores ermittelt, die ein Maß für die Abweichung vom robusten Mittelwert (unter Streichung von Außenseiter-Werten, d.h. $|Z| > 6$) sind. Z-scores, welche die Toleranzgrenzen ± 2 unterschreiten und damit innerhalb des 95 %igen Streubereichs liegen, gelten als „gut“. Die Z-scores unseres Labors lagen stets innerhalb dieses Bereiches.

Auch die Teilnahme von drei Phytoplankton-Experten des IOW an dem Projekt BEQUALM diente der Qualitätssicherung der Phytoplanktonzählungen. Parallele Zählungen von Proben derselben Mischkultur ergaben gute Übereinstimmungen. Die Bewertung der Labors erfolgte anhand der Z-scores. Alle Zählungen lagen im Bereich der zulässigen Z-scores von -2 bis $+2$.

Unsere fluorometrische Chlorophyllmethode wurde in internationalen Laborvergleichen im Rahmen des Projekts QUASIMEME getestet. Wir nahmen sowohl an der Runde 17 als auch an der Runde 19 der Interkalibrierungen teil. Alle Beträge unserer Z-scores für die Chlorophyll a-Bestimmung lagen unter 2.

3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1999

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. (2000) dargestellt und sollen hier zur besseren Einordnung der biologischen Ergebnisse nochmals kurz wiedergegeben werden.

Der Winter 1998/99 war in der gesamten Ostsee mild. Während die Lufttemperatur im November und Dezember 1998 unter dem langjährigen Mittel lag, lagen die Monate Januar bis April 1999 mit $+1,0$ bis $1,9$ K über dem langjährigen Mittel. Der Sommer 1999 reihte sich in die überdurchschnittlich warmen Sommer der 90er Jahre ein und war der fünftwärmste Sommer seit 1946. Der September 1999 war sogar der wärmste September seit 1946. Die mittleren Lufttemperaturen der Monate Oktober und November entsprachen den langjährigen Erwartungswerten.

An der Messplattform "Darßer Schwelle" wurde das Minimum der Wassertemperatur Mitte Februar 1999 mit Werten um 2 °C registriert. Die Ausprägung der thermischen Schichtung der Wassersäule an der Darßer Schwelle wurde Mitte April und Anfang Mai mehrfach gestört und konnte sich erst Mitte Mai deutlich ausprägen. Diese stabile Schichtung blieb im wesentlichen bis Anfang September erhalten. Der Anstieg der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde während des Sommers bei östlichen Winden immer wieder durch Kaltwassereinschübe aus dem winterlichen Zwischenwasser des Arkonabeckens unterbrochen. Das Maximum der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde Ende Juli mit Werten um 19 °C erreicht. In der Pommerschen Bucht (Station OB) bestand eine ausgeprägte thermische Schichtung bereits im März und blieb bis Ende September stabil (abgesehen von kleinen Störungen z.B. Mitte April, Mitte August, Mitte September). Die maximale Temperatur lag hier im Juli und August zwischen 20 und 21 °C. In östlichen Gotlandbecken ging die Oberflächentemperatur im Winter nur auf $2-2,5$ °C zurück, stieg zu Anfang August aber auf $21-22$ °C an.

Im Februar traten über der westlichen Ostsee (Wetterstation Arkona) starke westliche Winde auf (Windspitzen von $37,4$ m/s am 5. Februar 1999), die zu einem Anstieg des Wasserspiegels der Ostsee von 30 cm über Normal führten, ohne dass jedoch ein nachhaltiger Salzgehaltsanstieg verzeichnet wurde. Die starke Ostwindperiode im März verursachte einen Rückgang der

Wasserfüllung auf etwa -25 cm. Der Pegelstand war fast den gesamten Sommer unternormal. Erst die Herbst-Stürme im September/Oktober füllten die Ostsee auf einen Stand von $+30$ cm auf. Der Orkan über der westlichen Ostsee vom 3./4. Dezember mit Windgeschwindigkeiten von über 40 m/s führte zu einem starken Wasserstandsanstieg, der Mitte Dezember schließlich 50 cm über Normal erreichte. Im Jahre 1999 erfolgte kein Salzwassereinbruch. Nur im Spätherbst transportierten kleinere Einströme Sauerstoff ins Bornholmbecken.

Das Jahr 1999 war überdurchschnittlich niederschlagsreich. Insbesondere im Juni und Dezember wurde das 2 bis 2,5fache des normalen Niederschlags gemessen. Aber auch im Januar, März, April und August wurde das 1,5 bis 1,8fache der Normalwerte registriert.

Das Jahresmittel der Sonnenscheindauer an der Station Arkona lag im Bereich der langjährigen Mittel. Die Monate Juli, September und November waren überdurchschnittlich sonnenscheinreich, während die Monate Januar, März und Dezember deutlich unter den Mittelwerten blieben.

Der bereits von NEHRING et al. (1996) beobachtete Rückgang der Winterkonzentrationen der Nährstoffe im Oberflächenwasser setzte sich nicht eindeutig fort. In den meisten Seegebieten (Mecklenburger Bucht, Arkonasee, Bornholmsee, Fårötief) stiegen die Nährsalz-Konzentrationen (N und P) in den letzten 1-2 Jahren wieder leicht an. Zwar ist die Phosphat-Reduktion in der 2.Hälfte der 90er Jahre immer noch signifikant im Vergleich mit der 1.Hälfte des Jahrzehnts, aber für Nitrat sind die Unterschiede zwischen beiden 5-Jahres-Zeiträumen nicht signifikant. Hier könnte eine verstärkte Stickstoff-Fixierung durch Cyanobakterien den Bemühungen um eine Stickstoff-Reduktion entgegenwirken. Im Winter findet man das jahreszeitliche Maximum der Nährstoff-Konzentrationen. 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 aber zu Nitrat oxydiert.

4. Ergebnisse

4.1 Phytoplankton

4.1.1 Jahressgang 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.

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 Jahrgänge der Biomasse der wichtigsten taxonomischen Gruppen des Phytoplanktons sind in den Abb. 2 - 4 für die untersuchten Stationen dargestellt. Wie schon in den Vorjahren ist auch der photoautotrophe Ciliat *Myrionecta rubra* (vormals *Mesodinium rubrum*) zum Phytoplankton gezählt worden. Er gehört zwar nicht zu den Algen, betreibt aber wie diese Photosynthese und macht oft einen erheblichen Anteil an der Biomasse aus. Wenn nichts anderes gesagt wird, beziehen sich die Angaben auf die Mischprobe von 0-10 m Wassertiefe.

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, „Diatomeen“), die dann von Dinoflagellaten (Dinophyceae) abgelöst wird. 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 Pommerschen Bucht gab es bisher Hinweise auf eine früh einsetzende Algenentwicklung.

Im Februar 1999 fanden wir in der Mecklenburger Bucht (Stationen 012 und 046; Abb. 2 a, b) die für den Winter typischen geringen Phytoplanktonbiomassen (bis 230 mg m^{-3}), hauptsächlich aus Cryptophyceen (*Teleaulax* spp.), Kieselalgen (*Chaetoceros borealis* incl. *Ch. impressus*, *Ch. subtilis*, *Ditylum brightwellii*), Dinophyceen (*Heterocapsa rotundata*, *Gymnodinium* sp.) und *Myrionecta rubra* bestehend. Im Winter, also vor der Wachstumsperiode, finden wir die jährlichen Nährstoffmaxima. Diese liegen im Jahre 1999 in der Mecklenburger Bucht bei etwa $0,6 \text{ mmol m}^{-3}$ Phosphat, 11 mmol m^{-3} gelöster anorganischer Stickstoff (DIN) und 17 mmol m^{-3} Silikat.

Zum 18.3.99 hat sich in den flacheren, küstennahen Bereichen (Station O22 in der Lübecker Bucht; ohne Abb.) eine Biomasse von 2910 mg m^{-3} aufgebaut. 74 % dieser Biomasse bestand aus Kieselalgen (*Chaetoceros decipiens* 767 mg m^{-3} , *Chaetoceros curvisetus* 389 mg m^{-3} , unbest. centrische Kieselalgen 378 mg m^{-3} , *Rhizosolenia setigera* 204 mg m^{-3}). Daneben war *Myrionecta rubra* bedeutsam (374 mg m^{-3}). Eigenartigerweise ist im Vergleich zu den Wintermonaten nur die Phosphat-Konzentration deutlich zurückgegangen (auf etwa $0,3 - 0,4 \text{ mmol m}^{-3}$ Phosphat), während Silikat nur auf etwa 15 mmol m^{-3} abnahm und Stickstoff sogar keinerlei Abnahme zeigte.

An den zentraler gelegenen Stationen 012 und 046 war am 19.3.1999 keine Blüte zu erkennen. Es kamen vorwiegend Dinoflagellaten (*Heterocapsa rotundata*, *Peridiniella catenata*, *Gymnodinium* sp.), Cryptophyceen (*Teleaulax acuta*), der Ciliat *Myrionecta rubra* und Kieselalgen vor (an Stat.

012 *Thalassiosira levanderi* 45 mg m⁻³, *Chaetoceros subtilis* 42 mg m⁻³; an Stat. 046 *T. levanderi* 14 mg m⁻³, *Ch. subtilis* 43 mg m⁻³). Die Nährstoffe hatten aber im Vergleich zu den Februar-Werten sowohl an Station 012 als auch an Station 046 in den oberen 10 m der Wassersäule schon deutlich abgenommen: P auf 0,4 mmol m⁻³, N auf 5 mmol m⁻³ und Si auf 13 mmol m⁻³. In 15 m Tiefe waren aber fast noch die Winter-Konzentrationen anzutreffen. Insbesondere die Biomassen von Kieselalgen und *Myrionecta rubra* waren im Vergleich zu den Februar-Werten schon erhöht. Zum 30.3.1999 war die Frühjahrsblüte an Station 012 voll entwickelt. Es steht hier von diesem Termin zwar keine Phytoplanktonprobe zur Verfügung, aber die Chlorophyll a – Konzentration von fast 7 mg m⁻³ (Mittelwert 0-20 m Tiefe; vgl. Tabelle 2) ist ein deutlicher Anzeiger für eine Blüte. Allerdings ist das Chlorophyll a sehr heterogen verteilt: an der Wasseroberfläche (0-5 m Tiefe) nur 2,8 mg m⁻³, in 10-15 m Tiefe aber 11,36 mg m⁻³. Auch an Station 046 war es zum 30.3.1999 zu einem kräftigen Wachstum gekommen (Vervierfachung der Phytoplanktonbiomasse im Verlaufe von 11 Tagen). Dieses Wachstum kam hauptsächlich durch Kieselalgen (*Thalassiosira levanderi* 163 mg m⁻³, *Chaetoceros* sp. [9x5 µm] 121 mg m⁻³, *Skeletonema costatum* 65 mg m⁻³, *Chaetoceros wighamii* 29 mg m⁻³) und *Myrionecta rubra* (404 mg m⁻³) zustande. Daneben sind auch Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii* 39 mg m⁻³, *Heterocapsa rotundata* 30 mg m⁻³) und Cryptophyceen (*Teleaulax acuta* 25 mg m⁻³) erwähnenswert.

Ein Vergleich mit den Vorjahren bestätigt die Erfahrung, dass die blütenbildenden Kieselalgen-Arten von Jahr zu Jahr verschieden sind. Lediglich *Skeletonema costatum* ist regelmäßig vertreten, während die blütenbildenden *Chaetoceros*-Arten wechseln (z.B. in 1998 *Ch. borealis* incl. *Ch. impressus* und *Ch. decipiens*). Die im Jahre 1997 blütenbildende *Thalassiosira baltica* wurde weder 1998 noch 1999 gefunden. Auch das ungewöhnlich frühe Auftreten des Dinoflagellaten *Peridiniella catenata* im Jahre 1997, der sonst nicht in der Mecklenburger Bucht, sondern in der eigentlichen Ostsee die Frühjahrsblüten bildet, konnte im Jahre 1998 und 1999 nicht bestätigt werden. In dieser Beziehung war 1999 ein "normales" Jahr.

Die schon aus den Vorjahren bekannte Ablösung der Kieselalgen durch Dinoflagellaten innerhalb der Frühjahrsblüte trat auch 1999 ein: Zum 5.- 6. Mai waren Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*: an Stat. 012: 110 mg m⁻³, Stat. 022: 582 mg m⁻³, Stat. 46: 142 mg m⁻³) die dominierende Algengruppe in den oberen 10 m der Wassersäule. Hervorzuheben ist die enorme Entwicklung des Ciliaten *Myrionecta rubra*, die in dem Maße bisher nicht beobachtet wurde. Dieser Ciliat fällt umso mehr ins Gewicht, da er wohl fast die gesamte Wassersäule in den flachen Gewässern der westlichen Ostsee besiedelt, während die photosynthetischen Algen meistens die oberen Wasserschichten bevorzugen. Er scheint sich insbesondere oberhalb der Sprungschicht anzureichern (Abb. 5).

Zum 17.5.1999 setzte sich das Wachstum von *Myrionecta rubra* an Station 046 sogar noch fort (839 mg m⁻³), während an Station 012 Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii* 346 mg m⁻³, *Scrippsiella hangoei* 61 mg m⁻³, *Gymnodinium* cf. *arcticum* 22 mg m⁻³) dominant wurden. Es deutete sich aber schon der Übergang zu einer vielfältigen Sommer-Gemeinschaft an: *Eutreptiella* sp. 37 mg m⁻³, *Pyramimonas* sp. 27 mg m⁻³, *Teleaulax acuta* 19 mg m⁻³, *Dactyliosolen fragilissimus* 17 mg m⁻³ (Stat. 012). An Stat. 046 traten unter anderem schon erste Fäden von *Aphanizomenon* sp. (6 mg m⁻³), aber noch kein *Dactyliosolen fragilissimus* auf. *Dactyliosolen fragilissimus* war im Jahre 1998 bereits Ende Mai zur dominierenden Art geworden.

Sommerblüte

Im Gegensatz zu 1998 fehlen uns im Jahre 1999 Daten vom Juni, so dass wir keine Aussage zur Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* zu dieser Zeit machen können. Diese Kieselalge hatte schon im Juni und Juli 1998 (aber nicht in 1997) eine gewaltige Blüte gebildet. Dasselbe ist auch im Jahre 1999 zu vermuten. Zumindest war sie noch am 31.7. und 9.8.1999 an Station 012 die dominierende Art. An Station 022 (31.7.99) machte sie in den oberen 10 m der Wassersäule sogar 78 % der Phytoplankton-Biomasse aus, während sie unterhalb der Sprungschicht nicht vertreten war. In 17 m Wassertiefe bildete *Chaetoceros curvisetus* mit 1895 mg m^{-3} 87 % der Phytoplankton-Biomasse. Es muß hier aber betont werden, dass generell in den Biomassewerten die Vakuole enthalten ist, die z.B. bei dem großzelligen *Dactyliosolen fragilissimus* bis 85 % der Biomasse ausmacht, aber nur wenig organischen Phosphor, Stickstoff und Kohlenstoff sowie kein Chlorophyll enthält. Auf den Stationen 012 und 046 waren die häufigsten Arten sowohl am 31.7. als auch am 9.8.1999 die gleichen: *Ceratium tripos*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Chaetoceros curvisetus* (diese Art auch unterhalb der Sprungschicht bedeutend !) und *Myrionecta rubra*. Am 9.8.1999 kamen zu den genannten Arten an Station 012 noch *Cerataulina pelagica* und an Station 046 *Aphanizomenon* sp. hinzu. Blüten der stickstoff-fixierenden Cyanobakterien wurden in der Mecklenburger Bucht aber nicht beobachtet.

Herbstblüte

Dank der dänischen Proben konnten wir erkennen, dass vom Oktober bis in den November hinein in der Mecklenburger Bucht eine starke Blüte von Dinoflagellaten und Kieselalgen vorherrschte. Eine Herbstblüte des Dinoflagellaten *Ceratium tripos* ist in der westlichen Ostsee normal. Allerdings war seine Biomasse am 12.10.99 mit 1017 mg m^{-3} relativ gering im Vergleich zu *Gymnodinium* sp. mit 3436 mg m^{-3} . Zum 9.11.99 verringerten sich beide Arten jeweils auf etwa die Hälfte. Hervorzuheben ist jedoch die erstmalig in diesem Gebiet beobachtete Dominanz von Kieselalgen während der Herbstblüte. Von den Kieselalgen waren *Pseudo-nitzschia pungens* mit 5294 mg m^{-3} und *P. seriata* mit 1419 mg m^{-3} am 12.10.99 die weitaus bedeutendsten Arten. Sie wurden in der Mecklenburger Bucht bisher nie in diesen Massen gefunden. Das Auftreten von *Pseudo-nitzschia pungens* ist wegen seiner potentiellen Toxizität besonders hervorzuheben. Andere Kieselalgenarten, wie *Dactyliosolen fragilissimus*, *Guinardia flaccida* und *Ditylum brightwellii*, traten mit Biomassen von unter 200 mg m^{-3} auf.

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.

Wie schon im Jahre 1998, begann die Entwicklung der Kieselalgenblüte im westlichen Teil der Arkonasee (Station 030, Abb. 2 c) etwa Mitte März. Während die Entwicklung in der zentralen Arkonasee (Station 113) gegenüber der Station 030 im Jahre 1998 etwas verzögert war, kam es im Jahre 1999 zu einem umgekehrten Bild. An Station 113 (Abb. 3 a) hatten sich am 20.3.1999 bereits

Dinoflagellaten (insbesondere *Protoperidinium* sp. 382 mg m⁻³) entwickelt, aber an Station 030 noch nicht. Kieselalgen (*Thalassiosira levanderi*, *Chaetoceros subtilis*, *Skeletonema costatum*) waren an beiden Stationen noch schwach vertreten, während *Myrionecta rubra* schon hohe Biomassen zeigte. Zum 30.3.1999 hatten sich auf beiden Stationen ähnliche Verteilungsmuster und Biomassen eingestellt: Dinoflagellaten (*Gymnodinium* sp., 20x25 µm, mit bis zu 602 mg m⁻³; *Scrippsiella hangoei*, *Heterocapsa rotundata*, *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Peridiniella catenata*, *Ebria tripartita*), Kieselalgen (*Skeletonema costatum* mit bis zu 304 mg m⁻³; *Chaetoceros* sp. 9x5 µm, *Thalassiosira levanderi*, *Chaetoceros subtilis*, *Ch. wighamii*) und *Myrionecta rubra*. Die bereits von WASMUND et al. (1998 b) gefundene Verdrängung der Kieselalgen durch Dinoflagellaten scheint sich also fortzusetzen. Offensichtlich dringen die Dinoflagellaten nun schon verstärkt von Osten her in die Arkonasee vor, wo sie sich zeitgleich mit den Kieselalgen entwickeln und diesen Konkurrenz machen. Hinzu kommt das ungewöhnlich starke Wachstum von *Myrionecta rubra* zur selben Zeit.

Im Februar 1999 lagen die Phosphat-Konzentrationen im Oberflächenwasser bei 0,5 mmol m⁻³, die Summe der anorganischen Stickstoff-Verbindungen (DIN) bei rund 5 mmol m⁻³ und die Silikat-Konzentration bei 13 mmol m⁻³. Bis zum 19./20.3.99 hatten sich die Stickstoff-Konzentrationen um etwa 1 mmol m⁻³ verringert. Eine deutliche Verringerung zeigte sich dann in den darauffolgenden 10 Tagen: Am 30.3.99 lagen die Konzentrationen von Phosphat bei 0,3 mmol m⁻³, von Stickstoff bei 0,7 mmol m⁻³ und von Silikat bei 12 mmol m⁻³ (an Station 030, 0-10 m). Erstaunlich ist, dass die Nährstoffabnahme zum 30.3.99 an Station 113 hauptsächlich in 10-15 m Tiefe (bei 2,9 °C) stattfand (Konzentrationen: PO₄ = 0,27 mmol m⁻³, DIN = 1,3 mmol m⁻³, Si = 10,4 mmol m⁻³), während diese in 0-5 m Tiefe (bei 3,5 – 3,7 °C) deutlich geringer war (Konzentrationen: PO₄ = 0,34 mmol m⁻³, DIN = 1,5 mmol m⁻³, Si = 12,5 mmol m⁻³). Stickstoff und Phosphor hatten im Wasser also deutlich abgenommen, was für ein kräftiges Algenwachstum spricht. Silikat verringerte sich im Vergleich zu den Februar-Konzentrationen allerdings nur wenig, was darauf hindeutet, dass die Blüte primär nicht durch Kieselalgen gebildet wurde.

Wie schon in den Vorjahren verschwanden die Kieselalgen zum Anfang Mai fast komplett aus dem Oberflächenwasser, während die Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *G. westificii*, *Scrippsiella hangoei*, *Peridiniella catenata*) weiterhin präsent waren. In vergangenen Jahren kamen sie im Mai erst richtig zur Entwicklung. Im Jahre 1999 hatte *Myrionecta rubra* offensichtlich aber noch ein viel größeres Entwicklungspotential. Zum 17.5.1999 gingen die Dinoflagellaten weiter zurück, aber es erschienen nun schon die ersten Sommerpopulationen (*Teleaulax* spp., *Dinophysis norvegica*, *Dinobryon* sp. *Pyramimonas* sp. *Aphanizomenon* sp.).

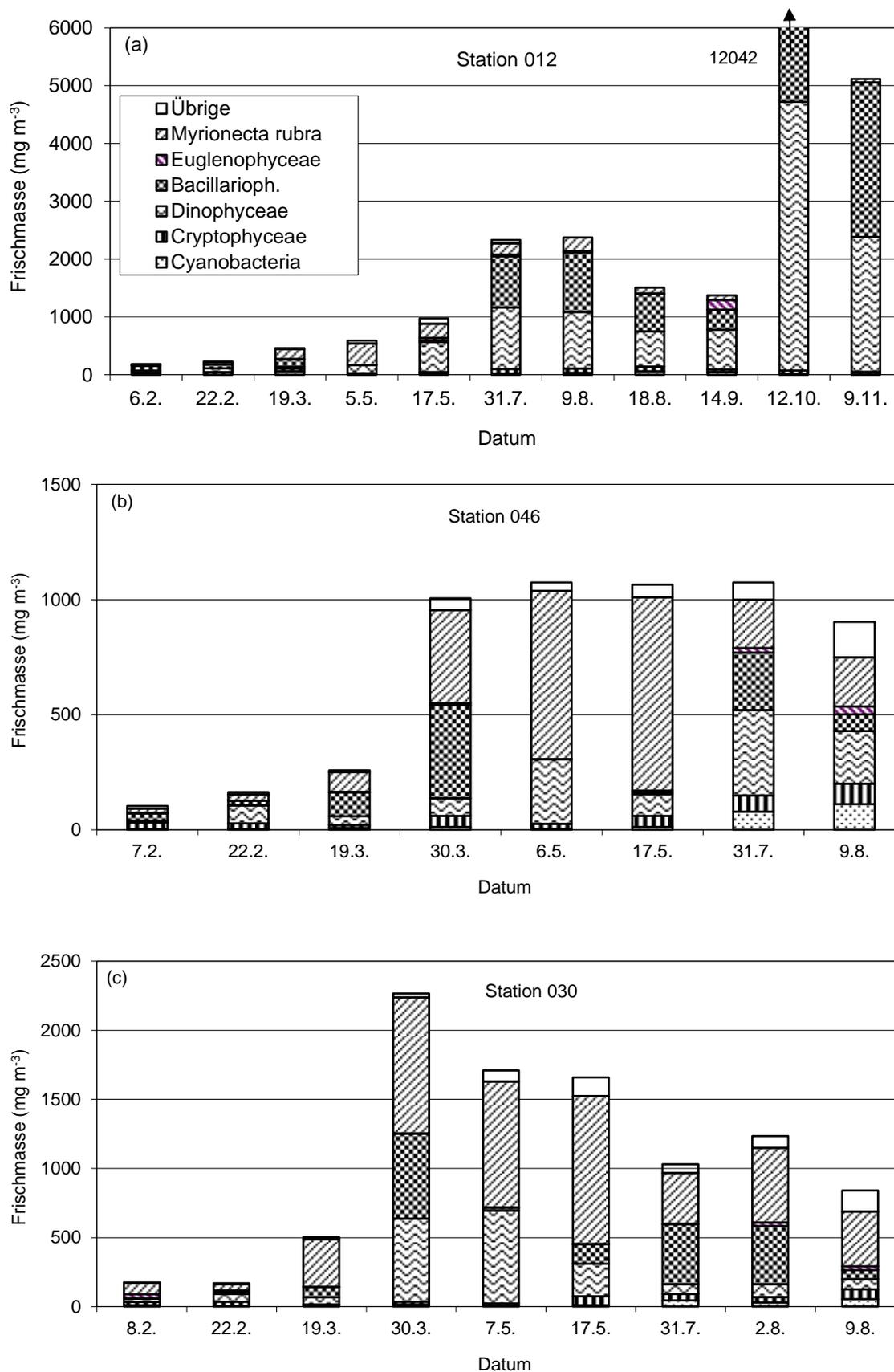


Abb. 2: Jahrgang 1999 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Mecklenburger Bucht (a und b) und der westlichen Arkonasee (c).

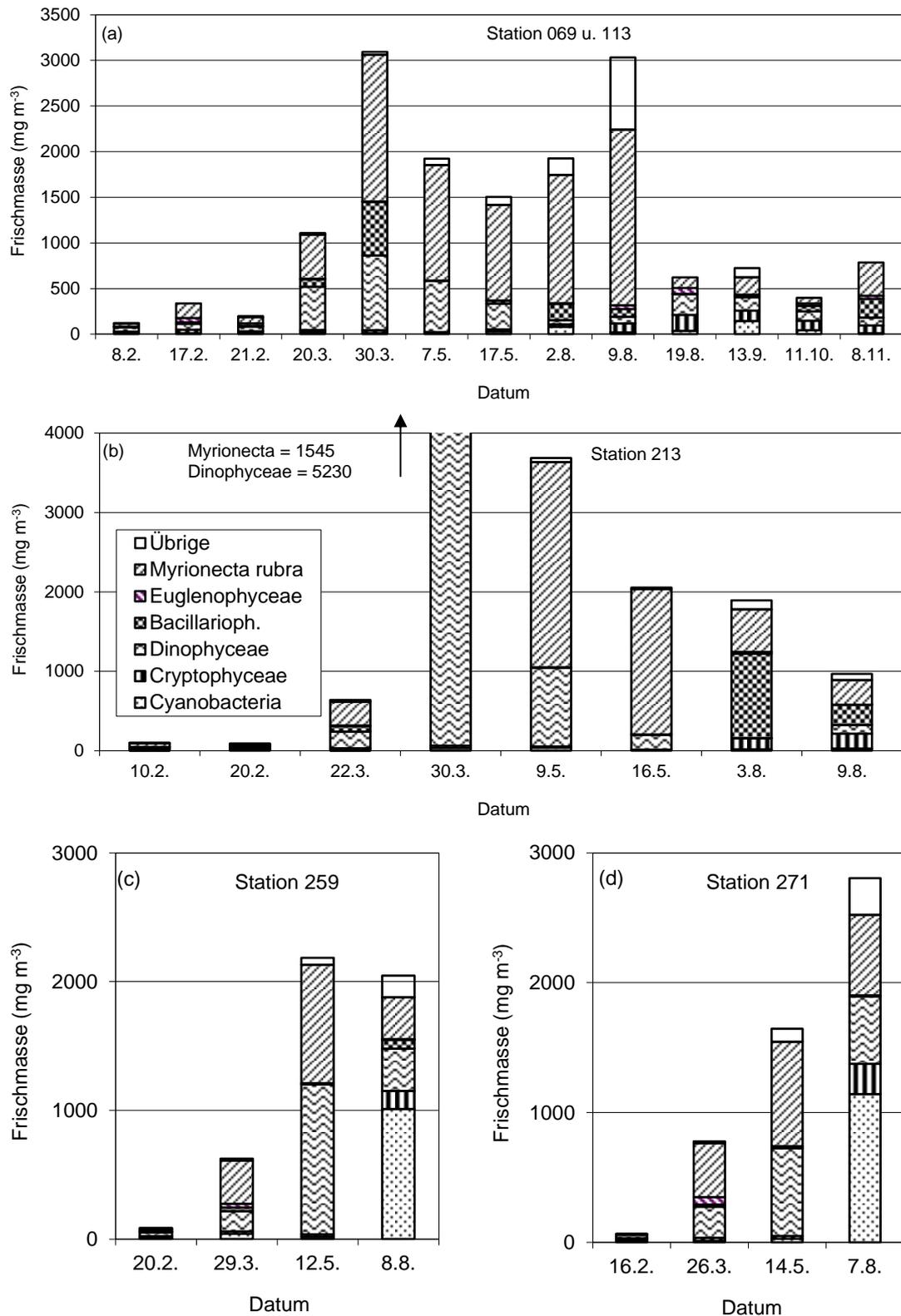


Abb. 3:

Jahresgang 1999 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der zentralen Arkonasee (a), der Bornholmsee (b) und der östlichen Gotlandsee (c und d). Die Proben von Station 069 (15 km nordwestlich der Stat. 113) wurden vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) zur Verfügung gestellt und in die Datenreihe der Station 113 mit einbezogen.

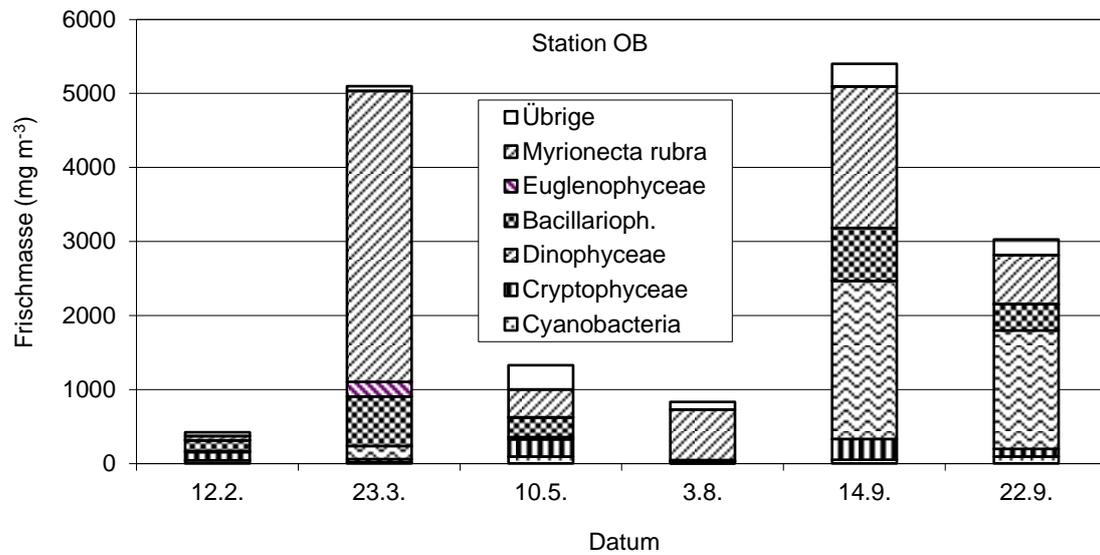


Abb. 4:

Jahresgang 1998 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Pommerschen Bucht (Mittelwerte aus Stationen OB4, 133 und 160) und der Gotlandsee (Stat. 271).

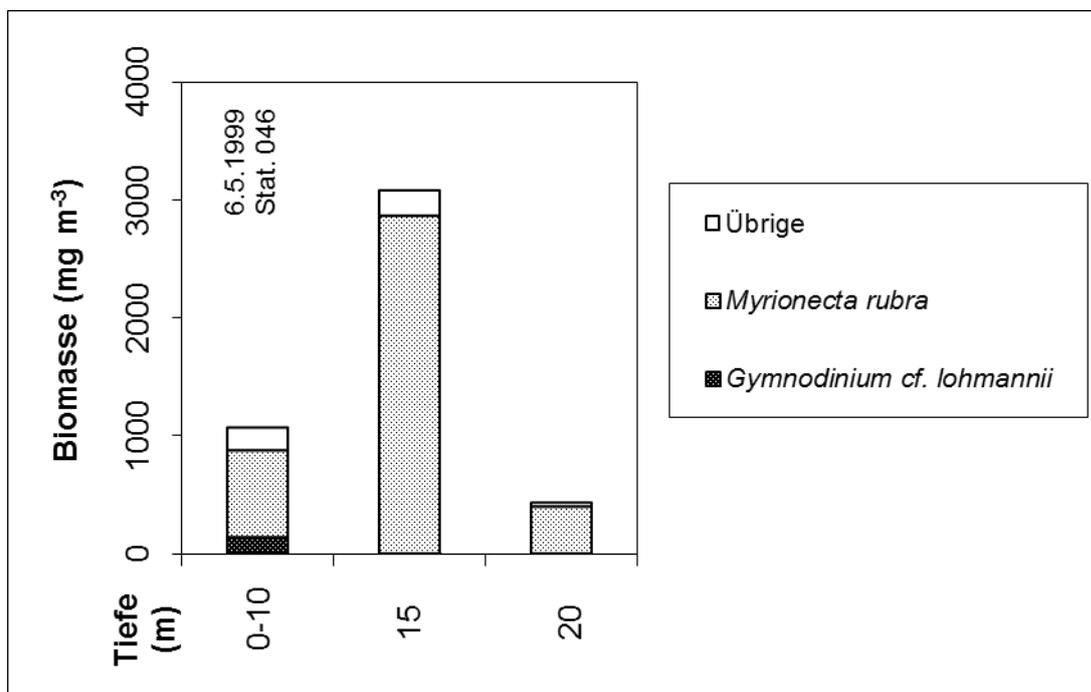


Abb. 5:

Die Tiefenverteilung der Phytoplanktonbiomasse an Station 046 am 6.5.1999 unter besonderer Berücksichtigung von *Myrionecta rubra* und *Gymnodinium cf. lohmannii*.

Sommerblüte

Vom Juni und Juli (außer 31.7.) lagen keine Proben vor. Dadurch sind Hinweise aus den vergangenen Jahren zu einer Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* für das Jahr 1999 nicht umfassend zu prüfen. Die Art konnte aber im Jahre 1999 in der Mecklenburger Bucht nachgewiesen werden (siehe oben). Auch im Oberflächenwasser der Station 030 trat sie noch mit Biomassen von 143 und 205 mg m⁻³ am 31.7. und 2.8.99 auf. An der Station 113 war sie am 2.8.99 in der Deckschicht nicht mehr zu finden, wohl aber in 20 m Tiefe (247 mg m⁻³). Als weitere Kieselalge kam *Chaetoceros borealis* incl. *Ch. impressus* bis zum 2.8.99 mit Biomassen von 170-224 mg m⁻³ in der Deckschicht vor, am 9.8.99 an Station 113 aber nur noch in 20 m Tiefe. *Coscinodiscus granii* war in den Proben vom 9.8.99 mit 61-78 mg m⁻³ zu finden. Von den Flagellaten war *Pyramimonas* sp. der bedeutendste. In einzelnen Proben waren aber auch *Tetraselmis* sp., *Eutreptiella* sp., *Pseudopedinella elastica*, *Teleaulax acutus*, *Plagioselmis prolonga*, *Dinophysis acuminata* und *Heterocapsa rotundata* wichtig. Die dominierende Art war allerdings noch immer *Myrionecta rubra*.

Die sonst im Sommer so wichtige Gruppe der stickstoff-fixierenden Cyanobakterien trat in der Arkonasee Anfang August nicht in Erscheinung. Die Biomassen der sonst oft blütenbildenden Arten *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. überstiegen hier den Wert von 38 mg m⁻³ nicht. In der Probe vom 13.9. waren jedoch 97 mg m⁻³ *Aphanizomenon* sp. und 35 mg m⁻³ *Nodularia spumigena* enthalten. Wahrscheinlich hat das sonnige, warme und windarme Wetter im September eine Verlängerung der optimalen Wachstumsbedingungen für die genannten Arten bewirkt. Neben den genannten Cyanobakterien sind noch *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Plagioselmis prolonga*, *Pyramimonas* sp., *Synechococcus* sp. und natürlich wie schon zu den vorigen Terminen *Myrionecta rubra* erwähnenswert.

Herbstblüte

Die im Herbst in der Mecklenburger Bucht beobachtete Blüte von *Pseudo-nitzschia pungens* und *Gymnodinium* sp. trat in der Arkonasee nicht auf. Die wichtigsten Arten waren am 8.11.99 *Myrionecta rubra* und die sonst in der eigentlichen Ostsee im Herbst blütenbildende Kieselalge *Coscinodiscus granii*.

4.1.1.3 Pommersche Bucht

Frühjahrsblüte

In der Pommerschen Bucht (Station OB; Abb. 4) war die Frühjahrsblüte am 23.3.99 schon voll entwickelt. 77 Prozent der Phytoplankton-Biomasse wurden durch *Myrionecta rubra* gebildet. Also auch in diesem Gebiet waren die sonst blütenbildenden Kieselalgen im Jahre 1999 zweitrangig. Vier Kieselalgenarten zeigten eine Biomasse von über 100 mg m⁻³: *Skeletonema costatum*, *Achnanthes taeniata*, *Thalassiosira* sp. und *Chaetoceros wighamii*. Die Euglenophyceae *Eutreptiella* sp. erbrachte 202 mg m⁻³.

Zum 10.5.99 war die Biomasse deutlich zurückgegangen. Das Phytoplankton war aber sehr vielfältig und offensichtlich stark durch den Oder-Ausstrom beeinflusst. Verschiedene Arten (z.B. *Pseudanabaena* sp., *Skeletonema subsalsum* sowie verschiedene Grünalgen wie *Pediastrum* spp., *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus opoliensis*, *Monoraphidium* spp.) sind wahrscheinlich mit

dem Süßwasser eingetragen. Auch verschiedene Cryptophyceen (*Teleaulax* spp., *Plagioselmis prolunga*) und Haptophyceen waren stark vertreten. Absolut dominierend war der Dinoflagellat *Ebria tripartita* (724 mg m⁻³). Da er heterotroph ist, haben wir ihn generell nicht in der Phytoplankton-Biomasse (also auch nicht in Abb. 4) erfasst.

Sommerblüte

Am 3.8.99 war fast ausschliesslich *Myrionecta rubra* zu finden. Von den zu dieser Zeit erwarteten Cyanobakterien kam nur der Picoplankter *Synechococcus* sp. in der geringen Biomasse von 7 mg m⁻³ vor, die wegen der Kleinheit der Zellen aber immerhin 390 000 Zellen/l entspricht. Erwähnenswert ist noch die kleine Chrysophyce *Pseudopedinella elastica* (64 mg m⁻³).

Im September 1999 bildete *Gymnodinium* cf. *lohmannii* (am 14.9.: 2042 mg m⁻³, am 22.9.: 1492 mg m⁻³) eine Blüte, wie erstmals Anfang Oktober 1997 in der Bornholmsee und z.T. in der Arkonasee beobachtet. Solche *Gymnodinium*-Blüte konnte im Jahre 1998 wegen fehlender Probennahmeterminen nicht bestätigt werden. Während in der westlichen Ostsee das Vorkommen von Dinoflagellaten-Herbstblüten (insbesondere *Ceratium*) bekannt ist, gab es vor 1997 noch keine Beobachtungen von Dinoflagellaten-Herbstblüten in der eigentlichen Ostsee. Unsere Proben vom September 1999 geben einen Hinweis darauf, dass eine Dinoflagellatenblüte eine allgemeine, aber bislang übersehene Erscheinung in der eigentlichen Ostsee sein könnte. Zusätzlich hat der Ciliat *Myrionecta rubra* einen hohen Biomasse-Anteil in den Proben. Auch von der weiteren Artenzusammensetzung sind die beiden September-Proben ähnlich: *Dactyliosolen fragilissimus*, *Thalassiosira levanderi*, *Skeletonema subsalsum*, *S. costatum*, *Teleaulax acuta*, *T. amphioxeia*, *Pyramimonas* sp., *Plagioselmis prolunga*, *Pseudopedinella elastica*, *Prorocentrum minimum*. In der Probe vom 22.9.99 traten sogar noch die zu dieser Jahreszeit nicht mehr üblichen stickstoff-fixierenden Cyanobakterien *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. auf.

4.1.1.4 Bornholmsee

Frühjahrsblüte

Am 22.3.99 konnte in der Bornholmsee (Stat. 213, siehe Abb. 3 b) bereits eine erhöhte Phytoplankton-Biomasse festgestellt werden, die im wesentlichen von *Myrionecta rubra* und einer unbestimmten *Gymnodinium*-Art (25x30 µm) gebildet wurde. Diese beiden Arten wuchsen bis zum 30.3.99 kräftig weiter, während andere Arten nur eine geringe Rolle spielten (*Peridiniella catenata* 488 mg m⁻³, *Katodinium rotundatum* 111 mg m⁻³). Die Nitrat+Nitrit-Konzentration in den oberen 10 m der Wassersäule war zum 22.3. gegenüber den Februar-Werten um etwa 1 mmol m⁻³ auf 3,2 mmol m⁻³ gesunken, während P und Si noch konstant geblieben waren. Innerhalb einer Woche (vom 22.3. zum 30.3.99) verringerte sich die Phosphatkonzentration dann um 0,25 mmol m⁻³ und die Nitrat+Nitrit-Konzentration um 2,8 mmol m⁻³, während Silikat nur um 0,5 mmol m⁻³ abnahm. Die Phytoplanktonbiomasse wuchs dabei auf einen Extremwert von 7055 mg m⁻³ an.

Zum 9.5.99 war die blütenbildende *Gymnodinium*-Art fast vollständig verschwunden, während *Gymnodinium* cf. *lohmannii* auf 487 mg m⁻³ angewachsen war. Auch *Myrionecta rubra* hatte noch zugenommen. *Peridiniella catenata* hielt eine Biomasse von 222 mg m⁻³. *Aphanizomenon* sp. trat mit einer Biomasse von 28 mg m⁻³ schon in Erscheinung.

Sommerblüte

Im Juli und August bilden im allgemeinen *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. Blüten. Während der Monitoringfahrt Anfang August wurden aber keine Cyanobakterien-Oberflächenblüten beobachtet. Erstaunlicherweise entwickelte sich eine Kieselalgenblüte aus *Coscinodiscus granii* (843 mg m⁻³), welches sonst erst im Spätherbst eine Blüte bildet, *Actinocyclus octonarius* (117 mg m⁻³) und *Chaetoceros impressus* (110 mg m⁻³). *Coscinodiscus granii* war bereits zum 9.8.99 vollständig aus der Deckschicht verschwunden und stattdessen in 20 m Tiefe in geringen Resten (18 mg m⁻³) anzutreffen. *Chaetoceros impressus* war auf 248 mg m⁻³ angewachsen und *Gymnodinium splendens* (105 mg m⁻³) kam neu hinzu.

4.1.1.5 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. Aus einem Vergleich der Abbildungen 3 c und d ist bereits zu vermuten, dass die Entwicklung an beiden Stationen gleichartig verlief.

Frühjahrsblüte

Erfahrungsgemäß beginnt die Blüte in der östlichen Gotlandsee später als in den bereits besprochenen Seegebieten. Im Jahre 1999 waren jedoch schon Ende März Biomassen um 500 mg m⁻³ anzutreffen, wie sie etwa 5 bis 10 Tage zuvor auch in den anderen untersuchten Seegebieten gefunden wurden. Die Entwicklung begann im Jahre 1999 also in fast allen Seegebieten gleichzeitig. Sie wurde fast ausschließlich von *Myrionecta rubra* ausgemacht. Daneben sind nur noch *Gymnodinium* sp. (25x30 µm) und *Eutreptiella* sp. erwähnenswert. Dieser ungewöhnlich frühe Blütenbeginn hat also nichts mit einer Vorverlagerung des Wachstums der üblichen Arten zu tun, sondern mit einem massiven Auftreten des bislang nie in diesen hohen Biomassen vorkommenden Ciliaten *Myrionecta rubra*. Die Winterkonzentration der Nährstoffe (0,5-0,6 mmol m⁻³ Phosphat, 4,5-4,8 mmol m⁻³ anorganischer Stickstoff, 11,7-13,5 mmol m⁻³ Silikat an den Stationen 259 und 271) hatten sich zum 25. bzw. 29.3.99 bereits geringfügig reduziert. Insbesondere der Rückgang des Phosphat um 0,5-0,8 mmol m⁻³ spricht für einen Beginn des Phytoplanktonwachstums bereits Ende März.

Wie zu erwarten, kam *Peridiniella catenata* im Mai zur Entwicklung (475 mg m⁻³ an Stat. 259; 276 mg m⁻³ am Stat. 271). Daneben hatten sich auch viele andere Dinoflagellaten-Arten an beiden Stationen entwickelt: *Gymnodinium* cf. *lohmannii*, *Glenodinium* sp. (20x23 µm), *Scrippsiella hangoei*, *Heterocapsa rotundata*, *Gymnodinium westificii*, *G.* cf. *album*, *Protoperidinium pallidum*, *P. longispinum*, *P. brevipes*. Es traten sogar schon die ersten Fäden von *Aphanizomenon* sp. auf. Damit war die Artenzusammensetzung im wesentlichen ähnlich wie in den Vorjahren, abgesehen von der deutlichen Zunahme von *Myrionecta rubra*. Die Konzentrationen der Nährstoffe hatten sich an den Stationen 259 und 271 zum 12. bzw. 14.5.99 deutlich reduziert auf durchschnittlich 0,15 mmol m⁻³ Phosphat und 0,36 mmol m⁻³ anorganischer Stickstoff, während Silikat kaum abgenommen hatte.

Sommerblüte

Die östliche Gotlandsee war das einzige Seegebiet, das Anfang August 1999 eine Cyanobakterien-Blüte (*Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp.) zeigte (vgl. Abb. 34 b). *Myrionecta rubra* war im Vergleich zum Frühjahr etwas zurückgegangen. Aber es kamen sehr verschiedene Begleitarten hinzu: Cyanobakterien (*Pseudanabaena* sp., *Achroonema lentum*, *Lemmermanniella pallida*, *Synechococcus* sp., *Snowella septentrionalis*, *Woronichinia compacta*), Cryptophyceen (*Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax acuta*, *T. amphioxeia*), Prasinophyceen (*Pyramimonas* sp.), Dinophyceen (*Gymnodinium splendens*, *Glenodinium* sp.; nur an Station 259 auch *Protoperidinium pyriforme* und *Dinophysis norvegica*; nur an Station 271 auch *Scrippsiella hangoei* und *S. trochoidea*), unbestimmte Haptophyceen, Chrysophyceen (*Pseudopedinella elastica*) sowie Kieselalgen (*Thalassiosira levanderi*; nur an Stat. 259 auch *Synedra* sp.). An Stat. 271 wurden in der Tiefe der Temperatursprungschicht (um 20 m) auch geringe Biomassen von *Coscinodiscus granii* und *Dinophysis norvegica* gefunden, die in den oberen 10 m der Wassersäule nicht auftraten.

4.1.2 Sedimentation

Bis zum März 1998 wurden geringe Sedimentationsraten gemessen (Abb. 6), an denen sich noch kein quantitativer Effekt der absinkenden Frühjahrsblüte zeigte. Auch die leicht erhöhten Werte in den Elementflüssen von C, N und vor allem P Anfang März (Abb. 7, 8 und 9) geben noch keinen Hinweis auf eine absinkende Blüte. Zumindest kann man wegen der sehr geringen Silikatmengen (Abb. 10) eine Kieselalgenblüte ausschließen. Das simultane Auftreten von hohem C/N (>20; Abb. 11) und niedrigem C/P (<60)-Verhältnis (Abb. 12) in dieser Phase deutet als Quelle vielmehr auf resuspendiertes Material aus bodennahen oxischen Schichten hin, in denen sich am Ende des Winters oft ein Gemisch aus abgebautem organischen Material und anorganischen Eisen-Phosphor-Verbindungen findet. Die mikroskopischen Befunde bestätigen mit dem nur geringen Vorkommen von Kieselalgen im gesammelten Material, dass zumindest bis März 1998 keine Kieselalgenblüte stattgefunden hat (Abb. 13).

Nach der Sommerphase, die aus technischen Gründen nicht beprobt wurde, erhöhten sich, ähnlich wie im Jahre 1996, die Raten auf Grund der Sedimentation von fädigen und kolonialen Cyanobakterien (Abb. 13). Auch hier lag das Maximum der fädigen diazotrophen Cyanobakterien (*Nodularia*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*) vor dem der koloniebildenden Arten (z.B. *Merismopedia*, *Aphanothece*, *Aphanocapsa*). Das Vorkommen pennater Diatomeen in dieser Zeit ist eher mit der Sedimentation fädiger Cyanobakterien (v.a. *Nodularia*) zu erklären, deren Aggregate in dieser Wachstumsphase zunehmend von pennaten Diatomeen besiedelt werden. Ein leichter Anstieg der Sedimentationsrate biogenen Silikats im August und September zeigt, dass dieser Aufwuchs relevant für den Partikelexport sein kann.

Die im Wasser vorgefundene Herbstblüte der Kieselalge *Coscinodiscus granii* (WASMUND et al. 1999) bildete sich in den Fallen im November bis Dezember ab. Die Messungen in 140 und 230 m Tiefe stimmten in Qualität und Quantität gut überein, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich 1998 intensive Resuspensionsereignisse auf die Winterperiode beschränkt haben.

Insgesamt ergibt sich für die bisher untersuchten Jahre eine gute Übereinstimmung der artlichen Entwicklung im Oberflächenwasser und dem Abbild in der Sedimentation. Die quantitativ wichtigsten Perioden für den Partikelexport sind die Frühjahrsblüte, die Sommermaxima der Cyanobakterien und die Herbstblüte, in denen bisher ähnlich hohe Flüsse biogener C-, N- und P-Komponenten gemessen wurden. Diese Phasen sind durch ihre unterschiedliche Artenzusammensetzung deutlich voneinander getrennt und in einzelnen Jahren quantitativ durchaus variabel bis zum völligen Ausfall, wie z.B. die Herbstblüte 1997, die an Station 271 weder im Wasser noch in den Fallen registriert wurde.

Ein interessanter Aspekt für die Bedeutung der einzelnen Elemente in der Exportproduktion ergibt sich beim Vergleich von C/N- und C/P- Verhältnissen im sedimentierenden Material (Abb. 11 und 12). Während sich die höheren Werte beim C/N-Verhältnis im Frühjahr durch die Beimischung resuspendierten refraktären Materials zu geringen Mengen primär absinkender organischer Substanz erklären lassen, kann die Erhöhung des C/P-Verhältnisses im Spätsommer bei relativ konstantem C/N von einer möglichen biologischen Fraktionierung in der Deckschicht herrühren. Die Entwicklung tritt nach den Blüten von diazotrophen Cyanobakterien auf und kann sich daraus ergeben, dass durch biologische Stickstoff-Fixierung nun der Phosphor limitierend wird. Das kann zur Folge haben, dass in den Cyanobakterien das C/P-Verhältnis steigt, was sich im sedimentierenden Material abbildet. Ein gleicher Effekt kann sich jedoch auch dadurch ergeben, dass der Phosphor effektiver aus dem sedimentierenden Material gelöst und in der Deckschicht regeneriert wird. Es gibt aus C/N-Messungen im suspendierten Material der Deckschicht sowie aus Untersuchungen enzymatischer Aktivitäten Hinweise darauf, dass beide Prozesse eine Rolle spielen. Diese Anpassungsmechanismen sind geeignet, die Phase der Stickstofffixierung zu verlängern und die Menge der ‚neuen‘ Produktion in der Ostsee zu erhöhen. Spezifische Untersuchungen zur Abschätzung des durch diese Anpassung erhöhten vertikalen Stoff-Flusses befinden sich in Vorbereitung.

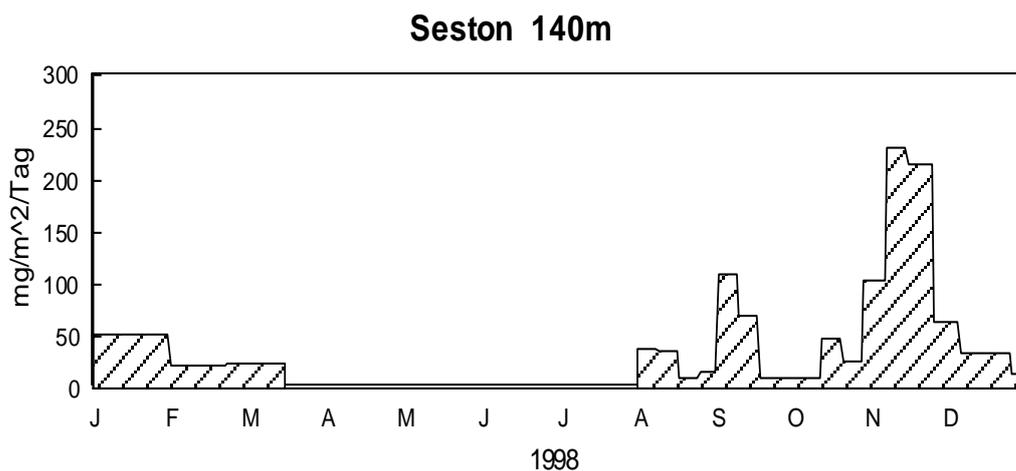


Abb. 6

Tägliche Sedimentationsraten von Seston (Massefluß) im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

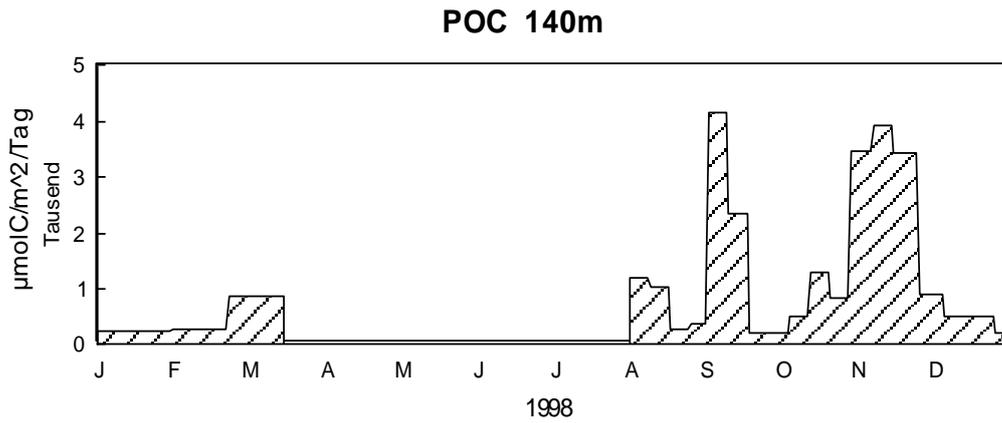


Abb. 7

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem organischem Kohlenstoff im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

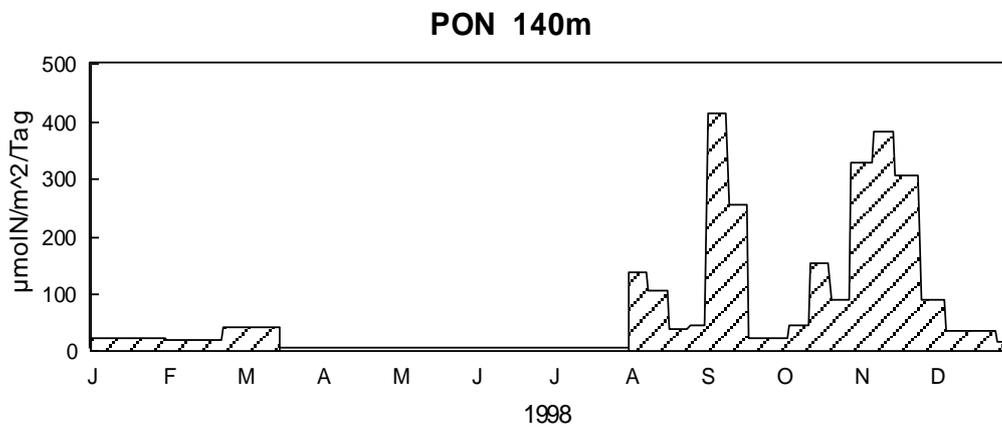


Abb. 8

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem organischem Stickstoff im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

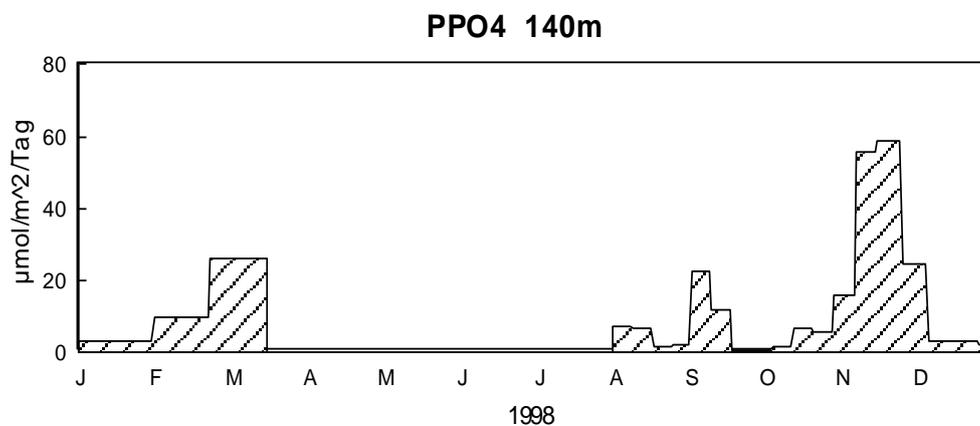


Abb. 9

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem Phosphor im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

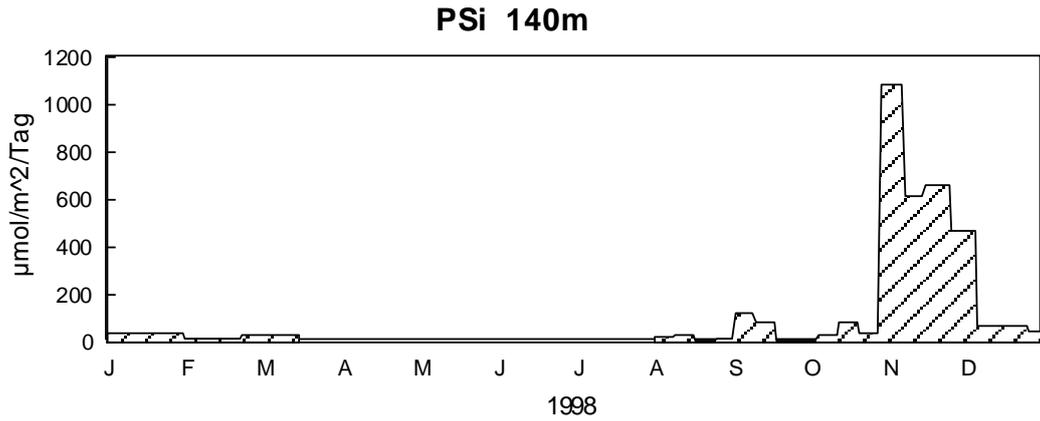


Abb. 10

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem biogenem Silikat im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

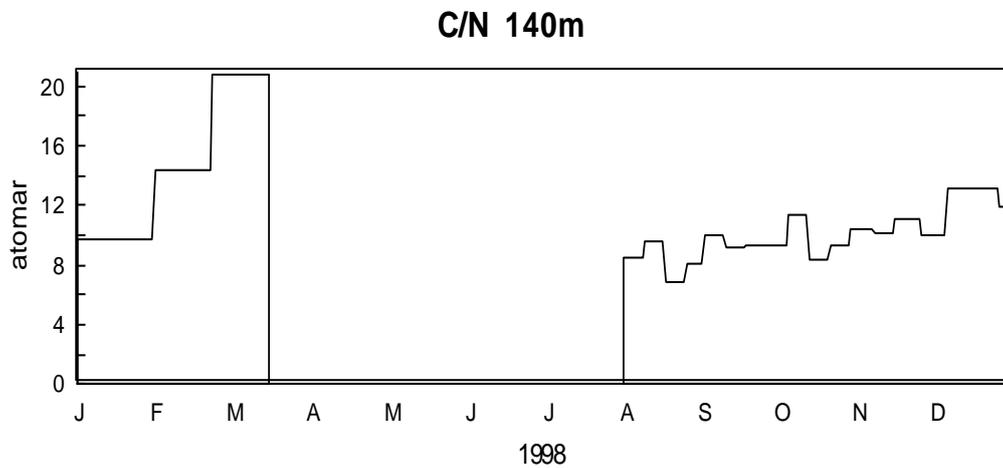


Abb. 11

Atomares Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff in Partikeln im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

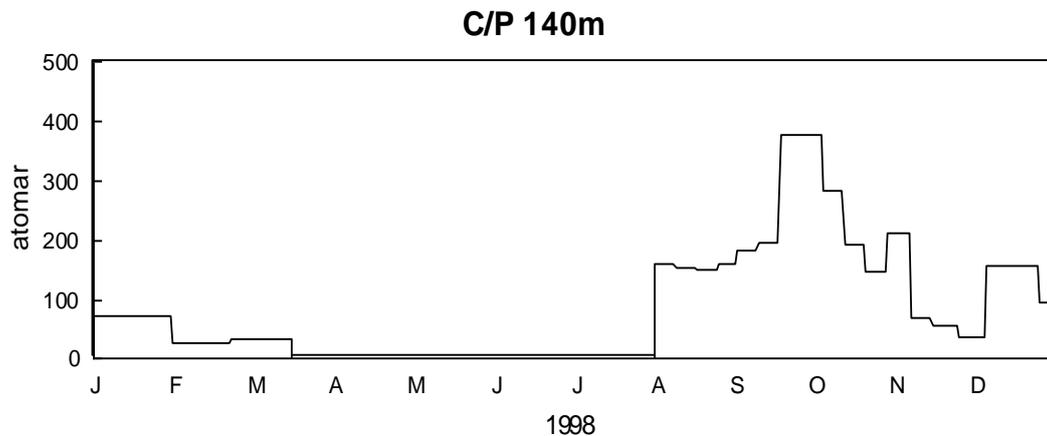


Abb. 12

Atomares Verhältnis von Kohlenstoff zu Phosphor in Partikeln im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 1998.

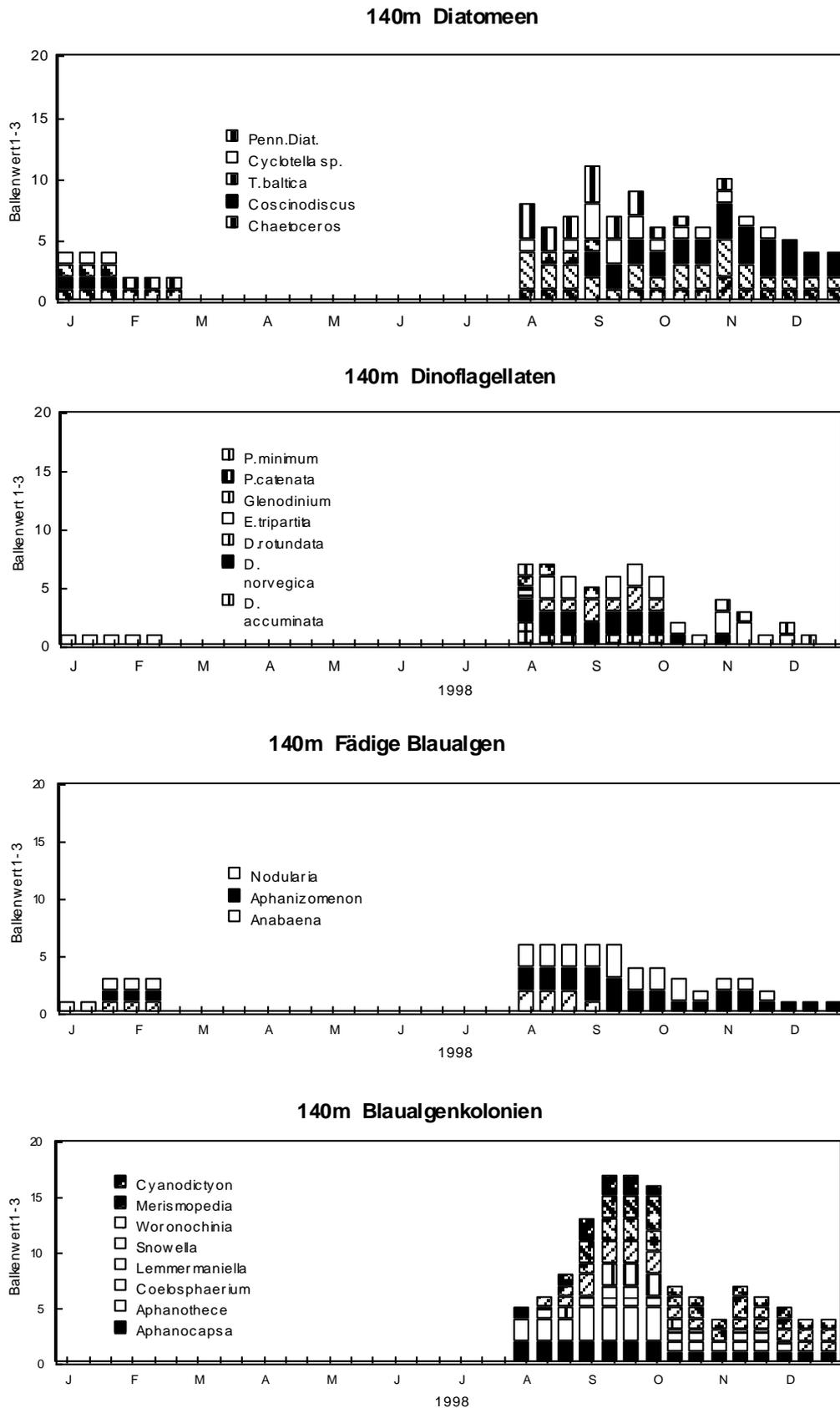


Abb. 13

Relative Häufigkeit einzelner Arten von Diatomeen, Dinoflagellaten sowie fädiger und kolonialer Cyanobakterien im sedimentierenden organischen Material im Jahre 1998.

4.1.3 Jahrgang 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 60 (im Sommer) mg organischem Kohlenstoff der Algen entsprechen (nach GARGAS et al., 1978). 1 mg organischer Kohlenstoff entspricht etwa 9 mg Algen-Frischmasse (EDLER 1979, HELCOM 1988). 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. 2 - 4 dargestellten Jahresgängen der Biomasse. Die gemessenen Werte an den repräsentativen Stationen sind in Abb. 14 – 18 als Dreiecke dargestellt. Gleichzeitig werden die langjährigen Monatsmittel sowie die Einzelwerte der Jahre 1994-1998 gezeigt. Es ist zu erkennen, dass sich die Chlorophyll a - Konzentrationen des Jahres 1999 gut in den allgemeinen Jahresgang einpassen. Abweichend ist allerdings die Vorverlegung der Blüte an Station 213 (Abb. 16). Der Jahresverlauf der Chlorophyll a – und Phaeopigment a - Konzentrationen ist auch aus Tabelle 2 zu entnehmen. Dort sind allerdings die oberen 20 m der Wassersäule berücksichtigt. Alle Chlorophyll a –Mittelwerte der oberen 10 m aus der eigentlichen Ostsee (also ohne Mecklenburger Bucht) des Jahres 1999 sind in Tabelle 3 zu einem Mittelwert zusammengefasst, separiert für die einzelnen Jahreszeiten. Zum Vergleich sind in Tabelle 4 die entsprechenden HELCOM-Daten der Jahre 1994-1998 zusammengestellt. Man erkennt, dass zu jeder Jahreszeit die Chlorophyll a – Konzentration im Vergleich zum vorangegangenen 5-Jahres-Zeitraum angestiegen ist, insbesondere jedoch im Winter. Für weitere Ausführungen zum Chlorophyll-Trend sei auf Kapitel 4.1.5 verwiesen.

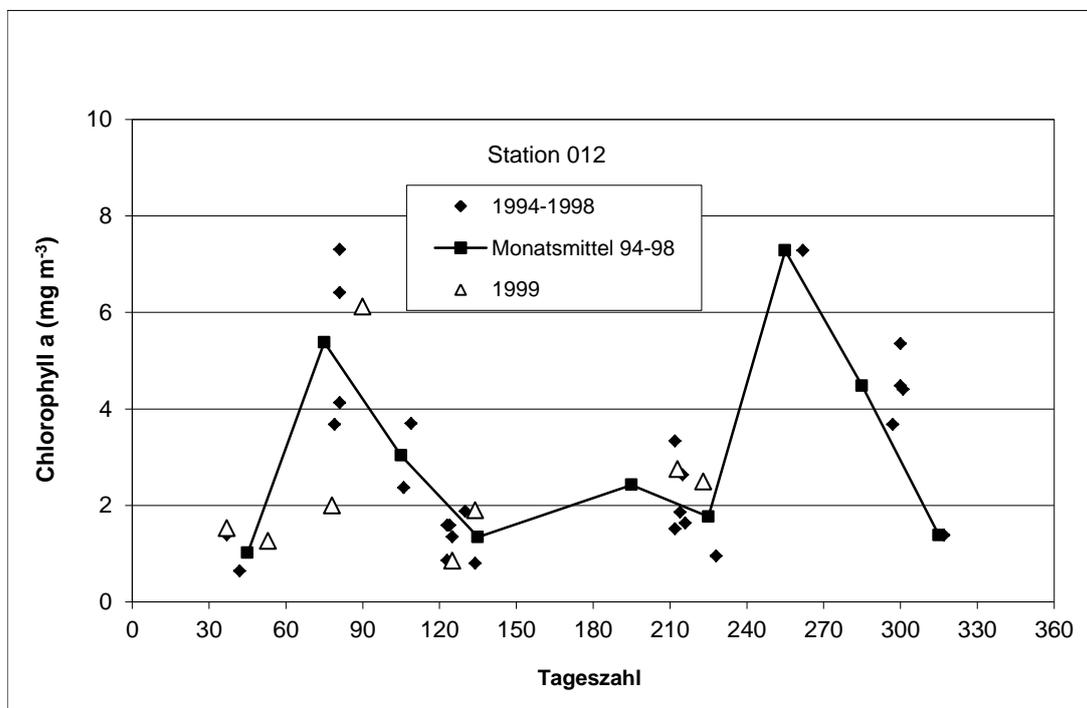


Abb. 14

Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration (Mittelwert über die oberen 10 m der Wassersäule) in der Mecklenburger Bucht (Station 012) von 1994-1998 im Vergleich zu 1999. Die Fünfjahres-Monatsmittel 1994-1998 sind als Linie dargestellt.

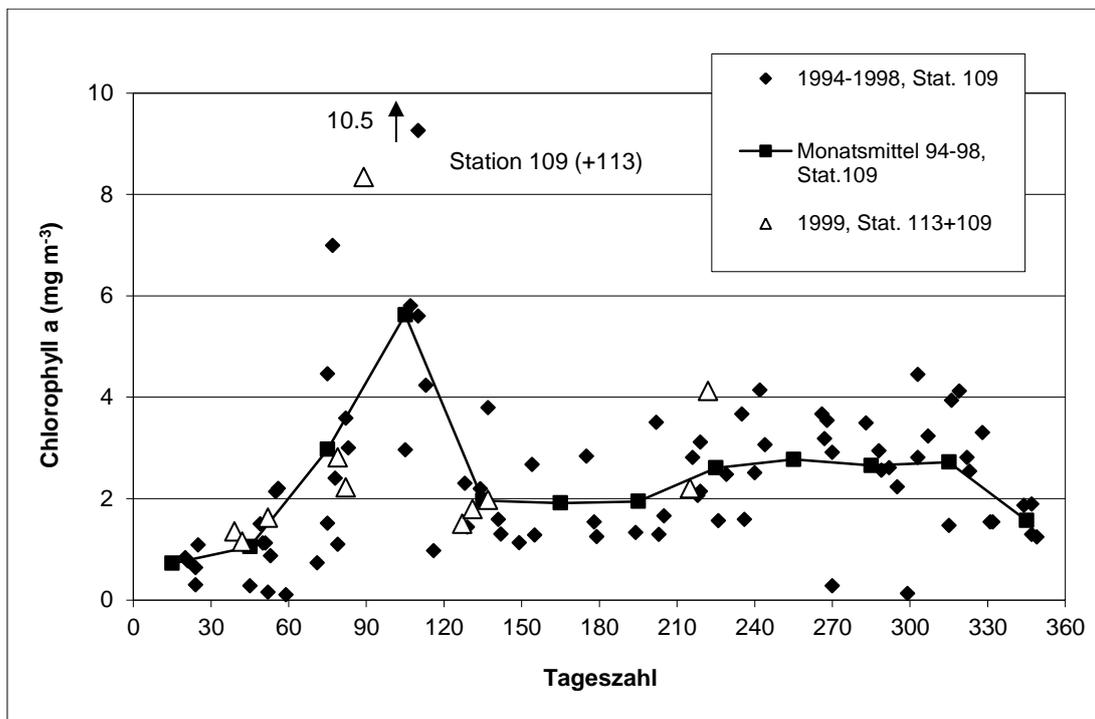


Abb. 15

Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration (Mittelwert über die oberen 10 m der Wassersäule) in der Arkonasee (Station 109) von 1994-1998 im Vergleich zur Station 113 von 1999. Die Fünfjahres-Monatsmittel 1994-1998 sind als Linie dargestellt. Die Daten von 1994-1998 beinhalten auch die schwedischen Daten aus der HELCOM-Datenbank.

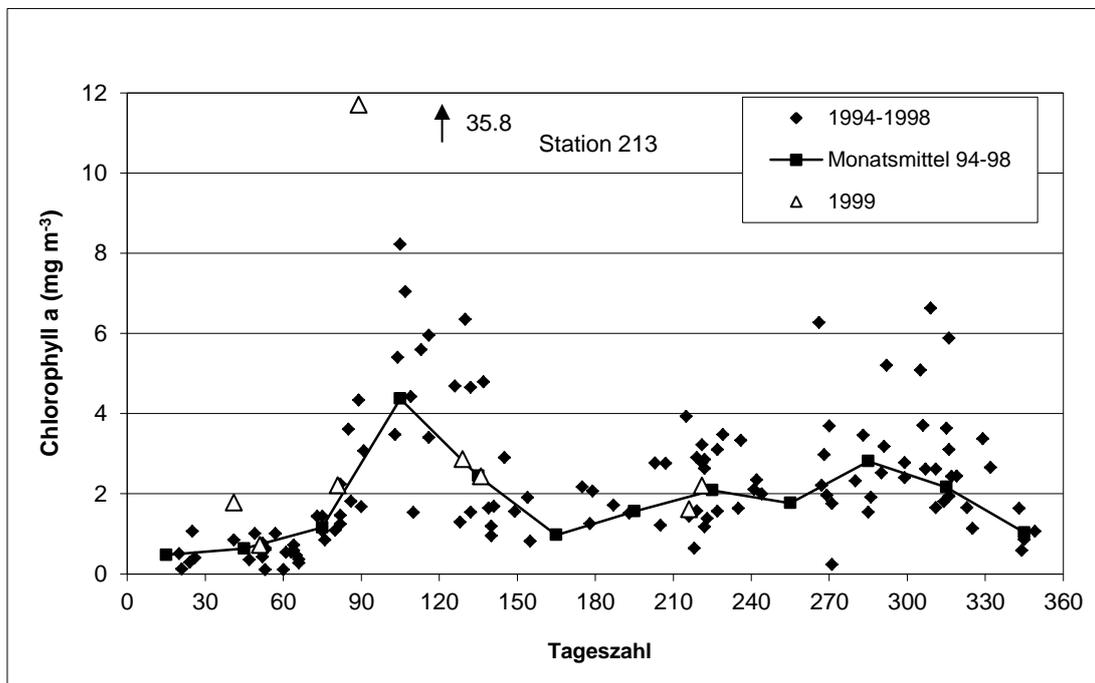


Abb. 16

Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration (Mittelwert über die oberen 10 m der Wassersäule) in der Bornholmsee (Station 213) von 1994-1998 im Vergleich zu 1999. Die Fünfjahres-Monatsmittel 1994-1998 sind als Linie dargestellt. Die Daten von 1994-1998 beinhalten auch schwedische und polnische Daten aus der HELCOM-Datenbank.

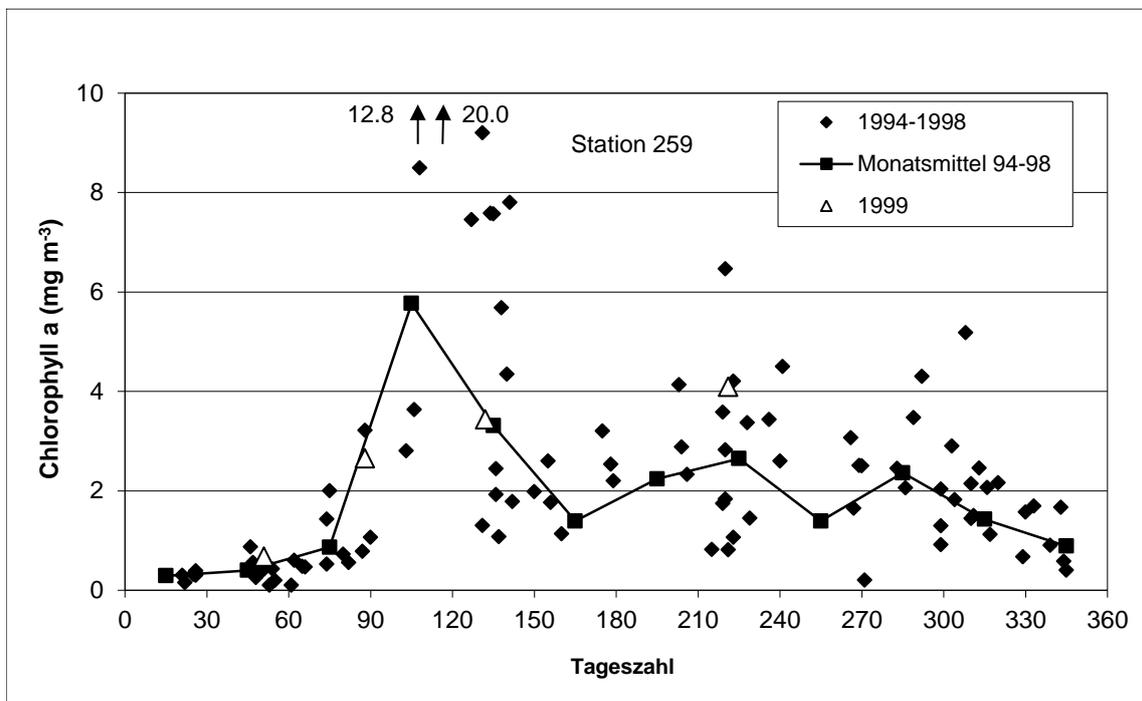


Abb. 17

Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration (Mittelwert über die oberen 10 m der Wassersäule) im südlichen Teil der östlichen Gotlandsee (Station 259) von 1994-1998 im Vergleich zu 1999. Die Fünffjahres-Monatsmittel 1994-1998 sind als Linie dargestellt. Die Daten von 1994-1998 beinhalten auch die schwedischen und litauischen Daten aus der HELCOM-Datenbank.

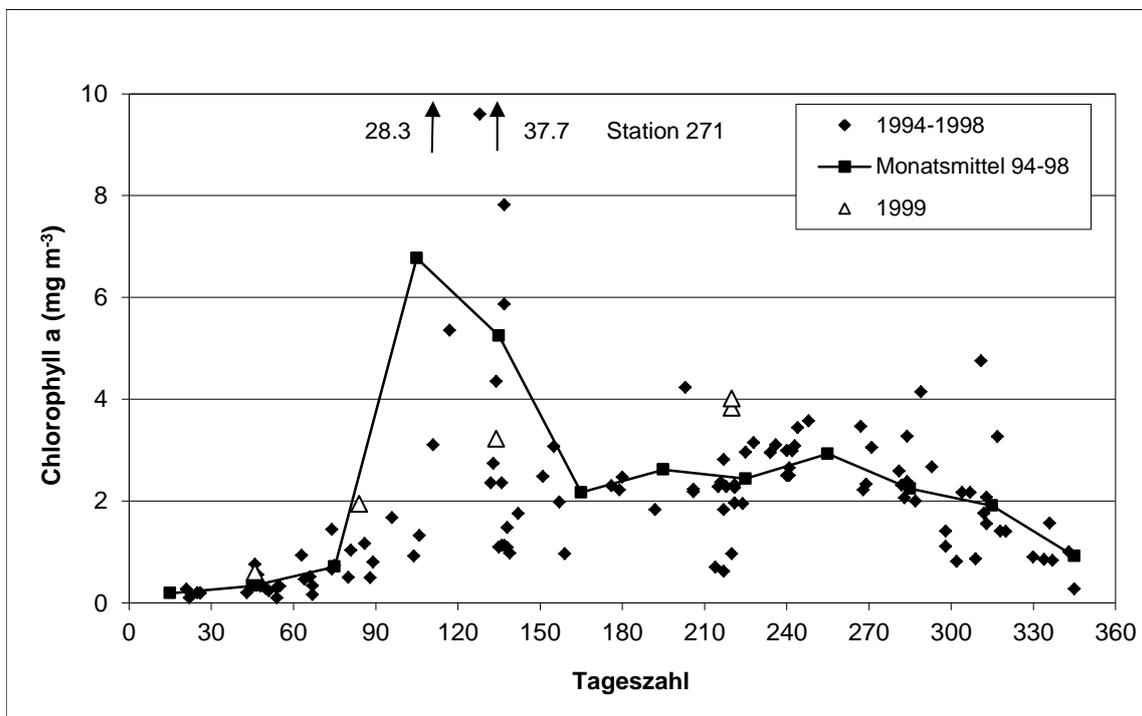


Abb. 18

Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration (Mittelwert über die oberen 10 m der Wassersäule) in der östlichen Gotlandsee (Station 271) von 1994-1998 im Vergleich zu 1999. Die Fünffjahres-Monatsmittel 1994-1998 sind als Linie dargestellt. Die Daten von 1994-1998 beinhalten auch die schwedischen und litauischen Daten aus der HELCOM-Datenbank.

Tabelle 2: Mittlere Konzentrationen von Chlorophyll a und Phaeopigment a (in mg m^{-3}) 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	18.3.99	11,11	1,12	113	8.2.99	1,32	0,50
360	5.5.99	1,47	0,82	113	21.2.99	1,52	0,45
360	30.7.99	2,52	2,45	113	20.3.99	2,71	0,16
12	6.2.99	1,46	0,95	113	30.3.99	8,34	0,01
12	22.2.99	1,13	0,42	113	7.5.99	1,47	0,09
12	19.3.99	1,76	0,56	113	17.5.99	2,03	0,51
12	31.3.99	6,98	1,09	113	2.8.99	2,13	1,04
12	5.5.99	0,95	0,66	113	9.8.99	3,01	2,22
12	17.5.99	1,83	2,19	OB	12.2.99	2,49	1,21
12	31.7.99	2,68	1,06	OB	23.3.99	7,52	1,10
12	9.8.99	1,76	0,71	OB	10.5.99	4,08	2,83
22	31.7.99	2,96	0,96	OB	3.8.99	2,40	1,34
O5	31.7.99	3,51	1,08	213	10.2.99	1,62	0,17
46	7.2.99	1,10	0,87	213	20.2.99	0,75	0,22
46	22.2.99	0,97	0,48	213	22.3.99	2,11	0,19
46	19.3.99	1,16	0,34	213	30.3.99	8,49	0,20
46	30.3.99	4,45	0,56	213	9.5.99	2,80	0,03
46	6.5.99	1,22	0,59	213	16.5.99	1,98	0,04
46	17.5.99	1,11	1,10	213	3.8.99	1,59	0,84
46	31.7.99	1,86	1,08	213	9.8.99	2,14	1,00
46	9.8.99	1,16	0,79	259	20.2.99	0,70	0,14
30	7.2.99	1,55	0,67	259	29.3.99	2,22	0,21
30	22.2.99	1,25	0,47	259	12.5.99	3,35	0,10
30	19.3.99	1,89	0,27	259	8.8.99	3,87	0,85
30	30.3.99	6,81	0,18	271	15.2.99	0,59	0,15
30	7.5.99	1,21	0,23	271	25.3.99	1,86	0,13
30	17.5.99	2,21	1,14	271	14.5.99	3,09	0,25
30	31.7.99	1,16	0,73	271	7.8.99	3,23	0,74
30	2.8.99	1,32	0,69	271	7.8.99	3,33	0,73
30	9.8.99	1,78	1,26				
109	11.2.99	0,97	0,19				
109	23.3.99	2,09	0,28				
109	11.5.99	1,64	0,27				

Tabelle 3: Mittelwert, Standardabweichung und Anzahl der Proben aller Chlorophyll a- Daten des Monitoring-Programms des IOW von 1999 aus der eigentlichen Ostsee, jeweils Mittelwerte der oberen 10 m, separat für Winter (Jan-Feb), Frühjahr (März-Apr) und Sommer (Juni-Sep).

	Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl der Proben
Winter	1,36	0,63	10
Frühjahr	3,87	3,04	20
Sommer	2,66	1,12	11

Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung und Anzahl der Proben aller Chlorophyll a- Daten der HELCOM-Datenbank aus der eigentlichen Ostsee für die Jahre 1994-1998, jeweils Mittelwerte der oberen 10 m, separat für Winter (Jan-Feb), Frühjahr (März-Apr), Sommer (Juni-Sep) und Herbst (Okt-Dez).

	Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl der Proben
Winter	0,53	0,47	126
Frühjahr	3,38	4,35	320
Sommer	2,51	1,25	342
Herbst	2,07	1,28	231

4.1.4 Langzeittrend der Artenzusammensetzung

Mit dem Jahre 1999 wurde die Datenreihe des HELCOM-Monitoring bereits 21 Jahre lang. 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 1999 konnten bisher nur die eigenen Daten verwendet werden. Unter Verwendung der genannten Daten ergeben sich die in Abb. 19 bis 23 dargestellten Entwicklungen der Phytoplanktonbiomasse und -zusammensetzung von 1979 bis 1999 in den verschiedenen Seegebieten und zu den einzelnen Jahreszeiten. Die starken Schwankungen der absoluten Biomassen sind methodisch bedingt und erlauben keine Trenduntersuchungen. 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. 19 - 23 nur die relative Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft 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. 20 b - 23 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 ließen sich speziell bei der Frühjahrsblüte bereits zum Ende der 80er Jahre feststellen. In der Bornholmsee und südlichen Gotlandsee setzten 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. Diese bereits von WASMUND et al. (1998 b) beschriebene Tendenz verstärkte sich im Jahre 1999 noch. Wir fanden eine Zunahme der Dinoflagellaten auf Kosten der Kieselalgen in der Zeit der Frühjahrsblüte nun schon in der Arkonasee (vgl. Abb. 2 c und 3 a). Der Rückgang der Kieselalgen kann mit der verringerten Silikatzehung in Verlaufe des Frühjahrs bestätigt werden (Säulendarstellung in Abb. 24). Silikat wird nur von den Kieselalgen benötigt und nimmt deshalb im Wasser analog zum Kieselalgenwachstum ab. An der zentralen Station der Arkonasee (Stat. 113) nahm die Silikat-Konzentration vom 23.3. zum 30.3.99 von $14,0 \text{ mmol m}^{-3}$ (0-10 m) auf nur $12,55 \text{ mmol m}^{-3}$ (0-5 m) bzw. $10,4 \text{ mmol m}^{-3}$ (10-15 m) ab. Bis zum 7.5.99 regenerierte sich die Silikat-Konzentration in den oberen 10 m sogar wieder auf $12,3 \text{ mmol m}^{-3}$, wobei am 7.5.99 absolut keine Kieselalgen mehr nachzuweisen waren. Erstaunlicherweise verringerte sich die Silikatkonzentration (0-10 m) dann zum 17.5.99 auf $7,6 \text{ mmol m}^{-3}$ bei einem vergleichsweise geringen Wachstum der Kieselalgen *Thalassiosira levanderi* (16 mg m^{-3}) und *Chaetoceros simplex* (12 mg m^{-3}).

Generell sollte man vermuten, dass das gerade in der Bornholmsee und Gotlandsee im Sommer noch reichlich vorhandene Silikat dann von Kieselalgen verwendet wird. Es bleibt dort aber weitgehend ungenutzt, da Stickstoff der limitierende Nährstoff ist (deshalb dort die Blüten stickstoff-fixierender Cyanobakterien). Erst im Herbst kommt es in den östlicheren Seegebieten zu einer Kieselalgenblüte. Im Jahre 1999 fanden wir aber erstmalig in der Bornholmsee eine sommerliche Kieselalgenblüte, die hauptsächlich von dem sonst erst im Herbst blütenbildenden *Coscinodiscus granii* gebildet wurde. Dementsprechend ging die Silikat-Konzentration an Station 213 von $13,1 \text{ mmol m}^{-3}$ (am 16.5.99) auf $7,8 \text{ mmol m}^{-3}$ (am 9.8.99) zurück.

In der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee, wo schon im Frühjahr starke Kieselalgenblüten auftreten, kommt es im allgemeinen im Sommer zu einer nochmaligen Kieselalgenblüte, insbesondere von *Dactyliosolen fragilissimus*. Das konnten wir auch 1999 zumindest für die Mecklenburger Bucht und den westlichen Teil der Arkonasee bestätigen (vgl. Abb. 2 a-c). Beispielsweise verringerte sich die Silikat-Konzentration an Station 012 vom 17.5. zum 31.7.99 noch weiter: in 0-5 m Tiefe von $6,35$ auf $4,6 \text{ mmol m}^{-3}$ und in 10-15 m Tiefe von $5,0$ auf $2,4 \text{ mmol m}^{-3}$. In der zentralen Arkonasee war das Bild im Jahre 1999 differenziert: An Station 109 und 069 konnte ein Kieselalgenwachstum nachgewiesen werden. Dementsprechend ging die Silikat-Konzentration in den oberen 10 m der Wassersäule bis Anfang August zurück auf $3,65 \text{ mmol m}^{-3}$ (Stat. 109) bzw. $4,8 \text{ mmol m}^{-3}$ (Stat. 069). An Station 113 zeigte sich nur ein geringes Kieselalgenwachstum (vgl. Abb. 3 a) und ein Rückgang der Silikat-Konzentration im Vergleich zum 17.5.99 um nur $0,3 \text{ mmol m}^{-3}$ auf $7,3 \text{ mmol m}^{-3}$.

Wegen der natürlichen Variabilität der Artenzusammensetzung von Jahr zu Jahr ist es schwer, dauerhafte Veränderungen auf Artebene nachzuweisen. In Fortschreibung der Tabellen der häufigsten Phytoplankton-Arten im Anhang des letztjährigen Berichts (WASMUND et al., 1999),

werden in Tabelle 5 die 10 häufigsten Arten pro Seegebiet und Jahreszeit aufgelistet. Dabei fällt eine gravierende Veränderung auf: die starke Zunahme des photosynthetischen Ciliaten *Myrionecta rubra*. Wenn wir ihn zum Phytoplankton hinzurechnen, ist er in den meisten Seegebieten die dominierende Art. *Myrionecta rubra* ist in der Ostsee zwar keine neue Art, trat bisher aber nie in diesen Massen auf.

Es muß hier aber angemerkt werden, dass die starke Zunahme von *Myrionecta rubra* im Wesentlichen nur die Biomasse betrifft, während die Abundanz kaum zugenommen hat (Tabelle 6). Ab März 1999 wurde eine starke Zunahme großer Individuen registriert. Während die Individuen bis 1998 mit durchschnittlich 18x13 µm sehr klein waren, trat ab März 1999 auch die Größenklasse 55x40 µm hinzu, die ein 20 mal größeres Individualvolumen hat als die kleineren Vertreter. Daher kommt es trotz der nur vergleichsweise geringen Zunahme der Abundanz um 60 % zu einem enormen Anstieg der Biomasse auf das 14-fache von 1998 zu 1999.

Einige Arten, wie der toxische Dinoflagellat *Prorocentrum minimum*, scheinen sich langfristig stärker zu entwickeln. In Proben des Küsten-Monitorings des IOW an der Seebrücke Heiligendamm sowie in den von Dänemark zur Verfügung gestellten Monitoringproben aus der Mecklenburger Bucht konnte im Oktober 1999 eine Blüte der potentiell toxischen Kieselalge *Pseudo-nitzschia pungens* ermittelt werden, die in den vorherigen Jahren noch nicht in dieser Massenentwicklung beobachtet wurde.

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. 25 a), die aber für eine Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von 0,05 noch nicht signifikant ist (t-Test). Der schwache Anstieg der Werte der Arkonasee (Abb. 25 b) ist wegen der hohen Anzahl an Meßwerten sogar für p = 0,01 noch signifikant. In der Bornholmsee war der Anstieg bis 1997 für p = 0,05 signifikant. Bei Einbeziehung der Daten von 1988 und 1999 ist er nicht mehr signifikant. Das könnte für eine Trendumkehr sprechen (Abb. 26 a). In der östlichen Gotlandsee (Stat. 271, siehe Abb. 26 b) ist der Trend nach wie vor nicht signifikant.

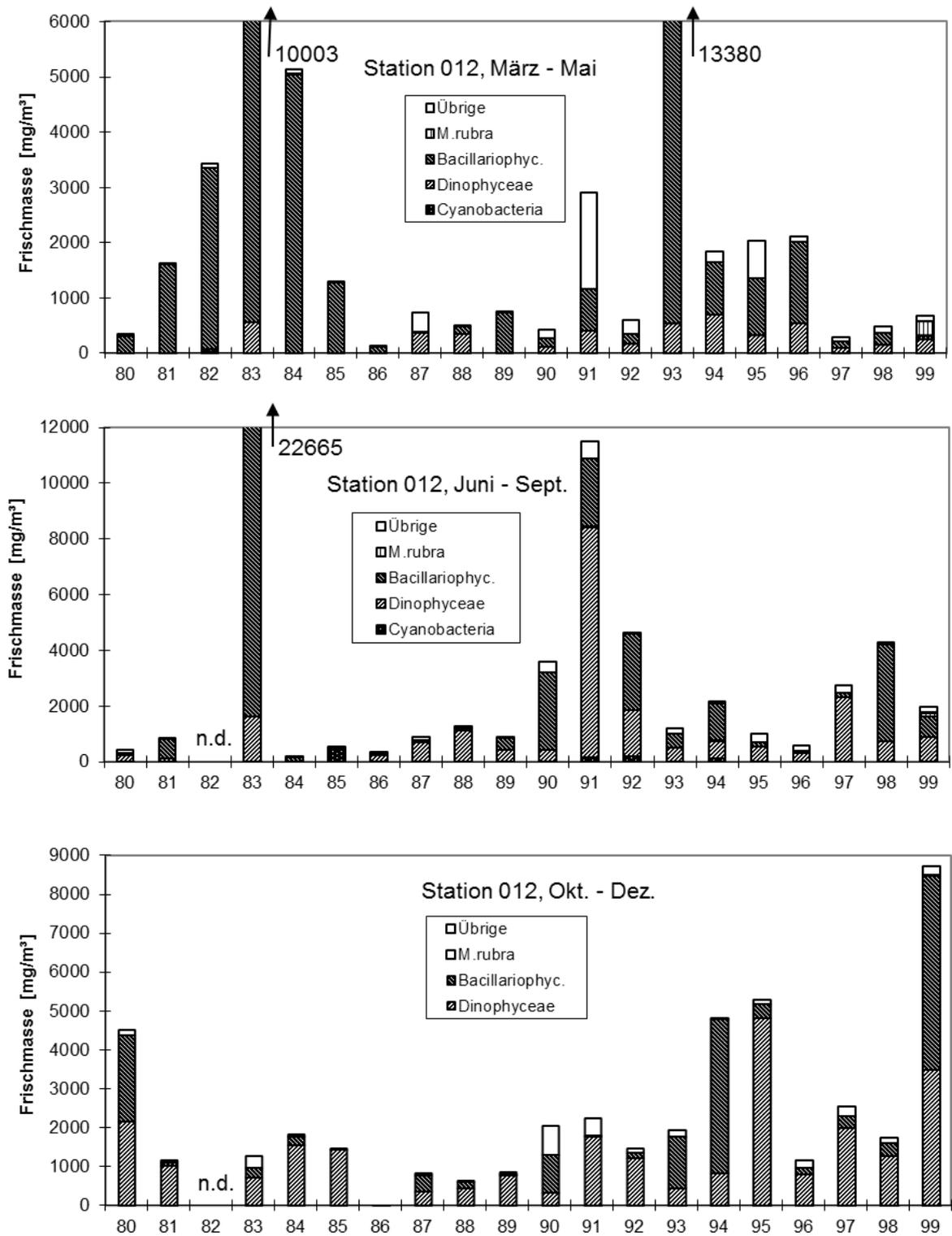


Abb. 19

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1999, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012). Bis 1998 wurde *Myrionecta rubra* unter „Übrige“ geführt.

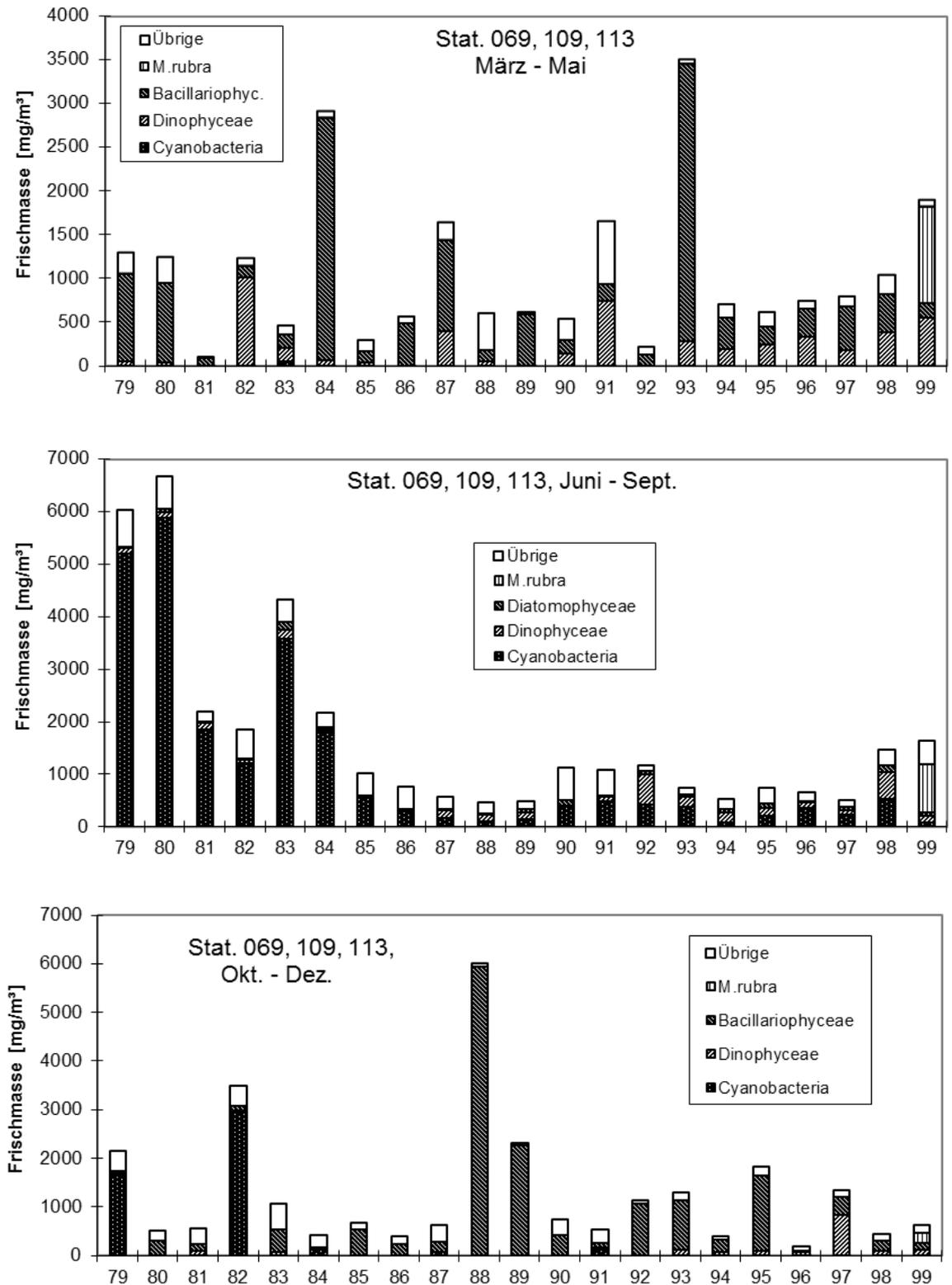


Abb. 20

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1999, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Arkonasee (Stat. 069, 109 und 113 zusammengefaßt). Bis 1998 wurde *Myrionecta rubra* unter „Übrige“ geführt.

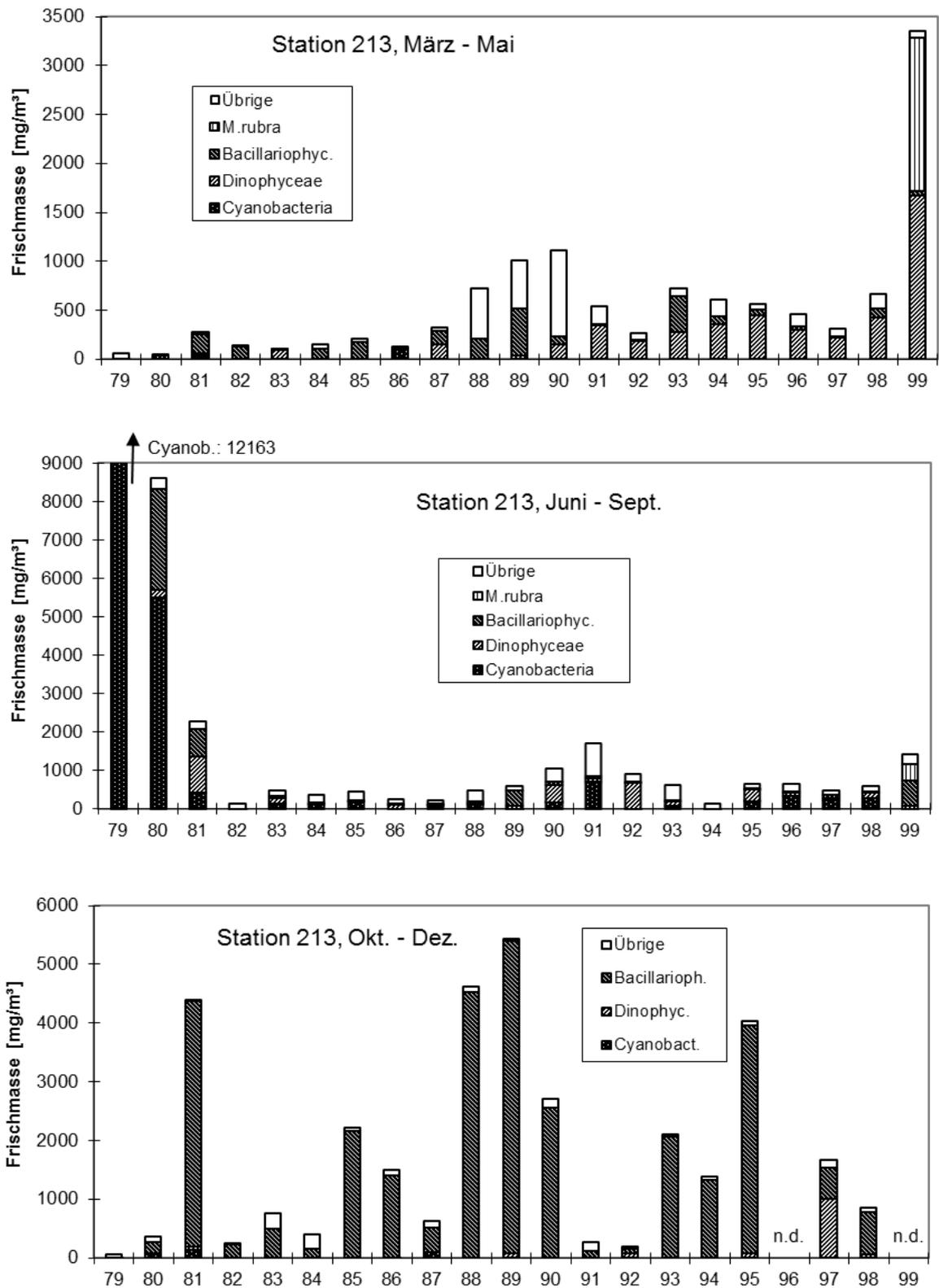


Abb. 21

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1999, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Bornholmsee (Stat. 213). Bis 1998 wurde *Myrionecta rubra* unter „Übrige“ geführt.

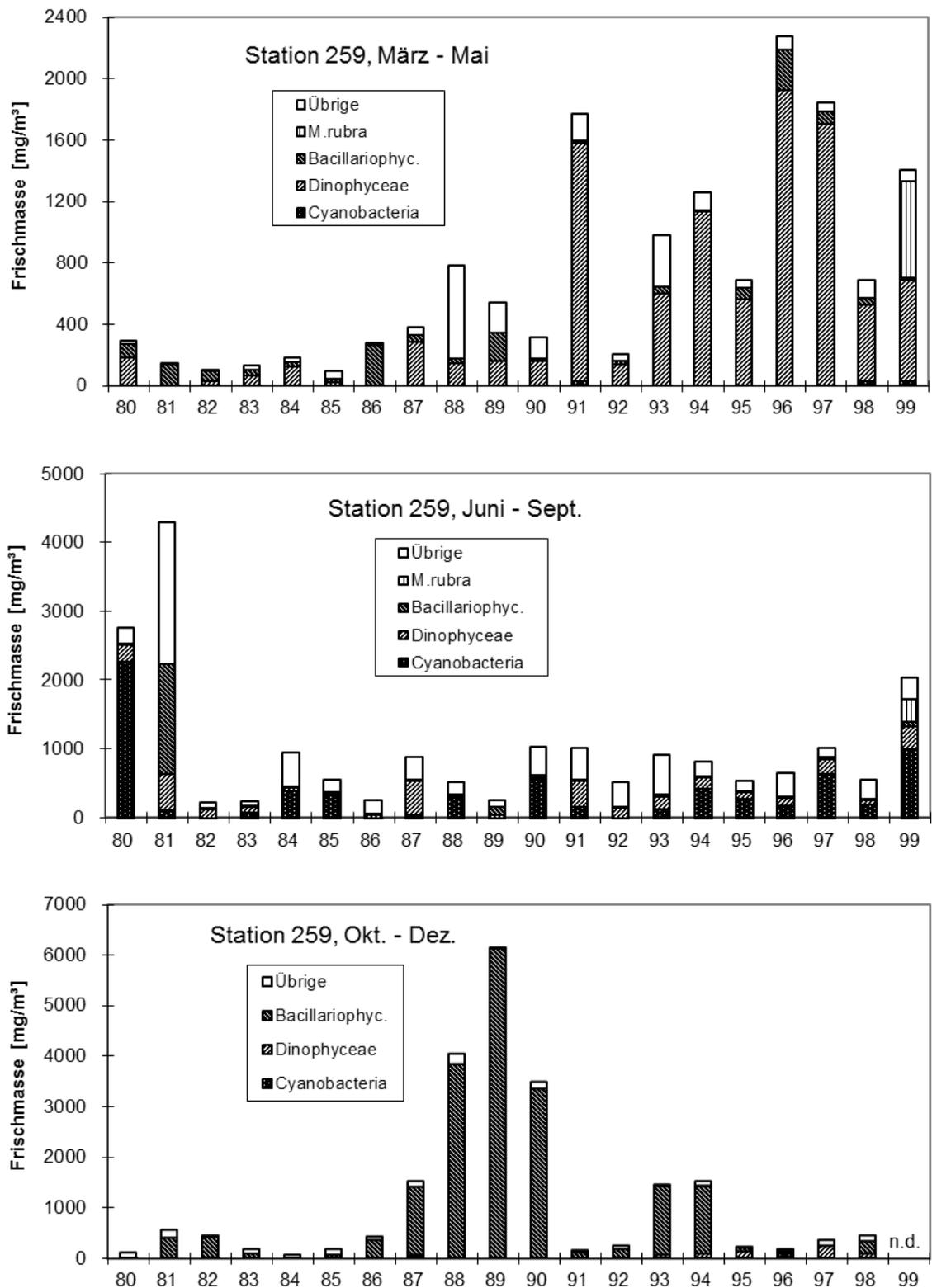


Abb. 22

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1999, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der südlichen Gotlandsee (Stat. 259). Bis 1998 wurde *Myrionecta rubra* unter „Übrige“ geführt.

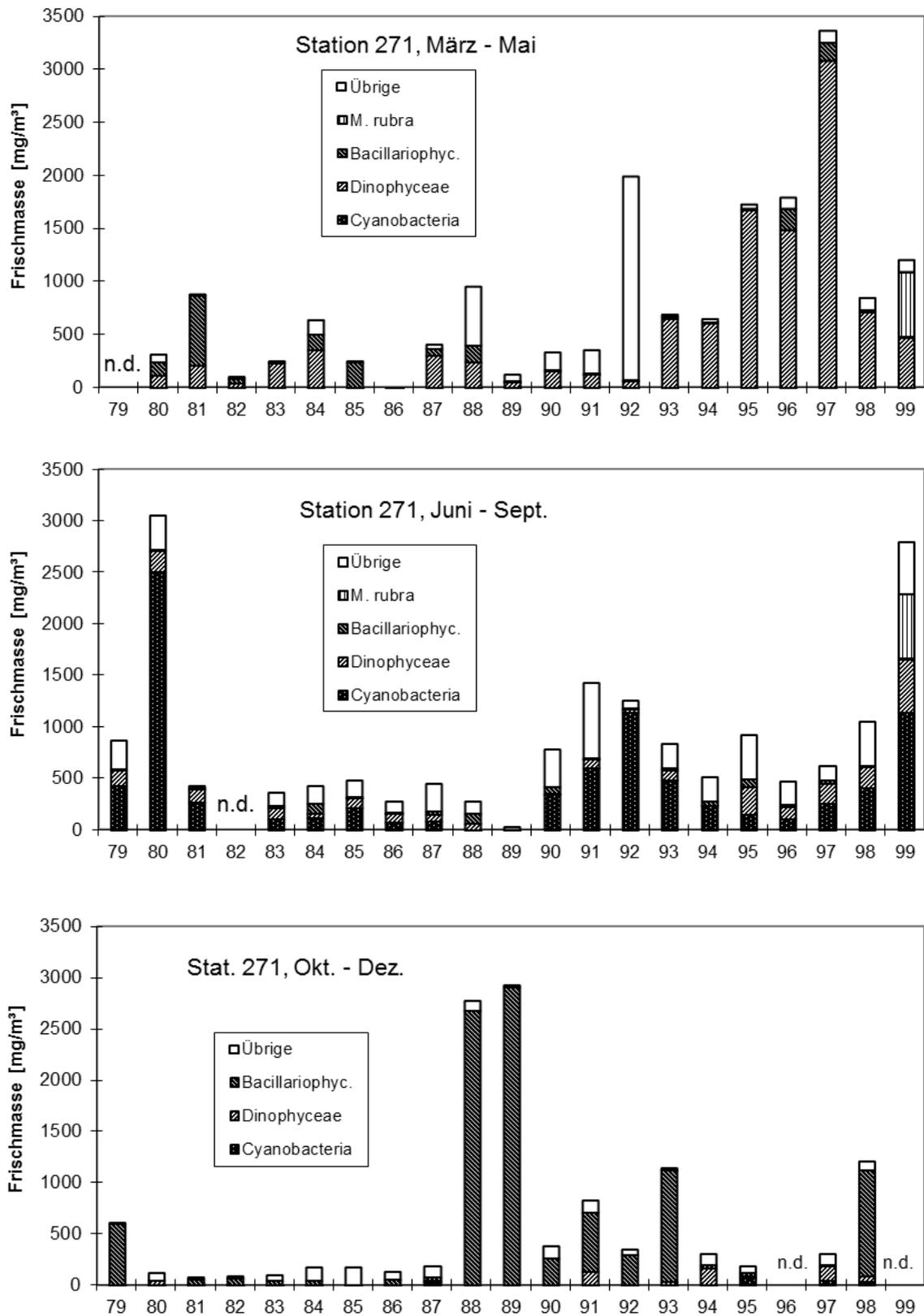


Abb. 23

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1999, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der östlichen Gotlandsee (Stat.271). Bis 1998 wurde *Myrionecta rubra* unter „Übrige“ geführt.

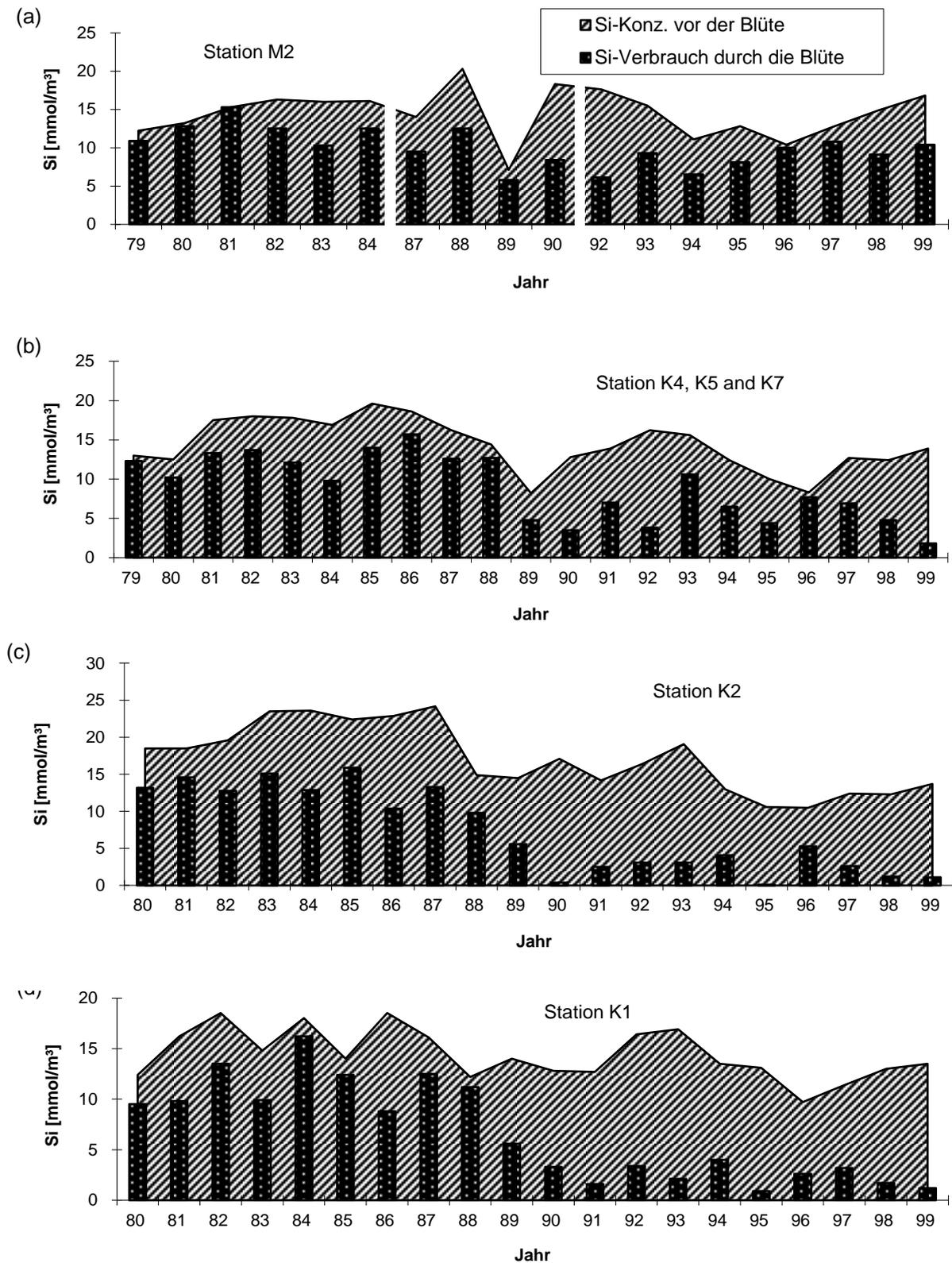


Abb. 24

Silikatkonzentration im Oberflächenwasser vor der Frühjahrsblüte (Linie) und Verringerung der Silikatkonzentration während der Blüte (Säulen) von 1980 bis 1999 in (a) der Mecklenburger Bucht, (b) der Arkonasee, (c) der Bornholmsee und (d) der südlichen Gotlandsee in 0-10 m Tiefe (nach Daten von NAUSCH, unveröff.).

Tabelle 5: Die 10 wichtigsten Phytoplankton-Arten (in Prozent der Phytoplankton-Biomasse) in den oberen 10 m der Wassersäule im Frühjahr und Sommer 1999 in den verschiedenen Seegebieten (Fortschreibung der Tabellen von WASMUND et al., 1999, Anhang)

Fortsetzung auf Seite 44 !

Frühjahr (März-Mai)	(%)	Sommer (Juni-September)	(%)
Mecklenburger Bucht			
<i>Myrionecta rubra</i>	47,6	<i>Ceratium tripos</i>	18,0
<i>Gymnodinium cf. lohmannii</i>	10,4	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	16,6
<i>Thalassiosira levanderi</i>	5,2	<i>Myrionecta rubra</i>	15,3
<i>Chaetoceros subtilis</i>	4,4	<i>Gymnodinium cf. lohmannii</i>	10,3
<i>Planktothrix agardhii</i>	3,1	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	5,5
<i>Teleaulax acuta</i>	2,7	<i>Aphanizomenon sp.</i>	3,5
<i>Heterocapsa rotundata</i>	1,8	<i>Plagioselmis prolunga</i>	2,4
<i>Scrippsiella hangoei</i>	1,5	<i>Gymnodinium sp.</i>	2,2
<i>Gymnodinium sp.</i>	1,4	<i>Cerataulina pelagica</i>	1,7
<i>Skeletonema costatum</i>	1,3	<i>Eutreptiella sp.</i>	1,6
Arkonasee			
<i>Myrionecta rubra</i>	57,6	<i>Myrionecta rubra</i>	48,6
<i>Gymnodinium cf. lohmannii</i>	8,0	<i>Pyramimonas sp.</i>	6,6
<i>Gymnodinium sp.</i>	6,6	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	5,2
<i>Protoperidinium pallidum</i>	4,8	<i>Aphanizomenon sp.</i>	3,7
<i>Skeletonema costatum</i>	2,8	<i>Plagioselmis prolunga</i>	2,9
<i>Thalassiosira levanderi</i>	2,0	<i>Gymnodinium cf. lohmannii</i>	2,7
<i>Scrippsiella hangoei</i>	1,4	<i>Coscinodiscus granii</i>	1,9
<i>Chaetoceros wighamii</i>	1,4	<i>Tetraselmis sp.</i>	1,9
<i>Peridiniella catenata</i>	1,0	<i>Eutreptiella sp.</i>	1,3
<i>Chaetoceros subtilis</i>	0,9	<i>Ceratium tripos</i>	1,1
Pommersche Bucht ¹⁾			
<i>Myrionecta rubra</i>	52,6	<i>Myrionecta rubra</i>	55,3
<i>Skeletonema subsalsum</i>	7,0	<i>Gymnodinium cf. lohmannii</i>	21,8
<i>Teleaulax acuta</i>	4,9	<i>Pyramimonas sp.</i>	2,0
<i>Plagioselmis prolunga</i>	3,2	<i>Pseudanabaena sp.</i>	1,9
<i>Eutreptiella sp.</i>	2,2	<i>Coscinodiscus granii</i>	1,8
<i>Pediastrum sp.</i>	1,8	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	1,4
<i>Chaetoceros wighamii</i>	1,8	<i>Thalassiosira levanderi</i>	1,2
<i>Skeletonema costatum</i>	1,7	<i>Skeletonema subsalsum</i>	1,2
<i>Achnanthes taeniata</i>	1,6	<i>Skeletonema costatum</i>	0,8
<i>Scenedesmus sp.</i>	1,6	<i>Prorocentrum minimum</i>	0,5

Bornholmsee			
<i>Myrionecta rubra</i>	56,9	<i>Myrionecta rubra</i>	30,4
<i>Gymnodinium</i> sp.	20,2	<i>Coscinodiscus granii</i>	22,0
<i>Peridiniella catenata</i>	6,0	<i>Plagioselmis prolonga</i>	6,4
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>lohmannii</i>	4,9	<i>Gymnodinium</i> sp.	5,5
<i>Glenodinium</i> sp.	1,2	<i>Teleaulax acuta</i>	3,9
<i>Thalassiosira levanderi</i>	1,0	<i>Actinocyclus octonarius</i>	3,2
<i>Teleaulax acuta</i>	0,6	<i>Teleaulax amphioxeia</i>	2,7
<i>Heterocapsa rotundata</i>	0,6	<i>Pyramimonas</i> sp.	2,7
<i>Eutreptiella</i> sp.	0,5	<i>Tetraselmis</i> sp.	1,9
<i>Chaetoceros wighamii</i>	0,4	<i>Aphanizomenon</i> sp.	1,5
Östliche Gotlandsee			
<i>Myrionecta rubra</i>	49,6	<i>Myrionecta rubra</i>	19,0
<i>Peridiniella catenata</i>	10,8	<i>Nodularia spumigena</i>	17,4
<i>Gymnodinium</i> sp.	10,5	<i>Pseudanabaena</i> sp.	13,3
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>lohmannii</i>	5,2	<i>Gymnodinium</i> sp.	9,3
<i>Eutreptiella</i> sp.	3,2	<i>Plagioselmis prolonga</i>	5,3
<i>Glenodinium</i> sp.	2,9	<i>Lemmermanniella pallida</i>	4,2
<i>Scrippsiella hangoei</i>	2,7	<i>Aphanizomenon</i> sp.	3,7
<i>Heterocapsa rotundata</i>	2,0	<i>Protoperidinium pallidum</i>	2,6
<i>Planktothrix agardhii</i>	1,5	<i>Pyramimonas</i> sp.	1,6
<i>Dinophysis norvegica</i>	1,0	<i>Pseudopedinella elastica</i>	1,4

¹⁾ Der heterotrophe Dinoflagellat *Ebria tripartita* würde in der Pommerschen Bucht im Frühjahr 27,5 % der Biomasse ausmachen, wenn die Heterotrophen zur Phytoplankton-Biomasse zugerechnet worden wären.

Tabelle 6: Biomasse und Abundanz von *Myrionecta rubra* in den Jahren 1998 und 1999 an den einzelnen Stationen und zu den verschiedenen Jahreszeiten. Zum einfacheren Vergleich der beiden Jahre sind die Mittelwerte von Januar bis September für die einzelnen Stationen ebenfalls gegenübergestellt sowie Mittelwerte über alle aufgeführte Stationen errechnet. PB = Pommersche Bucht (in 1998 Stationen 133, 160, OB4; in 1999 Station OB). Fortsetzung auf Seite 45 !

Stat	Monate	Saison-Mittelwerte				Mittelwert Jan-Sept			
		1998 Biomasse (mg/m ³)	1998 Abundanz (Zellen/l)	1999 Biomasse (mg/m ³)	1999 Abundanz (Zellen/l)	1998 Biomasse (mg/m ³)	1998 Abundanz (Zellen/l)	1999 Biomasse (mg/m ³)	1999 Abundanz (Zellen/l)
360	Jan-Feb	4,2	1885	7,5	3380	16,0	7155	130,9	7665
	Mär-Mai	38,8	17369	222,8	12855				
	Jun-Sep	4,9	2210	162,4	6760				
	Okt-Dez	11,3	5053						

12	Jan-Feb	44,0	19713	28,9	12955	25,2	11299	168,8	12501
	Mär-Mai	8,9	3967	261,4	10129				
	Jun-Sep	22,8	10218	216,0	14419				
	Okt-Dez	35,5	15918						
22	Jan-Feb	24,3	10858	10,0	4485	16,2	7210	138,8	7380
	Mär-Mai	15,2	6657	224,4	9659				
	Jun-Sep	9,2	4115	181,9	7995				
	Okt-Dez	21,2	9483						
46	Jan-Feb	46,5	20818	23,6	10546	33,3	14928	249,9	15251
	Mär-Mai	26,5	11853	514,6	18160				
	Jun-Sep	27,0	12113	211,6	17047				
	Okt-Dez	29,7	13323						
30	Jan-Feb	41,6	18639	62,7	28095	36,6	16399	441,1	28891
	Mär-Mai	42,8	19204	826,8	25093				
	Jun-Sep	25,3	11353	433,9	33484				
	Okt-Dez	23,4	10486						
69, 113	Jan-Feb	18,0	8088	50,1	22444	41,2	18480	823,5	39847
	Mär-Mai	83,6	37500	1232,0	36848				
	Jun-Sep	22,0	9851	1188,5	60250				
	Okt-Dez	23,9	12204						
PB	Jan-Feb	29,0	15578	43,2	19355	43,6	20420	1092,5	46613
	Mär-Mai	72,4	32457	2151,1	54402				
	Jun-Sep	29,5	13225	1083,3	66081				
	Okt-Dez	52,8	23678						
213	Jan-Feb	12,9	5780	33,3	14919	22,8	10221	674,0	30162
	Mär-Mai	40,1	17957	1563,5	46506				
	Jun-Sep	15,5	6928	425,1	29061				
	Okt-Dez	11,7	5265						
259	Jan-Feb	3,0	1365	16,7	7467	30,7	13756	322,7	14553
	Mär-Mai	37,2	16686	627,8	19239				
	Jun-Sep	51,8	23217	323,6	16952				
	Okt-Dez	10,6	4745						
271	Jan-Feb	2,8	1235	5,8	2600	44,3	19851	412,0	17952
	Mär-Mai	30,4	13629	610,5	35935				
	Jun-Sep	99,7	44690	619,8	15322				
	Okt-Dez	11,6	5200						
						Mittelwert Jan-Sept über alle Stationen			
						31,0	13972	445,4	22081
						Verhältnis des Jahres 1999 gegenüber 1998 (1998 als "1" gesetzt)			
						1	1	14,4	1,6

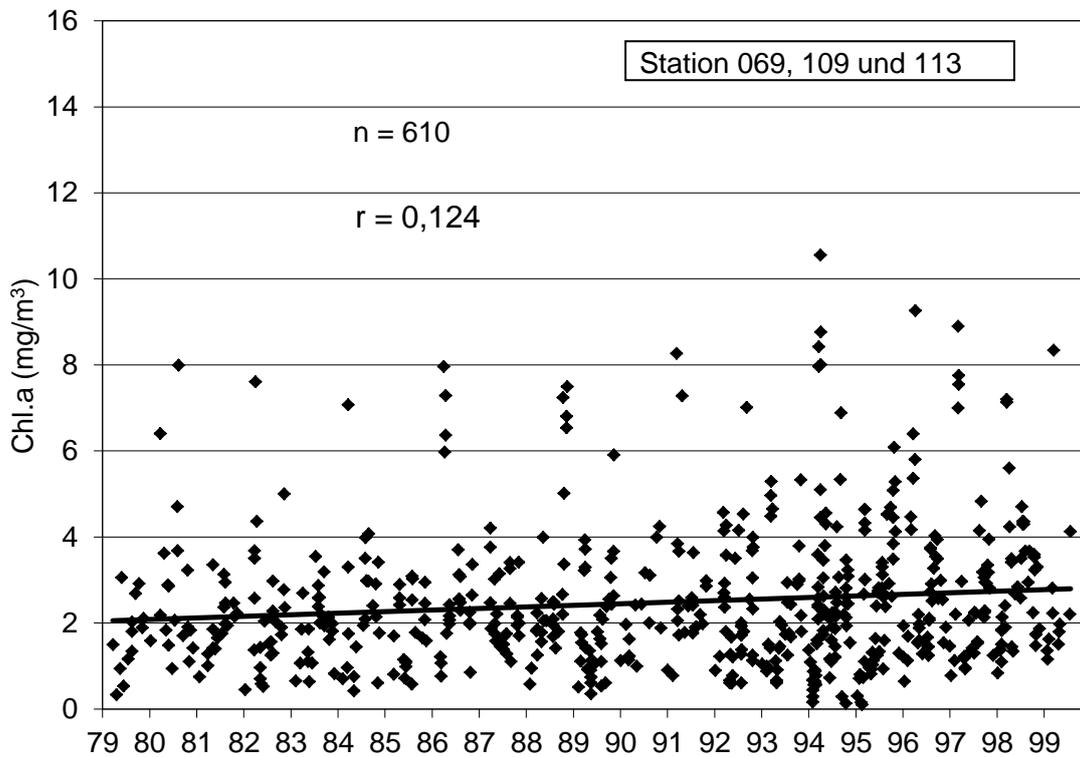
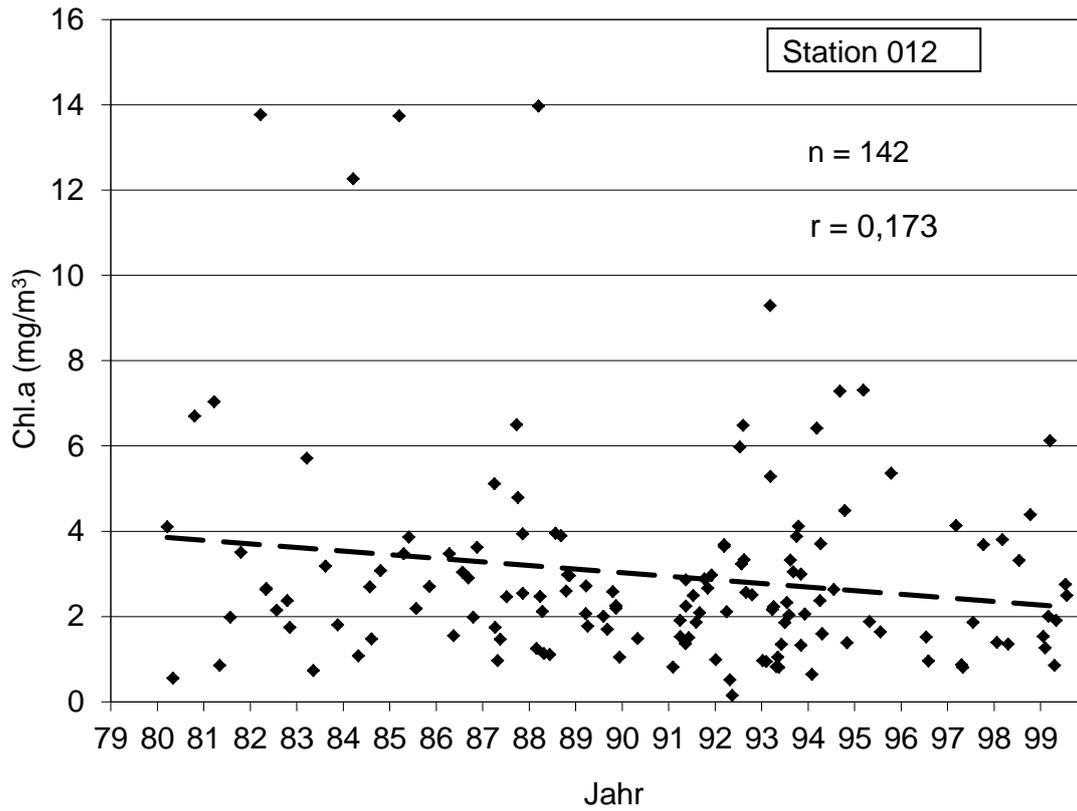


Abb. 25

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

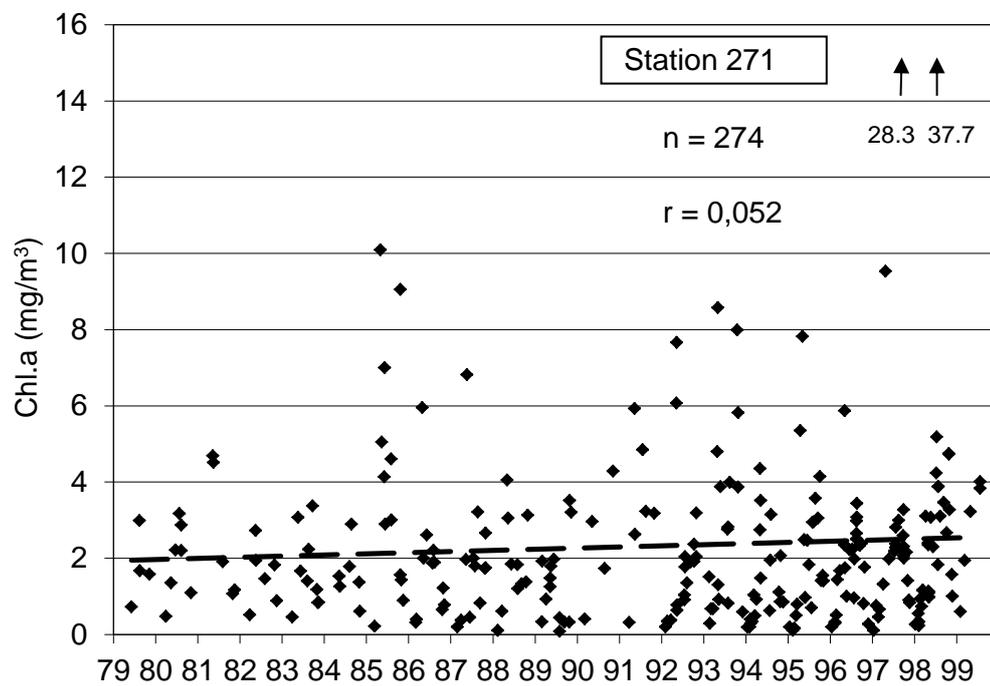
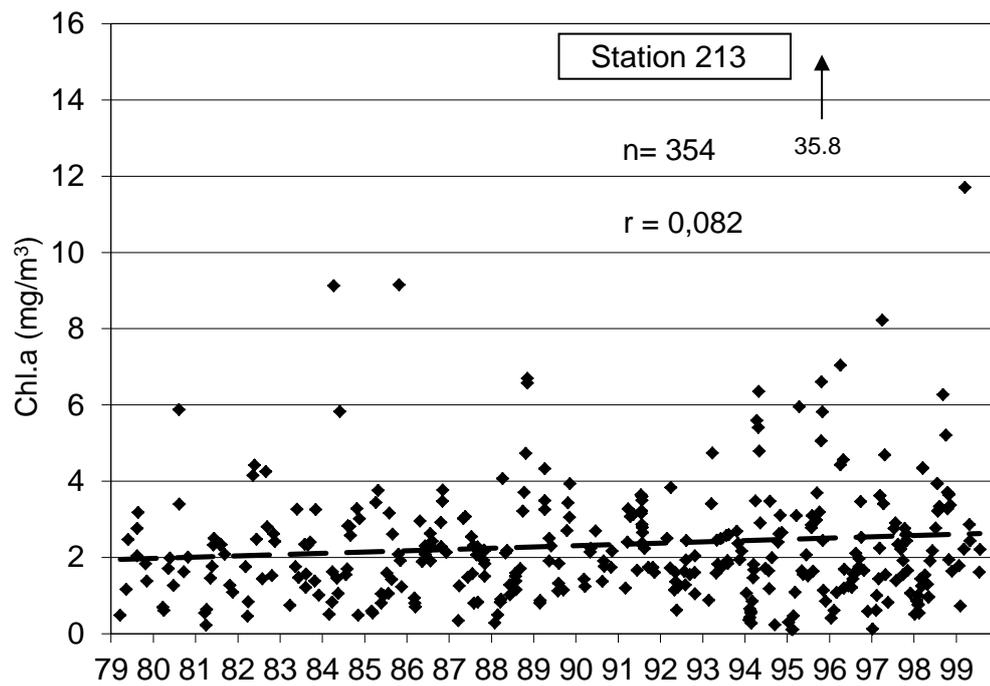


Abb. 26

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

4.2 Mesozooplankton

4.2.1 Jahrgang von Artenzusammensetzung und Abundanz

4.2.1.1 Mecklenburger Bucht

Der Jahrgang des Zooplanktons in der Mecklenburger Bucht wird durch die Station 12 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt achtmal beprobt, während das Tiefenwasser zur Zeit der Sprungschichtbildung dreimal untersucht werden konnte (Abb. 27).

Deckschicht: Die zahlenmäßig dominante Gruppe waren über das gesamte Jahr hinweg zumeist die Copepoden, deren Bestandsdichten von Anfang Februar bis August zwischen 3 300 und 16 100 Individuen/m³ lagen, wobei die Höchstwerte Mitte Mai festgestellt wurden. Die höchsten Abundanzwerte hatten: Anfang Februar Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, Ende Februar und Mitte März Copepoditen von *Acartia spec.*. Ende März wiesen jedoch Tintinniden mit 23 683 Individuen/m³, Anfang und Mitte Mai Rotatorien mit 8 760 Individuen/m³ und 10 425 Individuen/m³, Ende Juli Tintinniden und meroplanktische Bivalvier-Larven mit jeweils fast 7 000 Individuen/m³ und Anfang August Bivalvier-Larven mit 10 231 Individuen/m³ die höchsten Abundanzwerte auf. Cladoceren hatten ihr Maximum von Mitte Mai bis Ende Juli. Die Rotatorien zeigten mit 8 500 – 10 500 Individuen/m³ Höchstwerte im Mai.

Tiefenwasser: Zur Zeit der Probennahme zeigten die Copepoden durchweg die höchsten Werte, wobei Anfang Mai ein Maximum von 68 000 Individuen/m³ festgestellt wurde. Zu dieser Zeit hatten auch die Rotatorien einen Höchstwert von 36 300 Individuen/m³.

4.2.1.2 Arkonasee

Der Jahrgang des Zooplanktons in der Arkonasee wird durch die Station 113 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt achtmal beprobt, während das Tiefenwasser zur Zeit der Sprungschichtbildung viermal untersucht werden konnte (Abb. 28).

Deckschicht: Von Anfang Februar bis Mitte März waren die Copepoden die dominante Gruppe mit 2000 bis 5700 Individuen/m³. Im Mai wiesen die Rotatorien mit 7900 bis 22200 Individuen/m³ die höchsten Werte auf, und im August dominierten die Cladoceren mit 22400 bis 39900 Individuen/m³. Die höchsten Abundanzwerte hatten: Anfang Februar Copepoditen von *Centropagus hamatus* mit 602 Individuen/m³, Ende Februar Copepoditen von *Acartia spec.* mit 1529 Individuen/m³, Mitte und Ende März *Fritillaria borealis* mit 1173 und 2018 Individuen/m³,

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten im Februar und August zwischen 2800 und 13900 Individuen/m³ lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar Copepoditen von *C. hamatus* und im August weibliche *Temora longicornis* mit 2457 Individuen/m³. Rotatorien traten kaum in Erscheinung, und Cladoceren zeigten im August Werte von 3200 und 1700 Individuen/m³.

4.2.1.3 Bornholmsee

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Bornholmsee wird durch die Station 213 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt achtmal beprobt, während das Tiefenwasser zur Zeit der Sprungschichtbildung siebenmal untersucht werden konnte (Abb. 29).

Deckschicht: Im Februar dominierten die Copepoden mit Werten von 1300 und 1600 Individuen/m³. Im März stellten Fritillarien mit Werten zwischen 966 und 1494 Individuen/m³ die dominante Gruppe. Mitte Mai dominierten Rotatorien mit einem Höchstwert von 23200 Individuen/m³. Die August-Probennahme traf mit der Populationsexplosion der Cladoceren zusammen, für die Maximalwerte von 166700 und 356100 Individuen/m³ festgestellt wurden. Bemerkenswert sind die geringe Abundanz von Copepoden im März und Anfang August und die hohe Anzahl von Cladoceren im August.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren Copepoden, deren Individuendichten von Februar bis August zwischen 600 bis 20600 Individuen/m³ lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar und März weibliche *Oithona similis*, im Mai Copepoditen von *O. similis* mit Werten von 5677 bis 5920 Individuen/m³ und im August Männchen und Weibchen von *T. longicornis* mit Werten von jeweils ca. 3800 Individuen/m³ und weibliche *O. similis* mit 3900 Individuen/m³. Rotatorien traten nur Mitte Mai in größerer Anzahl auf. Cladoceren zeigten im August Abundanzwerte zwischen 2400 und 5400 Individuen/m³.

4.2.1.4 Gotlandsee

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Gotlandsee wird durch die Station 271 repräsentiert. Sowohl in der Deckschicht als auch im Tiefenwasser konnten jeweils 4 Proben gewonnen werden (Abb. 30).

Deckschicht: Copepoden dominierten nur im Februar und März. Ihre Abundanzen lagen von Februar bis August relativ gleichbleibend zwischen 1100 bis 2400 Individuen/m³. Rotatorien waren mit Individuendichten von bis zu 25000 Individuen/m³ im Mai und sogar 127300 Individuen/m³ im August die dominante Gruppe. Cladoceren traten nur im Mai in größeren Mengen auf mit 4600 Individuen/m³.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Februar bis August zwischen 300 bis 2300 Individuen/m³ lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Februar und März Copepodite von *P. elongatus*, im Mai Weibchen und Copepoditen von *P. elongatus* und im August Copepodite von *P. elongatus*. Rotatorien und Cladoceren traten nur in sehr geringen Mengen auf.

4.2.2 Vergleich mit Vorjahren

Die Abundanz der Copepoden hat auch 1999, wie 1998, weiterhin abgenommen, insbesondere in der Deckschicht der Arkonasee, des Bornholmbeckens von März bis August und des Gotlandbeckens von Mai bis August. Besonders auffällig ist die extrem niedrige Abundanz der Copepoden im August im Oberflächenbereich des Gotlandbeckens, wenn die Cladoceren Spitzenwerte von mehreren hunderttausend Individuen pro m^3 erreichen. Generell hatten die Cladoceren in fast allen untersuchten Gebieten, insbesondere im August, einen z. T. dramatischen Anstieg in den Abundanzwerten zu verzeichnen. Die Ursachen für die Zunahme von Cladoceren und den Rückgang der Copepodenpopulationen sind unklar. Da beide Gruppen wichtige Komponenten der Fischnahrung sind, ist möglicherweise bezüglich des Nahrungsangebots für Fische die Abnahme der Copepodenbiomasse zumindest zum Teil durch die Populationsexplosion der Cladoceren kompensiert worden. Die Rotatorien hatten ihre maximale Populationsentwicklung im Mai und zeigten im Vergleich zum Vorjahr wieder abnehmende Tendenz.

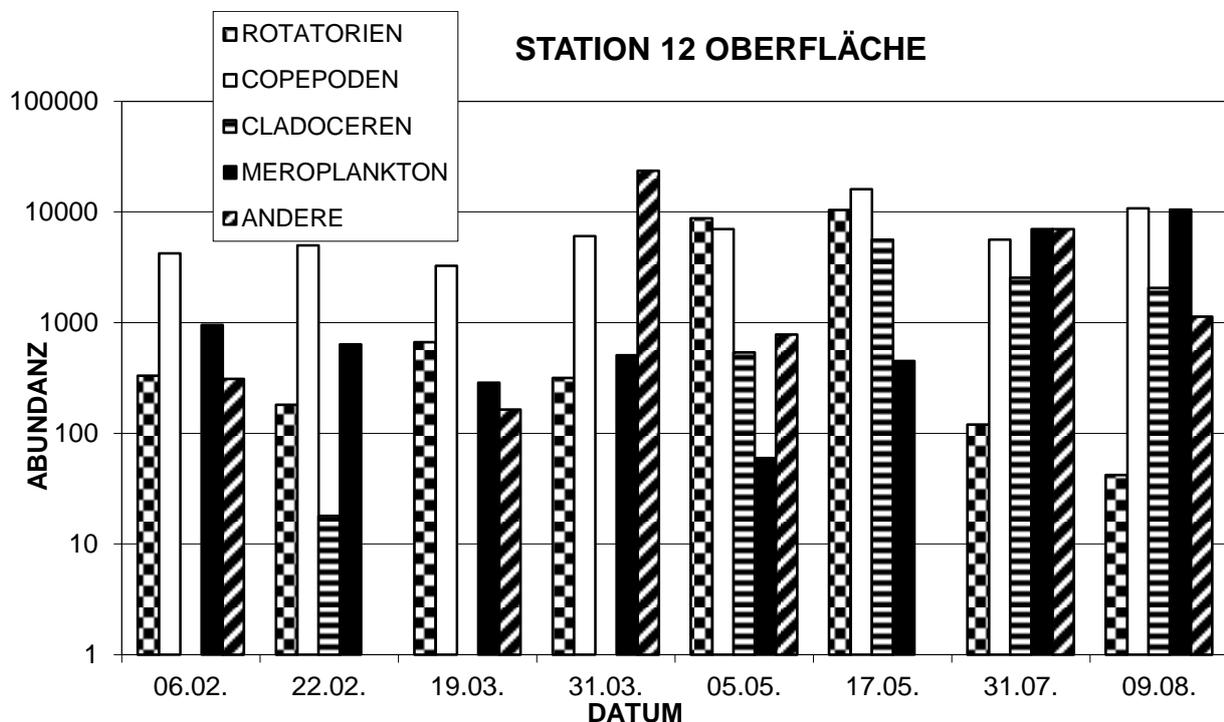


Abb. 27

Zooplanktonabundanz (Ind. m^{-3}) im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht im Jahre 1999.

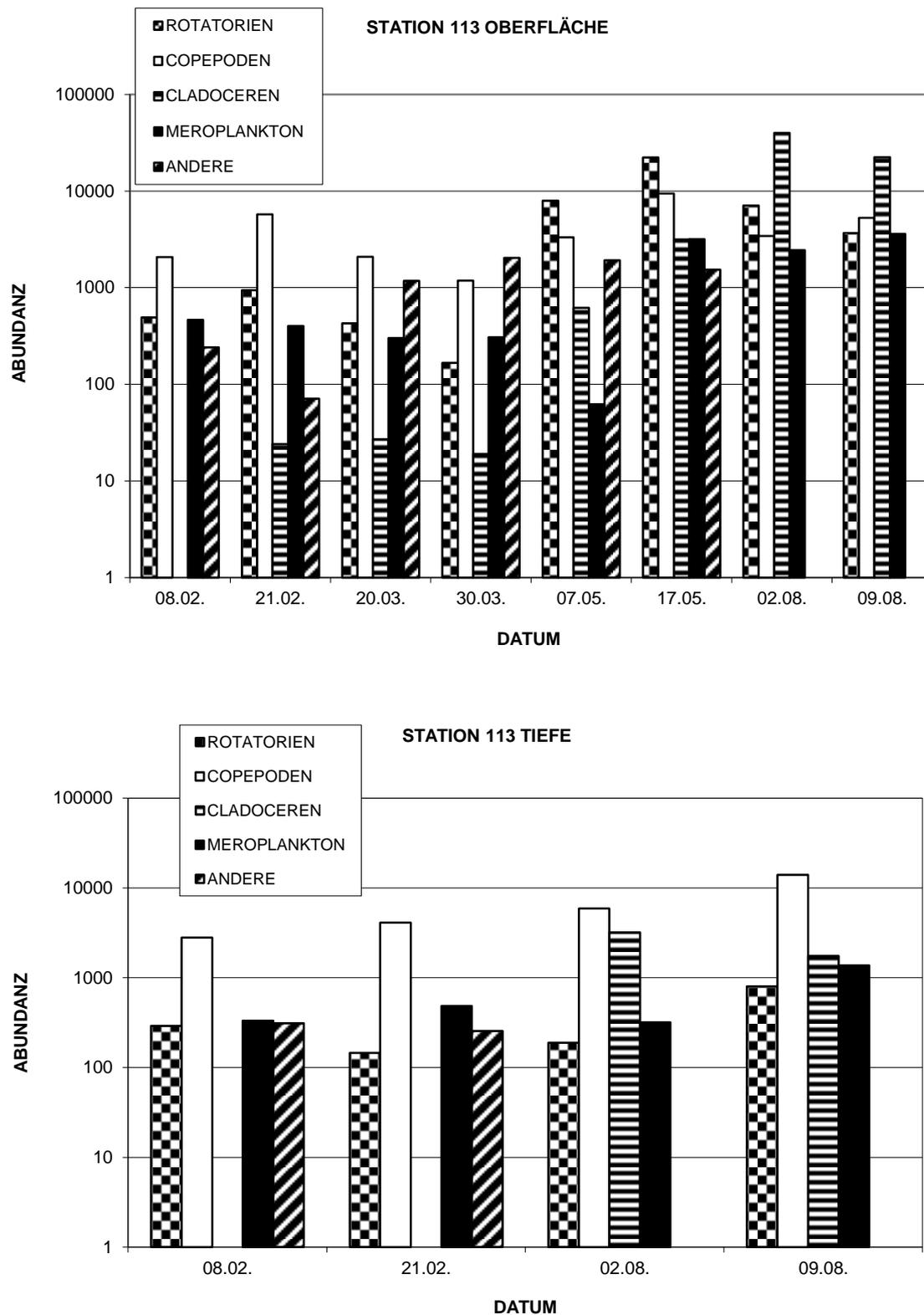


Abb. 28

Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der Arkonasee im Jahre 1999.

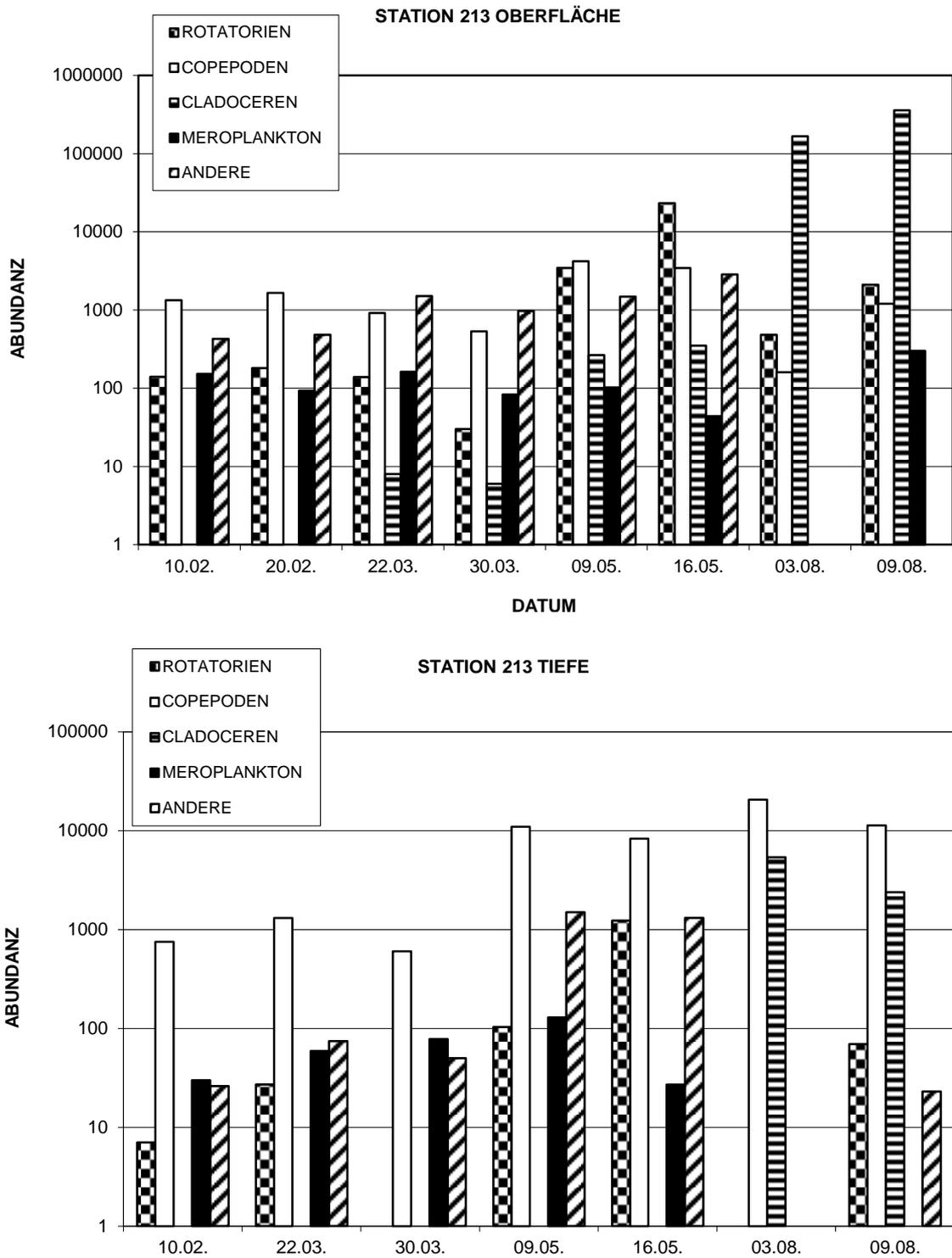


Abb. 29
Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der Bornholmsee im Jahre 1999.

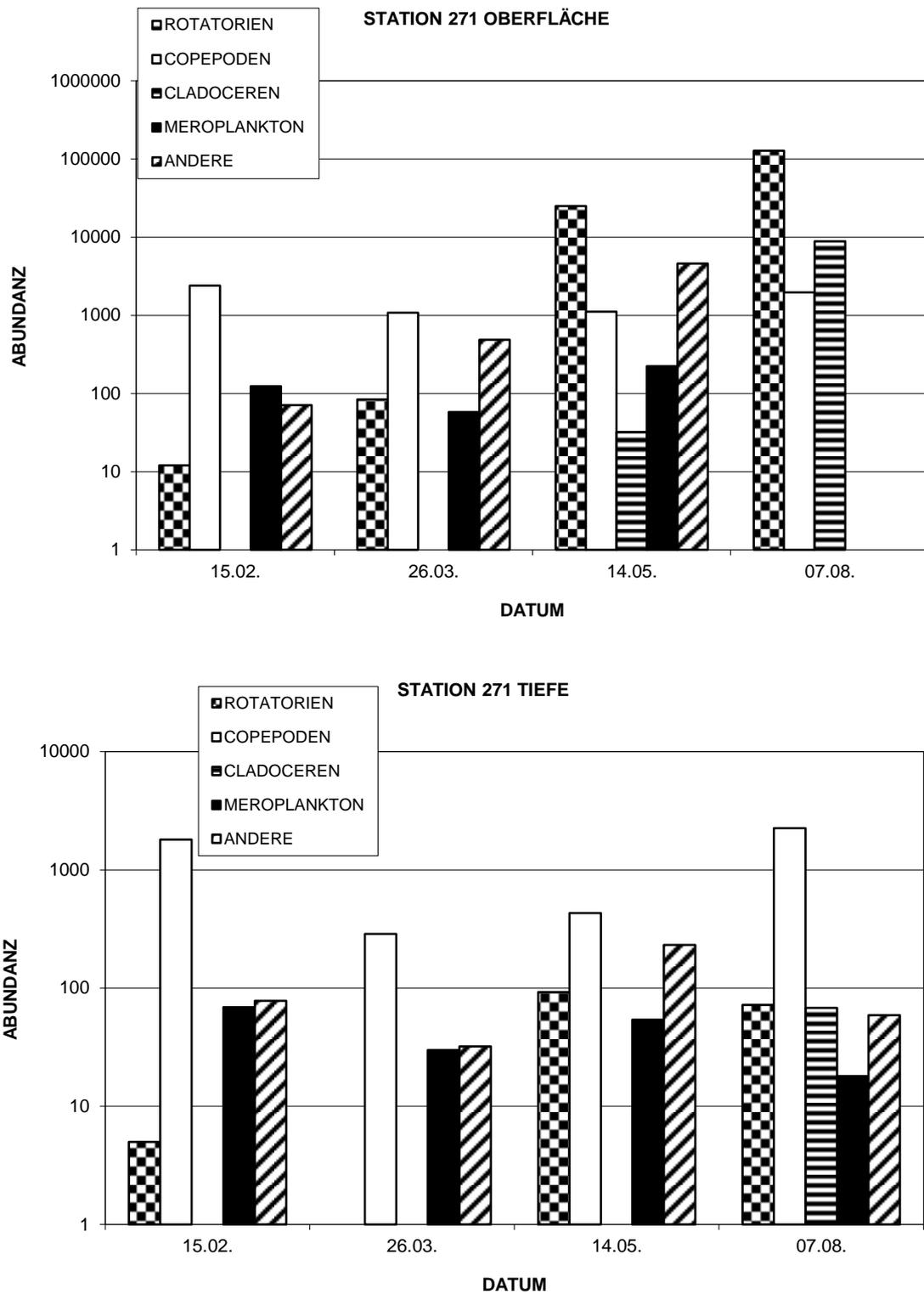


Abb. 30

Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser (a) und Tiefenwasser (b) der östlichen Gotlandsee im Jahre 1999.

5. Diskussion

5.1 Zeitpunkt der Frühjahrsblüte

Die Frühjahrsblüte begann in der Lübecker Bucht in der ersten März-Hälfte und in der zentralen Mecklenburger Bucht etwa Mitte März 1999. Damit lag sie ungefähr im selben Zeitraum wie im Jahre 1998, während die Phytoplankton-Entwicklung im Jahre 1997 ungewöhnlich früh begonnen hatte. Die frühe Phase der Frühjahrsblüte (im März) wurde, wie schon in den Vorjahren, durch Kieselalgen (*Chaetoceros* spp., *Thalassiosira levanderi*, *Skeletonema costatum*) geprägt, während später (zum April oder Mai) Dinoflagellaten (*Gymnodinium* cf. *lohmannii*) dominant wurden. Diese zwei voneinander getrennten Phasen der Frühjahrsblüte sind von der westlichen Ostsee sei längerem bekannt (vgl. SMETACEK, 1978). Auch in der Arkonasee begann die Blütenentwicklung im Jahre 1999 Mitte März, wobei hier Dinoflagellaten (anfangs *Protoperdinium* sp., dann *Gymnodinium* sp.) dominant waren. Wie bereits im Jahre 1998 fand die Frühjahrsblüte in der Arkonasee und der Bornholmsee gleichzeitig statt. Der Zeitpunkt des Blütenbeginns in der östlichen Gotlandsee konnte bisher wegen fehlender Probennahme nicht genau bestimmt werden. Zumindest gab es bislang im März keinerlei Anzeichen für eine Blüte. Im Jahre 1999 wurden in der östlichen Gotlandsee allerdings bereits Ende März erhöhte Phytoplankton-Biomassen (vgl. Abb. 31) sowie leicht reduzierte Nährstoffkonzentrationen im Wasser gemessen. Die Entwicklung in der östlichen Gotlandsee scheint nur noch um etwa eine Woche gegenüber der Arkonasee und Bornholmsee verzögert zu sein, wobei auch hier wie in der Bornholmsee eine unbestimmte *Gymnodinium*-Art von 25x30 µm Größe zur Entwicklung kam.

Der fast gleichzeitige Blütenbeginn in allen Seegebieten der südlichen Ostsee wurde bisher für den Fall, dass der vorangegangene Winter sehr mild ist, zwar postuliert (WASMUND et al., 1998 b), aber zumindest noch nicht für die Gotlandsee nachgewiesen. Nach einem kalten Winter wäre dagegen mit einem von West nach Ost verzögerten Frühjahrsblütenbeginn (vgl. KAISER, SCHULZ, 1976 sowie WASMUND et al., 1998 b) zu rechnen. Dieser 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. Dagegen ist in milden Wintern, in denen die Temperatur des Dichtemaximums des Wassers (z.B. 2,4 °C bei Salzgehalt von 8 PSU) nicht unterschritten wird, die Wassersäule oberhalb der Salzsprungschicht zumindest theoretisch thermisch stabilisiert. Mit der Erwärmung im Frühjahr stabilisiert sie sich sofort weiter ohne konvektive Umschichtung. Das dürfte, abgesehen von lokalen Unterschieden in der Bewölkung, in allen Seegebieten derselben geografischen Breite gleichzeitig geschehen, unabhängig von der Wassertiefe, denn das erwärmte Wasser bleibt wegen seiner geringeren Dichte an der Oberfläche.

5.2 Artenzusammensetzung der Frühjahrsblüte

Bisher dominierten die Beobachtungen, dass die Frühjahrsblüte in der westlichen Ostsee mit einer Kieselalgenentwicklung im März beginnt, die dann zum Mai hin durch eine Dinoflagellatenblüte abgelöst wird. Demgegenüber findet man die Frühjahrsblüte in der Gotlandsee erst im Mai, und zwar gleich als Dinoflagellatenblüte. Daraus könnte man annehmen, dass es bestimmte zeitliche Fenster für die Entwicklung einer Kieselalgenblüte (im März) und für die Dinoflagellaten-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. Aber bereits das Jahr 1998 widersprach dieser Hypothese, denn wir fanden zur gleichen Zeit eine Kieselalgenblüte in der Arkonasee und eine Dinoflagellatenblüte in der Bornholmsee. Auch im Jahre 1999 war es ähnlich: Ende März Kieselalgen-Dominanz in der Mecklenburger Bucht (z.B. Abb. 2 b) und Dinoflagellaten-Dominanz in der Bornholmsee (Abb. 3 b). Interessant ist die frühe Dinoflagellaten-Entwicklung in der Arkonasee (Abb. 3 a). Die Tendenz zum Rückgang der Kieselalgen zugunsten der Dinoflagellaten wird in Kapitel 5.4 gesondert diskutiert.

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. Die Zirkulation reicht aber selbst nach kalten Wintern nur bis in die Tiefe der Salzsprungschicht. Nur in den flachen Gewässerteilen, insbesondere den Küstenregionen, findet die vertikale Zirkulation in jedem Falle bis zum Grund statt. Von hier aus können die Algen 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. In den vergangenen Jahren begannen die Blüten fast immer in den flachen Buchten (Lübecker Bucht, Pommersche Bucht, vgl. Abb. 31). Generell ist die Phytoplankton-Konzentration in den Küstengewässern am höchsten (Abb. 32). 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 bei entsprechenden Windlagen bis in die zentralen Bereiche vordringen. In den großen Seegebieten (östliche Gotlandsee) ist die Entfernung zu groß, denn gerade die Kieselalgen dürften während des Transports generell zum Absinken tendieren. Das Ausbleiben der Kieselalgenblüte in der Arkonasee im Jahre 1999 könnte mit der langanhaltenden Ostwindlage im März zu tun haben, die den Transport von Küstenwasser in die offene Arkonasee verhindert haben könnte. Andere Möglichkeiten der Erklärung werden in Kapitel 5.4 diskutiert.

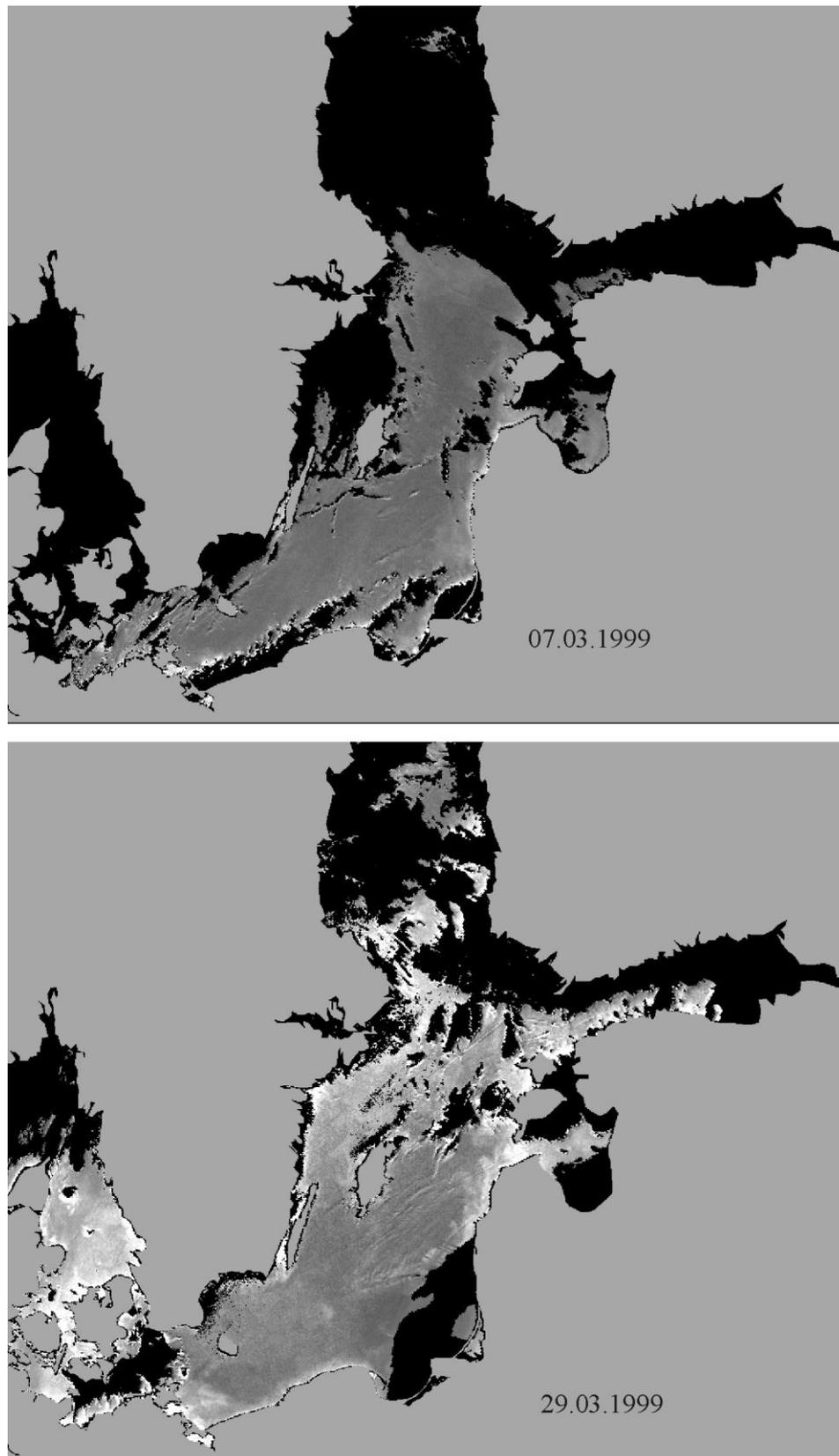


Abb. 31
Chlorophyllverteilung am 7. und 29. März 1999

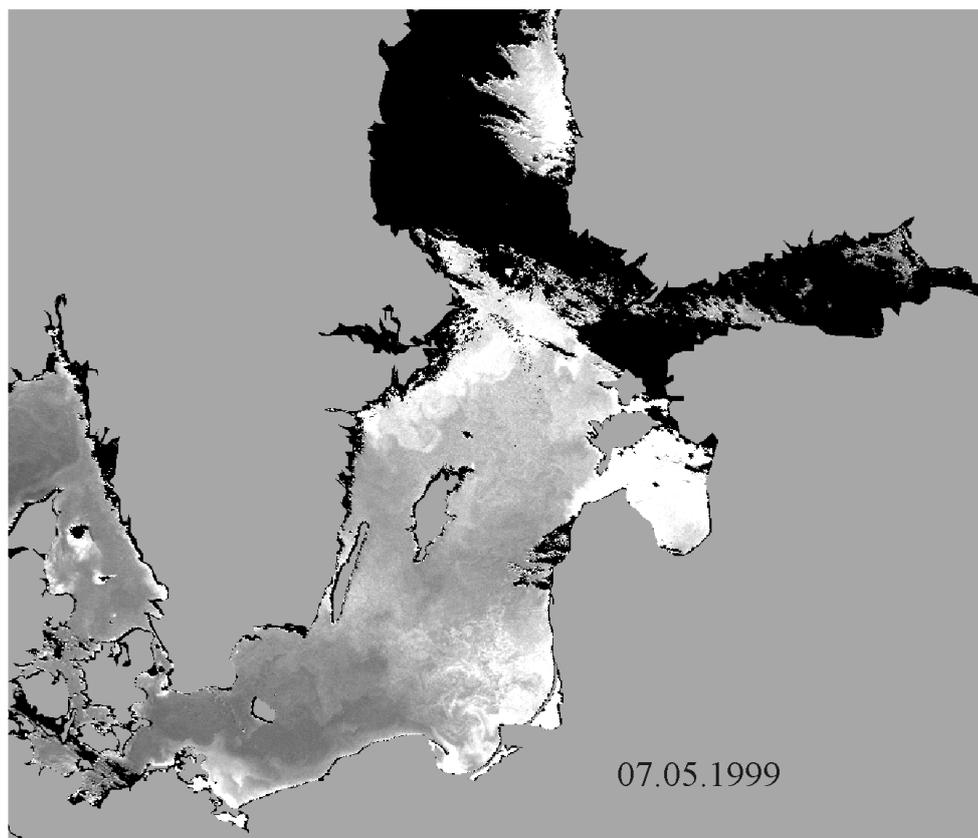
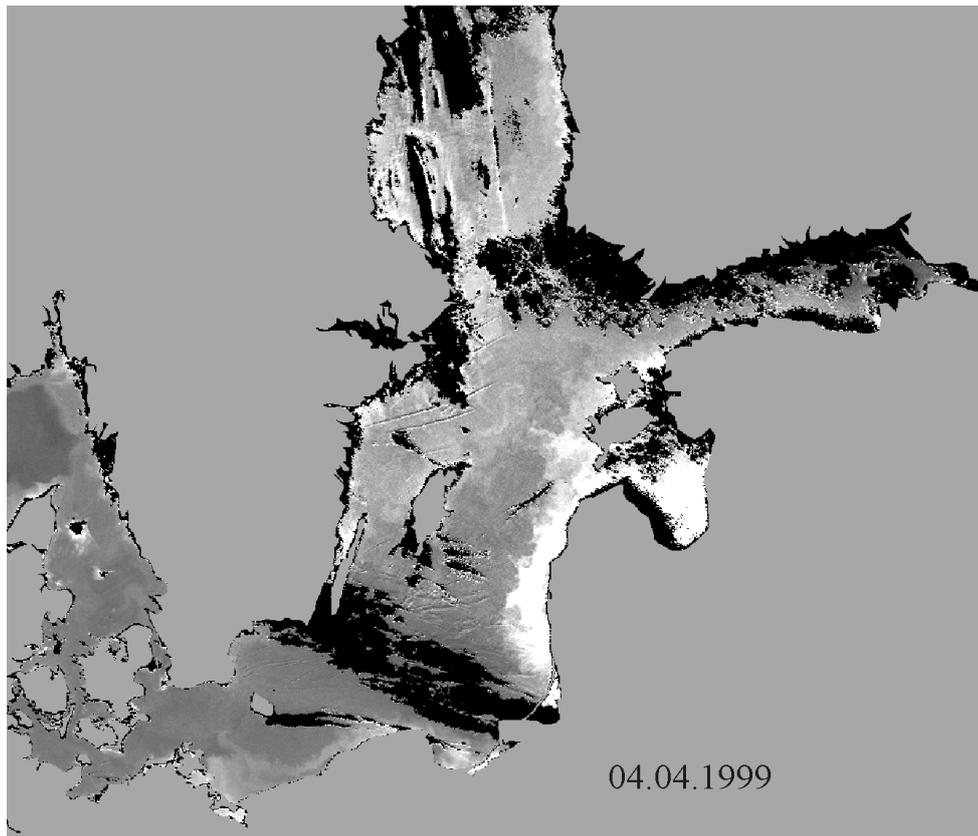


Abb. 32
Chlorophyllverteilung am 4. April und 7. Mai

5.3 Untersuchung der Cyanobakterienentwicklung anhand von Satellitendaten

Das Jahr 1999 war in der Wasseroberflächentemperatur (SST) durch verhältnismäßig warme Monate Juni und September gekennzeichnet, hervorgerufen durch länger anhaltende Hochdrucklagen über Mitteleuropa, die durch schwache Winde charakterisiert waren. Im Monatsmittel lag die SST im Juni über 12°C in der eigentlichen Ostsee und über 15°C in der südlichen Ostsee und in den küstennahen Bereichen. Im September lagen die Temperaturen im Mittel zwischen 17 und 18 °C in der eigentlichen Ostsee. Nach Ergebnissen von WASMUND (1997) beginnt die Entwicklung einer sichtbaren Cyanobakterienblüte ab 16 °C Wassertemperatur, wobei sie sich als aufgerahmte Oberflächenblüte bei Windgeschwindigkeiten unter 6 m s⁻¹ zeigt.

Am Mast Darßer Schwelle wurde ein Luftdruck um 1020 hPa vom 9.-17. Juni 99 gemessen. Der Wind flaute in diesem Zeitraum von ca. 10 m s⁻¹ auf Geschwindigkeiten unter 5 m s⁻¹ ab. Dadurch erwärmte sich das Oberflächenwasser an der Darßer Schwelle von 10 °C am 12. Juni auf 14-16 °C am 14. Juni und auf 15-18 °C am 17. Juni 1999.

Erste Oberflächenakkumulationen von Cyanobakterien wurden auf Satellitenbildern am 16. Juni 1999 in der nördlichen Gotlandsee und am Eingang des Finnischen Meerbusen beobachtet (Abb. 33 a). Nach einer kurzen Unterbrechung verstärkte sich die Entwicklung vom 28.-30. Juni insbesondere im Westteil des Finnischen Meerbusen. Um den 5. Juli begann die Entwicklung zwischen Gotland und Öland (Abb. 33 b) und bedeckte in den Folgetagen bis ca. 12. Juli weite Bereiche zwischen 55,5 und 57,5 °N und umschloß die Südhälfte der Insel Gotland (Abb. 34 a). Sie drang dann bis in die Bornholmsee und westliche Arkonasee vor. Die folgende Tiefdrucklage war mit Westwinden teilweise über 10 m s⁻¹ und hoher Wolkenbedeckung verbunden, wodurch eine starke Durchmischung stattgefunden hat und Oberflächenakkumulationen der Cyanobakterien nur noch an windschwachen Tagen wie dem 19. Juli sichtbar waren. In der nächsten Hochdruckphase ab 27. Juli mit Windgeschwindigkeiten unter 5 m s⁻¹, geringer Wolkenbedeckung und hoher solarer Strahlung formierten sich die Oberflächenakkumulationen wieder, bedeckten aber vorrangig den Bereich der südlichen und östlichen Gotlandsee bis ca. 58°N. Ab 30. Juli waren sie dann auch wieder südlich der Aland-Inseln und ab 1. August im Finnischen Meerbusen und sogar im Bottnischen Meerbusen nördlich der Aland-Inseln zu beobachten (Abb. 34 b). Diese Phase dauert etwa bis 7. August. Die sich anschließende Tiefdrucklage mit Windgeschwindigkeiten teilweise über 15 m s⁻¹ und hoher Wolkenbedeckung bis ca. 23. August löste dann die Entwicklung der Cyanobakterien auf. In dieser Phase fand die Monitoring-Fahrt statt, auf der lediglich bei der Station 242 in der westlichen Gotlandsee eine geringe Oberflächenblüte von *Nodularia spumigena* gefunden wurde. Wegen des milden September könnte es durchaus zu einer Wiederbelebung der Cyanobakterienentwicklung gekommen sein, wie von Larsson et al. (im Druck) auf der Station BY31 (Landsorttief) gefunden. Die Satellitenaufnahmen zeigten im Untersuchungsgebiet allerdings zumindest keine oberflächennahen Blüten.

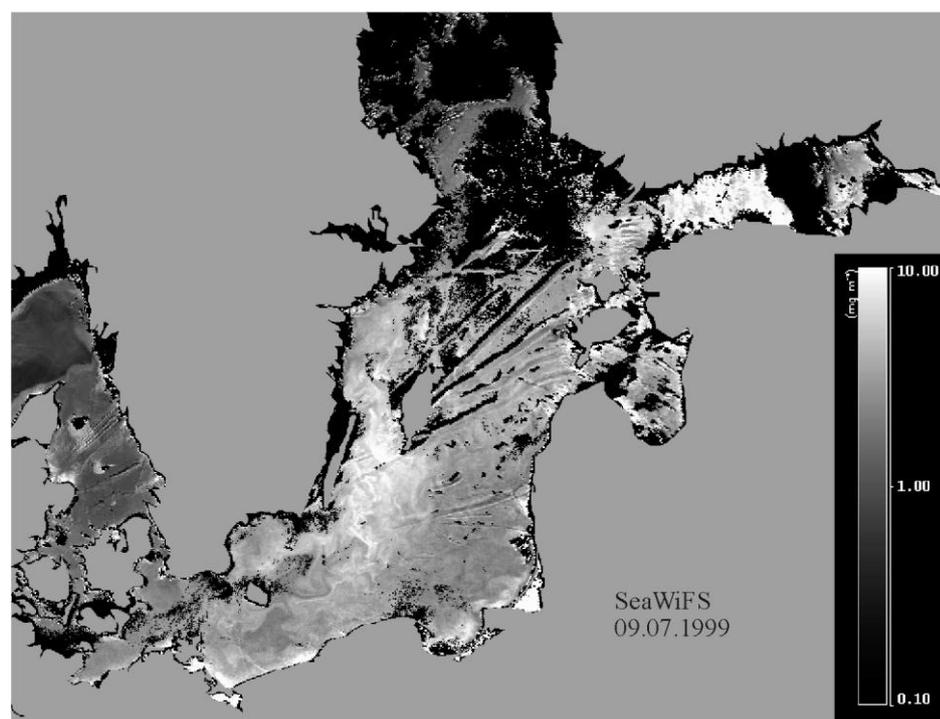
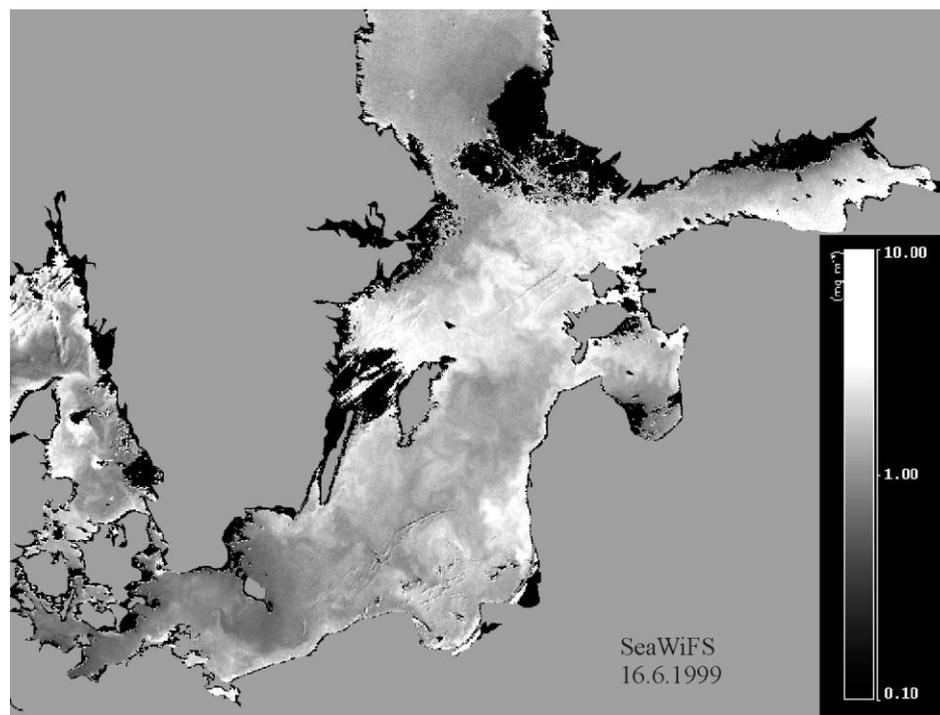


Abb. 33
Cyanobakterienblüte in der Ostsee am 16.6.1999 und am 9.7.1999

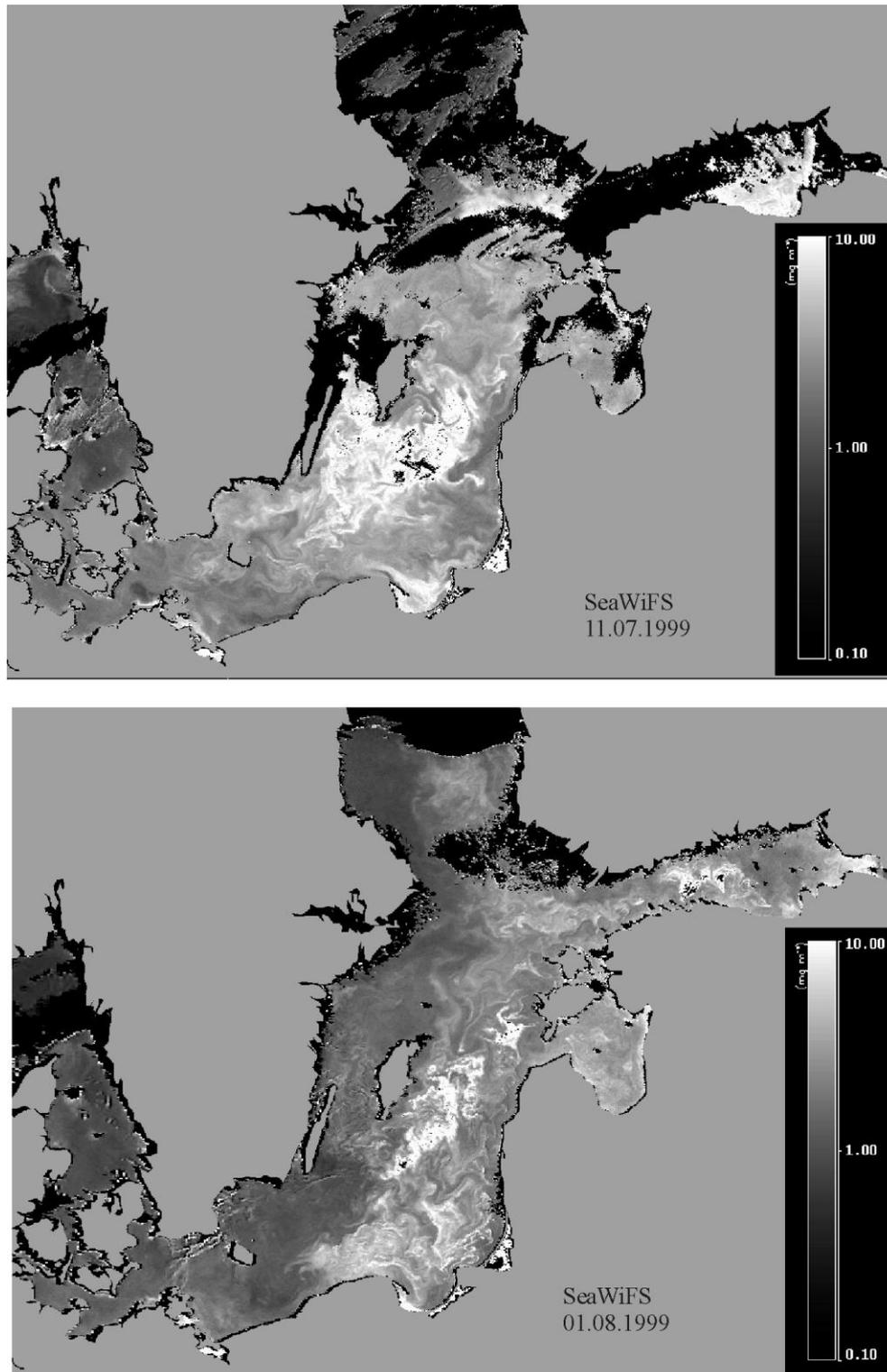


Abb. 34
Cyanobakterienblüte in der Ostsee am 11.7.1999 und am 1.8.1999

5.4 Langzeit-Trends der Phytoplanktonentwicklung

Der Rückgang der Kieselalgen in der Frühjahrsblüten zugunsten der Dinoflagellaten wird seit 1989 beobachtet (Wasmund et al. 1998 b). Die erstmalige Beobachtung des Ausfalls der Kieselalgenblüte in der Arkonasee im Jahre 1999 passt in diesen Trend. Die Abnahme der Kieselalgen können wir auch mit einer verringerten Zehrung des Silikat im Frühjahr bestätigen (Abb. 24). Als Ursache für den Populationswechsel bietet sich die Wassertemperatur des Winters an, die seit 1989 deutlich über dem langjährigen Mittel lag. Auch der Winter 1998/99 ist als milder Winter einzustufen. Die winterliche Minimaltemperatur des Oberflächenwassers lag in der eigentlichen Ostsee (außer Pommersche Bucht und Station 030) 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 tiefen Durchmischung, sondern zu einer Stabilisierung der Wassersäule (vgl. Kap. 5.1). 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. Als mögliche Ursache für einen Rückgang von Kieselalgen muß man auch einen Silikatmangel in Betracht ziehen. Die Winterkonzentrationen des Silikat (Liniendarstellung in Abb. 24) dürften aber nach wie vor für eine Kieselalgenblüte ausreichen, so dass das Silikatangebot nicht die Ursache für die beschriebene Entwicklung sein kann.

Die Lücke, die die ausbleibende Kieselalgenblüte hinterlässt, wird beispielsweise durch Dinoflagellaten geschlossen oder aber konkurrenzstärkere Arten (*Myrionecta rubra*, *Gymnodinium* sp.) verdrängen die Kieselalgen. Erstaunlich war bisher der späte Beginn der Frühjahrsblüte in der östlichen Gotlandsee. Klimatologische Ursachen kommen nicht in Frage, denn sogar in der nördlichen eigentlichen Ostsee beginnt die Blüte früher (vgl. Abb. 31). Eine mögliche Erklärung für das Ausbleiben der Kieselalgen wurde in Kapitel 5.2 gegeben. Die Frage, warum Algen nicht schon im März das Nährstoff- und Lichtangebot nutzen, scheint sich im Jahre 1999 zu erübrigen, denn wir fanden erstmalig den Beginn einer Blüte in der östlichen Gotlandsee bereits Ende März. Diese wird selbstverständlich durch Dinoflagellaten gebildet, aber nicht durch das von der Mai-Blüte bekannte *Peridiniella catenata*, sondern durch *Gymnodinium* sp. (25x30 µm). Vielleicht ist diese Erkenntnis nicht neu, sondern nur für uns nicht möglich gewesen wegen des regelmäßigen Fehlens von eigenen April-Daten. Chlorophyll-Daten aus dem HELCOM-Datensatz der letzten 5 Jahre (Abb. 18) deuten ebenfalls an, dass die Blüte in der östlichen Gotlandsee manchmal schon lange vor unseren Probennahmeterminen im Mai begonnen haben muss.

Besondere Bedeutung scheint der photoautotrophe Ciliat *Myrionecta rubra* zu erlangen. Er dominiert neuerdings die Frühjahrsblüten neben den bisher bekannten Kieselalgen und Dinoflagellaten. Da die Nährstoff-Ressourcen nicht angestiegen sind, kann man davon ausgehen, dass er andere Arten verdrängt, insbesondere die Arten der Frühjahrsblüte, die neue Produktion auf Grundlage der Winter-Nährstoffe durchführen. *Myrionecta rubra* könnte aber speziell im Sommer auch die Regeneration von Nährstoffen fördern sowie Nährstoffe aus tieferen Wasserschichten nutzen. Jedenfalls ist die Chlorophyll-Konzentration im Vergleich zu den Vorjahren nicht enorm angestiegen.

Der Anstieg der Biomasse von *Myrionecta rubra* von 1998 zu 1999 könnte allerdings auch durch eine methodische Unzulänglichkeit so dramatisch hoch erscheinen. Er beruht hauptsächlich auf dem Auftreten einer neuen Größenklasse (55x40 µm) ab März 1999. Eventuell waren solche großen Organismen auch schon in vorigen Jahren in geringer Anzahl vorhanden, aber noch in der kleineren Standard-Größenklasse (18x13 µm) gezählt worden. Insofern sind die 1999er Angaben nicht überschätzt, sondern eher die *Myrionecta*-Biomassen der vorangegangenen Jahre unterschätzt. Erst ab März 1999 wurden aber die großen Individuen so augenfällig, dass eine weitere Größenklasse im Zählprogramm eingerichtet wurde.

Eine Zunahme der *Myrionecta*-Biomasse ist sicher real, denn auch die Abundanz hat von 1998 zu 1999 deutlich zugenommen, wenn auch nicht in dem Maße wie die Biomasse (vgl. Tab. 6). Auch weitere Planktologen bemerkten ein verstärktes Auftreten von *Myrionecta rubra* (E. BOIKOVA, Riga; persönliche Information vom Juli 2000). Fehlbestimmungen der Art sind ausgeschlossen, da dieses die einzige photosynthetisierende *Myrionecta*-Art ist. Zu Zeiten von fast ausschließlichem Vorkommen dieser Art (z.B. am 23.3.1999 an Station OB, vgl. Abb. 4 mit Tabelle 2) wurden auch hohe Chlorophyllkonzentrationen gemessen, die nur von dem Ciliaten *Myrionecta rubra* herrühren konnten. Andere Ciliaten würden kein Chlorophyll enthalten.

Generell ist einzuräumen, dass der methodische Fehler der mikroskopischen Zählmethode recht groß ist. Deshalb bevorzugen wir bei quantitativen Angaben zur Phytoplankton-Gesamtbiomasse die Chlorophyll a – Werte, insbesondere für Trenduntersuchungen.

Seit etwa 1979 pegeln sich die Winterkonzentrationen der Nährstoffe unter starken Schwankungen mehr oder weniger auf ein Niveau ein (HELCOM, 1996), während die Phytoplankton-Biomasse trotzdem weiter anstieg (WASMUND et al., 1998 a). Im Jahre 1999 zeigte sich sogar wieder ein leichter Anstieg der Nährstoff-Konzentrationen im Wasser (Matthäus et al., 2000; vgl. Kapitel 3). Auch bei der Phytoplanktonbiomasse (als Chlorophyll) setzt sich der ansteigende Trend in der Arkonasee fort (Abb. 25 b), während der Chlorophyll-Anstieg in der Bornholmsee seit 2 Jahren nicht mehr signifikant ist (Abb. 26 a; vgl. auch WASMUND et al., 1999). Die abnehmende Tendenz (nicht signifikant) in der Mecklenburger Bucht (Abb. 25 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 gesamten Datenreihe ein schiefes Bild und es können Trends vorgetäuscht werden, die es in dem Maße nicht gibt. Erst wenn solche Blütensituationen gleichermaßen erfaßt werden, kann man von repräsentativen Datenreihen ausgehen. Dieses erreicht man nur durch zeitlich höhere Auflösung der Datenserien. In dieser Richtung sind in den vergangenen Jahren beachtliche Fortschritte erzielt worden. Auch in Zukunft ist eine Fortsetzung der Anstrengungen zur Verbesserung der Zeitreihen und der Datenqualität erforderlich.

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 ANNELIE POSTEL, Frau HEIDE SANDBERG, Frau INA

TOPP sowie Frau SABINE FEISTEL, Herrn BERND KAYSER und Herrn Dr. THOMAS OHDE. Die meteorologisch-hydrographischen sowie chemischen Daten wurden uns von Dr. WOLFGANG MATTHÄUS und Dr. GÜNTHER NAUSCH (IOW) zur Verfügung gestellt. 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 Aertebjerg (Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde) zur Verfügung gestellt wurden. Das vom Institut für Ostseeforschung durchgeführte biologische Monitoring wird finanziell getragen durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

6. Literaturverzeichnis

BERGSTRÖM, S., CARLSSON, B., 1994: River runoff to the Baltic Sea – 1950-1990. - *Ambio* **23**, 280-287.

V. BODUNGEN, B., JOST, G., POSTEL, L., POWILLEIT, M., WASMUND, N., 1996: Biologisches Monitoring und wissenschaftliche Zustandseinschätzung der Ostsee im Rahmen der HELCOM. - Abschlussbericht 1991-1995 des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 183 pp.

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.

GÜNTHER, C.-P., UHLIG, S., 1999: Ringversuch Phytoplankton mit kultivierten Arten (RV PHYTKUL). Bericht aus der Qualitätssicherungsstelle BLMP des Umweltbundesamtes, März 1999.

HELCOM, 1987: First periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea area, 1980-1985; background document. - *Baltic Sea Environment Proceedings* **17 B**, 1-351.

- HELCOM, 1988: Guidelines for the Baltic Sea Monitoring Programme for the third stage. Part D. Biological determinands. - Baltic Sea Environment Proceedings **27 D**, 1-161.
- HELCOM, 1990: Second periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1984-1988; background document. - Baltic Sea Environment Proceedings **35 B**, 1-432.
- HELCOM, 1996: Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; background document. - Baltic Sea Environment Proceedings **64 B**, 1-252.
- HELCOM, 1999: Manual for the marine monitoring in the COMBINE programme of HELCOM. – Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki. Updated 1999: Internet: <http://www.helcom.fi/ec.html>.
- JGOFS, 1993: Protocols, Draft 04, Nov. 1993: Chapter 14. Measurement of Chlorophyll a and Phaeopigments by Fluorometric Analysis.
- 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.
- LARSSON, U., ELMGREN, R., WULFF, F., 1985: Eutrophication and the Baltic Sea: causes and consequences. - *Ambio* **14**, 9-14.
- LARSSON U, HAJDU S, WALVE J, ELMGREN R, im Druck: Estimating Baltic nitrogen fixation from the summer increase in upper mixed layer total nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
- LORENZEN, C.J., 1967: Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. - *Limnol. Oceanogr.* **12**, 343-346.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 2000: Hydrologisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1999. - *Meereswiss. Ber., Warnemünde*, **39**, 1-73.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1996: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995. - *Meereswiss. Ber., Warnemünde*, **16**, 1-43.
- ROSENBERG, R., ELMGREN, R., FLEISCHER, S., JONSSON, P., PERSSON, G., DAHLIN, H., 1990: Marine eutrophication case studies in Sweden. - *Ambio* **19**, 102-108.
- RUDDICK, K., F. OVIDIO, RIJKEBOER, M., 2000: Atmospheric correction of SeaWiFS imagery for turbid coastal and inland waters. - *Applied Optics* **39**, 897-912.
- SCHULZ, S., KAISER, W., BREUEL, G., 1992: Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1991. - Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 37 pp.
- 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

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.

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, **32**, 1-66.

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., J. ALHEIT, F. POLLEHNE, H. SIEGEL & M.L. ZETTLER, 1999: Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1998 auf der Basis von Phytoplankton-, Zooplankton- und Zoobenthosuntersuchungen. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **37**, 1-75.

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., 2000: Comparison of coastal and open waters of the Baltic Proper with regard to their trophic state. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **38**, 1-83.

WASMUND, N.; ALHEIT, J.; POLLEHNE, F.; SIEGEL, H.:

The biological state of the Baltic Sea in 1999 on the basis of phytoplankton and zooplankton investigations

C o n t e n t s

Summary

1. Introduction

2. Material and methods

3. The abiotic conditions in the Baltic Sea in 1999

4. Results

4.1 Phytoplankton

4.2 Mesozooplankton

5. Discussion

5.1 Timing of the spring bloom

5.2. Species composition of the spring bloom

5.3 Survey of cyanobacterial growth by means of satellites

5.4 Long-term trends of phytoplankton development

Acknowledgements

References

Annex