

**Meereswissenschaftliche Berichte**  
**MARINE SCIENCE REPORTS**

No. 51

**Biologische Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 2001**

von

Norbert Wasmund, Falk Pollehne, Lutz Postel, Herbert Siegel  
und Michael L. Zettler

**Institut für Ostseeforschung**  
**Warnemünde**  
**2002**



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	5
Summary	8
1. Einleitung	11
2. Material und Methoden	12
2.1 Beprobungs-Strategie	12
2.2 Phytoplankton	15
2.3 Algenpigmente	16
2.4 Mesozooplankton	16
2.5 Makrozoobenthos	18
2.6 Sedimentation	19
2.7 Fernerkundung	19
2.8 Qualitätssicherung	20
3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 2001	21
4. Ergebnisse	22
4.1 Phytoplankton	22
4.1.1 Jahrgang von Artenzusammensetzung und Biomasse	22
4.1.1.1 Mecklenburger Bucht	23
4.1.1.2 Arkonasee	25
4.1.1.3 Pommersche Bucht	27
4.1.1.4 Bornholmsee	30
4.1.1.5 Gotlandsee	31
4.1.2 Sedimentation	36
4.1.3 Jahrgang der Chlorophyll a – Konzentration	42
4.1.4 Langzeittrend der Artenzusammensetzung	42
4.1.5 Langzeittrend der Chlorophyll a – Konzentration	45
4.2 Mesozooplankton	53
4.3 Makrozoobenthos	58
5. Diskussion	66
5.1 Phytoplanktonentwicklung in der Ostsee anhand von Satellitendaten	66
5.2 Statistische Analyse der Langzeittrends im Phytoplankton	68
5.3 Tendenzen im Makrozoobenthos	75
Danksagung	76
Literaturverzeichnis	76



## Zusammenfassung

Die Artenzusammensetzung und Biomasse bzw. Abundanz des Phyto- und Zooplanktons sowie des Makrozoobenthos des Jahres 2001 von der westlichen Ostsee bis in die östliche Gotlandsee (Abb. 1) werden im Zusammenhang mit Satelliten- sowie schiffsgebundenen physiko-chemischen Daten vorgestellt und diskutiert. Dabei werden Vergleiche mit den Vorjahren gezogen, um eventuelle Trends abzuleiten. Zur Vervollständigung der saisonalen Angaben der Phytoplanktodynamik werden Daten von Sinkstoff-Fallen des Jahres 2000 aus dem Gotlandbecken herangezogen. Die Daten von den 5 regulären Monitoringfahrten werden durch Daten ergänzt, die von Projekt- und Praktikumsfahrten sowie von Proben gewonnen wurden, die uns vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) und vom Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) zur Verfügung gestellt wurden. Dadurch kommen wir auf bis zu 21 Probestermine pro Station (Tab. 1).

In der Mecklenburger Bucht (Abb. 2a, 3a) deutete sich der Beginn der Frühjahrsblüte schon in der 2. Februarhälfte an, aber in der Arkonasee (Abb. 2b, 3b), Bornholmsee (Abb. 3c) und östlichen Gotlandsee (Abb. 4) noch nicht. In der Lübecker Bucht dürfte die Blüte schon Mitte März ihren Höhepunkt mit etwa  $8 \text{ g m}^{-3}$  erreicht haben (Abb. 2c), während in der zentralen Mecklenburger Bucht die Nährstoffe am 23.3.01 noch nicht aufgebraucht waren. Daher vermuten wir, dass die Spitze der Frühjahrsblüte dort wohl erst Ende März mit etwa  $5 \text{ g m}^{-3}$  erreicht sein könnte. Solch ein Biomassewert wurde in der zentralen Arkonasee am 2.4.01 real gemessen (Abb. 2b). Die Nährstoffe hatten in der Arkonasee erstaunlicherweise schneller abgenommen als in der zentralen Mecklenburger Bucht. Das wäre ein Anzeichen dafür, dass die frühere Beobachtung eines Fortschreitens der Blütezeitpunktes von West nach Ost nicht in jedem Jahr zutrifft. Offensichtlich muß man auch mit der Bedeutung des Einstroms von Wasser der Pommerschen Bucht für die Frühjahrsblüte rechnen (vgl. Abb. 26a). Der Zeitpunkt der Frühjahrsblüte dürfte in der Bornholmsee nicht wesentlich von dem der Arkonasee abweichen, denn auch hier ist Nitrat schon zum 1.4.01 verbraucht. In der östlichen Gotlandsee hatte sich Ende März erst eine geringe Biomasse entwickelt (Abb. 4), so dass das Maximum der Frühjahrsblüte im Laufe des April zu erwarten ist. Die Station OB in der Pommerschen Bucht (Abb. 2d) weicht als fließwasserbeeinflusste Küstenstation von den Stationen der offenen See deutlich ab. Hier wurde ein Biomassemaximum von über  $7 \text{ g m}^{-3}$  am 7.5.01 registriert (vgl. Abb. 26b). Im Gegensatz zur offenen Ostsee ist das Wachstum im Frühjahr durch Phosphor limitiert, im Sommer aber durch Stickstoff.

Die Frühjahrsblüte wurde im Jahre 2001 im allgemeinen von der Kieselalge *Skeletonema costatum* gebildet. In der Lübecker Bucht waren *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira nordenskiöldii* und *Rhizosolenia setigera* die wichtigsten Frühjahrs-Kieselalgen. In der zentralen Mecklenburger Bucht (Stat. 012) folgte auf die *Skeletonema*-Blüte *Dictyocha speculum*, in der zentralen Arkonasee (Stat. 113) und der Pommerschen Bucht (Stat. OB) aber *Mesodinium rubrum*. Die in der späteren Phase der Frühjahrsblüte zu erwartenden Dinoflagellaten entwickelten sich in der Arkonasee (Abb. 2b), Bornholmsee (Abb. 3c) und Pommerschen Bucht (Abb. 2d) nur schwach. Insofern scheint die seit 1989 beobachtete Ausbreitung von Dinoflagellaten zurückgedrängt zu sein, wie auch schon im Jahre 2000 beobachtet. Lediglich in der östlichen Gotlandsee blieben die Dinoflagellaten (*Peridiniella catenata*) neben dem seit 1999 verstärkt auftretenden Ciliaten *Mesodinium rubrum* der wesentliche Bestandteil der Frühjahrsblüte (Abb. 4). Die Silikatabnahme zeigt aber an, daß

auch hier ein deutliches Kieselalgenwachstum stattgefunden haben muß, was in der Gotlandsee in der 90er Jahren kaum beobachtet worden ist.

Im August kam es in der Mecklenburger Bucht (Abb. 2a) und der westlichen Arkonasee (Stat. 030, Abb. 3b) zu der erwarteten Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus*, während eine Cyanobakterienblüte in der Mecklenburger Bucht nicht auftrat. An Station 030 wurde eine Anreicherung von *Aphanizomenon* sp. in 15 m Tiefe festgestellt. Oberflächenblüten wurden nur bei windstillem Wetter in der nördlichen Arkonasee und der Bornholmsee Ende Juli beobachtet. Aus Satellitendaten lässt sich aber schließen, dass der Höhepunkt der Blüte zum Zeitpunkt der Monitoringfahrt längst vorüber war. Die Cyanobakterienblüte begann bereits Anfang Juni (4.-8.6.2001) nordwestlich Gotland, und zwar entgegen vorheriger Annahmen bereits bei ca. 12 °C Wassertemperatur. Im Juni hatte sie sich über die Gotlandsee ausgebreitet, und es erschien *Aphanizomenon* sp. in größeren Mengen in den Wasserproben. Die maximale Ausdehnung erreichte die Blüte am 4. Juli, als sie sich vom Finnischen Meerbusen bis in die Arkonasee erstreckte (vgl. Abb. 27a). In Küstennähe sind sie meistens schwächer entwickelt. Ab 10. Juli breitete sich die Blüte weiter in die westliche Ostsee aus. Die Cyanobakterienblüten verschwanden im allgemeinen bereits ab Ende Juli (Abb. 27b).

Die Mecklenburger Bucht war von September bis November hauptsächlich durch *Ceratium tripos* und diverse Kieselalgen in stark schwankenden Abundanzen gekennzeichnet. Das häufige Vorkommen von *Ceratium*-Arten bis zur Station 030 spricht, wie schon die sommerlichen Blüten von *Dactyliosolen fragilissimus*, für eine biologische Grenze zwischen den Stationen 030 und 113. Die östlichen Seegebiete von den Pommerschen Bucht bis zur östlichen Gotlandsee waren im Herbst durch mehr oder weniger starke Blüten von *Coscinodiscus granii* geprägt (Abb. 4). Diese Art breitete sich Ende Oktober 2001 aufgrund eines Ausstromereignisses kurzzeitig sogar bis in die zentrale Mecklenburger Bucht aus.

Die wichtigsten Phytoplanktonarten jeder Saison sind für jedes Seegebiet in Tabelle 3 zusammengestellt. Eine komplette Artenliste des Jahres 2001, einschl. eines saisonalen Indikators, findet sich in Tabelle 4.

Die Sedimentation organischen Materials in der Gotlandsee wurde auch im Jahre 2000 durch zwei Haupteinträge biogenen Materials im späten Frühjahr und in der Spätsommerphase geprägt (Abb. 5, 7, 8). Abweichend vom langjährigen Mittel waren allerdings die vorwiegend durch Cyanobakterien ausgelösten Kohlenstoff-Flüsse im Sommer nur unwesentlich höher als die durch Diatomeen bedingte Frühjahrssedimentation. In diesem Jahr waren auch die Flüsse biogenen Silikats (Abb. 9) eindeutig auf das Frühjahr konzentriert und lagen dort weit über dem langjährigen Mittel, so daß von einem geringeren Übertrag von gelöstem Silikat im Oberflächenwasser in die Sommerphase als in den Vorjahren ausgegangen werden muß. Die Gesamtsummen lagen für die einzelnen Elemente bei 490 mmol C, 50 mmol N, 170 mmol Si und 5 mmol P pro m<sup>2</sup> und Jahr. Der Massefluß (Trockenmaterial) betrug 40 g m<sup>-2</sup> im Jahr 2000. Obwohl das saisonale Muster vom langjährigen Mittel abwich, lag der sedimentäre Kohlenstoffeintrag damit in dem über alle beobachteten Jahre relativ konstanten Bereich von 4-6 g Kohlenstoff m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>.

Die jahreszeitliche Entwicklung der Phytoplankton-Gesamtbiomasse ist auch anhand der Chlorophyll a -Konzentrationen verfolgt worden. Die über die obersten 20 m der Wassersäule

integrierten Chlorophyll a- und Phaeopigment a –Konzentrationen der einzelnen Messtermine sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Langjährige Saison- und Jahresmittelwerte der Chlorophyll a-Konzentration ab 1994 sind in Tabelle 6 gezeigt. Sie sprechen für eine leichte Abnahme der Chlorophyll a-Konzentrationen in der eigentlichen Ostsee, insbesondere aufgrund der Abnahme der Sommerwerte.

Bei Nutzung aller zur Verfügung stehenden HELCOM-Daten seit 1979 ergibt sich für die Mecklenburger Bucht ein abfallender Trend (Abb. 17a) und für die Arkonasee ein ansteigender Trend der Chlorophyll a -Konzentrationen (Abb. 17b). Die tendenziellen Anstiege der Chlorophyll a -Konzentrationen in der Bornholmsee (Abb. 18a) und östlichen Gotlandsee (Abb. 18b) sind nicht signifikant für  $p = 0.05$ .

Die seit 1989 oder 1990 in der südlichen Ostsee beobachtete Tendenz eines Verdrängens der Kieselalgen durch Dinoflagellaten in der Frühjahrsblüte kehrte sich in den Jahren 2000 und 2001 um. Die Frühjahrs-Kieselalgen haben sich in der Bornholmsee, Arkonasee und der Mecklenburger Bucht wieder stärker entwickelt, während die Dinoflagellaten zurückgegangen sind. Selbst in der östliche Gotlandsee gibt es Anzeichen für eine gewisse Kieselalgen-Entwicklung im Frühjahr 2001. Der seit 1999 insbesondere im Winter und Frühjahr dominante Ciliat *Mesodinium rubrum* geht seit dem Jahre 2000 wieder zurück. Die in der eigentlichen Ostsee im Herbst blütenbildende Kieselalge *Coscinodiscus granii* scheint ihr Vorkommen in den Sommer und speziell bei Ausstromlagen in die westliche Ostsee auszudehnen.

Im Diskussions-Kapitel werden Ergebnisse von Trend-Analysen auf Grundlage des umfangreichen HELCOM-Datensatzes (Tab. 12) von 1979 bis 1993 sowie bis 1999 aktualisierter Daten aus Originalquellen vorgestellt. Drei verschiedene Verfahren wurden angewendet. Das Zurückdrängen der Kieselalgen und die Zunahme der Dinoflagellaten während des Frühjahrs wurde bestätigt (Tab. 13; Abb. 29 a-b, d-i). Darüber hinaus zeigte sich in Herbst eine Zunahme von Kieselalgen an Station 046 (Abb. 29c) und eine Zunahme von Dinoflagellaten an Station 271 (Abb. 29 l). Im Sommer entwickelten sich die Dinoflagellaten seegebietsweise unterschiedlich: Abwärtstrend in der östlichen Arkonasee (Abb. 29j), Aufwärtstrend in der Mecklenburger Bucht (Abb. 29k). Die Abnahme der sommerlichen Cyanobakterien in der Bornholmsee ergibt sich durch extrem hohe Biomassen zu Beginn der 1980er Jahre (Abb. 29n).

Im Mesozooplankton entsprachen die Abundanzverhältnisse oberhalb der Haloklinen dem langjährigen Mittel, fielen aber unterhalb der Haloklinen um 1/3 niedriger aus. Das ergaben Vergleiche aus der Arkonasee (Tab. 7).

Von 26 Zooplankton - Taxa sind 16 ganzjährig anzutreffen, 13 davon im gesamten Untersuchungsgebiet. Im Gegensatz zu 2000 indizierte *Limnocalanus macrurus* in der östlichen Gotlandsee im Mai salzarmes Wasser mit nördlicher Herkunft. Für eine relative Aussüßung in oberflächennahen Schichten stehen auch die vergleichsweise hohen Abundanzen von *Acartia bifilosa* und *Eurytemora affinis*. Der aus der Nordsee stammende Strudelwurm *Alaurina composita* war in der westlichen Ostsee im Vergleich zum Vorjahr um mehr als 50 % weniger nachweisbar.

Innerhalb des Mesozooplanktons kam es 2001 sowohl gegenüber dem Vorjahr als auch im Vergleich zur ersten Hälfte der letzten Dekade zu geringfügigen Abundanzverschiebungen (Tab.

9). Die Rotatorien - Abundanz verringerte sich als Folge des späten Frühlingseintritts im ersten Fall um die Hälfte, im zweiten um den Faktor von 4. Im Gegenzug traten vermehrt Appendikularien auf, die sich wie die Rotatorien von Mikroplankton ernähren. Östlich von Bornholm wurden im Juli eine doppelt so hohe Abundanzen von *Bosmina* spp. verzeichnet im Vergleich zum Vorjahr. Warmes Oberflächenwasser bildete dafür die Voraussetzung. Bemerkenswert war 2001 das starke Auftreten von Muschel- und Schneckenlarven in der westlichen Ostsee.

Insgesamt stehen die Rotatorien und die Cladoceren an oberster Stelle der Dominanzliste. Sie übersteigen die dann folgenden calanoiden Copepoden, Cyclopiden, Appendikularien und meroplanktischen Larven um ein bis zwei Größenordnungen (Tab. 9).

Die Artenzahl des Makrozoobenthos war mit 97 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich angestiegen (Tab. 12, Abb. 20). Damit setzt sich die seit 1991 zu beobachtende steigende Tendenz in der Diversifizierung des Makrozoobenthos im Untersuchungsgebiet fort. Die ist v.a. auf stabile Sauerstoffverhältnisse und Einstrom von salzreichem Bodenwasser zurückzuführen. Seit Jahren anhaltender Sauerstoffmangel in der Bornholmsee führte dort zu einem kompletten Artenverlust. An den anderen Stationen betrug die Anzahl der angetroffenen Taxa etwa 60-70% der "potenziell möglichen" (Abb. 21). Die Gesamt-Abundanz (Abb. 22) und die Gesamt-Biomasse (Abb. 23) nahmen im Vergleich zum Vorjahr im allgemeinen ab. Nur an Stat. 010 (Fehmarnbelt) kam es durch hohe Abundanz adulter *Arctica islandica* zu einem drastischen Biomasseanstieg (Abb. 24; vgl. mit Stat. 012 in Abb. 25). Einige Taxa konnten erstmals für das Gebiet nachgewiesen werden. Dazu zählten die Polychaeten *Glycera alba*, *Mediomastus fragilis*, *Pseudopolydora antennata* und *Sphaerodorum flavum*. Andere Arten wurden seit langer Zeit (teilweise Jahrzehnte) erstmals wieder im Gebiet gefunden. Hier sollen *Astarte montagui* (Bivalvia), die an der Darßer Schwelle gefunden wurde, und *Monoporeia affinis* (Amphipoda) aus der südlichen Arkonasee genannt werden.

## Summary

Species composition and biomass or abundance of phyto- and zooplankton as well as macrozoobenthos from the western part of the Baltic Sea to the eastern Gotland Sea (Fig. 1) in 2001 were studied and discussed in comparison with satellite- and ship-based physico-chemical data. Comparisons with previous years were made and trends were checked. Information based on sedimentation traps (from 2000) completed the seasonal reflections of the phytoplankton development. Data from the five regular monitoring cruises were complemented by data gathered from additional phytoplankton samples taken from project and training cruises and from monitoring cruises of the National Environmental Research Institute Roskilde (Denemark) and Landesamt für Natur und Umwelt of the German country Schleswig-Holstein. By this strategy, up to 21 samples per station and year were available (Table 1).

The spring bloom started already in the second half of February in Mecklenburg Bight (Fig. 2a, 3a), but still not in the Arkona Sea (Fig. 2b, 3b), Bornholm Sea (Fig. 3c) and eastern Gotland Sea (Fig. 4). In Lübeck Bight, the bloom might have reached its peak in the mid of March ( $8 \text{ g m}^{-3}$  wet weight; Fig 2c), whereas the nutrients were not used up yet in Mecklenburg Bight until 23.3.01. Therefore we assume that the peak of the bloom might reach  $5 \text{ g m}^{-3}$  there at the end of March. This biomass level was measured in the central Arkona Sea on 2.4.01 (Fig. 2b). Surprisingly, the



nutrient concentrations decreased quicker in the Arkona Sea than in the central Mecklenburg Bight. This is a sign that the earlier findings of a retardation of the blooms from west to east is not true in every year. Obviously, the inflow of water from the Pomeranian Bight has a modifying effect (cf. Fig. 26a). The timing of the bloom in the Bornholm Sea might not deviate from that of the Arkona Sea as nitrate was exhausted there already on 1.4.01. As phytoplankton biomass was still low in the eastern Gotland Sea at the end of March (Fig. 4), the biomass peak was expected in April, there. The coastal station OB in the Pomeranian Bight deviates from the stations of the open sea. It crops a phytoplankton biomass of over  $7 \text{ g m}^{-3}$  on 7.5.01 (cf. also Fig. 26b). The phytoplankton growth in spring is limited by phosphorus (in contrary to the open Baltic), but by nitrogen in summer (as usual in the Baltic proper).

The spring bloom in 2001 was mainly formed by the diatom *Skeletonema costatum*. In Lübeck Bight, *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira nordenskiöldii* and *Rhizosolenia setigera* were the most abundant representatives. The *Skeletonema* bloom was followed by *Dictyocha speculum* in the central Mecklenburg Bight (Stat. 012), but by *Mesodinium rubrum* in the central Arkona Sea (Stat. 113) and the Pomeranian Bight (Stat. OB). Dinoflagellates, which were expected in the late phase of the spring bloom, developed only weakly in the Arkona Sea (Fig. 2b), Bornholm Sea (Fig. 3c) and Pomeranian Bight (Fig. 2d). Insofar, the spreading of dinoflagellates, noticed since 1989, might have stopped (since 2000). They remain abundant, besides of *Mesodinium rubrum*, which is increasing since 1999, only in the spring bloom in the eastern Gotland Sea (Fig. 4). The consumption of silicate in spring shows, however, that the diatoms grew also there.

The expected summer bloom of *Dactyliosolen fragilissimus* was found in the Mecklenburg Bight (Fig 2a) and the western Arkona Sea (Stat. 030, Fig 3b) in August, while a cyanobacteria bloom was not present. An accumulation of *Aphanizomenon* sp. was noticed at Stat. 030 at a depth of 15 m. Satellite data revealed that the cyanobacteria bloom started already at the beginning of June northwest of Gotland at a temperature as low as  $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , which is in contrast to previous reports. The bloom (*Aphanizomenon* sp.) has spread over the Gotland Sea in June and reached its maximum on 4.7.01, stretching from the Gulf of Finland to the Arkona Sea (cf. Fig. 27a). It is less abundant in coastal waters. The cyanobacterial blooms disappeared as from the end of July (cf. Fig. 27b).

Small autumn blooms of *Ceratium tripos*, accompanied by diverse diatoms in changing abundances, were present in the Mecklenburg Bight. The frequent occurrence of *Ceratium* spp. up to Stat. 030, as well as the extension of the summer blooms of *Dactyliosolen fragilissimus*, indicate a biological border in the Arkona Sea between stations 030 and 113. The eastern areas from the Pomeranian Bight to the eastern Gotland Sea were characterized by autumn blooms of *Coscinodiscus granii* (cf. Fig. 4). This species spread even to the Mecklenburg Bight at the end of October due to outflowing water.

The 10 most important phytoplankton species of each season in each sea area are compiled in Table 3. A complete species list of the year 2001, incl. a seasonal indicator, is given in Table 4.

The sedimentation of organic matter in the eastern Gotland Sea in 2000 agreed with the standard pattern characterized by two peaks in late spring and late summer (Fig. 5, 7, 8). Contrary to the long-term trend, the absolute amount of sedimenting carbon was divided equally between material derived from spring diatoms and from summer cyanobacteria. Fluxes of biogenic silica were

concentrated in the spring period (Fig. 9) and rates were higher than the long-term mean, so that a smaller carry-over of dissolved silica in the mixed layer from spring to summer has to be assumed for this year. Total fluxes of the different elements were 490 mmol C, 50 mmol N, 170 mmol Si and 5 mmol P  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ . The mass flux amounted to 40 g dry matter per  $\text{m}^2$  and year in 2000. Although the seasonal pattern of sedimentation differed from the mean of the previous years, the absolute sedimentary carbon input was well within the relatively constant range of 4-6 g C  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ .

The seasonal development of phytoplankton biomass was reflected also by the chlorophyll *a* concentration. The measured chlorophyll *a* and phaeopigment *a* data, integrated over the upper 20 m of the water column, are shown in Table 5. Seasonal and annual mean values since 1994 indicate a slight decrease of chlorophyll *a* concentrations in the Baltic proper, especially because of a decrease of the summer values (Table 6).

If long-term data from 1979 to 2001 were considered, there is still a significant ( $p=0.01$ ) increase in chlorophyll *a* concentrations in the Arkona Sea (Fig. 17b). The increasing tendencies in chlorophyll *a* concentrations in the Bornholm Sea (Fig. 18a) and the eastern Gotland Sea (Fig. 18b) are not significant for  $p=0.05$ . Chlorophyll *a* data from Mecklenburg Bight show a significant decrease (Fig. 17a).

The shift from diatoms to dinoflagellates in the spring blooms, noticed since 1989 or 1990 in the southern Baltic proper, inverted in 2000 and 2001. Spring diatoms developed stronger in 2001 in Bornholm Sea, Arkona Sea and Mecklenburg Bight, while biomass of spring dinoflagellates was low. Even in the eastern Gotland Sea, there are indications of a slight diatom growth in spring 2001. *Mesodinium rubrum*, which was strongly dominant in winter and spring 1999, reduced since 2000. *Coscinodiscus granii*, which is bloom-forming in autumn in the Baltic proper, spreads to summer and especially with outflow situations into the western Baltic Sea.

Trend analyses on the basis of HELCOM data and additional data from 1979 to 1999 (Table 12) are extensively discussed in Chapter 5.2. Three statistical methods were applied. The decrease of diatoms and increase of dinoflagellates in spring are confirmed (Table 13; Fig. 29 a-b, d-i). Moreover, there is an increase in diatoms at station 046 and in dinoflagellates at station 271 in autumn (Fig. 29 c, l). In summer, dinoflagellates developed differently: downwards trend in the eastern Arkona Sea (Fig. 29j), upwards trend in Mecklenburg Bight (Fig. 29k). The decrease in summer biomass of cyanobacteria in the Bornholm Sea results from extremely high biomass at the beginning of the 1980s (Fig. 29n).

Zooplankton samples had been taken by WP-2 net in changing depth ranges according to the hydrographical situation at the specific station (cf. Table 2). The 100  $\mu\text{m}$  mesh size of the WP-2 net does not quantitatively consider the smaller groups, like most of the nauplia stages, the larvaceans, rotifers, and tintinnids. The taxonomic groups, which had been found in 2001, are listed in Table 8. In comparison to the previous year, *Limnocalanus macrurus* had been detected once, during spring, in the eastern Gotland Sea, indicating the influence of low saline water of northern origin. Fresh-water run-off is responsible for the occurrence of cyclopoids, other than *Oithona similis*, in the Pomeranian Bay. In 2000, such indication was limited to the winter / spring period, whereas it happened during all sampling times throughout 2001.

The average zooplankton abundance amounted to approximately 30.000 Individuals  $m^{-3}$  in the surface layer of the central Arkona Sea between 1979 and 2001. It declined to 18.000 Ind.  $m^{-3}$  below the pycnocline. Maxima of 160.000 Ind.  $m^{-3}$  were recognized in the upper layer and of the same magnitude in the deeper one. The minima were 400 times smaller in both water bodies (Table 7). In 2001, the maximum abundances were two- to tenfold smaller in comparison to the long-term mean. The minima behaved opposite (Table 7). Consequently, the conditions in 2001 met the average situation (cf. Fig. 19). There were no statistical significant differences between the upper and the lower depth range in 2001, but over the entire period by a factor of about 2.

The abundance of the main taxonomic categories of zooplankton varied partly significantly in 2001 in comparison to the previous year and to the first half of the last decade. According to the maximum occurrence, displayed in Table 9, the rotifers decreased to almost  $\frac{1}{4}$  if compared to the 1991 to 1995 period, which is a sign of the rather late spring in 2001. The maximum was to be found in the surface layer sample of the eastern Gotland Sea in May. Remarkable is the high amount of cladocerans (*Bosmina* spp.), detected during July in the surface layer in the Bornholm Sea. It indicates warmer surface water. Further, the increase in the abundance of bivalvia and gastropod larvae is notable, both detected in the near surface layers of the Belt Sea in July 2001. The larvaceans increased in 2001, probably as a result of the lesser occurrence of the rotifers, which compete for a similar food spectrum.

The species number of macrozoobenthos, amounting to 97, has increased in comparison with previous years (Table 11, Fig. 20). Hence, the increase in diversity, noticed since the beginning of our investigations in 1991, continued. This is caused by inflow of saline bottom water, which stabilized the oxygen conditions. In the Bornholm Sea, however, continued oxygen depletion led to a complete loss in macrozoobenthos for many years. At the other stations, the number of taxa in 2001 amounted to 60-70 % of the total number of taxa found at that station since 1991 (Fig. 21). Macrozoobenthos abundance (Fig. 22) and biomass (Fig. 23) decreased in comparison to the year 2000 at almost all stations. Only at station 010 (Fehmarnbelt), biomass increased due to growing abundance of adult *Astarte islandica* (Fig. 24; compare with Stat. 012 in Fig. 25). Some taxa could be found for the first time, like the polychaetes *Glycera alba*, *Mediomastus fragilis*, *Pseudopolydora antennata* and *Sphaerodorum flavum*. Other species have been recovered in the investigated area, partly after they were absent for decades. Examples are *Astarte montagui* (Bivalvia), found at Darss Sill, and *Monoporeia affinis* (Amphipoda), found in the southern Arkona Sea.

## 1. Einleitung

Wegen der erheblichen Verschlechterung des Zustandes der Ostsee insbesondere in den 60er Jahren wurde im Jahre 1974 in Helsinki ein internationales Abkommen zum Schutze der Meeresumwelt durch alle Küstenstaaten der Ostsee unterzeichnet. Im Rahmen dieses Abkommens wird die Ostsee von allen Anliegerstaaten seit dem Jahre 1979 nach einem abgestimmten Plan und einheitlichen Methoden überwacht. 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. Seit einigen Jahren trägt HELCOM auch der großen Bedeutung der Küstengewässer für das gesamte Ökosystem Rechnung und hat ein Küsten-Monitoringprogramm (CMP) eingeführt, das mit dem traditionellen BMP zum COMBINE zusammengefasst wurde.

Darüber hinaus werden die Aktivitäten der deutschen Küstenländer bezüglich der Umweltüberwachung in Nord- und Ostsee im Bund-Länder-Meßprogramm (BLMP) gebündelt, dessen Sekretariat im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) angesiedelt ist.

Ein erheblicher Teil des Ostsee-Überwachungsprogramms wird im Auftrage des BSH am Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) durchgeführt. Im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung wurde dem IOW der deutsche Beitrag für das Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) übertragen. Dieses Programm richtet sich unter anderem auf die Erforschung der Stoff- und Energieflüsse im Ökosystem Ostsee, auf die Fragen zu Herkunft, Ausbreitung, Wirkung und Verbleib von anorganischen und organischen Einleitungen sowie auf die Erfassung längerfristiger Veränderungen abiotischer und biotischer Variablen.

Die 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 befindet sich im Druck (HELCOM, in press). 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 2001 ist bereits erschienen (NAUSCH et al., 2002). Die Ergebnisse des biologischen Teils des Ostsee-Überwachungsprogramms des Jahres 2001 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., 1998a, 1999, 2000a, 2001) empfohlen.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Beprobungs-Strategie**

Die Aufgabenstellung für das wissenschaftliche Programm orientiert sich an den Vorschriften der HELCOM. Im Einzelnen umfasst das biologische Monitoring am IOW die Bestimmung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Phytoplanktons, Mesozooplanktons und Makrozoobenthos, die Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigment-a-Gehalts von Wasserproben und die Auswertung von Sinkstoff-Fallen. Die Phytoplanktonentwicklung wird auch anhand von Satellitenbildern verfolgt. Die Methoden sind in einem aktualisierten Manual (HELCOM, 2001) verbindlich vorgeschrieben. Für die Auswertung der Sinkstoff-Fallen und der Satellitenbilder gibt es noch keine verbindlichen HELCOM-Methodenvorschriften.

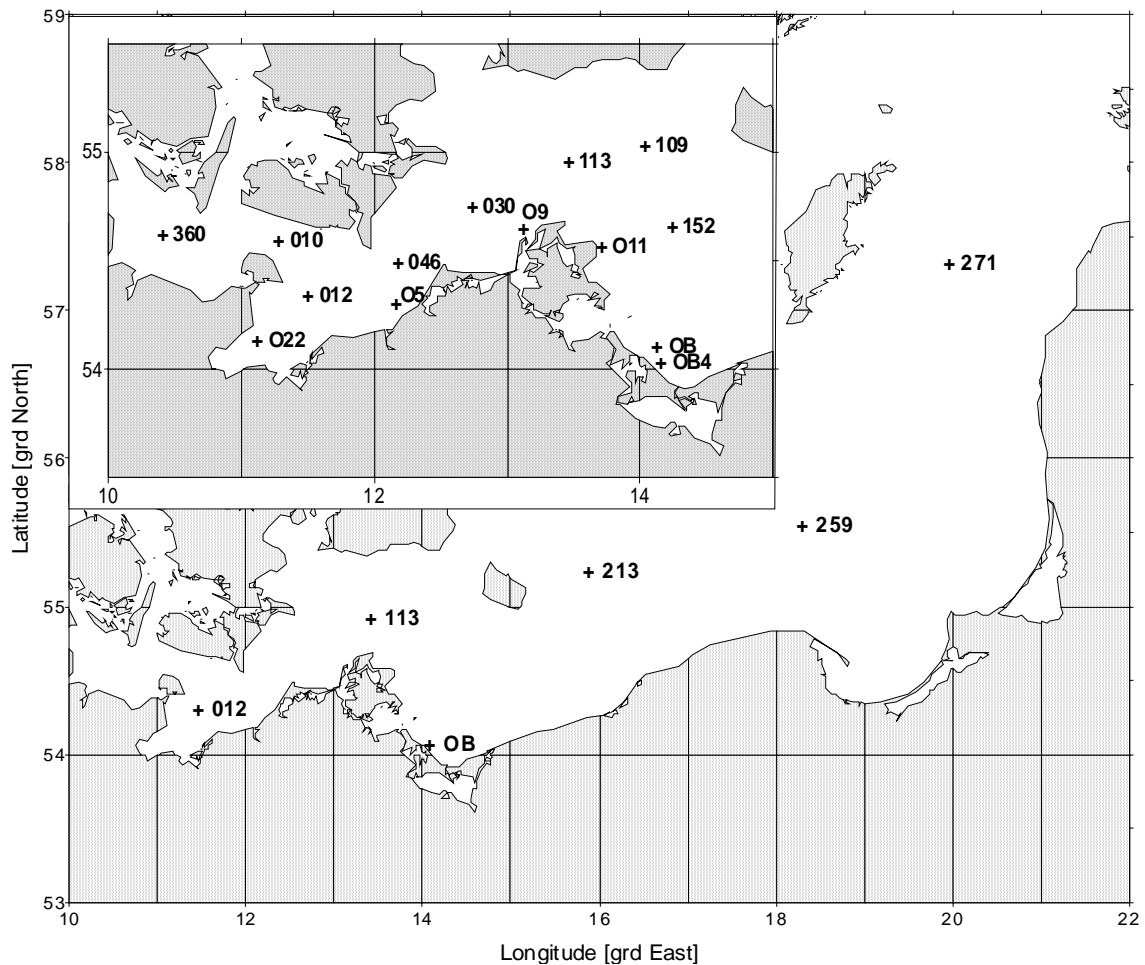


Abb. 1

Die Lage der beprobten Stationen in der Ostsee. Kieler und Mecklenburger Bucht sowie Arkonasee siehe Nebenkarte. Die Zentralstationen der einzelnen Seegebiete sind Station 012(M2) = Mecklenburger Bucht, Station 113(K5) = Arkonasee, Station 213(K2) = Bornholmsee, Station 271(J1) = östliche Gotlandsee, Station OB = Pommersche Bucht

Fig. 1

The station grid for biological sampling in the Baltic Sea. Stations in the main map represent Mecklenburg Bight (Stat. 012), Arkona Sea (Stat. 113), Bornholm Sea (Stat. 213), eastern Gotland Sea (Stat. 271), and Pomeranian Bight (Stat. OB)

Die traditionellen fünf Terminfahrten wurden wie üblich im Februar, März/April, Mai, Juli/August und Oktober/November durchgeführt. Die Stationen für die biologischen Untersuchungen entsprechend der Vorgaben durch HELCOM und BLMP sind in Abb. 1 dargestellt.

Da Planktonproben in der westlichen und südlichen Ostsee sowohl auf den Hin- als auch Rückreisen genommen wurden, können von unseren 5 Fahrten maximal 10 Proben pro Station und Jahr gewonnen werden. Im Jahre 2001 wurden darüber hinaus auch Proben des hausinternen Projekts CARFIX (Projektleiter Dr. Bernd Schneider) sowie einer Praktikumsfahrt der Universität Kiel (Praktikumsleiter Prof. Dr. Karin Lochte) in die Auswertung einbezogen. Das war möglich durch abgestimmte Beprobung an den Monitoringstationen mit den vorgeschriebenen Methoden.

Tabelle 1

Häufigkeit der Probenahme (= Anzahl der Probentermine) zur Gewinnung der biologischen Daten des IOW im Jahre 2001 (für Sinkstoff-Fallen: 2000). Chlorophyll- und Phaeopigmentangaben in Klammern kennzeichnen 0 m-Proben für das LUNG.

)<sup>1</sup> einschl. 10 Proben vom LANU, )<sup>2</sup> einschl. 5 Proben vom LANU,

)<sup>3</sup> einschl. 4 Proben vom National Environmental Research Institute Roskilde

Table 1

Sampling statistics for different parameters specified for sampling stations in 2001 (for sedimentation traps from year 2000). International station number inserted in column 2. Pigment samples in brackets indicate samples from 0 m only, delivered to the Governmental Agency for Environment, Nature and Geology Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)

)<sup>1</sup> incl. 10 samples from the Environmental Agency Schleswig-Holstein (LANU),

)<sup>2</sup> incl. 5 samples from LANU,

)<sup>3</sup> incl. 4 samples from National Environmental Research Institute Roskilde

<b>IOW- Stationsnummer</b>	<b>BMP- Stations- nummer</b>	<b>Chlorophyll u. Phaeopigment</b>	<b>Phyto- plankton</b>	<b>Zoo- plankton</b>	<b>Zoo- benthos</b>	<b>Sinkstoff- Fallen</b>
<b>Beltsee</b>						
<b>360</b>	BMP N3	3	-	4	-	-
<b>361</b>	BMP N4	-	-	1	-	-
<b>010</b>	BMP N1	-	-	-	1	-
<b>012</b>	BMP M2	7	21 ) <sup>1</sup> ) <sup>3</sup>	7	1	-
<b>O22</b>		(4)	6 ) <sup>2</sup>	-	-	-
<b>O5</b>		(5)	-	-	-	-
<b>046</b>	BMP M1	8	9	8	-	-
<b>Arkonasee</b>						
<b>030</b>	BMP K8	8	9	8	1	-
<b>069</b>	BMP K7	-	4 ) <sup>3</sup>	-	-	-
<b>109</b>	BMP K4	4	5	-	1	-
<b>113</b>	BMP K5	10	11	8	-	-
<b>O9</b>		(5)	-	-	-	-
<b>O11</b>		(3)	-	-	-	-
<b>152</b>	BMP K3	-	-	-	1	-
<b>Pommernbucht</b>						
<b>OB</b>	BMP K58	5	5	4	-	-
<b>OB4</b>		(4)	-	-	-	-
<b>133</b>		(4)	-	-	-	-
<b>160</b>		1	-	-	-	-
<b>Bornholmsee</b>						
<b>213</b>	BMP K2	10	10	10	1	-
<b>Östl. Gotlandsee</b>						
<b>259</b>	BMP K1	5	5	5	-	-
<b>271</b>	BMP J1	17	11	7	-	60

Die seit 1998 praktizierte Übergabe von Phytoplanktonproben vom National Environmental Research Institute Roskilde (Dänemark) und vom Landesamt für Natur und Umwelt des Landes

Schleswig-Holstein (LANU) an das IOW zum Zwecke der Erhöhung der Probenfrequenz für die Stationen 012 und 069 konnte im Jahre 2001 erfolgreich fortgesetzt werden. Die Daten von diesen Proben werden in diesen Bericht mit einbezogen. Zu den Zooplanktonproben gibt es in Tabelle 2 noch eine gesonderte Statistik.

Die vom IOW genommenen Phytoplanktonproben sowie die Chlorophyll a – und Phaeopigment a-Werte der Küstenstationen O22, O5, O9, O11 und OB4 (jeweils nur von der Oberfläche) werden dem Küstenlabor des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) übergeben. Trotz der Zuständigkeit des LUNG für das Küsten-Monitoring in Mecklenburg-Vorpommern bleibt das IOW auch weiterhin in der Lübecker Bucht (Station O22) und der Pommerschen Bucht (Station OB) engagiert.

Die Auswertung der Sinkstoff-Fallen ist sehr aufwändig, so dass noch nicht der komplette Datensatz des Jahres 2001 vorliegt. Stattdessen werden hier die Daten der Sinkstoff-Fallen des Jahres 2000 gezeigt, die im vorigen Bericht noch nicht vorgestellt werden konnten.

Makrozoobenthos-Proben werden nur einmal im Jahr (im Oktober) an 6 Stationen genommen. Zusätzlich zu den Greifer-Proben kam eine Dredge zum Einsatz, um die selteneren und vagilen Arten zu erfassen, sowie ein Videoschlitten, um v.a. epibenthische Arten nachzuweisen sowie die Sediment- und Habitateigenschaften zu charakterisieren.

## 2.2 Phytoplankton

Im allgemeinen wurden an jeder Station 2 Phytoplanktonproben genommen: eine Oberflächen-Mischprobe, für die Wasser von 1 m, 2,5 m, 5 m, 7,5 m und 10 m Tiefe zu gleichen Teilen vermischt wurde sowie eine Probe von unterhalb der obersten Sprungschicht (meistens aus 15 oder 20 m Tiefe). Bei Vorliegen interessanter Strukturen (z.B. markante Fluoreszenzmaxima im Tiefenprofil) wurden auch diese Wassertiefen zusätzlich beprobt. 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 gezählt, so dass ein statistischer Zählfehler für die häufigsten Einzelarten von etwa 28 % angenommen werden kann. Insgesamt kommt man pro Probe auf mindestens 500 gezählte Individuen. Damit wird der Fehler für die Gesamtbiomasse deutlich geringer (< 10 %). Jeder Art bzw. Größenklasse entspricht ein charakteristisches Individuenvolumen (Berechnung nach HELCOM, 2001). Dieses wird mit der Anzahl der gezählten Individuen multipliziert, um auf das Biovolumen der jeweiligen Art zu kommen. Bei Annahme einer Dichte von  $1 \text{ g cm}^{-3}$  entspricht das Biovolumen zahlenmäßig der Biomasse (Frischmasse). Die Berechnung und Datenausgabe erfolgten mit Hilfe des von HELCOM empfohlenen Programms der Softwarefirma Kahma Ky (Helsinki). Auf eine weitere Umrechnung in Kohlenstoff-Einheiten wurde verzichtet, da der dazu empfohlene konstante Umrechnungsfaktor ( $F=0,11$ ) sehr fragwürdig ist.

## 2.3 Algenpigmente

Das Probenwasser zur Bestimmung der Algenpigmente wurde aus den einzelnen Entnahmetiefen (1 m, 2,5 m, 5 m, 10 m, 15 m und 20 m) an Bord durch Glasfaserfilter (Whatman GF/F) filtriert. Die Filter wurden dann sofort eingefrostet und tiefgekühlt gelagert bis zur Weiterbearbeitung im Institut. Die Extraktion erfolgte in 90 %igem Aceton. Zur Verbesserung der Chlorophyllausbeute wurden die Filter mittels eines rotierenden Teflon-Stabs homogenisiert. Die fluorometrische Messung erfolgte am Fluorometer 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.

## 2.4 Mesozooplankton

### 2.4.1 Probenentnahme und Statistik

Die Probenentnahme erfolgte gemäß der derzeit gültigen Empfehlung der HELCOM ([http://www.helcom.fi/combine\\_manual/anxc7.html](http://www.helcom.fi/combine_manual/anxc7.html)). Dementsprechend wurde ein WP-2 Netz mit 100 µm Maschenweite benutzt, um die Wassersäule in maximal drei Tiefenstufen, von der Oberfläche bis einschließlich zur Thermokline, von dort bis inklusive Halokline und darunter bis zum Boden, zu beproben. Fehlte die Thermokline, wurden die Proben von der Oberfläche bis einschließlich Salzgehaltssprungschicht integriert. Generell wurde eine Holgeschwindigkeit von etwa 0,5 m/s benutzt. Zur Berechnung der filtrierten Wassermenge diente die Trossenlänge. Drahtwinkel wurden trigonometrisch korrigiert. Die Holtiefe überstieg stets 5 m Wassersäule. Die Behandlung von Quallen, die Überführung der Fänge vom Netz in die Behältnisse sowie die Fixierung erfolgten entsprechend der Richtlinien zur Probenentnahme.

Die Proben wurden auf fünf Terminfahrten in der Beltsee, der Mecklenburger Bucht, der Arkonasee, mit Pommerscher Bucht, der Bornholmsee sowie in der südlichen und mittleren Gotlandsee gewonnen (Tab. 2).

### 2.4.2 Analyse

Die Analyse des Planktons erfolgte seit 1992 mit einem Umkehrmikroskop (Leica, Labovert), meist mit 50facher Vergrößerung (maximal 125fach), unter Verwendung einer nach ARNDT (1985) modifizierten Mini-Bogorov-Kammer (POSTEL et al., 2000). Um gesundheitliche Schäden zu vermeiden (<http://www.schadstoffberatung.de/formalde.htm>), wurde zunächst das Formalin durch ein Sieb mit 55 µm Maschenweite entfernt und durch destilliertes Wasser ersetzt. Anschließend wurde aus einem Gesamtvolumen meist eine Teilprobe analysiert, die mit einer 1 ml fassenden Eppendorfpipette (Öffnungsdurchmesser 5 mm) angefertigt wurde. Diese Technik ist 5 bis 8 mal schneller als die gleichfalls von HELCOM empfohlene Teilungstechnik (KOTT-Teiler) und erzeugt Fehler von ca. 7 – 9% (VAN GUELPEN et al., 1982). In der Frage der Anzahl zu zählender Organismen wurden traditionellerweise insgesamt bis zu 500 Individuen pro Probe analysiert. Dazu mussten zwischen 1/3 und 1/4000, im Durchschnitt  $1/40 \pm 2/40$  der Proben analysiert werden. Statistisch gesehen gilt für eine Anzahl von 400 gezählten Individuen ein 10%iger Zählfehler (z.B. LUND et al., 1958).



Tabelle 2

Statistik der Probenentnahmen in den jeweiligen Tiefenstufen [m] auf den in Abbildung 1 verzeichneten Stationen vom Februar bis November 2001 (TF = Terminfahrt)

Table 2

Sampling intervals (m) for zooplankton hauls at sampling stations (cf. Figure 1) on surveys between February and November 2001 (TF= Terminfahrt, survey)

Station IOW/BMP Code	Seegebiet Probenentnahmezeitraum	Tiefen-stufe	Februar TF 8.2.-23.2.	März TF 22.3.-1.4.	Mai TF 3.5.-17.5.	Aug. TF 23.7.-8.8.	Oktober TF 25.10-7.11.
360 / N3	Beltsee	1	0 - 13	0 - 15	0 - 14	0 - 14	-
361 / N4	Beltsee	1	-	-	-	-	0 - 20
		2	-	-	-	-	20 - 31
12 / M2	Mecklenburger Bucht	1	0 - 5	0 - 21	0 - 20	0 - 20	0 - 20
		2	5 - 20	-	-	-	-
46 / M1	Kadetrinne	1	0 - 8	0 - 21	0 - 18	0 - 13	0 - 14
		2	8 - 20	-	-	13 - 21	14 - 22
30 / K8	Darßer Schwelle	1	0 - 12	0 - 19	0 - 18	0 - 19	0 - 18
		2	12 - 18	-	-	-	-
113 / K5	Arkonasee	1	0 - 42	-	0 - 12	0 - 19	0 - 35
		2	-	-	12 - 32	19 - 43	35 - 44
		3	-	-	32 - 42	-	-
OB	Pommersche Bucht	1	0 - 10	-	0 - 10	0 - 11	0 - 10
213 / K2	Bornholmsee	1	0 - 43	0 - 60	0 - 17	0 - 17	0 - 40
		2	43 - 85	60 - 84	17 - 50	17 - 50	40 - 70
		3	-	-	50 - 82	50 - 86	70 - 85
259 / K1	Südliche Gotlandsee	1	0 - 60	0 - 83	0 - 40	0 - 25	0 - 48
		2	60 - 84	-	40 - 62	25 - 75	0 - 84
		3	-	-	62 - 85	75 - 86	-
271 / J1	Östliche Gotlandsee	1	0 - 60	0 - 60	0 - 35	0 - 20	0 - 50
		2	60 - 125	60 - 100	35 - 50	20 - 60	50 - 130
		3	125 - 236	100 - 225	50 - 234	60 - 232	130 - 200
		4	-	-	125 - 234	-	-
Rück-Tour:							
271 / J1	Östliche Gotlandsee	1	-	-	0 - 20	0 - 18	-
		2	-	-	20 - 60	18 - 67	-
		3	-	-	60 - 231	67 - 245	-
		4	-	-	115 - 231	-	-
213 / K2	Bornholmsee	1	0 - 50	0 - 60	0 - 10	0 - 90	0 - 48
		2	-	60 - 83	10 - 40	-	48 - 84
		3	-	-	40 - 85	-	-
113 / K5	Arkonasee	1	-	0 - 44	0 - 28	0 - 18	0 - 14
		2	-	-	28 - 43	18 - 43	14 - 42
30 / K8	Darßer Schwelle	1	0 - 18	-	-	0 - 19	0 - 7
		2	-	-	-	-	7 - 18
46 / M1	Kadetrinne	1	0 - 21	-	-	0 - 21	0 - 22
		2	-	-	-	-	-
12 / M2	Mecklenburger Bucht	1	0 - 21	-	-	-	0 - 21

Er nimmt für alle seltenen Vertreter drastisch zu (50% bei 16 Organismen, 100 % bei 4). In den 2001er Analysen wurden pro taxonomischer Gruppe zwischen 1 und 1000 Individuen gezählt, im Mittel  $25 \pm 56$ . Das Maximum betraf eine Rotatorienzählung aus der östlichen Gotlandsee vom

Mai 2001. Die Teilprobenanalyse setzt eine perfekte Gleichverteilung der Organismen voraus. Die Oberflächenspannung, die bei Cladoceren zur Gefahr einer unzureichenden Homogenisierung der Individuen in der Gesamtprobe führen kann, wurde durch wenige Tropfen von Detergentien herabgesetzt.

### 2.4.3 Abweichungen von den COMBINE Regeln und methodische Probleme

Der Empfehlung, bei fehlender Thermoklinen einen Hol bis 25 m Tiefe vorzunehmen, wurde nicht gefolgt. Gelegenheiten, bei abwesender Haloklinen den Hol von 75 m Tiefe bis zur Thermoklinen bzw. bis zum 25 m - Tiefenniveau durchzuführen, traten nicht auf. Die Lage der Oxyklinen wurde bei der Probennahme nicht berücksichtigt. Abweichend von den HELCOM-Vorschriften kamen im Jahre 2001 noch keine Durchflusszählerwerte zur Auswertung. Demzufolge wurde auch keine Filtrationseffektivität (Durchfluss im Netz im Vergleich zu außen) abgeschätzt. Die Daten der eingesetzten Geräte, waren nur bedingt nutzbar. Das mechanische, digitale Flowmeter mit Rücklaufsperr der Fa. Hydrobios ist nicht für winterliche Temperaturen geeignet. Das Nachfolgemodell zeigte Anfälligkeiten elektronischer Art. Das digitale Flowmeter der Firma General Oceanics, ebenfalls mit Rücklaufsperr, war nicht stabil in Zugrichtung zu fixieren. In der kommenden Beprobungssaison stehen die bewährten mechanischen Durchflusszähler der Firma Tsurumi – Seiki Co., Yokohama, zur Verfügung.

Tintinniden, Nauplienstadien von Kleinkrebsen und Rotatorien sind gemäß des Maschenweiterevergleichs von WP-2-Netzen (ICES, C.M. 1997/E:5) nur semi-quantitativ im 100 µm Netz enthalten. Das muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Auf eine Umrechnung der Abundanzergebnisse auf Biomassekonzentration wird nach wie vor verzichtet, wenn es um den Vergleich einzelner taxonomischer Gruppen geht, denn die derzeit im Rahmen der HELCOM benutzten Biomassefaktoren für Individuen einzelner Arten und Entwicklungsstadien entsprechen nicht den wirklichen Verhältnissen. Zur Schaffung solcher Faktoren unter Anwendung von morphometrischen Verfahren und der Mikrokohlenstoffanalyse wird im Jahr 2002 eine Diplomarbeit vergeben.

Die im Vorjahr angesprochenen Zweifel bei der Bestimmung von *Pseudocalanus*- und *Bosmina*-Arten sind noch nicht ausgeräumt. Daher werden hier in beiden Fällen nur die Gattungsnamen benutzt.

## 2.5 Makrozoobenthos

Beginnend vom Fehmarnbelt wurden bis zur Bornholmsee im Oktober 2001 an 6 Stationen Benthosuntersuchungen durchgeführt. Je nach Sedimenttyp wurden zwei verschiedene van-Veen-Greifer (980 cm<sup>2</sup> und 1060 cm<sup>2</sup>) mit unterschiedlichen Gewichten (38 kg bzw. 70 kg sowie 23 kg) eingesetzt. Pro Station wurden 3 Parallelproben (Hol) entnommen. Die einzelnen Hols wurden über ein Sieb mit 1 mm Maschenweite mit Seewasser gespült, der Siebrückstand in Gefäße überführt und mit 4%igem Formalin fixiert (HELCOM, 2001). An allen Stationen wurde eine Dredge ("Kieler Kinderwagen") mit einer Spannweite von 1,5 m und einer Maschenweite von 5 mm eingesetzt. Die Dredge erbrachte insbesondere bei den vagilen und selteneren Arten Nachweise, die mit Hilfe des Greifers übersehen worden wären. Aus gleichem Grund und zur besseren Beurteilung

der Sediment- und Habitateigenschaften wurden mit einem per Drift gezogenen Schlitten Videoaufnahmen gemacht. Zur Verwendung kam eine üblicherweise als Überwachungskamera eingesetzte VK-C78ES (CCTV Power Zoomkamera) von Hitachi. Die Kamera war in eine Schwenk- und Neigeeinrichtung montiert und in einem PVC-Gehäuse untergebracht. Zusätzlich wurden vier gekreuzte Laser angebracht, die auf dem Sediment und im Videobild sichtbar, ständig einen konstanten Abstand markierten, so daß ein Maßstab zur Verfügung stand.

Die weitere Bearbeitung der Proben erfolgte im Labor. Nach dem Waschen der einzelnen Hols wurden die Taxa mit Hilfe eines Binokulars bei 10-20facher Vergrößerung ausgesammelt und bis auf wenige Gruppen bis zur Art bestimmt. Außerdem wurden die Abundanz und Biomassen (Aschefreies Trockengewicht, AFTG) erfaßt. Für eine vergleichbare Gewichtsbestimmung wurde der Helcom-Richtlinie (HELCOM, 2001) gefolgt und die Proben vor der Bearbeitung für 3 Monate gelagert.

## 2.6 Sedimentation

Die Raten des vertikalen Partikelflusses (Sedimentation) wurden auf der Station 271 in der östlichen Gotlandsee gemessen. Hier wurden zur Erfassung der Menge und Qualität des aus der Deckschicht absinkenden Materials eine automatische Sinkstofffalle des Typs SM 234 mit einer Fangfläche von 0,5 m<sup>2</sup> verankert, die 21 in programmierbaren Zeitschritten auswechselbare Fanggläser besitzt. Die Verankerung wurde bei einer Wassertiefe von 249 m ohne Oberflächenmarkierung ausgelegt und mit Hilfe von akustischen Auslösern nach 3 - 6 Monaten wieder aufgenommen. Die einzelnen Fangintervalle betragen zwischen 4 und 7 Tagen. In der Verankerung befand sich die Falle unter der Halokline und der Redoxgrenze in 140 m Tiefe im sauerstofffreien Tiefenwasser. Am aufgefangenen Material wurden Elementanalysen, Bestimmungen der natürlichen Isotopenzusammensetzung, Pigmentuntersuchungen sowie mikroskopisch-taxonomische Analysen durchgeführt. Es gab im Jahre 2000 im Betrieb der Sinkstofffallen keine technischen oder wetterbedingten Ausfälle, so daß eine kontinuierliche Datenaufnahme über das Jahr erfolgte.

## 2.7 Fernerkundung

Für die Untersuchung der Temperatur- und Planktonentwicklung in der Ostsee 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 im Jahr 2001 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 unter Nutzung des IOW Algorithmus. Dabei wurden die SST-Daten für die physikalisch-chemischen Untersuchungen und die Charakterisierung der Bedingungen für die Planktonentwicklung verwendet, wobei Einzelszenen und Monatsmittel zur Anwendung kamen. Die Auswertung der SeaWiFS

Daten konzentrierte sich auf die Entwicklung der Frühjahrsblüte und der Cyanobakterien im Sommer in der Ostsee in Relation 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, 2001) 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, die auch in den Jahresberichten (WASMUND et al., 1998 a, WASMUND et al., 1999, WASMUND et al., 2000 a, WASMUND et al., 2001) erwähnt wurden.

Im Jahre 2001 wurde die Reihe der jährlichen **Phytoplankton**kurse und –workshops der HELCOM mit einem Treffen der Phytoplanktologen in Jäneda (Estland, 14.-18.10.2001) fortgesetzt. Im Rahmen des EU-Projekts “Biological Effects Quality Assurance in Monitoring Programmes” (BEQUALM) fand von März bis Juli 2001 ein Ringtest statt, an dem Frau Busch und Frau Hansen teilnahmen. Die drei im Jahre 1998 durchgeführten Ringtests sind von der Qualitätssicherungsstelle des BLMP noch nicht endgültig ausgewertet worden. Lediglich zum 1. Test, dem „Ringversuch Phytoplankton mit kultivierten Arten (RV PHYTKUL)“ liegt inzwischen eine Auswertung vor (GÜNTHER, UHLIG, 1999). Die drei vom IOW beteiligten Kolleginnen hatten sehr gut abgeschnitten und ihre Ergebnisse waren auch untereinander gut vergleichbar. Dieses war eine wichtige Voraussetzung für einen personellen Wechsel bei der routinemäßigen Bearbeitung der Phytoplanktonproben: Frau Käte Kunert hatte die Monitoring-Phytoplanktonproben bis zum Jahr 2000 gezählt. Ab 2001 übernahm Frau Susanne Busch diese Aufgabe. Sie war langfristig in die Phytoplanktonbestimmung eingearbeitet worden, so dass es zu keinem Bruch in der Datenreihe kommt.

Unsere fluorometrische **Chlorophyll**methode wird regelmäßig 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. Die praktischen Arbeiten zur 19. Runde der Chlorophyll-Interkalibrierung im Rahmen von QUASIMEME wurden im Februar 2000 durchgeführt. Alle Beiträge unserer Z-scores für die Chlorophyll a-Bestimmung lagen unter der kritischen Grenze von 2.

Die letzte Interkalibrierung zum **Zooplankton** liegt bereits 12 Jahre zurück (HELCOM, 1991). Mit Beginn des Jahres 2001 ging die Verantwortlichkeit für das Zooplankton von Dr. Jürgen Alheit auf Dr. Lutz Postel über. In der technischen Bearbeitung der Zooplanktonproben wurde ein Wechsel bereits zum Beginn des Jahres 2000 vorgenommen.

Als Qualitätssicherungsmaßnahme im Rahmen des BLMP für das **Makrozoobenthos** wurde im Mai 2001 der von der Qualitätssicherungsstelle des BLMP organisierte 3. Makrozoobenthos-Ringversuch durchgeführt. Er wurde auf einer Veranstaltung am 10.12.2001 im UBA in Berlin ausgewertet.

### 3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 2001

Zur Interpretation der biologischen Daten ist die Kenntnis der meteorologischen, hydrographischen 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 von NAUSCH et al. (2002) dargestellt und sollen hier zur besseren Einordnung der biologischen Ergebnisse nochmals kurz wiedergegeben werden. Informationen zur Wasseroberflächentemperatur sind aus Satellitendaten gewonnen.

Die seit 1987/88 anhaltende Tendenz zu relativ milden, eisarmen Wintern setzte sich auch im Winter 2000/2001 fort. Nach dem ausnahmsweise kalten Winter 1995/96 und dem durchschnittlichen Winter 1996/97 war er der vierte milde Winter in Folge in der südlichen Ostsee. Die Temperaturen des Oberflächenwassers lagen im Januar 2001 bis 2 K über dem langjährigen Mittelwert in der zentralen Ostsee. Der Februar war sonnig, aber trotzdem der kälteste Monat des Winters, obwohl auch seine durchschnittliche Lufttemperatur in Arkona noch 1,2 K über dem langjährigen Mittel lag. Das Jahresminimum wurde erst im März 2001 erreicht. Die minimale Wassertemperatur wurde am Messmast Darßer Schwelle Ende März mit 2,5 °C registriert. Danach prägte sich Anfang April die thermische Schichtung aus. In der nördlichen Ostsee entsprach die maximale Ausdehnung des Eises weitgehend normalen Verhältnissen, während die Dauer der Eisbedeckung ungewöhnlich kurz war.

Da auch der Sommer überdurchschnittlich warm war, ist das Jahr 2001 das achtwärmste in Norddeutschland seit 55 Jahren. Der Mai war relativ warm, der Juni kühl. Im Juli 2001 wurden positive Anomalien der Lufttemperatur von durchschnittlich +2,1 K in Arkona erreicht. Im August waren die Wassertemperaturen der zentralen Ostsee niedriger als im Juli, was in den 1990er Jahren noch nicht beobachtet worden war. Die stärksten positiven Abweichungen der Lufttemperatur zeigte der Oktober mit +2,3 K, der damit der wärmste Oktober seit mindestens 55 Jahren war. Negative Abweichungen vom langjährigen Monatsmittel der Lufttemperatur von jeweils -0,7 K zeigten Juni und Dezember.

Das Jahr 2001 war erneut nur durch schwache Einstromaktivität gekennzeichnet. Lediglich im Oktober/November konnte ein stärkeres Einstromereignis beobachtet werden, das bis Dezember 2001 zu einem Anstieg des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser des Bornholmbeckens auf 4,68 ml/l führte. Dessen ungeachtet hält die 1995 begonnene Stagnationsperiode an. Im östlichen Gotlandbecken wies der Wasserkörper zwischen Meeresgrund und 125 m Tiefe das ganze Jahr hindurch anoxische Bedingungen auf. Ausstromereignisse wurden an der Darßer Schwelle Ende Januar, Ende März, Ende September, Ende Oktober und Mitte Dezember beobachtet. Sie führten am Meßmast Darßer Schwelle zu niedrigeren Salzgehalten in der gesamten Wassersäule.

Die Konzentrationen der anorganischen Stickstoffkomponenten im winterlichen Oberflächenwasser befinden sich seit Anfang der 1990er Jahre auf einem gleichbleibenden Niveau. Für Phosphat konnte in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre in vielen Seegebieten ein Rückgang beobachtet werden. Diese Tendenz wurde im Winter 1999/2000 unterbrochen. Im Winter 2000/2001 lagen die P-Konzentrationen mit Ausnahme des Bornholmbeckens jedoch wieder auf

einem relativ niedrigen Niveau. Bedingt durch die zunehmend anoxischen Verhältnisse steigen die Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen im Tiefenwasser der Becken jedoch an.

Die Konzentrationen partikulären organischen Materials lagen im Oberflächenwasser der offenen Ostsee von 1993 bis 2001 im Mittel bei  $26,8 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Kohlenstoff und  $3,7 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Stickstoff, weitgehend unabhängig von Seegebiet. Das C/N-Verhältnis in der partikulären organischen Substanz entspricht etwa dem Redfield-Verhältnis, was ein Indiz für deren Ursprung aus der Primärproduktion ist. Die C/N-Verhältnisse in der gelösten organischen Substanz sind dagegen signifikant größer als das Redfield-Verhältnis, was für einen erheblichen landseitigen Eintrag von stärker kohlenstoffhaltigem Material oder einen langsameren Abbau der C-Komponenten sprechen könnte.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Phytoplankton

#### 4.1.1 Jahrgang 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.

Aus unseren langjährigen Datenreihen wissen wir, dass im Untersuchungsgebiet jährlich drei markante Blüten (Frühjahrsblüte, Sommerblüte, Herbstblüte) vorkommen, die oft noch in Phasen unterschiedlicher Artensukzession unterteilt werden können. Da sich Verlauf und Artenzusammensetzung der Blüten in den verschiedenen Seegebieten unterscheiden, sollen die Seegebiete separat behandelt werden. Die 10 wichtigsten Phytoplankton-Arten (nach Biomasse) sind für die einzelnen Seegebiete und Jahreszeiten in Tabelle 3 (Seite 30-31) zusammengestellt worden. Die komplette Artenliste des Jahres 2001, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Terminfahrten, ist in Tabelle 4 (Seite 32-34) zu finden. Hier findet man auch Informationen zur taxonomischen Zugehörigkeit.

Die Jahrgänge der Biomasse der wichtigsten taxonomischen Gruppen des Phytoplanktons, wie Kieselalgen (= Bacillariophyceae, Diatomeen) und Dinoflagellaten (= Dinophyceae), sind in den Abb. 2 - 4 für die wesentlichen Stationen dargestellt. Dank der extern gewonnenen Zusatzproben konnte für die zentrale Mecklenburger Bucht und die Arkonasee eine besonders gute zeitliche Auflösung erreicht werden. Um einen guten Vergleich dieser Gebiete auf einen Blick zu ermöglichen, wurden diese untereinander in Abb. 2a und 2b dargestellt.

Wie schon in den Vorjahren ist auch der photoautotrophe Ciliat *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. Er wurde in den

Berichten der Jahre 1998 und 1999 mit dem neueren Synonym *Myrionecta rubra* bezeichnet. Dieses scheint sich aber nicht durchzusetzen (pers. Mitteilung von Irina Olenina, Juni 2001), so dass wir jetzt wieder den geläufigen Namen *Mesodinium rubrum* verwenden. Entsprechend der besonderen Bedeutung dieses Ciliaten ist er auch in den Abb. 12-16 ab dem Jahre 1999 separat berücksichtigt. Seine Biomasseentwicklung der Jahre 1998-2000 wurde von WASMUND et al. (2001) ausführlich dokumentiert.

Die *Aphanizomenon*-Art der eigentlichen Ostsee ist bis Mitte der 90er Jahre als *Aphanizomenon flos-aquae* bezeichnet worden. Sie unterscheidet sich phänotypisch aber von der Originalbeschreibung der Art *A. flos-aquae*. Deshalb ist sie provisorisch als *Aphanizomenon „baltica“* bezeichnet worden, solange keine gültige Artbeschreibung vorliegt. Dieses ist aber nur ein Arbeitsname; die taxonomisch richtige Bezeichnung ist in diesem Falle *Aphanizomenon* sp. Bei den Arbeiten zur gültigen Neubeschreibung dieser Art durch mehrere Wissenschaftler stellte sich aber kürzlich heraus, dass sie genotypisch von der eigentlichen Süßwasserart *A. flos-aquae* nicht verschieden ist (LAAMANEN et al., 2002). Wir könnten die Ostseeart also wieder *A. flos-aquae* nennen, bleiben vorläufig aber noch bei der in den letzten Jahren auch international verwendeten Bezeichnung *Aphanizomenon* sp.

Wenn nichts anderes gesagt wird, beziehen sich alle Angaben auf die Mischprobe von 0-10 m Wassertiefe.

#### 4.1.1.1 Mecklenburger Bucht

##### Winter und Frühjahr

Ab Mitte Januar oder Februar 2001 stieg die Phytoplanktonbiomasse in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012, O22 und 046; Abb. 2a, 2c und 3a) kontinuierlich an, insbesondere durch das Wachstum von Kieselalgen. Bis zum 23.2.01 wuchsen hauptsächlich *Chaetoceros curvisetus*, *Proboscia alata*, *Thalassionema nitzschioides* und *Rhizosolenia setigera*. Von diesen setzten nur *Rhizosolenia setigera* (14.3.01, Stat. O22: 625 mg m<sup>-3</sup>; 23.3.01, Stat. 012: 64 mg m<sup>-3</sup>) sowie weitere *Chaetoceros*-Arten (14.3.01, Stat. O22: 5405 mg m<sup>-3</sup>) das Wachstum bis Mitte März fort. Es folgten *Skeletonema costatum* (14.3.01, Stat. 012: 1156 mg m<sup>-3</sup>; 23.3.01, Stat. 046: 1414 mg m<sup>-3</sup>), *Thalassiosira nordenskiöldii* (14.3.01, Stat. O22: 1158 mg m<sup>-3</sup>; 23.3.01, Stat. 012: 295 mg m<sup>-3</sup>) und *Attheya decora* (23.3.01, Stat. 012: 560 mg m<sup>-3</sup>, aber nur 2 große Exemplare gezählt). Neben den Kieselalgen entwickelte sich auch *Mesodinium rubrum*.

Die in der Lübecker Bucht (Stat. O22) am 14.3.2001 gefundene Biomasse dürfte die Spitze der Blüte darstellen, denn aufgrund der im Oberflächenwasser vorgefundenen Nitratkonzentration (0,012 mmol m<sup>-3</sup> NO<sub>3</sub>; Wert des LANU S-H) könnte sie sich nur noch unwesentlich um 8 mg m<sup>-3</sup> (Protoplastmasse, siehe unten) erhöhen. Damit liegt die Höhe der Frühjahrsblüte in der Lübecker Bucht im selben Bereich wie im Jahre 2000.

Wie schon in den Vorjahren, entwickelt sich die Blüte in den zentralen Bereichen der Seegebiete später. Das spiegelt sich auch in den Nährstoffkonzentrationen des Oberflächenwassers wider. Am 23.3.2001 waren an Station 012 in den oberen 10 m durchschnittlich noch 0,85 mmol m<sup>-3</sup> anorg. N und 0,2 mmol m<sup>-3</sup> Phosphat vorhanden, an Station 046 sogar noch deutlich mehr. Es könnte daraus

beispielsweise an Station 012 noch einen Biomassezuwachs von  $614 \text{ mg C m}^{-3}$  geben. Er dürfte real aber deutlich höher liegen, denn der hier errechnete Biomassezuwachs stellt reine Protoplasmamasse dar. Die Kieselalgenzelle („Frischmasse“) setzt sich aber aus lebendem Protoplasma und physiologisch inaktiver Vakuole zusammen. Da selbst bei den im Frühjahr dominanten kleinen Kieselalgenarten das Vakuolen-Volumen das Protoplasma-Volumen um ein Mehrfaches übersteigt, ist die Frischmasse deutlich größer als die Protoplasmamasse. Somit dürfte die im Jahre 2000 beobachtete Frischmasse von  $5000 \text{ mg m}^{-3}$  auch bei der Frühjahrsblüte 2001 problemlos erreicht werden können. WASMUND et al. (1999, S.21 und 60) errechneten aus der winterlichen Stickstoffkonzentration eine potenziell zu bildende Phytoplankton-Protoplasmamasse von  $5544 \text{ mg m}^{-3}$ . Im Jahre 2000 war die Frühjahrsblüte am 22.3. schon stark entwickelt, während sie am 22.3.1999 an den Stationen 012 und 046 noch nicht, sondern erst eine Woche später in Erscheinung trat. Im Jahre 2000 hatten an Station O22 *Chaetoceros decipiens* ( $3356 \text{ mg m}^{-3}$ ) und an den Stationen 012 und 046 *Skeletonema costatum* ( $3587$  und  $3214 \text{ mg m}^{-3}$ ) dominiert.

Die Kieselalgenblüte geht, wie allgemein bekannt, abrupt zu Ende. Sie wird abgelöst durch eine Entwicklung von Flagellaten, die entweder durch vertikale Wanderungen noch Nährstoffreserven tieferer Wasserschichten oder aber geringe Konzentrationen regenerierter Nährstoffe nutzen können. Diese Fähigkeiten haben die Frühjahrs-Kieselalgen offenbar nicht. Zumindest mangelt es nicht an dem spezifischen Kieselalgen-Nährstoff, dem Silikat. Deshalb scheint es auch plausibel zu sein, dass sich nach der Kieselalgenblüte Kieselalgen-Flagellaten (Silicoflagellaten, zu den Chrysophyceae gehörig) entwickeln. Umso erstaunlicher ist, dass der wesentliche Vertreter dieser Gruppe, *Dictyocha speculum*, in der westlichen Ostsee im Mai im allgemeinen ohne sein typisches Kieselskelett wächst. Es gibt jedoch Zweifel, ob diese Art als „nackte Form von *Dictyocha speculum*“ richtig bestimmt ist. Es kommt auch die Raphidophycee *Chattonella* sp. in Frage.

Die aus den Vorjahren bekannte Ablösung der Kieselalgen durch Dinoflagellaten innerhalb der Frühjahrsblüte war im Jahre 2000 nicht beobachtet worden, da die Blüte zum nächsten Messtermin am 5.5.2000 schon vorüber war. Interessant ist, dass auch im Jahre 2001 in der Mecklenburger Bucht keine Dinoflagellatenblüte Ende April/Anfang Mai gefunden wurde. Auch das in den Jahren 1997 und 2000 beobachtete, für die Mecklenburger Bucht ungewöhnliche Auftreten des Dinoflagellaten *Peridiniella catenata* konnte in 2001 nicht bestätigt werden. Es dominierte Ende April/Anfang Mai 2001 an den Stationen O22 und 012 (aber nicht an Stat. 046) erstmalig der vorläufig als „nackte Form von *Dictyocha speculum*“ angesprochene Flagellat. Diese ist aus der Kieler Bucht seit längerem bekannt.

### Sommer

Die große Kieselalge *Dactyliosolen fragilissimus*, die in den vergangenen 3 Jahren im Sommer dominierend oder blütenbildend war, fand sich in der Probe vom 13.6.2001, Station 012, mit einer Biomasse von  $111 \text{ mg m}^{-3}$ . Die Kieselalge *Proboscia alata* trat sogar mit einer Biomasse von  $294 \text{ mg m}^{-3}$  auf. Daneben waren die Kieselalgen *Cerataulina pelagica* und *Thalassionema nitzschioides* sowie unbestimmte Cryptophyceen und Dinoflagellaten bedeutsam. Diese Arten gingen zum 3.7. stark zurück, während sich diazotrophe ( $\text{N}_2$ -fixierende) Cyanobakterien (*Nodularia spumigena*, *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp.) und *Ceratium tripos* in geringer Biomasse entwickelten. Die diazotrophen Cyanobakterien wuchsen an Station 012 bis zum 23.7.01 auf  $185 \text{ mg m}^{-3}$  und *Dactyliosolen fragilissimus* auf  $191 \text{ mg m}^{-3}$  an. *Proboscia alata* war aus den oberen 10 m fast vollständig verschwunden, war in 15 m Tiefe aber mit einer sehr hohen Biomasse von  $2975 \text{ mg m}^{-3}$



zu finden. An Station 046 (am 24.7.2001) betrug die Biomasse der diazotrophen Cyanobakterien  $187 \text{ mg m}^{-3}$  (davon *Aphanizomenon* sp.  $142 \text{ mg m}^{-3}$ ) und von *Dactyliosolen fragilissimus*  $28 \text{ mg m}^{-3}$  in 0-10 m Wassertiefe, während in 15 m Wassertiefe *Proboscia alata* mit  $164 \text{ mg m}^{-3}$  dominierte. Zum 8.8.01 (Station 046) nahmen die Cyanobakterien wieder ab, während der Dinoflagellat *Ceratium tripos* auf  $168 \text{ mg m}^{-3}$  anwuchs. Zum 19.8.01 kam es noch zu einem Anstieg von *Dactyliosolen fragilissimus* auf  $691 \text{ mg m}^{-3}$ . Die typische Sommerblüte von *Dactyliosolen fragilissimus* war schließlich am 16.8.01 auf Station 012 mit  $4253 \text{ mg m}^{-3}$  anzutreffen. Sie nahm zum 11.9. und 18.9.01 wieder ab.

### Herbst

Für die Mecklenburger Bucht ist im Herbst eine Blüte von Dinoflagellaten typisch, die von einer mehr oder weniger starken Kieselalgenentwicklung begleitet wird. Unter den Dinoflagellaten ist normalerweise *Ceratium tripos* die dominante Art. Zum 11.9.01 hatte sich bereits eine erhebliche Biomasse von *Ceratium tripos* ( $1267 \text{ mg m}^{-3}$  an Stat. 12) gebildet, begleitet von *C. fusus*, *C. furca*, *C. lineatum* und *C. longipes*. Am 9.10.01 war *Ceratium tripos* mit  $485 \text{ mg m}^{-3}$  an Stat. 012 dominant, ging zum 16.10.01 aber auf  $19 \text{ mg m}^{-3}$  zurück, während sich *Cerataulina pelagica* entwickelte.

Am 25.10.01 strömte Ostseewasser in die Mecklenburger Bucht und brachte die Ostsee-Art *Coscinodiscus granii* mit:  $266 \text{ mg m}^{-3}$  an Station 012 und  $58 \text{ mg m}^{-3}$  an Station 046. Station 022 wird von diesem Ausstromereignis offensichtlich nicht beeinflusst, denn hier waren *Ceratium*-Arten weiterhin dominant ( $1163 \text{ mg m}^{-3}$ ). *Coscinodiscus granii* wird nach einem Einstrom von Nordseewasser zum 6.11./7.11.01 wieder durch polyhalobe Kieselalgen (*Guinardia flaccida*, *Ditylum brightwellii*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia setigera*, *Thalassiosira* sp.) und durch die typischen Herbst-Dinoflagellaten der Gattung *Ceratium* verdrängt. Am 20.11.01 waren an Station 012 *Guinardia flaccida*, *Ceratium tripos* und *Teleaulax* sp. die häufigsten Arten.

#### 4.1.1.2 Arkonasee

### Winter und Frühjahr

In der Arkonasee wurden eine westliche Station nahe der Darßer Schwelle (Stat. 030, Abb. 3b) und zwei zentrale Stationen (Station 069 und 113) untersucht. Da die beiden zentralen Stationen nur 15 km voneinander entfernt sind, konnten sie in Abb. 2b zusammengefasst werden. Die fünfmal beprobte östlichere Station 109 ist hier nicht dargestellt worden.

Am 9.2./10.2.01 waren in den 3 genannten Regionen der Arkonasee nur 5 Arten erwähnenswert: *Mesodinium rubrum*, *Heterocapsa rotundata*, *Teleaulax* sp., *Plagioselmis prolunga* und *Eutreptiella* sp. Das änderte sich auch zum 22.1.01 nicht. Zum 23./24.3.01 hatte sich jedoch eine Blüte von *Skeletonema costatum* (an Station 030:  $4187 \text{ mg m}^{-3}$ , an Station 113:  $1614 \text{ mg m}^{-3}$ ) entwickelt, daneben u.a. geringe Biomassen an *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira* sp., *Pyramimonas* sp. und *Peridiniella catenata*. Diese Blüte ist auch auf Satellitenaufnahmen sichtbar (sich Kap. 5.1). Der limitierende Stickstoff hatte zum 24.3.01 in den oberen 10 m an den Stationen 113 und 109 auf etwa  $0,5 \text{ mmol m}^{-3}$  abgenommen. Trotzdem kam es an Station 113 noch zu einem erheblichen Wachstum, das aber auf der Entwicklung von *Mesodinium rubrum* und Dinoflagellaten (*Protoperidinium* sp., *Peridiniella catenata*) beruhte, die Nährstoffe tieferer Wasserschichten oder

regenerierte Nährstoffe nutzen können. Die Blüte dürfte also mit den gemessenen Biomassen um  $5000 \text{ mg m}^{-3}$  nahe ihrer Spitze liegen, was schon für die Mecklenburger Bucht vermutet wurde (siehe oben). Erstaunlich ist, dass die Nährstoffe in der Arkonasee eher aufgebraucht waren als in der zentralen Mecklenburger Bucht. Bislang ging man von einem Fortschreiten des Zeitpunktes der Blütenentwicklung von West nach Ost aus (vgl. WASMUND et al., 1998 b). Die bisher nur im Jahre 1999 beobachtete Erscheinung, dass die Entwicklung in der zentralen Arkonasee eher begann als in der westlichen Arkonasee, wiederholte sich anscheinend im Jahre 2001. Offensichtlich ist kurzzeitigen Auftriebs- und Transportprozessen eine größere Beachtung zu schenken.

Der hohe Anteil an *Mesodinium rubrum* in der späten Blütenphase (siehe Stat. 113 im Gegensatz zur Mecklenburger Bucht) ist im Jahre 2001 wieder bemerkenswert. Erstmals machte dieser Ciliat im Jahre 1999 den wesentlichen Anteil der Phytoplanktonblüte aus (WASMUND et al., 2000). Im Jahre 2000 dominierte er lediglich in den östlicheren Teilen der eigentlichen Ostsee. Die 1999 beobachtete Tendenz einer Verdrängung der Kieselalgen durch erstmals zeitgleich auftretende Dinoflagellaten in der Arkonasee bestätigte sich im Jahre 2001 nicht. Am 24.3.01 wurde eine klassische, fast reine Kieselalgenblüte gefunden, die wie schon im Jahre 2000 im wesentlichen aus *Skeletonema costatum* gebildet wurde.

Zum 5.5.2001 waren die Kieselalgen fast komplett verschwunden. Vom 8.-11.5.01 wurde durch Ostwind wiederum Auftrieb an der Küste Polens und Mecklenburg-Vorpommerns erzeugt, der laut Satellitenbildern (Abb. 26b, Seite 64) auch in der südlichen Arkonasee kurzzeitig zu einem Chlorophyllanstieg führte. Am 17.5.01 waren an Station 113 neben *Plagioselmis prolunga*, *Heterocapsa rotundata*, *Pyramimonas* sp., *Eutreptiella* sp., *Phacus* sp. und *Aphanizomenon* sp. noch unbestimmte centrische Kieselalgen vorhanden.

### Sommer

Die typische Cyanobakterienblüte entwickelte sich laut Satellitenbildern im Jahre 2001 schon sehr früh (Abb. 27a). Am 24./25.7.2001 war *Aphanizomenon* sp. dominant. Diese Art konzentriert sich gern in tieferen Wasserschichten, so dass sie am 24.7.01 an Station 030 in 15 m Tiefe mit einer Biomasse von  $1872 \text{ mg m}^{-3}$  auftrat, in den oberen 10 m aber nur mit  $127 \text{ mg m}^{-3}$ . Die Blüte war im wesentlichen aber schon vorüber. *Chaetoceros impressus* kam an Station 030 in 15 m Tiefe mit einer Biomasse von  $535 \text{ mg m}^{-3}$  vor, in den oberen 10 m mit  $18 \text{ mg m}^{-3}$ . Daneben sind noch *Plagioselmis prolunga* und *Nodularia spumigena* erwähnenswert. Am 7.8.01 trat an Station 030, aber nicht an 113, eine Blüte von *Dactyliosolen fragilissimus* ( $749 \text{ mg m}^{-3}$ ) auf. In dieser Beziehung ähnelt die Station 030 eher der Mecklenburger Bucht als den Stationen der zentralen Arkonasee, was WASMUND et al. (2001) bereits in Jahre 2000 feststellten. Aber auch an Station 069 wurden am 16.8.01 noch  $116 \text{ mg m}^{-3}$  *Dactyliosolen fragilissimus* gefunden. Am 17.8.01 waren die Biomassen auf den Stationen 030, 113 und 109 sehr gering. Es ist jedoch interessant, dass dann an Station 030 bereits *Coscinodiscus granii* auftrat, das Ende Oktober/Anfang November noch eine gewisse Bedeutung erlangen wird.

Die im Sommer zu erwartenden Blaualgenblüten wurden bei windstillem Wetter in Form von Anreicherungen an der Wasseroberfläche in der nördlichen Arkonasee beobachtet. Die Oberflächenblüten täuschen eine hohe Biomasse vor, die in einer über 10 m Tiefe integrierten Mischprobe nicht in den Maße gefunden wird. In der Mischprobe der oberen 10 m betrug die Biomasse von *Nodularia spumigena*  $39 \text{ mg m}^{-3}$  und die von *Aphanizomenon* sp.  $58 \text{ mg m}^{-3}$  auf der

Station 109 (26.7.01), während auf Station 113 (25.7.01) *Aphanizomenon* sp. mit nur  $62 \text{ mg m}^{-3}$  und *Nodularia spumigena* gar nicht gefunden wurde.

### Herbst

Die Proben von Ende Oktober und Anfang November zeigten speziell auf Station 030 einen interessanten Dominanzwechsel von Kieselalgen (*Coscinodiscus granii*) zu Dinoflagellaten (*Ceratium tripos*, *C. fusus*, *C. lineatum*) an. Solch ein kurzfristiger Wechsel wurde schon im Jahre 2000 beobachtet, allerdings von Dinoflagellaten zu Kieselalgen der genannten Arten. Auf Station 113 war zu beiden Messterminen (27.10.01 und 6.11.01) *Coscinodiscus granii* dominant. Deren Biomasse war am 27.10.01 in 20 m Wassertiefe noch höher als in 0-10 m Tiefe, nämlich  $426 \text{ mg m}^{-3}$  im Vergleich zu  $207 \text{ mg m}^{-3}$ .

#### 4.1.1.3 Pommersche Bucht

In der Pommerschen Bucht bildete sich zum 25.3.01 an Station OB (Abb. 2d) eine typische Kieselalgenblüte aus, wie sie sich in eutrophierten Küstenbereichen seltener ausprägt (vgl. Abb. 26a). Wie in der Arkonasee, wurde sie durch *Skeletonema costatum* gebildet, begleitet von *Teleaulax* sp., *Mesodinium rubrum*, *Phacus* sp., *Chaetoceros wighamii*, unbestimmten Dinoflagellaten sowie der „nackten Form von *Dictyocha speculum*“. Die Blüte dürfte kein stärkeres Wachstumspotenzial mehr haben, denn die Phosphat-Konzentration war am 25.3.01 auf  $0,03 \text{ mmol m}^{-3}$  abgesunken. Im Gegensatz zur offenen See ist das Phytoplanktonwachstum in den Küstengewässern durch Phosphor limitiert. Wegen ständiger Nährstoffnachlieferung durch Einträge vom Oderhaff und Greifswalder Bodden sowie Auftrieb von nährstoffreicheren tieferen Wasserkörpern konnte sich zum 7.5.01 eine neue, noch stärkere Blüte anschließen (vgl. Kap. 5.1, Abb. 26b). Sie setzte sich aus *Mesodinium rubrum*, *Gonyaulax* sp., *Protoperidinium* spp. sowie oligohaloben Arten (*Diatoma elongatum*, *Aulacoseira granulata*, *Coelastrum microporum*) zusammen. Es könnte sich daher zumindest teilweise um eingeschwemmtes Material aus dem Oderhaff oder dem Greifswalder Bodden handeln. Die in Abb. 2d dargestellte Säule unterschätzt die gebildete Biomasse noch, da sie nicht den heterotrophen Flagellaten *Ebria tripartita* ( $2664 \text{ mg m}^{-3}$ ) mit erfasst. Die Phosphatkonzentrationen blieben weiterhin niedrig. Eigenartigerweise stiegen sie zum 26.7.01 wieder an, während die Nitrat-Konzentrationen auf null sanken. Offensichtlich wandelt sich die Phosphorlimitation des Frühjahrs zum Sommer hin in eine Stickstofflimitation. Dieses Phänomen wurde bereits von WASMUND et al. (2000 b) erkannt. Diese Limitation führt also zu den relativ geringen Sommerwerten, wie sie am 26.7.01 gemessen wurden (vgl. Abb. 27b). Das Phytoplankton setzte sich zu dieser Zeit hauptsächlich aus *Plagioselmis prolunga*, *Coscinodiscus granii*, *Ebria tripartita* und *Teleaulax* sp. zusammen.

Die Probe vom 30.10.01 war durch die typische Blüte von *Coscinodiscus granii* geprägt. Die Begleitarten sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

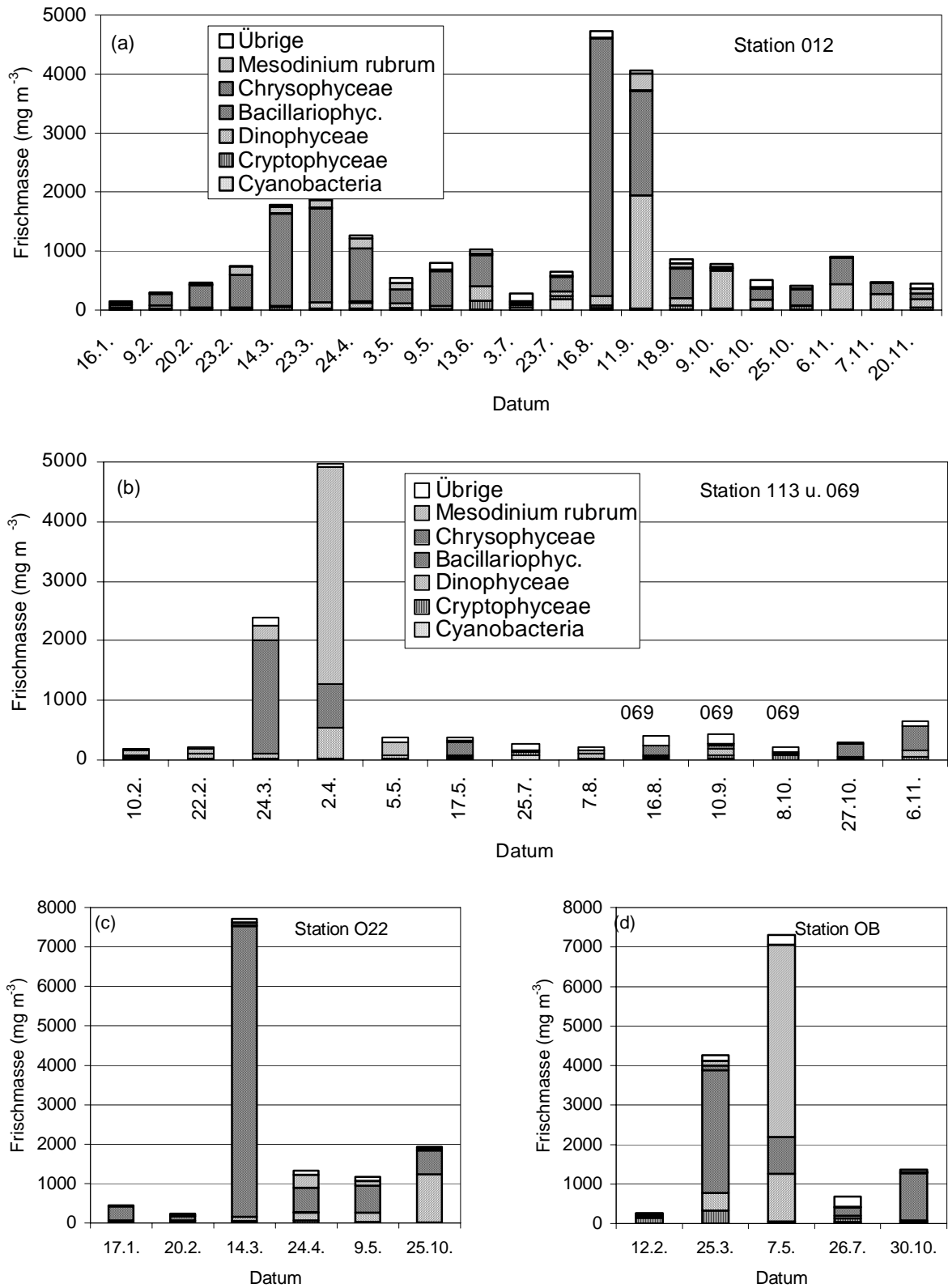


Abb. 2

Jahresgang 2001 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Mecklenburger Bucht (a), Arkonasee (b), Lübecker Bucht (c) und Pommerschen Bucht (d)

Fig. 2

Seasonal variation of phytoplankton wet weight, splitted into main taxonomical groups, in Mecklenburg Bight (a), Arkona Sea (b), Lübeck Bight (c) and Pomeranian Bight (d) in 2001

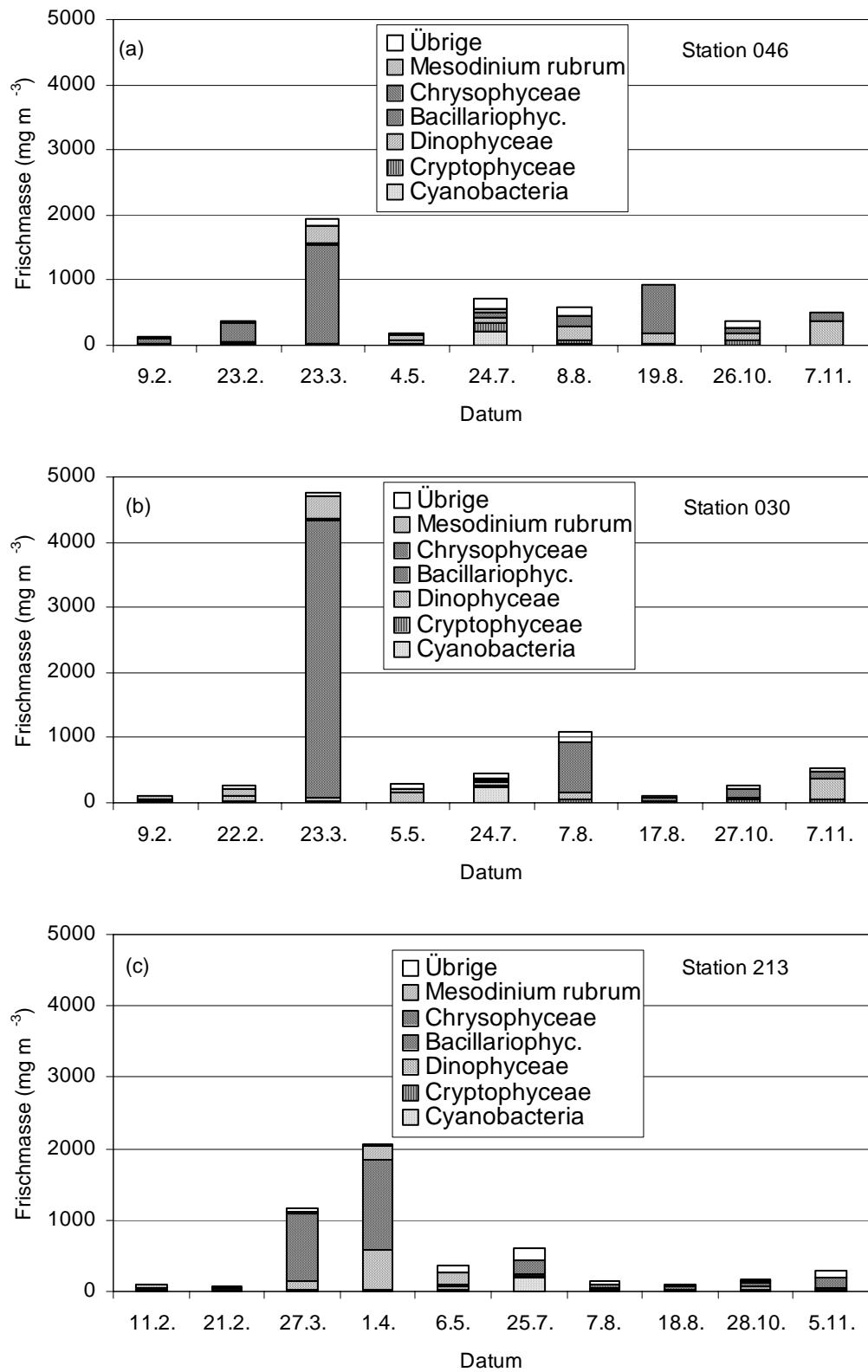


Abb. 3

Jahresgang 2001 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der östlichen Mecklenburger Bucht (a), der westlichen Arkonasee (b) und der Bornholmsee (c)

Fig. 3

Seasonal variation of phytoplankton wet weight, splitted into main taxonomical groups, in the eastern Mecklenburg Bight (a), western Arkona Sea (b) and Bornholm Sea (c) in 2001

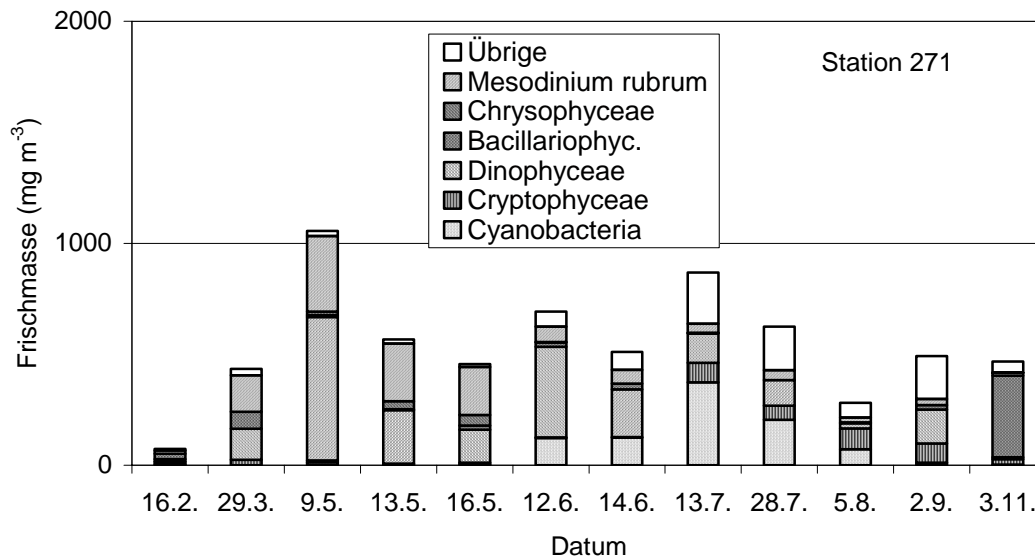


Abb. 4

Jahresgang 2001 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der östlichen Gotlandsee

Fig. 4

Seasonal variation of phytoplankton wet weight, splitted into main taxonomical groups, in the eastern Gotland Sea in 2001

#### 4.1.1.4 Bornholmsee

##### Winter und Frühjahr

In der Bornholmsee (Stat. 213, siehe Abb. 3 c) war die Phytoplankton-Biomasse, wie üblich, im Februar noch sehr gering und im wesentlichen von *Mesodinium rubrum* gebildet, daneben aber auch von *Teleaulax* sp. Im Gegensatz zum Jahre 2000 kam es Ende März primär nicht zum Wachstum von *Mesodinium rubrum*, sondern zu einer Kieselalgen-Entwicklung (*Skeletonema costatum* 675 mg m<sup>-3</sup>, *Thalassiosira* sp. 167 mg m<sup>-3</sup>), die sich bis zum 1.4.2001 noch fortsetzte. Allerdings entwickelten sich dann auch *Mesodinium rubrum* und Dinoflagellaten (*Gymnodinium* spp. 101 mg m<sup>-3</sup>, *Heterocapsa triquetra* 41 mg m<sup>-3</sup>, *Peridiniella catenata* 34 mg m<sup>-3</sup>). Damit setzte sich der im wesentlichen seit 1989 beobachtete Trend des Rückgangs der Kieselalgen in der Frühjahrsblüte (WASMUND et al., 1998 a, b, 1999, 2000 a) im Jahre 2001 nicht fort. Am 1.4.01 wurde kein Nitrat mehr gemessen.

Zum 6.5.2001 war die Biomasse stark zurückgegangen. Die Kieselalgen waren fast komplett verschwunden und im wesentlichen die autotrophen Ciliaten (*Mesodinium rubrum*) verblieben.

##### Sommer und Herbst

Am 25.7.2001 dominierten die Cyanobakterien *Aphanizomenon* sp. (50 mg m<sup>-3</sup>) und *Nodularia spumigena* (141 mg m<sup>-3</sup>) sowie die auf *Nodularia* sitzenden kleinen Kieselalgen *Nitzschia paleacea* (140 mg m<sup>-3</sup>). Während der Monitoringfahrt wurden bei geringen Windstärken in der Bornholmsee

Oberflächenblüten der diazotrophen Cyanobakterien beobachtet. Deren Biomasse ist, wenn man die oberen 10 m der Wassersäule betrachtet, ziemlich gering. Neben den Cyanobakterien und ihren Epiphyten kamen auch *Plagioselmis prolonga*, *Chaetoceros danicus*, *Chaetoceros impressus*, *Heterocapsa rotundata*, *Cylindrotheca closterium* und *Teleaulax* sp. in signifikanten Mengen vor. Die Cyanobakterien verschwanden zum 7.8.01 komplett, während *Pseudopedinella elastica* mit  $40 \text{ mg m}^{-3}$  erschien. Am 18.8.01 trat *Dactyliosolen fragilissimus* mit  $34 \text{ mg m}^{-3}$  auf.

Am 28.10.01 dominierte *Coscinodiscus granii* und wuchs zum 5.11.01 noch auf  $248 \text{ mg m}^{-3}$  an. Damit konnten die in vorherigen Jahren gefundenen hohen Biomassen dieser Art im Jahre 2001 nicht nachgewiesen werden.

#### 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. Hier werden in Abb. 4 nur die Ergebnisse von Station 271 grafisch dargestellt.

#### Winter und Frühjahr

Mitte Februar zeigte das Phytoplankton an den Stationen 259 und 271 noch geringe Biomassen, die von *Mesodinium rubrum* dominiert wurden. Erwähnenswert sind weiterhin *Teleaulax* sp. und speziell auf Station 271 das im Herbst blütenbildende *Coscinodiscus granii*.

Erfahrungsgemäß beginnt die Frühjahrsblüte nach kalten Wintern in der östlichen Gotlandsee später als in den westlichen Seegebieten (WASMUND et al., 1998 b). Nach dem relativ milden Winter 2000/2001 war, wie schon in den drei vorangegangenen Jahren, bereits Ende März der Beginn der Phytoplanktonblüte nachzuweisen. Die geringeren Biomassen im Vergleich zu den westlichen Teilen der Ostsee zeigen aber doch eine gewisse Verzögerung der Entwicklung in den östlichen Seegebieten an. Im Gegensatz zu den westlicheren Stationen waren die Nährstoffe an den Stationen 259 und 271 Ende März im Vergleich zum Februar kaum reduziert. Das ist ein Indiz dafür, dass die Blüte gerade beginnt. Das Wachstum wurde fast ausschließlich von *Mesodinium rubrum*, aber auch schon von dem später blütenbildenden Dinoflagellaten *Peridiniella catenata* ausgemacht. Es wurde selten (z.B. in 1998) beobachtet, dass auch Kieselalgen (in 2001: *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.) einen gewissen Anteil der Biomasse stellten. Es könnte auch für das Jahr 2001 die von WASMUND et al. (2000 a) geäußerte Hypothese zutreffen, dass der seit 1999 beobachtete ungewöhnlich frühe Blütenbeginn nichts mit einer Vorverlagerung des Wachstums der üblichen Arten, sondern mit einem massiven Auftreten des zuvor nie in diesen hohen Biomassen vorkommenden Ciliaten *Myrionecta rubra* zu tun hat. Das Auftreten von Frühjahrs-Kieselalgen im Gotlandbecken im Jahre 2001 ist bemerkenswert, da hier in den 90er Jahren nie eine Kieselalgenblüte beobachtet wurde. Der Rückgang der Silikat-Konzentration von Ende März bis Anfang Mai um fast  $3 \text{ mmol m}^{-3}$  spricht dafür, daß zwischen den Terminfahrten ein weiteres Kieselalgenwachstum stattgefunden hat, das nur wegen fehlender Probennahme nicht erkannt wurde. Der Dinoflagellat *Peridiniella catenata* kam, wie aus den Vorjahren bekannt, erst Anfang Mai zur Blüte ( $150 \text{ mg m}^{-3}$  an Stat. 259;  $597 \text{ mg m}^{-3}$  an Stat. 271; in 7,5 m Tiefe an Station 271 sogar  $1094 \text{ mg m}^{-3}$  und in 30 m Tiefe  $85 \text{ mg m}^{-3}$ ). Er verschwand aber langsam zum 13.5. ( $165$

mg m<sup>-3</sup>) und 16.5.01 (85 mg m<sup>-3</sup>), während sich *Mesodinium rubrum* hielt. Daneben waren weitere Arten wichtig: *Dinobryon balticum* (z.B. an Stat. 271, 16.5.01: 85 mg m<sup>-3</sup>), *Dinophysis acuminata* (29 mg m<sup>-3</sup>).

### Sommer und Herbst

Am 12.6. und 14.6.01 dominierten *Aphanizomenon* sp., *Dinophysis acuminata* und *D. baltica*. Die Frühjahrspopulation von *Aphanizomenon* sp. wuchs zum 13.7.01 auf 268 mg m<sup>-3</sup> an, während *Nodularia spumigena* nun auch spontan in Erscheinung trat (64 mg m<sup>-3</sup>). Zu den Probennahmen der Terminfahrt (27./28.7.01 und 5.8.01) ging speziell *Aphanizomenon* sp., aber auch *Dinophysis*, stark zurück, zum 5.8.01 auch *Nodularia spumigena*. Starke Winde Anfang August scheinen die nur schwach ausgeprägte Cyanobakterien-„Blüte“ beendet zu haben. Am 2.9.01 waren die Cyanobakterien fast vollständig verschwunden. Es dominierten nun diverse unbestimmte Dinoflagellaten sowie die Cryptophyceen *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax* sp. und *Hemiselmis* sp.

Am 3.11.01 war die zu erwartende Blüte von *Coscinodiscus granii* (361 mg m<sup>-3</sup>) an Station 271, aber nicht an Station 259, nachzuweisen.

Die wichtigsten Begleitarten sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 3

Die 10 wichtigsten Phytoplankton-Arten (in Prozent der Phytoplankton-Biomasse) in den oberen 10 m der Wassersäule im Frühjahr, Sommer und Herbst 2001 in den verschiedenen Seegebieten, einschl. heterotropher Algen (wie *Ebria tripartita* und *Protoperidinium* spp.). Fortsetzung auf Seite 31 !

Table 3

Percentage of wet weight of the 10 most abundant phytoplankton species in the upper 10 m, separated for seasons and sea areas, in 2001. Heterotrophic algae (like *Ebria tripartita* and *Protoperidinium* spp.) included. Continued on page 31

Frühjahr (März-Mai)	(%)	Sommer (Juni-Sept.)	(%)	Herbst (Okt.-Dez.)	(%)
<b>Mecklenburger Bucht (Stat. 012, O22, 046)</b>					
<i>Chaetoceros</i> spp.	31.6	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	47.5	<i>Ceratium tripos</i>	30.4
<i>Dictyocha speculum</i>	16.1	<i>Ceratium tripos</i>	11.3	<i>Ceratium fusus</i>	9.3
<i>Skeletonema costatum</i>	14.5	<i>Mesodinium rubrum</i>	2.8	<i>Cerataulina pelagica</i>	8.3
<i>Mesodinium rubrum</i>	7.4	<i>Proboscia alata</i>	2.7	<i>Guinardia flaccida</i>	8.3
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	6.2	<i>Aphanizomenon</i> sp.	2.2	<i>Mesodinium rubrum</i>	3.1
<i>Rhizosolenia setigera</i>	3.7	<i>Ceratium fusus</i>	1.9	<i>Coscinodiscus</i> sp.	2.9
<i>Teleaulax</i> sp.	1.0	<i>Guinardia flaccida</i>	1.3	<i>Teleaulax</i> sp.	2.3
<i>Proboscia alata</i>	0.5	<i>Plagioselmis prolunga</i>	1.1	<i>Coscinodiscus granii</i>	2.2
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.5	<i>Ceratium furca</i>	1.0	<i>Prorocentrum micans</i>	1.8
<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.4	<i>Prorocentrum micans</i>	1.0	<i>Proboscia alata</i>	1.7



<b>Arkonasee (Stat. 030, 069, 109, 113)</b>					
<i>Skeletonema costatum</i>	42.9	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	25.5	<i>Coscinodiscus granii</i>	48.4
<i>Mesodinium rubrum</i>	34.5	<i>Aphanizomenon</i> sp.	9.7	<i>Ceratium tripos</i>	8.8
<i>Protoperidinium</i> spp.	1.4	<i>Plagioselmis prolunga</i>	5.0	<i>Teleaulax</i> sp.	4.9
<i>Peridiniella catenata</i>	1.1	<i>Ceratium tripos</i>	3.7	<i>Plagioselmis prolunga</i>	2.7
<i>Melosira nummuloides</i>	0.7	<i>Nodularia spumigena</i>	3.7	<i>Ceratium fusus</i>	2.3
<i>Ebria tripartita</i>	0.7	<i>Teleaulax</i> sp.	3.7	<i>Mesodinium rubrum</i>	1.7
<i>Gymnodinium</i> sp.	0.6	<i>Coscinodiscus granii</i>	3.6	<i>Heterocapsa triquetra</i>	1.2
<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.5	<i>Mesodinium rubrum</i>	2.8	<i>Heterocapsa rotundata</i>	1.2
<i>Pyramimonas</i> sp.	0.5	<i>Heterocapsa rotundata</i>	1.9	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	0.7
<i>Plagioselmis prolunga</i>	0.4	<i>Chaetoceros impressus</i>	1.8	<i>Cerataulina pelagica</i>	0.7
<b>Pommersche Bucht (Stat. OB)</b>					
<i>Mesodinium rubrum</i>	42.9	<i>Coscinodiscus granii</i>	21.5	<i>Coscinodiscus granii</i>	86.6
<i>Skeletonema costatum</i>	25.4	<i>Teleaulax</i> sp.	6.6	<i>Teleaulax</i> sp.	2.4
<i>Ebria tripartita</i>	23.0	<i>Ebria tripartita</i>	4.0	<i>Heterocapsa rotundata</i>	1.6
<i>Diatoma elongatum</i>	5.5	<i>Plagioselmis prolunga</i>	3.5	<i>Mesodinium rubrum</i>	1.3
<i>Protoperidinium</i> spp.	2.4	<i>Dictyocha speculum</i>	2.1	<i>Plagioselmis prolunga</i>	1.2
<i>Teleaulax</i> sp.	2.0	<i>Eutreptiella</i> sp.	1.7	<i>Eutreptiella</i> sp.	0.9
<i>Aulacoseira granulata</i>	1.5	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	1.4	<i>Hemiselms</i> sp.	0.9
<i>Dictyocha speculum</i>	1.1	<i>Woronichinia compacta</i>	1.2	<i>Merismopedia punctata</i>	0.4
<i>Coelastrum</i> sp.	0.8	<i>Mesodinium rubrum</i>	0.9	<i>Monoraphidium</i> sp.	0.1
<i>Chaetoceros wighamii</i>	0.7	<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.7	<i>Cyclotella</i> sp.	0.1
<b>Bornholmsee (Stat. 213)</b>					
<i>Skeletonema costatum</i>	48.3	<i>Nodularia spumigena</i>	16.7	<i>Coscinodiscus granii</i>	40.0
<i>Mesodinium rubrum</i>	11.0	<i>Nitzschia paleacea</i>	16.6	<i>Heterocapsa triquetra</i>	7.7
<i>Gymnodinium</i> sp.	2.7	<i>Aphanizomenon</i> sp.	6.3	<i>Teleaulax</i> sp.	5.6
<i>Heterocapsa triquetra</i>	1.1	<i>Plagioselmis prolunga</i>	5.7	<i>Plagioselmis prolunga</i>	4.8
<i>Peridiniella catenata</i>	1.1	<i>Pseudopedinella elastica</i>	4.7	<i>Mesodinium rubrum</i>	4.2
<i>Teleaulax</i> sp.	0.6	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	4.0	<i>Chaetoceros impressus</i>	2.0
<i>Plagioselmis prolunga</i>	0.5	<i>Teleaulax</i> sp.	3.1	<i>Hemiselms</i> sp.	1.1
<i>Ebria tripartita</i>	0.4	<i>Cylindrotheca closterium</i>	2.9	<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.7
<i>Aphanizomenon</i> sp.	0.4	<i>Mesodinium rubrum</i>	2.8	<i>Pyramimonas</i> sp.	0.7
<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.4	<i>Chaetoceros impressus</i>	2.6	<i>Aphanizomenon</i> sp.	0.6
<b>Östliche Gotlandsee (Stat. 259, 271)</b>					
<i>Mesodinium rubrum</i>	45.7	<i>Aphanizomenon</i> sp.	12.4	<i>Coscinodiscus granii</i>	62.9
<i>Peridiniella catenata</i>	30.1	<i>Plagioselmis prolunga</i>	8.4	<i>Mesodinium rubrum</i>	4.6
<i>Skeletonema costatum</i>	2.9	<i>Mesodinium rubrum</i>	6.8	<i>Teleaulax</i> sp.	3.6
<i>Dinophysis acuminata</i>	1.4	<i>Nodularia spumigena</i>	6.3	<i>Plagioselmis prolunga</i>	3.2
<i>Plagioselmis prolunga</i>	0.9	<i>Dinophysis acuminata</i>	2.5	<i>Hemiselms</i> sp.	1.6
<i>Heterocapsa triquetra</i>	0.9	<i>Dinophysis baltica</i>	2.2	<i>Aphanizomenon</i> sp.	0.9
<i>Protoperidinium</i> spp.	0.8	<i>Teleaulax</i> sp.	1.9	<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.7
<i>Gymnodinium</i> sp.	0.8	<i>Gymnodinium</i> sp.	1.5	<i>Eutreptiella</i> sp.	0.6
<i>Teleaulax</i> sp.	0.8	<i>Pyramimonas</i> sp.	1.3	<i>Gymnodinium albulum</i>	0.3
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.6	<i>Dinophysis acuta</i>	1.3	<i>Pyramimonas</i> sp.	0.3

Tabelle 4

Liste der im Jahre 2001 gefundenen Phytoplanktonarten und ihrer taxonomischen Zugehörigkeit, geordnet nach Fahrten

Table 4

Phytoplankton species list of 2001, with indicator for their occurrence in the monitoring cruises

Artname:	Klasse:	Febr.	März/ Apr.	Mai	Juli/ Aug.	Okt./ Nov.
<i>Achnanthes taeniata</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Achroonema cf. proteiforme</i>	Cyanobact.			X	X	X
<i>Actinocyclus</i> sp.	Bacillarioph.					X
<i>Amphidinium crassum</i>	Dinophyceae			X	X	
<i>Amphidinium</i> sp.	Dinophyceae		X			
<i>Anabaena</i> sp.	Cyanobact.				X	
<i>Aphanizomenon</i> sp.	Cyanobact.		X	X	X	X
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Cyanobact.	X	X	X		
<i>Aphanocapsa</i> sp.	Cyanobact.		X	X	X	X
<i>Aphanothece minutissima</i>	Cyanobact.	X	X	X	X	
<i>Aphanothece</i> sp.	Cyanobact.	X	X	X	X	X
<i>Asterionella formosa</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Attheya decora</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Attheya septentrionalis</i>	Bacillarioph.	X	X	X		X
<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>	Bacillarioph.	X		X		
<i>Cerataulina pelagica</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Ceratium furca</i>	Dinophyceae					X
<i>Ceratium fusus</i>	Dinophyceae	X				X
<i>Ceratium lineatum</i>	Dinophyceae					X
<i>Ceratium longipes</i>	Dinophyceae				X	
<i>Ceratium tripos</i>	Dinophyceae	X			X	X
<i>Chaetoceros borealis</i>	Bacillarioph.		X		X	
<i>Chaetoceros ceratosporus</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Bacillarioph.	X	X		X	X
<i>Chaetoceros danicus</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Chaetoceros debilis</i>	Bacillarioph.	X				
<i>Chaetoceros decipiens</i>	Bacillarioph.	X	X			X
<i>Chaetoceros diadema</i>	Bacillarioph.	X	X			X
<i>Chaetoceros impressus</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	Bacillarioph.	X				
<i>Chaetoceros similis</i>	Bacillarioph.	X	X	X		X
<i>Chaetoceros socialis</i>	Bacillarioph.					X
<i>Chaetoceros subtilis</i>	Bacillarioph.	X	X	X	X	
<i>Chaetoceros wighamii</i>	Bacillarioph.		X	X		
<i>Chaetoceros</i> sp.	Bacillarioph.	X	X	X	X	X
<i>Chroococcus</i> sp.	Cyanobact.				X	
<i>Chrysochromulina</i> sp.	Prymnesioph.			X	X	X
<i>Closterium</i> sp.	Zygnematoph.			X		
<i>Cocconeis</i> sp.	Bacillarioph.	X				
<i>Coelastrum microporum</i>	Chlorophyc.			X	X	
<i>Coelastrum sphaericum</i>	Chlorophyc.				X	
<i>Coelosphaerium minutissimum</i>	Cyanobact.	X	X	X	X	
<i>Coscinodiscus granii</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Coscinodiscus</i> sp.	Bacillarioph.	X	X			X
<i>Cyanodictyon planctonicum</i>	Cyanobact.	X		X	X	X
<i>Cyanonephron styloides</i>	Cyanobact.			X	X	X
<i>Cyclotella choctawhatcheana</i>	Bacillarioph.					X
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Bacillarioph.	X	X		X	X

<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	Bacillarioph.		X	X	X	X
<i>Diatoma elongatum</i>	Bacillarioph.		X	X		
<i>Dictyocha speculum</i>	Dictyochoph.	X	X	X	X	X
<i>Dinobryon faculiferum</i>	Chrysophyc.	X		X	X	
<i>Dinobryon</i> sp.	Chrysophyc.				X	
<i>Dinophysis acuminata</i>	Dinophyceae			X	X	X
<i>Dinophysis acuta</i>	Dinophyceae	X		X	X	X
<i>Dinophysis arctica</i>	Dinophyceae		X			
<i>Dinobryon balticum</i>	Dinophyceae			X		
<i>Dinophysis norvegica</i>	Dinophyceae		X	X	X	X
<i>Dinophysis</i> sp.	Dinophyceae		X	X	X	X
<i>Dissodinium pseudolunula</i>	Dinophyceae					X
<i>Ditylum brightwellii</i>	Bacillarioph.	X	X			X
<i>Ebria tripartita</i>	Ebriidea	X	X	X	X	X
<i>Eutreptia</i> sp.	Euglenophyc.				X	
<i>Eutreptiella</i> sp.	Euglenophyc.	X	X	X	X	X
<i>Glenodinium</i> sp.	Dinophyceae	X		X	X	
<i>Gonyaulax triacantha</i>	Dinophyceae			X	X	
<i>Gonyaulax</i> sp.	Dinophyceae			X		
<i>Guinardia delicatula</i>	Bacillarioph.	X				X
<i>Guinardia flaccida</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>album</i>	Dinophyceae	X	X	X	X	X
<i>Gymnodinium arcticum</i>	Dinophyceae	X	X	X	X	
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	Dinophyceae		X	X		
<i>Gymnodinium</i> sp.	Dinophyceae	X	X	X	X	X
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	Dinophyceae	X	X	X		
<i>Hemiselmis</i> sp.	Cryptophyc.	X	X	X	X	X
<i>Heterocapsa rotundata</i>	Dinophyceae	X	X	X	X	X
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Dinophyceae		X	X	X	X
<i>Kirchneriella obesa</i>	Chlorophyc.			X		
<i>Koliella longiseta</i>	Chlorophyc.	X		X	X	
<i>Koliella spiralis</i>	Chlorophyc.		X	X		X
<i>Lemmermanniella pallida</i>	Cyanobact.	X	X	X	X	X
<i>Licmophora</i> sp.	Bacillarioph.			X		
<i>Melosira arctica</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Melosira dubia</i>	Bacillarioph.	X	X			
<i>Melosira nummuloides</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Melosira</i> sp.	Bacillarioph.		X			
<i>Merismopedia punctata</i>	Cyanobact.				X	X
<i>Merismopedia tenuissima</i>	Cyanobact.				X	
<i>Merismopedia warmingiana</i>	Cyanobact.				X	
<i>Mesodinium rubrum</i>	Ciliophora	X	X	X	X	X
<i>Microcystis</i> sp.	Cyanobact.				X	
<i>Monoraphidium minutum</i>	Chlorophyc.	X		X		X
<i>Monoraphidium contortum</i>	Chlorophyc.	X		X	X	X
<i>Monoraphidium convolutum</i>	Chlorophyc.					X
<i>Nitzschia acicularis</i>	Bacillarioph.			X		
<i>Nitzschia paleacea</i>	Bacillarioph.				X	
<i>Nitzschia</i> sp.	Bacillarioph.	X	X	X	X	
<i>Nodularia spumigena</i>	Cyanobact.	X		X	X	X
<i>Oocystis</i> sp.	Chlorophyc.	X	X	X	X	X
<i>Pediastrum boryanum</i>	Chlorophyc.		X	X	X	
<i>Pediastrum duplex</i>	Chlorophyc.				X	
<i>Peridiniella catenata</i>	Dinophyceae	X	X	X	X	
<i>Phacus</i> sp.	Euglenophyc.	X	X	X	X	X
<i>Phaeoceros</i> sp.	Bacillarioph.	X	X	X	X	X
<i>Plagioselmis prolonga</i>	Cryptophyc.	X	X	X	X	X
<i>Planktolyngbya contorta</i>	Cyanobact.			X	X	

<i>Planktolyngbya</i> sp.	Cyanobact.	X	X	X		
<i>Planktonema lauterbornii</i>	Chlorophyc.	X	X	X	X	X
<i>Planktothrix</i> sp.	Cyanobact.		X			
<i>Proboscia alata</i>	Bacillarioph.	X	X	X	X	X
<i>Prorocentrum balticum</i>	Dinophyceae	X		X		
<i>Prorocentrum micans</i>	Dinophyceae				X	X
<i>Prorocentrum minimum</i>	Dinophyceae	X				X
<i>Protoperdinium bipes</i>	Dinophyceae			X		
<i>Protoperdinium depressum</i>	Dinophyceae				X	X
<i>Protoperdinium pellucidum</i>	Dinophyceae			X		
<i>Protoperdinium</i> sp.	Dinophyceae	X	X	X	X	X
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	Cyanobact.	X			X	X
<i>Pseudanabaena</i> sp.	Cyanobact.			X	X	
<i>Pseudopedinella elastica</i>	Chrysophyc.				X	
<i>Pseudopedinella</i> sp.	Chrysophyc.	X	X	X	X	X
<i>Pterosperma</i> sp.	Prasinophyc.	X	X	X	X	X
<i>Pseudo-nitzschia cf. pungens</i>	Bacillarioph.	X				X
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Bacillarioph.	X				X
<i>Pyramimonas</i> sp.	Prasinophyc.	X	X	X	X	X
<i>Rhizosolenia pungens</i>	Bacillarioph.				X	X
<i>Rhizosolenia setigera</i>	Bacillarioph.	X	X		X	X
<i>Romeria</i> sp.	Cyanobact.			X	X	
<i>Scenedesmus</i> sp.	Chlorophyc.	X	X	X	X	X
<i>Skeletonema costatum</i>	Bacillarioph.	X	X	X	X	X
<i>Snowella fennica</i>	Cyanobact.			X		
<i>Snowella litoralis</i>	Cyanobact.			X	X	
<i>Snowella septentrionalis</i>	Cyanobact.	X	X	X	X	X
<i>Snowella</i> sp.	Cyanobact.				X	X
<i>Teleaulax amphioxeia</i>	Cryptophyc.					X
<i>Teleaulax</i> sp.	Cryptophyc.	X	X	X	X	X
<i>Tetrastrum</i> sp.	Chlorophyc.			X		
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Bacillarioph.	X	X	X	X	X
<i>Thalassiosira levanderi</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Bacillarioph.		X			
<i>Thalassiosira</i> sp.	Bacillarioph.	X	X	X		X
<i>Woronichinia compacta</i>	Cyanobact.	X	X	X	X	
<i>Woronichinia</i> sp.	Cyanobact.				X	X
<b>Anzahl der Taxa: insgesamt 143</b>	<b>von den Fahrten:</b>	<b>67</b>	<b>71</b>	<b>81</b>	<b>87</b>	<b>78</b>

#### 4.1.2 Sedimentation

Die mikroskopischen Analysen des aufgefangenen Materials zeigen die typische saisonale Abfolge der in der mittleren Ostsee vorkommenden Phytoplankter (Abb. 5 a-d). Das in den Sinkstoff-Fallen des Jahres 2000 von Ende März bis Anfang Mai gefundene starke Auftreten von Kieselalgen (*Thalassiosira*-, *Skeletonema*- und *Chaetoceros*-Arten, die sich aus einer in der Frühphase viel diverseren Diatomeenflora heraus entwickelten) wurde in den Phytoplanktonproben aber nicht gefunden (vgl. WASMUND et al., 2001). Das kann an der fehlenden Beprobung im April 2000 liegen. Bis zum Sommer verschob sich das Artenspektrum über eine Mischung von Diatomeen und Dinoflagellaten zu diazotrophen Cyanobakterien. Letztere entwickelten sich vor einem beständigen Hintergrund von diversen Dinoflagellaten, was teilweise mit einer räumlichen Trennung in der Deckschicht einhergeht. Während die fädigen Cyanobakterien, gefördert durch die Fähigkeit zur

physiologischen Anpassung an hohe Lichtmengen, die oberen Schichten besiedeln, halten sich bestimmte Dinoflagellaten, wie z.B. *Dinophysis norvegica*, in den tieferen Bereichen der photischen Zone auf. Da sowohl an der unteren wie auch an der oberen Grenzfläche der photischen Zone durch Nitrataufnahme bzw. Stickstofffixierung zusätzlich Kohlenstoff gebunden werden kann, liegen hier im Sommer auch die Quellen der „neuen“ bzw. der Exportproduktion. Die Signatur der Stickstoffisotope (Abb. 6) in Verbindung mit den vertikalen N-Flüssen (Abb. 7) zeigt allerdings durch extrem niedrige Werte sehr deutlich, daß auch im Jahre 2000 der Stickstoffeintrag durch Cyanobakterien die dominierende Quelle für Biomassebildung im Sommer ist.

Abweichend vom langjährigen Mittel ist die saisonale Verteilung der Kohlenstoffflüsse im Jahre 2000 zur Frühjahrsphase hin verschoben, in der fast genau so viel Kohlenstoff exportiert wurde wie im Spätsommer (Abb. 8), während im Mittel von 1995 bis 1999 der Kohlenstofffluß durch die Sommer- und Frühjahrsproduktion im Verhältnis 2:1 bedingt wurde. Besondere Abweichungen von diesem Muster zeigen sich auch im Silikatfluß (Abb. 9). Im Jahre 2000 betrug das Verhältnis zwischen Frühjahrs- und Sommerfluß von biogenem Silikat 9:1, während im Vorjahr höhere Silikatsmengen im Sommer als im Frühjahr sedimentierten. Das zeigt sich ebenso im Verhältnis von C/Si im sedimentierten Material, das von Werten um 1,5 im Frühjahr 2000 auf Werte von 13 im Sommer ansteigt.

Es kann hieraus die Hypothese abgeleitet werden, daß eine hohe Diatomeen-Frühjahrsblüte mit zwei Maxima Anfang und Ende April zum Übertrag geringerer Mengen freier Nährsalze in den Sommer führte und damit über hohe Phosphataufnahme die sommerliche Entwicklung von Cyanobakterien und über die Silikataufnahme ebenfalls die Entwicklung von epiphytischen Diatomeen auf den Aggregaten mehr als sonst begrenzt hat. Der Anstieg im C/P-Verhältnis (Abb. 10) zwischen Juli und August auf Werte von über 400 spricht ebenfalls für eine geringe Menge verfügbaren Phosphats in diesem Sommer und eine schnelle Regeneration in der Deckschicht. Das C/N-Verhältnis (Abb. 11) zeigt den generellen Unterschied zwischen Phasen mit hohem Eintrag frischen Materials, wie Frühjahr und Sommer, und der Winterperiode, in der größere Anteile schon abgebauten Materials in die Falle sanken.

Obwohl das saisonale Muster im Jahre 2000 generell vom langjährigen Mittel abwich, lagen die Gesamt-C-Flüsse in dem über alle beobachteten Jahre relativ konstanten Bereich von 4-6 g Kohlenstoff  $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ . Die Gesamtsummen lagen für die einzelnen Elemente bei 490 mmol C, 50 mmol N, 170 mmol Si und 5 mmol P pro  $\text{m}^2$  und Jahr. Der Massefluß betrug im Jahre 2000 40 g Trockenmaterial pro  $\text{m}^2$  und Jahr. Damit deutet sich an, daß der entscheidende Faktor für die Exportproduktion der gesamten Wachstumsperiode in der Höhe der winterlichen Nährsalzkonzentration in der durchmischten Schicht zu sehen ist, wobei in der mittleren Ostsee, abweichend von anderen Seegebieten, der Phosphor die primäre Regulation ausübt. Der trotz des frühen Verbrauchs der Nährsalze hohe Jahres-Export an Kohlenstoff wirft die Frage auf, inwiefern durch physiologische Anpassungsprozesse des Sommerplanktons an niedrige  $\text{PO}_4$ -Konzentrationen dieser Limitierung entgegengewirkt wird und wieviel Stickstoff- und Kohlenstoff-Fixierung dadurch weiterhin möglich ist. Diese Problematik wird zur Zeit im IOW im Rahmen von Projekten bearbeitet. Hierbei zeigt sich, daß auch Prozesse auf physiologischen Skalen durchaus die makroskaligen Stofftransporte in marinen Systemen quantitativ beeinflussen können.

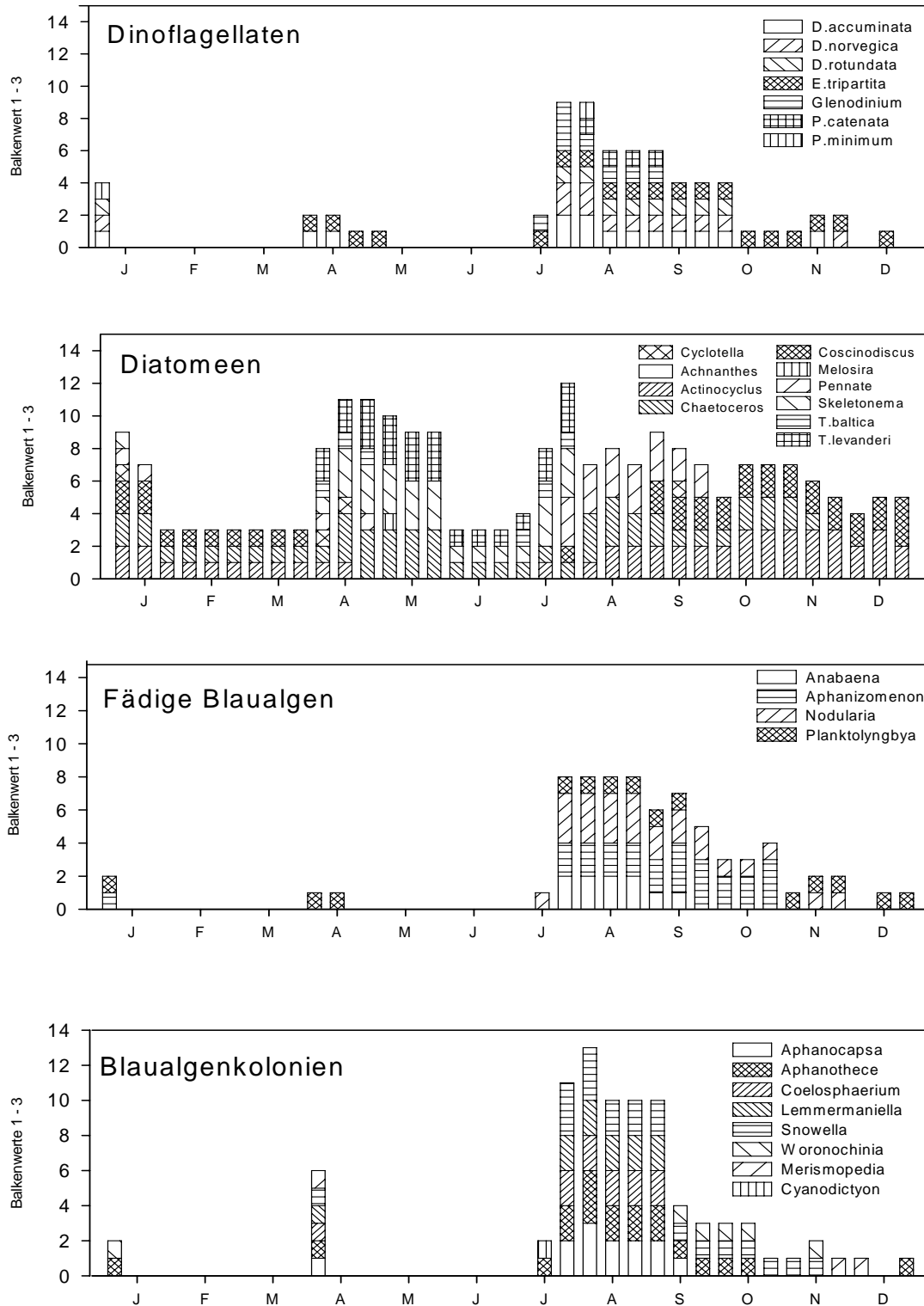


Abb. 5 a-d  
Relative Häufigkeit einzelner Arten von Dinoflagellaten (a), Diatomeen (b) sowie fädiger (c) und kolonialer Cyanobakterien (d) im sedimentierten Material im Jahre 2000

Fig. 5 a-d  
Relative frequency of species of dinoflagellates (a), diatoms (b), filamentous (c) and colony-forming cyanobacteria (d) in sediment traps at station 271 in 2000

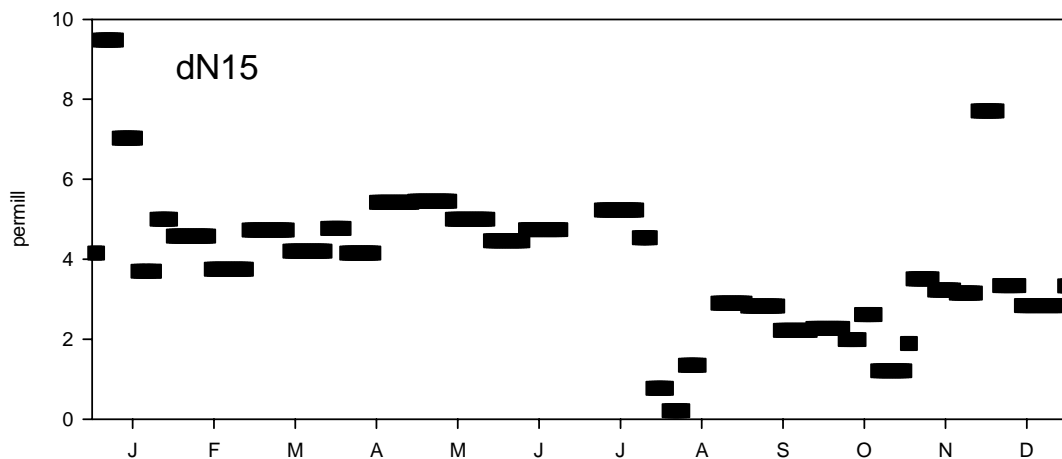


Abb. 6  
Isotopie des Stickstoffs (permil  $\delta^{15}\text{N}$ ) im Fallenmaterial der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 6  
Isotopic composition (permil  $\delta^{15}\text{N}$ ) in sedimented material at station 271 in 2000

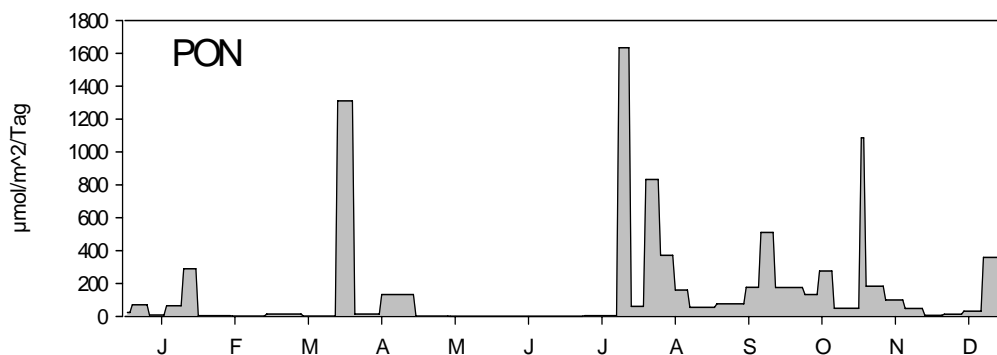


Abb. 7  
Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem organischem Stickstoff im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 7  
Daily sedimentation rates of particulate organic nitrogen in 140 m depth at station 271 in 2000

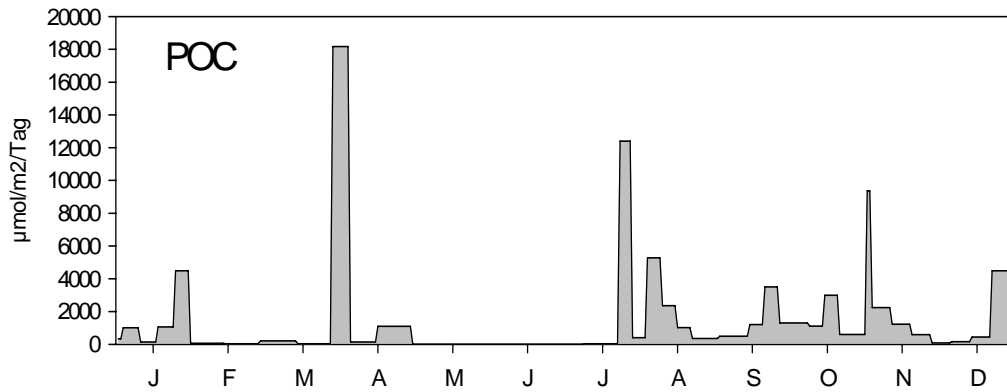


Abb. 8

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem organischem Kohlenstoff im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 8

Daily sedimentation rates of particulate organic carbon in 140 m depth at station 271 in 2000

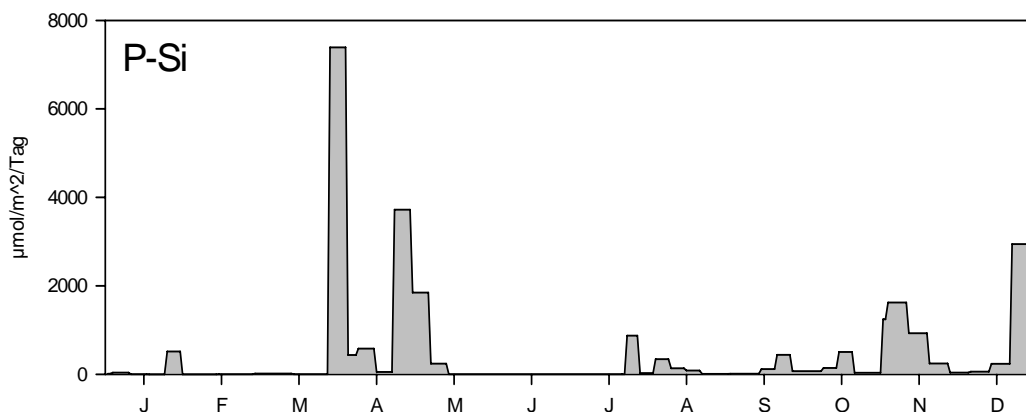


Abb. 9

Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem biogenem Silikat im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 9

Daily sedimentation rates of particulate biogenic silicate in 140 m depth at station 271 in 2000



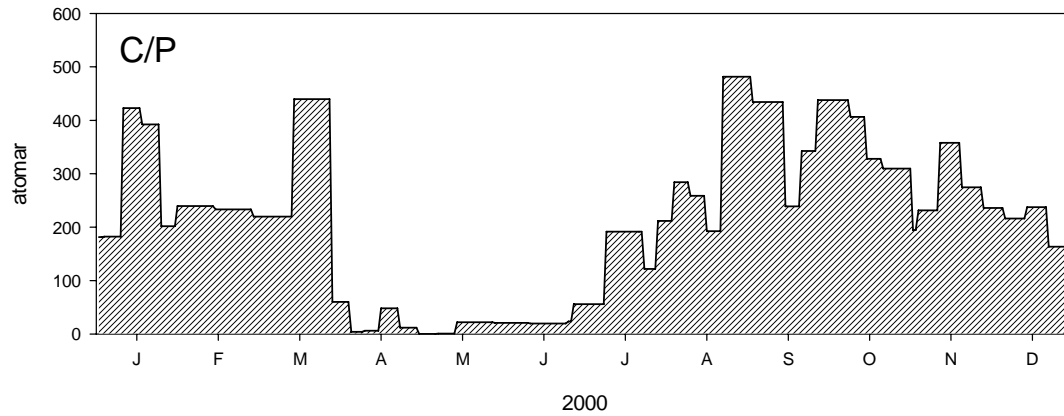


Abb. 10

Atomares Verhältnis von Kohlenstoff zu Phosphor in Partikeln im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 10

Atomic ratio of particulate carbon and particulate phosphorus in 140 m depth at station 271 in 2000

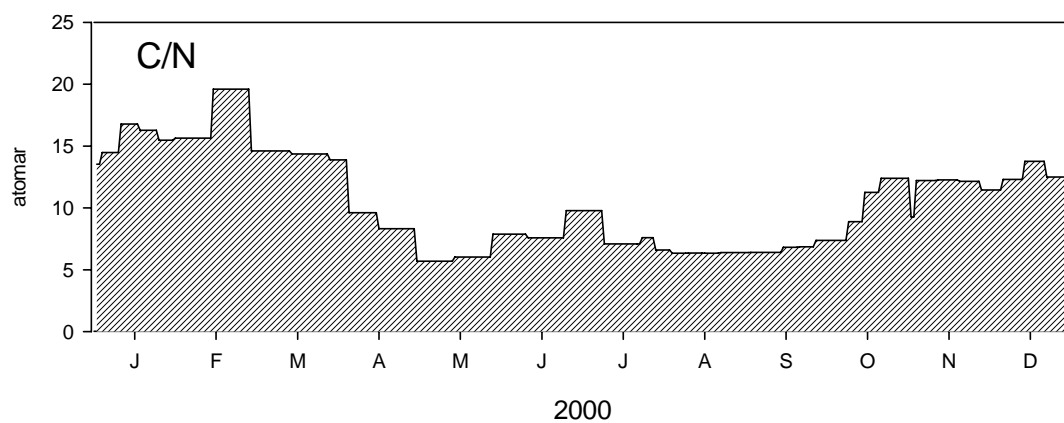


Abb. 11

Atomares Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff in Partikeln im Sedimentationshorizont 140 m auf der Station 271 im Jahre 2000

Fig. 11

Atomic ratio of particulate carbon and particulate nitrogen in 140 m depth at station 271 in 2000

### 4.1.3 Jahresgang der Chlorophyll a – Konzentration

Proben zur Bestimmung der Chlorophyll a – Konzentration wurden in der Regel parallel zu den Phytoplankton-Proben entnommen. Das Chlorophyll gilt als ein Biomasse-Äquivalent. 1 mg Chlorophyll a soll etwa 30 (im Frühjahr und Herbst) bis 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). 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. Auf eine grafische Darstellung der saisonalen Chlorophyll-Entwicklung soll deshalb verzichtet werden. Statt dessen geben wir in Tabelle 5 die genauen Messwerte von Chlorophyll a und Phaeopigment a an den einzelnen Stationen an, integriert über die obersten 20 m der Wassersäule, die etwa der euphotischen Schicht entsprechen. Jahresgänge aus langjährigen Monatsmitteln sind von WASMUND et al. (2000 a) gezeigt worden. Saison-Mittelwerte der Chlorophyll a –Konzentrationen der oberen 10 m von allen Stationen der eigentlichen Ostsee (also ohne Mecklenburger Bucht, aber einschl. Pommerscher Bucht) des Jahres 2001 sind in Tabelle 6 mit den Vorjahren sowie den entsprechenden HELCOM-Daten der Jahre 1994-1998 verglichen. Diese Tabelle ist eine inhaltliche Fortschreibung der Tabellen 8 und 9 des vorjährigen Berichtes (WASMUND et al., 2001); in dem Bericht ist in den Tabellen-Legenden fälschlicherweise das Frühjahr als „März-April“ definiert gewesen.

### 4.1.4 Langzeittrend der Artenzusammensetzung

Mit dem Jahre 2001 erstreckt sich die Datenreihe des HELCOM-Monitoring bereits über 23 Jahre. Bis zum Jahre 1993 sind die von allen Ostsee-Anliegern gewonnenen Daten gemeinsam ausgewertet worden (HELCOM, 1996). Das 4. Periodische Assessment der HELCOM, das die Auswertung bis 1998 beinhaltet, steht noch nicht zur Verfügung. Unter Verwendung der HELCOM-Daten bis 1993 und der eigenen Daten ab 1994 ergeben sich die in Abb. 12-16 dargestellten Langzeit-Entwicklungen der Phytoplanktonbiomasse und -zusammensetzung in den verschiedenen Seegebieten und zu den einzelnen Jahreszeiten. Die starken Schwankungen der absoluten Biomassen sind methodisch bedingt und erfordern für Trenduntersuchungen spezielle statistische Verfahren. Die Ergebnisse solcher Analysen werden in Kapitel 5.2 diskutiert. Trotz verschiedener Unzulänglichkeiten ist die mikroskopische Methode die einzig mögliche, um qualitative Abschätzungen vorzunehmen. Wegen der großen absoluten Schwankungen legen wir in den Abb. 12-16 unser Augenmerk hauptsächlich auf die relative Zusammensetzung der Phytoplankton-gemeinschaft und verweisen für die Betrachtung der Phytoplankton-Gesamtbiomasse auf die Chlorophyll a-Konzentration (Kapitel 4.1.5).

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die hohen Cyanobakterienbiomassen zu Beginn der Messreihe (Abb. 13b-16b) fehlerhaft sein könnten. Sie beruhen auf einem Berechnungsfehler (HAJDU, pers. Mitt., 23.6.98), wurden von HELCOM aber noch nicht offiziell geprüft und gegebenenfalls korrigiert und können daher auch von uns nicht abgeändert werden.

Tabelle 5

Mittlere Konzentrationen von Chlorophyll *a* und Phaeopigment *a* (in  $\text{mg m}^{-3}$ ) von 0 bis 20 m Tiefe, in flacheren Gewässern bis zum Grund

Table 5

Average chlorophyll *a* and phaeopigment *a* concentration in the upper 20 m (in shallower waters down to bottom)

Station	Datum	Chl <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Phaeo <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Station	Datum	Chl <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Phaeo <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ )
360	08.02.01	2.25	0.87	160	29.10.01	4.06	1.84
360	03.05.01	1.05	0.55	OB	26.07.01	4.86	1.85
360	24.07.01	2.09	0.17	OB	12.02.01	1.64	0.63
12	09.02.01	1.30	0.52	OB	25.03.01	11.25	5.07
12	23.02.01	1.83	0.78	OB	07.05.01	1.58	1.79
12	23.03.01	4.65	1.28	OB	30.10.01	5.73	1.18
12	04.05.01	0.73	0.46	213	11.02.01	0.75	0.17
12	23.07.01	1.62	0.39	213	21.02.01	0.54	0.16
12	25.10.01	1.54	0.65	213	27.03.01	4.93	0.83
12	07.11.01	1.40	0.38	213	01.04.01	8.03	1.24
46	09.02.01	0.87	0.67	213	06.05.01	0.94	0.13
46	23.02.01	1.46	0.71	213	17.05.01	1.12	0.33
46	23.03.01	5.05	1.33	213	25.07.01	1.96	0.52
46	04.05.01	0.71	0.40	213	07.08.01	1.24	0.55
46	24.07.01	1.48	0.39	213	28.10.01	1.53	0.68
46	08.08.01	1.90	0.42	213	05.11.01	1.92	0.50
46	26.10.01	1.40	0.60	259	15.02.01	0.30	0.08
46	07.11.01	1.77	0.54	259	27.03.01	1.26	0.23
30	09.02.01	0.72	0.48	259	08.05.01	2.04	0.18
30	22.02.01	1.36	0.49	259	27.07.01	1.80	0.58
30	23.03.01	6.65	1.72	259	05.11.01	1.21	0.39
30	05.05.01	1.16	0.50	271	15.02.01	0.33	0.05
30	24.07.01	1.48	0.49	271	29.03.01	1.60	0.30
30	07.08.01	1.61	0.60	271	09.05.01	3.90	0.16
30	27.10.01	1.45	0.63	271	13.05.01	1.44	0.19
30	07.11.01	1.54	0.61	271	14.05.01, morgens	1.63	0.18
109	10.02.01	1.25	0.37	271	14.05.01, mittags	1.40	0.17
109	24.03.01	7.58	0.96	271	14.05.01, abends	1.56	0.17
109	06.05.01	0.73	0.14	271	15.05.01	1.54	0.11
109	26.07.01	1.35	0.56	271	28.07.01	2.04	0.38
113	10.02.01	1.43	0.39	271	02.08.01	1.73	0.49
113	22.02.01	1.41	0.34	271	03.08.01, morgens	1.86	0.60
113	24.03.01	6.54	1.19	271	03.08.01, mittags	1.90	0.61
113	01.04.01	2.79	0.56	271	04.08.01	1.55	0.65
113	05.05.01	0.97	0.32	271	04.08.01	1.79	0.90
113	17.05.01	0.94	0.47	271	05.08.01	1.69	0.63
113	25.07.01	1.27	0.46	271	05.08.01	1.76	0.71
113	07.08.01	1.31	0.52	271	03.11.01	1.83	0.46
113	27.10.01	2.07	0.78				
113	06.11.01	2.61	0.96				

Tabelle 6

Saisonale Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Proben aller Chlorophyll *a*- Daten des Monitoring-Programms des IOW von 2001 aus der eigentlichen Ostsee (einschl. Pommersche Bucht), integriert über die oberen 10 m, im Vergleich mit entsprechenden Daten von 1994-1998 (HELCOM, in press), 1999 und 2000. Jahresmittel aus monatlich gewichteten Saisonwerten

Table 6

Seasonal means, standard deviations and number of samples (n) of all IOW monitoring chlorophyll *a* data of 2001 from the Baltic proper (incl. Pomeranian Bight), of the upper 10 m, in comparison with corresponding data of 1994-1998 (HELCOM, in press), 1999 and 2000. Annual means calculated from monthly weighted seasonal means

	1994-1998	1999	2000	2001		
	Mittelw.	Mittelw.	Mittelw.	Mittelw.	Standardabw.	n
Winter (Jan-Feb)	0.53	1.36	0.63	1.08	0.57	10
Frühjahr (März-Mai)	3.47	3.87	3.00	3.18	3.02	23
Sommer (Juni-Sep)	2.55	2.66	2.05	1.91	0.84	17
Herbst (Okt-Dez)	2.55		2.86	2.49	1.41	10
Jahresmittel	2.44	(2.77)	2.25	2.24		

Wesentliche qualitative Veränderungen ließen sich bei der Frühjahrsblüte bereits zum Ende der 1980er Jahre feststellen. In der Bornholmsee (Abb. 14a) und südlichen Gotlandsee (Abb. 15a) setzten sich die Dinoflagellaten auf Kosten der Kieselalgen immer stärker durch. Während in diesen Seegebieten in den 1980er Jahren die Frühjahrs-Kieselalgenblüten dominierten, waren in den 1990er Jahren fast nur noch Dinoflagellatenblüten im Frühjahr zu finden (WASMUND et al., 1998 b). Auch in der Arkonasee nahmen bis 1999 die Dinoflagellaten in der Frühjahrsblüte zu. Der Rückgang der Kieselalgen konnte mit der verringerten Silikatzehrung in Verlaufe des Frühjahrs bestätigt werden (vgl. WASMUND et al., 2000a: Abb. 24).

Es ist interessant, dass sich die Frühjahrs-Kieselalgen in den Jahren 2000 und 2001 in der Bornholmsee, Arkonasee und der Mecklenburger Bucht wieder stärker entwickelt haben und die Dinoflagellaten zurückgegangen sind. In der östlichen Gotlandsee waren die Frühjahrs-Kieselalgen in den 1990er Jahren am schwächsten entwickelt. Lediglich nach den relativ kalten Wintern 1995/96 und 1996/97 traten sie in nennenswerten Biomassen auf. Im Jahre 2001 kamen auch wieder Kieselalgen vor. Die Silikatabnahme im Wasser spricht sogar für ein stärkeres Kieselalgenwachstum als es die Grafik vermuten lässt (vgl. Kap. 4.1.1.5).

Nach den Kieselalgenblüten in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee sind im Oberflächenwasser noch mindestens 4-5 mmol m<sup>-3</sup> Silikat übrig, so dass im Sommer noch Kieselalgenwachstum möglich ist. Blüten der Kieselalge *Dactyliosolen fragilissimus* wurden schon im Sommer 1998 und 1999 zumindest in der Mecklenburger Bucht und dem westlichen Teil der Arkonasee (aber nicht an der zentralen Station 113) gefunden. Dieser Befund bestätigte sich auch im Jahre 2001. In den östlicheren Seegebieten konnten keine *Dactyliosolen*-Blüten nachgewiesen

werden, obwohl gerade hier die Kieselalgen-Frühjahrsblüte schwächer ausfällt als in der westlichen Ostsee. Lediglich in der Bornholmsee trat im Sommer 1999 eine Blüte von *Coscinodiscus granii* auf. Im Juli/August 2000 war *Coscinodiscus* sp. sogar schon in der Mecklenburger Bucht zur dominanten Art geworden, während sie in der Arkonasee in 20 m Wassertiefe vorherrschte. *Coscinodiscus* scheint sein Vorkommen also in den Sommer und in die westliche Ostsee auszudehnen. Das konnte auch im Jahre 2001 bestätigt werden. Bereits am 17.8.01 trat es an Station 030 auf.

Obwohl *Coscinodiscus* sp. bereits im Sommer vertreten war, behielt es im Spät-Herbst seine dominierende Stellung von der zentralen Arkonasee bis in die östliche Gotlandsee (siehe Tabelle 4). Bei Ausstromsituationen dringt es in die westlichen Arkonasee (im Jahre 2000) oder sogar in die Mecklenburger Bucht vor (25.10.2001: Station 012 und 046). Die bisher nur einmal (im Jahre 1997) in der Arkona- und Bornholmsee gefundene Herbstblüte des Dinoflagellaten *Gymnodinium* cf. *lohmannii* wiederholte sich nicht mehr. Ungewöhnlich war die Dominanz von *Gymnodinium* sp. in der Dinoflagellaten-Herbstblüte in der Mecklenburger Bucht im Jahre 1999. Die bis zum Jahre 2000 als *Gymnodinium* cf. *lohmannii* bezeichnete unsichere Art wurde im Jahre 2001 lediglich als *Gymnodinium* sp. geführt. Sie ging in ihrer Bedeutung aber zurück. In der zentralen Arkonasee fand Mitte September 1998 eine Blüte von *Prorocentrum minimum* statt. Eine im Jahre 1999 gefundene Kieselalgen-Herbstblüte von *Pseudo-nitzschia* spp. war bisher einmalig in der Mecklenburger Bucht.

Die im Jahre 1999 insbesondere vom Winter bis Sommer in der eigentlichen Ostsee bemerkten extremen Biomassen des photosynthetisch aktiven Ciliaten *Mesodinium rubrum* (vgl. WASMUND et al., 2001: Tabelle 6) gehen langsam wieder zurück. Sie machten im Winter und Frühjahr 2001 in der eigentlichen Ostsee aber immer noch 11-46 % der Biomasse pro Saison aus (Tabelle 3, Winter dort nicht gezeigt).

#### 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 die Darstellung aller Oberflächen-Chlorophyll a - Werte (einschl. der HELCOM-Daten bis 1993) einen negativen Trend (Abb. 17a), der für eine Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von 0,05 signifikant ist (t-Test). Der schwache Anstieg der Werte der Arkonasee (Abb. 17b) ist wegen der hohen Anzahl an Meßwerten sogar für  $p = 0,01$  noch signifikant. In der Bornholmsee (Abb. 18a) war der Anstieg bis 1997 für  $p = 0,05$  signifikant. Bei Einbeziehung der Daten von 1998 bis 2001 ist er nicht mehr signifikant. Das könnte für eine Trendumkehr sprechen. In der östlichen Gotlandsee (Stat. 271, siehe Abb. 18b) ist der Trend nach wie vor nicht signifikant.

Langfristige Tendenzen einer Trendumkehr sind besonders interessant. Im "First Periodic Assessment" (HELCOM, 1987), wurde noch von einem signifikanten Anstieg der Chlorophyll a - Werte (August-Werte der eigentlichen Ostsee und der Mecklenburger Bucht) berichtet, wenn die Daten von 1975-1978 und 1980-1983 verglichen wurden.

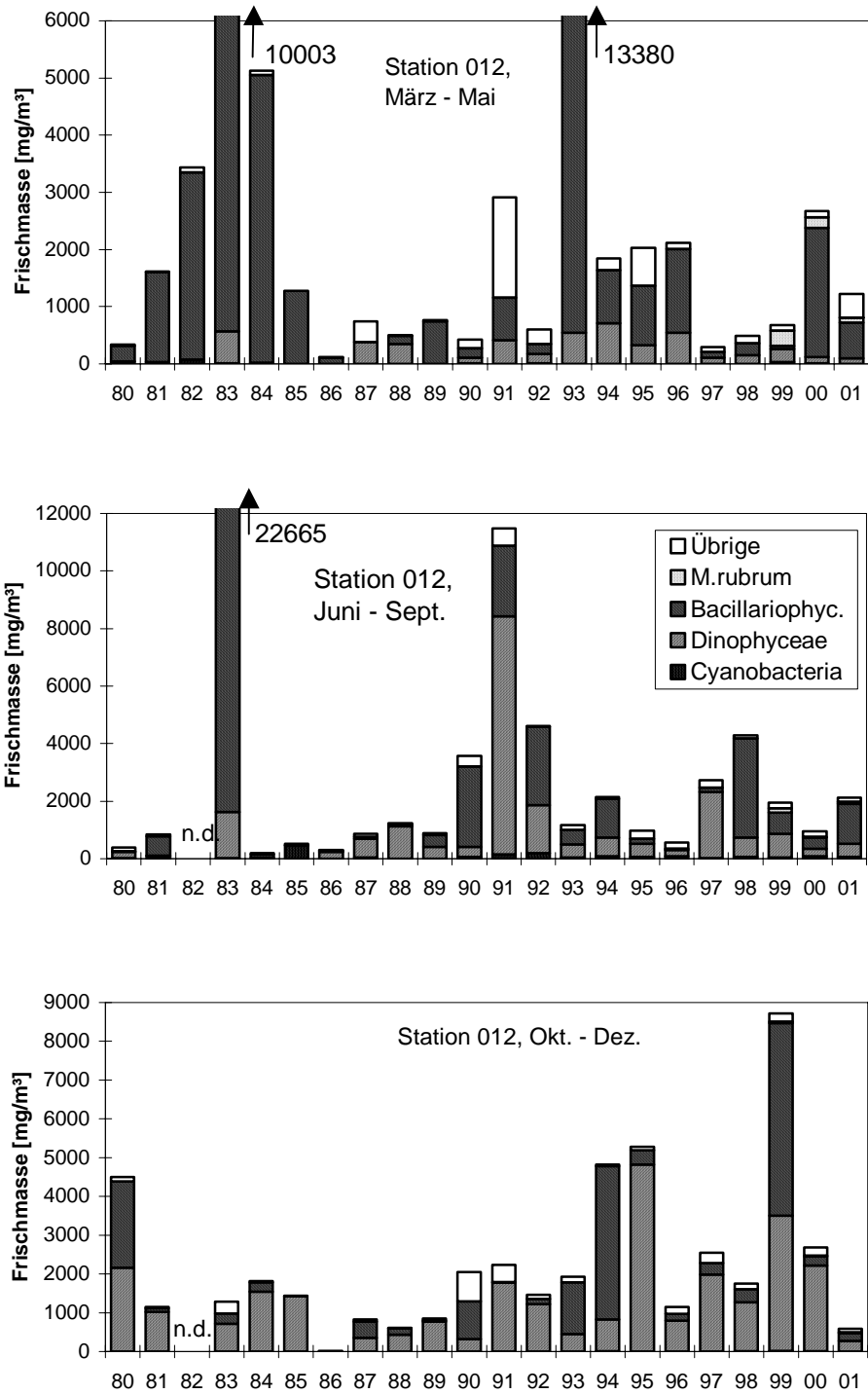


Abb. 12

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 2001, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der zentralen Mecklenburger Bucht (Stat. 012). Bis 1998 wurde *Mesodinium rubrum* unter den „Übrigen“ geführt

Fig. 12

Trends in biomass of the main phytoplankton groups in spring, summer and autumn 1979-2001 in the central Mecklenburg Bight (Stat. 012). Until 1998, *Mesodinium rubrum* was counted as „Others“ („Übrige“)

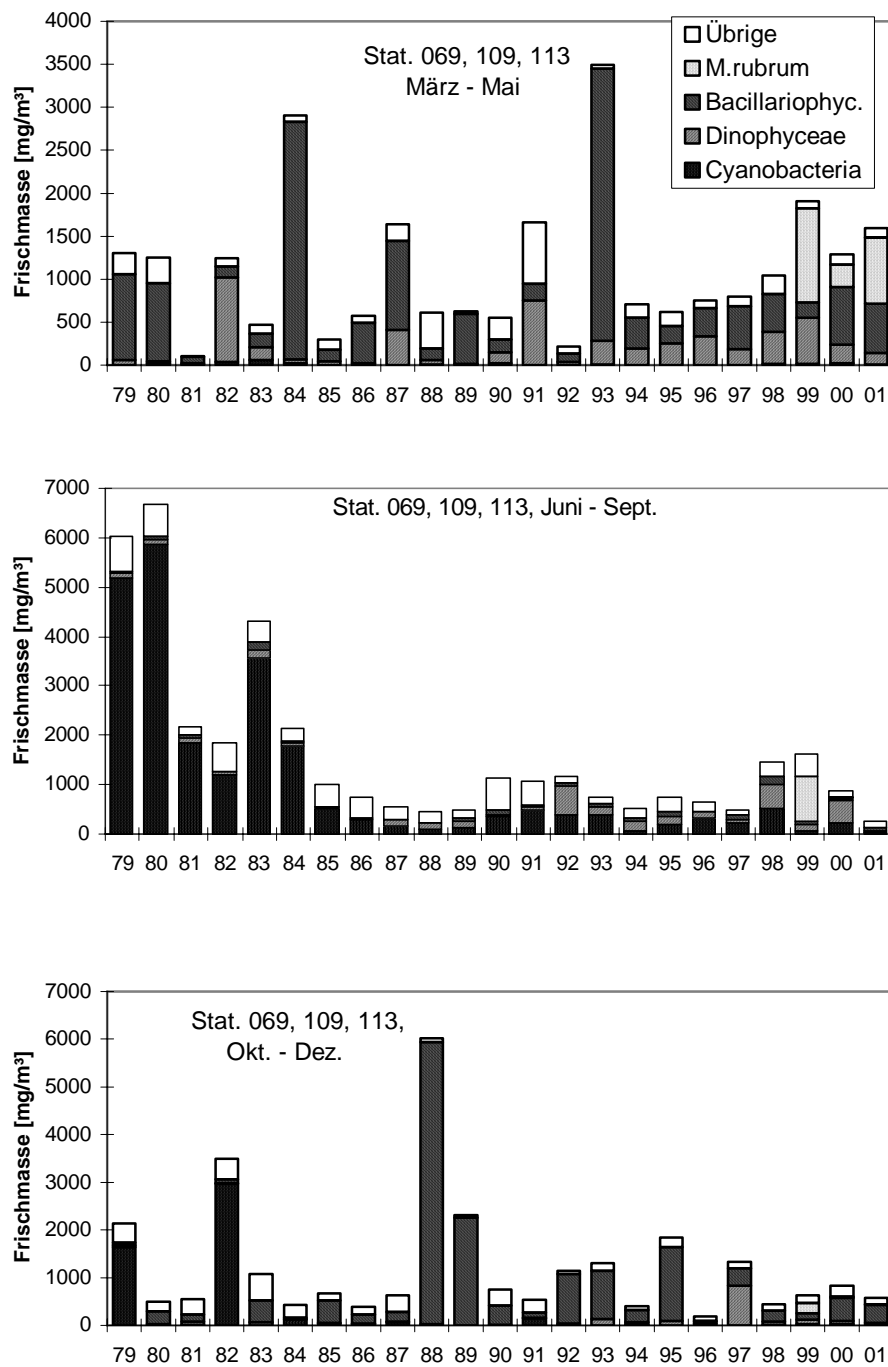


Abb. 13

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 2001, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der zentralen Arkonasee (Stat. 069, 109 und 113 zusammengefasst). Bis 1998 wurde *Mesodinium rubrum* unter den „Übrigen“ geführt

Fig. 13

Trends in biomass of the main phytoplankton groups in spring, summer and autumn 1979-2001 in the central Arkona Sea (Stat. 069, 109 and 113 pooled). Until 1998, *Mesodinium rubrum* was counted as „Others“ („Übrige“)

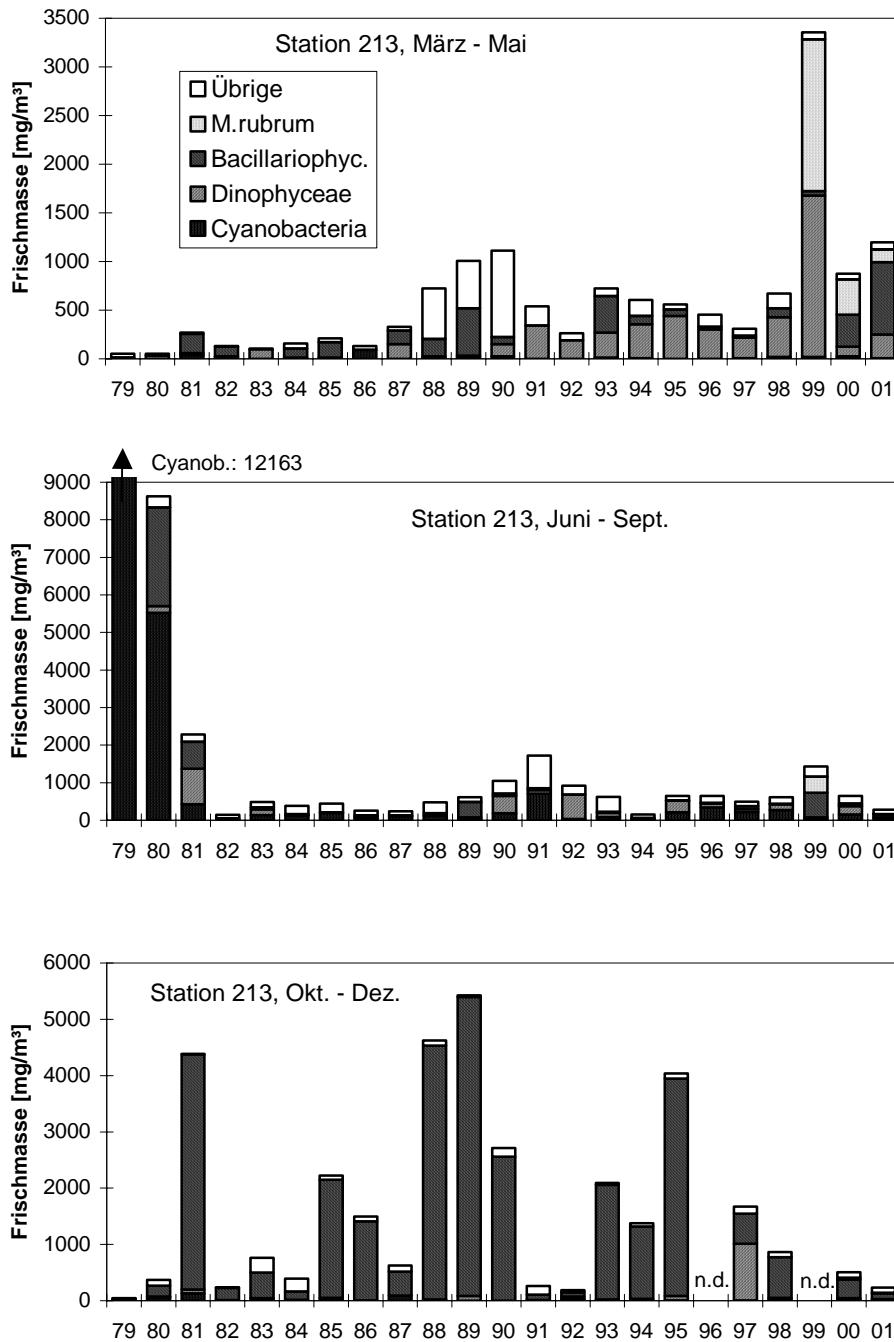


Abb. 14

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 2001, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Bornholmsee (Stat. 213). Bis 1998 wurde *Mesodinium rubrum* unter den „Übrigen“ geführt

Fig. 14

Trends in biomass of the main phytoplankton groups in spring, summer and autumn 1979-2001 in the central Bornholm Sea (Stat. 213). Until 1998, *Mesodinium rubrum* was counted as „Others“ („Übrige“)



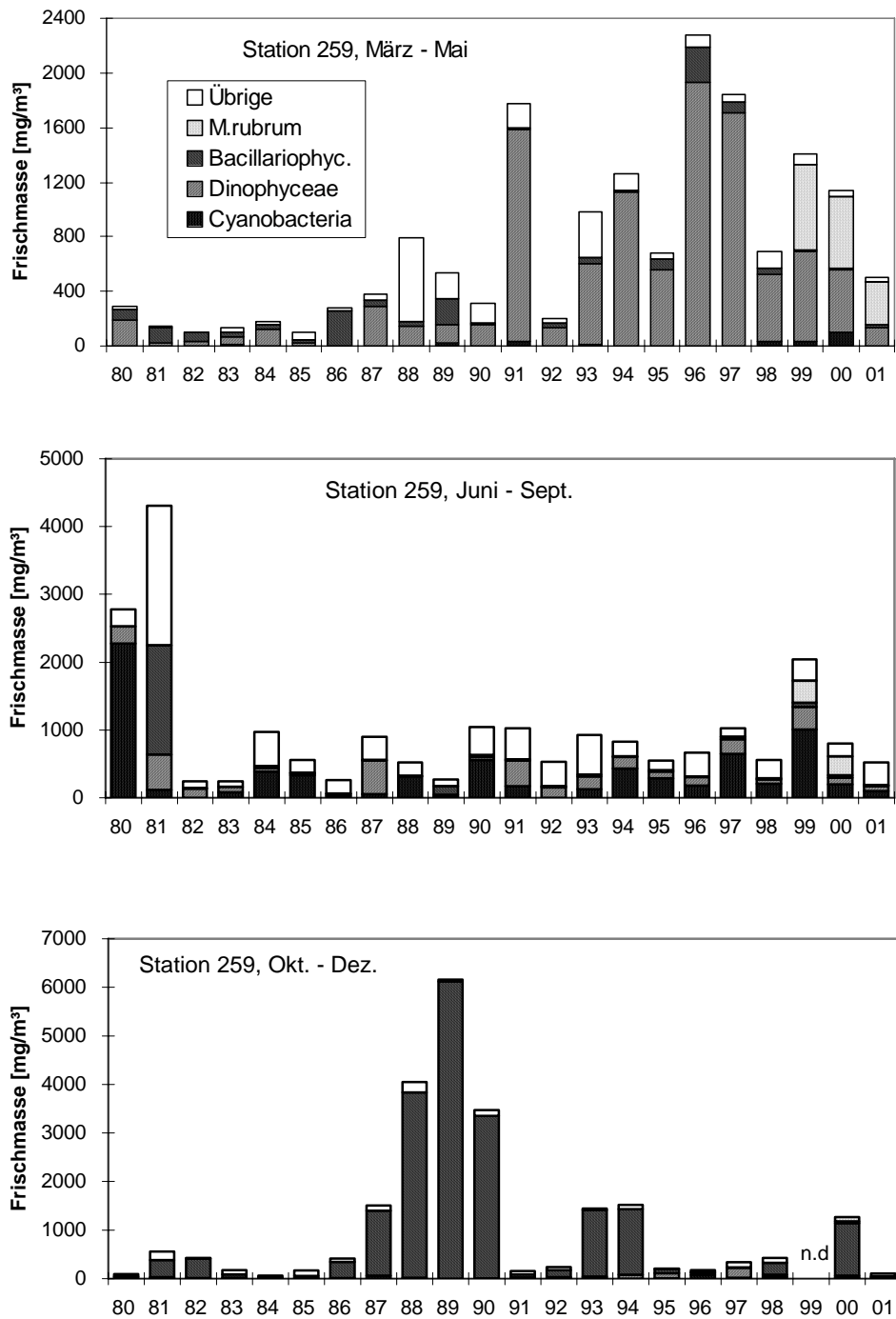


Abb. 15

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 2001, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der südlichen Gotlandsee (Stat. 259). Bis 1998 wurde *Mesodinium rubrum* unter den „Übrigen“ geführt

Fig. 15

Trends in biomass of the main phytoplankton groups in spring, summer and autumn 1979-2001 in the southern Gotland Sea (Stat. 259). Until 1998, *Mesodinium rubrum* was counted as „Others“ („Übrige“)

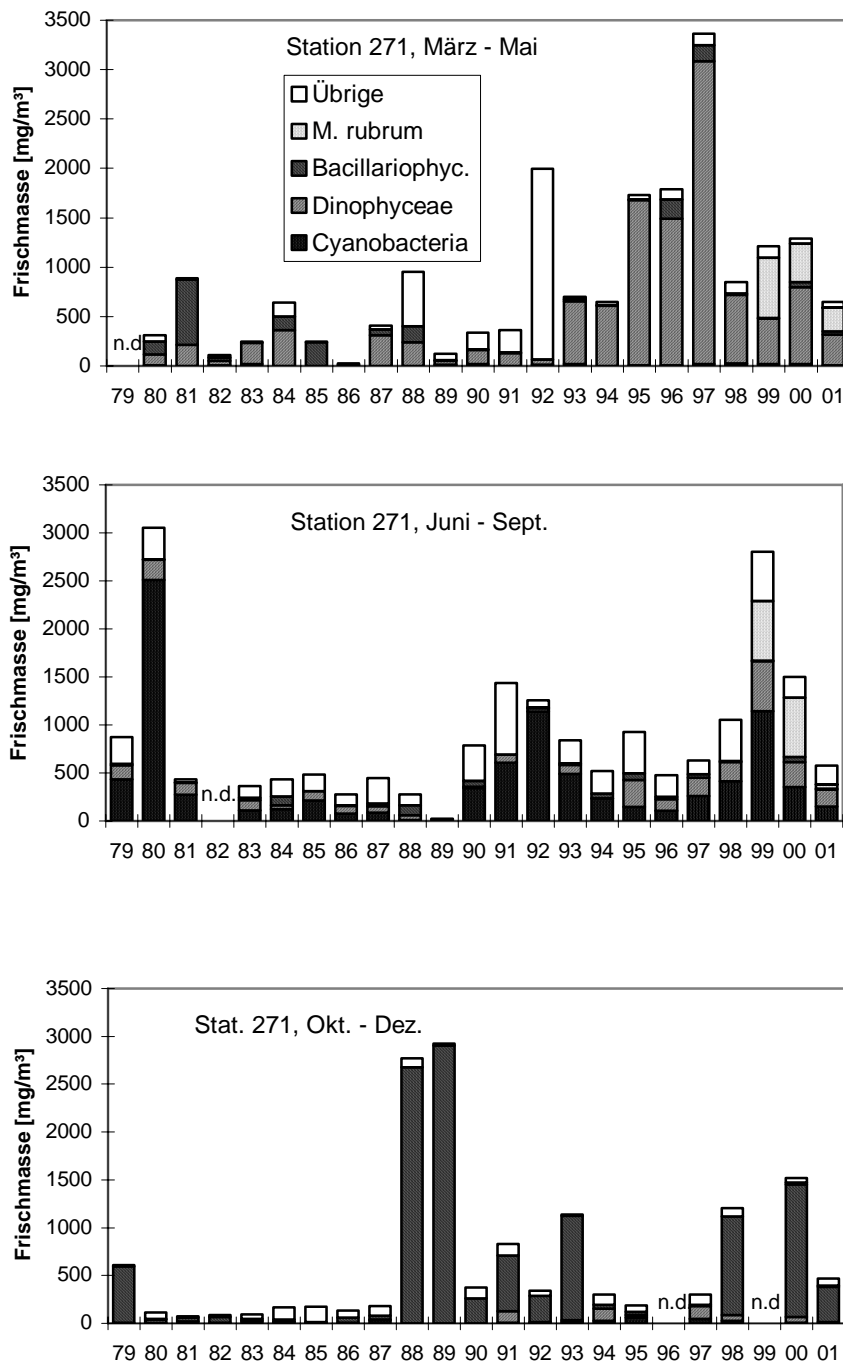


Abb. 16

Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 2001, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der östlichen Gotlandsee (Stat.271). Bis 1998 wurde *Mesodinium rubrum* unter den „Übrigen“ geführt

Fig. 16

Trends in biomass of the main phytoplankton groups in spring, summer and autumn 1979-2001 in the eastern Gotland Sea (Stat. 271). Until 1998, *Mesodinium rubrum* was counted as „Others“ („Übrige“)

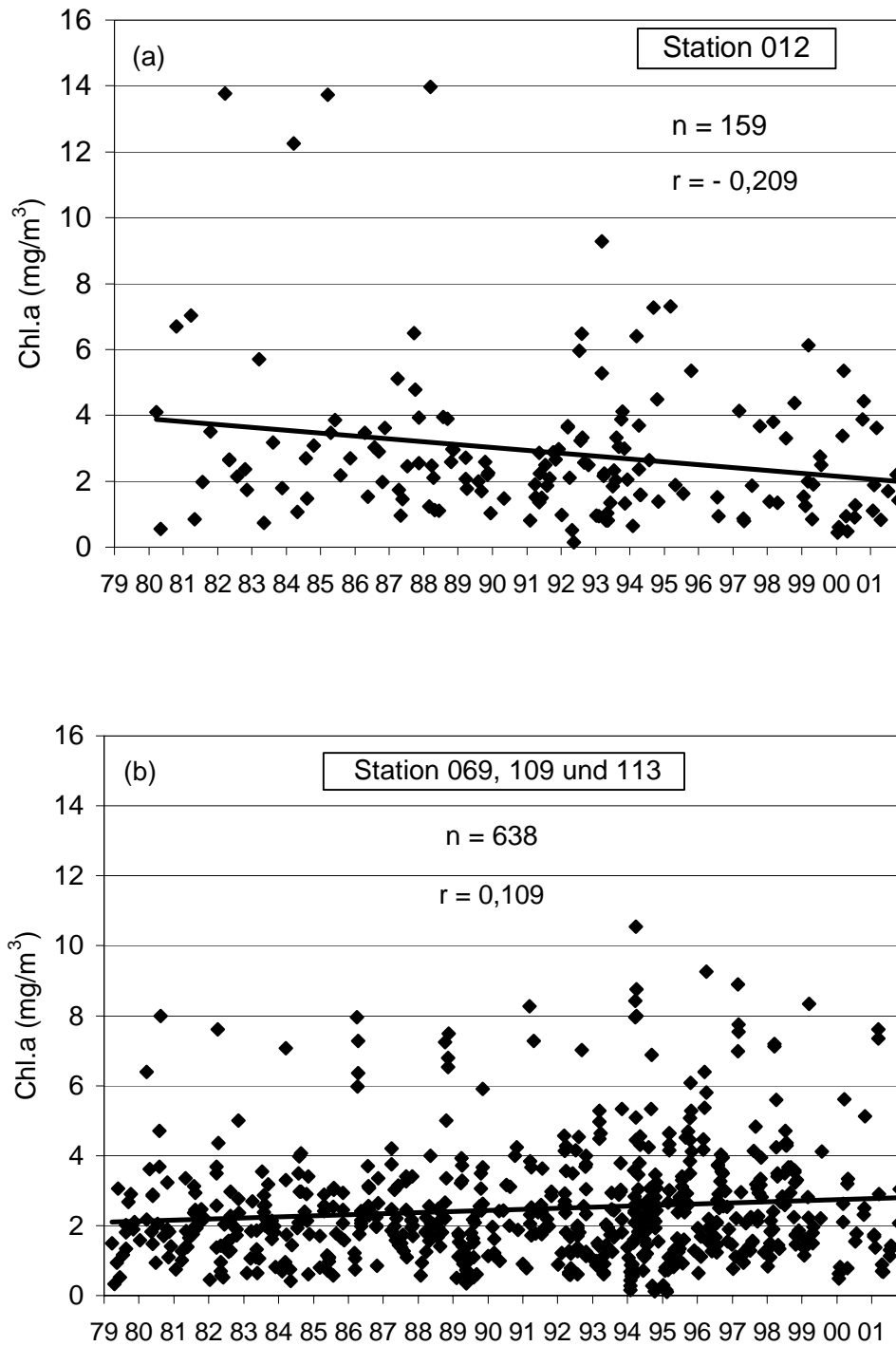


Abb. 17

Trend 1979-2001 der Chlorophyll *a* –Konzentration (Mittelwerte aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Mecklenburger Bucht und (b) der Arkonasee

Fig. 17

Trend 1979-2001 of the chlorophyll *a* concentration (mean of 0-10 m depth) in (a) Mecklenburg Bight and (b) Arkona Sea

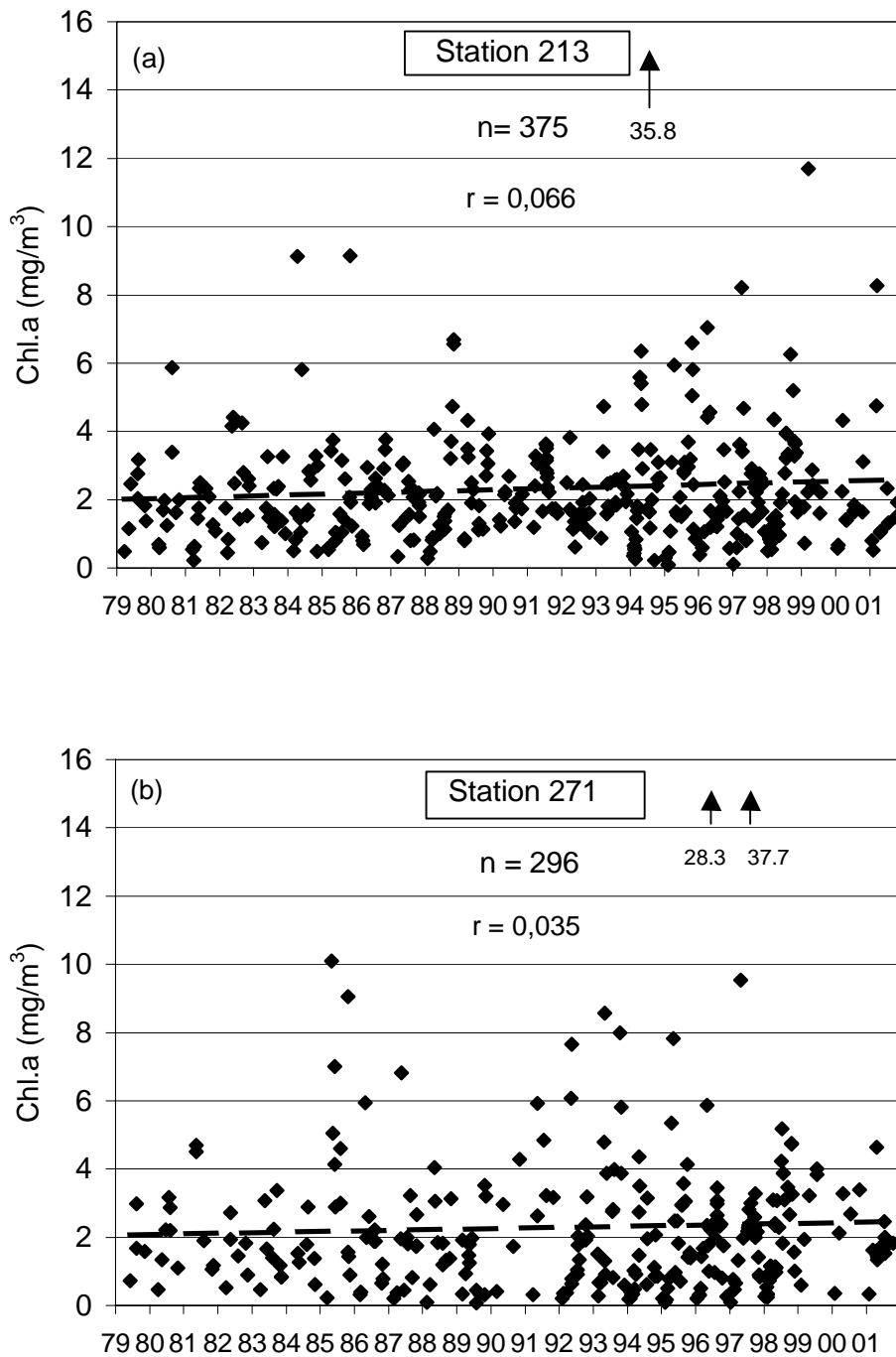


Abb. 18

Trend 1979-2001 der Chlorophyll a –Konzentration (Mittelwerte aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Bornholmsee und (b) der östlichen Gotlandsee

Fig. 18

Trend 1979-2001 of the chlorophyll *a* concentration (mean of 0-10 m depth) in (a) Bornholm Sea and (b) eastern Gotland Sea

Die Chlorophyll a-Daten von 1979 bis 1988 zeigten nur mit den Sommerdaten einen ansteigenden Trend, und zwar in der Kieler Bucht und der Mecklenburger Bucht sowie mit Mai-Daten in der östlichen Gotlandsee (HELCOM, 1990). Eine Spearman-Rangkorrelation der "Sommer" (15. April-15. Oktober) - Medianwerte gegen die Jahre zeigte einen ansteigenden Chlorophyll a-Trend für 1960-1989 in der Kieler Bucht (MASKE, 1994).

Die Analyse der 15-jährigen Datenserie (1979-1993; HELCOM, 1996) zeigte Chlorophyll a-Anstiege an einigen Stationen der eigentlichen Ostsee, aber nicht mehr im Kattegat-Beltsee-Gebiet. Ab dem Jahre 2000 ergibt sich für die Mecklenburger Bucht ein negativer Trend (WASMUND et al., 2001).

Ein Vergleich der Saison-Mittelwerte der verschiedenen Jahre (Tabelle 6) zeigt, dass sich die sehr unterschiedlichen Winter- und Frühjahrsmittel 1994-1998 im Laufe der folgenden Jahre tendenziell angleichen. Die relativ niedrigen Sommerkonzentrationen gingen noch weiter zurück. Aus den Saisonmitteln wurde unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Saisonlänge je ein Jahresmittel berechnet. Das ist im Jahre 1999 wegen des fehlenden Herbst-Wertes sicherlich problematisch. Trotzdem zeichnet sich die Tendenz einer Chlorophyll-Abnahme in der eigentlichen Ostsee ab. Für spezifizierte Chlorophyll a -Mittelwerte der einzelnen Jahreszeiten, Seegebiete (einschl. verschiedener Küstengewässer der südlichen und östlichen Ostsee) und Jahre (1993-1997) sei auf die umfassende Datensammlung (Tabellenanhang) von WASMUND et al. (2000b) verwiesen.

## 4.2 Mesozooplankton

Die Abundanzverhältnisse entsprachen oberhalb der Haloklinen dem langjährigen Mittel, die Werte darunter fielen (ohne statistische Signifikanz) um 1/3 niedriger aus. Das zeigen die Vergleiche aus der Arkonasee in Tabelle 7.

Die Abbildung 19 zeigt den Jahresgang der Mesozooplankton-Abundanz oberhalb und unterhalb der Haloklinen auf der Grundlage aller Daten, die zwischen 1979 und 2001 in der zentralen Arkonasee gewonnen wurden. Demzufolge liegen die Ergebnisse des Jahres 2001 etwa im Mittel, abgesehen vom Juli und November, als die höchsten Werte im gesamten Zeitraum gemessen wurden. Im Mai erfolgt der stärkste jährliche Abundanzanstieg. Insofern ist es nicht unerheblich, wann die Probenentnahme erfolgt, wie die Ergebnisse von Anfang und Ende Mai in der oberflächennäheren Schicht zeigen. In der Schicht unterhalb der Haloklinen (Abb. 19b) liegen die Werte aus dem späten Mai am unteren Ende des Bereiches.

Von 25 Zooplankton-Taxa sind 15 ganzjährig anzutreffen, davon 13 im gesamten Untersuchungsgebiet (Tabelle 8). Die übrigen treten temporär auf, in Abhängigkeit von Temperatur, Nahrungsangebot, Salzwassereinstrom (*Sagitta spp.*) bzw. Süßwasserzufluss (*Cyclops spp.*, *Limnocalanus macrurus*) oder auch vom Reproduktionszyklus im Benthos (Meroplankter).

Tabelle 7

Langzeit- und Jahresmittelwert der Mesozooplankton - Abundanz oberhalb und unterhalb der Haloklinen in der zentralen Arkonasee

Table 7

Long-term and annual average abundance of mesozooplankton in the central Arkona Sea, above and below the density layer.

	Oberfläche bis Halokline Individuen / m <sup>3</sup>	Halokline bis Boden Individuen / m <sup>3</sup>	
1979-2001	<b>Mittelwert</b>	29923	17504
	Standartabweichung	25837	24693
	Minimum	268	484
	Maximum	156695	212100
	Anzahl der Werte	141	122
2001	<b>Mittelwert</b>	31720	13171
	Standartabweichung	21191	7154
	Minimum	5381	3680
	Maximum	60800	24267
	Anzahl der Werte	8	6

Im Gegensatz zu 2000 indizierte *Limnocalanus macrurus* in der zentralen Gotlandsee im Mai salzarmes Wasser mit nördlicher Herkunft. Der aus der Nordsee stammende Strudelwurm *Alaurina composita* war in der westlichen Ostsee im Vergleich zum Vorjahr um mehr als 50 % weniger nachweisbar.

Innerhalb des Mesozooplanktons kam es 2001 sowohl gegenüber dem Vorjahr als auch im Vergleich zur ersten Hälfte der letzten Dekade zu geringfügigen Abundanzverschiebungen (Tabelle 9). Die Rotatorien – Abundanz verringerte sich als Folge des späten Frühlungseintritts im ersten Fall um die Hälfte, im zweiten um den Faktor von über 4. Im Gegenzug traten vermehrt Appendikularien auf, die sich wie die Rotatorien von Mikroplankton ernähren. Östlich von Bornholm wurden im Juli doppelt so hohe Abundanzen von *Bosmina* spp. verzeichnet im Vergleich zum Vorjahr. Warmes Oberflächenwasser bildete dafür die Voraussetzung. Bemerkenswert war 2001 das starke Auftreten von Muschel- und Schneckenlarven in der westlichen Ostsee.

Tabelle 8 (auf Seite 53)

Jahreszeitliches und regionales Vorkommen aller identifizierten taxonomischen Gruppen zwischen Beltsee und östlicher Gotlandsee in allen untersuchten Tiefen (s. Tabelle 2)

Table 8 (on page 53)

Seasonal and regional occurrence of all taxonomic categories found in any depth between the Belt Sea and the eastern Gotland Sea (cf. Table 2)

JAHRESZEITLICHE PRÄSENZ	
ganzjährig:	
<b>Protozoen</b>	<i>Tintinnida</i>
<b>Calanoide Copepoden</b>	<i>Acartia bifilosa, Acartia longiremis, Centropages hamatus, Pseudocalanus spp., Temora longicornis</i>
<b>Cyclopoide Copepoden</b>	<i>Oithona similis</i>
<b>Harpacticoide Copepoden</b>	
<b>Phyllopoden</b>	<i>Podon spp., Evadne nordmanni</i>
<b>Rotatorien</b>	<i>Synchaeta spp.</i>
<b>Appendikularien</b>	<i>Fritillaria borealis</i>
<b>Meroplanktische Larven</b>	<i>Gastropoda, Polychaeta, Bivalvia, Balanus improvisus</i>
Zusätzlich im Herbst/Winter/Frühjahr:	
<b>Appendikularien</b>	<i>Oikopleura dioica</i>
<b>Chaetognathen</b>	<i>Sagitta spp.</i>
<b>Bryozoenlarven</b>	<i>Cyphonautes Larven</i>
<b>Turbellar</b>	<i>Alaurina composita</i>
Zusätzlich im Frühjahr:	
<b>Cyclopoide Copepoden</b>	<i>Cyclops spp.</i>
<b>Calanoide Copepoden</b>	<i>Limnocalanus macrurus</i>
Zusätzlich im Sommer/Herbst:	
<b>Calanoide Copepoden</b>	<i>Eurytemora affinis, Acartia tonsa</i>
<b>Phyllopoden</b>	<i>Bosmina spp.</i>
<b>Rotatorien</b>	<i>Keratella spp.</i>
REGIONALE PRÄSENZ	
Beltsee bis zentrale Gotlandsee und Pommersche Bucht (gesamtes Untersuchungsgebiet)	
<b>Protozoen</b>	<i>Tintinnida</i>
<b>Calanoide Copepoden</b>	<i>Acartia bifilosa, Acartia longiremis, Centropages hamatus, Pseudocalanus spp., Temora longicornis</i>
<b>Phyllopoden</b>	<i>Podon spp., Evadne nordmanni, Bosmina spp.</i>
<b>Rotatorien</b>	<i>Synchaeta spp.</i>
<b>Meroplanktische Larven</b>	<i>Gastropoda, Polychaeta, Bivalvia, Balanus improvisus</i>
Zusätzlich Beltsee bis Bornholmsee, z.T. zentrale Gotlandsee, unterhalb Halokline	
<b>Cyclopoide Copepoden</b>	<i>Oithona similis</i>
<b>Chaetognathen</b>	<i>Sagitta spp.</i>
<b>Bryozoenlarven</b>	<i>Cyphonautes Larven bis Arkonasee</i>
<b>Appendikularien</b>	<i>Fritillaria borealis, Oikopleura dioica</i>
<b>Harpacticoide Copepoden</b>	
<b>Turbellar</b>	<i>Alaurina composita</i> (westlich Darßer Schwelle)
Zusätzlich zentrale Gotlandsee bis Bornholmsee und z.T. westlicher sowie Pommersche Bucht	
<b>Calanoide Copepoden</b>	<i>Limnocalanus macrurus</i> , nur Gotlandsee; <i>Eurytemora affinis, Acartia tonsa</i>
<b>Rotatorien</b>	<i>Keratella spp.</i>
<b>Cyclopoide Copepoden</b>	<i>Cyclops spp.</i> , nur Pommersche Bucht

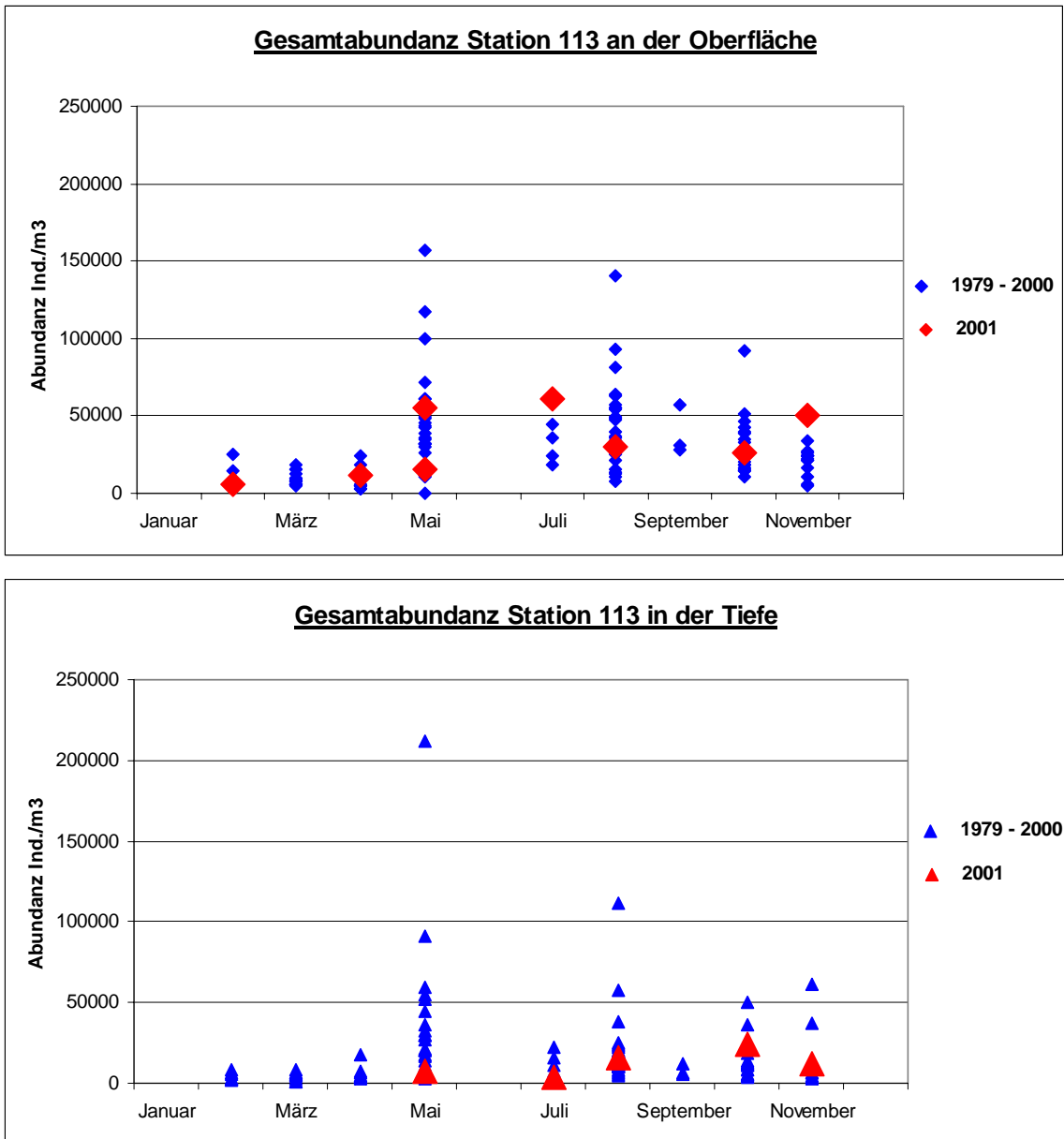


Abb. 20

Jahreszeitliche Schwankungsbreite der Abundanz des Mesozooplanktons oberhalb und unterhalb der Haloklinen auf der Grundlage aller Daten, die zwischen 1979 und 2001 in der zentralen Arkonasee gewonnen wurden.

Fig. 20

Seasonal abundance range of mesozooplankton in the layers above and below the halocline in the central Arkona Sea on the basis of data obtained between 1979 and 2001.



Insgesamt stehen die Rotatorien und die Cladoceren an oberster Stelle der Dominanzliste. Sie übersteigen die dann folgenden calanoiden Copepoden, Cyclopiden, Appendikularien und meroplanktischen Larven um ein bis zwei Größenordnungen (Tabelle 9).

Tabelle 9

Maximale Abundanz der fünf holo- und drei meroplanktischen Gruppen in allen, im Jahre 2001 gewonnenen Proben (s. Tabelle 2), im Vergleich mit der Rangordnung aus den Jahren 1991 - 95 und den Ergebnissen von 2000 (auffällige Veränderungen sind dick gedruckt)

Table 9

Maximum abundances of five holo- and three meroplanktic groups of all samples collected during 2001 (cf. Table 2), compared with the situation of 1991-1995 and 2000 (significant changes in bold letters)

Taxa	Maximale Abundanz (Ind. /m <sup>3</sup> )		
	1991 - 1995	2000	2001
Rotatorien	500 000	350 000	<b>135 000</b>
Cladoceren	245 000	60 000	<b>130 000</b>
Calanoide Copepoden	68 000	20 000	26 000
Cyclopoide Copeoden	14 000	8 000	9 500
Appendikularien	8 000	3 500	<b>12 000</b>
Polychaeten-Larven	5 000	3 000	2 000
Bivalvia-Larven	4 000	9 000	<b>28 000</b>
Gastropoden-Larven	500	800	1 300

Die Summe der calanoiden Copepoden blieb in den Vergleichszeiträumen konstant, allerdings ergaben sich innerhalb der Gruppe Verschiebungen. An die Stelle von *Acartia tonsa*, die 1995 die dominante Art bildete, trat im Jahre 2000 *Temora longicornis* und 2001 *Acartia bifilosa* (Tab. 10). Diese Erscheinung deckt sich mit der relativ geringen Cladocerenabundanz in den Jahren 2000 und 2001, denn wie im Fall von *Acartia tonsa* ist die Präsenz von *Bosmina* spp. an höhere, hochsommerliche Temperaturen gebunden (ACKEFORS, 1981). *Acartia bifilosa* dominiert die nördliche eigentliche Ostsee. Die Zunahme in 2001 in der mittleren und südlichen Ostsee steht für salzärmeres Wasser in diesen Regionen. Das wird durch die erhöhte Abundanz von *Eurytemora affinis*, eine typische Art in Flussmündungen und Buchten, sowie durch den Nachweis von *Limnocalanus macrurus*, östlich von Gotland untermauert. Die tieferen Wasserschichten sind davon noch nicht wie Anfang der 90er Jahre betroffen. Zumindest liegen die Abundanzen von *Pseudocalanus* spp. sowohl 2000 als auch 2001 noch 3fach über dem damaligen Niveau (Tab. 10).

Tabelle 10

Maximale Abundanz der sieben calanoiden Copepodengattungen bzw. -arten aus allen im Jahre 2000 und 2001 gewonnenen Proben (s. Tabelle 2), im Vergleich mit der Rangordnung aus dem Jahre 1995 (auffällige Veränderungen sind dick gedruckt)

Table 10:

Maximum abundances of calanoid copepods of all samples collected during 2001 (cf. Table 2), compared with the situation in 1995 and with the results of 2000 (significant changes in bold numbers)

Calanoide Copepoden	Maximale Abundanz ( Ind. / m <sup>3</sup> )		
	1995	2000	2001
<i>Acartia tonsa</i>	11 000	2 000	2 000
<i>Acartia bifilosa</i>	6 500	4 100	<b>9 100</b>
<i>Acartia longiremis</i>	5 000	5 500	4 000
<i>Temora longicornis</i>	4 000	12 000	<b>4 500</b>
<i>Centropages hamatus</i>	1 500	3 000	<b>1 600</b>
<i>Pseudocalanus</i> spp.	1 000	3 600	3 300
<i>Eurytemora affinis</i>	100	200	<b>1 400</b>
<b>Summe</b>	29 100	30 400	25 900

### 4.3 Makrozoobenthos

Im Oktober 2001 wurden an 6 Stationen je 3 Proben mit einem van-Veen-Greifer genommen und auf Makrozoobenthos untersucht. Zusätzlich kam an allen Stationen eine Dredge zum Einsatz, um die selteneren und vagilen Arten zu erfassen. An den gleichen Stationen wurde auch ein Videoschlitten eingesetzt, um v.a. epibenthische Arten nachzuweisen sowie die Sediment- und Habitateigenschaften zu charakterisieren. Mit 97 war die Artenzahl im Vergleich zu den Vorjahren deutlich angestiegen (WASMUND et al., 1998 a, 1999, 2001) (Tab. 11, Abb. 20).

Seit 1991 konnte in der Zusammenfassung aller 6 Stationen eine stetige Zunahme der Artenzahl beobachtet werden (Abb. 20). Insgesamt wurden bisher 141 Taxa nachgewiesen. Jedoch tauchen davon 30-40% nur gelegentlich auf.

Die Zunahme der Artenzahl spiegelte sich auch bei der Betrachtung der Einzelstationen wider. Im Prinzip konnten an allen Stationen (mit Ausnahme der Stat. 213 in der Bornholmsee) die höchsten Artenzahlen seit 1991 beobachtet werden. Allerdings hatten die Stat. 109 und 152 im Jahre 1998 eine leicht höhere Taxazahl (WASMUND et al., 1999). In der Bornholmsee ist der drastische Artenverlust auf temporäre bzw. dauerhafte Anoxie zurückzuführen. Hier wurden seit 3 Jahren keine Organismen mehr gefunden.

Tabelle 11

Verbreitung des Makrozoobenthos an den 6 Stationen im Oktober 2001

Table 11

Distribution of macrozoobenthos at 6 stations in October 2001.

Taxa	Stat. 010	Stat. 012	Stat. 030	Stat. 109	Stat. 152	Stat. 213
<b>PORIFERA</b>						
<i>Halichondria panicea</i>	X					
<i>Haliclona limbata</i>	X					
<i>Halisarca dujardini</i>	X					
<i>Leucosolenia</i> sp.	X					
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Bougainvillia ramosa</i>	X					
<i>Lafoenia tenuis</i>			X			
<i>Laomedea gelatinosa</i>	X		X		X	
<i>Melicertum octocostatum</i>	X					
<i>Metridium senile</i>	X	X				
<i>Opercularella lacerata</i>	X		X		X	
<i>Opercularella pumila</i>	X					
<i>Rathkea octopunctata</i>	X					
<b>KAMPTOZOA</b>						
<i>Loxosomella</i> sp.	X					
<b>PRIAPULIDA</b>						
<i>Halicryptus spinulosus</i>	X		X	X	X	
<b>NEMATHELMINTHES</b>						
<i>Cephalothrix</i> sp.		X				
<i>Lineus ruber</i>		X				
Nemertini			X		X	
<i>Prostoma obscura</i>			X			
<b>MOLLUSCA</b>						
<i>Abra alba</i>	X	X				
<i>Arctica islandica</i>	X	X		X		
<i>Astarte borealis</i>	X		X			
<i>Astarte elliptica</i>	X			X		
<i>Astarte montagui</i>			X			
<i>Corbula gibba</i>	X	X				
<i>Hydrobia ulvae</i>	X		X			
<i>Macoma balthica</i>			X	X	X	
<i>Mya arenaria</i>			X		X	
<i>Mysella bidentata</i>		X				
<i>Mytilus edulis</i>	X		X	X	X	
<i>Parvicardium ovale</i>	X	X				
<b>ANNELIDA</b>						
<i>Tubifex costatus</i>			X		X	
<i>Tubificoides benedeni</i>			X			
<i>Ampharete acutifrons</i>				X		
<i>Ampharete baltica</i>	X	X	X			
<i>Arenicola marina</i>			X			
<i>Aricidea suecica</i>	X		X			
<i>Bylgides sarsi</i>	X	X	X	X	X	
<i>Cirrophorus eliasoni</i>	X					
<i>Eteone flava</i>		X				
<i>Eteone longa</i>	X		X			
<i>Euchone papillosa</i>	X	X				
<i>Glycera alba</i>	X					
<i>Harmothoe imbricata</i>			X			
<i>Harmothoe impar</i>	X					
<i>Hediste diversicolor</i>			X			
<i>Heteromastus filiformis</i>	X	X		X		
<i>Lagis koreni</i>	X	X				

<i>Levinsenia gracilis</i>	X						
<i>Mediomastus fragilis</i>	X						
<i>Nephtys caeca</i>	X	X					
<i>Nephtys ciliata</i>	X	X					
<i>Nephtys hombergii</i>	X	X		X			
<i>Nereimyra punctata</i>	X						
<i>Pherusa plumosa</i>	X	X					
<i>Pholoe assimilis</i>	X	X					
<i>Pholoe baltica</i>	X						
<i>Pholoe inornata</i>	X						
<i>Phyllodoce maculata</i>	X						
<i>Phyllodoce mucosa</i>	X		X				
<i>Polydora quadrilobata</i>	X	X	X	X			
<i>Prionospio steenstrupi</i>	X						
<i>Pseudopolydora antennata</i>		X					
<i>Pseudopolydora pulchra</i>	X						
<i>Pygospio elegans</i>			X		X		
<i>Scalibregma inflatum</i>	X	X					
<i>Scoloplos armiger</i>	X	X	X	X			
<i>Sphaerodorum flavum</i>	X						
<i>Spio goniocephala</i>			X				
<i>Streptosyllis websteri</i>		X					
<i>Terebellides stroemi</i>	X	X		X			
<i>Travisia forbesi</i>			X				
<i>Trochaeta multisetosa</i>				X			
<b>CRUSTACEA</b>							
<i>Balanus crenatus</i>	X		X				
<i>Corophium crassicorne</i>			X				
<i>Crangon crangon</i>	X		X		X		
<i>Diastylis rathkei</i>	X	X	X	X	X		
<i>Gammarus oceanicus</i>			X		X		
<i>Gammarus salinus</i>			X		X		
<i>Gammarus zaddachi</i>					X		
<i>Jaera albifrons</i>			X		X		
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	X						
<i>Monoporeia affinis</i>					X		
<i>Mysis mixta</i>			X		X		
<i>Neomysis integer</i>			X		X		
<i>Pontoporeia femorata</i>			X	X			
<i>Saduria entomon</i>					X		
<b>PYCNOGONIDA</b>							
<i>Nymphon brevistre</i>	X						
<b>BRYOZOA</b>							
<i>Alcyonidium polyoum</i>	X		X	X	X		
<i>Bowerbankia gracilis</i>	X						
<i>Electra crustulenta</i>	X	X	X		X		
<i>Electra pilosa</i>	X						
<i>Eucratea loricata</i>	X	X	X	X	X		
<b>ECHINODERMATA</b>							
<i>Asterias rubens</i>	X	X	X				
<i>Ophiura albida</i>	X	X					
<b>TUNICATA</b>							
<i>Dendrodoa grossularia</i>	X						
<i>Molgula manhattensis</i>			X				
<i>Styela coriacea</i>	X						
<b>Summe</b>	<b>97 Taxa</b>	<b>64</b>	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>0</b>
<b>Abundanz (Ind./m<sup>2</sup>)</b>	1732	2243	4022	267	1897	0	
<b>Biomasse (g AFTG/m<sup>2</sup>)</b>	88,4	14,2	17,5	1,0	22,3	0,0	

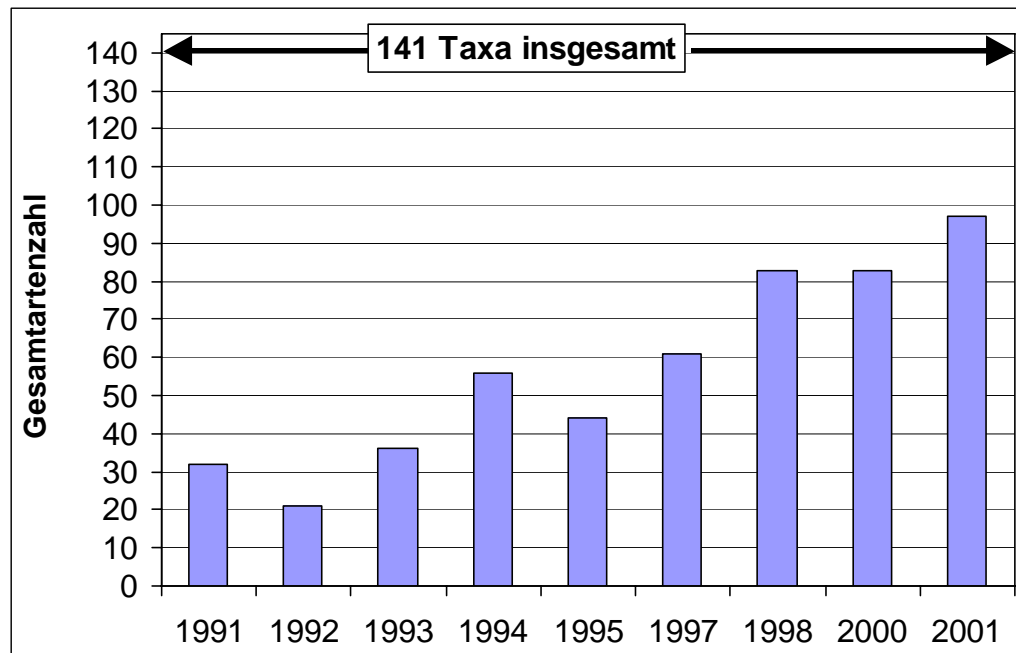


Abb. 20

Gesamtartenzahl der vorgefundenen Taxa an den Stationen 010, 012, 030, 109, 152 und 213 von 1991 bis 2001 (1996 und 1999 keine Daten)

Fig. 20

Number of observed taxa at station 010, 012, 109, 152 and 213 from 1991 to 2001 (1996 and 1999 no data)

Vergleicht man an den Stationen die im Jahre 2001 angetroffene Artenzahl mit der Gesamtartenzahl (Anzahl aller seit 1991 an dieser Station gefundenen Arten) so ist die Tendenz (mit Ausnahme der Stat. 213 im Bornholmsee) relativ ähnlich (Abb. 21). Die angetroffene Taxazahl lag bei etwa 60 bis 70% der „potenziell möglichen“.

Im weiteren wird auf die Stat. 213 (Bornholmsee) nicht mehr eingegangen, da 2001 kein Nachweis von Makrofauna gelang. An allen Stationen wurde eine Abnahme der Gesamtabundanz festgestellt (Abb. 22). Damit setzte sich ein Trend fort, der seit Mitte der 1990er Jahre beobachtet werden kann. Bei der Biomasse ist dieser Trend nicht vorhanden. Jedoch schwankt diese deutlich in Abhängigkeit vom Auftreten und Häufigkeit großer Muschelarten (z.B. *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Arctica islandica*). Im Allgemeinen lag die Biomasse 2001 deutlich niedriger als in den Vorjahren. Nur an der Stat. 010 (Fehmarnbelt) wurde, verursacht durch die hohe Abundanz adulter *Arctica islandica*, ein drastischer Biomasseanstieg registriert (Abb. 23).

Die Entwicklung der Islandmuschel (*Arctica islandica*) an den Stationen 010 und 012 ist in den Abbildungen 24 und 25 dargestellt. An beiden Stationen wird eine relativ große Schwankungsbreite sowohl bei der Abundanz als auch bei der Biomasse deutlich. Diese ist bedingt durch methodische Mängel, die sich aus den unregelmäßigen Verteilungsmustern und der Art und Weise der Probennahme ergeben. Das wird auch in den jeweiligen Standardabweichungen innerhalb der einzelnen Jahre (hier nicht dargestellt) deutlich.

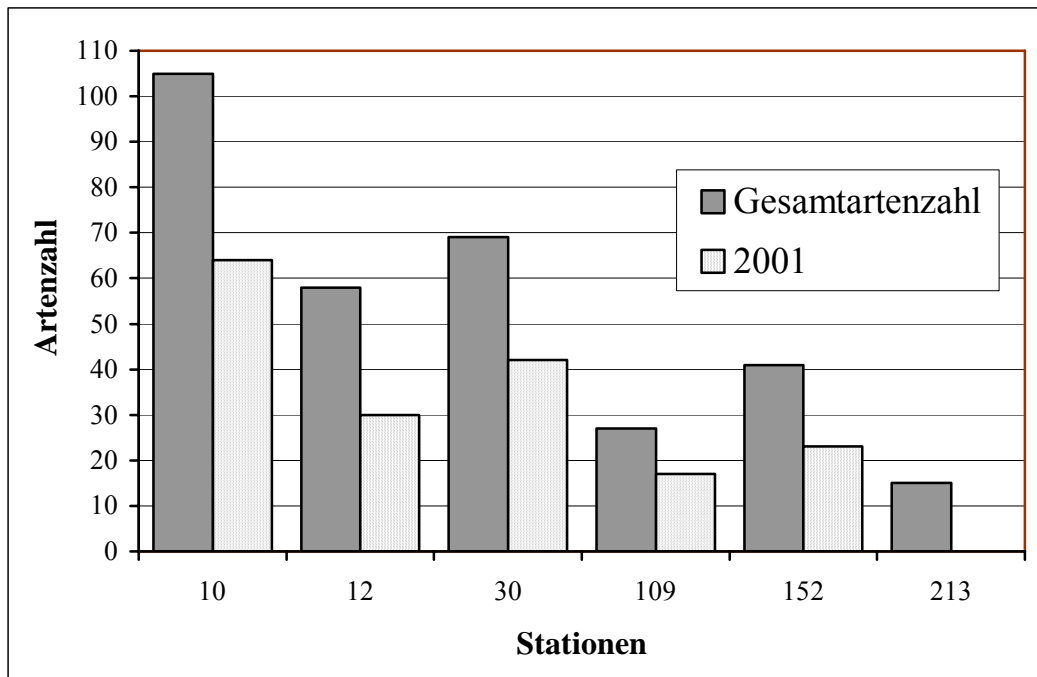


Abb. 21

Artenzahlen an den einzelnen Stationen im Oktober 2001. Die Gesamtartenzahl der einzelnen Stationen (Anzahl aller jemals an der Station gefundenen Arten) ist durch die dunkle Schraffur indiziert

Fig. 21

Number of taxa at monitoring stations in October 2001. The whole number of taxa found between 1991 and 2001 at each station is indicated

Wenige ausgewachsene Islandmuscheln können eine enorme Biomasse für die Fläche bedeuten. Auf der anderen Seite kann die Abundanz durch juvenile Muscheln vergleichsweise hoch sein, jedoch liegt die Biomasse dann deutlich niedriger.

An beiden Stationen wird ein längerfristiger Aufwärtstrend sowohl bei der Biomasse als auch bei der Abundanz deutlich, was auf eine Erholung der *Artica-islandica*-Bestände in der Mecklenburger Bucht hindeutet (siehe auch ZETTLER et al., 2001). An der Stat. 010 (Fehmarnbelt) stieg die Abundanz von etwa 70 Ind./m<sup>2</sup> auf über 150 Ind./m<sup>2</sup> an. Gleichzeitig nahm die Biomasse (AFTG) von ca. 10 g/m<sup>2</sup> auf über 80 g/m<sup>2</sup> zu. In der Mecklenburger Bucht (Stat. 012) konnte eine ähnliche Entwicklung beobachtet werden. Die Dichte nahm von etwa 20 Ind./m<sup>2</sup> auf über 120 Ind./m<sup>2</sup> zu. Bei der Biomasse waren die Variationen größer. Es wurden Minimalwerte von 5 g/m<sup>2</sup> und Maximalwerte von 35 g/m<sup>2</sup> beobachtet.

Von den angetroffenen Taxa sollen im folgenden noch einige hervorgehoben werden, da sie entweder durch ihr Auftreten an sich, durch ihre Häufigkeit oder durch ihre Tendenz in den letzten Jahren bestimmte Entwicklungen indizieren.

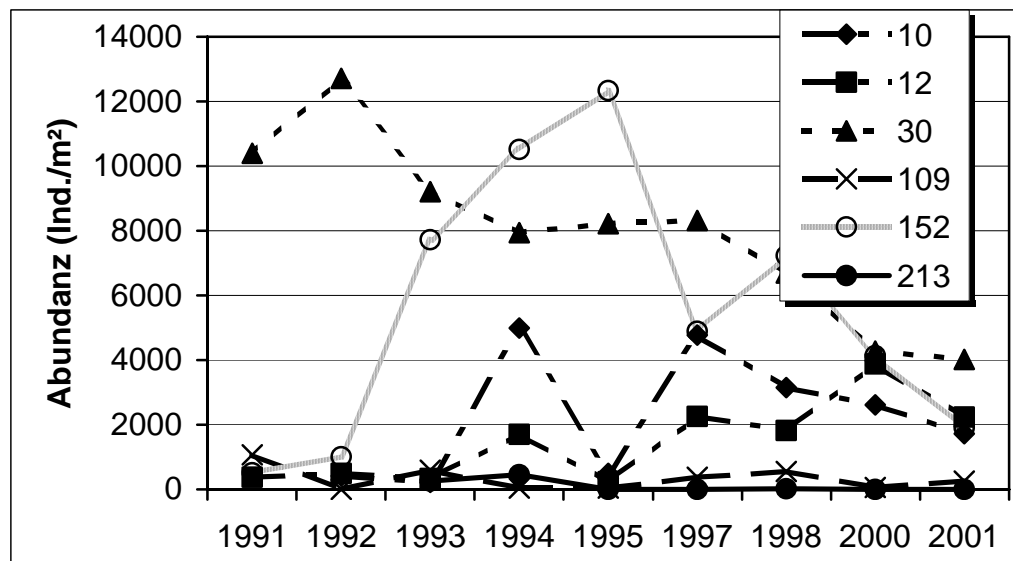


Abb. 22

Entwicklung der Makrozoobenthos-Gesamtabundanz (Ind./m<sup>2</sup>) an den Monitoringstationen von 1991 bis 2001 (1996 und 1999 keine Daten)

Fig. 22

Development of abundance of macrozoobenthos (ind./m<sup>2</sup>) at monitoring stations from 1991 to 2001 (1996 and 1999 no data)

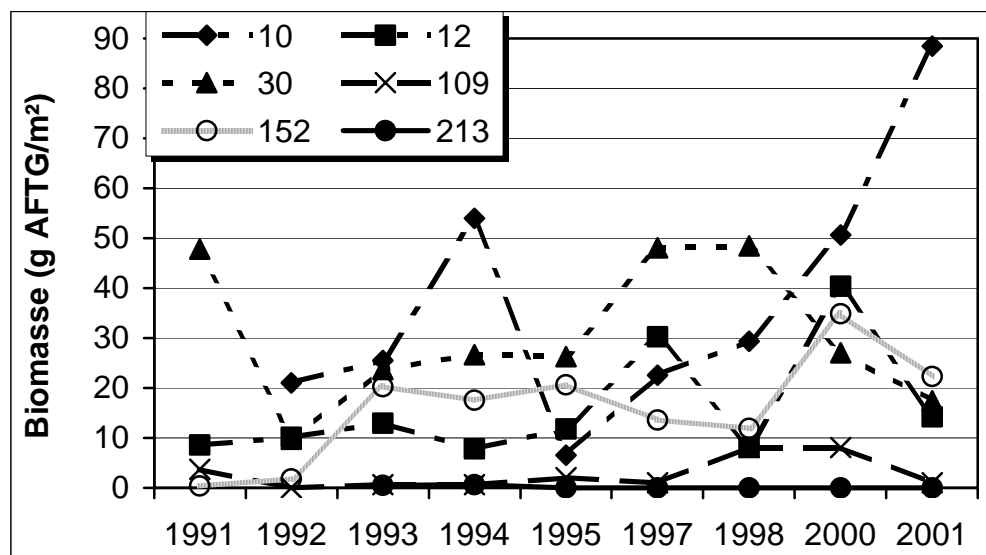


Abb. 23

Entwicklung der Makrozoobenthos-Gesamtbiomasse (AFTG in g/m<sup>2</sup>) an den Monitoringstationen von 1991 bis 2001 (1996 und 1999 keine Daten)

Fig. 23

Development of biomass of macrozoobenthos (AFDW in g/m<sup>2</sup>) at monitoring stations from 1991 to 2001 (1996 and 1999 no data)

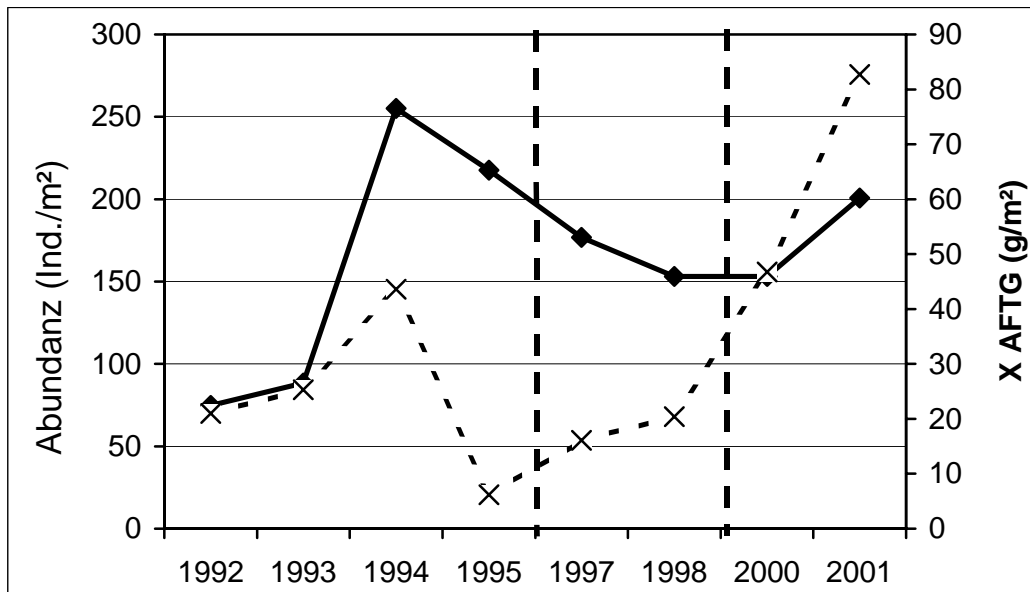


Abb. 24

Entwicklung von *Arctica islandica* an der Stat. 010 (Fehmarnbelt). Durchgezogene Linie = Abundanz, gestrichelte Linie = Biomasse; 1996 und 1999 keine Daten

Fig. 24

Development of *Arctica islandica* at stat. 010 (Fehmarnbelt). Bold line = abundance, dotted line = biomass; 1996 and 1999 no data

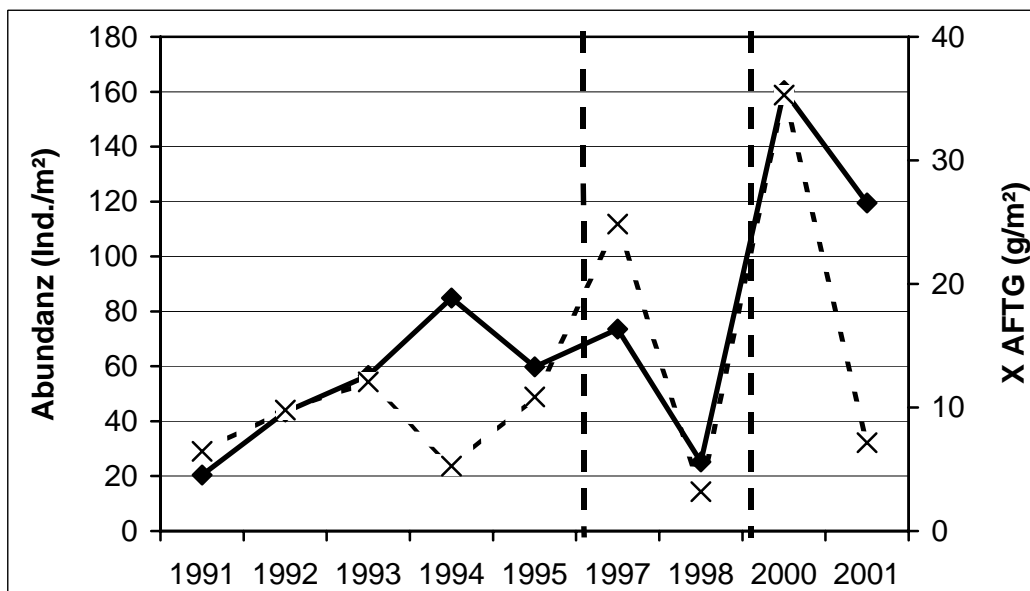


Abb. 25

Entwicklung von *Arctica islandica* an der Stat. 012 (Mecklenburger Bucht). Durchgezogene Linie = Abundanz, gestrichelte Linie = Biomasse; 1996 und 1999 keine Daten

Fig. 25

Development of *Arctica islandica* at stat. 012 (Mecklenburg Bight). Bold line = abundance, dotted line = biomass; 1996 and 1999 no data



Der Fehmarnbelt spielt auf Grund seiner Position im Übergang zur Kieler Bucht als „Botschafter“ kurzfristiger Veränderungen eine besondere Rolle. Hier können regelmäßig für den Bereich der südlichen Beltsee recht seltene Arten beobachtet werden. Für viele marine Organismen ist der Fehmarnbelt (und seine Ausläufer) Grenzgebiet für ihre Verbreitung innerhalb der Ostsee. Als einige Beispiele können genannt werden: *Bougainvillia ramosa* (Hydrozoa), *Loxosomella* sp. (Kamptozoa), *Scalibregma inflatum* (Polychaeta) und *Ophiura albida* (Echinodermata). Einige Taxa konnten erstmals für das Gebiet nachgewiesen werden (ZETTLER et al., 2000). Dazu zählten ausschließlich die Polychaeten *Glycera alba*, *Mediomastus fragilis*, *Pseudopolydora antennata* und *Sphaerodorum flavum*. Andere Arten wurden seit langer Zeit (teilweise Jahrzehnte) erstmals wieder im Gebiet gefunden. Hier sollen *Astarte montagui* (Bivalvia), die an der Darßer Schwelle (Stat. 030) gefunden wurde, und *Monoporeia affinis* (Amphipoda) von der Stat. 152 (südliche Arkonasee) genannt werden.

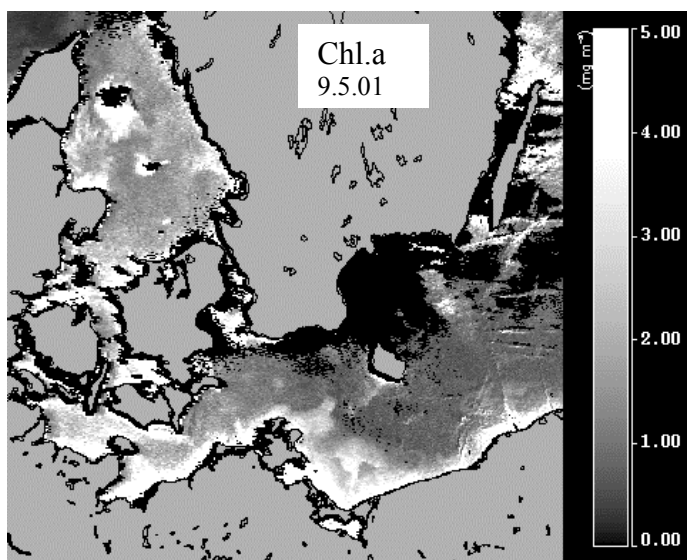
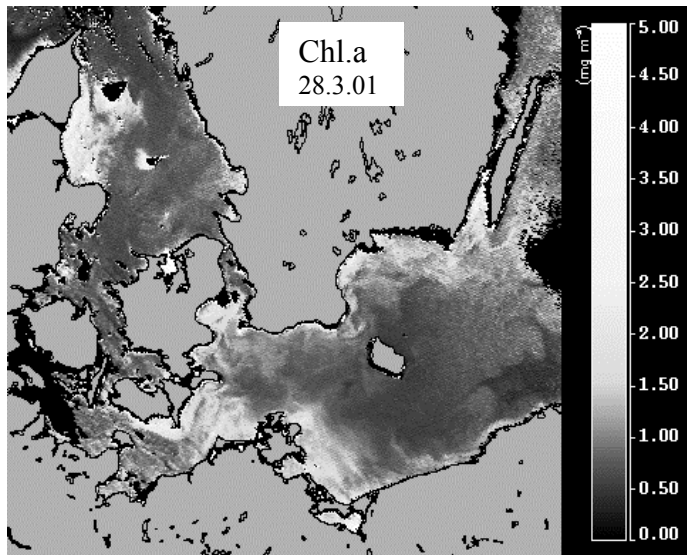
Insgesamt zeigte das Makrozoobenthos eine relative Konstanz im Bereich westlich der Darßer Schwelle. Längerfristig wird seit 1991 ein steigender Trend in der Artenzahl beobachtet. Mit 97 Taxa wurde 2001 die höchste Artenzahl seit 1991 beobachtet. Die Stationen der Arkonasee und der Bornholmsee wiesen innerhalb der letzten Jahre durch sinkende Sauerstoffwerte (v.a. in den Becken) ungünstige Lebensbedingungen für das Makrozoobenthos auf. Während sich die Station in der Arkonasee (Stat. 109) deutlich erholen konnte, wurden in der Bornholmsee 2001 wiederum keine Organismen festgestellt.

## 5 Diskussion

### 5.1 Phytoplanktonentwicklung in der Ostsee anhand von Satellitendaten

Die thermische Entwicklung des Oberflächenwassers wies 2001 wieder einige Besonderheiten auf, die in NAUSCH et al. (2002) ausführlich dargestellt sind. Nach einem vergleichsweise warmen Januar, in dem die Monatsmittel der SST in der offenen Ostsee mit über 5°C ca. 2 K über dem Mittelwert der letzten 11 Jahre lagen, kühlte die Ostsee im März auf normale Werte von ca. 2 °C ab. Auch die weitere Entwicklung entsprach bis Juni etwa dem langjährigen Mittel, bevor dann in der zweiten Hälfte des Juni eine starke Erwärmung begann, die sich im Juli fortsetzte. Dadurch erreichten im Juli die mittleren SST nach 1994 die zweithöchsten Werte seit 1990. Im August 2001 waren die Temperaturen in der zentralen Ostsee niedriger als im Juli, was in den 90-er Jahren noch nicht beobachtet worden war. Lang anhaltende westliche bis südwestliche Winde haben im August starken Auftrieb entlang der schwedischen Küste erzeugt, der sich bis in die zentrale östliche Gotlandsee auswirkte. Im Vergleich zum langjährigen Mittelwert gab es dagegen im August nur geringe Unterschiede.

Dieser Temperaturverlauf hatte auch teilweise Auswirkungen auf die Planktonentwicklung in der



Ostsee. Die Frühjahrsblüte ist nur durch wenige Szenen dokumentiert. Während einer langen Ostwindphase in der dritten Märzdekade entsteht vom 23. bis 28. März Auftrieb an der polnische Küste mit erhöhten Chlorophyllkonzentrationen, der das Pommernbuchtwasser bis in die zentrale Arkonasee und in den Bereich der Darßer Schwelle führt und dort eine Planktonblüte initiiert. In diesem Zeitraum wurden während der Monitoringreise in der Oberflächenschicht Chlorophyllkonzentrationen bis 8 mg m<sup>-3</sup> in der Arkonasee und 7-8 mg m<sup>-3</sup> im Bereich der Darßer Schwelle gemessen. Da im ersten Teil dieses Zeitraumes eine hohe Wolkenbedeckung zu verzeichnen war, ist in Abb. 26a der 28.03.2001 dargestellt, wo allerdings die Planktonentwicklung in der zentralen Arkonasee schon wieder zurückgegangen ist.

Abb. 26: Chlorophyllverteilung am 28.3. (a) und 9.5.2001 (b)

Fig. 26: Chlorophyll distribution on 28 March (a) and 9 May 2001 (b)

Anfang Mai wiederholte sich eine ähnliche Phase mit Ostwind, in der vom 8. bis 11. Mai hohe Konzentrationen entlang der gesamten Südküste (MV und Polen) beobachtet wurden (Abb. 26b). Am 13. Mai hatte die Blüte auch die südliche Gotlandsee erreicht, wo bereits am 8. und 9.5.2001 Konzentrationen zwischen 2 und 5 mg m<sup>-3</sup> gemessen wurden. Leider war das Gebiet vom 8.-12.5.2001 mit Wolken bedeckt, so dass keine Satelliteninformationen vorliegen.

Die Cyanobakterienblüte begann im Jahre 2001 bereits Anfang Juni (4.- 8.6.2001) nordwestlich Gotland. Zu dieser Zeit hatte das Oberflächenwasser in dem Gebiet eine Temperatur von ca. 12°C. Das widerspricht den Ergebnissen von Kahru et al. (1994), die eine Starttemperatur von ca. 15-

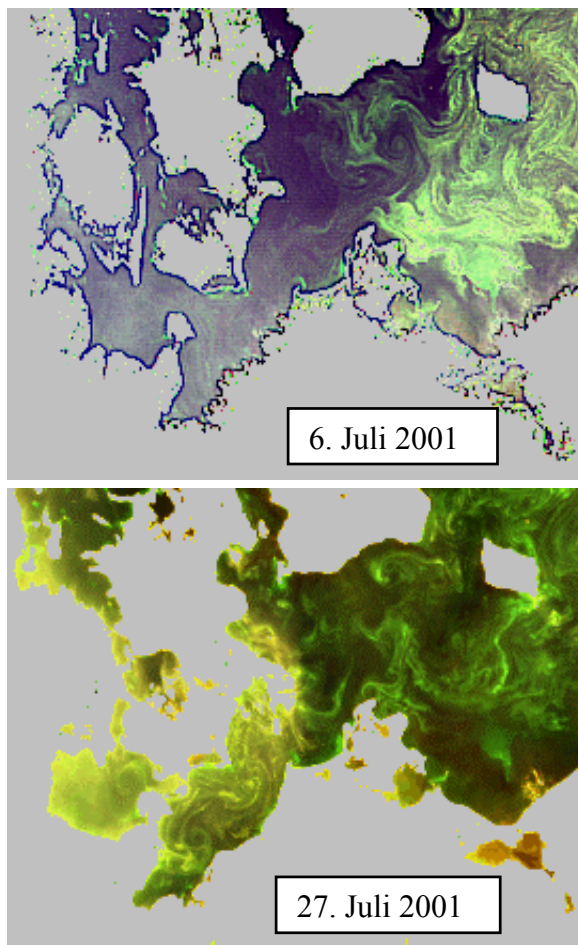


Abb. 27: Cyanobakterienverteilung in der westlichen Ostsee am 6.7. und 27.7.2002

Fig. 27: Cyanobacteria distribution in the western Baltic Sea on 6 and 27 July 2001

17°C abgeschätzt hatten. Daraufhin wurde der gesamte Zeitraum verfügbarer SeaWiFS-Daten, also von 1998-2001 betrachtet (SIEGEL et al., 2002), und es hat sich gezeigt, dass auch in den anderen Jahren die Temperaturen während der ersten Oberflächenakkumulationen mit 13 und 13-14°C niedriger waren. Es deutet sich eine Erniedrigung der Starttemperatur der Algenblüten im Vergleich zu den 80er und frühen 90er Jahren an. In der weiteren Entwicklung der Cyanobakterienblüte im Sommer 2001 war das Gebiet um Gotland beeinflusst und am 15.6. die östliche Gotlandsee bedeckt. Nach der Phase hoher Wolkenbedeckung vom 17. bis 23.6. waren hohe Konzentrationen westlich Gotland zu beobachten. Danach entwickelte sich die Blüte sehr schnell und bedeckte am 3. Juli die gesamte Gotlandsee und Bornholmsee bis in die Pommernbucht und Ostküste Rügens. Die maximalen Konzentrationen wurden am 4. Juli erreicht, als die Ostsee vom Finnischen Meerbusen bis zur Arkonasee beeinflusst war. Danach ging die Blüte langsam zurück, zeigte aber noch hohe Konzentrationen östlich Rügen am 6.7.01 (Abb. 27a). Die Oberflächenakkumulationen sind wesentlich geringer im Einflussbereich des Oderwassers und der

Auftriebszellen entlang der polnischen Küste und in der Tromper Wieck. Ab 10. Juli breitete sich die Blüte weiter in die westliche Ostsee aus. Ab 25. Juli war ein starker Rückgang speziell in der Gotlandsee zu verzeichnen (vgl. auch Abb. 27b) und ab 30. Juli, als der Wind stark zunahm, waren hohe Akkumulationen nur noch im Finnischen Meerbusen zu finden. Danach waren noch einmal hohe Konzentrationen vom 10-19.8.01 in der nördlichen Gotlandsee zu verzeichnen.

Zur Darstellung saisonaler und zwischenjährlicher Variationen der Cyanobakterien-Entwicklung wurden in SIEGEL et al. (2002) die Monatsmittel Juni, Juli und August der Chlorophyll-Konzentration der Jahre 1998-2001 mit den mittleren Karten der SST verglichen. Die räumliche Verteilung und die Intensität variieren wie auch die beeinflussten Küstenregionen. Die Oberflächenakkumulationen waren sehr intensiv in den warmen Sommern 1999 und 2001 mit Monatsmitteln der Wasseroberflächentemperatur im Juli und August von über 18°C. Im Gegensatz zu den 80er Jahren trat das Maximum im Juli auf und war bereits Mitte August beendet. Die Blüte startete meistens in der nördlichen und westlichen Gotlandsee und breitete sich 1999 und besonders 2001 bis in die westliche Ostsee mit starken Akkumulationen entlang der deutschen Küste aus. Im Sommer 2001 wurden hohe Konzentrationen bereits im Juni beobachtet, wo die Wassertemperaturen mit 12-15°C nicht höher als im Juni 1999 waren. 1998 und 2000 überstieg das Monatsmittel der Wasseroberflächentemperatur nicht 17°C aufgrund der meteorologischen Bedingungen, was zu geringerer Intensität der Oberflächenakkumulationen als in den Jahren 1999 und 2001 führte. Die höchsten Konzentrationen wurden in diesen Jahren in der nördlichen und nord-westlichen Gotlandsee gefunden. Im Gegensatz zu den frühen 80er Jahren traten in den letzten vier Jahren und speziell 2001 auch hohe Konzentrationen im Bottnischen Meerbusen auf.

## **5.2 Statistische Analyse der Langzeittrends im Phytoplankton**

Wie bereits in der Einleitung geschrieben, ist ein wesentliches Anliegen des Monitoring, Veränderungen im Ökosystem aufzudecken. Die gravierendste Veränderung in der Ostsee in den vergangenen Jahrzehnten ist die Eutrophierung (LARSSON et al., 1985; ELMGREN, 1989; ROSENBERG et al., 1990; NEHRING, 1992). Entsprechend den Trends in den für das Phytoplanktonwachstum limitierenden Nährstoffen (NAUSCH, NEHRING, 1996; NAUSCH et al., 2002) sollte sich auch das Phytoplankton entwickeln (vgl. WASMUND et al., 2001: Kap. 5.1). Veränderungen in der Gesamt-Phytoplanktonbiomasse, ausgedrückt in der Chlorophyll a – Konzentration, wurden schon früher im Rahmen der Periodischen Assessments der HELCOM untersucht. Beispielsweise zeigte die Analyse der 15-jährigen Datenserie 1979-1993 (WASMUND et al., 1996) ansteigende Chlorophyll a-Trends an einigen Stationen der eigentlichen Ostsee, aber nicht mehr im Kattegat/Beltsee-Gebiet. Eine Aktualisierung der Chlorophyll-Trenduntersuchungen ist in Kapitel 4.1.5 vorgenommen worden.

Die Phytoplankton-Zusammensetzung ist bisher nur einmal statistisch (mittels des nicht-parametrischen WHIRSCH-Tests) untersucht worden (WASMUND et al., 1998a: Tab.4). Die Analyse wurde auf die wichtigsten taxonomischen Gruppen beschränkt. Bei Betrachtung einzelner Arten hätte sich die statistische Genauigkeit der mikroskopischen Zählmethode wegen der geringeren Anzahl der gezählten Individuen drastisch verringert (vgl. Kap. 2.2), die natürliche Variabilität aber deutlich erhöht. Die Beschränkung auf taxonomische Gruppen vermeidet Probleme bei Fehlbestimmungen von Arten innerhalb dieser Gruppe und erlaubt auch die Einbeziehung unbestimmter Taxa, die der Gruppe zugeordnet wurden. Auch die in Kapitel 4.1.4 vorgestellten Langzeit-Veränderungen der Phytoplankton-Zusammensetzung beziehen sich auf die wichtigsten taxonomischen Gruppen. Sie wurden lediglich durch visuelle Betrachtung der Daten ermittelt. Dem haftet eine subjektive Komponente an, und es könnten neben den offensichtlichen Trends noch

weitere, bislang unerkannte Trends vorliegen. Die Statistik bietet objektive Methoden an, um die Daten auf Trends zu untersuchen.

#### *Statistische Methode*

Im Jahre 2001 ergab sich die Gelegenheit einer professionellen statistischen Bearbeitung des vorliegenden umfangreichen Datenmaterials durch Dr. Steffen Uhlig, quodata GmbH, im Rahmen einer Finanzierung durch das Umweltbundesamt. Es wurden alle Phytoplankton-Datensätze (Mischprobe 0-10 m Wassertiefe) der HELCOM bis 1993 herangezogen. Diese wurden ergänzt durch aktuellere Datensätze des National Environmental Research Institute Roskilde (Abundanz-Daten bis 1997), Swedish Meteorological and Hydrological Institute (bis 1998), Institute for Systems Ecology at Stockholm University (bis 1998), Centre of Marine Research Klaipeda (bis 1998), Estonian Marine Institute (bis 1999) und eigene Daten (bis 1999).

Wegen der oben erwähnten statistischen Ungenauigkeit der Daten auf Artenebene wurde auch diese Analyse auf taxonomische Gruppen beschränkt. Außerdem würde eine Betrachtung einzelner Arten häufig die Biomasse „Null“ ergeben, was Probleme bei der Logarithmierung der Daten erzeugt. Eine Logarithmierung aller Daten war erforderlich, um gelegentlich auftretende Extremwerte moderater zu bewerten. Die Analysen wurden für jede Station, jede Jahreszeit und jede wichtige taxonomische Gruppe separat durchgeführt. Bei einer zu geringen Datenmenge (generell im Winter) wurde keine Auswertung vorgenommen. Stationen, die Lücken in der Beprobung von mehr als 2 Jahren aufwiesen, wurden nicht berücksichtigt. Die Arbeiten wurden für 24 Stationen der eigentlichen Ostsee und des Kattegat-Beltsee-Gebietes durchgeführt. Hier werden nur die Ergebnisse für die in diesem Bericht behandelten Stationen (Tabelle 12) gezeigt. Für den vollständigen Datensatz sei auf die eingereichte Publikation (WASMUND, UHLIG, angenommen) verwiesen. Die Voraussetzung für die statistischen Tests, dass die Probennahmetermine einem möglichst einheitlichen Zeitmuster folgen, ist durch die über Jahrzehnte beibehaltenen Termine der IOW-Monitoringfahrten sowie den international abgestimmten Plan der Monitoringfahrten der anderen Ostsee-Anrainer gewährleistet.

Tabelle 12

Anzahl der den Trendanalysen zugrundeliegenden Probenzahlen pro Station (ohne Winter-Proben)

Table 12

Number of samplings per station used for trend analyses (without winter data)

IOW-Stationsnummer	BMP-Stationsnummer	Anzahl der Probennahmen
271	BMP J1	173
259	BMP K1	149
213	BMP K2	189
109	BMP K4	124
113	BMP K5	110
030	BMP K8	64
046	BMP M1	112
012	BMP M2	109

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

1. Datenbankarbeit: Einlesen der Daten in EXCEL-Tabellen, Löschen von Tiefen > 10 m, Eingeben von taxonomischen Indikatoren für jede Art in jeder Probe (74950 Datensätze), Prüfung der Biomassewerte auf Plausibilität (manchmal Kommaverschiebungen usw.), im Bedarfsfall Neuberechnung der Biomasse aus gezählten Einheiten, Umrechnungsfaktor und Biomassefaktor,
2. Umwandlung der EXCEL-Tabellen in eine PARADOX-Datenbank, um späteres Auswählen und Umrechnen der Daten zu erleichtern,
3. Zusammenfassung der Arten zu taxonomischen Gruppen anhand der taxonomischen Indikatoren,
4. Berechnung der arithmetischen Mittel über alle Proben der Station und der Saison,
5. Berechnung des Logarithmus des arithmetischen Mittels,
6. Durchführung des Trend-Tests auf Grundlage der Logarithmen der arithmetischen Mittelwerte: Test von Mann-Kendall und Test auf Basis des „LOESS smoothers“
7. Berechnung des linearen Trends auf der Basis des Theil slopes und des LOESS smoothers (nicht-linear)

Der Mann-Kendall-Test ist ein nicht-parametrischer Test für einen monotonen Abwärts- oder Aufwärtstrend (siehe KENDALL, 1975). Er wird ergänzt durch den Theil slope zur Abschätzung der Trendlinie. Die Methode ist robust gegen Ausreißer, kann aber nicht für nichtmonotone Trends angewendet werden. Der Test, der auf dem LOESS smoother (FRYER, NICHOLSON, 1999; UHLIG, 2001) beruht, kann für nichtmonotone Trends angewendet werden, ist jedoch nicht Ausreißer-resistent. Eine kurze Beschreibung des LOESS smoothers wird auf der Internet-Seite der ICES WGSAAEM gegeben: siehe [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net): "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results", Final Report, Chapter 6.4.

Neben den genannten Trend-Tests wird ein neuer Test für lineare Trends mit Trendbruch („linear two-sections model“) angewendet, das auf einem verallgemeinerten linearen Regressionsmodell beruht. Er ist besonders nützlich beim Vorliegen einer Trendumkehr. Ein Beispiel wird in Abb. 28 gegeben. Abb. 28a zeigt die Messwerte der Biomasse der Dinoflagellaten an Station K1 im Herbst (Oktober-Dezember) von 1980 bis 1998. Daraus wurde nach Bildung der saisonalen Mittelwerte und Logarithmierung die Abb. 28b entworfen, in die die beiden Trendgeraden entsprechend dem „linear two-sections model“ eingezeichnet sind. Details zum „linear two-sections model“ siehe unter [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net): "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results", Final Report, Chapter 6.5.1.

#### *Trends der taxonomischen Gruppen*

Die Ergebnisse der Trendanalysen durch die unterschiedlichen Methoden sind in Tabelle 13 zusammengefaßt, in separaten Zeilen für die Resultate des Mann-Kendall-Tests (MK) und des Tests, der auf dem „LOESS smoother“ basiert. In 4 Fällen erbrachte die „linear two-sections“-Analyse signifikante Ergebnisse: in jedem Falle im ersten Zeitabschnitt einen Abwärts- und im zweiten Abschnitt einen Aufwärtstrend (vgl. Abb. 28). Im Falle eines signifikanten Trends (entsprechend Tabelle 13) wird der Graph des LOESS smoothers in Abb. 29 dargestellt. In einem

Falle (Abb. 29m) ist das „linear two-sections model“ zutreffend und gleichzeitig auch der Gesamtverlauf 1979-1999 durch einen signifikanten Aufwärtstrend gekennzeichnet.

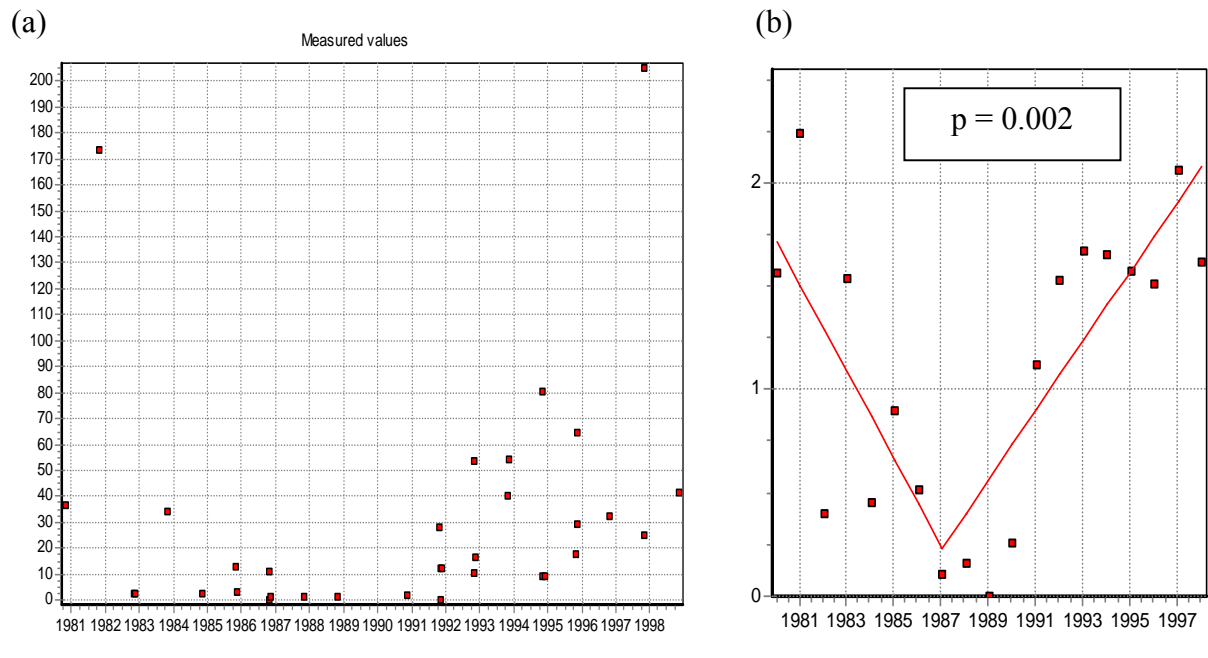


Abb. 28

Biomasse-Trend der Dinoflagellaten im Herbst (Oktober-Dezember) von 1980 bis 1998 an Station K1: (a) Biomasse-Messwerte in  $\text{mg m}^{-3}$  (b) „linear two-sections model“ mit arithmetrischen Saisonmitteln der Biomasse (logarithmische Skale) und gebrochener Trendlinie.

Fig. 28

Biomass trend of dinoflagellates in autumn (October-December) from 1980 to 1998 at station K1: (a) measured biomass values in  $\text{mg m}^{-3}$ , (b) linear two-sections model showing arithmetic seasonal means of biomass (logarithmic scale) and broken trend line.

Der bereits in Kapitel 4.1.4 diskutierte Rückgang der Kieselalgen im Frühjahr ist lediglich an den Stationen 046 und 271 statistisch nachzuweisen (Tabelle 13). An den Stationen der südlichen Ostsee ist der Kieselalgenrückgang anhand des reduzierten Silikat-Verbrauchs in Frühjahr nachgewiesen worden (WASMUND et al., 1998 b). Andererseits nehmen die Kieselalgen im Herbst zu (an Station 046). Die Zunahme der Frühjahrs-Dinoflagellaten ist an allen Stationen der eigentlichen Ostsee nachzuweisen. Im Sommer entwickeln sie sich seegebietsweise unterschiedlich: abnehmender Trend an Station 109, zunehmender Trend an Station 012. Im Herbst kommt es zu einer Zunahme der Dinoflagellaten-Biomasse an Station 271. Die Zunahme der Cyanobakterienbiomasse im Frühjahr und Herbst sollte man nicht überbewerten, da deren Biomasse-Niveaus zu diesen Jahreszeiten sehr gering sind und damit kleine absolute Änderungen schnell zu Trends führen, die relativ unbedeutend sind. Die Abnahme der Sommer-Biomasse der Cyanobakterien sollte man jedoch ernster nehmen. Die Frage, ob Cyanobakterienblüten zu- oder abnehmen ist oft

gestellt und kaum befriedigend beantwortet worden. FINNI et al. (2001) führten eine umfangreiche Analyse historischen Datenmaterials (ab 1887) durch und schlossen auf eine Zunahme der Cyanobakterien-Abundanzen mindestens bis in die 1960er Jahre. HÜBEL und HÜBEL (1980) und MELVASALO und VILJAMAA (1987) stellten intensive Cyanobakterienblüten in der eigentlichen Ostsee seit 1969 fest. POSTEL (2000) ermittelte hohe Biomassen des Netzplanktons in der westlichen Ostsee in den Jahren 1972/73, 1983 und 1992. Große Blüten wurden per Satellit von 1982-1984 und 1991-1993 durch KAHRU et al. (1994) gefunden.

Nach unseren Befunden nahmen die Cyanobakterien in Sommer gerade im Gebiet der stärksten Cyanobakterienblüten (östliche Gotlandsee) ab. Der wesentliche Anstieg könnte tatsächlich bis zum Beginn der 1980er Jahre stattgefunden haben und seitdem in den meisten Seegebieten stagnieren. Jedenfalls finden wir gerade zu Beginn der HELCOM-Messreihe große Blüten, die kaum zu überbieten sind und so zwangsläufig auf lange Sicht zu abnehmenden Trends führen. Gerade bei den sehr fleckenhaft verteilten Cyanobakterienblüten wirken sich Zufälligkeiten bei der Probennahme gravierend auf die Verlässlichkeit der Datenreihe aus. Es besteht nach wie vor Bedarf, die Probennahmen verlässlicher zu gestalten und den Umfang der natürlichen Variabilität sowie ein repräsentatives Mittel besser zu erfassen.

#### *Trends auf Artebene*

Statistisch abgesicherte Informationen zu Artenverschiebungen sind in der Ostseeliteratur nicht verfügbar. Die erste Dekade des HELCOM-Monitoring, die von WILLÉN (1995) auf Arten-Trends untersucht wurde, war für statistische Verfahren zu kurz bzw. mit einer zu geringen Datenmenge abgedeckt. Um Arten oder taxonomische Gruppen bestimmen zu können, steht nur die recht ungenaue mikroskopische Methode zur Verfügung. Da die Anzahl der gezählten Individuen bei Betrachtung einzelner Arten deutlich geringer ist als bei Aufsummierung zu taxonomischen Gruppen, ist der statistische Zählfehler gerade bei selteneren Arten sehr hoch (siehe Kapitel 2.2).

Das mag ein Grund sein, weshalb Trends auf Artenebene nach wie vor nicht statistisch analysiert, sondern nur verbal beschrieben werden. Außerdem macht sich die Subjektivität der Methode bezüglich der Artbestimmung besonders bemerkbar, wenn die Daten durch verschiedene Bearbeiter erhoben wurden. Dieses Problem ist bei den IOW-Daten der 1990er Jahre wegen einunddesselben Bearbeiters ausgeschlossen, bei Betrachtung des gesamten HELCOM-Datensatzes aber relevant. Maßnahmen zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Daten unterschiedlicher Bearbeiter sind in Kapitel 2.8 diskutiert.

Literaturangaben zu kürzlichen Veränderungen bei Phytoplanktonarten in der Ostsee sind in Tabelle 14 zusammengefaßt.



Tabelle 13

Ergebnis der Trendanalysen der Biomasse von 3 Phytoplanktongruppen in 3 Jahreszeiten an 8 Stationen mittels Mann-Kendall-Test (MK) und Test basierend auf dem LOESS smoother: gefüllte Felder = Abwärtstrend, schraffierte Felder = Aufwärtstrends (U). Die Ergebnisse des Tests für das „2-sections model“ werden angezeigt: v (symbolisiert, dass ein Abwärtstrend von einem Aufwärtstrend gefolgt wird). Leere Felder = kein sign. Trend; n.d. = not determined

Table 13

Results of trend analyses for biomass of 3 phytoplankton groups in 3 separate seasons at 8 stations by the test of Mann-Kendall (MK) and the test derived from the LOESS smoother: filled fields = downward trend, hatched fields = upward (U) trends. The results of the test for the 2-sections model are also presented: v (indicates that a downward trend is followed by an upward trend). Empty fields indicate that trends cannot be detected; n.d. = not determined

Station		Bacillariophyceae			Dinophyceae			Cyanobacteria		
Periode	Methode	Frühjahr	Sommer	Herbst	Frühjahr	Sommer	Herbst	Frühjahr	Sommer	Herbst
271	MK				U	v	U	U <sup>v</sup>		U
79-99	LOESS						U	U		U
259	MK				U		v		v	U
79-99	LOESS				U					U
213	MK				U					
79-99	LOESS				U					
109	MK				U					
79-99	LOESS				U					
113	MK				U					
81-99	LOESS									
030	MK				U					
89-99	LOESS				U					
046	MK			U						
80-99	LOESS									
012	MK					U				n.d.
80-99	LOESS					U				n.d.

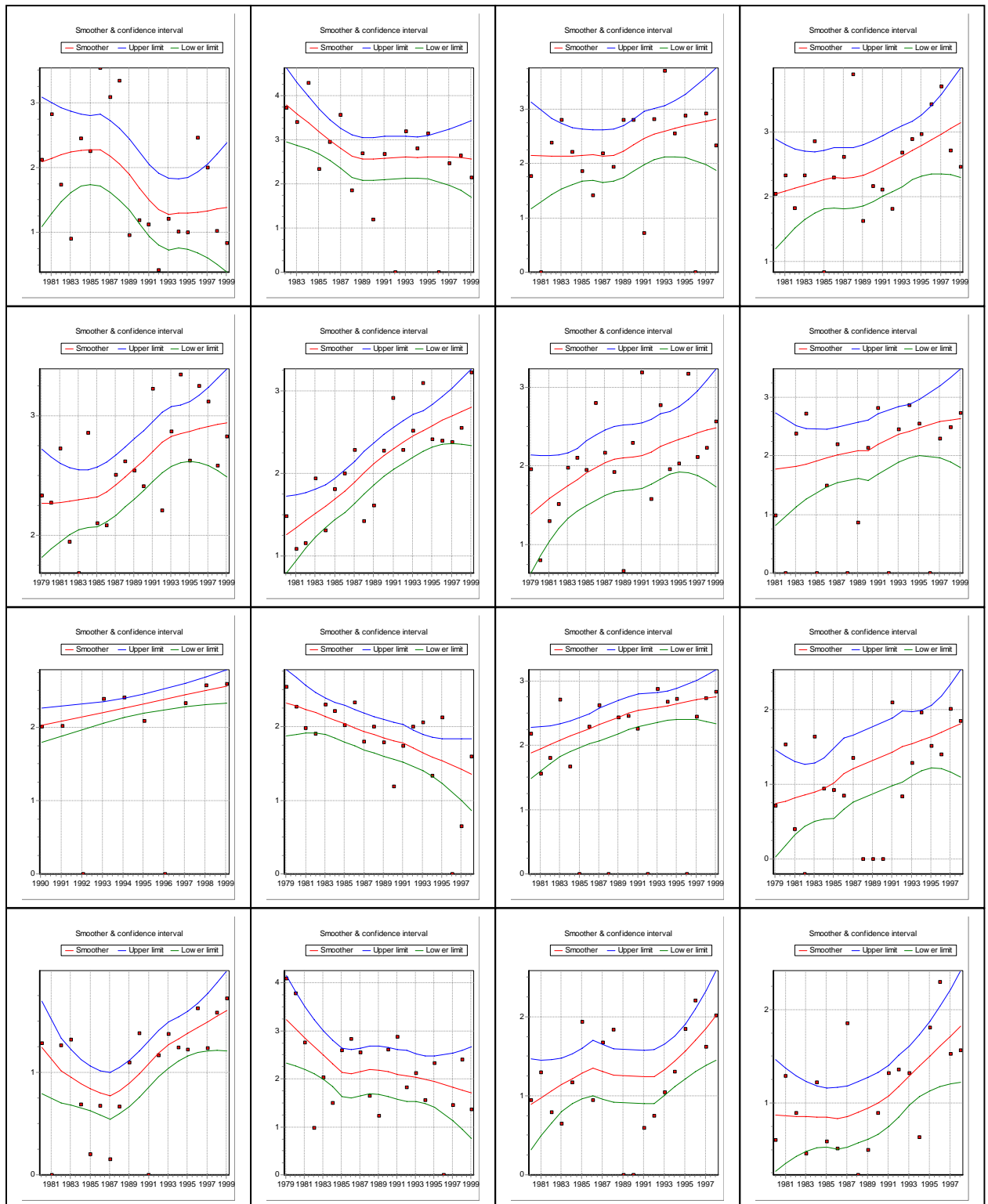


Abb. 29

Trends der saisonalen Mittel der Biomasse ausgewählter Gruppen von ausgewählten Stationen (BMP-Stationenscode angegeben), dargestellt durch den LOESS smoother. Obere und untere Linien zeigen die 95 % Vertrauensgrenzen der Trendlinie an. Die Biomasse (in  $\text{mg m}^{-3}$ ) wird angezeigt auf der logarithmischen y-Achse mit Zahlen, die den Logarithmus zur Basis 10 darstellen

Fig. 29

Trends of seasonal biomass means, exemplified by the LOESS smoother. Upper and lower line represent the limits of the approximative pointwise 95 % confidence limits for the trend line. Biomass (in mg m<sup>-3</sup>) is presented on a log scale with the figures representing the logarithm to the base 10. Station numbers given as BMP code (cf. Table 1 and 12)

Tabelle 14

Literaturangaben zu Phytoplankton-Veränderungen auf Artebene in der Ostsee.

Table 14

Literature for recent changes in phytoplankton species in the Baltic Sea.

Tendencies: A... = increase, R... = decrease, E... = immigration

Art und Tendenz	Literatur
<i>Achnanthes taeniata</i> : Rückgang	HELCOM (1996): östl. Gotlandsee
<i>Peridiniella catenata</i> : Anstieg	WRZOLEK (1996): Danziger Bucht
<i>Dinophysis norvegica</i> : Ausbreitung	HAJDU, LARSSON (2000)
<i>Gyrodinium aureolum</i> : Einwanderung	NIELSEN, ÆRTEBJERG (1984)
<i>Mesodinium rubrum</i> : Anstieg 1999	WASMUND et al. (2000a)
<i>Prorocentrum minimum</i> : Ausbreitung	HAJDU et al. (2000)
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> : Einwanderung	HANSEN AND HORSTMANN (1993)
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> : Einwanderung	WASMUND et al. (2000)

### 5.3 Tendenzen im Makrozoobenthos

Im Vergleich mit den Vorjahren kann eine deutliche Erholung mit einer einhergehenden Diversifizierung des Makrozoobenthos beobachtet werden. Die seit den letzten Jahren durch zeitweise Anoxie in den Becken der Arkona- und Bornholmsee beobachteten überdurchschnittlichen Artenverluste wurden 2001 nur im Bornholmbecken festgestellt. Hier konnten weiterhin keine Organismen gefunden werden. Andererseits zeigte die Besiedlung in der Arkonasee eine deutliche Erholung. Umfangreiche und relativ stabile Populationen der Kleinen Pfeffermuschel (*Abra alba*) und des Schlangensterns (*Ophiura albida*) in der Mecklenburger Bucht verdeutlichen die „Aufsaltung“ in diesem Gebiet. Ebenfalls konnten eine Reihe mariner Arten festgestellt werden, die ebenfalls salinere Verhältnisse anzeigen. Die gut mit Sauerstoff versorgte Mecklenburger Bucht zeigte deutliche Zunahmen der Islandmuschel (*Arctica islandica*), der Polychaeten *Terebellides stroemi*, *Scalibregma inflatum* und *Pherusa plumosa*. Auf der Darßer Schwelle zeigten sich die Bestände der Muschelarten (*Astarte borealis*, *Mya arenaria*) stabil. Außerdem wurde die seltene *Astarte montagui* nachgewiesen. Die Muschelgemeinschaften (*Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*) der südlichen Arkonasee haben ebenfalls zugenommen. *Monoporeia affinis* (Amphipoda) konnte dort erstmals seit über 10 Jahren wieder nachgewiesen werden.

## Danksagung

Die Autoren danken den am Ostseeüberwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung, insbesondere den mit der Probengewinnung und -bearbeitung betrauten Kolleginnen und Kollegen BÄRBEL BUUK, SUSANNE BUSCH, INES GLOCKZIN, REGINA HANSEN, GERHARD LEHNERT, ANNELI POSTEL, HEIDE SANDBERG, ASTRID SCHULTZ, DORIS SETZKORN, INA TOPP sowie den bei der Datenbearbeitung engagierten Kolleginnen und Kollegen SABINE FEISTEL, ANNETT GRÜTTMÜLLER, BERND KAYSER und Dr. THOMAS OHDE. Die meteorologisch-hydrographischen sowie chemischen Daten wurden uns von Dr. RAINER FEISTEL und Dr. GÜNTHER NAUSCH zur Verfügung gestellt. Den Kapitänen und Besatzungen der Forschungsschiffe „Alexander v. Humboldt“, „Professor Albrecht Penck“ und „Alkor“ sei gedankt für die Unterstützung während der Messfahrten. Lücken in unserer Probennahme-Datenreihe konnten geschlossen werden durch zusätzliche Proben, die uns von JEANNETTE GÖBEL (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein) und Dr. GUNNI ÆRTEBJERG (National Environmental Research Institute Roskilde) zur Verfügung gestellt wurden. Die in Kapitel 5 diskutierte Trendanalyse wurde von Dr. habil. STEFFEN UHLIG, prodata GmbH Dresden, im Rahmen einer Finanzierung durch das Umweltbundesamt durchgeführt. Das vom Institut für Ostseeforschung durchgeführte biologische Monitoring wird finanziell getragen durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

## 6. Literaturverzeichnis

- ACKEFORS, H., 1981: Zooplankton. In: VOIPIO, A. (ed.) *The Baltic Sea*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 238 – 274.
- ARNDT, H., 1985: Eine Zählkammer für die mikroskopische Auswertung von Zooplanktonproben. - *Wiss. Zeitschr. W.-Pieck-Univ. Rostock*, **34**, 30-31.
- 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, 38 pp.

ELMGREN, R., 1989: Man's impact on the ecosystem of the Baltic Sea: Energy flows today and at the turn of the century. - *Ambio*, **18**, 326-332.

FINNI, T., KONONEN, K., OLSONEN, R., WALLSTRÖM, K., 2001: The history of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. - *Ambio*, **30**, 172-178.

FRYER, R.J., NICHOLSON, M.D., 1999: Using smoothers for comprehensive assessments of contaminant time series in marine biota. - *ICES Journal of Marine Science*, **56**, 779-790.

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.

HAJDU, S., EDLER, L., OLENINA, I., WITEK, B., 2000: Spreading and establishment of the potentially toxic dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in the Baltic Sea. - *International Review of Hydrobiology*, **85**, 561-575.

HAJDU, S., LARSSON, U., 2000: Long-term and seasonal dynamics of *Dinophysis* species in coastal areas and the open Baltic Sea. - Abstracts of 9th Int. Conf. on Harmful Algal Blooms, Tasmania, February 7-11, 2000, 131.

HANSEN, R., HORSTMANN, U., 1993: *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* in the western Baltic. - *Harmful Algae News*, **5**, 5.

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, 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, 1991: Third biological intercalibration workshop. 27.-31.August 1990, Visby. - *Baltic Sea Environmental Proceedings* **38**, 1-153.

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, 2001: Manual for marine monitoring in the COMBINE programme of HELCOM, Part C. - Internet, updated 2001: <http://www.helcom.fi/Monas/CombineManual2/CombineHome.htm>.

HELCOM, in press: Fourth periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1994-1998; background document. - Baltic Sea Environment Proceedings.

HÜBEL, H., HÜBEL, M., 1980: Nitrogen fixation during blooms of *Nodularia* in coastal waters and backwaters of the Arkona Sea (Baltic Sea) in 1974. - Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, **65**, 793-808.

ICES, 1997: Report of the ICES/HELCOM workshop on the quality assurance of pelagic biological measurements in the Baltic Sea. - ICES C.M. 1997 / **E:5**, 38 pp.

JGOFS, 1993: Core measurement protocol. - Scientific Committee on Oceanic Research, Bergen (JGOFS Rep. No. 6).

KAHRU, M., HORSTMANN, U., RUD, O., 1994: Satellite detection of increased cyanobacteria blooms in the Baltic Sea: natural fluctuations or ecosystem change ? - Ambio, **23**, 469-472.

KENDALL, M.G., 1975: Rank Correlation Methods, 4th ed. - Charles Griffin, London.

LAAMANEN, M.J., FORSSTRÖM, L., SIVONEN, K., 2002: Diversity of *Aphanizomenon* populations (cyanobacteria) on a Baltic Sea salinity gradient - Only one ITS1-S genotype persists in the Baltic Sea. In: LAAMANEN, M.J. - Genetic and species diversity of planktonic cyanobacteria in the northern Baltic Sea. Contributions of the Finnish Inst. of Marine Research, Helsinki, Vol. 4, Part IV, 14 pp.

LARSSON, U., ELMGREN, R., WULFF, F., 1985: Eutrophication and the Baltic Sea: causes and consequences. - Ambio, **14**, 9-14.

LORENZEN, C.J., 1967: Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. - Limnology and Oceanography, **12**, 343-346.

LUND, J.W.C., KIPLING, C., LECREN, E.D., 1958: The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. - Hydrobiologia, **11**, 143-170.

MASKE, H., 1994: Long-term trends in seston and chlorophyll a in Kiel Bight, western Baltic. - Continental Shelf Research, **14**, 791-801.

MELVASALO, T., VILJAMAA, H., 1987: Coastal pollution and seasonal fluctuations in heterocystous blue-green algae in the northern part of the Gulf of Finland. In: Proceedings of the 4 th Symposium of the Baltic Marine Biologists, Gdańsk 1975. Sea Fisheries Inst. Gdynia. pp. 107-114.

NAUSCH, G., FEISTEL, R., LASS, H.U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 2002: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 2001. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **49**, 2-77.

NAUSCH, G., NEHRING, D., 1996: Hydrochemistry. In: HELCOM (ed.) - Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; background document. Baltic Sea Environmental Proceedings, No. 64 B, 80-84.

- NEHRING, D., 1992: Eutrophication in the Baltic Sea. - *Science of the Total Environment*, Suppl. 1992, 673-682.
- NIELSEN, A., ÆRTEBJERG, G., 1984: Plankton blooms in Danish waters. - *Ophelia*, Suppl. **3**, 181-188.
- POSTEL, L., 2000: Interannual variations of the amount of herring in relation to plankton biomass and activity, temperature and cloud coverage in the Baltic Sea. - *ICES CM 2000/M:16*.
- POSTEL, L., FOCK, H., HAGEN, W., 2000: Biomass and abundance. In: HARRIS, R., WIEBE, P., LENZ, J. SKJOLDAL, H.R., HUNTLEY, M. (eds.) - *ICES Zooplankton Methodological Manual*. Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, 83-192.
- ROSENBERG, R., ELMGREN, R., FLEISCHER, S., JONSSON, P., PERSSON, G. AND DAHLIN, H., 1990: Marine eutrophication case studies in Sweden. - *Ambio* ,**19**, 102-108.
- 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.
- SIEGEL, H., OHDE, T., GERTH, M., NEUMANN, T., 2002: Investigations of coastal discharges and phytoplankton blooms in the Baltic Sea using SeaWiFS data. - *Deep Sea Research II* (submitted).
- UHLIG, S. 2001. The LOESS smoother: incorporation of uncertainty data and the behaviour with missing values. - *ICES WGSSEM Report 2001*.
- UTERMÖHL, H., 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - *Ass. intern. Limnol. théor.*, **9**, 1-38.
- VAN GUELPEL, L., MARKLE, D.F., DUGGAN, D.J., 1982: An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsamples techniques. - *J. Cons. int. Explor. Mer*, **40**, 226-236.
- WASMUND, N., ALHEIT, J., POLLEHNE, F., SIEGEL, H., ZETTLER, M.L., 1998 a: Ergebnisse des Biologischen Monitorings der Ostsee im Jahre 1997 im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, **32**, 1-66.
- WASMUND, N., ALHEIT, J., POLLEHNE, F., SIEGEL, H., ZETTLER, M.L., 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., ALHEIT, J., POLLEHNE, F., SIEGEL, H., 2000 a: Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1999 auf der Basis von Phytoplankton- und Zooplanktonuntersuchungen. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, **43**, 1-65.

WASMUND, N., BREUEL, G., EDLER, L., KUOSA, H., OLSONEN, R., SCHULTZ, H., PYS-WOLSKA, M. AND WRZOLEK, L., 1996: Pelagic biology. In: HELCOM (ed.) - Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; background document. Baltic Sea Environmental Proceedings, No. 64 B, 89-100.

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

WASMUND, N., NAUSCH, G., POSTEL, L., WITEK, Z., ZALEWSKI, M., GROMISZ, S., LYSIAK-PASTUSZAK, E., OLENINA, I., KAVOLYTE, R., JASINSKAITE, A., MÜLLER-KARULIS, B., IKAUNIECE, A., OJAVEER, H., KALLASTE, K., JAANUS, A., 2000 b: Trophic status of coastal and open areas of the south-eastern Baltic Sea based on nutrient and phytoplankton data from 1993-1997. Meereswiss. Ber., Warnemünde, 38, 83 pp.

WASMUND, N., POLLEHNE, F., POSTEL, L., SIEGEL, H., ZETTLER, M.L., 2001: Biologische Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 2000. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **46**, 1-74.

WASMUND, N., UHLIG, S., angenommen: Phytoplankton trends in the Baltic Sea. - ICES Journal of Marine Science.

WILLÉN, T., 1995: Växtp plankton i Östersjön 1979-1988. - Naturvårdsverket Rapport, **4288**, 1-22.

WRZOLEK, L., 1996: Phytoplankton in the Gdańsk Basin in 1979-1993. - Oceanological Studies **1-2**, 87-100.

ZETTLER, M.L., BÖNSCH, R., GOSSELCK, F., 2000: Verbreitung des Makrozoobenthos in der Mecklenburger Bucht (südliche Ostsee) – rezent und im historischen Vergleich. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **42**, 1-144.

ZETTLER, M.L., BÖNSCH, R., GOSSELCK, F., 2001: Distribution, abundance and some population characteristics of the ocean quahog, *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767), in the Mecklenburg Bight (Baltic Sea). - J. Shell. Res. **20**, 161-169.