

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENCE REPORTS

No. 32

Ergebnisse des Biologischen Monitorings der Ostsee
im Jahre 1997 im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen

von

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

Institut für Ostseeforschung
Warnemünde
1998

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Einleitung	5
2. Material und Methoden	6
2.1. Probenahme	7
2.2. Phytoplankton	8
2.3. Algenpigmente	8
2.4. Mesozooplankton	8
2.5. Makrozoobenthos	8
2.6. Sedimentation	9
2.7. Satellitenbilder	9
2.8. Qualitätssicherung	9
3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1997	12
4. Ergebnisse	13
4.1. Phytoplankton	13
4.1.1. Jahrgang von Artenzusammensetzung und Biomasse	13
4.1.1.1. Mecklenburger Bucht	14
4.1.1.2. Arkonasee	15
4.1.1.3. Bornholmsee	18
4.1.1.4. Gotlandsee	19
4.1.2. Sedimentation	21
4.1.3. Jahrgang der Chlorophyll a – Konzentration	25
4.1.4. Langzeittrend der Artenzusammensetzung	26
4.1.5. Langzeittrend der Chlorophyll a – Konzentration	38
4.2. Mesozooplankton	38
4.2.1. Jahrgang von Artenzusammensetzung und Abundanz	38
4.2.1.1. Mecklenburger Bucht	38
4.2.1.2. Arkonasee	38
4.2.1.3. Bornholmsee	41
4.2.1.4. Gotlandsee	43
4.2.2. Langzeittrend der Artenzusammensetzung	43
4.3. Makrozoobenthos	45
5. Diskussion	52
5.1. Zeitliche und räumliche Variabilität der Phytoplanktonblüten	52
5.2. Langzeit-Trends der Phytoplanktonentwicklung	55
5.3. Langzeit-Trends der Zoobenthosentwicklung	58
5.4. Beziehungen zwischen den untersuchten Komponenten	60
5.5. Auswirkungen des Oder-Hochwassers vom Juli/August 1997	61
Literaturverzeichnis	62

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der durch das Institut für Ostseeforschung (IOW) im Jahre 1997 durchgeführten biologischen Umweltüberwachung im Rahmen des HELCOM werden vorgestellt und diskutiert. Im einzelnen wurden Artenzusammensetzung und Abundanz bzw. Biomasse des Phyto- und Zooplanktons sowie des Makrozoobenthos von der westlichen Ostsee bis in die Gotlandsee im Jahresgang untersucht und in Beziehung zur bereits bestehenden 18-jährigen Datenreihe bzw. dem bisherigen Kenntnisstand gesetzt.

Die Frühjahrsblüte des Phytoplanktons begann 1997 in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee bereits Anfang bis Mitte März und bestand zuerst aus Kieselalgen, später zunehmend aus Dinoflagellaten. In der Bornholmsee und Gotlandsee fand die Frühjahrsblüte (Dinoflagellaten) im April/Mai statt. Im Sommer dominierten Cyanobakterien und diverse Flagellaten. Im September/Okttober kam es zu einer bisher in der Arkona- und Bornholmsee noch nicht beobachteten Dinoflagellatenblüte von *Gymnodinium lohmannii*. Anschließend nahm die Häufigkeit der Kieselalgen (*Coscinodiscus granii*) zu. In der Gotlandsee wurde keine Herbstblüte festgestellt.

Die saisonale Sukzession der pelagischen Algengruppen spiegelte sich auch in den Sinkstoffen wider. Allerdings konnten bislang nur die Sinkstoff-Fallen des Jahres 1996 ausgewertet werden. Es zeigte sich, daß neben der Frühjahrsblüte die Sedimentation der spätsommerlichen Cyanobakteriengemeinschaft für den vertikalen Partikelfluß quantitativ bedeutend war.

Trotz der zwischen 1979 und 1997 auf etwa demselben Niveau verharrenden Nährstoffkonzentrationen konnte zumindest in der eigentlichen Ostsee ein Anstieg in der Phytoplanktonbiomasse beobachtet werden. Der seit etwa 1990 abfallende Düngemittelverbrauch im Ostsee-Einzugsgebiet hat bisher zu keinen entsprechenden Reaktionen im Pelagial geführt. In der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons konnte seit 1989 eine Abnahme von Kieselalgen während der Frühjahrsphase in der südlichen eigentlichen Ostsee bei gleichzeitiger Zunahme der Dinoflagellaten festgestellt werden, die nicht mit den Nährstoff-, sondern den winterlichen Temperaturbedingungen in Beziehung standen.

Im Mesozooplankton waren die Copepoden in allen untersuchten Seegebieten über das ganze Jahr hinweg die dominante Gruppe, außer im August 1997 in der Bornholmsee, wo die Bosminen (Cladocera) eine höhere Abundanz aufwiesen. Die relativen Abundanzwerte von Rotatorien und Cladoceren sind im Vergleich zu denen der Copepoden deutlich zurückgegangen, wenn ein Vergleich mit vergangenen Jahren gezogen wird. Der bisher beobachtete Trend der Zunahme von Rotatorien scheint gebrochen. Im August zeigten einige Zooplanktongruppen ungewöhnliche Werte, die möglicherweise auf die ungewöhnlich hohen Wassertemperaturen im August 1997 zurückzuführen sind.

Die Artenzahlen und die Abundanzen des Makrozoobenthos nahmen insbesondere auf den westlichen Stationen im Vergleich zu den vorherigen Jahren zu, wahrscheinlich wegen des zeitweisen Einstroms salz- und sauerstoffreichen Wassers. Es konnte sowohl das Wiederauftreten von zeitweise verschwundenen Arten als auch Vorkommen neuer Arten beobachtet werden. Das neue Auftreten von *Astarte elliptica* und *Pontoporeia femorata* an den westlichen Stationen deutet auf ein besseres Sauerstoffangebot hin. Bemerkenswert ist die starke Zunahme von *Diastylis rathkei* in der Beltsee.

Die Auswirkungen des Oder-Hochwassers vom Juli/August 1997 waren auf die Pommersche Bucht und die südliche Arkonasee begrenzt. Vor Usedom gab es Gebiete mit Bildung von Schwefelwasserstoff, der zum Absterben des Zoobenthos führte. Eine nachhaltigen Störung des Ökosystems ist aber nicht zu erwarten.

Summary

The results of the biological environmental monitoring carried out by the Baltic Sea Research Institute (IOW) in 1997 within the HELCOM programme are presented and discussed. The annual dynamics of species composition and abundance or biomass of phyto- and mesozooplankton and of macrozoobenthos between the western parts of the Baltic Sea and the Gotland Sea were studied and discussed in relation to the already existing 18-years data base.

In 1997, the spring bloom of phytoplankton begun in Mecklenburg Bight and Arkona Sea already between early and mid-March and was produced mainly by diatoms. At later stages, the contribution of dinoflagellates increased continuously. In the Bornholm Sea and the Gotland Sea, spring bloom (dinoflagellates) was in April/May. In summer, cyanobacteria and several flagellates were the dominant groups. In September/October a dinoflagellate bloom of *Gymnodinium lohmannii* was recorded which had never before been observed in the Arkona Sea and the Bornholm Sea. Subsequently, diatom abundance increased (*Coscinodiscus granii*). In the Gotland Sea, no autumn bloom was recorded.

The seasonal cycle of pelagic algae was also reflected in the sediment traps. However, so far, only the data collected in 1996 could be analysed. Beside the spring bloom, sedimentation of the cyanobacteria community in late summer was quantitatively important for vertical particle flux.

Although nutrient concentrations remained at about the same level between 1979 and 1997, an increase of phytoplankton biomass was recorded in the Baltic Proper. The use of fertilizers in the catchment area of the Baltic Sea has decreased since about 1990. However, no reactions of the pelagic communities could be observed so far. The species composition of the phytoplankton has changed since 1989 due to a decrease of diatoms during spring in the southern Baltic Proper which was accompanied by an increase of dinoflagellates. These changes are related to winter temperatures, not to nutrient concentrations.

Throughout the entire year, copepods were the dominant mesozooplankton group in all regions under investigation, except in August in the Bornholm Sea when cladocerans (*Bosmina*) exhibited a higher abundance. When compared with results from previous years, abundance values of rotifers and cladocerans show a clear decrease in relation to those of copepods. The trend of increasing abundance of rotifers observed over the last years seems to be interrupted. Some zooplankton groups showed unusual values in August when rather high water temperatures were recorded.

Abundances and numbers of species of macrozoobenthos increased when compared with data from previous years, probably because of temporary inflow of salty and oxygen-rich water. Several species which were not found in recent years seem to have returned. Also, new species were encountered. The re-occurrence of *Astarte elliptica* and *Pontoporeia femorata* indicates improved oxygen conditions. The strong increase of *Diastylis rathkei* is remarkable.

The impact of the Oder flood in July/August was limited to Pomeranian Bight and the southern Arkona Sea. In a region in front of the Island of Usedom, hydrogen sulfide was produced in the bottom water, leading to the death of macrozoobenthos. A long-lasting effect on the ecosystem is, however, not expected.

1. Einleitung

Untersuchungen zur Überwachung und Zustandseinschätzung der marinen Umwelt in der Ostsee am Institut in Warnemünde gehen bis in das Jahr 1966 zurück. Das damalige Institut für Meereskunde Warnemünde führte vier- bis fünfmal im Jahr die sogenannten Terminfahrten durch, die ein ausgedehntes Netz von mehr als fünfzig Stationen von der Mecklenburger Bucht bis in den Eingang des Finnischen Meerbusens und die Alandsee umfaßten. Als biologische Variablen wurden die Chlorophyll-Konzentration und die Primärproduktion des Phytoplanktons sowie das Verdrängungsvolumen des Mesozooplanktons aufgenommen. Dieses Untersuchungsprogramm richtete sich unter anderem auf die Erforschung der Stoff- und Energieflüsse im Ökosystem Ostsee, auf die Fragen zur Herkunft, Ausbreitung, Wirkung und zum Verbleib von anorganischen und organischen Einleitungen sowie auf die Erfassung längerfristiger Veränderungen abiotischer und biotischer Variablen.

Nachdem im Jahre 1974 eine völkerrechtliche Grundlage zum Schutze der Meeresumwelt in der Ostsee durch die Verabschiedung des Helsinki-Übereinkommens von allen damaligen Anrainerstaaten geschaffen war, wurde diese Konvention im Jahre 1976 durch die DDR ratifiziert. 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 Wirkung regulativer Maßnahmen erfaßt und dokumentiert werden. Mit Beginn des BMP im Jahre 1979 wurden zusätzlich zu den oben genannten, vom IfM Warnemünde gemessenen Parametern auch die Artenzusammensetzung (einschl. Abundanz bzw. Biomasse der einzelnen Arten) des Phytoplanktons, Zooplanktons und Zoobenthos von der Universität Rostock untersucht.

Ab 1991 erfolgte die Erfassung aller genannten Parameter sowie der wichtigsten mikrobiologischen Größen im Rahmen eines durch das Umweltbundesamt geförderten 5-jährigen Projekts (v. BODUNGEN et al., 1996). Die Ergebnisse für die einzelnen Jahre sind in fünf Einzelberichten vorgelegt worden (SCHULZ et al., 1992; BREUEL et al., 1993, 1994, 1995; JOST et al., 1996). Nach Auslaufen dieses Projekts konnte keine sofortige Anschlußfinanzierung gefunden werden, so daß das biologische Monitoring im Jahre 1996 ruhen mußte.

Zu Beginn des Jahres 1997 (mit der März-Terminfahrt) konnte das biologische Monitoring des IOW aufgrund der Finanzierung durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie wieder aufgenommen werden, allerdings mit einer verringerten Anzahl von Stationen und Meßgrößen. Es konzentriert sich nunmehr auf die zentralen HELCOM-Stationen in den einzelnen Seegebieten zugunsten einer besseren zeitlichen Auflösung. Bereits seit 1994 werden nicht nur die Monitoring-Fahrten, sondern auch Fahrten anderer Projekte genutzt, um ausgewählte Monitoring-Stationen zusätzlich zu beproben. Die Parameter, die z.B. aufgrund ihrer hohen Variabilität für eine Zustandseinschätzung der Ostsee weniger geeignet sind (namentlich die Phytoplankton-Primärproduktion und die mikrobiologischen Parameter) werden seit 1997 nicht mehr bearbeitet. Statt dessen wird geprüft, wie integrierende Parameter (namentlich die Sedimentation für die zeitliche und die Satellitenbilder für die räumliche Komponente) für die Zustandseinschätzung der Ostsee genutzt werden können. Darüber hinaus werden bestehende Systeme erweitert und ausgebaut, z.B. die Schaffung neuer automatischer Meßstationen zur Registrierung von Zeitreihen

physikalisch-chemischer Parameter, Erweiterung des bisherigen schiffsgebundenen Durchflußsystems zur Temperatur- und Salzgehaltsregistrierung um eine Fluoreszenzregistrierung.

Der vorliegende Bericht faßt die biologischen Arbeiten im BMP für das Jahr 1997 zusammen. Die biologischen Daten werden in ihrer jahreszeitlichen Veränderlichkeit in verschiedenen Seegebieten der Ostsee (Beltsee, Arkonasee, Bornholmsee und Gotlandsee) dargestellt. Die Interpretation der Jahrgänge erfolgt auch anhand abiotischer Daten, die bereits in einem Bericht (MATTHÄUS et al., 1998) vorliegen. Für Trendbetrachtungen werden die HELCOM-Datensätze der Jahre 1979 – 1993 mit herangezogen, zu denen bereits eine ausführlich Auswertung vorliegt (HELCOM, 1996).

2. Material und Methoden

Die Aufgabenstellung für das wissenschaftliche Programm war im wesentlichen durch die von der HELCOM erlassenen Vorschriften in Bezug auf die Methoden und den Umfang des Vorhabens bestimmt (HELCOM, 1988). Im Einzelnen umfassen die Methoden die Bestimmung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Phytoplanktons, Mesozooplanktons und Makrozoobenthos sowie des Chlorophyllgehalts von Wasserproben. Für die Auswertung und Dokumentation der Proben aus den Sinkstoff-Fallen sowie die Satellitenbilder gibt es noch keine verbindlichen HELCOM-Methodenvorschriften.

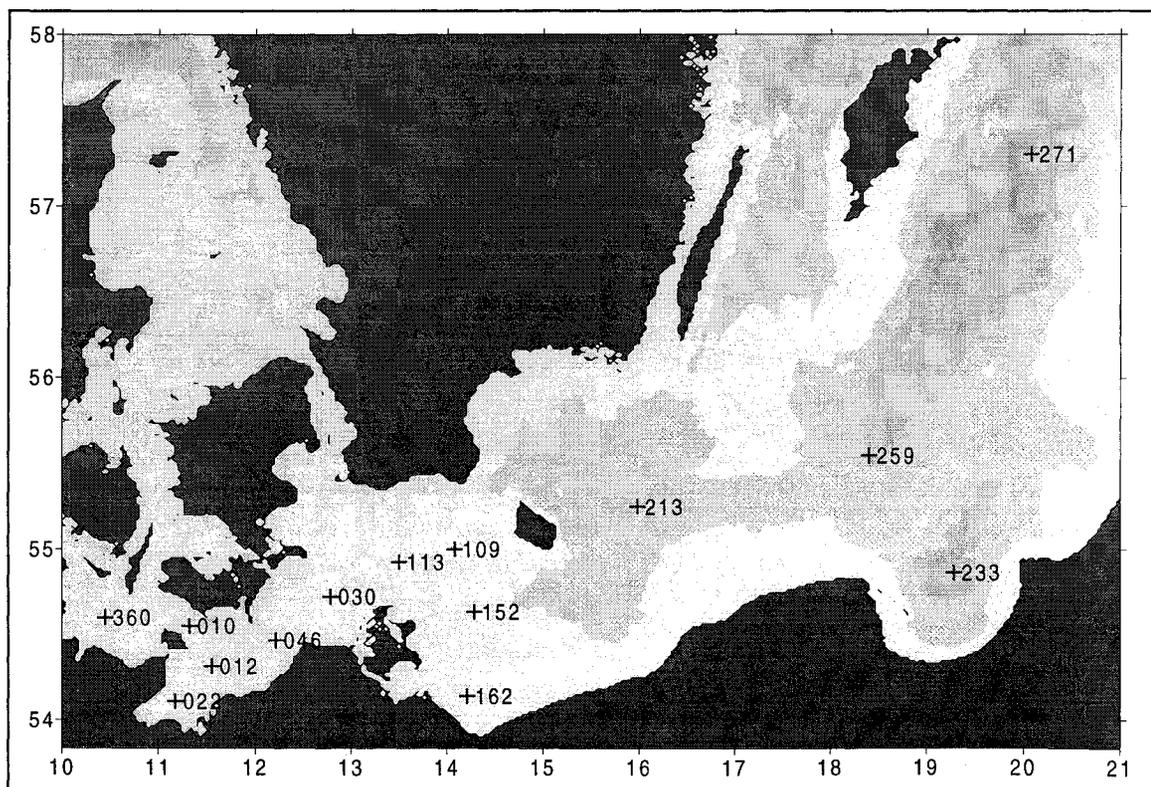


Abb. 1: Die Lage der beprobten Stationen in der Ostsee. Die Zentralstationen der einzelnen Seegebiete sind Station 012(M2) = Mecklenburger Bucht, Station 113(K5) = Arkonasee, Station 213(K2) = Bornholmsee, Station 271(J1) = Gotlandsee.

2.1. Probenahme

Mitarbeiter der Sektion Biologische Meereskunde nahmen im Jahre 1997 an vier Terminfahrten im März, Mai, August und Oktober/November teil. Die Stationen für die Probenentnahmen und die Messungen folgten den Vorgaben durch die HELCOM (Abb. 1). Um die Anzahl der gewonnenen Proben zu erhöhen, wurden an den wichtigsten Stationen in der Mecklenburger Bucht, der Arkonasee und der Bornholmsee nicht nur auf der Ausfahrt, sondern auch auf der Rückfahrt Proben genommen. Darüber hinaus wurden auch auf Fahrten, die im Rahmen anderer Projekte stattfanden, wichtige Monitoringstationen angelaufen. Dadurch kamen bis zu 12 Probenahmen pro Jahr zustande (Tabelle 1). Die Benthosbeprobungen wurden an 6 BMP-Stationen einmal pro Jahr im Herbst vorgenommen (Details s. Abb. 1 und Tabelle 1).

Das Probenwasser wurde mittels Rosettenwasserschöpfers aus verschiedenen Standardtiefen (1 m, 2,5 m, 5 m, 7,5 m, 10 m, 20 m, 30 m) sowie bei Vorliegen interessanter Strukturen (markante Sprungschichten, deutliche Fluoreszenzmaxima) auch aus zusätzlichen Wassertiefen genommen. Dabei wurden die Tiefenprofile von Salzgehalt, Temperatur, Sauerstoffgehalt und meistens auch Fluoreszenz aufgezeichnet. Das Probenwasser für die Nährstoffbestimmungen wurde parallel gewonnen. Die Phytoplanktonparameter (Phytoplanktonarten und -biomasse, Chlorophyll) wurden in der Regel aus demselben Schöpfer entnommen. Die methodische Bearbeitung der Variablen erfolgte weitgehend nach den Richtlinien des BMP (HELCOM 1988). Eine kurze Übersicht über die angewendeten Methoden wird im folgenden gegeben.

Tabelle 1: Häufigkeit der Probenahme für die biologischen Variablen an den einzelnen Stationen im Jahre 1997.

IOW- Stationsnum- mer	BMP- Stations- nummer	Chlorophyll	Phytoplank- ton	Zooplank- ton	Zoobenthos	Sinkstoff- Fallen (1996)
Beltsee						
360	(N3)	3	3	3		
010	(N1)				1	
012	(M2)	8	7	6	1	
022		4	4	2		
046	(M1)	11	12	8		
Arkonasee						
030	(K8)	11	12	8	1	
109	(K4)				1	
113	(K5)	9	10	7		
152	(K3)				1	
Pommernbucht						
162		5	5	4		
Bornholmsee						
213	(K2)	9	9	8	1	
Danziger Bucht						
233	(L1)		1			
Östl. Gotlandsee						
259	(K1)	4	4	4		
271	(J1)	11	11	4		
						77

2.2. Phytoplankton

Zur Gewinnung einer Oberflächen-Mischprobe wurde das Wasser von 1 m, 2,5 m, 5 m, 7,5 m und 10 m Tiefe zu gleichen Teilen vermischt. Die Proben (250 ml) wurden mit je 1 ml saurer Lugol-scher 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. Jeder Art bzw. Größenklasse entspricht ein charakteristisches Individuenvolumen (Berechnung nach HELCOM 1988). Dieses wird mit der Anzahl der gezählten Individuen multipliziert, um auf das Biovolumen der jeweiligen Art zu kommen. Bei Annahme einer Dichte von 1 g cm^{-3} entspricht das Biovolumen zahlenmäßig der Biomasse (Frischmasse). Die Berechnung und Datenausgabe erfolgten mit Hilfe des von HELCOM empfohlenen Programms der Softwarefirma Kahma Ky (Helsinki). Auf eine weitere Umrechnung in Kohlenstoff-einheiten wurde verzichtet, da der dazu empfohlene konstante Umrechnungsfaktor ($F=0,11$) sehr fragwürdig ist. Angaben zur Genauigkeit der Methode siehe in Kapitel 2.8.

2.3. Algenpigmente

Das Probenwasser aus den einzelnen Entnahmetiefen (1 m, 2,5 m, 5 m und 10 m) wurde separat, ohne Vermischung der verschiedenen Wässer, analysiert. Im Gegensatz zu den HELCOM-Vorschriften wurde auf die 15 m-Probe zugunsten der 20 m-Probe verzichtet. Für die Chlorophyllbestimmung wurde auch regelmäßig Wasser aus 30 m Tiefe verwendet. Diese Modifikation war nötig, um die gesamte euphotische Zone zu erfassen, während eine hochauflösende Probenahme in den oberen Tiefen nicht erforderlich erschien.

Zur Bestimmung der Algenpigmente wurde das Phytoplankton auf Glasfaserfiltern (Whatman GF/F) angereichert. Die Extraktion erfolgte in 90 %igem Aceton. Zur Verbesserung der Chlorophyllausbeute wurden die Filter homogenisiert. Zur Messung wurde ein Fluorometer benutzt. Die Korrektur für Phaeopigmente erfolgte nach dem Prinzip von LORENZEN (1967).

2.4. Mesozooplankton

Das mit einem UNESCO-Standardnetz WP II (Maschenweite $100\mu\text{m}$) (UNESCO 1968) genommene Mesozooplankton wurde den Empfehlungen der HELCOM (1988) entsprechend bearbeitet. Die Berechnung der Abundanz des Mesozooplanktons und die Erstellung der Datensätze für die HELCOM-Datenbank erfolgten mittels eines von der Firma Kahma Ky entwickelten Softwareprogramms.

2.5. Makrozoobenthos

Je nach Sedimenttyp wurden zwei verschiedene Van-Veen-Greifer (980 cm^2 und 1060 cm^2) (23kg; 38kg bzw. 70kg) eingesetzt, davor wurde nur der leichtere Typ verwendet. Pro Station wurden 3 - 5 Parallelproben entnommen, die Sedimentproben jeweils einzeln durch ein Sieb mit 1 mm Maschenweite gespült und der Siebrückstand mit 4 %igem Formalin fixiert (HELCOM 1988). Die weitere Bearbeitung im Labor erfolgte an Gesamtproben. Die Taxa wurden (bis auf wenige

Gruppen) bis zur Art bestimmt und die Abundanzen und Biomassen (Aschefreies Trockengewicht, AFTG) erfaßt, bei Mollusken inklusive Schalengewicht. An ausgewählten Stationen wurden Längen- und Altersbestimmungen an langlebigen Bivalvia-Arten vorgenommen.

2.6. Sedimentation

Zur Erfassung der Menge und Qualität des aus der Deckschicht absinkenden Materials wurden auf der Station 271 automatische Sinkstofffallen des Typs SM 234 mit einer Fangfläche von 0,5 m² verankert, die 18 in programmierbaren Zeitschritten auswechselbare Fanggläser besitzen. 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 jeweils eine Falle unter der Halokline in 120 m Tiefe und eine weitere in Bodennähe bei 220 m Wassertiefe. Am aufgefangenen Material wurden Elementanalysen, Bestimmungen der natürlichen Isotopenzusammensetzung, Pigmentuntersuchungen sowie mikroskopisch-taxonomische Analysen durchgeführt.

2.7. Satellitenbilder

Für die Untersuchungen in der Ostsee wurden Satellitendaten der Wasseroberflächentemperatur (SST) und der Wasserfarbe verwendet. SST-Karten, abgeleitet aus Daten des Advanced Very High Resolution Radiometers der NOAA-Wettersatelliten, wurden 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. Die Kanäle im sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich wurden zur Untersuchung der Ausbreitung der Cyanobakterien im August verwendet.

Zusätzlich wurden für ausgewählte Fragestellungen verfügbare Daten der indischen Satelliten IRS-P3 und IRS-1C und ihrer Sensoren im sichtbaren Spektralbereich genutzt. Eine Szene des breitbandigen Sensors WIFS des kommerziellen Satelliten 1C hat in Ergänzung zu den NOAA-Daten mit seiner Bodenauflösung von 188m die Strukturen der Cyanobakterienverteilung deutlich hervorgebracht. Im Rahmen der Oderflutuntersuchungen wurden auch WIFS- und MOS (Modular Optical Sensor) Daten des Forschungssatelliten IRS-P3 einbezogen. Die spektral hoch aufgelösten MOS-Daten wurden für die Bestimmung von Wasserinhaltsstoffen verwendet. Die Auswerteverfahren sind bei SIEGEL et al. (1998) beschrieben.

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. Alle am Ostsee-Monitoring der HELCOM beteiligten Institute sind zur Einhaltung der verbindlichen Methodenvorschriften (HELCOM, 1988) verpflichtet. In der Praxis zeigte sich jedoch, daß die meisten Institute ihre Methoden mehr oder weniger modifiziert haben, sei es wegen fehlender technischer Voraussetzungen oder aus neuen wissenschaftlichen Einsichten, die eine Verbesserung der Methode ermöglichten.

Zur Ermittlung der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der von den verschiedenen Instituten angewendeten Methoden und zu deren Weiterentwicklung fanden in der Vergangenheit internationale Workshops statt:

1979 in Stralsund	1982 in Rönne
1990 in Visby	1995 in Kiel
1995 in Warnemünde	1996 in Warnemünde.

Im September 1995 wurden praktische Methodenvergleiche zum Chlorophyll und zu mikrobiologischen Variablen durchgeführt, vorangegangene Interkalibrierungen ausgewertet und die Revision der Richtlinien weiter diskutiert. Im Oktober 1996 wurden methodische Probleme zur Zooplanktonprobenahme und zur Primärproduktion behandelt. Für die detaillierten Ergebnisse sei hier auf die entsprechenden ICES/HELCOM Reports verwiesen.

Darüber hinaus gab es für den speziell mit der Bestimmung der Phytoplanktonarten der Ostsee befaßten Personenkreis Phytoplanktonkurse:

1992 in Helsingör	1993 in Seili
1994 in Hel	1996 in Helsinki (ohne deutsche Teilnahme)
1997 in Tvärminne	1998 in Klaipeda

Chlorophyll

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

Nach dem Workshop wurden umfangreiche methodische Experimente durchgeführt (WASMUND und TOPP, 1996). Spezielle Aspekte der Extraktion (Extraktionsmittel, Extraktionszeit, Homogenisation) wurden getestet mit natürlichem Phytoplankton und Kulturalgen (*Phaeodactylum tricoratum*, *Microcystis aeruginosa*, *Thalassiosira weissflogii*) in verschiedenen Chlorophyll a - Konzentrationen (3-80 mg m⁻³). 172 Proben, in 5 Parallelen, wurden gemessen und ausgewertet mit folgenden Ergebnissen:

- Extraktion in 96%igem Ethanol war vollständig (100 %ig) nach bereits 3 Stunden, bei Verzicht auf Homogenisation immerhin noch 82-98 %ig.
- Extraktion in 90 %igem Aceton erforderte 24 Stunden und Homogenisation der Filter (besonders bei hohen Chlorophyll-Konzentrationen), um auf eine 92-99 %ige Ausbeute zu kommen.
- Langzeit-Lagerung der Extrakte (für mehrere Wochen bei -20 °C) brachte Probleme mit der Verdunstung des Extraktionsmittels und führte zu Chlorophyll a - Werten von 88-98 % im Vergleich zu sofortiger Messung.
- Langzeit-Lagerung der Filter bringt höhere Standardabweichungen als die Lagerung der Extrakte und führt zu Chlorophyll a - Werte von 66-105 % im Vergleich zur sofortigen Messung.

Unsere Experimente erlaubten Informationen zur Genauigkeit der Methode: 5 Parallelproben ergaben eine durchschnittliche Standardabweichung für Chlorophyll a (korrigiert für Phaeopigment) von 2,82 % (90% Aceton) bzw. 2,42 % (96% Ethanol).

Phytoplankton

Um eine statistisch akzeptable Abschätzung zu erhalten, sollten von den häufigsten Arten mindestens 50 Individuen und insgesamt pro Probe 500 Individuen gezählt werden. An diese Vorgabe haben wir uns gehalten. Je seltener die Art auftritt, umso größer der statistische Fehler für diese Art. Wenn verlässliche Werte erreicht werden sollen, ist anteilig eine größere Kammerfläche auszuzählen als bei häufigen Arten (HELCOM, 1988):

4 Einheiten ergeben einen max. Fehler von		100 %
50	"-	28 %
100	"-	20 %
400	"-	10 %
40000	"-	1 %

Dementsprechend hätte unsere Zählung einen statistischen Fehler von etwa 28 % bezüglich der Zellzahlen der häufigsten Einzelarten. Zu dem statistischen Zählfehler kommen noch Fehler z.B. aus der Probenahme, der Entnahme von Unterproben bei inhomogener Verteilung, der Vermessung der Zellgröße, der Berechnung aufgrund der stereometrischen Formeln und durch Schrumpfung der Zellen durch die Fixierung hinzu (z.B. VERITY et al., 1992). Umrechnungen der Volumina in Biomasse und schließlich Kohlenstoffgehalt (hier nicht durchgeführt) bringen weitere Fehler durch unsichere Umrechnungsfaktoren ein.

Wegen der ausgeprägten subjektiven Komponente bei der Zählung ist die Interkalibrierung schwierig; zahlreiche Vergleichszählungen zwischen unterschiedlichen Bearbeitern wurden in der Vergangenheit durchgeführt (z.B. HOBRO, WILLEN, 1977; NIEMI et al., 1985; HELCOM, 1991). Zumeist zeigten sich große Unterschiede bei der Bestimmung von Parallelproben (Differenzen zwischen Parallelzählungen bis 400 %, nach HOBRO und WILLEN, 1977). Besondere Probleme gibt es bei der richtigen Bestimmung der Arten. Um Einheitlichkeit bei der Benennung der Arten zu erreichen, werden regelmäßig Phytoplanktonkurse der HELCOM durchgeführt (s. o.). Diese führen zum Konsens zumindest bei der Benennung der wichtigsten und am weitesten verbreiteten Arten. Bei den schwer bestimmbaren, kleinen Organismen werden die Diskrepanzen dadurch verringert, daß sie zunächst zu taxonomischen Gruppen zusammengefaßt werden.

Zooplankton

Um die Untersuchungsergebnisse für das Zooplankton der Ostsee besser vergleichen zu können, wurden auf dem Workshop in Warnemünde 1996 einige Konkretisierungen der HELCOM-Protokolle vorgeschlagen, die sich von der Probenahme über die Teilung der Proben bis zur mikroskopischen Analyse und der Biomasseermittlung erstreckten. Dabei ging es vor allem um die Beseitigung von unpräzisen methodischen Vorgaben (z.B. Entnahme von Unterproben) und Festlegungen zur Bestimmung der Abundanzen der dominanten "taxonomischen" Gruppen und deren Biomassen. So sollten von diesen taxonomischen Gruppen (sowohl Arten, Gattungen oder Familien, als auch unterschiedliche Entwicklungsstadien) mindestens je 100 Individuen gezählt werden, um einen Variationskoeffizienten von weniger als 20 % zu erhalten. Die Umrechnung in entsprechende Biomassewerte sollte nach Faktoren erfolgen, die sowohl saisonale und geographische Unterschiede berücksichtigen. Da diese Faktoren noch nicht vorliegen, belassen wir es noch bei der Angabe der Abundanzen.

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

Makrozoobenthos

Im Rahmen der ICES/HELCOM-Arbeitsgruppe zur Qualitätssicherung benthischer Untersuchungen in der Ostsee wurden die Probenahme und -behandlung an Bord sowie die anschließende Bearbeitung im Labor harmonisiert. Eine regionale Interkalibrierung im Kattegat (Großer Belt) brachte die folgenden Ergebnisse: Die Benthosgemeinschaft zeigte eine erstaunliche Heterogenität; einige Arten waren taxonomisch schwierig einzuordnen; die Variationen in den Abundanzen durch Sortierfehler sind im Vergleich zu Variationen durch räumliche Heterogenität und Schiffsprozeduren eher gering.

Ein Ringtest mit Proben aus der Kieler Bucht (Station Millionenviertel, Schlicksand 22 bis 24 m) wurde mit 13 Labors aus Deutschland, Dänemark und Schweden ausgewertet. Die Proben wurden in einem schwedischen Labor vorsortiert und taxonomisch bestimmt und zur nochmaligen Bearbeitung an die anderen Labors geschickt. Als Ergebnis traten Abweichungen von +11,6 % bis -20 % der Gesamtabundanz gegenüber dem Referenzlabor auf. Ein Teil dieser Variationen war auf Fehler des Referenzlabors zurückzuführen. Gemeinsam wurde eine Artenliste für schwierig zu bestimmende Taxa erstellt. Sie enthält 32 Arten.

3. Die abiotischen Verhältnisse in der Ostsee im Jahre 1997

Die jährliche Entwicklung und die interannuellen Schwankungsbreiten der für die biologische Entwicklung wichtigsten physikalischen und chemischen Variablen werden im Rahmen des hydrographisch-chemischen Monitorings gemessen. Die Ergebnisse sind ausführlich bei MATTHÄUS et al. (1998) dargestellt. Hier soll nur ein kurzer Abriss zur besseren Einordnung der folgenden Ergebnisse gegeben werden.

Der Winter entsprach von den Kältesummen her dem langjährigen Mittel (TIESEL, 1998), wobei der Dezember 1996 und der Januar 1997 kälter, die Monate Februar und März aber wärmer als der Durchschnitt waren. Dementsprechend stieg die Temperatur des Oberflächenwassers der Mecklenburger Bucht von < 1 °C Anfang Januar auf 3 °C im März an. Das Frühjahr blieb kühl, so daß sich die thermische Schichtung erst relativ spät ausbildete. Im Juni begann eine Wärmeperiode, die im August in einem extremen Maximum gipfelte. Der Sommer 1997 muß als der wärmste Sommer seit 1890 angesehen werden. Die sommerlichen Wassertemperaturen erreichten in einer 10 m mächtigen Deckschicht positive Anomalien von bis zu 6 K in der Arkona- und Bornholmsee. Die Monatsmittel der Wasseroberflächentemperatur erreichten im August Werte über 22°C. Eine ausgeprägte thermische Schichtung bestand im Bereich der Darßer Schwelle von Mitte Mai bis Anfang September. Der Herbst war kühl im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Starke Winde mit Tagesmitteln $> 10 \text{ m s}^{-1}$ wurden im Februar und Ende März/Anfang April 1997 gemessen. Von Ende Juni bis Anfang September herrschte schwachwindiges Wetter. Anfang bis Mitte September und Ende September/Anfang Oktober traten Stürme mit Tagesmitteln bis $17,3 \text{ m s}^{-1}$ über der westliche und mittlere Ostsee auf. Diese Sturmereignisse führten sehr warmes und salzreiches Wasser in die Ostsee, das Ende Oktober mit Temperaturen von 11,5 bis 13 °C und

Salzgehalten bis 18 PSU im Tiefenwasser des Bornholmbeckens beobachtet wurde. Kleinere Einstromereignisse fanden auch von Januar bis März und ein etwas stärkeres Ereignis Anfang April statt. Im August wurde im östlichen Gotlandbecken aber bereits wieder Schwefelwasserstoff ab 150 m Tiefe festgestellt. Zu Anfang 1998 waren die zentralen Ostseebecken wieder belüftet. Der Tiefenbereich des Bornholmbeckens war, im Gegensatz zu den Jahren 1995 und 1996, im gesamten Jahr 1997 frei von Schwefelwasserstoff.

Der bereits von NEHRING et al. (1996) beobachtete Rückgang der Winterkonzentrationen der Nährstoffe (für den Phosphor deutlicher als für den Stickstoff) im Oberflächenwasser bestätigte sich auch 1997. Mit der im Frühjahr einsetzenden Phytoplanktonentwicklung sinken die Nährstoffkonzentrationen und erreichen im Sommer Werte, die an der analytischen Nachweisgrenze liegen. Im August beginnt in der zentralen Ostsee eine Akkumulation von Nitrit und Ammonium oberhalb der Salzgehaltssprungschicht (50-70 m), wahrscheinlich aufgrund eines verstärkten Mineralisierungsgeschehens. Im weiteren Jahresverlauf dehnt sich dieser Bereich bis zur Oberfläche aus, wobei die Konzentrationen beider Nährstoffe jedoch zurückgehen.

Einer besonderen Erwähnung bedarf das Hochwasser der Oder im Juli/August 1997, das durch starke Regenfälle im Einzugsgebiet verursacht wurde. Entgegen verschiedener Voraussagen beschränkten sich die Auswirkungen im wesentlichen auf die Pommersche Bucht und südliche Arkonasee. Die gemessenen Konzentrationen der meisten anorganischen Nährstoffe waren in der gleichen Größenordnung wie zu Zeiten des üblichen verstärkten Oderausstroms im Frühjahr. Deutlich höhere Konzentrationen wurden aber für Silikat sowie für organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen gefunden. Im Bereich der Ausstromfahne der Oder vor Usedom kam es im August zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten. Eine ähnliche Situation (starke Schichtung, lange sonnenscheinreiche Ruhigwetterperiode) wurde auch im Sommer 1994 beobachtet und muß daher nicht unmittelbar mit dem Oderhochwasser in Verbindung gebracht werden. Langzeiteffekte der während des Hochwassers eingetragenen Nährstoffmengen auf das Ökosystem sind weder für die Pommersche Bucht noch für die Ostsee zu erwarten.

4. Ergebnisse

4.1. Phytoplankton

4.1.1. Jahresgang von Artenzusammensetzung und Biomasse

Entsprechend den sich im Jahresverlauf verändernden Umweltbedingungen verändert sich auch die Biomasse der einzelnen Phytoplanktonarten erheblich. Die Jahresgänge der Biomasse der wichtigsten taxonomischen Gruppen sind in den Abb. 2 und 3 für die am häufigsten beprobten Stationen dargestellt. In den Jahresgängen sind deutliche Biomassemaxima zu erkennen, die "Blüten". Wir halten uns an SMAYDA und WHITE (1990), die die Blüten definieren als "... differences from 'normal' levels of species abundance. This would require long-term monitoring to define 'normal' levels." WASMUND (1997) ermittelte beispielsweise als unteren Grenzwert für eine Cyanobakterienblüte in der eigentlichen Ostsee eine Frischmasse von 200 mg m^{-3} , in den hoch eutrophen Darß-Zingster Boddengewässern aber bereits 2000 mg m^{-3} .

Erfahrungsgemäß kommen im gesamten Untersuchungsgebiet jährlich drei Blüten vor (Frühjahrsblüte, Sommerblüte, Herbstblüte) die aber aufgrund des immer noch zu weitabständigen Probenahme-Rhythmus nur selten zum Zeitpunkt ihrer maximalen Ausprägung angetroffen werden. Da sich Verlauf und Artenzusammensetzung der Blüten in den verschiedenen Seegebieten unterscheiden, sollen diese separat behandelt werden.

4.1.1.1. Mecklenburger Bucht

Frühjahrsblüte

Insbesondere in den westlichen Gebieten der Ostsee findet man im allgemeinen innerhalb der Frühjahrsblüte zuerst eine Entwicklung von Kieselalgen (Bacillariophyceae), die von Dinoflagellaten (Dinophyceae) abgelöst wird (am besten sichtbar in Abb. 2 c). Die Frühjahrsblüte der Kieselalgen beginnt in der Mecklenburger Bucht normalerweise im März, also eher als in den östlicheren Teilen der Ostsee. Wahrscheinlich ist die Flachheit des Gewässers für den frühen Entwicklungszeitpunkt entscheidend. Auch in der Pommerschen Bucht gab es bisher Hinweise auf eine früh einsetzende Algenentwicklung.

Im Jahre 1997 fanden wir am 10.3.97 an Station 46 (Abb. 2 b) im Gegensatz zu den vorangegangenen Jahren (z.B. 1994, vgl. v. BODUNGEN et al., 1996) bereits eine erhöhte Phytoplanktonbiomasse (meistens *Thalassiosira levanderi*, *Rhizosolenia setigera*, *Peridiniella catenata*, *Thalassiosira baltica*, *Eutreptiella* sp., *Mesodinium rubrum*). Auch die zu diesem Zeitpunkt im Vergleich zum Februar schon deutlich reduzierten Nährstoffkonzentrationen (vgl. Tabelle 2) zeigen an, daß ein kräftiges Phytoplanktonwachstum stattgefunden haben muß. Es setzte sich bis zum nächsten Probennahmetermin (22.3.97) fort. Am 21./22.3.97 wurde in der Lübecker Bucht (Station 22) und der Kieler Bucht (Station 360) eine unterschiedlich stark ausgeprägte Kieselalgenblüte (*Thalassiosira baltica*) mit einer Gesamt-Frischmasse von 3838 bzw. 555 mg m⁻³ gefunden, die einem Kohlenstoffgehalt von 295 bzw. 29 mg C m⁻³ entsprechen. Aus der Phosphat-Abnahme im Wasser bis zu diesem Zeitpunkt kann man mittels des Redfield-Verhältnisses errechnen, daß mit der Frühjahrsblüte eine Phytoplanktonbiomasse von etwa 600 mg C m⁻³ gebildet wurde. Demnach könnte der Biomassegipfel in der Lübecker Bucht noch fast getroffen worden sein, während die Blüte in der Kieler Bucht zu dem Zeitpunkt schon vorüber war.

Erstaunlicherweise wird ein wesentlicher Teil der Phytoplanktonbiomasse an Station 12 und 46 am 22.3.97 bereits von Dinoflagellaten gebildet, und zwar von *Peridiniella catenata*, die sonst nicht hier, sondern in der eigentlichen Ostsee die Frühjahrsblüten bildet. Offensichtlich ist die Kieselalgenblüte in der Mecklenburger Bucht bereits Ende März vorüber, denn die große Masse der Kieselalgen (insbesondere *Achnanthes taeniata*, *Thalassiosira baltica*, *T. levanderi*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros* spp.) befindet sich nicht mehr im Oberflächenwasser, sondern bereits in 15 m Tiefe (d.h. unter der Sprungschicht). An Station 46 sind die Kieselalgen zwar noch dominant, doch auch hier ist die Tendenz des Absinkens der Kieselalgen bis auf den Grund und des Aufsteigens der Dinoflagellaten deutlich. Parallel treten auch nennenswerte Biomassen verschiedenster Flagellaten (meist Cryptophyceen [*Teleaulax amphioxeia*] und Euglenophyceen [*Phacus* sp.]) auf.

Spätestens zum 2.5.97 war die Frühjahrsblüte in der Kieler Bucht und Mecklenburger Bucht verschwunden, offensichtlich aufgrund von Phosphat-Limitation (vgl. Tabelle 2); es verblieben nur einige Flagellaten (meistens *Pyramimonas* sp. und *Katodinium rotundatum*, an Station 46 auch *Gymnodinium lohmannii* und *Protoperidinium brevipes*) sowie der Ciliat *Mesodinium rubrum*.

Selbst die Kieselalge *Skeletonema costatum*, die sich sonst in der Mecklenburger Bucht noch länger halten konnte oder sogar erst im April oder Mai eine separate Blüte bildete, wurde in Mai 1997 nicht mehr nachgewiesen.

Sommerblüte

Im Juli/August wurde die Phytoplanktonbiomasse hauptsächlich von Dinoflagellaten (*Gymnodinium lohmannii*, *G. splendens*) und Euglenophyceen (*Phacus* sp.) gebildet. Die in manchen Jahren Sommerblüten bildende Kieselalge *Dactyliosolen fragilissimus* (älteres Synonym: *Rhizosolenia fragilissima*) war lediglich an den Stationen 360 (Kieler Bucht) und 46 (östl. Meckl.Bucht) bedeutsam. Ab August traten auch vermehrt große thecate Dinoflagellaten (*Ceratium tripos*) und Aggregate von Cyanobakterien (*Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp.) auf, die durch ihre Größe dem Fraßdruck des Zooplanktons entgehen. Während *Ceratium* von Westen in die Mecklenburger Bucht vordringt, sind Blüten von Cyanobakterien eher auf die eigentliche Ostsee beschränkt. WASMUND (1997) fand die obere Grenze für die Entwicklung der Blüten von *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. bei einem Salzgehalt von 11,5 PSU; eine Grenze, die fast immer im Bereich der Beltsee überschritten wird. Trotzdem wurden 1997 zeitweise dichte Cyanobakterienblüten bis vor die schleswig-holsteinische Küste getrieben.

Herbstblüte

Im September/Oktober dominierten die Dinoflagellaten *Ceratium tripos*, *Prorocentrum minimum* und *Gymnodinium lohmannii*. Von den Kieselalgen waren an Station 46 am 15.9.97 *Dactyliosolen fragilissimus* und am 6.10.97 *Chaetoceros* sp. dominierend. Während *D. fragilissimus* bislang eher im Sommer gefunden worden ist, sind *Chaetoceros*-Arten häufige Frühjahrsalgen. Diese Kieselalgenarten waren zum 12.10.97 aber weitgehend wieder aus dem Oberflächenwasser verschwunden. Stattdessen trat ab 24.10.97 die typische Herbstart *Coscinodiscus granii* als dominante Art auf (bis mindestens 8.11.97). Sie hatte die *Ceratium*-Population komplett verdrängt.

4.1.1.2. Arkonasee

Frühjahrsblüte

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

Nach dem relativ milden Februar 1997 begann die Kieselalgenblüte etwas früher als nach kalten Wintern. Bereits am 17. März wurden hohe Biomassen im Oberflächenwasser der Arkonasee gefunden, die hauptsächlich von den Kieselalgen *Thalassiosira levanderi* und *Achnanthes taeniata* gebildet wurden (Abb. 2 c und 3 a). Es waren aber auch schon Dinoflagellaten (*Peridiniella catenata*, *Katodinium rotundatum*) sowie der photoautotrophe Ciliat *Mesodinium rubrum* in hohen Abundanzen vertreten. Diese Situation hielt mindestens bis zum 23./24.3.97 von der westlichen Arkonasee bis in die Pommersche Bucht an. Natürlich war die Phytoplanktonbiomasse in der Pommerschen Bucht (Stat. 162) mit 4060 mg m^{-3} deutlich höher als in der Arkonasee. Nach der Abnahme der Nährstoffkonzentrationen zu urteilen, fand die Hauptentwicklung zwischen dem 23.2. und dem 23.3.97 statt.

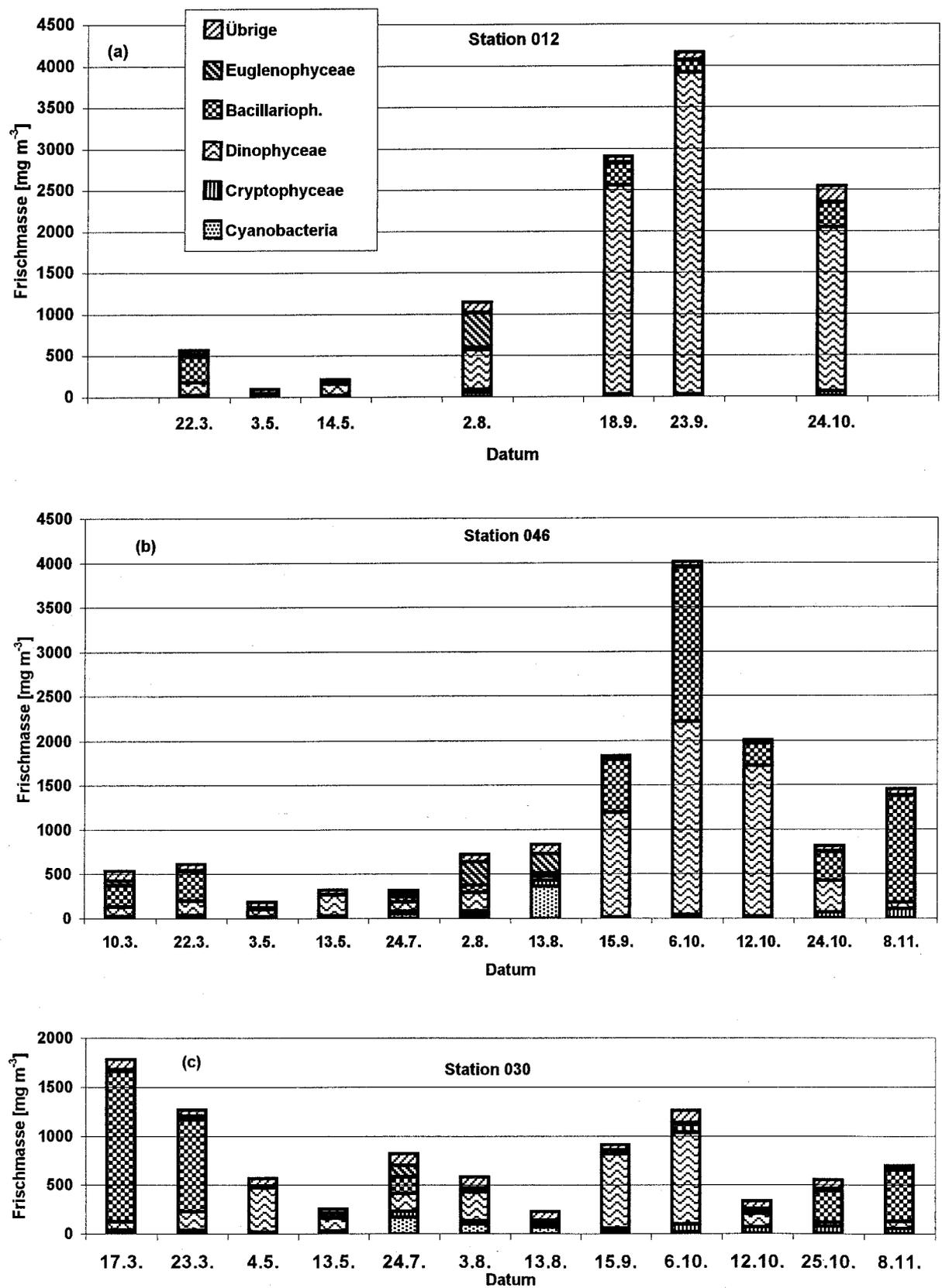


Abb. 2: Jahresgang 1997 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012 und 046) und der westlichen Arkonasee (Stat.030).

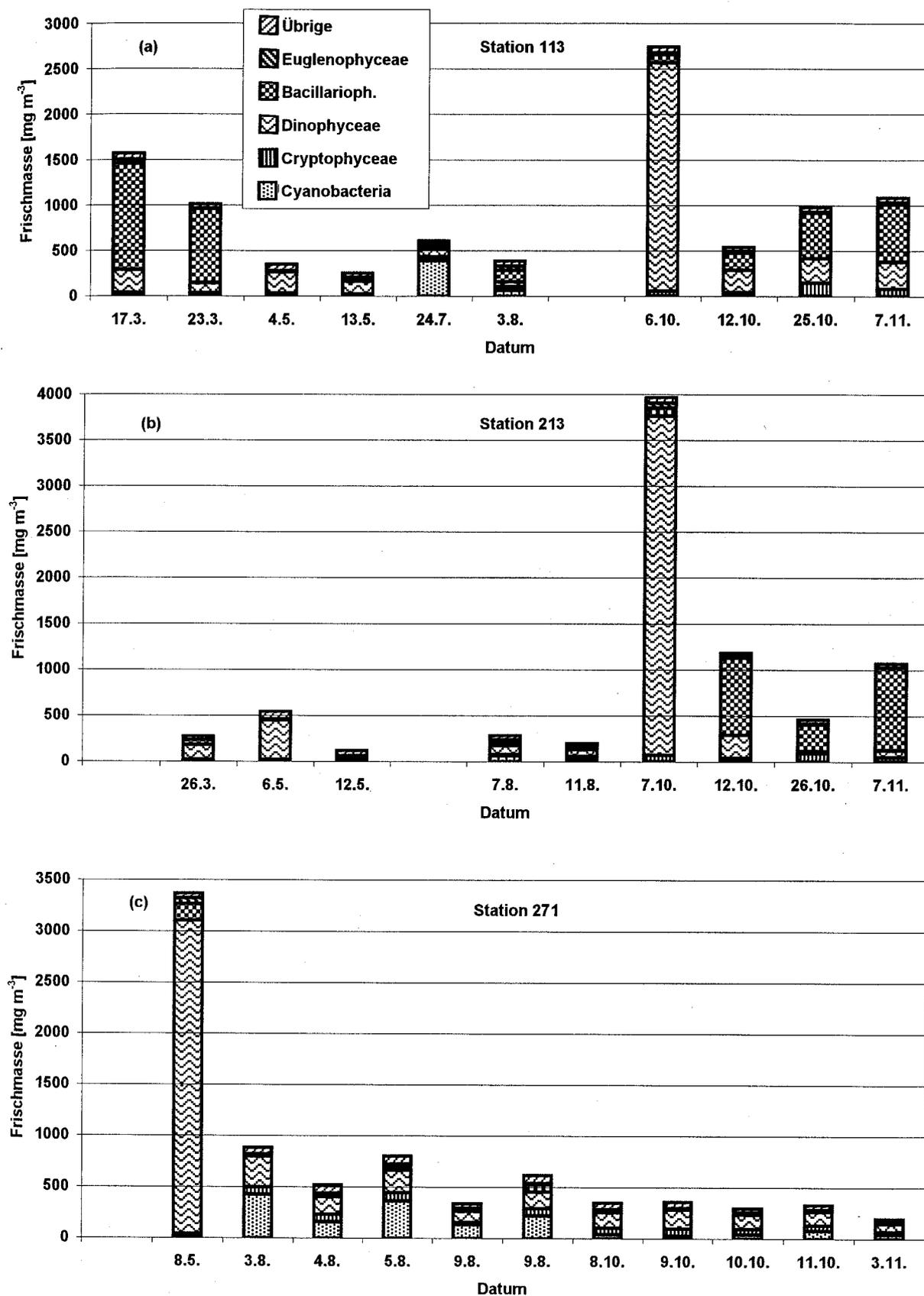


Abb. 3: Jahresgang 1997 der Phytoplanktonbiomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der zentralen Arkonasee (Stat. 113), der Bornholmsee (Stat. 213) und der Gotlandsee (Stat. 271).

Zum 4.5.97 waren im wesentlichen nur noch Dinoflagellaten (meist *Gymnodinium lohmannii*) im Oberflächenwasser verblieben. Nur noch die vielen leeren Schalen von *Chaetoceros simplex* zeigten, daß eine Kieselalgenblüte stattgefunden hatte. In der Pommerschen Bucht konnte sich noch eine bedeutende Population von *Chaetoceros* sp. halten, während *Gymnodinium lohmannii* nicht auftrat.

Sommerblüte

Im Juli und August beobachtet man eine mannigfaltige Phytoplanktongemeinschaft (*Gymnodinium splendens*, *G. lohmannii*, *Aphanizomenon* sp., *Woronichinia* spp., *Nodularia spumigena*, *Chaetoceros borealis*, *Eutreptiella* sp., *Phacus* sp., *Ceratium tripos*, *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax amphioxeia*). Die zeitweise beobachteten Cyanobakterienblüten konnten in unseren Proben nicht widergespiegelt werden; hier bietet sich die Beobachtung mittels Satelliten an.

Herbstblüte

Wie in der Mecklenburger Bucht entwickelte sich in der westlichen Arkonasee (Stat. 30) im September 1997 eine Dinoflagellatenblüte von *Ceratium tripos*, aber auch *Gymnodinium lohmannii* und *Prorocentrum minimum*. Im Laufe des Oktober verschwand *Ceratium tripos* zugunsten von *Gymnodinium lohmannii*. Ab 12.10.97 begann die Entwicklung der Kieselalge *Coscinodiscus granii*. Sie bildete am 25.10. und 7./8.11.97 die Hauptmasse des Phytoplanktons. In geringeren Biomassen waren auch z.B. die Flagellaten *Gymnodinium lohmannii*, *Katodinium rotundatum*, *Pyramimonas* sp., *Teleaulax acuta*, *Plagioselmis prolunga* vorhanden.

Tabelle 2: Nährstoffkonzentrationen (mmol m^{-3}) im Oberflächenwasser in den verschiedenen Seegebieten im Jahre 1997.

Monat	Meckl. Bucht			Arkonasee			Bornholmsee			Gotlandsee		
	N	P	Si	N	P	Si	N	P	Si	N	P	Si
Februar	6,6	0,56	12,9	4,4	0,38	10,9	4,4	0,50	12,4	3,8	0,43	9,6
März	0,7	0,11	4,1	1,2	0,16	5,3	3,0	0,39	12,3	3,9	0,44	11,4
Mai	0,3	0,01	1,8	0,3	0,02	4,4	0,3	0,13	9,8	0,3	0,12	8,9
August	0,4	0,06	6,6	0,3	0,01	4,3	0,6	0,02	4,5	0,4	0,04	5,7
Okt/Nov	0,4	0,23	10,1	0,4	0,24	10,1	0,6	0,25	9,3	1,0	0,18	7,5

4.1.1.3. Bornholmsee

Frühjahrsblüte

Am 26.3.97 konnte in der Bornholmsee (Stat. 213, siehe Abb. 3 b) noch keine Phytoplanktonblüte festgestellt werden. Die wichtigsten Kieselalgenarten (*Thalassiosira levanderi*, *Chaetoceros subtilis*) traten nur in geringen Biomassen auf, wohingegen der Dinoflagellat *Peridiniella catenata* bereits deutlich dominierte. In 30 m Tiefe (also noch oberhalb der Sprungschicht) fand sich *Achnanthes taeniata* mit hoher Biomasse (200 mg m^{-3}).

Am 6.5.97 waren immer noch Dinoflagellaten (*Gymnodinium lohmannii*, *Peridiniella catenata*) dominant. Selbst in größeren Wassertiefen (55m, 80m) waren keine Kieselalgen nachzuweisen. Das Ausbleiben einer Kieselalgenblüte ist auch an den von Februar bis Mai kaum verringerten Silikatkonzentrationen zu erkennen (vgl. Tabelle 2).

Sommerblüte

Im Juli und August bilden im allgemeinen *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. Blüten, die zwar für den Betrachter markant sind, von ihrer Biomasse her aber wesentlich weniger in Erscheinung treten. Eine größere Biomasse stellen Begleitarten, z.B. *Gymnodinium splendens*, *G. lohmannii*, *Chaetoceros danicus*, *Phacus* sp. und *Plagioselmis prolunga*.

Herbstblüte

Am 7.10.97 bildete der große Dinoflagellat *Gymnodinium lohmannii* in der Bornholmsee eine Blüte. Eine Dinoflagellatenblüte haben wir hier bislang noch nicht beobachtet. Diese Art wurde aber bereits am 12.10.97 von Kieselalgen (*Coscinodiscus granii*) verdrängt, die bis zum 7.11.97 dominant blieben.

4.1.1.4. Gotlandsee

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

Frühjahrsblüte

Im März (28.3.) wurde nur der südliche Teil des östlichen Gotlandbeckens (Stat. 259) beprobt. Hier war die Phytoplanktonbiomasse erwartungsgemäß mit 224 mg m^{-3} noch gering. Das Phytoplankton bestand hauptsächlich aus Dinoflagellaten (*Peridiniella catenata*, *Gymnodinium lohmannii*, *Gyrodinium fusiforme*), Euglenophyceen (*Eutreptiella* sp.) und dem Ciliaten *Mesodinium rubrum*. Bis zum 8.5.97 waren speziell *Peridiniella catenata* und *Gymnodinium lohmannii* im Oberflächenwasser sowohl der Station 259 als auch der Station 271 (Abb. 3 c) bis auf eine Frischmasse von etwa 3400 mg m^{-3} gewachsen, was einem C-Gehalt von etwa 410 mg C m^{-3} entspricht. Damit dürfte die Spitze der Phytoplanktonblüte getroffen sein, denn aus der Abnahme der P-Konzentration von Februar bis Mai läßt sich nach dem Redfield-Verhältnis die Bildung von genau dieser Kohlenstoffmenge errechnen.

Sommerblüte

Im August wurden bei geringen Windstärken starke Blüten der Cyanobakterien *Nodularia spumigena* und *Aphanizomenon* sp. an bzw. auf der Wasseroberfläche sichtbar, die allerdings sehr fleckenhaft verteilt waren. Bezüglich der Tiefenverteilung scheint *Nodularia* die obersten Wasserschichten zu bevorzugen, während *Aphanizomenon* eher in 10-20 m Tiefe zu finden ist. Als Begleitarten kommen insbesondere *Gymnodinium lohmannii*, *G. splendens*, *Protoperidinium* spp., *Thalassiosira levanderi*, *Coelosphaerium kuetzingianum* und *Plagioselmis prolunga* vor. Häufig werden Fluoreszenzmaxima in der Tiefe der Temperatursprungschicht (um 20 m) festgestellt, die durch *Dinophysis norvegica* hervorgerufen werden.



Abb. 4: Verteilung der Cyanobakterien am 9. August 1997

Mit den sichtbaren Spektralkanälen des Advanced Very High Resolution Radiometers der NOAA-Wettersatelliten konnte die Cyanobakterienentwicklung während einer Schwachwindphase vom 6.8.- 13.8.1997 südlich der Insel Gotland verfolgt werden. Im Maximum bedeckte die Blüte eine Fläche von ca. 19000 km², was eine Szene des WIFS-Sensors des indischen Satelliten IRS-1C in Abb. 4 belegt. Die Strukturen in der Verteilung der Cyanobakterien, die durch die Oberflächenzirkulationsprozesse erzeugt werden, bleiben über den Beobachtungszeitraum weitgehend erhalten. Am 11. August wurde ein Patch im Nordwesten des beeinflussten Gebietes beprobt, in dem die Blüte an der Wasseroberfläche eine Schichtdicke von ca. 5 cm aufwies. Die Probe belegte die Dominanz von *Nodularia spumigena*. Die gemessene Konzentration von Chlorophyll a betrug 419 mg m⁻³ und die von Phaeopigment a 36 mg m⁻³.

Herbstblüte

Trotz engabständiger Probenahmen in der östlichen Gotlandsee konnte hier im Gegensatz zu den anderen Seegebieten Anfang Oktober keine Blüte gefunden werden. *Gymnodinium lohmannii* erreichte hier eine Biomasse bis 110 mg m⁻³. Daneben waren *Prorocentrum minimum*, *Dinophysis norvegica*, *Ebria tripartita*, *Aphanizomenon* sp., *Teleaulax acuta*, *T. amphioxeia*, *Plagioselmis prolunga*, *Thalassiosira levanderi* und *Pyramimonas* sp. erwähnenswert. Die Kieselalgen *Coscinodiscus granii* und *Actinocyclus octonarius*, die sonst die Herbstblüte bildeten, traten 1997 nicht auf. Zum 3.11.97 reduzierte sich die Biomasse auf 185 mg m⁻³, ohne daß noch neue Arten zur Entwicklung kamen. Die starken Stürme Ende September/Anfang Oktober haben eine verstärkte Durchmischung bewirkt, die dann zu einer schnellen Abkühlung des Oberflächenwassers der Gotlandsee geführt hat.

4.1.2. Sedimentation

Da die Sedimentationsraten bisher nur an einer Station im Gotlandtief aufgenommen wurden, können keine Aussagen über räumliche Unterschiede, sondern nur über die zeitliche Variabilität an dieser einen Station getroffen werden. Durch die langen Expositionszeiten der Fallen von bis zu einem halben Jahr und die relativ lange Aufarbeitungszeit steht der komplette Datensatz erst mit ungefähr einem Jahr Verzug zur Verfügung. Deshalb können hier nur einige Ergebnisse der Meßphase 1996 vorgestellt werden.

Als Beispiel für Hauptelemente sind in Abb. 5 die Flüsse von partikulärem Silikat und Phosphat in die Fallen in 120 und 220 m Tiefe dargestellt. Eine quantitativ wichtige Phase ist das Frühjahr (März/April), in dem das Absinken der Frühjahrsblüte für hohen sedimentären Transport sorgt. Die Silikatwerte deuten dabei auf Kieselalgen (Diatomeen) als Hauptkomponente der Sinkstoffe. Die extrem hohen Werte in der Falle in 220 m Tiefe sind auf eine Resuspension von Sedimentpartikeln zurückzuführen, die durch in dieser Zeit offenbar sehr hohe bodennahe Strömungsereignisse ausgelöst wurde. Mit der Entwicklung des oligotrophen, relativ geschlossenen sommerlichen pelagischen Systems werden die Sedimentationsraten geringer und steigen erst im September, auch wieder mit einer starken Erhöhung der Silikatflüsse an.

Die mikroskopische Auswertung der Sinkstoffe bestätigte die Dominanz der Kieselalgen im Frühjahr 1996 (Abb. 6). Diese starke Frühjahrs-Kieselalgenentwicklung ist ungewöhnlich für die Station 271, wenn man mit den pelagischen Phytoplanktonzählungen der vorhergehenden Jahre oder dem Jahre 1997 vergleicht. Aber der vergleichsweise hohe Silikatverbrauch von 6,6 µmol l⁻¹ im Frühjahr 1996 an Station 271 spricht tatsächlich für eine Kieselalgenblüte (vgl. mit Abb. 14).

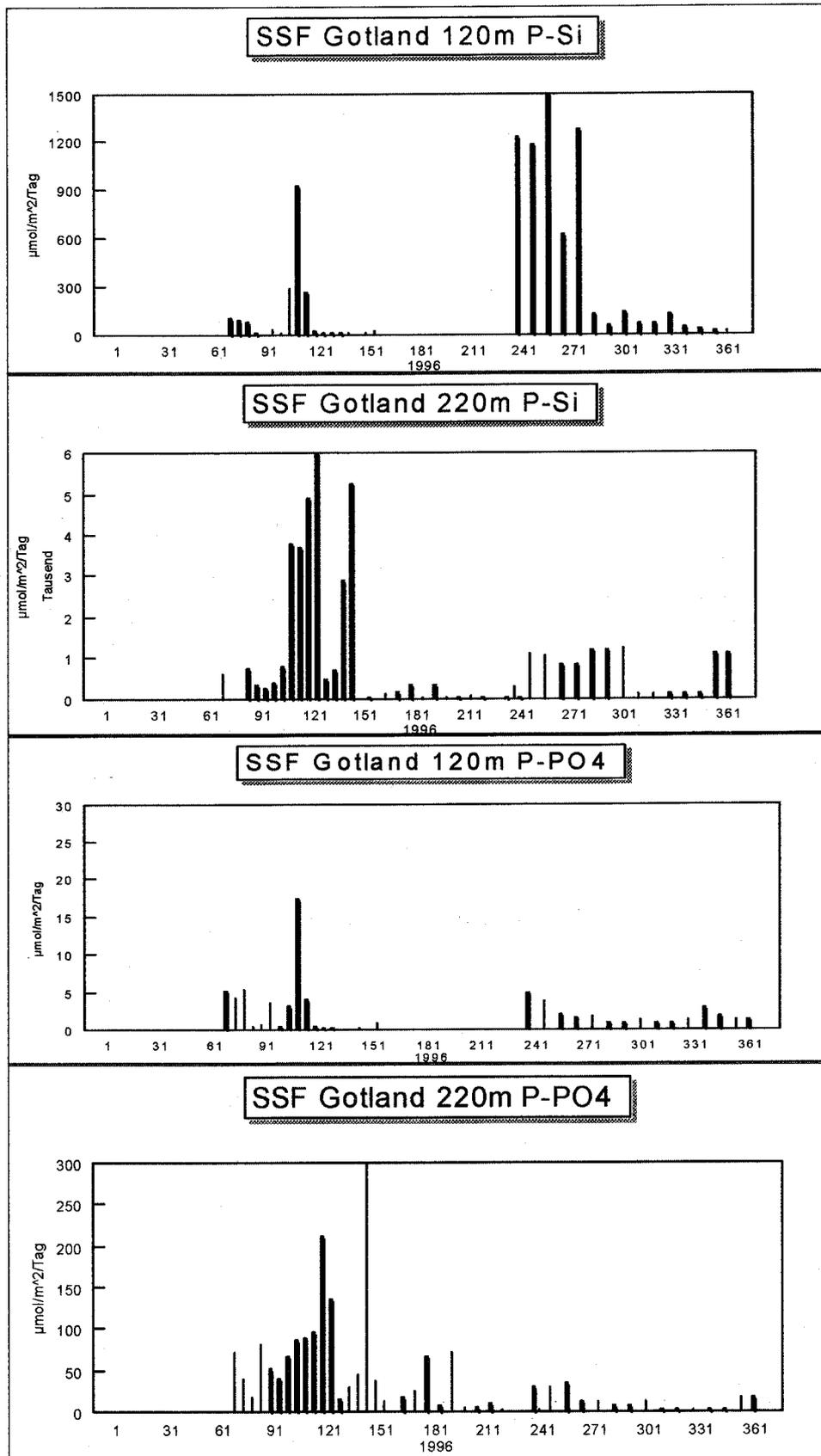


Abb. 5 : Tägliche Sedimentationsraten von partikulärem Silikat und Phosphor in zwei Sedimentationshorizonten (120m,220m) auf der Station 271 im Jahre 1996.

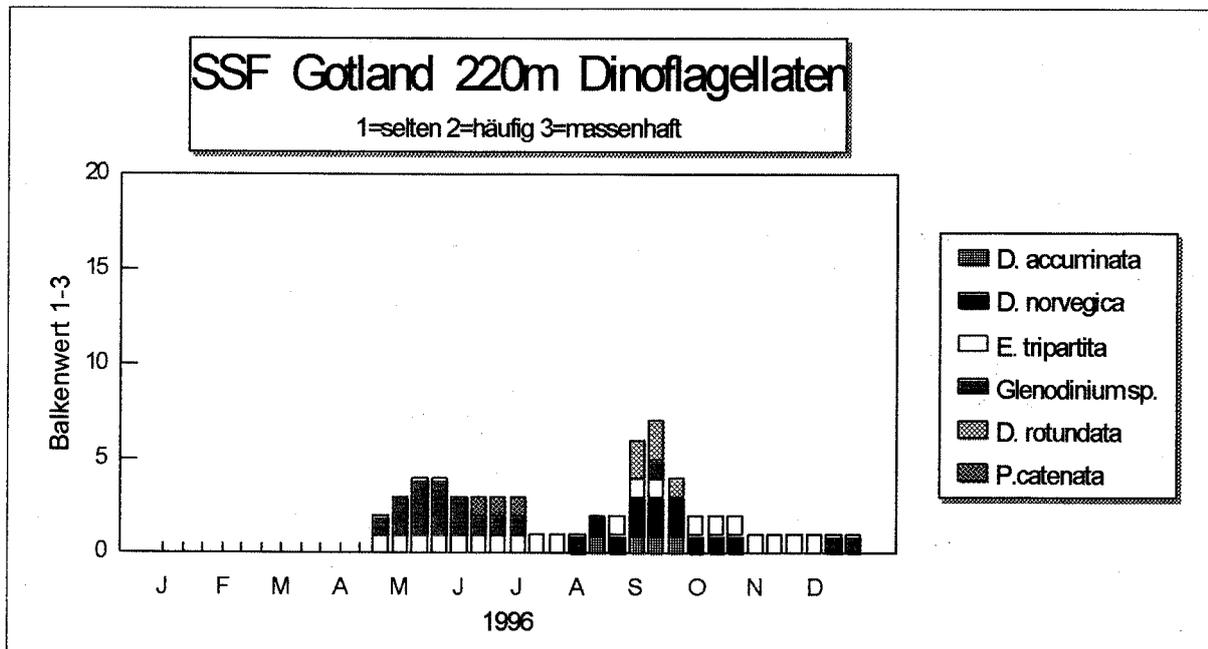
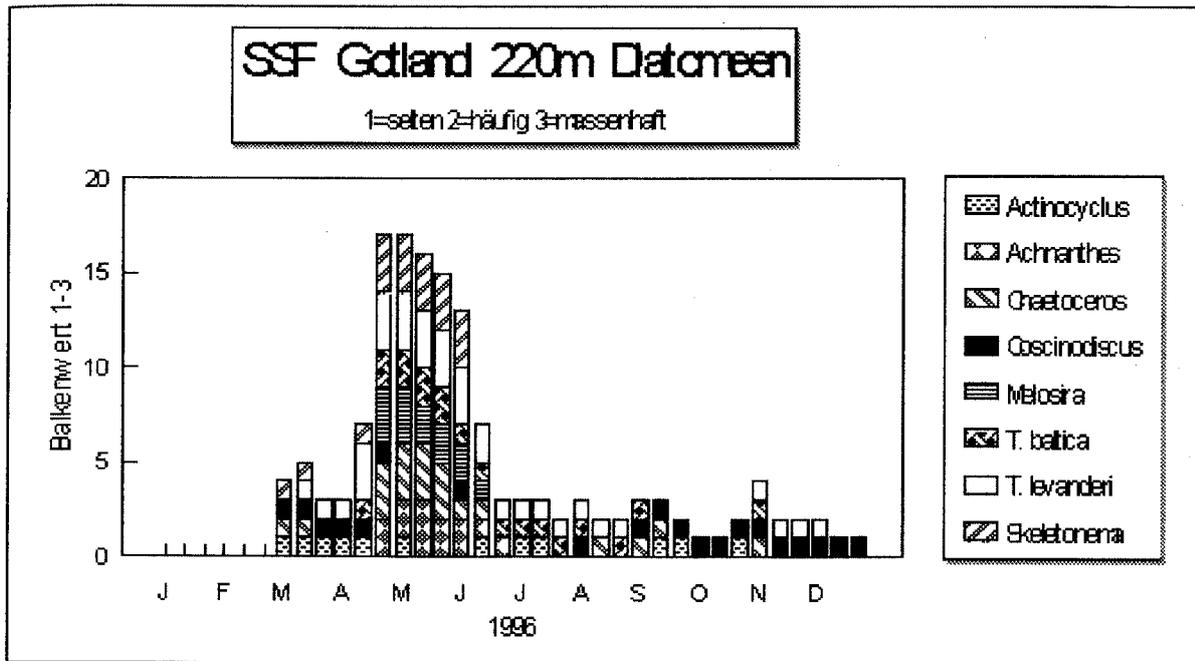


Abb.6: Relative Häufigkeit von Diatomeen- und Dinoflagellatenarten im Material der Sinkstoffalle in 220 m Tiefe, Stat. 271

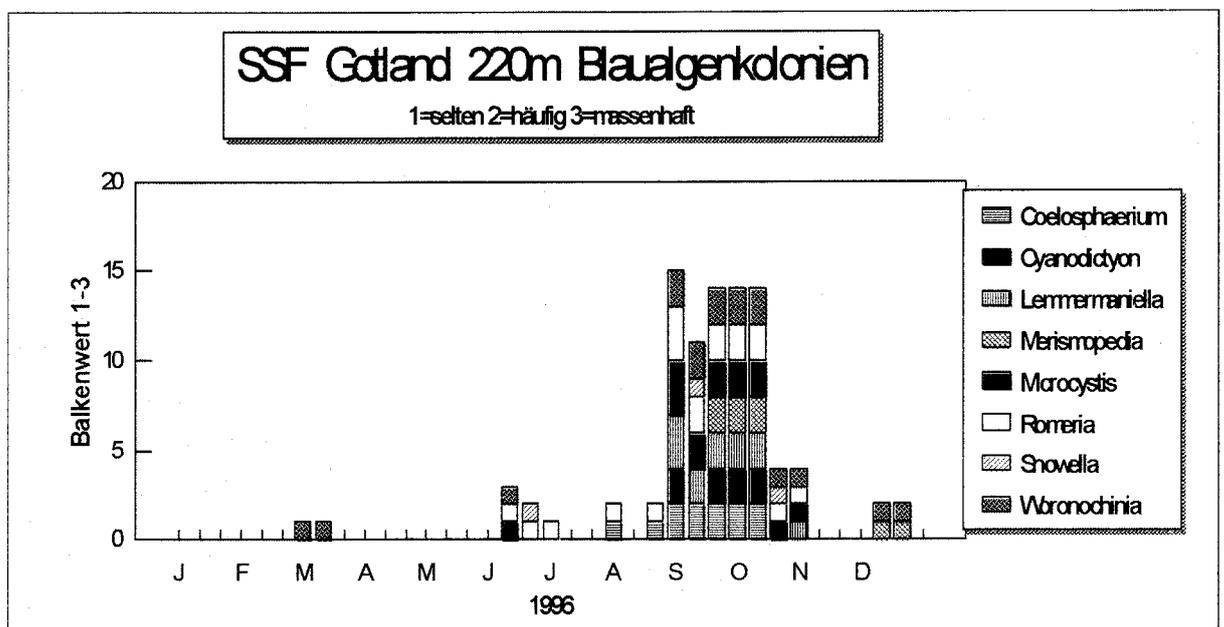
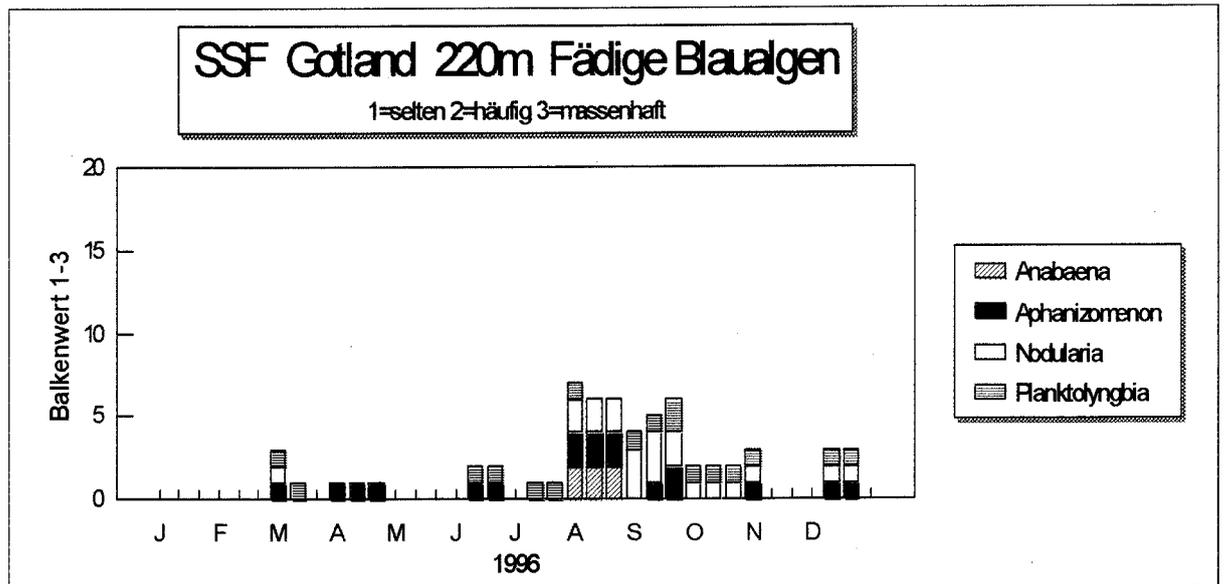


Abb.7: Relative Häufigkeit von verschiedenen fädigen und kolonialen Cyanobakterien im Material der Sinkstoffalle in 220 m Tiefe, Stat. 271

Aus den mikroskopischen Analysen (Abb. 6 und 7) ist eine deutliche jahreszeitliche Abfolge unterschiedlicher Algengruppen im Sedimentationsgeschehen zu erkennen: Die aus verschiedenen pelagischen Kieselalgen bestehende Frühjahrsblüte bildet sich sehr deutlich ab. Auf sie folgen geringere Mengen von Dinoflagellaten im Mai/Juni, die dann wiederum von Cyanobakterien im Spätsommer mit einem zunehmenden Anteil an Dinoflagellaten zum Herbst abgelöst werden. Die hohen Silikatanteile (Abb. 5) koinzidieren mit der Sedimentationsphase der filamentösen Cyanobakterien und sind höchstwahrscheinlich auf mit ihnen (bes. *Nodularia*) vergesellschaftete pennate Kieselalgen zurückzuführen. Diese Kieselalgen können die Cyanobakterienfilamente extrem überwachsen und ihr Absinken durch das Gewicht der Silikatschalen beschleunigen. Da sie aber extrem klein (3 μm) sind, fallen sie durch das Beobachtungsraster der lichtmikroskopischen Zählungen und tauchen in den Protokollen nicht auf. Es sind Referenzproben aus diesem Zeitraum für die Elektronenmikroskopie vorbereitet und wir erwarten von der Auswertung eine Bestätigung dieser Hypothese. In einzelnen Stichproben wurden schon eine hohe Anzahl dieser Kieselalgen gefunden.

Insgesamt zeigt sich dieses Sedimentationsereignis der Cyanobakterien/Kieselalgen-Gemeinschaft neben der Frühjahrsblüte auch quantitativ als eine der wichtigsten Phasen im Jahresverlauf. Die ursprünglich für sehr wichtig erachtete Sedimentation der Kieselalgen-Herbstblüte hatte im Jahre 1996 nur eine sehr geringe Auswirkung auf den vertikalen Stofffluß. Diese Befunde gelten bislang nur für das Jahr 1996 und lassen sich erst verallgemeinern, wenn die Ergebnisse mehrerer Jahre vorliegen. Schon jetzt wird deutlich, daß sich die saisonale Artensukzession der wichtigsten Algengruppen im Hinblick auf ihre quantitative Rolle beim Partikelexport in den Fallen gut abbildet.

4.1.3. Jahresgang der Chlorophyll a - Konzentration

Die Chlorophyll a - Konzentration und die Frischmasse des Phytoplanktons sind selbst für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % miteinander korreliert (Abb. 8). Der Chlorophyll-Jahresgang entspricht daher etwa den bereits in Abb. 2 und 3 dargestellten Jahresgängen der Biomasse. Da die Chlorophyllkonzentrationen im Vergleich zur Phytoplankton-Frischmasse recht exakt zu ermitteln sind, sollen die Meßwerte in Tabellenform gezeigt werden (Tabelle 3). Aber auch hier gilt das bereits erwähnte Problem, daß mit der punktuellen Probennahme die Variabilität der Phytoplanktonbiomasse nicht adäquat wiedergespiegelt wird. Insbesondere wird die Spitze der Biomasseentwicklung meistens nicht getroffen. Es besteht aber speziell für die Frühjahrsblüte, deren Entwicklung fast ausschließlich auf neuer Produktion beruht, die Möglichkeit, die potentiell gebildete Phytoplanktonbiomasse aus der Abnahme der Nährstoffkonzentrationen zu berechnen. Somit könnte z.B. die Spitze der Frühjahrsblüte in der Mecklenburger Bucht bei etwa 600 mg C m^{-3} liegen. Das entspricht einer "Cytoplasma-Frischmasse" von etwa 5450 mg m^{-3} . Speziell bei Kieselalgen muß man allerdings noch die große Vakuole hinzuzählen, so daß z. B. bei der in der Lübecker Bucht angetroffenen Kieselalgenblüte mit einer maximalen Frischmasse von etwa 8000 mg m^{-3} zu rechnen wäre. Bei Annahme eines C:Chl.a-Faktors von 30 (nach GARGAS et al., 1978) dürften die maximal gebildeten 600 mg C m^{-3} einer maximal möglichen Chlorophyll-a - Konzentration der Frühjahrsblüte von etwa 20 mg m^{-3} entsprechen.

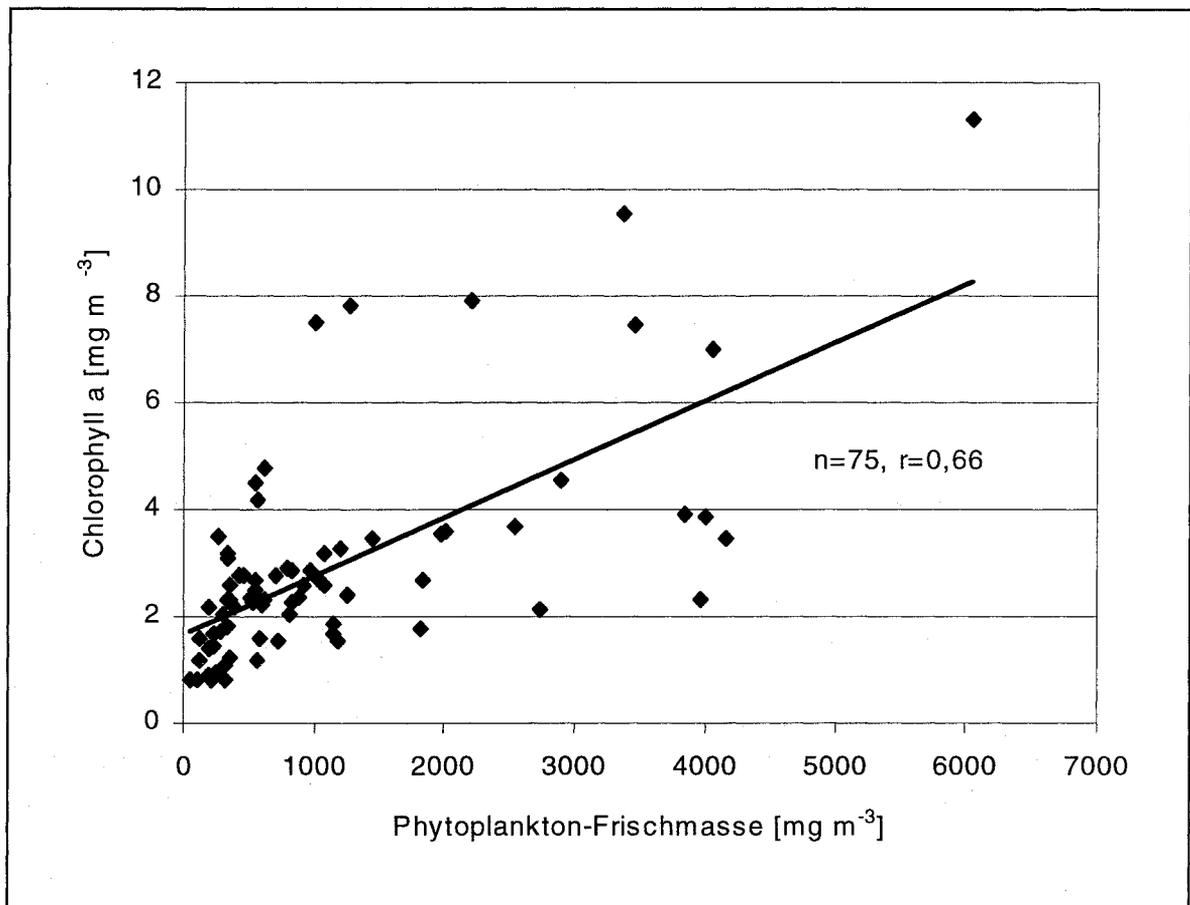


Abb. 8: Beziehung zwischen Phytoplanktonfrischmasse und Chl a (Mittelwerte aus 0-10 m Tiefe, 1997).

4.1.4. Langzeitrend der Artenzusammensetzung

Die Phytoplanktondaten von 1997 dienen der Fortschreibung der Datenreihe des Ostsee-Monitorings. Unter Einbeziehung der bis 1993 allgemein zur Verfügung stehenden HELCOM-Daten ergeben sich die in Abb. 9 bis 13 dargestellten Entwicklungen der Phytoplanktonbiomasse und -zusammensetzung von 1979 bis 1997 in den verschiedenen Seegebieten und zu den einzelnen Jahreszeiten. Die starken Schwankungen der absoluten Biomassen sind methodisch bedingt und erlauben keine Trenduntersuchungen. Ursachen und Konsequenzen werden in Kapitel 5.2. diskutiert. Es wird offensichtlich, daß gerade bei der subjektiv beeinflussten mikroskopischen Methode große Abweichungen zwischen den verschiedenen Bearbeitern bezüglich der Berechnung der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons entstehen, wohingegen diese Methode die einzig mögliche ist, um qualitative Abschätzungen vorzunehmen.

Tabelle 3: Konzentration von Chlorophyll a und Phaeopigment a in der euphotischen Zone (0 bis 20 m Tiefe oder bis Grund) als integrierte Werte ("Säulensumme") oder Mittelwerte ("Säulenmittel").

Station	Datum	Säulensumme [mg m^{-2}]		Säulenmittel [mg m^{-3}]	
		Chl.a	Phaeo.a	Chl.a	Phaeo.a
360	21.3.97	37,36	19,63	2,19	1,15
360	2.5.97	22,58	22,91	1,5	1,52
360	1.8.97	29,26	8,87	1,95	0,59
12	22.3.97	89,20	24,20	4,46	1,21
12	3.5.97	21,60	29,60	1,08	1,48
12	14.5.97	16,80	14,00	0,84	0,7
12	2.8.97	37,40	13,00	1,87	0,65
12	18.8.97	60,20	5,00	3,01	0,25
12	18.9.97	64,40	5,20	3,22	0,26
12	23.9.97	52,80	6,40	2,64	0,32
12	24.10.97	60,80	13,80	3,04	0,69
22	22.3.97	124,20	36,80	6,21	1,84
22	3.5.97	20,00	35,00	1	1,75
22	2.8.97	34,40	12,40	1,72	0,62
22	23.10.97	73,00	10,60	3,65	0,53
30	23.3.97	124,40	16,80	6,22	0,84
30	4.5.97	28,80	18,60	1,44	0,93
30	13.5.97	20,40	10,20	1,02	0,51
30	24.7.97	46,00	11,80	2,3	0,59
30	3.8.97	31,80	13,20	1,59	0,66
30	13.8.97	31,00	11,80	1,55	0,59
30	15.9.97	49,20	16,40	2,46	0,82
30	6.10.97	33,40	26,00	1,67	1,3
30	12.10.97	36,60	30,20	1,83	1,51
30	25.10.97	43,40	22,20	2,17	1,11
30	8.11.97	54,80	18,80	2,74	0,94
46	22.3.97	65,80	19,20	3,29	0,96
46	3.5.97	20,20	17,80	1,01	0,89
46	13.5.97	17,40	10,80	0,87	0,54
46	25.7.97	28,40	7,40	1,42	0,37
46	2.8.97	34,80	13,60	1,74	0,68
46	13.8.97	41,80	16,20	2,09	0,81
46	15.9.97	51,20	9,40	2,56	0,47
46	6.10.97	57,40	9,20	2,87	0,46
46	12.10.97	67,40	11,20	3,37	0,56
46	24.10.97	39,40	16,00	1,97	0,8
46	8.11.97	51,40	21,60	2,57	1,08
113	23.3.97	159,00	17,60	7,95	0,88
113	4.5.97	23,00	10,60	1,15	0,53
113	13.5.97	15,20	5,20	0,76	0,26
113	24.7.97	39,20	12,20	1,96	0,61
113	3.8.97	46,00	13,20	2,3	0,66
113	6.10.97	36,80	27,40	1,84	1,37
113	12.10.97	25,40	18,40	1,27	0,92
113	25.10.97	50,40	19,20	2,52	0,96
113	7.11.97	39,40	13,60	1,97	0,68

Fortsetzung Tabelle3:

Station	Datum	Säulensumme [mg m ⁻²]		Säulenmittel [mg m ⁻³]	
		Chl.a	Phaeo.a	Chl.a	Phaeo.a
162	24.3.97	85.04	39.71	6.8	3.17
162	5.5.97	28.36	14.92	2.83	1.49
162	4.8.97	131.24	52.18	9.72	3.86
162	14.9.97	79.93	27.70	7.99	2.76
162	27.10.97	32.08	19.32	3.2	1.93
213	26.3.97	73.20	12.20	3.66	0.61
213	6.5.97	67.00	6.60	3.35	0.33
213	12.5.97	28.60	4.40	1.43	0.22
213	7.8.97	33.20	9.40	1.66	0.47
213	11.8.97	25.60	10.80	1.28	0.54
213	7.10.97	47.60	21.40	2.38	1.07
213	12.10.97	30.80	19.80	1.54	0.99
213	26.10.97	37.20	14.00	1.86	0.7
213	7.11.97	30.60	12.40	1.53	0.62
259	28.3.97	34.40	7.20	1.72	0.36
259	7.5.97	133.40	9.40	6.67	0.47
259	8.8.97	53.60	5.60	2.68	0.28
259	31.10.97	26.00	11.60	1.3	0.58
271	8.5.97	166.60	12.00	8.33	0.6
271	3.8.97	37.20	9.80	1.86	0.49
271	4.8.97	37.40	9.40	1.87	0.47
271	5.8.97	34.00	9.00	1.7	0.45
271	9.8.97	41.80	0.00	2.09	
271	9.8.97	51.40	8.80	2.57	0.44
271	8.10.97	40.60	9.60	2.03	0.48
271	9.10.97	39.60	12.80	1.98	0.64
271	10.10.97	40.00	13.60	2	0.68
271	11.10.97	44.00	17.60	2.2	0.88
271	3.11.97	37.00	12.20	1.85	0.61

Wesentliche qualitative Veränderungen lassen sich speziell bei der Frühjahrsblüte feststellen. Wie schon im Kapitel 4.1. ausführlich dargelegt, besteht die Frühjahrsblüte hauptsächlich aus Kieselalgen und Dinoflagellaten, wobei in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee die Kieselalgen, in der Bornholmsee und der Gotlandsee die Dinoflagellaten deutlich dominieren (vgl. Abb. 9 und 10 mit Abb. 12 und 13). In der Bornholmsee und südlichen Gotlandsee setzen sich die Dinoflagellaten auf Kosten der Kieselalgen immer stärker durch. Auch 1997 fanden wir in der Bornholmsee und Gotlandsee keine Kiesellagenblüte. Diese bereits von WASMUND et al. (1998) beschriebene Tendenz setzte sich also 1997 fort. Der Rückgang der Kieselalgen kann mit der verringerten Silikatzehrung in Verlaufe des Frühjahrs bestätigt werden (Säulendarstellung in Abb. 14). Silikat wird nur von den Kieselalgen benötigt und nimmt deshalb im Wasser analog zum Kieselalgenwachstum ab. Aus Tabelle 2 wird deutlich, daß die Silikatzehrung während des Frühjahrs von West nach Ost geringer wird. In der Bornholmsee und Gotlandsee kam es zu keiner bedeutenden Silikatabnahme, also keiner Kiesellagenblüte. Nach WASMUND et al. (1998) beginnt die Abnahme der Kieselalgenentwicklung bereits im Jahre 1989, und zwar hauptsächlich in der südlichen Gotland- und Bornholmsee, in geringerem Maße sogar in der Arkonasee.

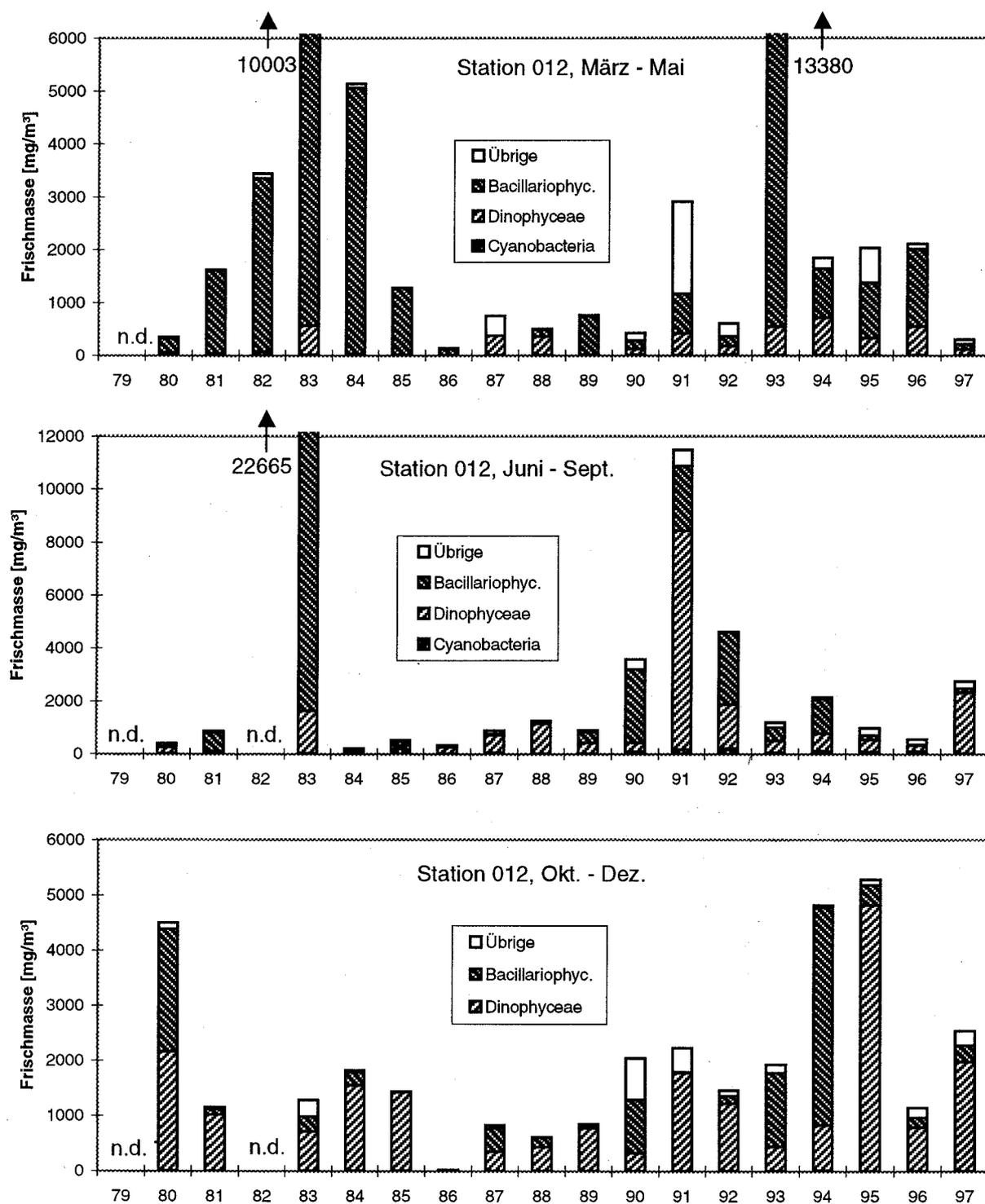


Abb. 9: Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1997, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012).

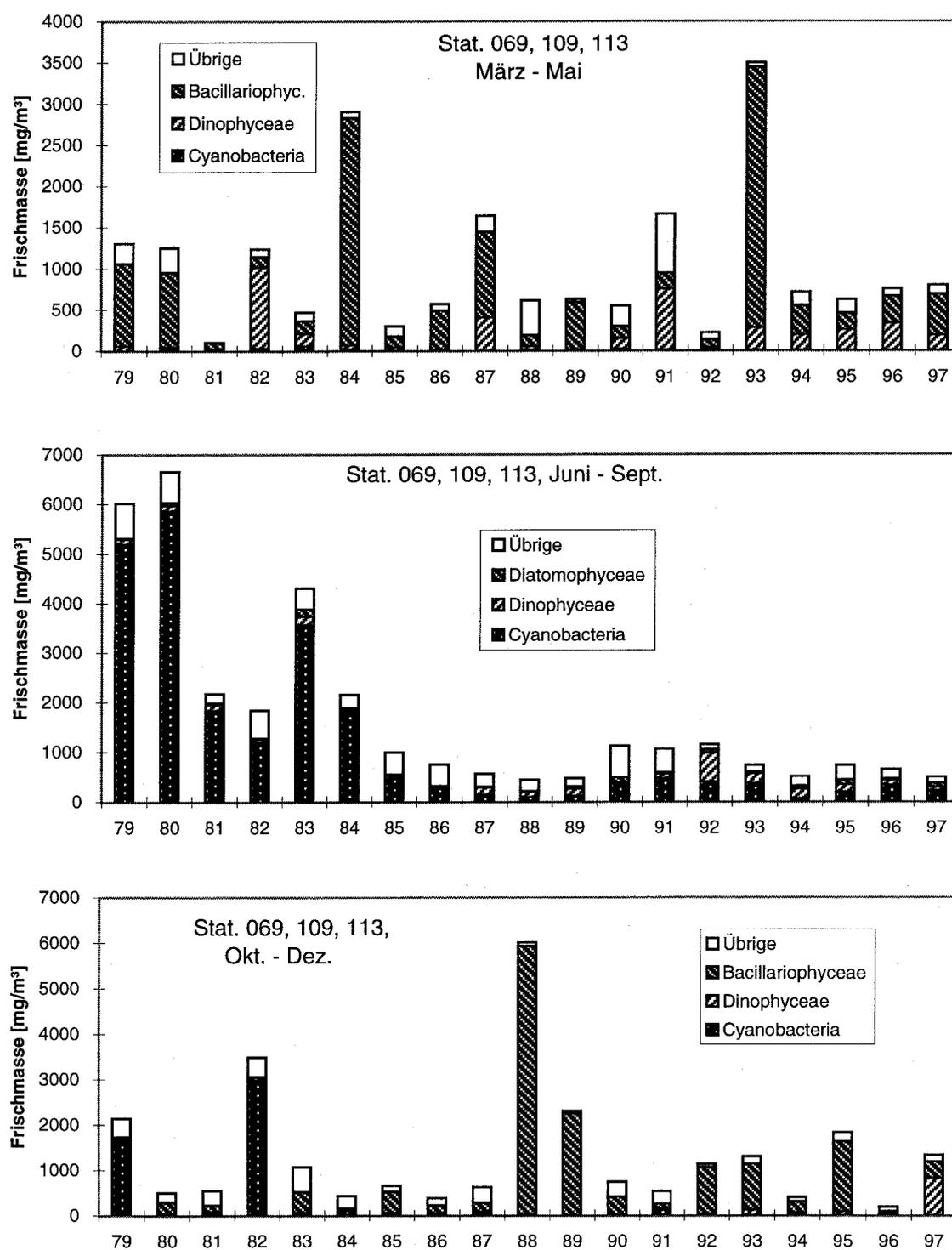


Abb. 10: Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1997, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Arkonasee (Stat. 069, 109 und 113 zusammengefaßt).

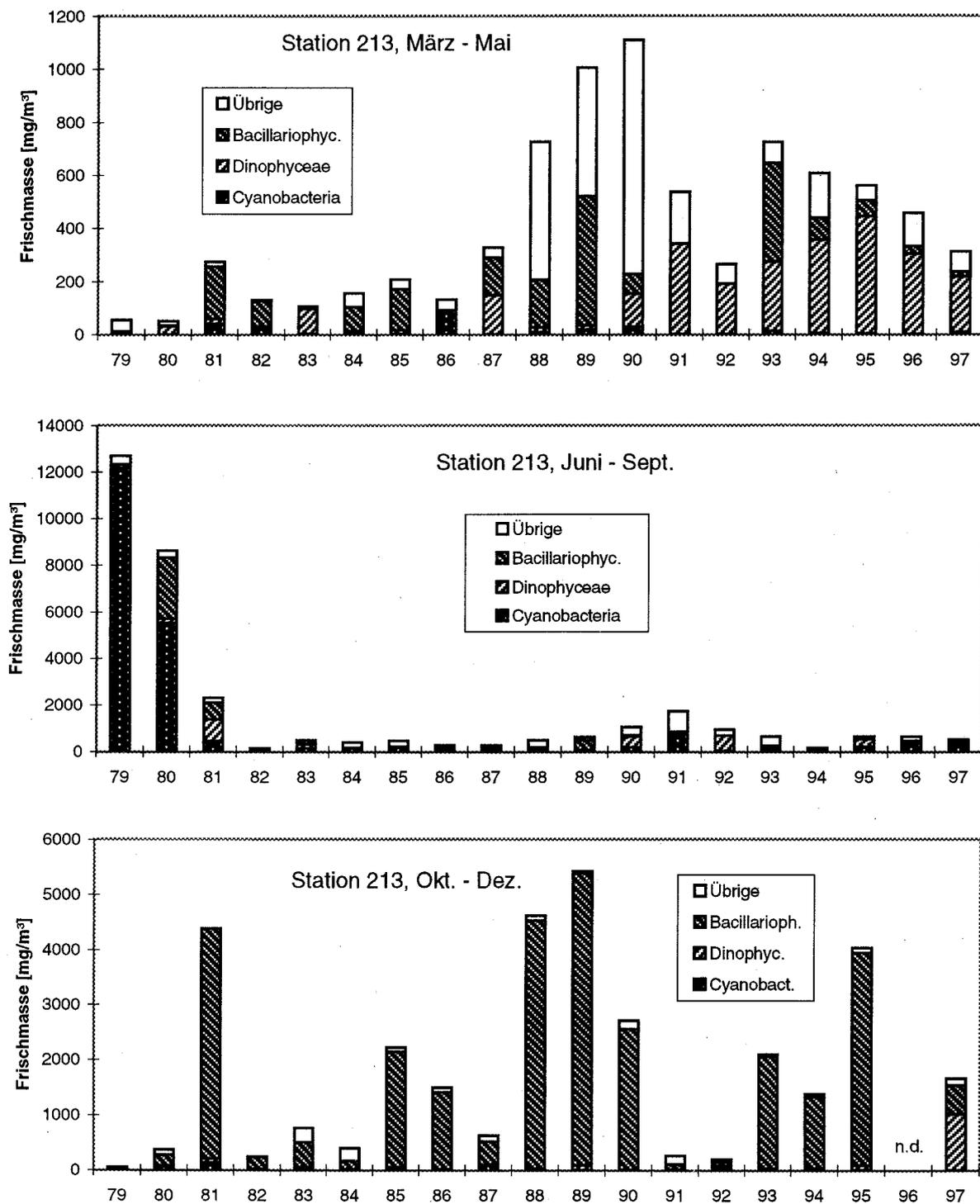


Abb. 11: Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1997, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der Bornholmsee (Stat. 213).

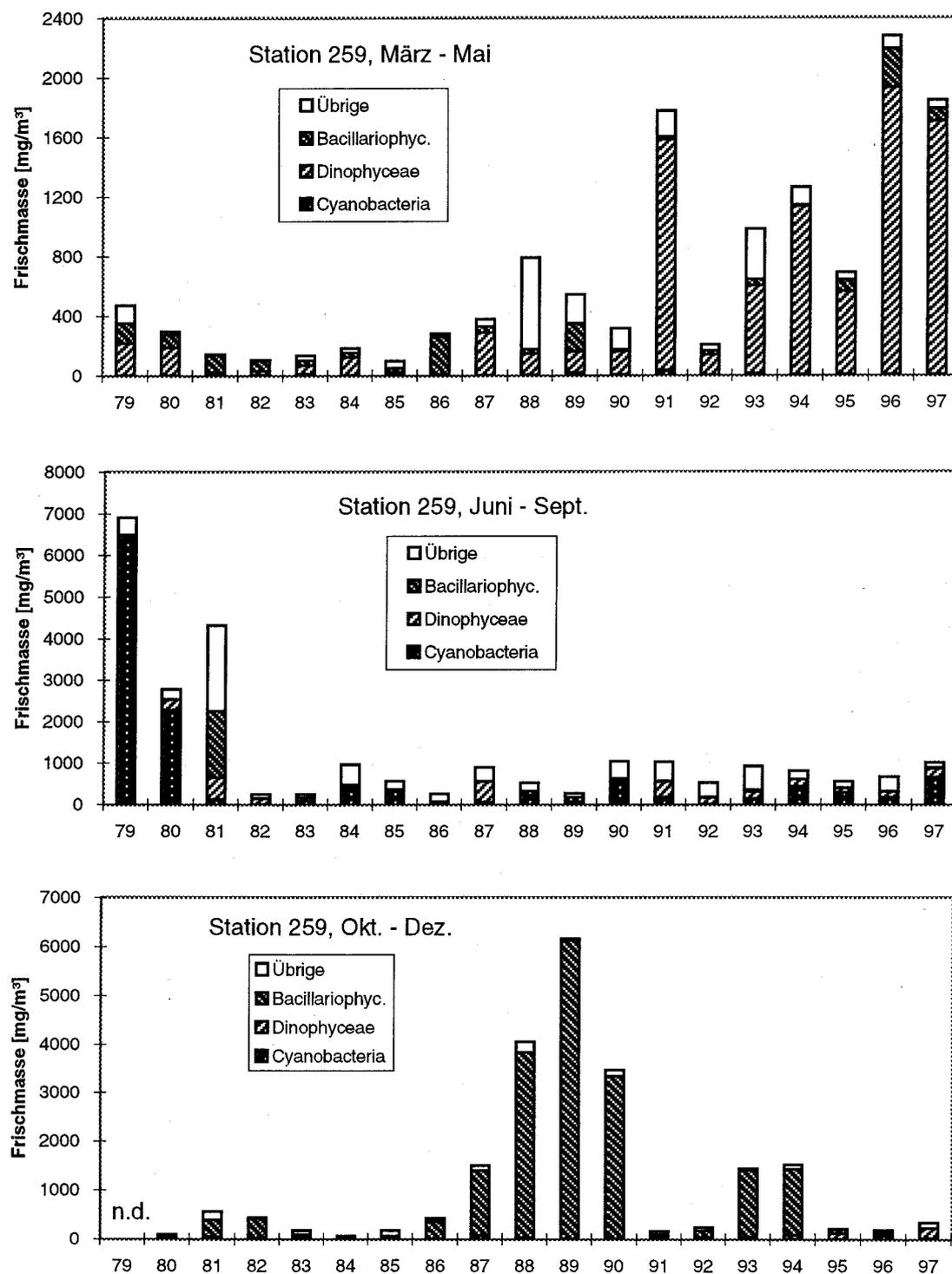


Abb. 12: Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1997, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der südlichen Gotlandsee (Stat. 259).

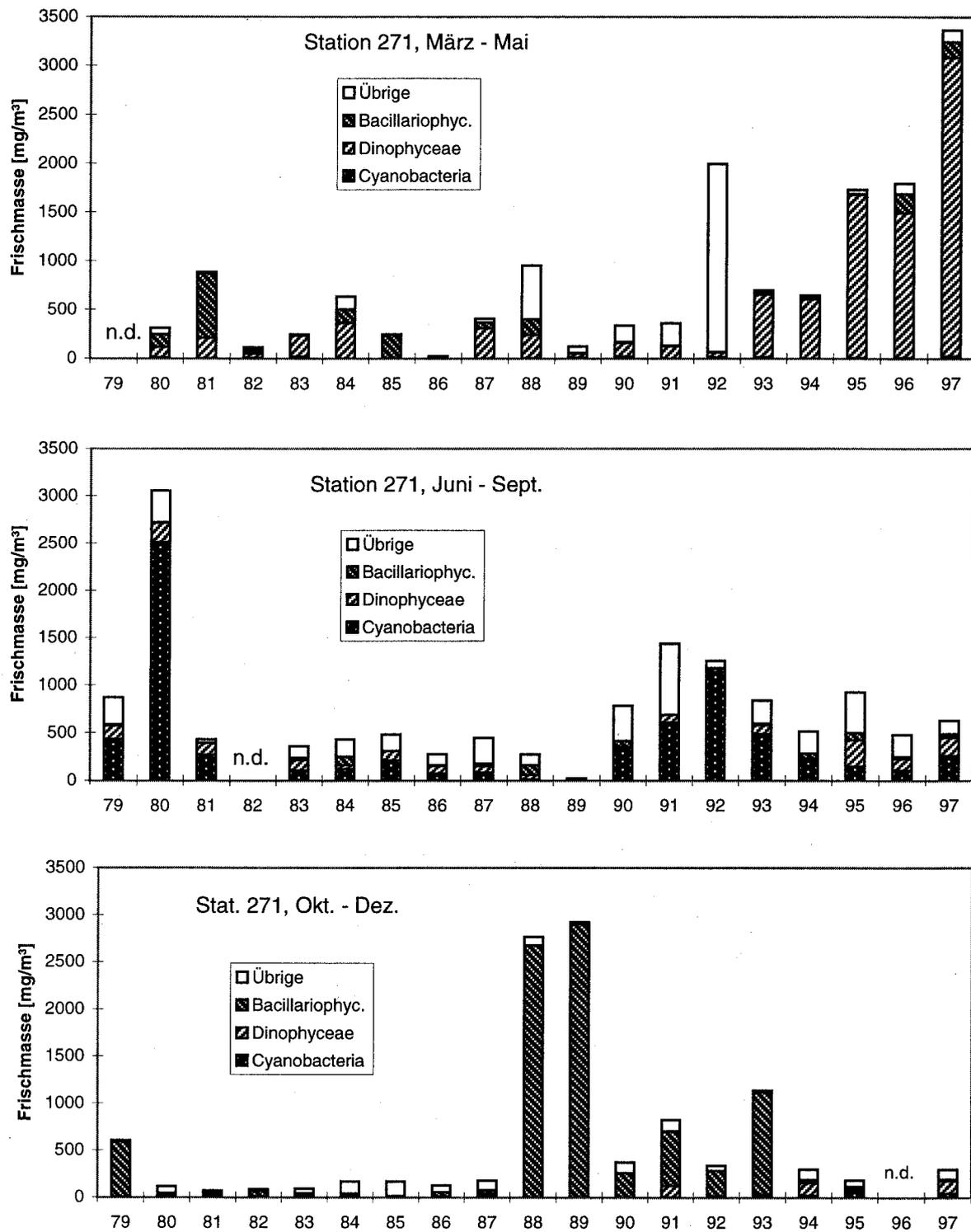


Abb. 13: Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen von 1979 bis 1997, jeweils für Frühjahr, Sommer und Herbst separat betrachtet, in der östlichen Gotlandsee (Stat.271).

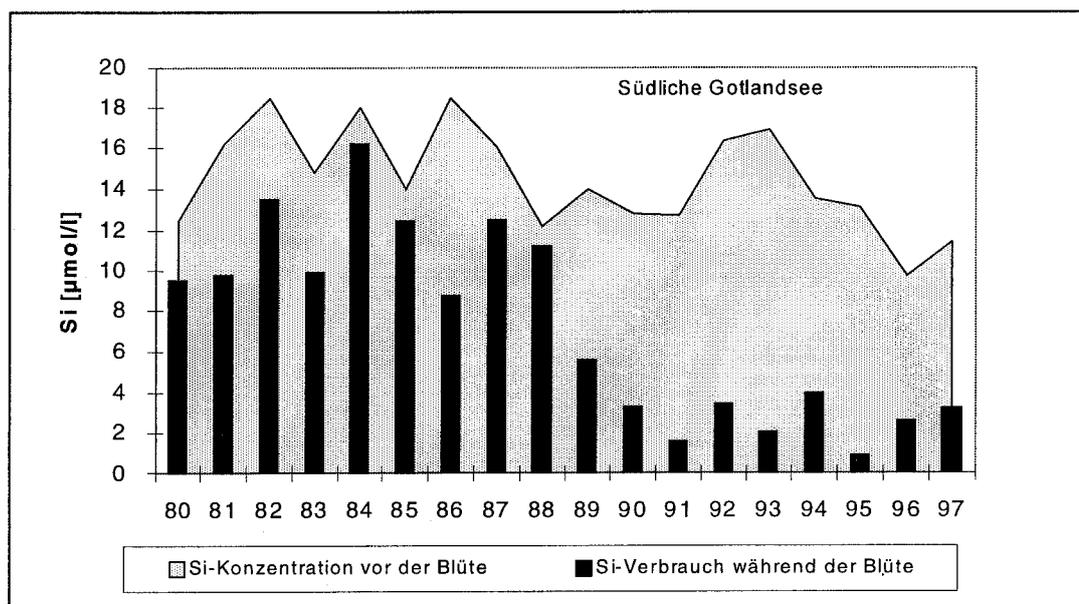


Abb. 14: Silikatkonzentration im Oberflächenwasser vor der Frühjahrsblüte (Linie) und Verringerung der Silikatkonzentration während der Blüte (Säulen) von 1980 bis 1997 in der südlichen Gotlandsee (Stat. 259).

In diesen Seegebieten kam es 1988 zu einer Verringerung der Winterkonzentrationen des Silikat (Liniendarstellung in Abb. 14), ohne daß jedoch die Kieselalgenblüte des Frühjahrs 1988 darunter litt. Erst 1989 reduzierte sich der Silikatverbrauch im Vergleich zu den Vorjahren, was auf eine reduzierte Kieselalgenentwicklung deutet. Die Winterkonzentrationen des Silikat dürften nach wie vor für eine Kieselalgenblüte ausreichen, so daß das Silikatangebot nicht die Ursache für die beschriebene Entwicklung sein kann. Mögliche Ursachen werden in Kap. 5.2. diskutiert.

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

Obwohl die räumlichen Unterschiede keiner gesonderten Untersuchung unterzogen wurden, soll darauf hingewiesen werden, daß Bornholmsee und südliche Gotlandsee, mit einigen Abstrichen auch die Arkonasee, relativ einheitlich reagieren, die Mecklenburger Bucht von ihnen aber deutlich verschieden ist. Das würde die bei den HELCOM-Assessments durchgeführte Praxis unterstützen, die südliche eigentliche Ostsee als ein einheitliches Seegebiet zu betrachten, wohingegen die Darßer Schwelle eine deutliche biologische Grenze darstellt (KELL, 1973).

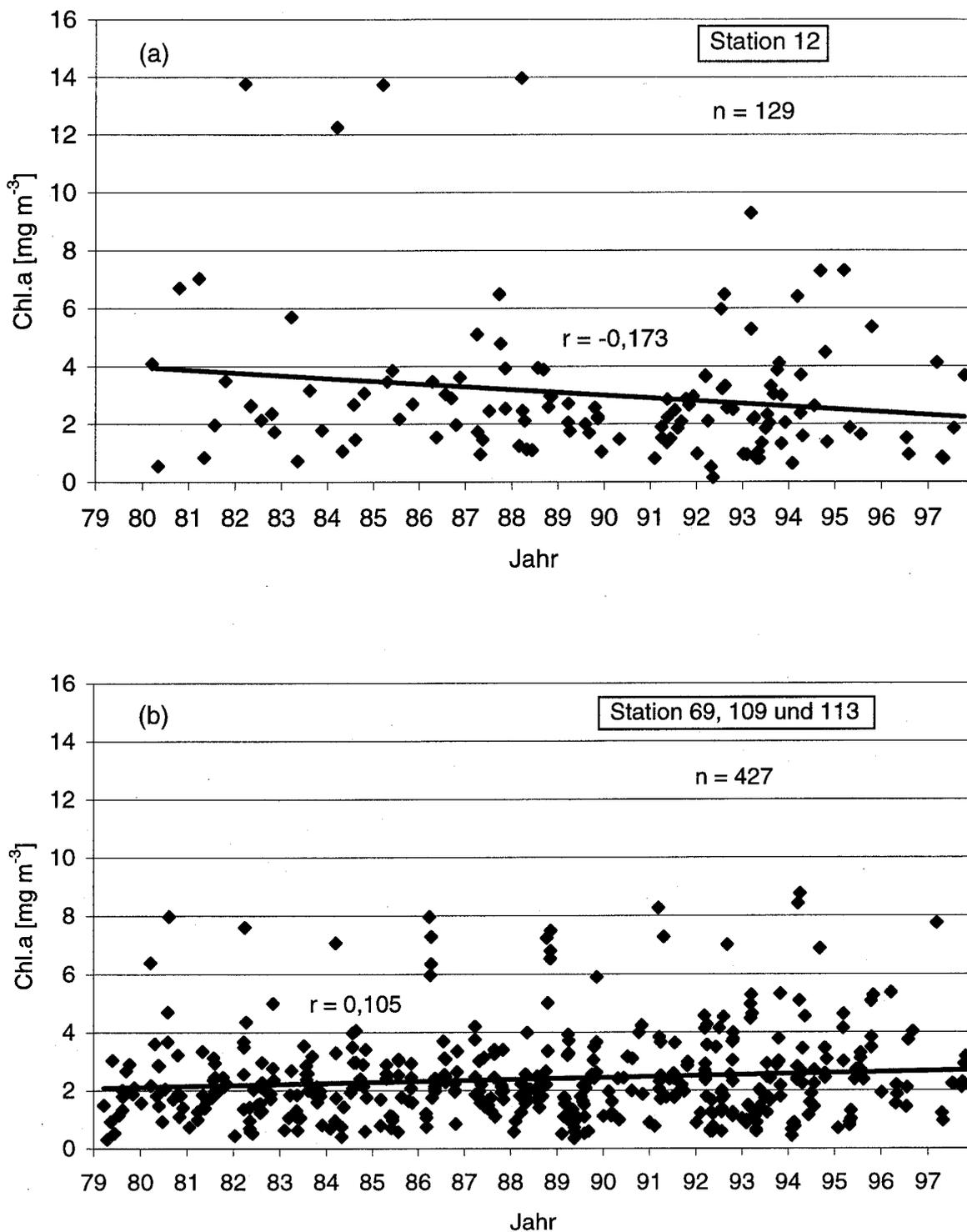


Abb. 15: Trend der Chlorophyll a – Konzentrationen (Mittelwert aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Mecklenburger Bucht und (b) der Arkonasee.

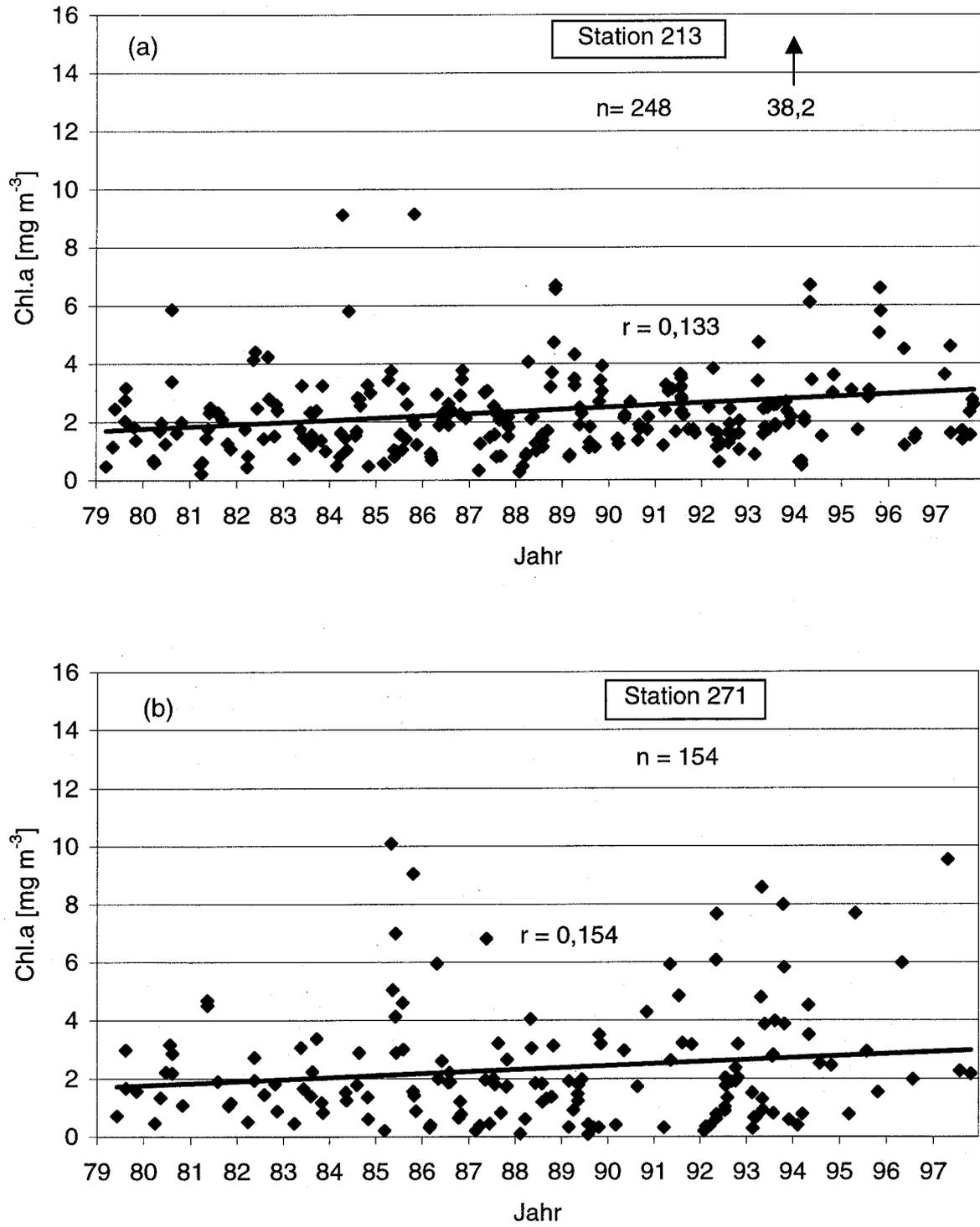


Abb. 16: Trend der Chlorophyll a – Konzentrationen (Mittelwert aus 0-10 m Wassertiefe) in (a) der Bornholmsee und (b) der östlichen Gotlandsee.

	Mecklenburger Bucht (Stat. 012)	Arkonasee (Stat. 109 bzw. 113)	Bornholmsee (Stat. 213)	Südliche Gotlandsee (Stat. 259)	Östliche Gotlandsee (Stat. 271)
Chlorophyll a					
Pot. Primärproduktion					
Phytoplanktonbiomasse					
Kieselalgen					
Dinoflagellaten					
Zooplankton-Abundanz					
Rotatoria					
Copepoda					
Cladocera					

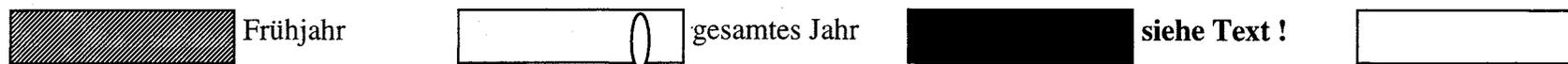
Tabelle 4: Signifikanter ($p < 0.05$) Anstieg bei unterschiedlichen Variablen für die Periode von 1979 bis 1995 im:



Leicht signifikanter ($p < 0.07$) Anstieg im:

Sign. **Abnahme**:

Keine Signifikanz:



nach WASMUND et al. (1997)

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. Unsere eigenen Werte zeigten eine gute Korrelation ($p = 0,01$; $r = 0,66$) zwischen beiden Größen (Abb. 8).

In der Mecklenburger Bucht zeigt sich bei Darstellung aller Oberflächen-Chlorophyll a - Werte (einschl. der HELCOM-Daten bis 1993) eine negative Tendenz (Abb. 15 a).

In der Arkonasee ist aus der Gesamtdarstellung aller Werte eine leichte Zunahme zu erkennen (Abb. 15 b). Wenn die Jahreszeiten separat betrachtet werden, ergibt sich ein signifikanter Anstieg ($p < 0,05$) im Herbst, aber nicht im Frühjahr und Sommer (Tabelle 4).

In der Bornholmsee (Stat. 213, siehe Abb. 16 a) und der südlichen Gotlandsee (Stat. 259) ist der Chlorophyllanstieg bei Einbeziehung aller Werte (d.h. alle Jahreszeiten, 1979-1997) für $p < 0,05$ signifikant. Im Gegensatz zur Arkonasee ist hier nicht der Anstieg der Herbstwerte, sondern der der Frühjahrswerte signifikant (Tabelle 4).

In der östlichen Gotlandsee (Stat. 271, siehe Abb. 16 b) basiert der Anstieg bei Einbeziehung aller Chlorophyllwerte auf einer Zunahme speziell der Herbstwerte.

4.2. Mesozooplankton

4.2.1. Jahresgang von Artenzusammensetzung und Abundanz

4.2.1.1. Mecklenburger Bucht

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Mecklenburger Bucht wird durch die Station 012 repräsentiert (Abb. 17). Die dominante Gruppe waren über das gesamte Jahr hinweg die Copepoden, deren Bestandsdichten von Ende März bis Oktober zwischen 24 000 bis 47 000 Ind. m^{-3} lagen, wobei die Höchstwerte ungewöhnlicherweise im März festgestellt wurden. Die höchsten Abundanzen hatten: im März und Anfang Mai die Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, Mitte Mai Nauplien und Copepoditen von *Acartia spec.*, im August Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und im Oktober Nauplien und Copepodite von *Oithona similis*. Die zweitwichtigste Gruppe waren mero-planktische Larven mit Individuendichten zwischen 53 und 4600 pro m^3 wobei meistens Bivalvier-Larven dominierten. Rotatorien traten in geringer Anzahl zwischen März und Oktober auf, während die Cladoceren ihr Maximum im August hatten, zu dem *Evadne*, *Podon* und *Bosmina* zu etwa gleichen Teilen beitrugen.

4.2.1.2. Arkonasee

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Arkonasee wird durch die Station 113 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt siebenmal beprobt (Abb. 18), während das sich nach der Sprungschichtbildung separierende Tiefenwasser dreimal untersucht werden konnte (Abb. 19).

Deckschicht: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Ende März bis Anfang November zwischen 11 000 bis 65 000 Ind. m^{-3} lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im März die Nauplien von *Pseudocalanus elongatus*, *Acartia* spec. und *Temora longicornis*, im Mai Nauplien von *Acartia*, *Temora longicornis* und *Centropages hamatus*, im August Nauplien und Copepodite von *Acartia* spec. und Nauplien von *Centropages hamatus* und *Temora longicornis*, im Oktober Nauplien und Copepodite von *Temora longicornis*, *Acartia* spec. und *Centropages hamatus* und im November Nauplien und Copepodite von *Acartia* spec. und *Temora longicornis*. Die zweitwichtigste Gruppe waren meroplanktische Larven mit Individuendichten zwischen 50 und 18 000 pro m^3 , wobei Bivalvier-Larven dominierten, und Rotatorien mit Individuendichten zwischen 100 und 5 600 pro m^3 . Rotatorien hatten ihre Maxima in Mai und November und Cladoceren von Mai bis August. Hervorzuheben ist noch die relativ hohe Abundanz von *Fritillaria borealis* von März bis Mai.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Anfang Mai bis Anfang August zwischen 10 000 bis 29 000 Ind. m^{-3} lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im Mai Nauplien von *Pseudocalanus elongatus* und *Oithona similis* und im August Nauplien von *Centropages hamatus*, *Acartia* spec. und *Temora longicornis* und adulte Weibchen von *Acartia longiremis*. Die zweitwichtigste Gruppe waren Rotatorien mit Individuendichten zwischen 500 und 14 000 pro m^3 . Mitte Mai übertraf die Anzahl der Rotatorien die der Copepoden. Cladoceren (*Bosmina*) traten nur im August auf.

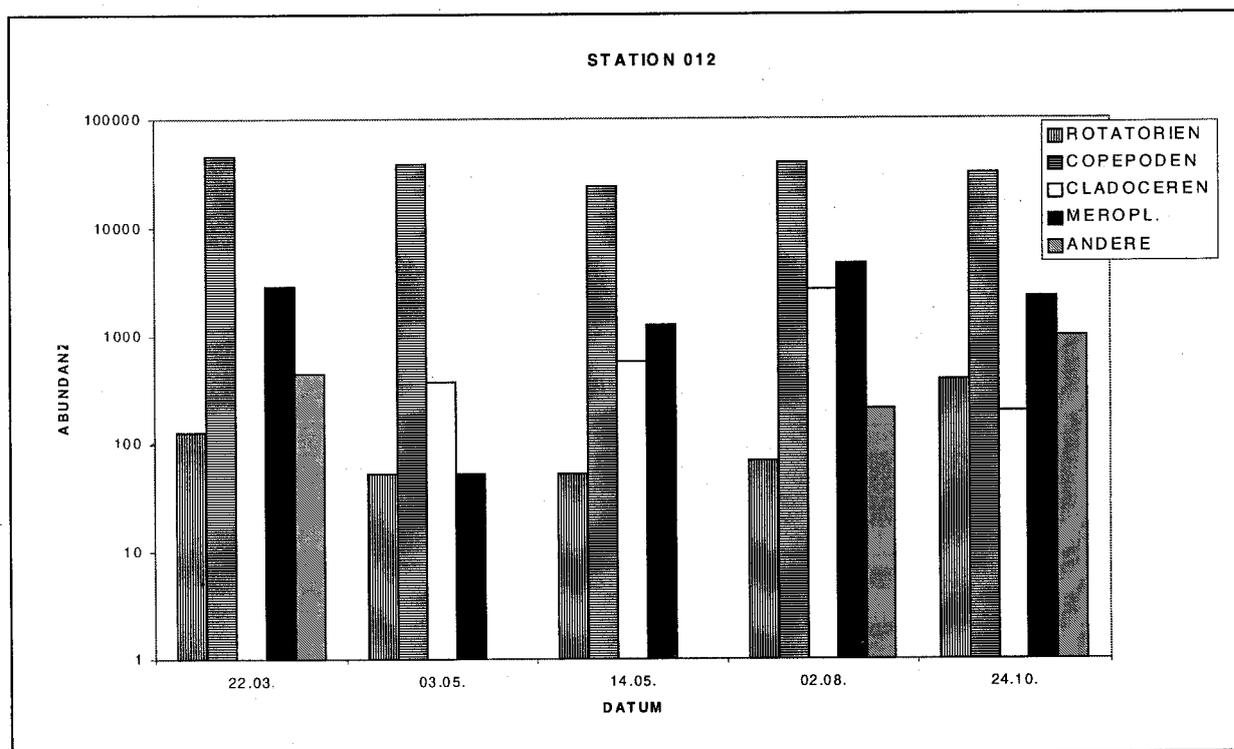


Abb. 17: Zooplanktonabundanz (Ind. m^{-3}) im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht im Jahre 1997.

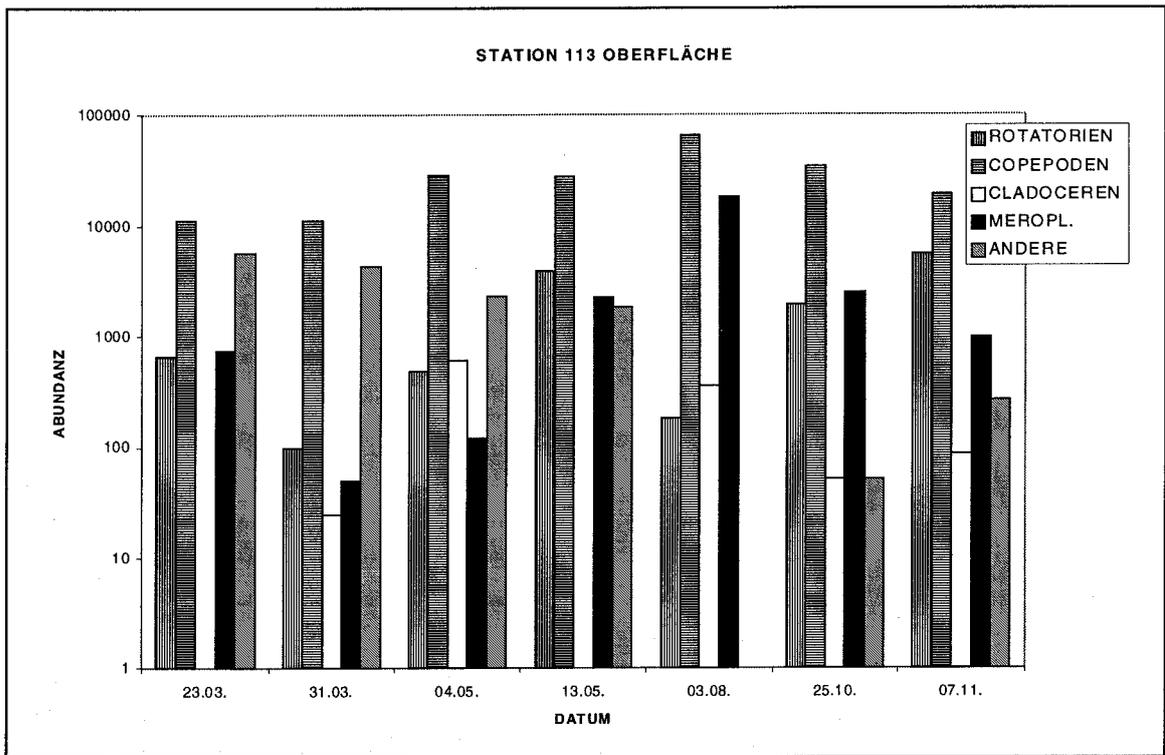


Abb. 18: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser der Arkonasee im Jahre 1997.

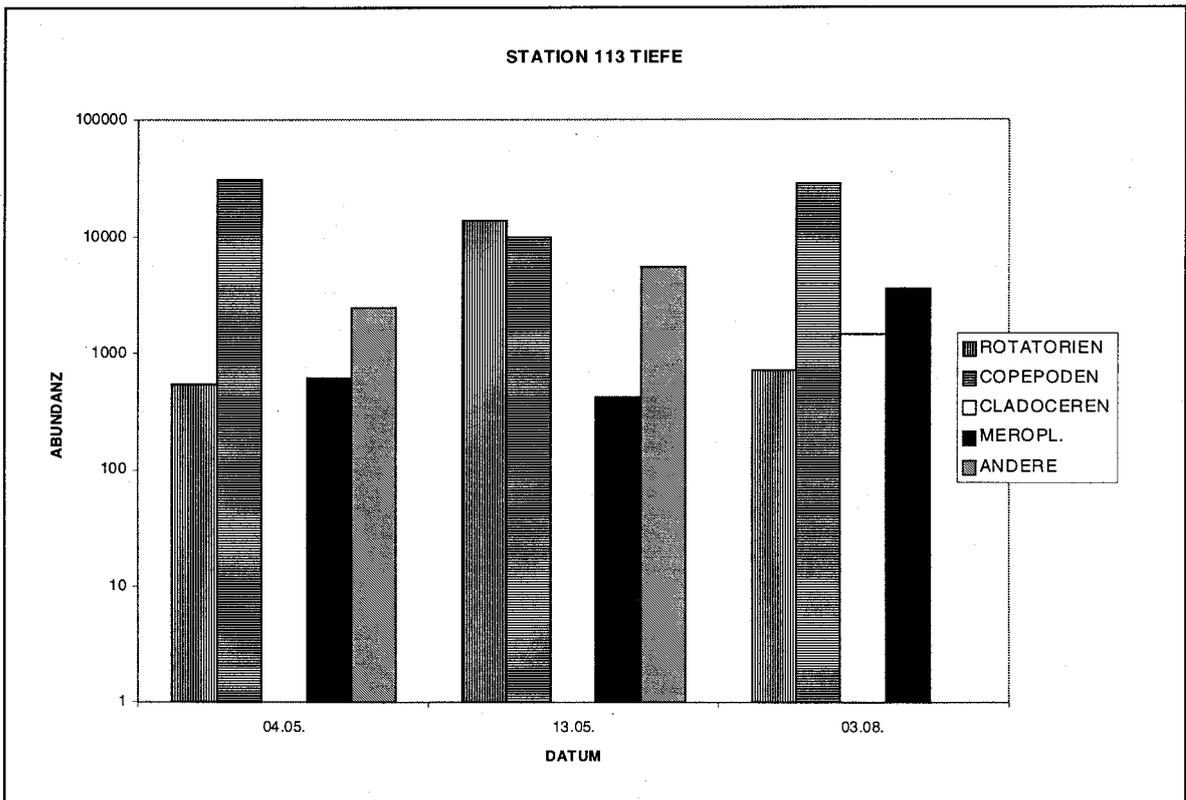


Abb. 19: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Tiefenwasser der Arkonasee im Jahre 1997.

4.2.1.3. Bornholmsee

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Bornholmsee wird durch die Station 213 repräsentiert. Sowohl die Deckschicht als auch das Tiefenwasser wurden insgesamt achtmal beprobt (Abb. 20 und 21).

Deckschicht: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Ende März bis Anfang November zwischen 12 000 bis 32 000 Ind. m^{-3} lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im März die Nauplien von *Acartia spec.* und *Pseudocalanus elongatus*, im Mai Nauplien von *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*, *Acartia spec.* und *Centropages hamatus*, im August Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, adulte *Acartia longiremis* und Nauplien von *Temora longicornis*, im Oktober Nauplien und Copepodite von *Temora longicornis* und *Acartia spec.* und im November Nauplien und Copepodite von *Temora longicornis* und *Acartia spec.*. Cladoceren (*Bosmina*) hatten im August die höchsten Abundanzen aller Gruppen mit Werten zwischen 20 000 und 28 000 Ind. m^{-3} . Bemerkenswert ist, daß der seit 1989 beobachtete Trend einer starken Zunahme der Rotatorien, der in der ersten Hälfte der neunziger Jahre in den meisten Jahren die Abundanzwerte der Rotatorien im Mai diejenigen der Copepoden übertreffen ließ, umgekehrt wurde. Die beiden Probennahmen im Mai ergaben, daß die Häufigkeit der Rotatorien nur etwa 10% derjenigen der Copepoden betrug.

Deckschicht im August: Einige der untersuchten Zooplanktongruppen wiesen ungewöhnliche Abundanzwerte an den beiden Probennahmeterminen im August auf. Die Rotatorienwerte (*Synchaeta*) fielen von einem im Mai festgestellten Mittelwert von über 2 000 im August auf 0 und stiegen im Oktober wieder auf fast 5 000 an. Das Meroplankton wies mit über 2 000 Ind. m^{-3} die höchsten Werte des Jahres auf, während der *Fritillaria*-Bestand nach relativ hohen Werten in März und Mai im August völlig verschwand. Die Abundanzwerte der Copepoden lagen im August deutlich unter den Maiwerten und zeigten kaum Unterschiede zu den Herbstwerten.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Ende März bis Anfang November zwischen 700 bis 21 000 Ind. m^{-3} lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im März adulte *Oithona similis* und *Pseudocalanus elongatus*, im Mai Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und *Oithona similis*, im August nicht bestimmbare Stadien von *Oithona similis* und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus*, im Oktober Copepodite von *Temora longicornis*, und im November Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und *Temora longicornis*.

Tiefenwasser im August: Cladoceren und Rotatorien wiesen im August im Tiefenwasser ähnlich ungewöhnliche Abundanzwerte auf wie in der Deckschicht. *Bosmina* hatte hohe Werte und *Synchaeta* verschwand fast völlig.

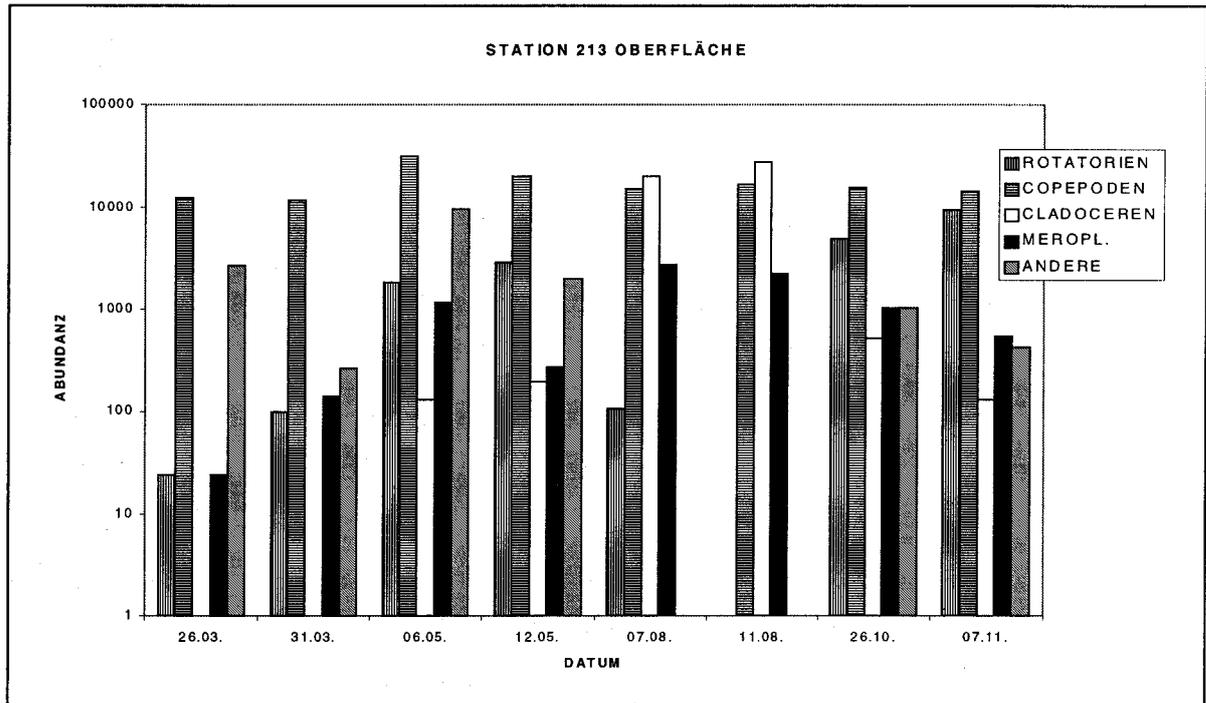


Abb. 20: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser der Bornholmsee im Jahre 1997.

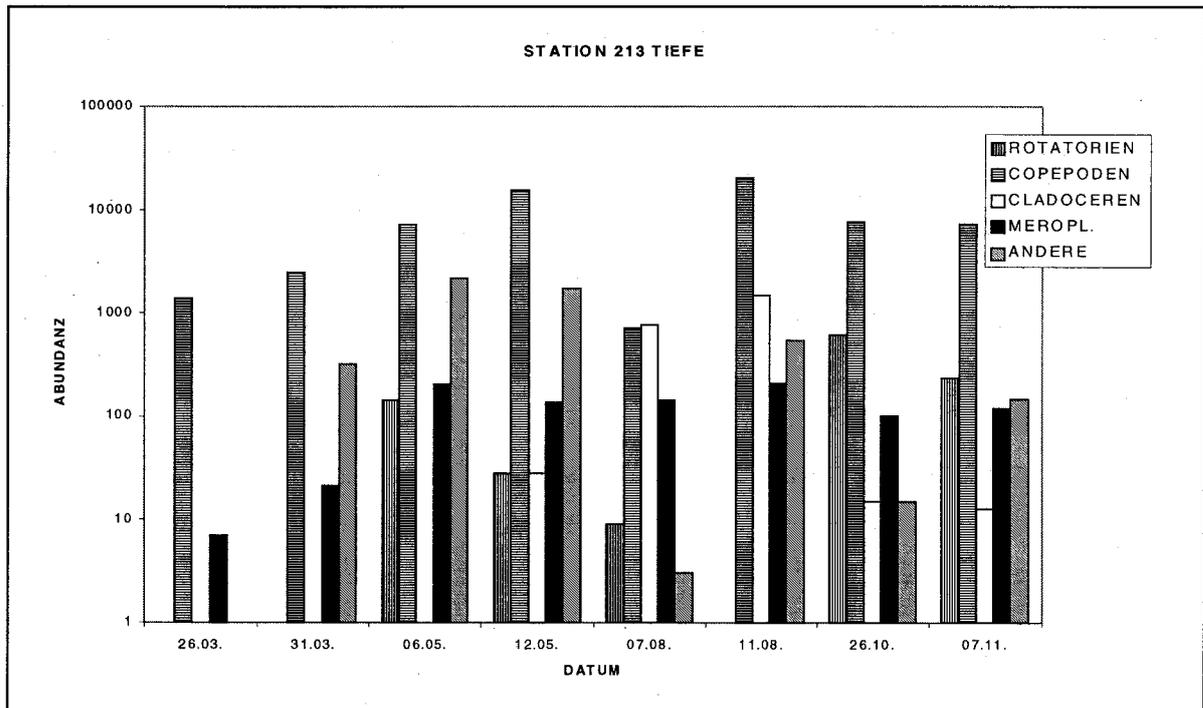


Abb. 21: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Tiefenwasser der Bornholmsee im Jahre 1997.

4.2.1.4. Gotlandsee

Der Jahresgang des Zooplanktons in der Gotlandsee wird durch die Station 271 repräsentiert. Deren Deckschicht wurde insgesamt viermal beprobt, während das Tiefenwasser dreimal untersucht werden konnte (Abb. 22 und 23).

Deckschicht: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Ende März bis Anfang November zwischen 10 000 bis 24 000 Ind. m⁻³ lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im März die Nauplien von *Acartia spec.*, im Mai Nauplien von *Acartia spec.* und *Pseudocalanus elongatus*, im August Copepodite von *Temora longicornis*, im Oktober Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und *Temora longicornis* und im November Nauplien und Copepodite von *Temora longicornis* und *Acartia spec.*: Die Cladocere *Bosmina* trat nur im August auf.

Tiefenwasser: Die dominante Gruppe waren die Copepoden, deren Individuendichten von Anfang März bis Anfang August zwischen 700 bis 800 Ind. m⁻³ lagen. Die höchsten Abundanzwerte hatten: im März Copepoditen von *Pseudocalanus elongatus*, im Mai und August Nauplien und Copepodite von *Pseudocalanus elongatus* und im November Copepoditen von *Pseudocalanus elongatus*. Cladoceren (*Bosmina*) und Rotatorien traten nur im August in erwähnenswerten Mengen auf.

4.2.2. Langzeittrend der Artenzusammensetzung

Im Jahre 1997 waren die Copepoden auf allen vier Stationen über das ganze Jahr hinweg die dominante Gruppe, außer in der Bornholmsee, wo im August Bosminen (Cladocera) eine höhere Abundanz hatten. Die Dominanz der Cladoceren wurde bisher im Sommer (bes. August) auch an den anderen Stationen beobachtet. Folglich sind die relativen Abundanzwerte der Cladoceren im Vergleich zu denen der Copepoden deutlich zurückgegangen.

Auch die Rotatorien, die im Frühjahr (bes. Mai) im Verlaufe des 19-jährigen Untersuchungszeitraumes (insbesondere seit 1989) zunehmend die Copepoden verdrängten, waren 1997 nur schwach vertreten. Insofern scheint der Trend der starken Zunahme der Rotatorien gebrochen zu sein. Die Copepoden, die auch bisher im März dominant waren, erreichten im Jahre 1997 schon ungewöhnlich früh (Ende März) sehr hohe Abundanzen von über 10.000 Ind. m⁻³. Solch hohe Werte wurden sonst meistens erst im Mai erreicht.

Im August zeigten einige Zooplanktongruppen ungewöhnliche Werte, die möglicherweise auf die extrem hohen Wassertemperaturen im August 1997 zurückzuführen sind.

Aus der Analyse von 20jährigen Biomassedaten für das Mesozooplankton konnten achtjährige Zyklen im Auftreten erhöhter Biomasse mit der gleichen Periode von Veränderungen in der Temperatur in Zusammenhang gebracht werden. Milde Winter korrelierten mit warmen Sommern und erhöhten Beständen an Zooplankton (V. BODUNGEN et al., 1996).

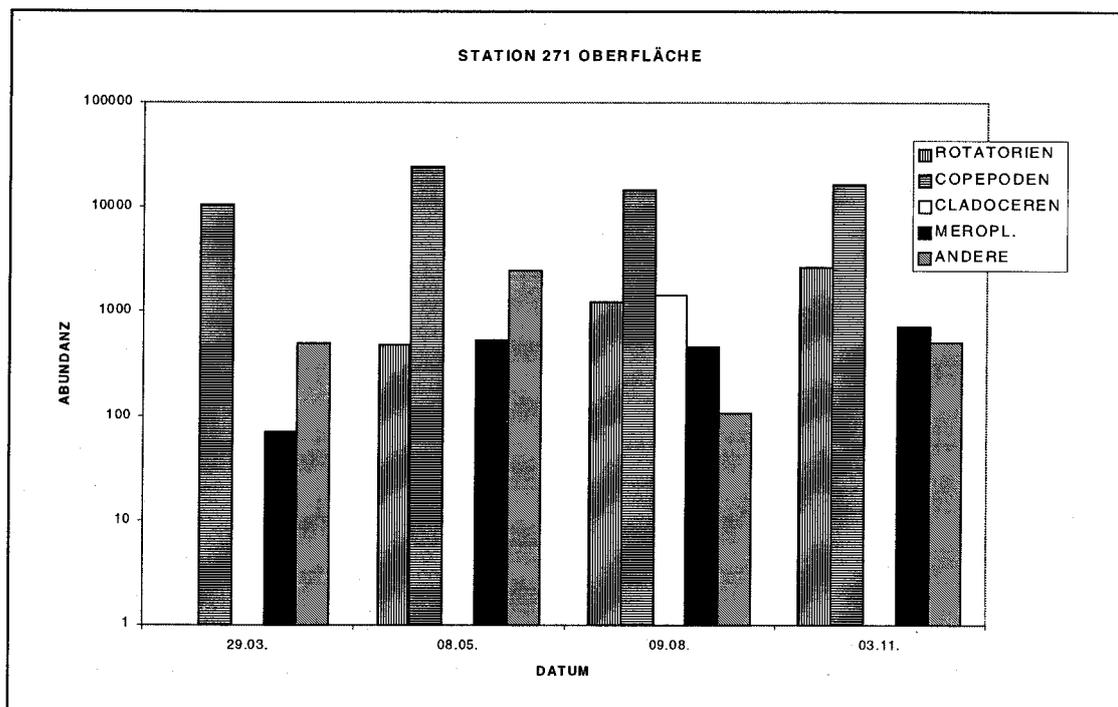


Abb. 22: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Oberflächenwasser der östlichen Gotlandsee im Jahre 1997.

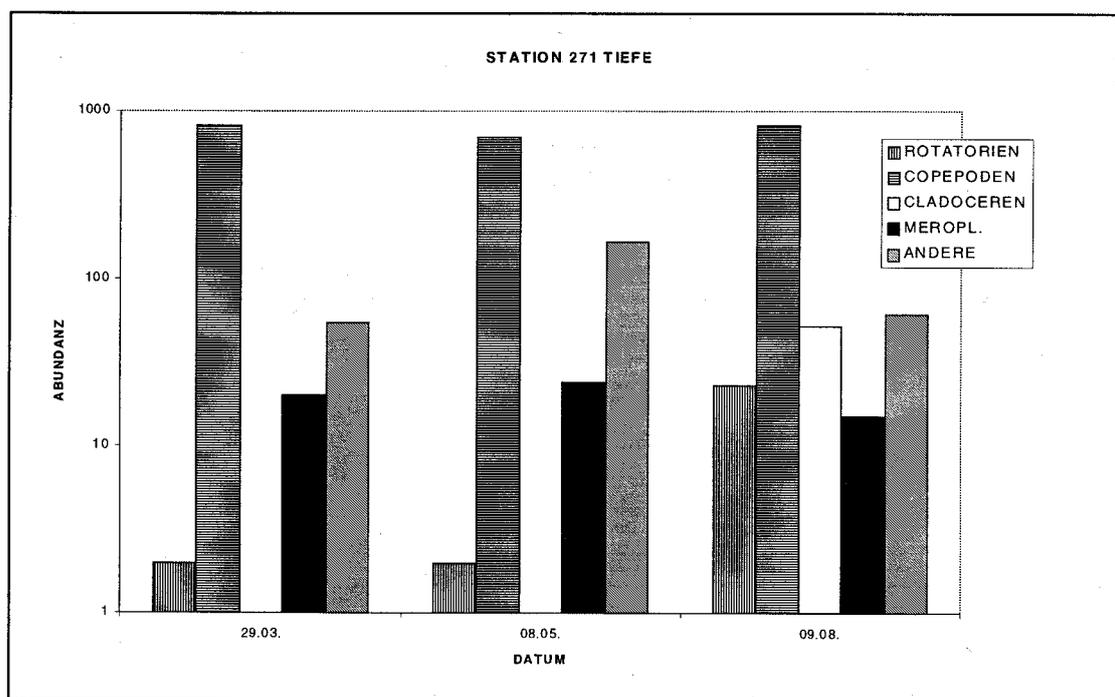


Abb. 23: Zooplanktonabundanz (Ind. m⁻³) im Tiefenwasser der östlichen Gotlandsee im Jahre 1997.

4.3. Makrozoobenthos

Im Oktober 1997 wurden an 6 Stationen je 3-5 Proben genommen und auf Makrofauna untersucht. Alle Areale waren mit benthischen Organismen besiedelt. Insgesamt konnten 61 Taxa nachgewiesen werden (Tabelle 5). Während für die Stat. 213 (Bornholmbecken) erst ab 1993 und für die Stat. 12 (Mecklenburger Bucht) ab 1992 Daten vorliegen, wurden die anderen Bereiche seit 1991 jährlich untersucht. 1996 fiel die Beprobung aller Stationen leider aus, so daß hier keine Aussagen gemacht werden können. Die Artenzahl lag 1997 zwischen 2 (Stat. 213) und 37 (Stat. 10). Auf allen Stationen konnte im Vergleich mit den Vorjahren eine Artenzunahme beobachtet werden (Abb. 24), was sich auch im Anstieg der Diversität widerspiegelte (Abb. 25). Eine Ausnahme bildete die Stat. 152 (südl. Arkonabecken) mit leichtem Artenrückgang. Am artenreichsten stellten sich die Stat. 10 (Fehmarnbelt), 12 (Mecklenburger Bucht) und 30 (Grenze Mecklenburger Bucht/Arkonabecken) dar.

Westlich der Darßer Schwelle (Stat. 10 und 12) wurden 43 Taxa beobachtet. Hervorzuheben wären hierbei v.a. die Arten *Euchone papillosa*, *Nephtys*-Arten (Polychaeta), *Arctica islandica*, *Mysella bidentata*, *Parvicardium ovale*, *Phaxas pellucidus* (Bivalvia), die hier ihr Hauptverbreitungsgebiet haben.

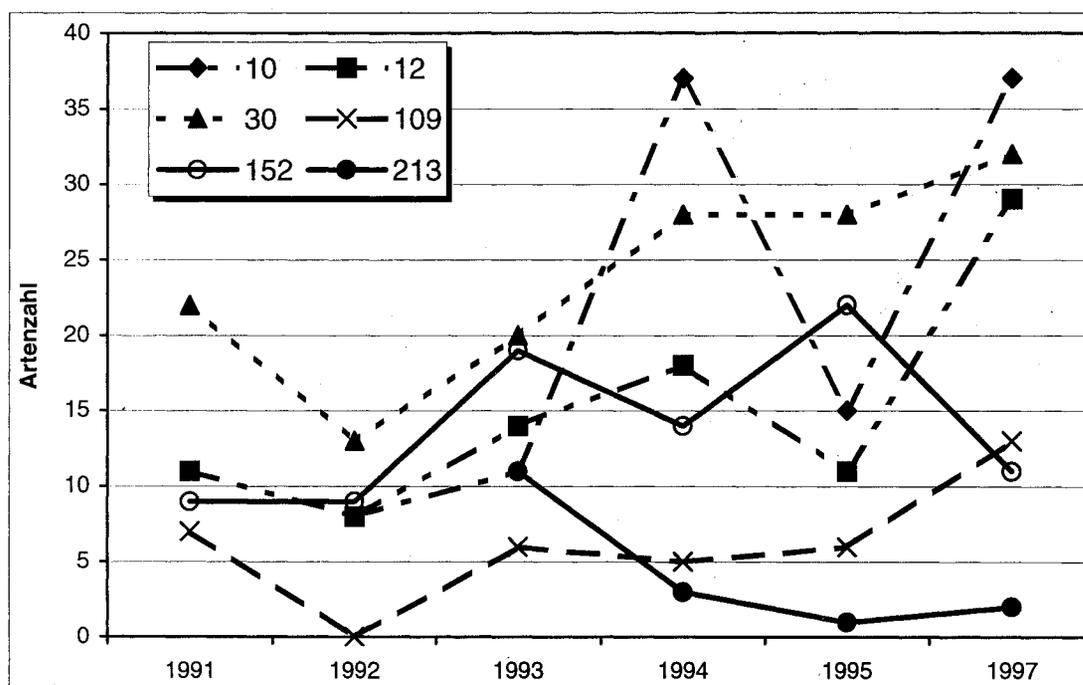


Abb. 24: Anzahl der vorgefundenen Taxa an den Stationen 10, 12, 30, 109, 152, 213 von 1991 bis 1997 (1996 keine Daten).

Tabelle 5: Verbreitung des Makrozoobenthos an 6 Stationen im Oktober 1997

Taxa	10	12	30	109	152	213
HYDROZOA						
<i>Halitholus yoldia-arcticae</i>			X			
<i>Laomedea flexuosa</i>			X		X	
PRIAPULIDA						
<i>Halicryptus spinulosus</i>	X	X	X	X	X	
<i>Priapulus caudatus</i>	X			X		
NEMATHELMINTHES						
Nemertini		X	X			
PLATHELMINTHES						
Turbellaria				X		
MOLLUSCA						
<i>Alloides (Corbula) gibba</i>	X	X				
<i>Arctica islandica</i>	X	X				
<i>Arenomya (Mya) arenaria</i>	X		X		X	
<i>Astarte borealis</i>	X		X			
<i>Astarte elliptica</i>	X					
<i>Hydrobia ulvae</i>	X	X	X		X	X
<i>Lamellidoris muricata</i>			X			
<i>Macoma balthica</i>		X	X	X	X	X
<i>Mysella bidentata</i>	X					
<i>Mytilus edulis</i>	X		X	X	X	
<i>Parvicardium ovale</i>	X	X				
<i>Phaxas pellucidus</i>	X					
<i>Syndosmya (Abra) alba</i>	X	X				
<i>Turboella inconspicua</i>			X			
ANNELIDA						
Oligochaeta			X		X	
<i>Ampharete acutifrons</i>	X	X				
<i>Ampharete baltica</i>	X	X	X			
<i>Aricidea cerrutii</i>			X			
<i>Bylgides (Antinoella) sarsi</i>		X	X	X	X	
<i>Capitella capitata</i>			X			
<i>Eteone longa</i>	X	X	X			
<i>Euchone papillosa</i>	X	X				
<i>Harmothoe imbricata</i>			X			
<i>Hediste diversicolor</i>			X			
<i>Heteromastus filiformis</i>	X	X		X		
<i>Nephtys caeca</i>	X					
<i>Nephtys ciliata</i>	X	X				
<i>Nephtys hombergi</i>	X	X				
<i>Nephtys longisetosa</i>	X					
<i>Ophelia limacina</i>			X			
<i>Paraonis fulgens</i>	X	X				
<i>Pectinaria koreni</i>	X	X				
<i>Pherusa plumosa</i>	X	X				
<i>Pholoe assimilis</i>	X	X				

<i>Pholoe baltica</i>	X					
<i>Phyllodoce mucosa</i>	X	X	X	X		
<i>Polydora quadrilobata</i>		X		X		
<i>Pseudopolydora pulchra</i>			X			
<i>Pygospio elegans</i>			X		X	
<i>Scalibregma inflatum</i>	X					
<i>Scoloplos armiger</i>	X	X	X	X		
<i>Spio gonocephala</i>	X		X			
<i>Terebellides stroemi</i>	X	X				
<i>Trochaeta multisetosa</i>		X		X		
CRUSTACEA						
<i>Ampithoe rubricata</i>	X					
<i>Balanus improvisus</i>			X			
<i>Corophium crassicorne</i>			X			
<i>Diastylis rathkei</i>	X	X	X	X	X	
<i>Gammarus salinus</i>			X			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	X	X	X			
<i>Idotea balthica</i>		X				
<i>Pontoporeia femorata</i>	X	X		X	X	
BRYOZOA			X			
ECHINODERMATA						
<i>Asterias rubens</i>			X			
<i>Ophiura albida</i>	X					
Summe 61 Taxa	37	29	32	13	11	2
Abundanz (Ind. m⁻²)	4779	2266	8309	375	4899	6
Biomasse (g AFTG m⁻²)	420,3	597,9	1103,6	9,1	241,4	0,1

Im Arkonabecken (Stat. 30 und 109) lag die Anzahl noch bei 38. Hier sind besonders die Arten *Lamellidoris muricata* (Gastropoda), *Aricidea cerrutii*, *Ophelia limacina* (Polychaeta) und *Corophium crassicorne* (Crustacea) zu erwähnen. In der Bornholmsee sank die Artenzahl dann drastisch auf 11 ab. Interessant ist jedoch hier die Präsenz von *Hydrobia ulvae* (Gastropoda) und *Macoma balthica* (Bivalvia) an der tiefen Stat. 213 (90 m) sowie das Auftreten von *Pontoporeia femorata* (Crustacea), die aber auch an den anderen Stationen der westlichen Ostsee angetroffen wurde.

Nicht mehr nachgewiesen wurden neben zum Teil nur sporadisch auftretenden Arten wie *Dendrodoa grossularia* (Tunicata) und *Dyopedos monacanthus* (Crustacea) der neu eingewanderte Polychaet *Marenzelleria viridis*. Möglicherweise wurde diese v.a. in den Küstengewässern dominante Art früher mit dem sehr ähnlichen *Spio gonocephala* verwechselt, der 1997 erstmalig registriert wurde. Für *Marenzelleria viridis* liegen derzeit keine rezenten Nachweise (Belege) aus der westlichen offenen Ostsee vor. Auch die neueren Kenntnisse bei der Taxonomie der Polychaeten-Gattungen *Ampharete*, *Aricidea*, *Nephtys*, und *Pholoe* erlaubten eine differenzierte Artbestimmung. Besonders hervorzuheben wäre außerdem auch das erstmalige Auftreten von *Pontoporeia femorata* (Crustacea, Amphipoda) in der westlichen Ostsee (Stat. 10 und 12) sowie von *Ampithoe rubricata* (Crustacea, Amphipoda) an der Stat. 10 seit 1991.

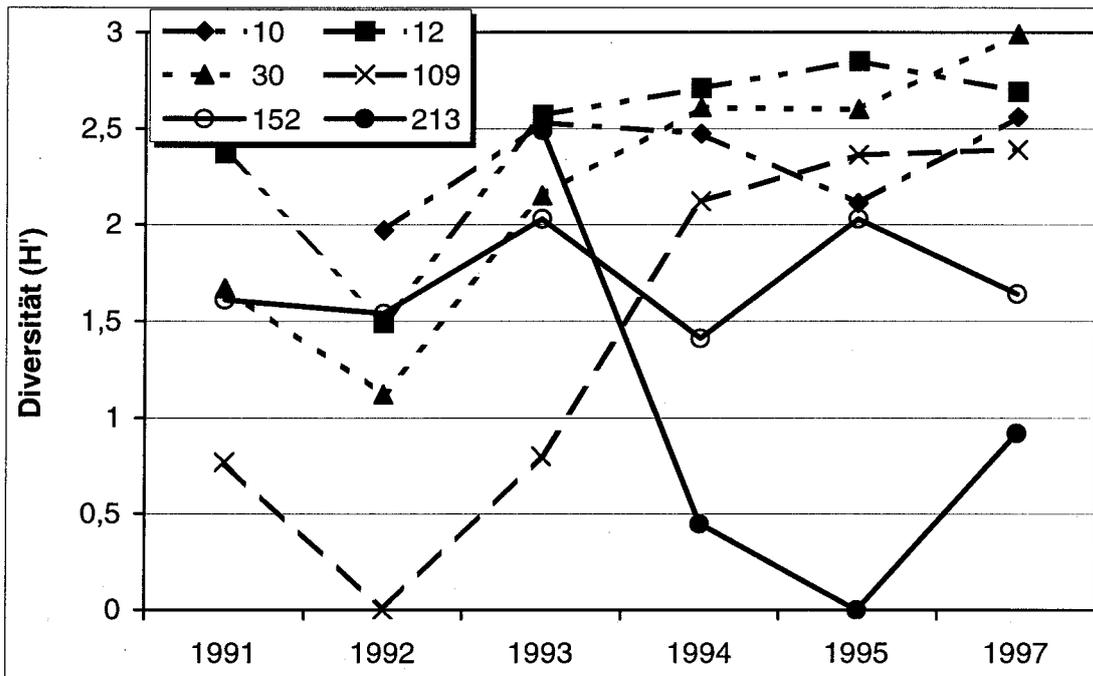


Abb. 25: Diversität nach SHANNON und WEAVER (1963) (Es wurde der \log_2 verwendet.)

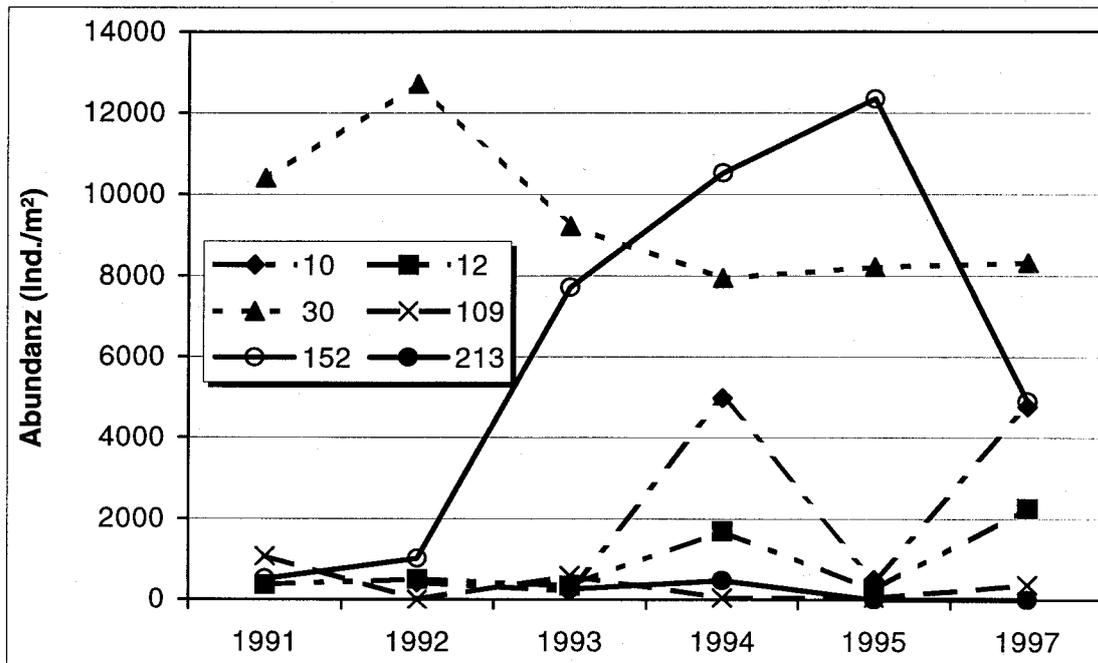


Abb. 26: Abundanzen (Ind. m^{-2}) an den Stationen 10, 12, 30, 109, 152, 213 von 1991 bis 1997 (1996 keine Daten)

Neben dem Anstieg bei den Artenzahlen wurde auch eine Zunahme in den Abundanzen festgestellt. Nach 1994, wo ähnlich hohe Artenzahlen und Abundanzen beobachtet wurden, lagen die Individuendichten 1997 insgesamt zwischen 6 Ind. m⁻² (Stat. 213) und 8300 Ind. m⁻² (Stat. 30) (s. Tabelle 5 u. Abb. 26).

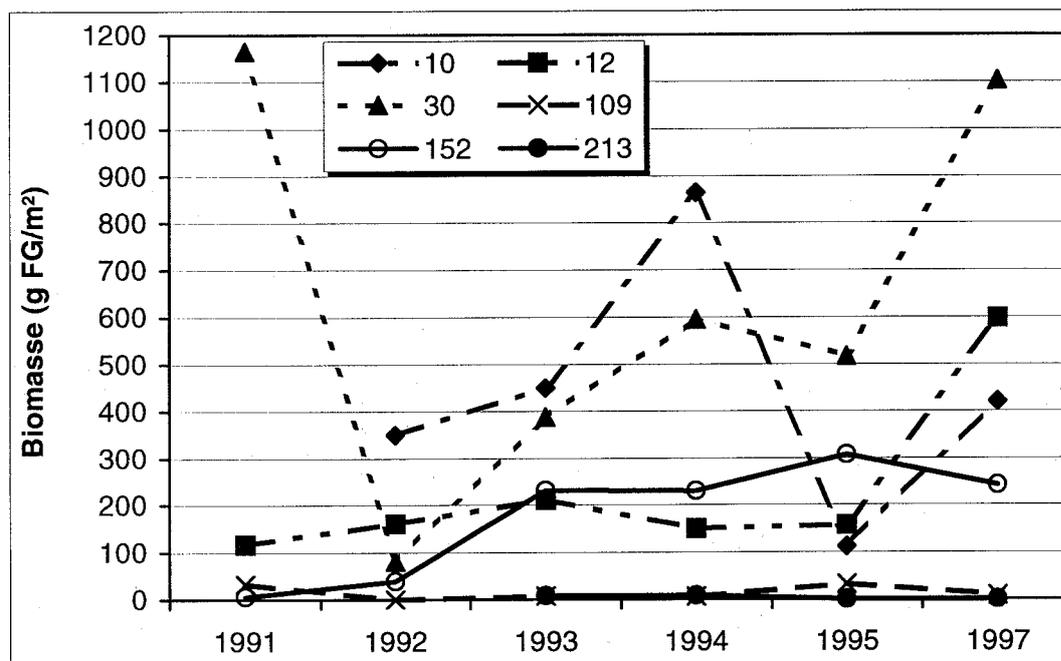


Abb. 27: Biomassen (g Feuchtgewicht m⁻²) an den Stationen 10, 12, 30, 109, 152, 213 von 1991 bis 1997 (1996 keine Daten).

Auch in der Biomasse wurde nach dem teilweise drastischen Rückgang von 1995 wieder eine Zunahme festgestellt (Abb. 27). Die Biomassen wurden hauptsächlich durch die Muscheln *Arctica islandica* und *Syndosmya alba* (Stat. 10 und 12), *Arenomya arenaria*, *Astarte borealis* und *Mytilus edulis* (Stat. 30) und *Macoma balthica* (Stat. 152) bestimmt. Nur an der Stat. 109 lag die Dominanz bei *Priapulus caudatus* und *Diastylis rathkei*.

In Bezug zur Abundanz wurden die Stationen westlich der Darßer Schwelle eindeutig von den Crustacea (insbesondere *Diastylis rathkei* mit 1000-2500 Ind. m⁻²) dominiert (Abb. 28). Über 30 % erreichten jeweils die Annelida (*Scoloplos armiger* und *Heteromastus filiformis*) und ca. 15 % die Mollusca (*Arctica islandica* und *Syndosmya alba*). An der Station 30 dominierten die Polychaeten (v.a. *Pygospio elegans* [2700 Ind. m⁻²], *Scoloplos armiger* und *Spio goniocephala*), gefolgt von den Mollusca (v.a. *Mytilus edulis* und *Hydrobia ulvae*). Die Station 109 (Arkonasee) wurde wiederum von den Krebsen (*Diastylis rathkei* und *Pontoporeia femorata*) mit über 50 % dominiert. Bei den Polychaeten erreichten nur *Scoloplos armiger* und *Bylgides sarsi* nennenswerte Abundanzen. Hervorzuheben ist hierbei das Auftreten von *Halicryptus spinulosus* und *Priapulus*

caudatus mit Dichten von 5-20 Ind./m². In der südlichen Bornholmsee (Stn. 152) dominierten die Polychaeta (v.a. *Pygospio elegans* [2800 Ind./m²]) mit über 50 %. Bei den Mollusca bildeten *Macoma balthica* und *Mytilus edulis* die Hauptvertreter. Die zentrale Bornholmsee wurde nur noch von *Macoma balthica* und *Hydrobia ulvae* besiedelt.

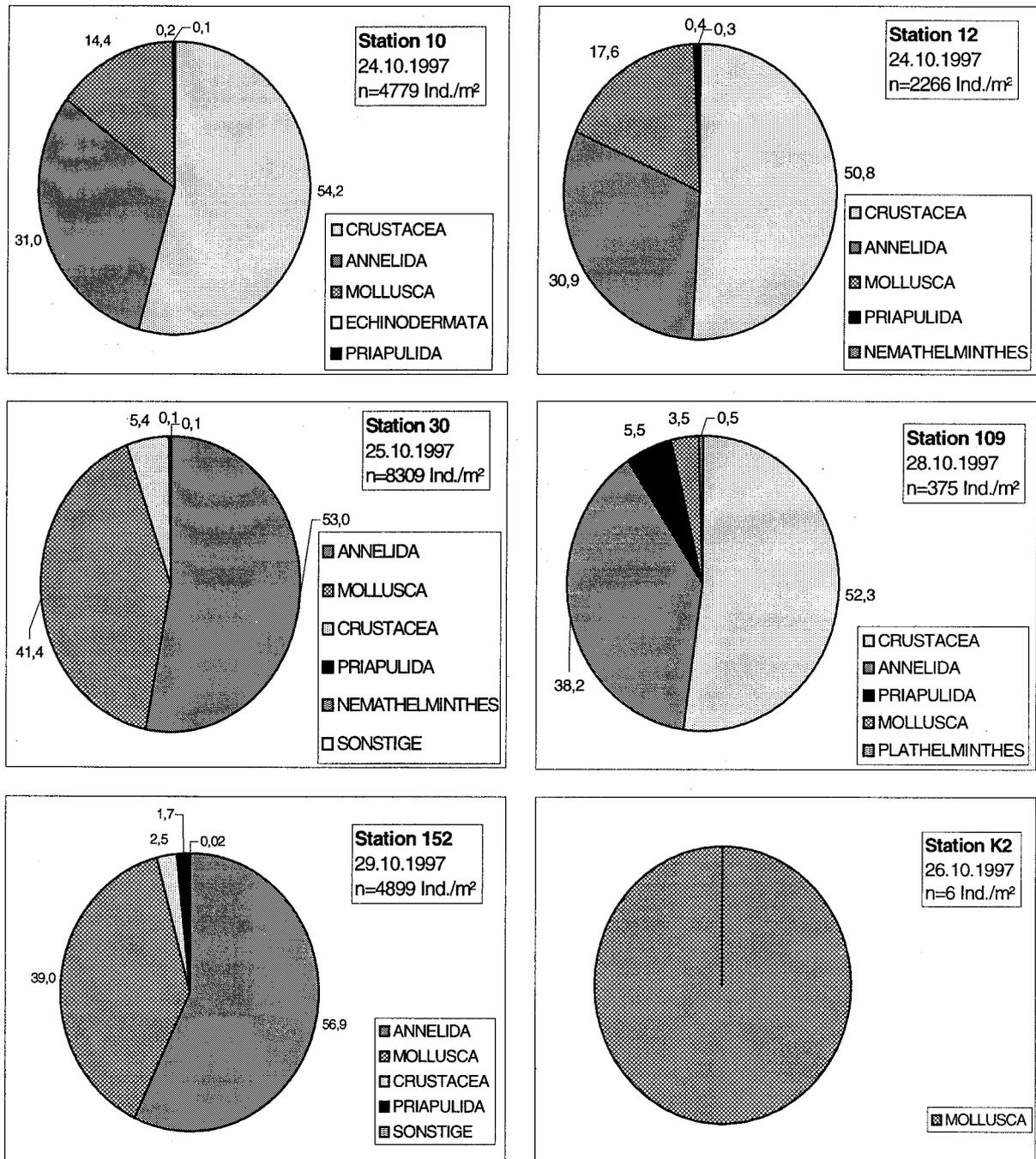


Abb. 28: Dominanzen (%) der Tiergruppen an den Monitoringstationen im Jahre 1997.

Vergleicht man die Stationen mittels einer Clusteranalyse auf der Grundlage der Arten und Individuenzahlen miteinander, stellt man fest, daß die größten Ähnlichkeiten (über 60 %) zwischen Stat. 10 und 12 bestehen. Die Stat. 30 und 152 haben noch ca. 50 % Ähnlichkeit. Die Station 109 schließt sich den beiden Stationen aus der westlichen Ostsee an. Diese Gemeinsamkeiten werden auch durch die Dominanzen der Tiergruppen (Abb. 28) bestätigt. Die durch Crustacea dominierten Stationen mit eudominierenden Annelida (Stat. 10, 12, 109) zeigen auch in der Clusteranalyse die größten Ähnlichkeiten. Nimmt man allerdings nur die Arten (presence/absence) zur Grundlage sind sich die Stationen 109 und 152 ähnlicher und die Stat. 30 rückt näher an die Stat. 10 und 12 heran (Abb. 30). Die Tiefen-Station 213 aus der Bornholmsee hat die geringste Ähnlichkeiten mit den anderen Arealen und grenzt sich aus (Abb. 29, 30).

5. Diskussion

5.1. Jahreszeitliche und räumliche Variabilität der Phytoplanktonblüten

Das zu erwartende Auftreten von Frühjahrs-, Sommer- und Herbstblüten des Phytoplanktons konnte auch im Jahre 1997 im wesentlichen bestätigt werden, obwohl aufgrund zeitlich zu weitabständiger Probennahmen die Erscheinungen nicht auf allen Stationen deutlich waren. Insbesondere in den westlichen Teilen der Ostsee bestand die Frühjahrsblüte aus zwei voneinander getrennten Phasen: eine Kieselalgenblüte und eine sich anschließende Dinoflagellatenblüte (vgl. SMETACEK, 1978). Diese zwei Phasen wurden in der Bornholmsee und Gotlandsee im allgemeinen nicht beobachtet. Das kann mit dem von West nach Ost verzögerten Frühjahrsblütenbeginn zusammenhängen (vgl. KAISER und SCHULZ, 1976; WASMUND et al., 1998). Während sich die Kieselalgen in der westlichen Ostsee meistens schon im März entwickeln und im April/Mai von Dinoflagellaten abgelöst werden, beginnt die Algenentwicklung z.B. in der Gotlandsee erst im Mai. Dort fällt die Kieselalgenentwicklung im allgemeinen aus (was durch den geringen Silikatverbrauch bestätigt wird), und es kommt gleich zur Dinoflagellaten-Frühjahrsblüte. Die Ursache hierfür ist bislang noch nicht geklärt. Nährstoffe und Licht stehen wie in anderen Ostseegebieten zur Verfügung, und auch Salzgehalt und Temperatur unterscheiden sich nicht wesentlich. Offensichtlich haben die Dinoflagellaten bei höheren Lichtintensitäten und/oder Temperaturen bzw. einer sich dauerhaft stabilisierenden Wassersäule Vorteile, während die typischen Frühjahrs-Kieselalgen ab Mai nicht mehr zur Entwicklung kommen können. Zur Klärung der Ursachen des unterschiedlichen Blütenbeginns ist der Mechanismus der Auslösung der Frühjahrsblüten zu beleuchten, der im folgenden diskutiert wird:

Die Entwicklung der Frühjahrsblüte ist wetterabhängig: Bei windstillem, sonnigem Wetter kann sich die Blüte z.B. in der Beltsee schon Anfang März entwickeln, während sich die Entwicklung in windigen, wolkigen Perioden bis Anfang April verzögern kann (SMETACEK, 1985). Während die Nährstoffe schon lange vor Blütenbeginn vorhanden sind, steigt die Strahlung gerade im März stark an und dürfte der wesentliche Faktor für die Auslösung der Blüte sein. Wind bewirkt eine tiefere Durchmischung der Wassersäule, wodurch die Algen für gewisse Zeit in die Tiefe transportiert werden, wo die Licht- und somit die Wachstumsbedingungen für sie nicht optimal sind. Deshalb wird nach der heute gängigen Hypothese (V.BODUNGEN et al., 1981; SMETACEK und PASSOW, 1990; WASMUND et al., 1998) die Blüte dann ausgelöst, wenn sich durch Erwärmung der

obersten Meter eine zeitweilige Stabilisierung der Wassersäule einstellt, so daß die in dieser Schicht "gefangenen" Algen für längere Zeit günstigen Lichtbedingungen ausgesetzt sind. Windarmes Wetter ist dafür Voraussetzung.

Warum aber der späte Beginn der Blüte in der Bornholm- und Gotlandsee? Nach normalerweise kalten Wintern, wenn die Wassertemperatur unterhalb von etwa 2,4 °C (= Temperatur größter Dichte von Wasser eines Salzgehaltes von etwa 8 PSU) liegt, setzt bei Erwärmung auf diese 2,4 °C eine Frühjahrszirkulation bis in die Tiefe der Salzsprungschicht ein. Es nach kompletter Temperaturangleichung in der Wassersäule kann es bei weiterer Erwärmung zur Stabilisierung der Wassersäule kommen, was die Voraussetzung für stärkeres Algenwachstum ist. Die permanente Salzsprungschicht liegt aber in den verschiedenen Seegebieten unterschiedlich tief (Tabelle 6). In der flachen Beltsee muß eine wesentlich kürzere Wassersäule erwärmt werden bis zum Abschluß der Zirkulation als in der Gotlandsee. Entsprechend kann in den tiefen Bereichen der Ostsee erst viel später die Isothermie der Wassersäule und somit der Beginn einer thermischen Schichtung erreicht werden. Daß die Wasseroberflächentemperatur in der westlichen Ostsee im zeitigen Frühjahr deutlich höher als in der Gotlandsee liegt, kann mit Satellitenaufnahmen belegt werden.

Tabelle 6: Zeit der Frühjahrsblüte und Tiefe der Salzsprungschicht (Halocline) in den verschiedenen Seegebieten der Ostsee.

Seegebiet:	Zeitabschnitt, in dem die Frühjahrsblüte 1997 stattfand	Ungefähre Tiefe der Salzsprungschicht
Mecklenburger Bucht	Anfang März - Mitte (?) April	20 m
Arkonasee	Anfang/Mitte März - Ende April	40 m
Bornholmsee	Ende März (?) - Anfang Mai	50-60 m
Südliche Gotlandsee	April - Mai	80 m
Östliche Gotlandsee	April - Mai	80 m

Alternativ zu dieser Erklärung stellen wir hier eine weitere mögliche Ursache für den unterschiedlichen Beginn der Frühjahrsblüte vor. Sie setzt nicht beim Licht (dessen Bedeutung nicht bezweifelt wird), sondern direkt bei den Algen an, die zum Aufbau einer Blüte ja erst mal vorhanden sein müssen. Gerade die blütenbildenden Kieselalgen tendieren zu einem schnellen Absinken (nach V.BODUNGEN et al., 1981: 30-50 m d⁻¹, durch die Halocline hindurch). Ein Aufenthalt in der Wassersäule bis zur nächsten Saison dürfte wegen ihres hohen spezifischen Gewichts unwahrscheinlich sein. Da die Kieselalgen nicht aktiv beweglich sind, sind sie auf passiven Aufwärtstransport vom Sediment in die oberen Wasserschichten angewiesen. Dieser kann im Zuge der Zirkulation dort erfolgen, wo der Gewässergrund oberhalb der Halocline liegt, also im wesentlichen im Küstenbereich. Auf diese Weise kann man erklären, warum die ersten Blüten tatsächlich in küstennahen Bereichen (1993: Lübecker Bucht, 1995: Pommernbucht, 1997: Kieler Bucht) auftreten. Die Blüten in zentralen Bereichen der Ostsee sollten dann nur entstehen können, wenn Impfpopulationen aus Küstenregionen durch advective Strömungen herantransportiert werden. Durch diesen Transport ist die Verzögerung der Blüten in der relativ großen Bornholm- und südlichen Gotlandsee zu erklären. Dagegen beginnt die Blüte in der tiefen, aber relativ landnahen Danziger Bucht relativ früh. Die zentralen Bereiche der Gotlandsee werden im allgemeinen gar

nicht erreicht. Hier kommen, wie auch in den anderen Gebieten, im Mai die Dinoflagellaten zum Zuge, die in der Gotlandsee sogar noch die unverbrauchten Winternährstoffe vorfinden und sich deshalb besonders stark entwickeln (Abb. 3 c).

Diese Hypothesen können aus den Monitoring-Daten heraus nicht endgültig geprüft werden. Es bot sich aber im Rahmen des TRUMP-Projektes (TRUMP, 1998) die Durchführung eines Experiments an, das Aufschluß geben sollte (s. WASMUND et al., 1998): Im Januar 1996 wurden während einer Fahrt in die Pommersche Bucht je 1000 Liter Oberflächenwasser aus der Arkonasee und der Pommerschen Bucht in je ein Faß gefüllt und zusätzlich belichtet. Diese Versuchsbedingungen würden der oben dargelegten "beginnenden Stabilisierung der Wassersäule" entsprechen. Tatsächlich entwickelten sich in beiden Fässern Kieselalgen, wobei die erreichten Biomassen wegen des unterschiedlichen Nährstoffniveaus sehr verschieden waren. Es ließ sich vorläufig schlußfolgern:

- Der Blütenbeginn wird durch die den Algen zur Verfügung stehende Lichtintensität ausgelöst.
- Eine Ausgangspopulation an Kieselalgen ist offensichtlich schon im Oberflächenwasser vorhanden, so daß ein vertikaler oder lateraler Eintrag nicht erforderlich ist.
- Eine deutliche Massenentwicklung begann erst etwa ab dem 10. Tag des Experiments.
- Die Entwicklung stagnierte bereits etwa ab dem 20. Tag des Experiments aufgrund Phosphat-limitation.
- Aufgrund der wesentlich höheren Ausgangskonzentrationen an Nährstoffen konnte in der Pommerschen Bucht eine wesentlich höhere Biomasse gebildet werden.

Die Frühjahrsblüte beruht auf neuer Produktion auf der Basis der während des Winters im Wasser angereicherten Nährstoffe (Tabelle 2). Diese Nährstoffkonzentrationen nehmen von West nach Ost leicht ab (v.BODUNGEN, 1975). Entsprechend ist eine Abnahme der Intensität der Blüte zu beobachten. Aus den Winter-Phosphatkonzentrationen könnte sich z.B. 1997 eine Phytoplankton-Biomasse von etwa 600 mg C m^{-3} in der Beltsee bis etwa 400 mg C m^{-3} in der Gotlandsee bilden. Von den Nährstoffen erschöpft sich in der Beltsee das Phosphat zuerst. In den weiter östlich gelegenen Gebieten wird das N:P-Verhältnis geringer, so daß hier zunehmend Stickstofflimitation auftreten könnte.

Die sich in der westlichen Ostsee an die Kieselalgenblüte anschließende Dinoflagellatenblüte muß sich im wesentlichen aus remineralisierten Nährstoffen (regenerierte Produktion) bilden. Diese Nährstoffe werden schnell aufgenommen, so daß die meßbaren Konzentrationen während der Blüte sehr gering sind. Die Flagellaten haben aber auch die Möglichkeit, durch vertikale Wanderung die noch in tieferen Wasserschichten vorhandenen Nährstoffe zu nutzen. Die relativ langsame Nachlieferung der Nährstoffe bewirkt, daß sich diese Blüte langsamer entwickelt als die Kieselalgenblüte. Auch der Rückgang der Blüte geschieht nicht abrupt, sondern langsam entsprechend dem zunehmenden Fraßdruck durch die sich entwickelnden Zooplankter. In den östlicheren Teilen des Untersuchungsgebietes, wo die Kieselalgenblüte zunehmend schwächer entwickelt ist, können die Dinoflagellaten unmittelbar die hier noch nicht verbrauchten Winternährstoffe nutzen und somit schneller zu größeren Biomassen anwachsen als in der westlichen Ostsee.

Die Sommerblüten

Der Sommer zeichnet sich durch eine vielfältige Phytoplanktongemeinschaft aus. Die in manchen Jahren in der Beltsee gefundene Kieselalgenblüte von *Dactyliosolen fragilissimus* konnte 1997 nicht nachgewiesen werden. In der eigentlichen Ostsee treten dagegen relativ regelmäßig Cyanobakterienblüten aus *Aphanizomenon* sp. und *Nodularia spumigena* auf, die schon gut untersucht sind. WASMUND (1997) gibt folgende Bedingungen für das Auftreten von Cyanobakterienblüten an:

- Wassertemperatur $> 16^{\circ}\text{C}$,
- Globalstrahlung $> 120 \text{ W m}^{-2}$
- Salzgehalt 3,5-11,5 PSU
- Windgeschwindigkeit $< 6 \text{ m s}^{-1}$

Die räumliche Verteilung der Cyanobakterienblüten ist von KAHRU et al. (1994) über mehrere Jahre anhand von Satellitenbildern verfolgt worden. Die Autoren stellten einen Zusammenhang zwischen hoher Sonneneinstrahlung und sehr ruhigem Wetter zur Akkumulation der Cyanobakterien an der Oberfläche her.

Die Herbstblüten

Die Herbstblüten erschienen bislang als das beständigste Element des Jahresgangs. Sie traten im Oktober/November auf und wurden fast ausschließlich aus Kieselalgen (meistens *Coscinodiscus granii*) gebildet. Nur in der Beltsee kam es daneben zu einer Dinoflagellatenblüte aus *Ceratium*-Arten.

Im Jahre 1997 wurden erstmals auch Anfang Oktober Probenahmen durchgeführt. Zu dieser Zeit trat in der Arkona- und Bornholmsee eine Blüte des Dinoflagellaten *Gymnodinium lohmannii* auf. Daß in diesen Seegebieten im Herbst Dinoflagellatenblüten auftreten können, war bislang unbekannt (vgl. Abb. 10 und 11). Ob sie schon früher vorkamen, kann wegen der bisher zu weitabständigen Probenahmen nicht beantwortet werden. Das spricht für unsere bereits seit 1994 durchgesetzte und nun auch von HELCOM geplante Strategie einer höherfrequenten Probenahme auf Kosten einer geringeren räumlichen Auflösung.

5.2. Langzeit-Trends der Phytoplanktonentwicklung

Zwischen den Jahren sind große Schwankungen der Biomasse (sowohl nach der mikroskopischen als auch nach der Chlorophyll-Methode) zu erkennen. Diese sind hauptsächlich dadurch bedingt, daß die Probenahmen in den einzelnen Jahren verschiedene Entwicklungsstadien der Phytoplanktonblüten erfassen. Daher ist ein absoluter Vergleich der Biomassen zwischen den einzelnen Jahren nicht möglich. Darüber hinaus scheinen speziell die von verschiedenen Bearbeitern mikroskopisch bestimmten Biomassen methodisch bedingte Unterschiede aufzuweisen. Das macht die in den HELCOM-Datensätzen gespeicherten absoluten Phytoplanktonbiomassewerte kaum für Trenduntersuchungen geeignet im Vergleich zu den weniger subjektiv beeinflussten Chlorophyllwerten. Für Trendbetrachtungen unter Hinzuziehung der HELCOM-Datenbank haben wir deshalb lediglich die Chlorophylldaten genutzt. Geht man dagegen nur von unseren eigenen Phytoplank-

tonwerten aus, die stets nur von einunddemselben Bearbeiter bestimmt wurden, sind sie wesentlich besser miteinander vergleichbar. Sie sind mit den Chlorophyllwerten gut korreliert (Abb. 8).

Bislang wurden z.B. von SCHULZ et al. (1991) Versuche unternommen, für Trenduntersuchungen wenigstens die Sommerwerte der mikroskopisch bestimmten Phytoplanktonbiomasse zu verwenden, die angeblich nicht so großen Schwankungen unterliegen wie die durch starke Blüten beeinflussten Frühjahrs- und Herbstwerte. Wir erkannten aber bereits in den vergangenen Jahren, daß neben den allgemein bekannten sommerlichen Cyanobakterienblüten insbesondere in der Beltsee gelegentlich auch starke Kieselalgenblüten auftreten können, so daß auch die Sommerwerte unkalkulierbaren Schwankungen unterliegen können. Da gerade zum Beginn des BMP-Untersuchungszeitraumes in verschiedenen Seegebieten ungewöhnlich starke Cyanobakterienblüten auftraten (Abb. 10-13), würden mit den Sommerwerten auf lange Sicht stets abnehmende Trends zu errechnen sein, die aber nicht realistisch sind. Unser Verdacht, daß die extrem hohen Cyanobakterienbiomassen zu Beginn der 80er Jahre durch fehlerhafte Berechnungen zustande kamen, wurde uns durch die schwedischen Datenoriginatoren bestätigt (HAJDU, pers. Mitt., 23.6.98).

Es deutet sich an, daß keine stetigen Entwicklungen, sondern eher Oscillationen stattfinden (Beispiele in Abb. 9-13). Solche Oscillationen wurden von KAHRU et al. (1994) von den Cyanobakterienblüten in der eigentlichen Ostsee beschrieben: Während seiner von 1982 bis 1993 reichenden Untersuchungsperiode traten sommerliche Cyanobakterienblüten insbesondere von 1982 bis 1984 und 1989 bis 1993 auf. Diese Aussage könnte mit den in Abb. 10-13 dargestellten Verläufen bestätigt werden, selbst unter Vorbehalt einer Fehlberechnung zu Beginn der 80er Jahre. Allerdings muß hier nochmals auf das generelle Problem einer wahrscheinlich nicht repräsentativen Probennahme gerade bei den sehr fleckhaft verteilten blütenbildenden Cyanobakterien hingewiesen werden. Die augenscheinlich sehr starken Cyanobakterienblüten im Jahre 1997 scheinen in unseren Proben nicht adäquat widergespiegelt zu sein (Abb. 2, 3 und 9-13). Allerdings haben wir schon in den vergangenen Jahren die Erfahrung gemacht, daß die Cyanobakterienblüten von ihrer Biomasse geringer sind als sie dem Betrachter erscheinen. Trotzdem sind die Cyanobakterien von besonderem Interesse, da sie einerseits durch ihre Stickstoff-Fixierung zur Eutrophierung beitragen und andererseits durch ihre Toxizität das Ökosystem beeinflussen könnten. Dringen die toxischen Cyanobakterien bis in Küstenbereiche vor, sind auch Menschen und Nutztiere gefährdet. Zumindest hat sich eine am 10.8.97 in der Gotlandsee (südöstlich von Öland) bei windstillem Wetter an der Wasseroberfläche konzentrierte Cyanobakterienblüte als toxisch (Nodularin) erwiesen (LUCKAS, pers. Mitteilung).

Langzeit-Trends für die verschiedenen planktischen Parameter wurden aus dem HELCOM-Datensatz 1979 bis 1995 von WASMUND et al. (1997) mittels einer nicht-parametrischen Trendanalyse (Whirsch-Test) ermittelt. Zusammenfassend sind sie in Tabelle 4 dargestellt, wobei die Jahreszeiten einer separaten Analyse unterzogen wurden.

Die bis 1993 gemessene leichte Erhöhung der winterlichen Nährstoffkonzentrationen (insbesondere 1969-1978, danach starke Fluktuationen auf gleichbleibendem Niveau, vgl. HELCOM, 1996) schlägt sich zum Beispiel in der Bornholmsee und der südlichen Gotlandsee in einer langfristigen Erhöhung der Frühjahrs-Phytoplanktonmasse nieder. Im Sommer ist der Effekt geringer, da eine Erhöhung der sommerlichen Nährstoff-Einträge von den metabolisch sehr aktiven sommerlichen

Populationen schnell umgesetzt werden und sich nicht in meßbarer Biomasse wiederfinden. Es könnte auch ein stark erhöhter Partikelexport zum Sediment während der Sommermonate stattfinden, wodurch keine hohen Biomassen im Pelagial akkumulieren würden. Der Export aus den Küstengewässern findet in großem Maße in partikulärer Form als bodennaher Transport in die tieferen Becken statt. Die Sedimente des Oderhaffs haben zwar einen sehr viel höheren Gehalt an organischer Substanz als zum Beispiel die der Arkonasee, jedoch sind die Akkumulationsraten heute in der Arkonasee höher als im Oderhaff (LEIPE et al., 1995).

Ab etwa 1990 geht der Kunstdüngerverbrauch drastisch zurück, was gegenwärtig bereits zu einer leichten Verringerung der winterlichen Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser sowie zumindest keiner weiteren Erhöhung der anorganischen Stickstoffkonzentrationen führt (MATTHÄUS et al., 1998). In der Mecklenburger Bucht, wo das winterliche N:P-Verhältnis mit einem Wert von etwa 12 nahe am Redfield-Verhältnis lag und nach der Frühjahrsblüte eine P-Limitation eintritt, kann sich die Verringerung der P-Konzentration eher auswirken als in der eigentlichen Ostsee, wo die N-Limitation stärker ist (winterliches N:P-Verhältnis von 8-9). Entsprechend ist in der Mecklenburger Bucht im Gegensatz zur eigentlichen Ostsee kein Chlorophyllanstieg festzustellen (Abb. 15, 16 und Tabelle 4).

Da seit 1979 keine signifikante Zunahme der winterlichen Nährstoffkonzentrationen im Oberflächenwasser mehr auftrat, trotzdem aber in einigen Gebieten (insbesondere Bornholmsee und südlicher Teil der östlichen Gotlandsee) eine signifikante Zunahme der Phytoplanktonbiomasse (als Chlorophyll) registriert wurde und diese Zunahme selbst nach einem Absinken der Nährstoffkonzentrationen in den 90er Jahren noch anhielt, läßt das auf eine stark verzögerte Reaktion biologischer Komponenten, also eine Pufferwirkung und hohe Elastizität im Ökosystem, schließen. Speziell in den Sommermonaten wurde keine Erhöhung der Phytoplanktonbiomasse festgestellt, eventuell wegen einer effektiven Nährstoffaufnahme in den Küstenregionen, die einen Nährstofftransport in die offenen Seegebiete verhindert.

Die Zunahme der Dinoflagellaten im Frühjahr ist bereits in Kapitel 4.1.3. ausführlich erläutert worden. Die damit verbundene Abnahme der Kieselalgen spiegelt sich in Tabelle 4 nicht wider. Als Ursache für den Populationswechsel seit 1989 bietet sich nach WASMUND et al. (1998) die Wassertemperatur des Winters an, die seit 1989 deutlich über dem langjährigen Mittel lag. Aus sporadischen Messungen wurde die minimale Wintertemperatur in Abb. 31 dargestellt. Bei den Salzgehalten der südlichen eigentlichen Ostsee hat das Wasser seine höchste Dichte bei etwa 2,3 - 2,4 °C. Wenn das Oberflächenwasser nicht unter diese Temperatur abkühlt, kommt es bei der Erwärmung im Frühjahr nicht zu einer Durchmischung, sondern zu einer Stabilisierung der Wassersäule. Das könnte von Nachteil für die unbeweglichen Kieselalgen sein, aber von Vorteil für die aktiv in die oberen Wasserschichten aufsteigenden Dinoflagellaten. Sollte diese Hypothese richtig sein, so hätte die Artenverschiebung klimatisch-hydrographische Ursachen und wäre kein Eutrophierungseffekt. Es ist auch hervorzuheben, daß die stärkere Entwicklung der Dinoflagellaten in der Frühjahrsblüte nicht auf der Basis neuer Arten, sondern hauptsächlich durch die immer schon blütenbildende Art *Peridiniella catenata* erfolgte.

Der Biomasseanstieg im Herbst von 1979 bis 1995 fand hauptsächlich aufgrund einer Kieselalgenentwicklung statt (Tabelle 4). Ob die erstmals 1997 zu Anfang Oktober gefundenen Dinoflagellatenblüten einen neuen Trend begründen, müssen die zukünftigen Untersuchungen erweisen.

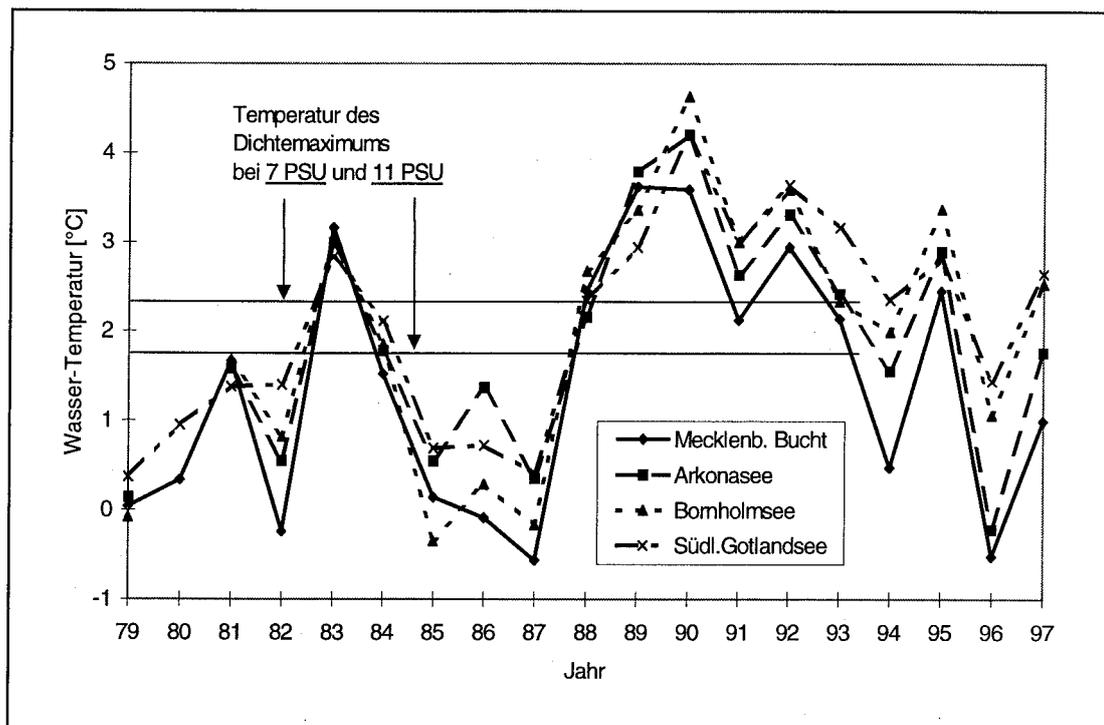


Abb. 31: Winterliche Minimal-Temperaturen im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht (Stat. 12), Arkonasee (Stat. 69, 109, 113) und der Bornholmsee (Stat. 213).

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons unterliegt starken natürlichen Schwankungen, so daß deutliche, gerichtete Veränderungen auf Artebene zur Zeit nicht zu dokumentieren sind.

Etwas deutlicher sind Entwicklungen im Zooplankton zu erkennen. In der nördlichen und zentralen Ostsee ist in den fünfziger und sechziger Jahren die Biomasse angestiegen. Der weitere Anstieg ist jedoch überlagert von natürlichen Schwankungen. In der Artenzusammensetzung zeigen sich ebenfalls starke Einflüsse, die nicht mit der Eutrophierung in Verbindung stehen. Ein deutlicher anthropogener Effekt aber ist die Einschleppung von Arten. Darüber hinaus spielen Veränderungen der Wassertemperatur und des Salzgehaltes eine erhebliche Rolle. Interne Regulationsmechanismen, wie zum Beispiel starker Fraßdruck auf das Mesozooplankton in quallenreichen Jahren, konnten festgestellt werden (V. BODUNGEN et al., 1996).

5.3. Langzeit-Trends der Zoobenthosentwicklung

1997 erfolgte zwar kein Salzwassereinbruch, jedoch machte sich der starke Einstrom in die Ostsee vom November 1996 bezüglich der benthischen Organismen durchaus bemerkbar. Außerdem brachten kleinere Einströme zwischen Ende März und Mitte April 1997 sowie der durch Sturmereignisse im September/Oktober verursachte Transport größerer Wassermengen salz- und sauerstoffreicheres Wasser über die Darßer Schwelle (MATTHÄUS et al., 1998). Besonders die zum Larven- und Juvenilentransport wichtigen Frühjahrsströmungen waren für den Anstieg der Artenzahlen und Abundanzen verantwortlich, da bei vielen benthischen Organismen die Reproduktionsphase im Frühjahr und Frühsommer liegt.

Die Zunahme in der Artenzahl in den westlichen Untersuchungsstationen seit 1994 (Stat. 10, 12) ist v.a. auf das Wiederauftreten einiger Mollusken- bzw. Polychaetentaxa wie *Ampharete acu-*

tifrons, *Phyllodoce mucosa*, *Pherusa plumosa*, *Phaxas pellucidus*, *Scalibregma inflatum* und *Syndosmya alba* zurückzuführen. Andere Arten tauchen erstmalig für diese Stationen auf (z.B. *Ampharete balthica*, *Astarte elliptica*, *Nephtys ciliata*, *Parvicardium ovale*, *Pholoe assimilis* und *Pontoporeia femorata*). Gerade das Vorkommen von *Astarte elliptica* (Bivalvia) und *Pontoporeia femorata* (Amphipoda) deutet auf ein besseres Sauerstoffangebot hin. Nach jahrelangem Fehlen taucht der sauerstoffsensitive Amphipode (JOHANSSON, 1997) erstmalig wieder für diesen Bereich der Ostsee in den Taxalisten auf. Allerdings lagen die Abundanzen mit 13-17 Ind. m⁻² sehr niedrig. GOSSELCK und GEORGI (1984) konnten Anfang der 80er Jahre *P. femorata* letztmalig für die Mecklenburger Bucht nachweisen. Auch in der Region der Pommerschen Bucht verschwand diese Krebsart in den letzten 10 Jahren spurlos (KUBE et al., 1997). WEIGELT (1991) beobachtete für die Kieler Bucht seit Mitte der 80er Jahre ein regelmäßiges Auftreten der Art, jedoch in geringen Abundanzen. Im Untersuchungszeitraum von 1991 bis 1997 wiesen die Arten *Arctica islandica* (Bivalvia) und *Diastylis rathkei* (Crustacea, Cumacea) die größte Stetigkeit an Stat. 10 und 12 auf und konnten mit 100% Präsenz nachgewiesen werden. Auffällig hierbei war jedoch die stetige Zunahme in der Dichte von *D. rathkei* (Abb. 32). 1997 wurden an Stat. 10 über 2500 Ind m⁻² und an Stat. 12 über 1100 Ind m⁻² festgestellt. Außerdem nahm die relative Abundanz (Dominanz) zu und erreichte 1997 an beiden Stationen über 50 %. RUMOHR et al. (1996) bezeichnen die Art als charakteristisches Faunenelement der küstenfernen Bereiche der westlichen Ostsee. WEIGELT (1991) stellte für die Kieler Bucht eine stetige Zunahme der *Diastylis*-Abundanz über Jahrzehnte fest. Von wenigen 100 Ind m⁻² in den 60er Jahren stieg die Dichte auf über 3000 Ind m⁻² in den 80er Jahren an. Die Art erreichte damit in der Kieler Bucht Dominanzen von 48% des Makrozoobenthos. Insgesamt nimmt der Bestand von *D. rathkei* in der Beltsee seit Jahren zu und wird auf Eutrophierungserscheinungen der Ostsee zurückgeführt (BLUHM, 1990; CEDERWALL, ELMGREN, 1980; PERSSON, 1987).

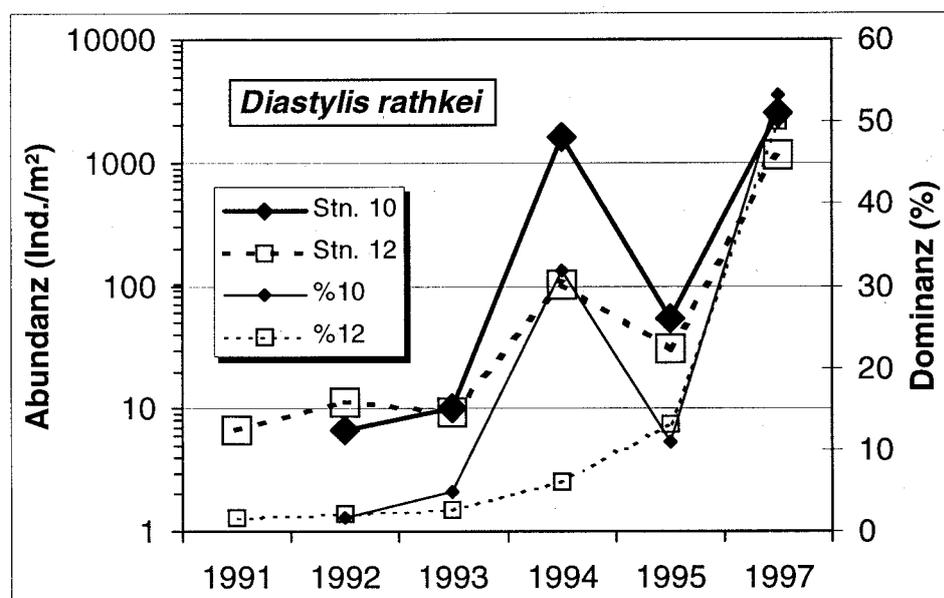


Abb. 32: Abundanzen (Ind. m⁻²) und Dominanz (%) von *Diastylis rathkei* an der Station 10 und 12 (westliche Ostsee), (1996 keine Daten).

Die Stat. 30 (östlich der Darßer Schwelle) zeichnete sich durch die höchste Artenstetigkeit aus. 10 Taxa (von insgesamt 50) konnten hier zwischen 1991 und 1997 konstant nachgewiesen werden. Dazu zählten u.a. die Muscheln *Arenomya arenaria*, *Astarte borealis*, *Cerastoderma lamarcki*, *Macoma balthica* und *Mytilus edulis* sowie die Polychaeten *Hediste diversicolor*, *Pygospio elegans* und *Scoloplos armiger*. *Hydrobia ulvae* zählt neben *P. elegans* zu den bestimmenden Faunenelementen dieser Region und erreicht teilweise über 80 % der Individuendichte des Makrozoobenthos.

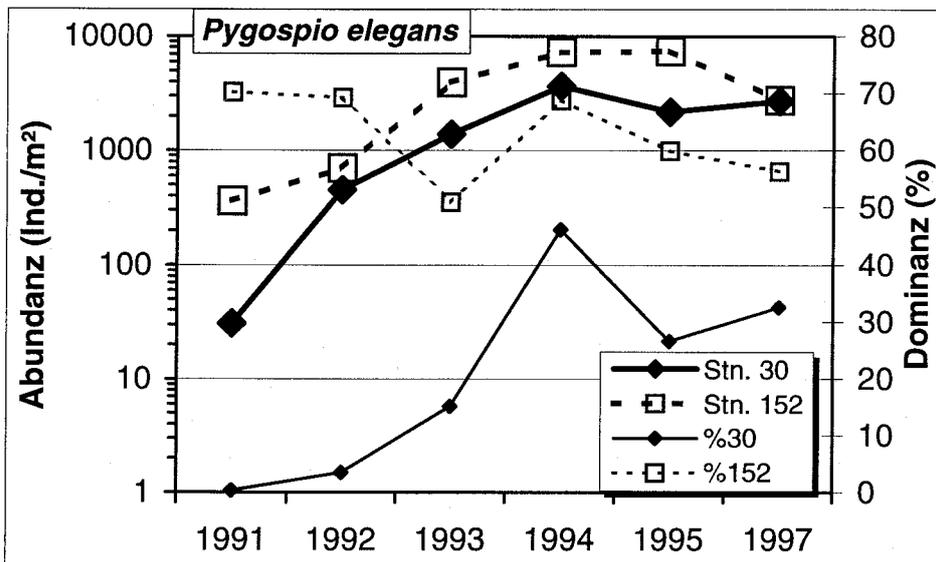


Abb. 33: Abundanz (Ind. m⁻²) und Dominanz (%) von *Pygospio elegans* an den Stationen 30 und 152 von 1991 bis 1997, (1996 keine Daten).

Die Stat. 152 (südl. Arkonasee) stellte sich ähnlich dar. Die Muscheln *Arenomya arenaria* und *Macoma balthica* sowie der Polychaet *Pygospio elegans* hatten ebenfalls eine 100%ige Präsenz. *P. elegans* erreichte relative Abundanzen von über 30% an der Stat. 30 und über 50% an der Stat. 152 (Abb. 33) und ist damit für diese Region charakteristisch (s.a. RUMOHR et al., 1996).

An Stat. 213 (zentrale Bornholmsee) wurde erstmals seit 1993 wieder eine Zunahme des Sauerstoffgehaltes (1,34 cm³ dm⁻³) beobachtet. Von einer „Erholung“ des verarmten Makrozoobenthos (2 Taxa) kann noch nicht gesprochen werden. Sicher ist die hohe Arten und Individuenzahl von 1993 auf einen starken Salzwassereinbruch in die zentrale Bornholmsee zurückzuführen. Die Sauerstoffwerte nahmen von 4,81 cm³ dm⁻³ (1993) auf 0,54 cm³ dm⁻³ (1996) rapide ab. Nur wenige Arten haben bis heute überdauert bzw. siedeln sich spärlich wieder an.

5.4. Beziehungen zwischen den untersuchten Komponenten

Das Monitoring war primär nicht darauf angelegt, kausale Beziehungen zwischen den Entwicklungen verschiedener Komponenten des Ökosystems aufzudecken. Im wesentlichen geht es um Trends ausgewählter Organismengruppen, die exemplarisch als Indikatoren für Veränderungen im Ökosystem stehen können. Da solch wichtige Bestandteile des Ökosystems wie Bakterien und Mikrozooplankton, aber auch Phytobenthos, Meiofauna und Fische von uns nicht untersucht werden, ist es nicht möglich, die trophischen Beziehungen und Stoff-Flüsse unmittelbar zu

ergründen. Selbst das untersuchte Phytoplankton, Mesozooplankton und Makrozoobenthos läßt sich nur schlecht in Beziehung setzen, da Teilungs- und Wachstumsraten dieser Gruppen sehr unterschiedlich sind und eine direkte Kopplung häufig fehlt.

Schon die Verhältnisse zwischen Biomasse und Produktion von Bakterien und Phytoplankton, die in vergangenen Jahren gemeinsam erfaßt wurden, unterliegen in der Ostsee weiten Schwankungen (v. BODUNGEN et al., 1996). Aufgrund der relativ geringen Anzahl von Messungen und der großen Variabilität ließen sich seinerzeit keine Unterschiede zwischen den Stationen und den Jahreszeiten feststellen.

Zur Zeit der Frühjahrsblüte und auch der Herbstblüte kann von einem geringen Einfluß der Herbivoren auf Phytoplanktonwachstum und Artenzusammensetzung ausgegangen werden. Speziell im Jahre 1997 hatte sich das Mesozooplankton allerdings recht zeitig entwickelt (hohe Abundanzen bereits im März, besonders an Station 012), so daß hier bereits von einem bedeutenderen Einfluß des Grazing auf die Frühjahrsblüte ausgegangen werden kann. Im Sommer ist ein gravierender Einfluß durch den Fraß des Zooplanktons in jedem Falle zu erwarten. Während das kleinere Mesozooplankton für die meiste Zeit des Jahres mit etwa 10 % am Stoffumsatz (als Maß für die Nutzung der autotrophen Produktion) im Pelagial beteiligt ist, kann dieser Anteil im Sommer bis zu 70 % betragen. Es muß davon ausgegangen werden, daß dabei einerseits die Zusammensetzung des Phytoplanktons, aufgefaßt als unterschiedliche Futterqualität, die herbivoren Organismen beeinflußt und andererseits diese die Zusammensetzung des Phytoplanktons durch ihre Fraßaktivitäten verändern. Auch das Mikrozooplankton stellt insbesondere in den Sommermonaten eine wichtige trophische Ebene zwischen Bakterien, Phytoplankton und dem Mesozooplankton dar.

5.5. Auswirkungen des Oder-Hochwassers vom Juli/August 1997

Als besonderes Ereignis im Untersuchungsgebiet ist das Oder-Hochwasser vom Sommer 1997 zu nennen. Nach starken Regenfällen im Einzugsgebiet der Oder und der Weichsel insbesondere vom 4. bis 8. Juli und vom 18. bis 21. Juli 1997 (FUCHS, RAPP, 1997) war man auf den starken Flußwassereintrag insbesondere in die Pommersche Bucht vorbereitet und es gab frühzeitige Spekulationen über eine zu erwartende Umweltkatastrophe. Dieser Herausforderung hat sich das IOW mit zusätzlichen Aktivitäten gestellt.

Durch das extreme Hochwasser der Oder wurde das Wasser im Oderhaff relativ schnell verdrängt und über die Swina direkt in die Pommersche Bucht transportiert. Die kurze Verweilzeit sowie die hohe Trübung des Flußwassers verhinderten trotz der erhöhten Nährstoff-Frachten eine wesentliche Erhöhung der Primärproduktion. Deshalb wurde erwartet, daß ein gravierendes Biomassewachstum erst mit Eintritt des Wassers in die Pommersche Bucht stattfinden würde (aufgrund besserer Lichtbedingungen wegen flacher Schichtung und Aussinken der Trübstoffe). Überraschenderweise waren speziell die eingetragenen Stickstoffkonzentrationen sehr gering (MATTHÄUS et al., 1998), offensichtlich wegen starker Verdünnung durch die Wassermassen sowie eine in der sommerlichen Wachstumsperiode bereits stattgefundenene starke Stickstoffaufnahme aus dem Boden durch die Landpflanzen. Wegen des resultierenden geringen N/P-Verhältnisses von etwa 7 – 8 im Flußwasser im Gegensatz zum optimalen N/P-Verhältnis von 16 war anzunehmen, daß das

Algenwachstum in der Pommerschen Bucht durch Stickstoff limitiert war (HUMBORG et al., 1998). Dementsprechend kam es zu keinem signifikanten Algenwachstum, sondern zu einer Verdünnung im Laufe des Mischungsgradienten. Hauptsächlich wurden die Süßwasser-Kieselalgen *Melosira granulata*, *Skeletonema subsalsum* sowie unbestimmte kleine (10 µm) zentrische Formen angetroffen. Am 4.8.1997 wurde eine Blase älteren Haffwassers in die Pommersche Bucht gedrückt, die durch eine *Microcystis*-Blüte und sehr hohe Chlorophyll a - Konzentrationen bis 300 mg m⁻³ charakterisiert war.

Zur Zeit des stärksten Biomasseeintrags ab Anfang August wurde das Oderwasser entlang der Küste Usedom verdriftet. Die mitgeführte Biomasse sedimentierte im Verlaufe des Transports und führte am Gewässergrund zu Sauerstoffzehrung. Da die stabile horizontale Schichtung eine Nachlieferung von gelöstem Sauerstoff aus dem Oberflächenwasser behinderte, kam es schließlich ab dem 17.8.1997 zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten, so daß es in größeren Gebieten vor Usedom zu einer Schädigung der benthischen Lebensgemeinschaft kam (LAUN, 1997).

Zusammenfassend kann aber festgestellt werden, daß die Auswirkungen des Oder-Hochwassers für die Ostsee nur lokal begrenzt waren und zu keiner nachhaltigen Störung des Ökosystems geführt haben.

Danksagung

Die Autoren danken den am Ostseeüberwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung, insbesondere den für die Probenbearbeitung zuständigen Kolleginnen, Frau REGINA HANSEN, Frau KÄTE KUNERT, Frau CHRISTINE PETERS, Frau HEIDE SANDBERG, Frau INA TOPP sowie Frau MONIKA GERTH. Den Kapitänen und Besatzungen der Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ und „Alexander v. Humboldt“ sei gedankt für die Unterstützung während der Meßfahrten.

Literaturverzeichnis

- BLUHM, H., 1990: Analyse zyklischer Wiederbesiedlungsvorgänge am Beispiel sublitoraler Makrobenthosgemeinschaften in der Flensburger Förde. Diss., Univ. Kiel, 1-257.
- V. BODUNGEN, B., 1975: Der Jahresgang der Nährsalze und der Primärproduktion des Planktons in der Kieler Bucht unter Berücksichtigung der Hydrographie. Diss., Universität Kiel, 1-116.
- V. BODUNGEN, B., V.BRÖCKEL, K., SMETACEK, V., ZEITSCHER, B., 1981: Growth and sedimentation of the phytoplankton spring bloom in the Bornholm Sea (Baltic Sea). Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 49-60.
- V. BODUNGEN, B., JOST, G., POSTEL, L., POWILLEIT, M., WASMUND, N., 1996: Biologisches Monitoring und wissenschaftliche Zustandseinschätzung der Ostsee im Rahmen der HELCOM. Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1-183.

- 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, 1-51.
- 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, 1-65.
- 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, 1-58.
- CEDERWALL, H., ELMGREN, R., 1980: Biomass increase of benthic macrofauna demonstrates eutrophication of the Baltic Sea. *Ophelia Suppl.* **1**, 287-304.
- FUCHS, T., RAPP, J., 1997: Zwei außergewöhnlich starke Regenepisoden als Ursache des Oderhochwassers im Juli 1997. Beilage zur Wetterkarte des DWD 158/1997, 1-4.
- GARGAS, E., NIELSEN, G.E. MORTENSEN, S., 1978: Phytoplankton production, chlorophyll-a and nutrients in the open Danish waters 1975-1977. The Belt Project.
- GOSSELCK, F., GEORGI, F. 1984: Benthic recolonization of the Lübeck Bight (Western Baltic) in 1980/81. *Limnologica* **15**, 407-414.
- HEINÄNEN, A. 1992: Bacterioplankton in a subarctic estuary: the Gulf of Bothnia (the Baltic Sea). *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **86**, 123-131.
- HEIP, C. 1995: Eutrophication and zoobenthos dynamics. *Ophelia* **41**, 113-136.
- HELCOM 1988: Guidelines for the Baltic Sea Monitoring Programme for the third stage. Part D. Biological determinands. *Baltic Sea Environ. Proc.* **27 D**, 1-161.
- HELCOM 1991: Third Biological Intercalibration Workshop. *Baltic Sea Environ. Proc.* **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 Environ. Proc.* **64 B**, 1-252.
- HOBRO, R., WILLEN, E., 1977: Phytoplankton countings. Intercalibration results and recommendations for routine work. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **62**, 805-811.
- HUMBORG, C., NAUSCH, G., NEUMANN, T., POLLEHNE, F., WASMUND, N., 1998: The exceptional Oder flood in summer 1997 – The fate of nutrients and particulate matter in the Baltic Sea. *Deutsche Hydrograph. Zeitschr.* (im Druck).
- JOHANSSON, B., 1997: Tolerance of the deposit-feeding Baltic amphipods *Monoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata* to oxygen deficiency. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **151**, 135-141.

- JOST, G., KAISER, W., POSTEL, L., POWILLEIT, M., WASMUND, N., v. BODUNGEN, B., 1996: Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1995. Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1-36.
- KAHRU, M., HORSTMANN, U., RUD, O., 1994: Satellite detection of increased cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: natural fluctuation or ecosystem change? *Ambio* **23**, 469-472.
- KAISER, W., SCHULZ, S., 1976: Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. *Fischerei-Forschung, Wiss. Reihe* **14**, 77-81.
- KELL, V., 1973: Die Darßer Schwelle - eine biologische Grenze? *Wiss. Z. Univ. Rostock* **22**, 617-623.
- KUBE, J., GOSSELCK, F., POWILLEIT, M., WARZOCHA, J., 1997: Long-term changes in the benthic communities of the Pomeranian Bay (southern Baltic Sea). *Helgoländer Meeresunters.* **51**, 399-416.
- LAUN, 1997: 4. Bericht zu den Auswirkungen des Oder-Hochwassers auf das Kleine Haff und die Pommersche Bucht (Zeitraum 14.08.-25.08.1997). Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Stralsund, 29.8.1997, 1-8.
- LEIPE, T., NEUMANN, T., EMEIS, K.-C., 1995: Schwermetalle in holozänen Ostseesedimenten. *Geowissenschaften* **13**, 470-478.
- LORENZEN, C.J., 1967: Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* **12**, 343-346.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1998: Hydrologisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1997. *Meereswiss. Ber., Warnemünde*, **29**, 1-65.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1996: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995. *Meereswiss. Ber., Warnemünde*, **16**, 1-43.
- NIEMI, A., MELVASALO, T., HEINONEN, P., 1985: Phytoplankton counting techniques and primary production measurements - comments on the results of intercalibration. *Aqua Fennica* **15**, 89-103.
- PERSSON, L.-E., 1987: Baltic eutrophication: A contribution to the discussion. *Ophelia* **27**, 31-42.
- RUMOHR, H., BONSDORFF, E., PEARSON, T. H., 1996: Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats. *Arch. Fish. Mar. Res.* **44**, 179-214.

- SCHULZ, S., KAISER, W., BREUEL, G., 1991: Trend analysis of biological parameters in the Baltic (1976-1988). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **76**, 351-360.
- SCHULZ, S., KAISER, W., BREUEL, G., 1992: Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1991. Bericht des IOW im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1-37.
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W., 1963: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 1-117.
- SIEGEL, H., GERTH, M., RUDLOFF, R., TSCHERSICH, G., 1994: Dynamical features in the western Baltic Sea investigated by NOAA-AVHRR-data.. *Deutsche Hydrogr. Zeitschr.* **3**, 191-209.
- SIEGEL, H., GERTH, M., OHDE, TH., 1998: Case 1 and Case 2 algorithms for MOS-IRS and their application to different regions; 2. Workshop on MOS-IRS and Ocean Colour, 28-30 April 1997, Berlin.
- SMAYDA, T. J., WHITE, A. W., 1990: Has there been a global expansion of algal blooms? If so, is there a connection with human activities ? In: *Toxic Marine Phytoplankton*. Ed. by E. Granéli, B. Sundström, L. Edler, D. M. Anderson. Elsevier Science Publishing Co., Inc., Amsterdam, New York, 516-517.
- SMETACEK, V., 1978: Die Jahressukzession des Phytoplanktons: Ursache und Bedeutung für das marine Ökosystem. *Verh. Gesellschaft für Ökologie, Kiel 1977*, 23-28.
- SMETACEK, V., 1985: The annual cycle of Kiel Bight plankton: A long-term analysis. *Estuaries* **8**, 145-157.
- SMETACEK, V., PASSOW, U., 1990: Spring bloom initiation and Sverdrup's critical-depth model. *Limnol. Oceanogr.* **35**, 228-234.
- TIESEL, R., 1998: Temperatursummen der Lufttemperaturen an der Wetterstation Warnemünde im Jahre 1997. *Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Warnemünde (unveröff.)*
- TRUMP, 1998: Transport- und Umsatzprozesse in der Pommerschen Bucht (TRUMP) 1994-1996. *Abschlußbericht, IOW Warnemunde, 1-32 (unveröff.)*.
- UNESCO, 1968: Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling, Paris: UNESCO 1968, 1-174.
- UTERMÖHL, H., 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Ass. intern. Limnol. théor.* **9**, 1-38.

- VERITY, P.G., ROBERTSON, C. Y., TRONZO, C. R., ANDREWS, M. G., NELSON, J. R., SIERACKI, M. E., 1992: Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **37**, 1434-1446.
- WASMUND, N., 1997: Occurrence of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea in relation to environmental conditions. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **82**, 169-184.
- WASMUND, N., BREUEL, G., OLSONEN, R., 1997: Trends in phyto- and zooplankton in the Baltic proper – results of the Baltic Monitoring Programme. Poster auf dem ICES International Symposium, Kiel, 19-21 März 1997.
- WASMUND, N., NAUSCH, G., MATTHÄUS, W., 1998: Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea – spatio-temporal development and long-term trends. *J. Plankton Res.* **20**, 1099-1117.
- WASMUND, N., TOPP, I., 1996: Methodische Untersuchungen zur Chlorophyllbestimmung. IOW Warnemünde (unveröff.).
- WEIGELT, M., 1991: Short- and long-term changes in the benthic community of the deeper parts of Kiel Bay (Western Baltic) due to oxygen depletion and eutrophication. *Meeresforsch.* **33**, 197-224.

Meereswissenschaftliche Berichte

MARINE SCIENCE REPORTS

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

- Schneider, Bernd; Pohl, Christa:
Spurenmetallkonzentrationen vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns
- 12 (1996) Schinke, Holger:
Zu den Ursachen von Salzwassereinbrüchen in die Ostsee
- 13 (1996) Meyer-Harms, Bettina:
Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in zwei unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee (Pommernbucht, Gotlandsee)
- 14 (1996) Reckermann, Marcus:
Ultraplankton and protozoan communities and their interactions in different marine pelagic ecosystems (Arabian Sea and Baltic Sea)
- 15 (1996) Kerstan, Eberhard:
Untersuchung der Verteilungsmuster von Kohlenhydraten in der Ostsee unter Berücksichtigung produktionsbiologischer Meßgrößen
- 16 (1996) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995
- 17 (1996) Brosin, Hans-Jürgen:
Zur Geschichte der Meeresforschung in der DDR
- 18 (1996) Kube, Jan:
The ecology of macrozoobenthos and sea ducks in the Pomeranian Bay
- 19 (1996) Hagen, Eberhard (Editor):
GOBEX - Summary Report
- 20 (1996) Harms, Andreas:
Die bodennahe Trübezzone der Mecklenburger Bucht unter besonderer Betrachtung der Stoffdynamik bei Schwermetallen
- 21 (1997) Zülicke, Christoph; Hagen, Eberhard:
GOBEX Report - Hydrographic Data at IOW
- 22 (1997) Lindow, Helma:
Experimentelle Simulationen windangeregter dynamischer Muster in hochauflösenden numerischen Modellen
- 23 (1997) Thomas, Helmuth:
Anorganischer Kohlenstoff im Oberflächenwasser der Ostsee
- 24 (1997) Matthäus, Wolfgang; Nehring, Dietwart; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus; Siegel, Herbert:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1996
- 25 (1997) v. Bodungen, Bodo; Hentzsch, Barbara (Herausgeber):
Neue Forschungslandschaften und Perspektiven der Meeresforschung - Reden und Vorträge zum Festakt und Symposium am 3. März 1997.
- 26 (1997) Lakaschus, Sönke:
Konzentrationen und Depositionen atmosphärischer Spurenmetalle an der Küstenstation Arkona
- 27 (1997) Löffler, Annekatrin:
Die Bedeutung von Partikeln für die Spurenmetallverteilung in der Ostsee, insbesondere unter dem Einfluß sich ändernder Redoxbedingungen in den zentralen Tiefenbecken
- 28 (1998) Leipe, Thomas; Eidam, Jürgen; Lampe, Reinhard; Meyer, Hinrich; Neumann, Thomas; Osadczuk, Andrzej; Janke, Wolfgang; Puff, Thomas; Blanz, Thomas; Gingele, Franz Xaver; Dannenberger, Dirk; Witt, Gesine:
Das Oderhaff. Beiträge zur Rekonstruktion der holozänen geologischen Entwicklung und anthropogenen Beeinflussung des Oder-Ästuars.

- 29 (1998) Matthäus, Wolfgang; Nausch, Günther; Lass, Hans Ulrich; Nagel, Klaus; Siegel, Herbert:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1997
- 30 (1998) Fennel, Katja:
Ein gekoppeltes, dreidimensionales Modell der Nährstoff- und Planktondynamik für die westliche Ostsee
- 31 (1998) Lemke, Wolfram:
Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression
- 32 (1998) Wasmund, Norbert; Alheit, Jürgen; Pollehne, Falk; Siegel, Herbert; Zettler, Michael L.:
Ergebnisse des Biologischen Monitorings der Ostsee im Jahre 1997 im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen