

# Meeresumwelt 1994 - 1996

OSTSEE

# 9 Ozeanographische Situation

## Witterung

Mit einer Durchschnittstemperatur von ca. 10°C (8,7°C an der Nordspitze Rügens) war das Jahr 1994 das viertwärmste seit Beginn regelmäßiger meteorologischer Messungen. Herausragend war der warme Sommer, Kap Arkona war mit 1959 Stunden der sonnenscheinreichste Ort Deutschland.

Jahresniederschläge zwischen 1000 mm im Hamburger Raum und im Bereich Kieler Bucht und 557 mm am Kap Arkona auf Rügen verdeutlichen das Ost-West-Gefälle. Mit Überschüssen zwischen 2 und 43% (Boltenhagen) war das Jahr überall zu nass. Besonders große Niederschlagsmengen von mehr als 100 l/m<sup>2</sup> summierten sich im Januar, März, August und Dezember. Dagegen fiel im Juli gebietsweise kein Tropfen Regen; auch der November war verbreitet zu trocken.

Das Jahr 1995 war mit Mitteltemperaturen zwischen 8,5 und knapp 10,0°C im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten um 0,5 bis 1,0 K zu warm. Februar, Juli, August und Oktober ragten mit positiven Temperaturabweichungen von teilweise bis zu 3 K heraus. Dem stehen die Monate Juni mit 1 K und November und Dezember mit maximal bis zu 4,5 K negativer Anomalie gegenüber. Auf Nordrügen schien die Sonne mehr als 2000 Stunden. Neun sonnenscheinreichen Monaten (Juli und August übertrafen die Erwartung um 30 bis 50%) stehen lediglich drei Monate (Februar, Juni, September) mit zu wenig Sonne gegenüber. Damit war das gesamte Jahr durch eine überdurchschnittliche Sonnenscheindauer (10 bis 20% Überschreitung) gekennzeichnet.

Wie im Vorjahr zeigt sich bei den Jahresniederschlägen ein deutliches Ost-West-Gefälle mit Niederschlagsmengen zwischen 825 mm auf Norderney (7% Überschuss) und 425 mm am Kap Arkona auf Rügen (18% Defizit). Besonders niederschlagsreich waren die ersten drei Monate des Jahres sowie der September. Die letzten drei Monate und der Juli und August fielen erheblich zu trocken aus.

Mit Mitteltemperaturen zwischen knapp 7,0 und 8,0 °C war das Jahr 1996 im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten (1961 bis 1990) um 1,0 K zu kalt. Besonders markante Temperaturabweichungen ergaben sich von Januar bis März sowie im Mai, September und Dezember. Zu warm waren der April und insbesondere der August. Das Sonnenscheinangebot lag zwischen 1645 und 1875 Stunden. Damit wurden örtlich (Greifswalder Bodden, Ostseeküste Schleswig-Holsteins) die langjährigen Erwartungswerte nicht ganz erreicht. Die Abweichungen blieben aber unter 10%. Sonnenscheinreichster Monat war der August (örtlich über 250 Stunden), dicht gefolgt vom April. In der Negativ-Bilanz steht der Mai mit vielerorts weniger als 150 Stunden an der Spitze.

Die Jahresniederschläge erreichten mit Werten zwischen 430 mm (Warnemünde) und 700 mm lediglich 65 bis etwa 90 % der Normalwerte. Insbesondere das 1. Halbjahr war viel zu trocken, herausragend waren hier der Januar, aber auch März und April.

## Salzgehalte und Sauerstoffkonzentrationen

In der Ostsee sind unterschiedliche hydrographische Zonen zu verzeichnen. So bildet sich in der westlichen Ostsee im Sommer eine stabile, temperatur- und salzgehaltsbedingte (thermohaline) Schichtung aus, die vertikale Austauschprozesse zwischen der Oberfläche und dem Meeresboden verhindert. Diese Schichtung löst sich im Herbst und Winter durch Abkühlung und Stürme zeitweise wieder auf und führt dem Meeresboden Sauerstoff zu. Wichtigster Antrieb des Wasseraustauschs mit der Nordsee sind die aktuellen Windverhältnisse, daneben aber auch Dichteströmungen, hervorgerufen durch Salzgehaltsunterschiede der Wassermassen. Diese führen zum Ausstrom salzarmen Oberflächenwassers und zum Einstrom salzreichen Tiefenwassers.

An der Küste werden die hydrographischen Bedingungen im Wesentlichen durch den Wasseraustausch mit der offenen Ostsee so-

wie, in regional unterschiedlicher Stärke, durch den Flusswasserzustrom bestimmt.

In der zentralen Ostsee existiert das ganze Jahr hindurch eine stabile, vertikale Dichteschichtung. Die Oberflächenschicht weist charakteristische Jahresgänge von Temperatur, Salzgehalt, Dichte und Sauerstoffgehalt auf. Infolge der eingeschränkten Zufuhr von Salz und Sauerstoff in das Tiefenwasser tritt dort häufig Sauerstoffmangel auf, bei länger andauernder Stagnation bildet sich sogar Schwefelwasserstoff. Gleichzeitig reichern sich Nährstoffe durch Remineralisierung aus dem Sediment im Tiefenwasser an.

In den schleswig-holsteinischen Küstengewässern zeigte die in der inneren Schlei gelegene Station Große Breite die geringsten Salzgehaltsschwankungen und die niedrigsten Konzentrationen im Oberflächenwasser mit 4,8 und 9,9. Die größten Schwankungen und den höchsten, gemessenen Salzgehalt wies 1994 - 1996 die Station Fehmarnbelt mit 8,7 - 23,4 auf (Abb. 1). Im bodennahen Wasser fanden sich an den schleswig-holsteinischen Stationen höhere Salzgehalte als an der Oberfläche, das Minimum betrug hier 11,1 (Station Dahmeshöved, Schwarzer Grund in der Mecklenburger Bucht). Mit 27,8 lag der höchste Salzgehalt im bodennahen Wasser an der Messstation in der Eckernförder Bucht (Abb.1).

Die Sauerstoffgehalte variierten im Oberflächenwasser an den schleswig-holsteinischen Stationen 1994 - 1996 ganzjährig zwischen 97 und 428  $\mu\text{mol/l O}_2$  (Minimum im September 1994 an der Station Eckernförder Bucht).

In den inneren Förden und Buchten Schleswig-Holsteins trat nahezu alljährlich im Spätsommer Sauerstoffmangel im bodennahen Wasser auf. Besonders ausgeprägt waren die Verhältnisse im September 1994. An sieben der 13 Messstationen wurden zu diesem Zeitpunkt Sauerstoffgehalte unter 63  $\mu\text{mol/l O}_2$  gefunden. 1995 wurde nur in der Flensburger Innenförde, in der in allen Jahren eine hohe Primärproduktion auftrat, ein Sauerstoffdefizit im bodennahen Wasser festgestellt (Minimum: 22  $\mu\text{mol/l}$  im August, Abb. 2). An den anderen Stationen lagen die Gehalte von Juli bis September 1995 zwischen 250 und 313  $\mu\text{mol/l}$ . 1996 traten mit Minimalwerten von 6  $\mu\text{mol/l O}_2$  im September erneut Sauerstoffdefizite in

der Flensburger Innenförde sowie in der Eckernförder Bucht auf. In der Flensburger Außenförde, im Fehmarnbelt und in der Lübecker Bucht lagen die Gehalte zu dieser Zeit unter 94  $\mu\text{mol/l O}_2$ .

Die Sauerstoffkonzentrationen im bodennahen Wasser der Flensburger Innenförde zeigten 1994 - 1996 eine viel stärkere Dynamik als im Oberflächenwasser (Abb.2). Während 1994 bis 1996 bei den Messungen 180  $\mu\text{mol/l O}_2$  an der Oberfläche nicht unterschritten wurden, sanken in der bodennahen Schicht die Sauerstoffgehalte im Spätsommer und Herbst unter 90  $\mu\text{mol/l O}_2$ .

In den äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns war der Salzgehalt infolge spezifischer Wasseraustauschprozesse durch ein deutliches West-Ost-Gefälle gekennzeichnet. Von mittleren 13-14 im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht sank der Salzgehalt auf etwa 10 nördlich der Halbinsel Darß / Zingst, auf 9 östlich der Insel Rügen und auf 7-8 in der Oderbucht. Die Amplituden der jahreszeitlichen Schwankungen des Salzgehaltes nahmen ebenfalls in östlicher Richtung ab, was in Beziehung zum abnehmenden Einfluss des salzreichen Kattegatwassers zu sehen war.

Der Süßwassereintrag der Oder in die Pommersche Bucht ließ die Variabilität der Salzgehalte in diesem Seegebiet (Oder-Ästuar) wieder ansteigen. In der 22-24 m tiefen Mecklenburger Bucht traten in den Sommermonaten durch den Einstrom salzreichen Tiefenwassers und den auswärts gerichteten salzarmen Oberstrom haline Schichtungen, stets begleitet von thermischen Schichtungen auf.

In den vorpommerschen Bodden- und Haffgewässern ist in Abhängigkeit von der Morphometrie und Hydrographie ein mehr oder weniger starkes Salzgefälle zwischen den offenen, von Seewasser beeinflussten (z. B. Wismarbucht, Greifswalder Bodden) und den inneren vom Süßwasserzustrom geprägten Gewässerteilen (z. B. Stettiner Haff, Unterwarnow) charakteristisch. Auch hier war ein deutliches West-Ostgefälle des Salzgehaltes erkennbar.

Zu den wesentlichen Ereignissen im Berichtszeitraum 1994 - 1996 gehörten die Auswirkungen des Salzwassereintruches vom Januar 1993 auf das Tiefenwasser der zentralen Ostsee, der gefolgt war von weiteren Einstromereignissen im Dezember 1993 sowie im Frühjahr 1994, die jedoch nicht die Intensität von Salzwassereintrüchen erreichten. Diese Ereignisse verstärkten die Auswirkungen des Salzwassereintruchs vom Januar 1993 und führten zu einer weiteren Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers in den zentralen Ostseebecken. Während der Salzgehalt um 1,0 - 1,5 anstieg, erreichten die Sauerstoffkonzentrationen, die im Mai 1994 unterhalb 170 m Tiefe im Gotlandtief gemessen wurden, mit 3

– 3,8 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> so hohe Werte, wie sie zuletzt in den dreißiger Jahren aufgetreten waren. Ab Mai 1994 war das Tiefenwasser der gesamten Ostsee frei von Schwefelwasserstoff. Damit endete die seit 1977 im östlichen Gotlandbecken herrschende Stagnationsperiode.

Da weitere größere Einstromereignisse ausblieben, verschlechterten sich die Sauerstoffbedingungen im Gotlandbecken. Im Jahre 1996 dominierten im östlichen Gotlandbecken anoxische Verhältnisse, wobei die schwefelwasserstoffhaltige Tiefenschicht an Mächtigkeit gewann und sich in Abhängigkeit von der Bodentopographie nach Süden ausbreitete.

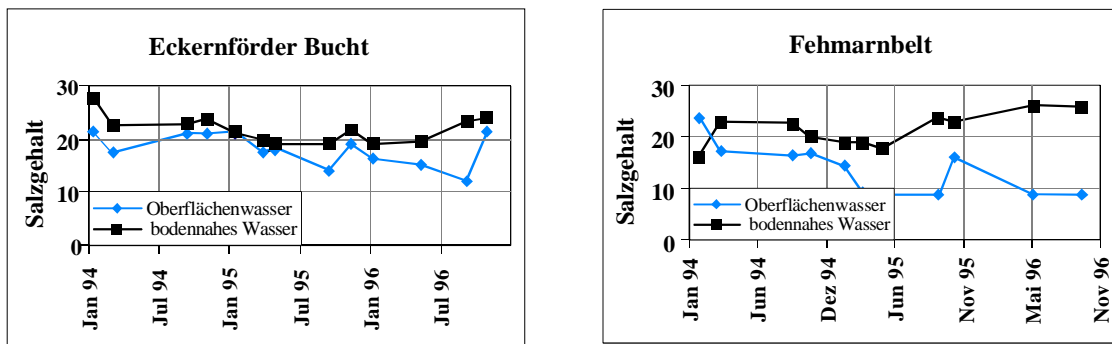


Abb 1: Jahrgang des Salzgehaltes im Oberflächenwasser und bodennahen Wasser von 1994 bis 1996 im Fehmarnbelt und in der Eckernförder Bucht

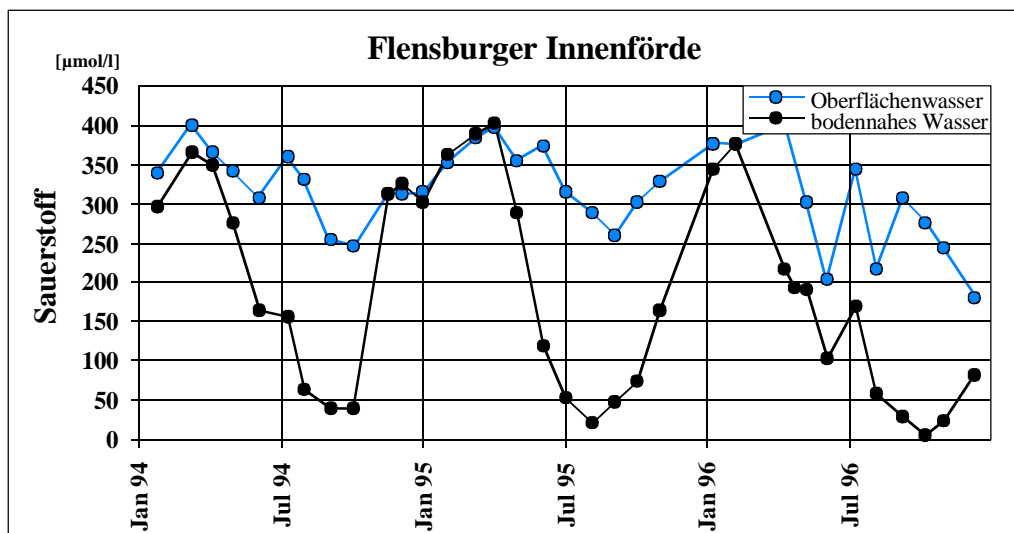


Abb. 2 : Sauerstoffgehalte im Oberflächen- und im bodennahen Wasser der Flensburger Innenförde (Ochseninsel) 1994 - 1996

# 10 Untersuchungen zur Eutrophierung

## 101 Belastung mit Nährstoffen

Im Winter werden Nitrat, Phosphat und Silikat als Endglieder der Nährstoffmineralisierung in der Oberflächenschicht der Ostsee angereichert. Im Verlauf der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons verschwinden die anorganischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen innerhalb weniger Wochen aus der oberen, lichtdurchfluteten Schicht. Diese Entwicklung setzt Anfang / Mitte März zuerst im Kattegat und den Belten ein, findet in der Arkona- und Bornholmsee Mitte März - Mitte April statt und setzt sich dann in nordöstlicher Richtung weiter fort. Die in der abgestorbenen Frühjahrsblüte fixierten Nährstoffe sind durch die Sprungschicht sedimentiert und werden im Tiefenwasser und am Meeresgrund biochemisch abgebaut. Ihre Rückführung in die Oberflächenschicht erfolgt im Spätherbst und Winter.

Die Wasserqualität der Küstengewässer wird wesentlich durch die Nährstoffeinträge von Land und aus der Atmosphäre beeinflusst. Darüber hinaus sind natürlich vorgegebene Einflussfaktoren, wie die Morphologie und Hydrologie von maßgeblicher Bedeutung. Durch den hohen Zustrom von Flusswasser sind diese Gewässer erheblichen Schwankungen und zeitweise extremen Nährstoffkonzentrationen ausgesetzt. Aber auch die gewässerinternen Sedimente bergen ein hohes Nährstoffpotential.

Im Zusammenhang mit der Eutrophierung der Ostsee soll durch Monitoringprogramme geklärt werden, ob der verstärkte Bau von Kläranlagen, der im Rahmen des Ostsee-Aktionsprogrammes der Anrainer angestrebt wird, sowie der drastische Rückgang des Düngemittelverbrauches im Einzugsgebiet sich auch in einer Abnahme der Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlich durchmischten Oberflächenschicht widerspiegelt.

Die sich seit Anfang der 90er Jahre andeutende Tendenz zur Verringerung der Phosphorkonzentrationen setzte sich zwischen 1994

und 1996 fort. Während für Phosphor die Forderung der Umweltminister der Ostseeanrainerstaaten nach einer Halbierung der Belastung in Mecklenburg-Vorpommern realisiert wurde, sind beim Stickstoff in nassen Jahren nach wie vor hohe Einträge, vor allem aus diffusen Quellen, zu verzeichnen. Eine Reaktion auf die veränderte Belastungssituation, d.h. eine echte Verminderung des Eutrophierungspotentials verbunden mit einer qualitativen Regeneration des marinen Ökosystems, ist derzeit nicht vorherzusagen.

### Stickstoff-Verbindungen

Eine der Haupteintragsquellen für die gelösten anorganischen Stickstoffverbindungen an der deutschen Ostseeküste ist der diffuse Eintrag von landwirtschaftlich genutzten Flächen über die Flüsse und Küstenstreifen. Er beträgt zum Beispiel in der Flensburger Förde schätzungsweise 40 - 65% des gesamten Stickstoffeintrags. Für Mecklenburg-Vorpommern wird geschätzt, dass 79% des Stickstoffeintrags 1992 - 1994 aus den Flächen in die Küstengewässer ausgewaschen wurden und nicht aus Punktquellen, wie den kommunalen Kläranlagen, stammten. Durch den hohen diffusen Anteil haben die meteorologischen Bedingungen einen wesentlichen Einfluss auf den Stickstoffeintrag aus den Flussgebieten in die Küstengewässer.

Mit dem Einstrom von salz- und sauerstoffreicherem Nordseewasser aus dem Kattegat werden der Ostsee erhebliche Mengen an Nitrat zugeführt. Die Zufuhr an Phosphat und Silikat ist demgegenüber von untergeordneter Bedeutung.

### Nitrit und Nitrat

In den **schleswig-holsteinischen Küstengewässern** variierten die Nitritkonzentrationen im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen  $<0,04 \mu\text{mol/l}$  (Frühsommer) und  $4 \mu\text{mol/l}$  (Maximum im Januar und Oktober 1994 an der Station Schlei, Große Breite). Die

Mediane der Winterwerte im Oberflächenwasser lagen in der Schlei bei 2,4 und 2,8  $\mu\text{mol/l}$  und in der Flensburger Innenförde bei 1,1  $\mu\text{mol/l}$ . An den anderen Stationen fanden sich Nitritmediane zwischen 0,2 und 0,6  $\mu\text{mol/l}$ . Im bodennahen Wasser 1994 - 1996 lagen die Nitritkonzentrationen ganzjährig zwischen  $<0,04 \mu\text{mol/l N}$  und  $2 \mu\text{mol/l N}$  (Maximum im August 1995 in der Flensburger Innenförde).

Die Nitratkonzentrationen variierten im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen  $<0,2 \mu\text{mol/l}$  (Frühsommer) und  $320 \mu\text{mol/l}$  (Maximum im Januar und März 1994 an der Station Schlei, Große Breite). Etwa 22% aller Nitrat-Messwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die höchsten Mediane der Nitrat-Winterwerte lagen 1994 - 1996 an den beiden Stationen in der inneren Schlei bei 216 und  $281 \mu\text{mol/l}$ . An den übrigen Stationen variierten die Winter-Mediane zwischen  $2,1 \mu\text{mol/l}$  an der küstenfernen Station Kieler Bucht und 12 bzw.  $15 \mu\text{mol/l}$  in der Kieler und der Flensburger Innenförde. Im bodennahen Wasser 1994 - 1996 lagen die Werte ganzjährig zwischen  $<0,2 \mu\text{mol/l}$  und  $32 \mu\text{mol/l}$  (Maximum im März 1994 in der Flensburger Innenförde).

In den **Mecklenburg-Vorpommerschen Küstengewässern** war bis 1996 kein eindeutig abnehmender Trend für die Stickstoffkonzentrationen zu erkennen.

In Abb.3 sind die Zeitreihen von anorganischem, gelöstem Stickstoff im Kleinen Haff und an der nächstgelegenen Station in der Pommerschen Bucht von 1979 bis 1996 dargestellt. Sie zeigen, dass in nassen Jahren mit hohen Auswaschungsraten aus den landwirtschaftlichen Böden, wie etwa 1987/88 und im sehr nassen Frühjahr 1994, die Stickstoffkonzentrationen in den Küstengewässern sprunghaft anstiegen. So wurden 1994 in den inneren Küstengewässern maximale Nitratkonzentrationen bis  $620 \mu\text{mol/l}$  (Darß-Zingster Bodden) und in den äußeren Küstengewässern bis  $200 \mu\text{mol/l}$  (Pommersche Bucht, Abb.3) gemessen. In trockenen Jahren sind die Konzentrationen entsprechend niedrig. Die Zeitreihen des Kleinen Haffs und der Pommerschen Bucht sind zudem ein Beispiel dafür, dass die Stickstoffkonzentrationen an den Stationen der inneren Küste deutlich höher liegen als in der

vorgelagerten Ostsee, teilweise um ein Mehrfaches.

Beim Nitrat, das im Winter als praktisch einzige anorganische Stickstoffverbindung in der Oberflächenschicht der **offenen Ostsee** vorhanden ist, wurde 1996 noch keine abnehmende Tendenz festgestellt. Die Konzentrationen dieses Nährstoffs entsprachen denen, die seit Mitte der 80er Jahre beobachtet wurden. Sie lagen im Februar 1994 zwischen  $4,2 \mu\text{mol/l}$  (Arkonasee, Bornholm- und Gotlandtief) und  $11,5 \mu\text{mol/l}$  (Lübecker Bucht und Oderbucht). Im Februar 1996 fand sich die niedrigste Nitratkonzentration von  $3,9 \mu\text{mol/l}$  im Farötief, die höchste lag mit  $5,8 \mu\text{mol/l}$  in der Arkonasee. Vergleichswerte für die höher belasteten Stationen in der Lübecker Bucht und der Oderbucht fehlen allerdings für den Februar 1996. Die Beprobung konnte wegen Eisbedeckung nicht stattfinden.

In den **zentralen Ostseebecken** ist die Variabilität der Nährstoffkonzentrationen im Tiefenwasser sehr stark an die herrschenden Redoxbedingungen geknüpft. In Gegenwart von Sauerstoff liegen die anorganischen Stickstoffverbindungen nahezu ausschließlich als Nitrat vor. Beim Auftreten von Schwefelwasserstoff verschwindet das Nitrat durch Denitrifikation. Die Mineralisation organischer Substanz führt zur Anreicherung von Ammonium, das aufgrund fehlenden Sauerstoffs nicht nitrifiziert werden kann. Dieses Wechselspiel zwischen Sauerstoff und Schwefelwasserstoff sowie die Reaktionen im Stickstoffregime 1992 - 1996 wird in Abb.4 verdeutlicht. Die Veränderungen erfolgen sowohl auf langfristigeren Zeitskalen (NEHRING et al. 1995b), können aber auch im Zusammenspiel mit advektiven Prozessen innerhalb weniger Stunden beobachtet werden.

## Ammonium

An den **schleswig-holsteinischen Stationen** lagen die Ammoniumkonzentrationen im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen  $<0,2 \mu\text{mol/l}$  und  $46 \mu\text{mol/l}$  (Maximum Ende Oktober in der Schlei, Station Große Breite). Etwa 20% aller Ammonium-Messwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Zwischen November und März wurden an den beiden Stationen in der

Schlei häufig Gehalte über 21  $\mu\text{mol/l}$  gemessen. Die höchsten Winter-Mediane (November bis Februar) der Ammoniumkonzentrationen im Oberflächenwasser fanden sich 1994 - 1996 in der inneren Schlei (Station Große Breite) mit 30  $\mu\text{mol/l}$ , in der Schlei bei Lindholm mit 18  $\mu\text{mol/l}$  und in der Flensburger Innenförde mit 14  $\mu\text{mol/l}$ . An den anderen Stationen lagen die Mediane der winterlichen Ammoniumkonzentrationen zwischen 1,1 und 3,6  $\mu\text{mol/l}$ . Im bodennahen Wasser 1994 - 1996 lagen die Ammoniumkonzentrationen ganzjährig zwischen  $<0,2$   $\mu\text{mol/l}$  und 64  $\mu\text{mol/l}$  (Maximum im Oktober 1996 in der Flensburger Innenförde).

Die Stickstoffeinträge gingen zwischen 1986 und 1995 in der Flensburger Förde nicht merklich zurück. Die hohe Primärproduktion, die hier einen alljährlich im Sommer auftretenden Sauerstoffschwund im Bodenwasser zur Folge hat, kann nur durch weitere Verringerung der Stickstoffeinträge begrenzt werden. Im Vergleich mit der küstenfernen Station in der Kieler Bucht lagen die Gehalte an anorganischem, gelöstem Stickstoff (DIN) im Oberflächenwasser der Flensburger Innenförde um mindestens das Dreifache höher (Abb.5).

In der zweiten Jahreshälfte 1994 waren im Oberflächenwasser der Flensburger Innenförde im Vergleich zu den beiden Folgejahren erhöhte Ammoniumkonzentrationen zu beobachten. Die Ammoniumkonzentrationen lagen an der Oberfläche im Sommer und Herbst 1994 und 1995 deutlich höher als die Nitratgehalte (keine Nitratbeobachtungen für 1996). Während sich die Nitratgehalte im Bodenwasser der Innenförde 1994 und 1995 in der gleichen Größenordnung bewegten wie an der Oberfläche, fanden sich in Bodennähe höhere Ammoniumkonzentrationen (Abb.6). Mit sinkenden Sauerstoffgehalten im Sommer reicherte sich dort Ammonium an. Aufgrund des Sauerstoffmangels konnte die Nitrifikation, der mikrobielle Abbau des organischen Stickstoffs, nur bis zum Zwischenprodukt Ammonium, nicht aber weiter bis zum Endprodukt Nitrat ablaufen. Im weiteren Jahresverlauf setzte mit steigenden Sauerstoffgehalten in Bodennähe die Nitrifikation ein, der Nitratgehalt stieg Ende 1994 und Ende 1995 erneut über den des Ammoniums.

## Phosphor

Unter anoxischen Bedingungen führen Mineralisation und Remobilisierung aus den Sedimenten zur Erhöhung des Phosphatgehaltes, unter oxischen Bedingungen kommt es zu einer teilweisen Bindung des Phosphats und anschließender Ausfällung und Sedimentation. Nährstoffreiche Sedimente mit einem hohen organischen Anteil, zum Beispiel in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns, wirken auf diese Weise gewissermaßen als gewässerinternes Phosphordepot.

An den **schleswig-holsteinischen Stationen** variierten die Phosphatgehalte im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen  $<0,03$   $\mu\text{mol/l}$  (Frühsommer) und 10  $\mu\text{mol/l}$  (Maximum im September 1995 an der Station Schlei, Große Breite). Etwa 9% aller Phosphat-Messwerte lagen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Gehalte über 3  $\mu\text{mol/l}$  wurden nur an den beiden Stationen in der Schlei gemessen. Die Mediane der Phosphat-Winterwerte (November - Februar) im Oberflächenwasser bewegten sich zwischen 0,6  $\mu\text{mol/l}$  in der äußeren Kieler Förde (Leuchtturm Kiel) und 1,3  $\mu\text{mol/l}$  in der Flensburger Innenförde.

Im bodennahen Wasser an den schleswig-holsteinischen Messstationen lagen die Phosphatgehalte 1994 - 1996 ganzjährig zwischen 0,06  $\mu\text{mol/l}$  und 17  $\mu\text{mol/l}$  (Maximum im Oktober 1996 in der Flensburger Innenförde). In der Flensburger Förde sind die Phosphoreinträge durch Ausbau der großen Kläranlagen beiderseits der Grenze mit einer Phosphoreliminierung rückläufig. Eine weitere Verminderung der Phosphoreinleitungen durch Kläranlagen ist kaum noch möglich. Seit 1989 beträgt der gesamte Phosphoreintrag in die Flensburger Förde etwa 140 Tonnen pro Jahr. Im Vergleich mit der küstenfernen Station in der Kieler Bucht lagen die Phosphatgehalte im Oberflächenwasser der Flensburger Innenförde deutlich höher (Abb.7).

Die Phosphatkonzentrationen im bodennahen Wasser der Flensburger Innenförde lagen 1994 - 1996 zu den gleichen Zeitpunkten um

das drei- bis zehnfache höher als im Oberflächenwasser. Im bodennahen Wasser ist deutlich die Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt zu erkennen: bei Sauerstoffmangel steigen die Phosphatkonzentrationen aufgrund der Lösung aus dem Sediment sprunghaft an (Abb.8).

Im Rahmen der vom Institut für Meereskunde (IfM) Kiel durchgeführten Untersuchungen und Datenauswertungen wurden mögliche Zusammenhänge zwischen Nährstoffkonzentrationen und Niederschlägen für die Jahre 1980 bis 1998 untersucht. Es zeigte sich, dass die Winter-Oberflächen-Konzentrationen (WOK), die allgemein als aussagekräftige Größe für die Produktionsabläufe eines Jahres angesehen werden, nur sehr schwach mit den vorangegangenen Niederschlägen korrelieren. Dabei zeigt Phosphat keine Korrelation jedoch eine systematische Abnahme über den Zeitraum von etwa 1,5  $\mu\text{mol/l}$  auf 0,7  $\mu\text{mol/l}$  (Abb.9). Damit ist der Anstieg, der von 1960 bis 1980 beobachtet wurde, nahezu wieder zurückgeführt.

Auffällig ist, dass die Phosphatkonzentrationen ab 1990 praktisch unabhängig von den Niederschlägen eine konstante Abnahme zeigen. Dies deutet daraufhin, dass die Phosphatkonzentrationen in diesem Gebiet heute im wesentlichen biogeochemisch durch das Systembudget bestimmt werden und die Einträge von Land dagegen gering sind.

Die Haupteintragsquellen für Phosphor in die **Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns** sind diffuse Einträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen und Punktquellen. Die geschätzte gesamte Phosphorfracht aus dem Einzugsgebiet des Landes Mecklenburg-Vorpommern in die Ostsee setzte sich im Zeitraum 1992 bis 1994 aus 64 % diffusen und 36 % punktuellen Einträgen zusammen. In dem Maße, wie die Sanierung von Punktquellen voranschreitet, kommt den diffusen Einträgen eine wachsende Bedeutung zu. Vor allem drainierte Flächen verfügen über ein hohes Austragspotential. Neben den externen Quellen haben die hochorganischen nährstoffreichen Sedimente der flachen inneren Küstengewässer einen erheblichen Anteil an der Eutrophierung. Durch die ständige Remobilisierung von Phosphat wirken sie

gewissermaßen als gewässerinternes Phosphordepot.

Der seit Anfang der 90er Jahre an den **Mecklenburg-Vorpommerschen Küsten** zu beobachtende Trend einer Verringerung der Phosphorkonzentrationen bzw. Stabilisierung auf niedrigem Niveau, setzte sich im Zeitraum 1994 - 1996 fort. Im Vergleich lagen die mittleren Phosphatkonzentrationen des Zeitraumes 1994 bis 1996 deutlich unter 50 % des zehnjährigen Mittels 1984 bis 1993. Als Hauptursachen für diese positive Entwicklung sind insbesondere der Einsatz phosphatfreier Waschmittel nach 1990, die Modernisierung großer kommunaler Kläranlagen im Küstenbereich und die Umstrukturierungen von Landwirtschaft und Industrie im Einzugsgebiet der Küstengewässer zu nennen.

Die Phosphatkonzentrationen an den Stationen der inneren Küste Mecklenburg-Vorpommerns liegen deutlich höher als in der vorgelagerten Ostsee, wie das Beispiel der Phosphatzeitreihen 1979 bis 1996 im Kleinen Haff und an der nächstgelegenen Station in der Pommerschen Bucht (Abb.10) zeigt.

Im Oberflächenwasser der **offenen Ostsee** wurden in den Jahren 1995 und 1996 die niedrigsten winterlichen Phosphatkonzentrationen beobachtet. Sie lagen 1995 zwischen 0,44  $\mu\text{mol/l}$  im Bornholmtief und 0,84  $\mu\text{mol/l}$  in der Lübecker Bucht. Seit Beginn des starken Anstiegs in den 70er und zu Beginn der 80er Jahre wurden ähnlich niedrige Konzentrationen nur 1988 und 1989 gemessen. Diese Abnahme kann als Beginn einer Mesotrophierung gesehen werden. Sie tritt auf in Folge des verstärkten Baus von Kläranlagen (im Rahmen des Ostsee-Aktionsprogrammes; HELCOM 1993), sowie des drastischen Rückgangs des Düngemittelverbrauches im Einzugsgebiet.

Im Tiefenwasser der offenen Ostsee führen unter anoxischen Bedingungen Mineralisation und Remobilisierung aus den Sedimenten zur Erhöhung des Phosphatgehaltes, unter oxidischen Bedingungen kommt es zu einer teilweisen Bindung des Phosphats und anschließender Ausfällung und Sedimentation. Dieses Wechselspiel zwischen Sauerstoff und Schwefelwasserstoff sowie die Reaktionen im Phosphorregime des Tiefenwassers in der offenen



Ostsee 1992 - 1996 wird durch Abb.11 verdeutlicht. Diese Veränderungen erfolgen sowohl auf langfristigeren Zeitskalen, können aber auch im Zusammenspiel mit advektiven Prozessen innerhalb weniger Stunden beobachtet werden.

## Silikat

Die Silikatkonzentrationen variierten im Oberflächenwasser an den **schleswig-holsteinischen Stationen** 1994 - 1996 ganzjährig zwischen 0,4  $\mu\text{mol/l}$  (Station Lübecker Bucht, Dahmeshöved im April 1994) und

maximal 196  $\mu\text{mol/l}$  (Station Schlei, Große Breite im September 1994).

Die höchsten Mediane der Winterwerte 1994 - 1996 lagen mit 85 und 121  $\mu\text{mol/l}$  an den beiden Stationen in der inneren Schlei. An der übrigen Stationen bewegten sie sich zwischen 13 und 24  $\mu\text{mol/l}$ .

Die Silikatgehalte lagen im bodennahen Wasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen 0,4  $\mu\text{mol/l}$  und 60  $\mu\text{mol/l}$  (Maximum im September 1996 in der Eckernförder Bucht).

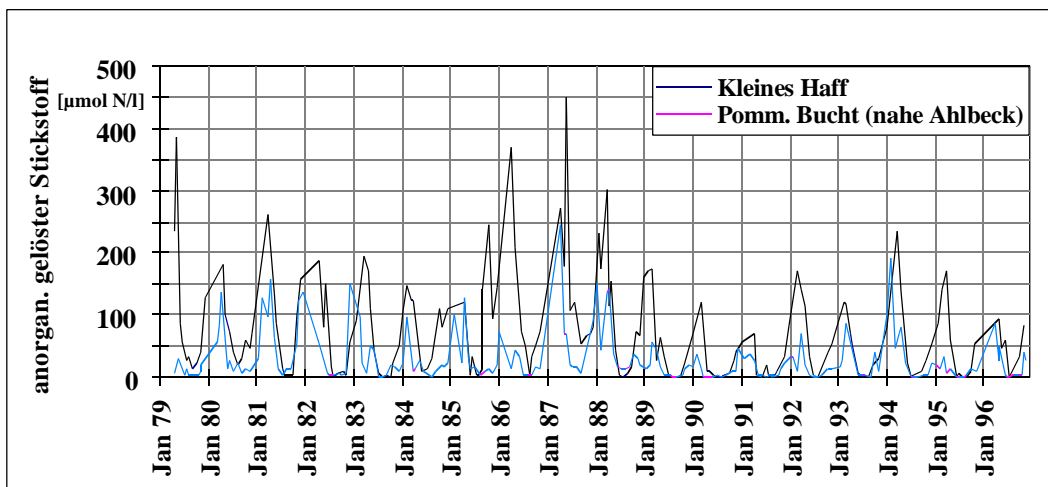


Abb. 3: Vergleich der Konzentrationen an anorganischem, gelöstem Stickstoff 1994 - 1996 im Kleinen Haff und in der vorgelagerten Station in der Pommerschen Bucht (nahe Ahlbeck).

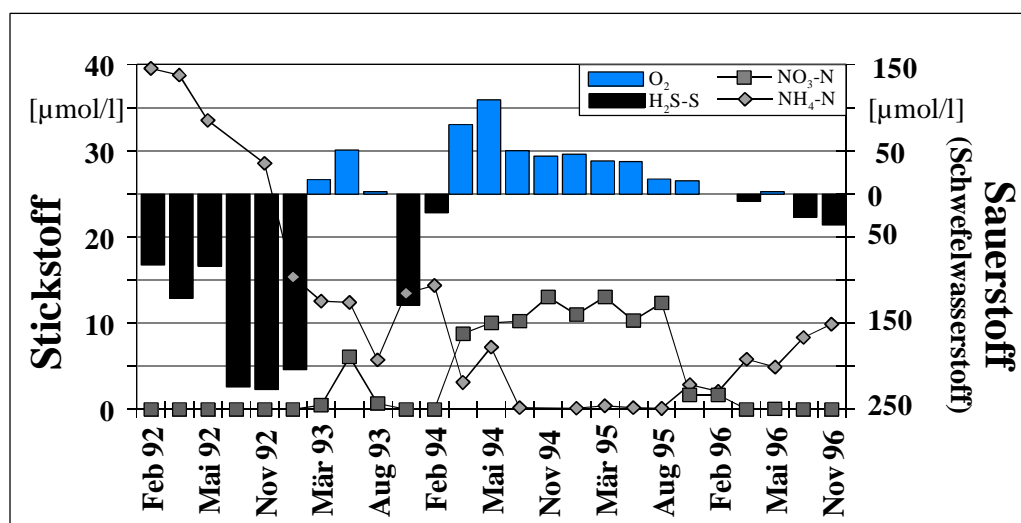


Abb. 4: Erneuerung des Bodenwassers und Beginn einer neuen Stagnationsperiode im Gotlantief (Stat. 271, 230-240 m Tiefe) sowie der Einfluss von Sauerstoff bzw. Schwefelwasserstoff auf die Verteilung von anorganische Stickstoffverbindungen - modifiziert nach NEHRING et al. (1995b).

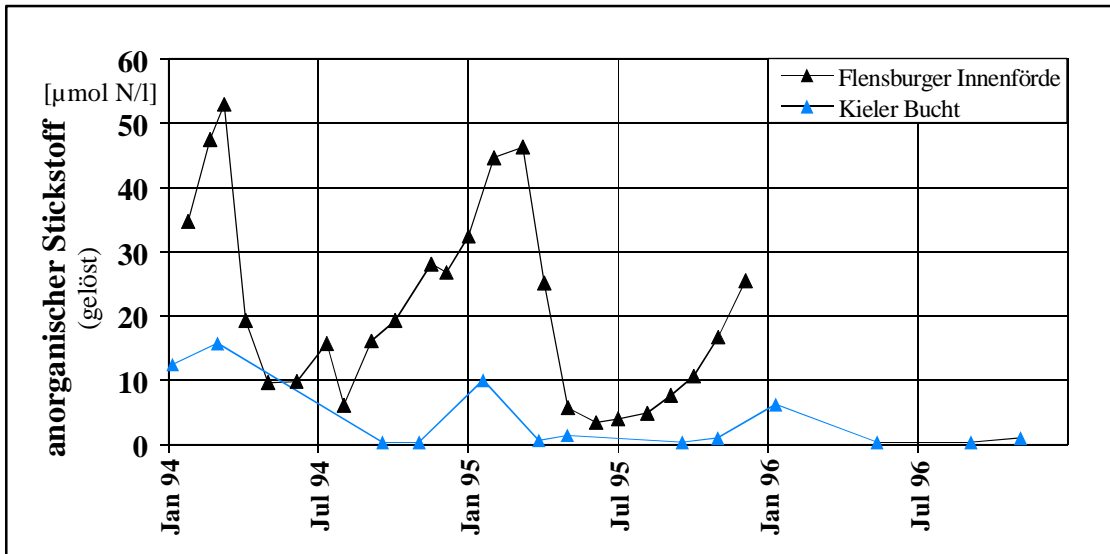


Abb. 5: Vergleich der Summenkonzentrationen an anorganischem, gelöstem Stickstoff 1994 - 1996 im Oberflächenwasser der Flensburger Innenförde und an der küstenfernen Station in der Kieler Bucht.

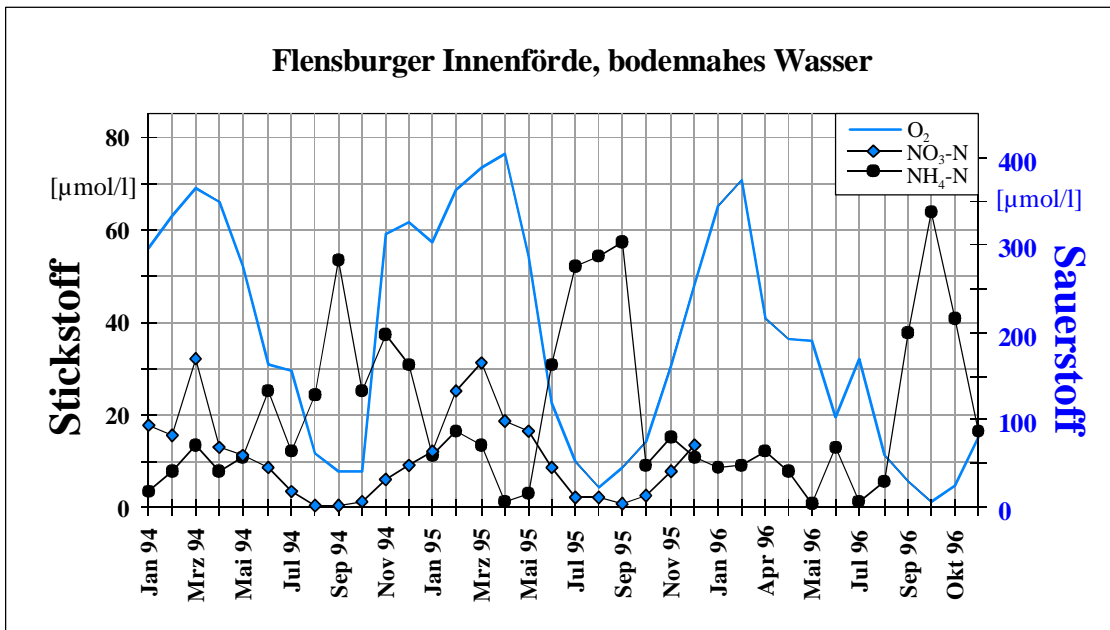


Abb. 6: Konzentrationen an anorganischem, gelöstem Stickstoff 1994 - 1996 im bodennahen Wasser der Flensburger Innenförde (Ochseninseln).

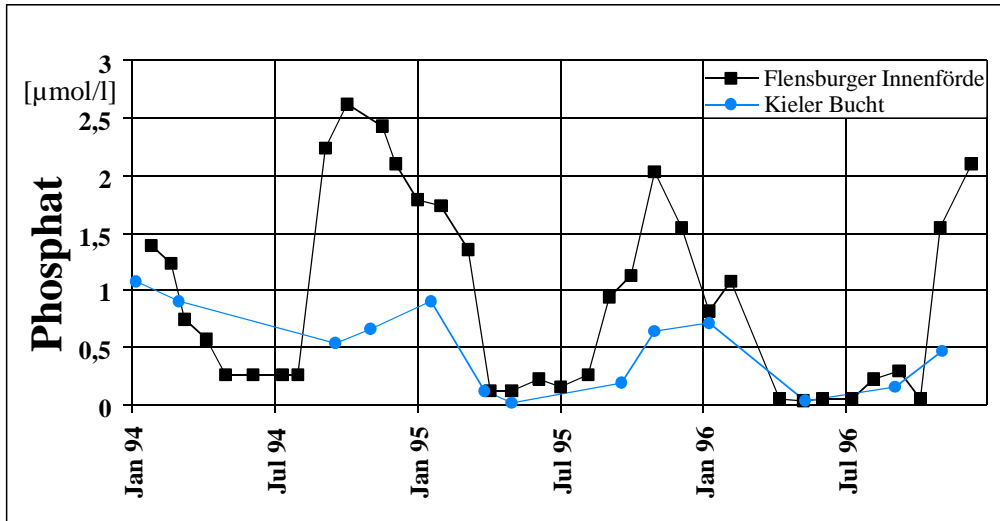


Abb. 7: Vergleich der Phosphatkonzentrationen 1994 - 1996 im Oberflächenwasser der Flensburger Innenförde (Ochseninseln) und an der küstenfernen Station in der Kieler Bucht.

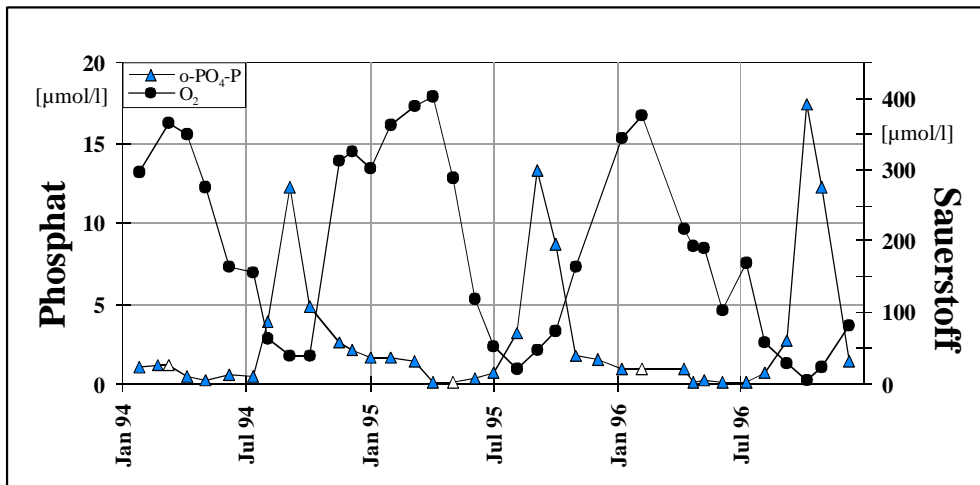


Abb. 8: Phosphatkonzentrationen und Sauerstoffgehalte 1994 - 1996 im bodennahen Wasser der Flensburger Innenförde (Ochseninseln).

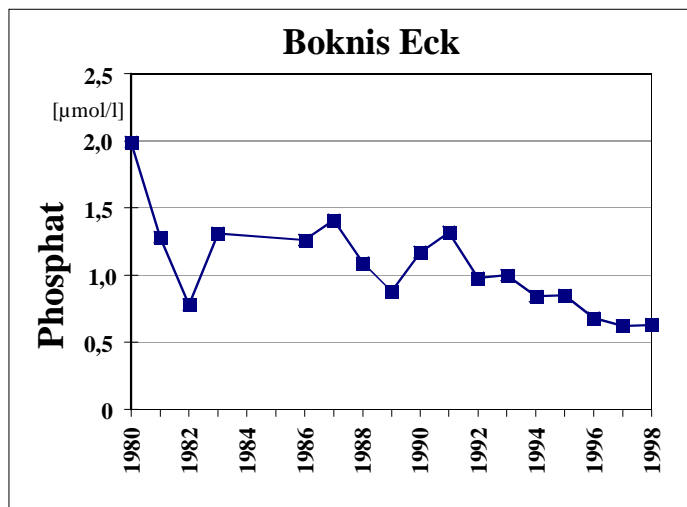


Abb. 9: Winter-Oberflächen-Konzentrationen des Phosphat auf Station Boknis Eck

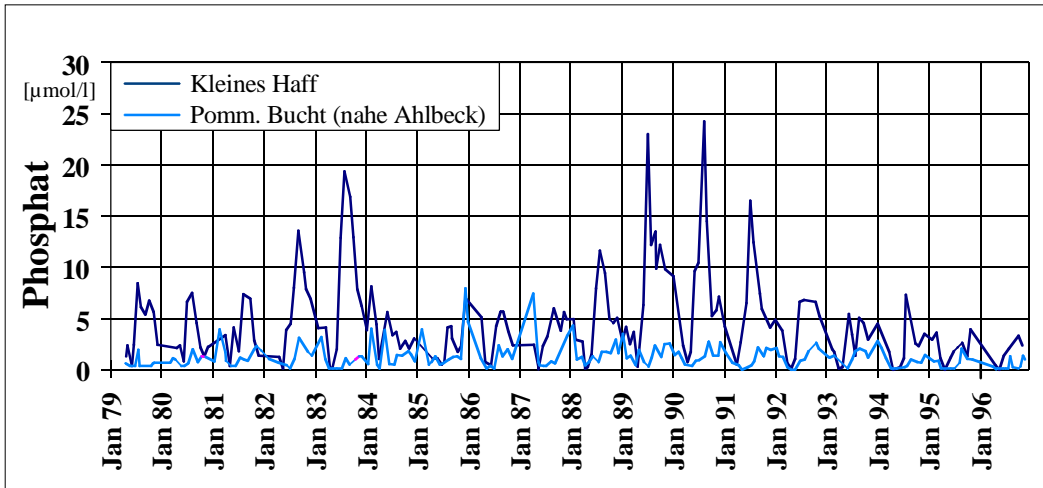


Abb.10: Vergleich der Phosphatkonzentrationen 1994 - 1996 im Kleinen Haff und in der vorgelagerten Station in der Pommerschen Bucht (nahe Ahlbeck).

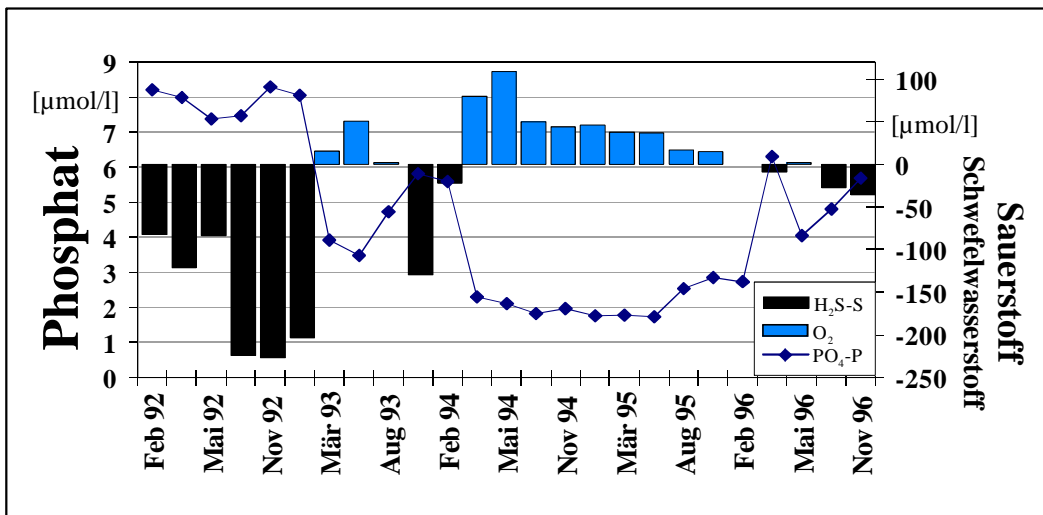


Abb. 11: Erneuerung des Bodenwassers (1993) und Beginn einer neuen Stagnationsperiode (1996) im Gotlandtief (Stat. 271, 230-240 m Tiefe) sowie der Einfluss von Sauerstoff bzw. Schwefelwasserstoff (als negativer Sauerstoffwert aufgetragen) auf die Verteilung von Phosphat ( $\mu\text{mol/l}$ ) - modifiziert nach NEHRING et al. (1995b).

## 102 Phytoplankton in der Ostsee

Die typische Abfolge der Phytoplanktonbestände während eines Jahres (Sukzession) beginnt vor der schleswig-holsteinischen Küste und den mecklenburg-vorpommerschen Außenküsten mit einer Frühjahrsblüte der Diatomeen. Nach deren Absterben folgen in einer Übergangszeit ungefähr im Mai kleine, begeißelte Algenformen (keine Dinoflagellaten). Ihnen schließen sich im Sommer die Dinoflagellaten und erneut Diatomeen an. Dabei vermehren sich kleinere Dinoflagellaten wie *Prorocentrum minimum* eher in den Förden, während die Entwicklung großer Formen

wie der *Ceratium*-Arten eher küstenfern stattfindet. Zum sommerlichen Phytoplankton vor den Küsten der südlichen Ostsee gehören auch die Blaualgen, wenngleich ihre Massenentwicklungen in der eigentlichen, zentralen Ostsee auftreten. Ab Herbst können wieder die Diatomeen dominieren.

Der Einfluss salzreichen Kattegatwassers wird entlang der deutschen Ostseeküste in östlicher Richtung geringer. In den äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns nehmen Salzgehalte und ihre jahreszeitliche Variabi-

lität von Westen nach Osten ab (13 – 14 im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht, 10 nördlich der Halbinsel Darß / Zingst, 9 östlich der Insel Rügen 7 - 8 in der Oderbucht). Im Gebiet der Darßer Schwelle verläuft die Übergangszone zwischen dem salzreicheren Mischwasser des Kattegats und dem salzärmeren Brackwasser der Ostsee. Westlich dieses Gebiets dominieren im Phytoplankton der äußeren Küstengewässer vorwiegend euryhaline Algen, die sich an weit schwankende Salzgehalte anpassen können. Zu ihnen gehören u.a. *Skeletonema costatum*, die Gattung *Rhizosolenia* und viele Dinoflagellaten. Östlich der Darßer Schwelle nimmt der Anteil von Arten zu, die an niedrigere Salzgehalte angepasst sind, wie zum Beispiel *Skeletonema subsalsum*. Die hydrographischen Übergänge prägen die biologischen Verhältnisse sowohl hinsichtlich des Artenspektrums als auch der Bioproduktion entscheidend. Dabei besteht deutliche Abhängigkeit von der Jahreszeit.

In den Boddengewässern Mecklenburg-Vorpommerns beginnt der Jahreszyklus typischerweise ebenfalls mit Diatomeen. Im Sommer und Herbst besteht das Phytoplankton der süßwasserbeeinflussten, inneren Küstengewässer vorwiegend aus Blaualgen, Grünalgen und Dinoflagellaten.

In der zentralen Ostsee sind im Sommer die fädigen Blaualgen in der Wassersäule der oberen Wasserschicht vorhanden. Gegen Ende ihres Lebenszyklus treiben sie an die Oberfläche auf und können dort dann als dichte Algenmatten in Augenschein treten.

## Das Jahr 1994

Außergewöhnliche Algenblüten konnten trotz der ungewöhnlichen Wetterlage auch im Jahr 1994 nicht festgestellt werden. Intensive Sonneneinstrahlung und eine rasche Erwärmung des Wassers führten zu den üblichen Blaualgenblüten (*Nodularia*, *Aphanizomenon* und *Anabaena*), die im Jahr 1994 jedoch zeitweise den gesamten Ostseeraum bedeckten. In der Kieler Förde kam es Anfang September zu einer Massenvermehrung des Dinoflagellaten *Prorocentrum minimum*. An Stellen intensivster rot-bräunlicher Verfärbung des Wassers z.T. verbunden mit Schaumbildung wur-

den Zelldichten von mehr als 50 Mio. Zellen/Liter gemessen.

**Schleswig-Holstein:** Nach Beobachtungen des LANU setzte die Phytoplanktonentwicklung nach der Frühjahrsblüte, wie schon in den beiden Vorjahren, nur verhalten ein. Im Mai dominierten verschiedene Flagellatenarten. *Chrysochromulina* sp. wurde in diesem Jahr nicht auffällig.

Kieselalgen waren ab Mitte Mai bis Ende Juli dominant vertreten. Dabei erreichten die Zelldichten in der Flensburger Förde Mitte Mai bis Ende Juni hohe Zelldichten (kleine Algenblüte, rötliche Wasserverfärbung der Flensburger Innenförde ) durch die Art *Dactyliosolen fragillissima* (bis zu 6 Mio. Z/l). War das Vorkommen der Art zunächst noch auf die Flensburger Förde beschränkt, so wurde sie ab Juni in erhöhten Zelldichten überall auf den Probenahmestationen gefunden. Andere Rote Tide-Organismen, wie die Dinoflagellaten *Prorocentrum minimum* und *Heterocapsa triquetra*, oder das autotrophe Wimperntierchen *Myrionecta rubra* (bisheriger Name *Mesodinium rubrum*) wurden in den Sommermonaten Juni und Juli, wenn überhaupt, dann in leicht erhöhten Zelldichten beobachtet (deutlich < 100.000 Z/l).

Ende August stieg jahreszeitlich typisch der Anteil der fädigen Blaualgen merklich im Plankton (vorw. *Aphanizomenon flos-aquae*). Zur gleichen Zeit bildete *Prorocentrum minimum* eine kleine Algenblüte in der Kieler Innenförde aus (6 Mio. Z/l). Im übrigen Gebiet wurden 2 Mio. Z/l zunächst nicht überschritten. Mitte August bis Anfang September kam es jedoch zu einer, für die Fördeinnenbereiche typischen Massenvermehrung dieser Art mit bis zu 50 Mio. Z/l. Es kam zu deutlichen Rotfärbungen des Wassers (Rote Tide) im Innenbereich der Kieler Förde. Die Zellen wurden offensichtlich am westlichen Ufer der Kieler Innenförde zusammengetrieben und bildeten dort ölig-schlierige Oberflächenverfärbungen und sogar ölig-bräunlichen Schaum.

Im Flensburger Innenhafen kam es kurzfristig zu einer erneuten Verfärbung des Wassers, dieses Mal jedoch intensiv grün. Verursacher war erneut die Kieselalge *Dactyliosolen fragillissima*.

Das IfM Kiel führte im Jahr 1994 bei 12 Ausfahrten Messungen der Phytoplanktonparameter durch. Es wurden keine toxischen Phytoplanktonarten festgestellt; eine Frühjahrsblüte konnte an keiner der beprobten Stationen beobachtet werden. Das Plankton zeigte in den Monaten Januar bis Mai nur eine sehr niedrige Biomasse. Ein ungewöhnlich hoher Anstieg der Biomasse erfolgte im Juni und hielt bis Ende August an. Er wurde fast ausschließlich durch das massenhafte Auftreten der Diatomee *Dactyliosolen fragilissima* verursacht mit maximalen Zellzahlen bis zu  $3,5 \times 10^6$  Zellen pro Liter und einer Biomasse von  $1500 \mu\text{g C}$  pro Liter. Blüten von *Dactyliosolen fragilissima* wurden auch in den Vorjahren in den Monaten Juli und August beobachtet, aber mit geringer Biomasse ( $400 \mu\text{g C}$  pro Liter).

Eine Herbstblüte mit Biomassen von  $600\text{-}800 \mu\text{g C}$  pro Liter konnte im Oktober festgestellt werden. Die Zusammensetzung der Herbstblüte unterschied sich deutlich von den Herbstblüten der Vorjahre, die vorwiegend aus Dinoflagellaten (Ceratum-Arten) gebildet wurde. 1994 war die Zusammensetzung sehr artenreich und bestand hauptsächlich aus Diatomeen und Dinoflagellaten. Anders als in den Vorjahren hielt die Blüte nur kurz an, bereits im November wurden schon wieder niedrige Biomassen festgestellt.

Die Messungen der Primärproduktion zeigten auch 1994 wieder erstaunlich hohe Werte im August und September, die Ursache hierfür ist unbekannt. Da die Produktion im Oberflächenwasser stattfindet, könnte der Eintrag von Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre eine Rolle dabei spielen. Erstaunlich ist auch, wie wenig die Chlorophyllwerte mit der Primärproduktion übereinstimmen. Dieses kann einerseits an hohem oder niedrigem Fraßdruck durch Zooplankton liegen (grazing), oder aber auch daran, dass es sich bei den beprobten Wasserkörpern um advektiertes Wasser handelt, in welchem durch hydrographische Prozesse Anreicherungen von Biomasse stattfinden können.

**Mecklenburg-Vorpommern:** Die Untersuchungen des STAUN zeigten, dass die gesamte Außenküste bis April von der Frühjahrsalgenentwicklung erfasst war. Dominierende Phytoplankter waren polyhalobe (Salz-

gehalt von 18-30 bevorzugende) Diatomeen (*Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros*-Arten, *Leptocylindrus danicus*, *Melosira arctica* und *Thalassiosira cf. decipiens*). Die sommerliche Phytoplanktonzusammensetzung zeigte sich entlang der Außenküste Mecklenburg - Vorpommerns 1994 insgesamt als individuenreich und artenarm. Herbstliche Phytoplanktonblüten wurden im gesamten, äußeren Küstengebiet bis weit in den November hinein registriert. Während in den westlichen äußeren Seegebieten überwiegend Diatomeen und Dinoflagellaten auftraten, waren in den östlichen Küstengewässern neben den Diatomeen (*Coscinodiscus granii*, *Skeletonema subsalsum*), insbesondere in den inneren Bereichen fädige und coccale Grün- und Blaualgen in starkem Maße zu beobachten.

Ab April war auch in allen inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns ein ausgeprägtes Frühjahrsalgenwachstum zu beobachten. Im Netzplankton fanden sich als Hauptträger der Frühjahrsblüte Kiesel-, Grün- und Blaualgen (*Thalassionema nitzschioides*, *Skeletonema costatum*, *Skeletonema subsalsum*, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Diatoma elongatum*, *Crucigenia quadrata* var. *secta*, *Snowella* spp., *Asterionella formosa*). Auf Grund der langanhaltenden kalten und sonnenscheinarmen Witterung verschob sich der Zeitpunkt der maximalen Produktionswerte um etwa vier Wochen. So wurden insbesondere in den östlichen inneren Gewässern, die in der Regel im April die Gipfelpunkte der Bioproduktion erkennen lassen, deutlich geringere Chlorophyll-a-Werte und Biovolumen gemessen, als nach den langjährigen Mittelwerten zu erwarten gewesen wäre.

Bei der Auswertung des Schöpfplanktons der inneren Seegebiete wurden im Sommer hohe Zelldichten gefunden. Typisch für das sommerliche Schöpfplankton aller Boddengewässer sind die hohen Zahlen von  $\mu$ -Algen (Picoplankton). Herbstliche Phytoplanktonblüten wurden im gesamten Küstengebiet bis weit in den November hinein registriert. Während in den westlichen äußeren Seegebieten überwiegend Diatomeen und Dinoflagellaten auftraten, waren in den östlichen Küstengewässern neben den Diatomeen (*Coscinodiscus granii*, *Skeletonema subsalsum*), insbesondere in den inneren Bereichen fädige und coccale Grün-

und Blaualgen in starken Maße zu beobachten.

## Das Jahr 1995

An der gesamten Ostseeküste zeigten sich insgesamt durchschnittliche Jahresgänge ohne Auffälligkeiten. Die qualitative Phytoplanktonzusammensetzung der Ostsee entsprach der früherer Jahre. Bis Ende August traten wiederholt großräumige, intensive Blaualgen-Wasserblüten auf. In der Pommerschen und Lübecker Bucht wurde zum Herbst ein arten- und individuenreiches Phytoplankton registriert. Im Stettiner Haff gab es, wie in den Vorjahren, Massenentwicklungen der potentiell toxischen Blaualge *Microcystis aeruginosa*.

**Schleswig-Holstein:** An der Küste verlief die Entwicklung des Phytoplanktons laut Untersuchungen des LANU im Probenahmezeitraum 1995 fast durchweg undramatisch. Mit einsetzender Erwärmung der Wassertemperatur im Mai kamen neben diversen Flagellaten (lt. Bestimmung durch Dr. Moestrup, Kopenhagen, auch *Chrysochromulina polylepis*) zunehmend auch Dinoflagellaten vor. Darunter waren auch Arten, die in den Vorjahren im inneren Bereich der Förden und Buchten zu Massenvermehrungen führten, wie z.B. *Heterocapsa triquetra*, *Katodinium rotundatum*, *Protoceratium reticulatum*. Obwohl die Zelldichte in den nördlichen Probenahmebereichen generell fast stets deutlich höher war als vor Heiligenhafen und in der Lübecker Bucht, überschritten die genannten Arten nicht die Millionengrenze.

Einzig ein kleiner, schwer zu identifizierender Dinoflagellat *Gymnodinium cf. micrum* wurde Ende Juni Anfang Juli in den äußeren Bereichen der Kieler Förde mit immerhin 1,3 Mio. Z/l beobachtet. Diese Art blieb zusammen mit *Heterocapsa triquetra* im Bereich der Kieler Innenförde dominant bis Mitte Juli (jedoch nur 0,2 Mio. Z/l).

Die Kieselalge *Skeletonema costatum* war Mitte Juni in der Flensburger Innenförde mit bis zu 5 Mio. Z/l vertreten (kleine Algenblüte). Richtung Außenförde nahm sie jedoch deutlich ab.

Ab Mitte Juli traten die fädigen Blaualgen, allen voran *Aphanizomenon flos-aquae*, wieder in den Vordergrund. In der Lübecker Bucht war sie immerhin mit bis zu 40.000 Fäden/l vertreten, was sich schon in flockenartigen Trübungen des Wassers bemerkbar machen konnte.

Im Berichtsjahr 1995 meldete das IfM Kiel für die Phytoplanktonparameter an den Monitoringstationen der südlichen Beltsee einen "normalen" Jahresgang mit einer ausgeprägten Diatomeen-Frühjahrsblüte (dominant *Detonula confervaceae* ca. 2 Mill. Zellen/Liter). Es folgten relativ niedrige Primärproduktionswerte im Sommer und eine gemäßigte Herbstblüte (*Ceratium tripos* und *C. fusus*) im Oktober. Wie schon im Vorjahr blieben stärkere Planktonblüten im Sommer aus, toxische Algenblüten wurden auch nicht festgestellt.

**Mecklenburg-Vorpommern:** Nach Angaben des STAUN wurde das typische Frühjahrsalgenwachstum im Seegebiet der **Außenküste** 1995 durch die Probenahmen gerade nicht erfasst. An der gesamten Außenküste dominierten Diatomeen. Bis Mitte Mai zeigte sich nur ein geringes Algenwachstum. Im Sommer waren die äußeren Seegebiete geprägt durch das Auftreten von fädigen Blaualgen und Diatomeen. Im Herbst wurde in der Pommerschen Bucht (OB4) ein sehr arten- und individuenreiches Phytoplankton mit überdurchschnittlich hohen Chlorophyll-a-Werten registriert. (vgl. Stett. Haff). Im Vergleich dazu lagen in der Lübecker Bucht die Chlorophyll-a-Werte auf ähnlichem Niveau. Ein Dinoflagellat (*Ceratium tripos*) dominierte das Phytoplankton.

Auch im Bereich der Innenküste Mecklenburg-Vorpommerns setzte die Frühjahrsalgenentwicklung in den östlichen Seegebieten 1995 verzögert ein. An den westlichen inneren Küstenstreifen traten keine Besonderheiten auf. Im Sommer sorgten in den inneren Küstengewässern insbesondere Grünalgen und unbestimmte  $\mu$ -Algen für steigende Chlorophyll-a-Konzentrationen. Die potentiell toxische Blaualge *Microcystis aeruginosa* trat im Stettiner Haff wie in den Vorjahren als Massenform auf (bis zu  $100 \cdot 10^6$  ZE/l). In der Wismarbucht und in der Unterwarnow trat der potentiell giftige Dinoflagellat *Prorocentrum minimum* mit Zellzahlen von bis zu  $9,1 \cdot 10^6$

Zellen auf. Die ab Juli im Stettiner Haff (KHM) beobachtete intensive Diatomeenentwicklung setzte sich weiter fort und zeigte sich bis in den November hinein.

## Das Jahr 1996

Dauer und Intensität der Phytoplanktonentwicklung entsprach derjenigen früherer Jahre. Auch 1996 traten großräumige, intensive Blaualgen-Wasserblüten auf. Die Frühjahrsentwicklung hat fast im gesamten Gebiet verzögert eingesetzt. Es traten vor der SH-Küste keine großen oder langandauernden Algenblüten auf. Erst ab Mitte Juli entwickelte sich dort ein typisch sommerliches Phytoplankton. z.B. vermehrte Entwicklung von Blaualgen. Auch an der Innenküste MV war die Frühjahrssukzession untypisch im langjährigen Vergleich mit anderen Zeiträumen nach strengen Wintern. Eine starke Herbstblüte aus Kiesel- und Blaualgen konnte an der äußeren, östlichen MV-Küste beobachtet werden. In der Pommerschen Bucht gab es das ganze Jahr hindurch „viel“ Phytoplankton, mit kurzen Unterbrechungen. Sehr starke Kieselalgenblüten traten während Frühjahr und Sommer auf, die Anfang September zusammenbrachen, vermutlich wegen Stickstoffmangels.

**Schleswig-Holstein:** Die Ergebnisse des LANU aus den Ostseeküstengewässern ähneln in gewisser Weise denen aus den Nordseeküstengewässern: Auch in den Ostseeküstengewässern setzte die Wachstumsphase der Phytoplankter relativ spät ein und auch hier wurden keine besonders auffälligen oder langandauernden Algenblüten festgestellt. Außerdem war während des ganzen Probennahmezeitraumes ein deutliches Gefälle in der Dichte der Population von Nord- nach Süd zu verzeichnen.

Ende April war die Planktondichte noch nicht sehr hoch. Bei den Kieselalgen kam besonders *Rhizosolenia setigera* vor. In der Flensburger Innenförde wurde der kleine Dinoflagellat *Katodinium rotundatum* (neuer Name: *Heterocapsa minima*), für die Jahreszeit etwas untypisch, mit immerhin ca. 2 Mio. Z/l ausgemacht. Ende Mai, der Monat, der im allgemeinen durch einen hohen Anteil an kleinen Flagellaten gekennzeichnet ist, kamen in der Kieler Außenförde und in der Lübecker Bucht

die nackte Form des Silicoflagellaten *Dictyocha speculum* vor.

Mitte Juni wurde eine Algenblüte der winzigen Kieselalge *Chaetoceros tenuissimus* (immerhin 60 Mio. Z/l) in der Flensburger Förde beobachtet, die im Laufe der nächsten zwei Wochen fast völlig verschwand. Ende Juni war das Plankton in seiner Zusammensetzung immer noch nicht als typisch sommerlich einzuordnen. In der Flensburger Förde kam es zu einer kleinen Algenblüte des Dinoflagellaten *Heterocapsa rotundata*. Im Bereich Eckernförde und Kiel dominierte *Skeletonema costatum* (Kieselalge). Anfang Juli war diese in der Kieler Förde immerhin schon 40-50 Mio. Z/l stark. Die Eckernförder Bucht und die Lübecker Bucht präsentierten sich zu dieser Zeit recht planktonarm.

Ab Mitte Juli ist das Plankton endlich typisch sommerlich. Es tauchen sommerliche Arten, wie *Chrysochromulina parkeae* in der Geltlinger Bucht auf, in der Kieler Förde wurden zu dem Zeitpunkt einige Tausend Zellen pro Liter (max. 5.000 Z/l) *Heterocapsa triquetra* (Dinoflagellat) beobachtet. Auch fädige Blaualgen, vorwiegend *Aphanizomenon flos-aquae* und *Anabaena* kamen jetzt vor.

Mitte bis Ende Juli ist die Kieselalge *Skeletonema costatum* auch deutlich in der Flensburger Förde vertreten (in diesem Zeitraum: Abnahme von 20 Mio. Z/l auf 6 Mio. Z/l). In den darauffolgenden Wochen erhöhte sich der Anteil der fädigen Blaualgen ständig, so dass teilweise mit flockigen Trübungen des Wassers gerechnet werden musste.

Anfang August wurden Flensburger Förde und Eckernförder Bucht vorwiegend durch die Kieselalgen *Chaetoceros socialis* und *Rhizosolenia alata* (neuer Name: *Proboscia alata*) besiedelt.

Mitte August wurden in der Lübecker Bucht Verfärbungen an der Wasseroberfläche durch die Wasserschutzpolizei beobachtet, die durch Auftreiben von Blaualgen entstanden sein können. In der äußeren Eckernförder Bucht wurden 60.000 Fäden/l *Anabaena sp.* und 15.000 Fäden/l *Aphanizomenon* beobachtet, die zu den potentiell toxischen Arten gehören. Die fädige potentiell toxische Blaualge *Nodularia spumigena* kam auf den küstennahen



AlgFES-Stationen in diesem Jahr nur wenig vor.

Ende August bis Anfang September entwickelte sich der Dinoflagellat *Prorocentrum minimum* in der Flensburger Förde von 0,7 Mio Z/l auf rd. 2 Mio Z/l. In der Eckernförder Bucht und in der Kieler Förde war ein Anstieg von 0,1 Mio. Z/l auf rd. 15 Mio. Z/l zu verzeichnen. Dabei ist bemerkenswert der späte Beginn der Vermehrungsphase.

**Mecklenburg-Vorpommern:** Das Frühjahrsalgenwachstum wurde in den Gebieten der Außenküste 1996 wegen des Eiswinters 95/96 nicht erfasst. Besonderheiten zeigten sich in der Pommerschen Bucht, wo eine enorme, frühjährliche Diatomeenblüte zu beobachten war, die länger als in den Vorjahren andauerte und überdurchschnittlich hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen zeigte: 21,0 - 71,9 mg/m<sup>3</sup> (d.h. Werte um über 300 % über den langjährigen Monatsmitteln). Eine Ursache für das exzeptionelle Algenwachstum ist das hohe Angebot an gelösten Pflanzennährstoffen nach dem Eisaufruch .

In der Pommerschen Bucht (OBIV) wurde im August mit 7,7 mm<sup>3</sup>/l ein im Vergleich zum langjährigen Monatsmittelwert von 1,9 mm<sup>3</sup>/l ein sehr hohes Biovolumen an Kieselalgen ermittelt (*Coscinodiscus rothii* erreichte mit 4,0 mm<sup>3</sup>/l 89 % des Gesamtbiovolumens. Potentiell toxische *Microcystis*-Arten (*M.aeruginosa*) waren mit 2,1mm<sup>3</sup>/l vertreten, wobei Abundanzen von 31\*10<sup>6</sup> ZE/l ermittelt wurden. Anfang September war ein drastischer Rückgang des Phytoplanktons auf etwa ein Zehntel des August-Volumens zu verzeichnen. Diatomeen und Cyanophyceen verschwanden vermutlich infolge von Stickstoffmangel. Erwähnenswert ist das verstärkte Auftreten der potentiell toxischen Grünalge *Nodularia spumigena* im Netzplankton der Stationen O22, O9, O11 und OBIV.

In den Monaten Oktober und November stellten sich erwartungsgemäß in den westlichen äußeren Küstengewässern die typischen herbstlichen Entwicklungen mit Kieselalgen und Panzerflagellaten ein. (mit *Ceratium tripos*, *Prorocentrum micans*, *Thalassiosira decipiens*, *Thalassiosira eccentrica* var. *fasciculata* und *Thalassiosira nitzschoides*). In den östlichen äußeren Seegebieten (O9, O11,

OBIV) kam es im Herbst 1996 dagegen lokal zu deutlichen Überschreitungen der langjährigen Monatsmittelwerte, in der Pommerschen Bucht wurden diese bis 450 % übertroffen. Als Träger des herbstlichen starken Algenwachstums in den östlichen Seegebieten dominierten Kiesel- und Blaualgen. (*Coscinodiscus granii* (O11, OBIV), *Coscinodiscus rothii* (O11, OBIV), *Skeletonema costatum*/*Skeletonema subsalsum* (OBIV) sowie *Snowella* spp. (O11) .

In den westlichen und östlichen Seegebieten der Innenküste Mecklenburg-Vorpommerns wurden Mitte April im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten deutlich geringere Chlorophyll-a-Konzentrationen gemessen, mit Abweichungen bei ca. 50%.

Langjährige Phytoplanktonuntersuchungen im Greifswalder Bodden (seit 1972) führten zu dem Ergebnis, dass es nach sehr kalten Wintern mit lange anhaltender Eisperiode zu einer explosionsartigen Phytoplanktonentwicklung unter Bildung hoher Biomassekonzentrationen kommt, wobei charakteristische, insbesondere kaltstenotherme Arten dominieren. Diese Beobachtung konnte nach der vier Monate währenden Eisperiode, von Dezember 1995 bis Ende März 1996, nicht gemacht werden. Die Hauptmenge der pelagischen Primärproduzenten stellte die eurytherme Kaltwasserart *Skeletonema costatum*. Die gleichzeitig gemessenen geringen Phosphor- und Siliziumkonzentrationen von 0,1 µmol/l bzw. 13,7 µmol/l lassen jedoch die Vermutung zu, dass eine Entwicklung sowohl kaltstenothermer als auch eurythermer Kieselalgen bereits unter Eis stattgefunden hat. Ursache für das Fehlen der ausgesprochen kaltstenothermen Formen im Phytoplankton Mitte April 1996 scheint der schnelle Anstieg der Wassertemperatur nach dem Eisaufruch zu sein. Sie bewegte sich zwischen 3,5 und 5 °C und lagen damit deutlich über dem Temperaturoptimum von etwa 2 °C, das diese Arten benötigen. In den Sommermonaten wurden an den meisten Messstellen der inneren Küstengewässern im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten deutlich niedrigere Produktionswerte beobachtet.

Die inneren Küstengebiete zeigten im Herbst keine Besonderheiten, lediglich in der Unterwarnow (UW4) brachte eine starke Entwick-

lung einer Kieselalge (*Skeletonema costatum*) im Oktober erhöhte Chlorophyll-a-Konzentrationen. Von den potentiell toxischen Algen wurde an einigen Stationen *Prorocentrum minimum* gefunden; die Grünalge *Microcystis aeruginosa* war im Peenestrom, im Stettiner Haff und der Darß-Zingster-Boddenkette sehr stark vertreten.

## Langzeitbeobachtungen

Ausgehend von den Untersuchungen des **Instituts für Ostseeforschung Warnemünde** konnte, entsprechend der zwischen 1979 und 1990 stark zunehmenden Nährstofffrachten, in diesem Zeitraum zumindest in der Bornholmsee und dem südlichen Teil der östlichen Gotlandsee ein Anstieg in der Produktion und Biomasse des Phytoplanktons beobachtet werden. Der Rückgang des Düngemittelverbrauchs im Ostsee-Einzugsgebiet seit Beginn der 90er Jahre hat bisher zu keinem Biomasserückgang des Phytoplanktons geführt. In der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons konnte seit 1989 eine Abnahme von Kieselalgen während der Frühjahrsphase in der südlichen, eigentlichen Ostsee zugunsten der Dinoflagellaten festgestellt werden, die aber nicht auf die Veränderungen in den Nährstofffrachten zurückgeführt werden kann. Diese Tendenzen setzten sich auch 1994 und 1995 fort (Abb.12 und 13)

Ergebnisse aus den Untersuchungen des **Instituts für Meereskunde Kiel** zeigen generell für 1992 bis 1996, dass offensichtlich infolge eines leichten Rückgangs der Stickstoffeinträge auch die Primärproduktion zurückgeht. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei auch um kurzfristige eintragsunabhängige Fluktuationen handelt. Die Phytoplanktonbiomasse geht auch in den letzten vier Jahren leicht zurück. Ein genereller Rückgang der Eutrophierung kann jedoch bei den nach wie vor sehr hohen Stickstoffeinträgen in die westliche Ostsee nur mit Vorbehalt angenommen werden. Allgemein kann für die Jahre 1986 - 1995 gesagt werden, dass die Werte für Chlorophyll und Phytoplanktonbiomasse an den 3 Stationen in der Kieler Bucht keinen signifikanten Trend aufweisen. Es zeigt sich jedoch ein leichter Rückgang in der Regressionskurve, der auf geringe Phy-

toplanktonwerte in 1993, 94 und 95 zurückzuführen ist.

An den Stationen Kieler Bucht und Fehmarn Belt kann eine signifikante Abnahme der Produktion in 15 m Tiefe in den Jahren 1986 bis 1995 festgestellt werden. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden .

Auch in den verschiedenen Tiefen (1 m, 5 m, 10 m und 15 m) lässt sich kein signifikanter Trend nachweisen. Es ist erstaunlich, dass bei der Station Boknis Eck der Chlorophyllgehalt bei 15 m Tiefe fast genauso hoch wie bei 1 m Tiefe ist. Die jährliche Fluktuation der Chlorophyllwerte ist hoch. Die Werte der potentiellen Primärproduktion gleichen in etwa denen des Chlorophylls, wengleich auch bei 15 m Tiefe die Produktionsdaten wesentlich niedriger liegen als im Oberflächenwasser.

Wenn man die Mittelwerte der Primärproduktion zwischen 1986 und 1992 in den verschiedenen Tiefen vergleicht, kann ein Unterschied zwischen der Biomasse und der Produktion während der Sommermonate festgestellt werden, der einen hohen Fraßdruck des herbivoren Zooplanktons auf die sommerlichen Phytoplanktonblüten anzeigt.

Die mikroskopischen Auszählungen der Phytoplanktonarten der letzten 10 Jahre zeigen, dass jedes Jahr eine unterschiedliche Phytoplanktonsukszession stattfindet. In manchen Jahren sind die Dinoflagellaten im Spätsommer und Herbst dominant, in anderen Jahren repräsentieren die Diatomeen das Phytoplankton im Sommer und Herbst.

Die Phytoplanktonzählungen zeigen aber auch, dass es immer wieder Blüten von Algenarten in der Kieler Bucht gibt, die bis dahin nicht beobachtet wurden. Das trifft auch für toxische und potentiell toxische Arten zu. So wurde *Prorocentrum minimum* (potentiell toxisch) erstmalig 1984 von Kimor (1985) in Blüten in der Kieler Bucht beobachtet.

Seitdem tritt diese Alge immer wieder in hohen Zellzahlen während der Sommermonate auf. Weiterhin wurde 1988 das Massenaufreten der potentiell toxischen Alge *Chrysochromulina polylepis* im Bereich Kattegat beobachtet oder Blüten mit über 1 Mill. Zellen

pro Liter der Alge *Dictyocha speculum*, die Fischsterben verursachen kann.

Es wurden weiterhin Blüten von verschiedenen *Chrysochromulina*-Arten (*Ch. hirte*, *Ch. spinifera* und *Ch. ericina*) in den letzten Jahren beobachtet. Auch trat 1992 die einzige als toxisch bekannte Diatomee *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* mit Zellzahlen über 1 Mill. Z/l auf, toxische Wirkungen wurden jedoch nicht beobachtet.

Das STAUN berichtet für das Kleine Haff, dass dort jährlich von Juni bis in den September Massentwicklungen von *Microcystis aeruginosa*, einer potentiell toxischen Blaualge zu beobachten sind (die Zellzahlen erreichten in den letzten Jahren Größenordnungen wie z.B. im August 1999 von 400 Mio Z/l)

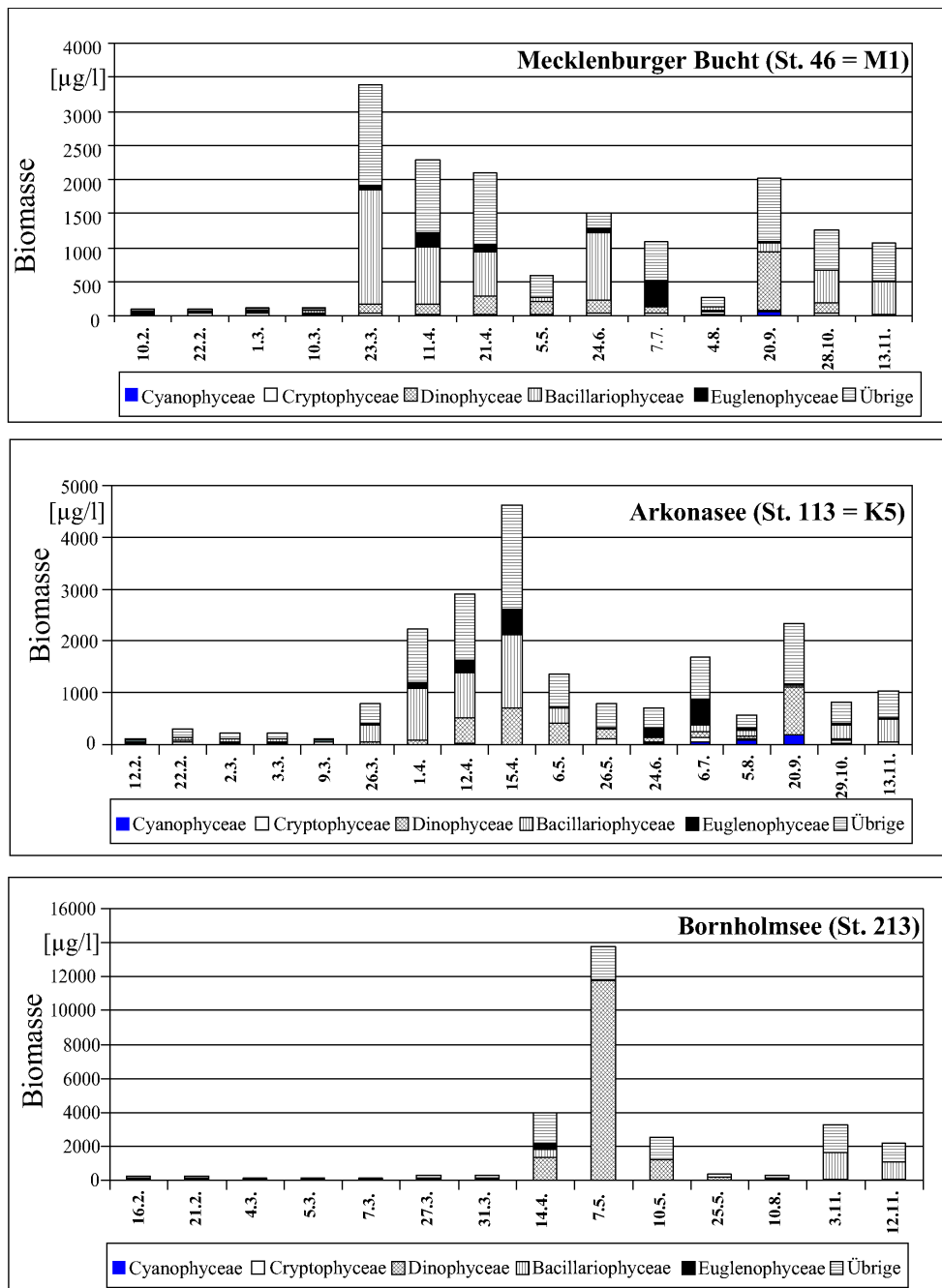


Abb. 12: Jahresgang 1994 der Phytoplankton-Biomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Beltsee

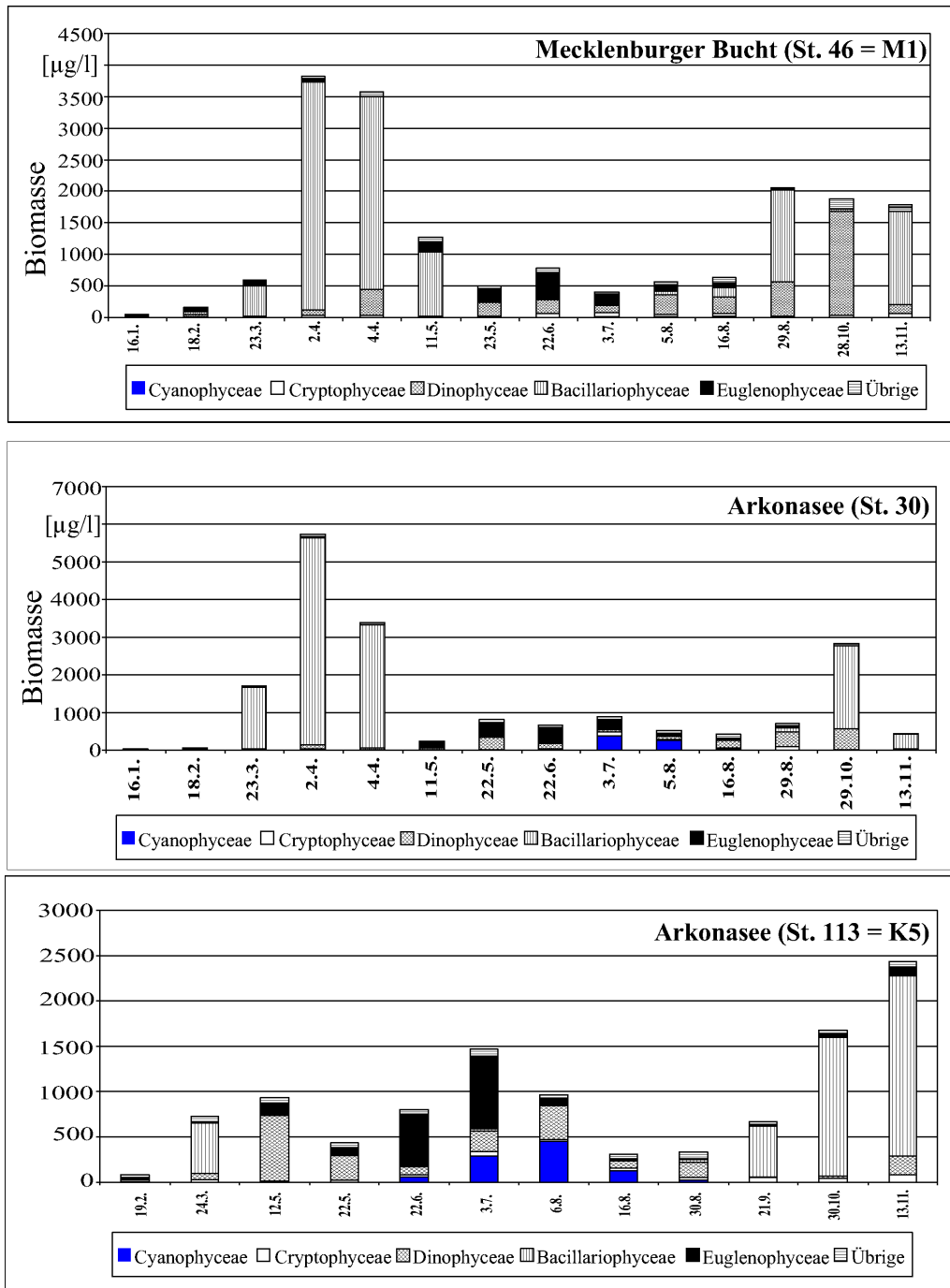


Abb. 13: Jahrgang 1995 der Phytoplankton-Biomasse (Frischmasse) in taxonomischen Gruppen in der Beltsee.

## 103 Zooplankton - Untersuchungen

In der Zeit von April 1985 bis Ende 1995 wurden entsprechend den HELCOM Guidelines monatlich Zooplanktonproben genommen. Um auch die bodennahen Wasserschichten zu erfassen, wurden ab Ende 1993 zusätzliche Proben mit dem Kranzwasserschöpfer (6\*30 l) Proben aus 22 bzw. 25 m Tiefe genommen.

Ab 1987 wurden außerdem in den Monaten Februar bis September/Okttober an 9 Stationen in der Kieler Bucht Ichthyoplankton (Fischbrut) und ab 1990 die Medusen erfasst.

Ab 1996 wurde die Station Boknis Eck sowie eine hocheutrophe Vergleichsstation in der

inneren Kieler Förde untersucht. Aus den Zooplanktondaten wurden monatliche Mediane errechnet, die einen idealisierten mittleren Jahresgang bilden. Dieser wurde zum einen als Grundlage für die Beurteilung einzelner Jahre genommen, andererseits von den Originaldaten abgezogen, um so einen normierten saisonunabhängigen Langzeit-Überblick zu bekommen.

In der **Kieler Bucht** ist der Jahresgang des Mesozooplanktons bei sehr starker interannueller Variabilität geprägt durch zwei Spitzen: die erste liegt im April/Mai und eine weitere im September/Oktober. Die Sommermonate zeichnen sich durch besonders hohe Artenvielfalt aus, aber es fehlen hier i.d.R. die sehr hohen Abundanzen. Das Frühjahresmaximum wird häufig von den Rotatorien (Rädertierchen) der Gattung *Synchaeta* dominiert, die im Anschluss an die Phytoplankton - Frühjahrsblüte eine Massenentwicklung durchlaufen. Ihre Bestände sind deutlich temperaturgesteuert; so fanden sich nach den milden Wintern von 1994 und 1995 sehr hohe Bestände, während der Eiswinter 1996 mit der sehr langanhaltenden Eisbedeckung und Kälte zu einem weitgehenden Ausfall der Rotatorien-Entwicklung in der Kieler Bucht führte. Lediglich an der Vergleichsstation im Kieler Binnenhafen bildete sich eine „Blüte“ dieser Organismen, jedoch deutlich zeitverzögert (Juli).

Das Jahr 1994 war weitgehend „normal“, d.h. die Gesamtmesozooplankton-Konzentrationen entsprachen etwa den langjährigen monatlichen Medianwerten (Abb.14). Lediglich im Frühjahr 1994 wurden, bedingt durch die Rotatorien, erhöhte Abundanzen gefunden. Der sehr warme Spätsommer führte zu einer ungewöhnlichen Dichte der wärmeliebenden Copepodenart *Acartia tonsa*. Im Jahre 1995 waren auch keine außergewöhnlichen Zahlen beim Mesozooplankton zu finden, mit Ausnahme wiederum der *Acartia tonsa*, deren Abundanzen in diesem Jahr noch höher lagen als 1994. 1996 kam es durch die langanhaltende Kälte mit Eisbedeckung in der Kieler Bucht zu einer durchgreifenden Störung des „normalen“ Jahresganges (Abb.15). Die Entwicklung des Mesozooplankton war um 1 - 2 Monate verzögert, die Rotatorien traten gar nicht in Erscheinung (s.o.), und auch die Winterkonzentrationen lagen wieder deutlich

unter dem Mittel. Ein starker Einstrom von warmem und salzarmem Wasser im Sommer führte zu einem Zusammenbruch der *Pseudocalanus*- Population, während *Acartia tonsa* wiederum stark vertreten war (Abb.16).

Während Fischbrut und Copepoden sich im Zeitraum von 1987 bis 1995 weitgehend gleichläufig entwickelten, verlief die Bestandsentwicklung der Quallen (hauptsächlich Art *Aurelia aurita*) genau gegenläufig. Tatsächlich lassen sich zwischen den Quallenbeständen und dem Zooplankton deutliche negative Korrelationen nachweisen, die darüberhinaus Auswirkungen auch auf das Phytoplankton haben (top-down-control, siehe Behrends & Schneider 1995). Eine detaillierte Auswertung der Fischbrutuntersuchungen steht noch aus.

Im Mesozooplankton der **Seegebiete zwischen Mecklenburger Bucht und dem Gotlandtief** dominieren im Frühjahr kleinere Organismen, wie Jugendstadien von Copepoden und Rotatorien. Mit deren Wachstum sowie dem Hinzukommen vom Cladoceren kommt es zum Sommer zu einem Zooplankton-Biomassemaximum. Zum Herbst werden wiederum die Copepoden dominant.

Im Langzeit-Trend nahmen von 1991 bis 1994 die Rotatorien ab und die Cladoceren (Wasserflöhe) zu. Im Jahre 1995 kehrte sich diese Tendenz aber wieder um. Temperatur und Salzgehalt kämen als Ursachen in Frage. Speziell der Salzwassereintrich von 1993 trug Salzwasserarten ein, wie den Pfeilwurm *Sagitta elegans*, der seit über 20 Jahren im Arteninventar der Arkona- und Bornholmsee fehlte, sowie als Gäste die Ruderfußkrebse *Acartia discaudata* in der Mecklenburger Bucht und *Calanus finmarchicus* in der Arkonasee. 1994 hatte sich die Konzentration des westlich der Darßer Schwelle heimischen, halophilen Copepoden *Oithona similis* im Gotlandtief gegenüber dem Vorjahr von 36 auf 360 Individuen je m<sup>3</sup> erhöht (aufgrund der fortgesetzten Ausbreitung des salzreichen Tiefenwassers nach Osten) und blieb im Jahre 1995 nahezu auf diesem Niveau. *Acartia discaudata* und *Calanus finmarchicus* waren 1995 aber bereits östlich von Fehmarn nicht mehr nachzuweisen.

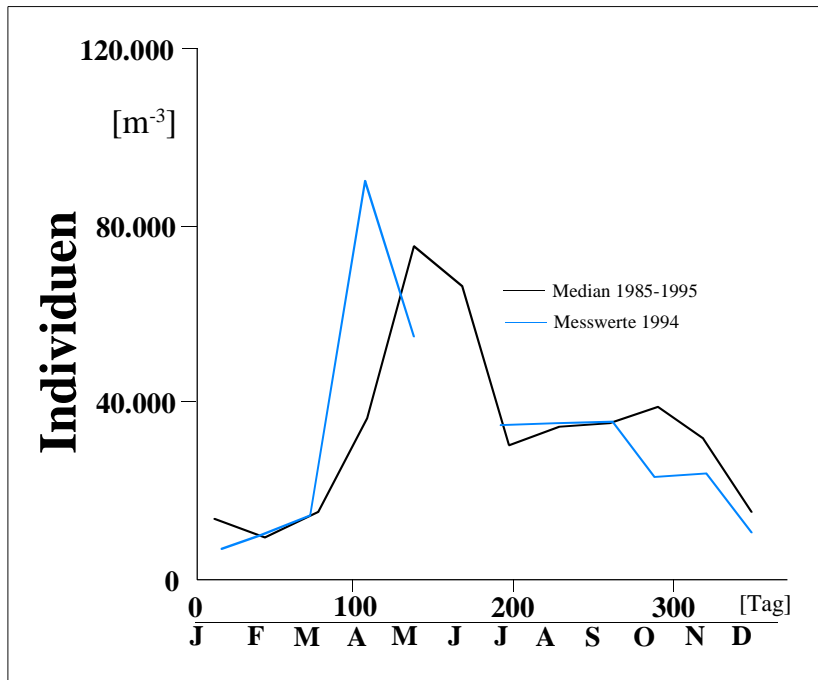


Abb. 14: Abundanzen des gesamten Mesozooplanktons (Ind/m<sup>3</sup>) an der Station Boknis Eck. Das Jahr 1994 im Vergleich zum langjährigen monatlichen Median.

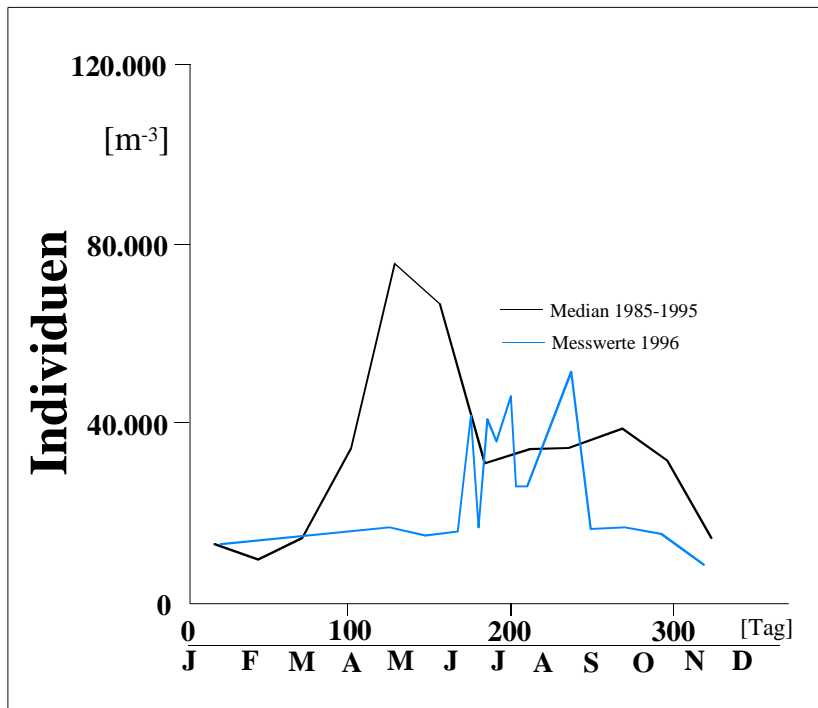


Abb. 15: Abundanzen des gesamten Mesozooplanktons (Ind/m<sup>3</sup>) an der Station Boknis Eck. Das Jahr 1996 im Vergleich zum langjährigen monatlichen Median.

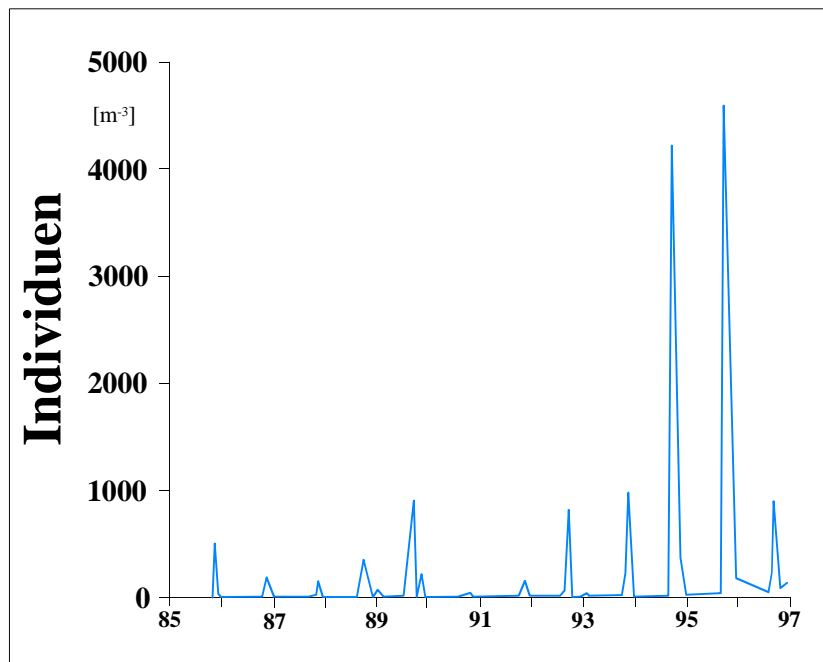


Abb. 16: Abundanzen von *Acartia tonsa* 1985 – 1996 an der Station Boknis Eck

## 104 Makrozoobenthos - Untersuchungen

Das Monitoring erfolgt nach den Richtlinien der Helsinki-Kommission. Im küstennahen Bereich werden jährlich im Frühjahr, Sommer und im Herbst Proben genommen. Küstenfern werden nur einmal pro Jahr (jeweils im Oktober/November) Proben genommen.

### Kieler Bucht bis Gotlandtief

Bisher wurden insgesamt 220 Arten bzw. Taxa nachgewiesen, wobei je nach Substrat, Wassertiefe und Region deutliche Unterschiede sichtbar wurden. Bemerkenswert reich an Arten sind die sandigen, leicht schlickigen Stationen zwischen 15 und 20 m Wassertiefe bei Falshöft im Nordwesten der Kieler Bucht (F2, F3) und östlich Fehmarnsund (MB10). Hier werden in der Regel bei jeder Probenahme zwischen 40 und 60 Arten gefunden, oft mit einem Maximum im Herbst. Beide Bereiche liegen relativ offen und regelmäßiger Wasseraustausch verhindert weitgehend ein Stagnieren des Wasserkörpers. Da viele Arten hier die Ostgrenze ihres Verbreitungsgebietes

haben, ist ein Teil der Rekrutierung bei Falshöft und südöstlich Fehmarn auf den Eintrag salzliebender Larven aus dem Kattegat zurückzuführen.

Deutlich anders ist die Situation in den tieferen Schlickgebieten bei Falshöft (F1) und der Mecklenburger sowie der Lübecker Bucht unterhalb von 20 m Wassertiefe. Auf den aufgrund ihrer Nähe zu den Belten, welche die Hauptein- und ausstrombereiche der Ostsee darstellen, relativ gut belüfteten Schlickstationen der nordwestlichen Kieler (F1) und Mecklenburger Bucht (MB2 - 4) finden sich z.B. auf MB3 1996/97 etwa 25 Arten. Diese Anzahl ist deutlich mehr als im Zeitraum von 1987 bis 1993, als hier in der Regel weniger als 20 Arten gefunden wurden. Von 1993 bis 1997 scheint die Sukzession des Makrozoobenthos hier auch nicht durch Sauerstoffmangelsituationen gestört worden zu sein, wie der relativ glatte Verlauf der Kurve verdeutlicht.

Auf den in der austauscharmen inneren Lübecker Bucht gelegenen Stationen (MB5 - 8) sind die Auswirkungen des mehr oder weniger stark ausgeprägten spätsommerlichen Sauerstoffmangels deutlich zu erkennen. Jeweils im Herbst sinkt die Zahl der Arten auf nur wenige angepasste „Überlebenskünstler“, im Frühjahr und Sommer werden diese Gebiete durch Larvenfall und Einwanderung wieder neu besiedelt. Besonders deutlich wird das Besiedlungspotential auf der Station MB8 in der westlichen Neustädter Bucht. Das Substrat besteht hier in 16 m Tiefe aus lebensfreundlichen Sand mit etwas Schlack. Die Artenzahlen steigen vom Frühjahr zum Sommer auf über 30 Arten. Regelmäßig ist dann aber im Herbst ein starker Einbruch des Artenspektrums zu verzeichnen, vermutlich zurückzuführen auf Auftrieb sauerstofffreien Wassers aus der tiefen Neustädter Bucht nach Einsetzen der westlichen Herbststürme.

Eine positive Entwicklung des Zoobenthos an den tiefergelegenen Stationen in der westlichen und südlichen Ostsee wurde durch die Erneuerung des Tiefenwassers ab 1993 hervorgerufen. So erhöhte sich die Zahl der Makrozoobenthosarten in der Kieler Bucht durch Eintrag meroplanktischer Larven und Jungtiere im Jahre 1994 auf 37, und die Biomasse verdreifachte sich gegenüber den Vorjahren auf 4,0 g AFTM/ m<sup>2</sup> (ohne Bivalvia) (AFTM=aschefreie Trockenmasse). Aber bereits 1995 gingen Artenzahl und Biomasse wieder zurück.

In der Kieler Bucht (unter 17 m) fand sich 1995 weiterhin eine „*Abra alba*“ - Gemeinschaft mit vielen neuen Jungtieren. Der Priapulide *Halicryptus* war weiterhin auf allen Stationen präsent, neuerdings zusammen mit *Priapulus caudatus*. Außerdem setzte sich die Einwanderung von neuen Arten (vornehmlich Polychaeten) aus dem Kattegat fort. Die neue Art *Marenzelleria wireni* hat sich mittlerweile in den Gewässern Mecklenburg-Vorpommerns und weiter östlich etabliert, war aber in der Kieler Bucht selbst nicht zu finden. Nur in der Schlei schien sie auch aufzutreten. Ab 1992 waren wieder viele Polychaeten der Art *Terebellides stroemi* zu beobachten, einer Art, die für ihr langfristiges Schwanken der Bestände bekannt ist. Die Fauna der Kieler Bucht hat offenbar unter dem kurzfristigen Sauerstoffmangel im Sep-

tember 1992 und denen der folgenden Jahre keinen Schaden genommen und war an allen Stationen wohl entwickelt. Anhand der extrem warmen Sommer 1992, 1994 und 1995 wäre u.U. etwas anderes zu erwarten gewesen.

In der Arkonasee hatten sich seit 1993 z. B. *Ampharete spec.*, *Nephtys hombergi*, *Pontoporeia femorata*, *Polydora quadrilobata* und *Pygospio elegans* neu angesiedelt. Die Biomasse der Baltischen Plattmuschel (*Macoma balthica*) hatte sich in den Jahren 1993 bis 1995 von 172 auf 2901 mg AFTM/m<sup>2</sup> erhöht. Auch in das Bornholmbecken wurden Arten neu eingetragen, z.B. *Harmothoe sarsi* und *Scoloplos armiger*. Der Effekt war aber offensichtlich nur von kurzer Dauer, denn spätestens 1995 sanken mit dem Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser auch die Artenzahlen und die Biomassen auf Station 213 (= K2) wieder auf Werte, wie sie vor 1993 anzutreffen waren. Im südlichen Teil des östlichen Gotlandbeckens (Stat. 259) stiegen die Biomassen bis 1995 sogar noch an.

### Mecklenburg-vorpommersche Küstengewässer

Die Bodenfauna der flachen Küstenbereiche oberhalb der 20m-Zone ist durch die Vielfalt an Biotopstrukturen und durch das Fehlen episodischer Sauerstoffmangelereignisse artenreich und gut entwickelt. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Tiefenbereich zwischen 15 und 20m zu. Diese Zone ist von Sauerstoffmangel bisher verschont und bietet auch marinen Arten noch Salzgehaltsbedingungen, die in der 10m-Zone bereits nicht mehr gegeben sind. Dadurch hat dieser Tiefenbereich für die geschädigten und verarmten Bodenbereiche unterhalb der 20m-Zone eine wichtige Funktion als Wiederbesiedlungs- und Genpotential.

In den tieferen und schlackigen Bereichen der Lübecker und Mecklenburger Bucht unterhalb von 20 m Wassertiefe ist durch die episodisch auftretenden Sauerstoffmangelperioden eine deutliche Arten-, Individuen- und Biomassereduktion zu beobachten. Oft überleben nur ganz wenige Arten diese lebensfeindlichen Perioden.



Historische Untersuchungen liegen für den flachen Küstenbereich der **Lübecker** und **Mecklenburger Bucht** kaum vor. Die Untersuchungen von SCHULZ (1969) in der Mecklenburger Bucht und von LÖWE (1963) im Arkonabecken und in der östlichen Beltsee (Kühlungsborn bis Darßer Schwelle) befassen sich hauptsächlich mit den tieferen Bereichen.

Der Großteil der von SCHULZ (1969) für die Gebiete schlickiger Sande und Grobschlicke in der Mecklenburger Bucht gefundenen Arten sind auch heute noch dort zu finden. Allerdings kamen sie in den letzten Jahren selten und lokal begrenzt vor. Die Bestände an großen alten Islandmuscheln (*Arctica islandica*), die noch in den 60er Jahren in der Lübecker Bucht von SCHULZ (1969) gefunden wurden, sind inzwischen erloschen. GOSELCK (1992) setzt das Absterben der Islandmuschel-Population für den Zeitraum zwischen 1960 bis 1970 an. Dieser Rückgang kann mit großer Wahrscheinlichkeit auf den regelmäßigen periodischen Sauerstoffmangel und auf die Verschlickung der Böden zurückgeführt werden. Neuere Untersuchungen zur Altersstruktur der Islandmuschel zeigen, daß diese Art in der Mecklenburger Bucht bei einer Schalenlänge von 50 mm ein Alter von ungefähr 30 Jahren hat. Die aktuellen Funde junger Islandmuscheln (wenige mm bis maximal 3cm) zeigen, dass das Wiederbesiedlungspotential der Muschel durch Larveneinstrom groß ist und verarmte Böden schnell wiederbesiedelt werden. Der periodische Sauerstoffmangel verhindert jedoch ein Anwachsen zu einer stabilen alten Population.

Untersuchungen aus der jüngeren Vergangenheit liegen für das Gebiet der Lübecker und Mecklenburger Bucht aus den 80er Jahren vor. Hieraus lassen sich folgende Ergebnisse verallgemeinern: Durch die Ausprägung einer stabilen Sprungschicht in der Lübecker und Mecklenburger Bucht und das Eintreten stagnierender Bedingungen unterhalb der Sprungschicht, kommt es unterhalb von 20m fast jährlich im Sommer bis in den Spätsommer und Herbst zu Sauerstoffmangel im Sediment und im darüber liegenden bodennahen Wasserkörper. Je nach Dauer und Intensität der Sauerstoffmangelperiode (An- oder Abwesenheit von Schwefelwasserstoff) überleben nur wenige Arten (>4-5 Wochen). Und noch weniger Arten zeigen sich resistent gegenüber

einer längeren Anwesenheit des hochgiftigen Schwefelwasserstoffs. Oft ist der Priapswurm *Halicryptus spinulosus* die einzige Art, die nachweislich eine Zeit lang im Schwefelwasserstoffmilieu überlebt.

Nach der Durchmischung des Wasserkörpers und der Normalisierung des Sauerstoffhaushalts im Herbst beginnt die Wiederbesiedlung der geschädigten oder toten Böden im Frühjahr und Frühsommer durch Larven und teilweise auch durch aktives Einschwimmen (z.B. *Diastylis rathkei*, *Harmothoe sarsi*) aus den benachbarten flacheren, ungeschädigten Gebieten. Der unbesiedelte, wieder sauerstoffhaltige Meeresboden bietet ein reiches Nahrungsangebot und wird nun von Arten besiedelt, welche die großen Nahrungsreserven schnell erschließen können. Diese sog. Opportunisten sind sehr anpassungsfähig und verschaffen sich durch schnelle Vermehrung einen kurzzeitigen Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Arten. Da sie jedoch eine geringe Konkurrenzfähigkeit besitzen, werden sie durch ein abnehmendes Nahrungsangebot und konkurrenzstarke Arten allmählich wieder zurückgedrängt. Diese Wiederbesiedlungsgemeinschaft ist zwar in Abhängigkeit vom Larvenangebot unterschiedlich zusammengesetzt, weist aber tendenziell keine Veränderungen auf. Typische Organismen so einer „Pioniergemeinschaft“ sind der Priapswurm *Halicryptus spinulosus*, die Meeresringelwürmer *Capitella capitata*, *Polydora ciliata*, *Harmothoe sarsi*, der Krebs *Diastylis rathkei* und häufig die Muscheln *Arctica islandica* und *Abra alba*, wobei nicht alle dieser Arten zu den Organismen mit einer opportunistischen Anpassungsstrategie gehören.

Auch in den flacheren Zonen sind von 1980 bis heute deutliche Veränderungen in der Besiedlungsstruktur zu beobachten. Insbesondere der Wechsel von relativ konstanten zu instabilen Verhältnissen (Artzusammensetzung, Biomasse und Abundanz) war ab Mitte der 1980er Jahre auffällig. Der Wechsel von einer stabilen, durch langlebige Muscheln (und Echinodermen) geprägten, in eine biomassereiche, starken Fluktuationen unterworfenen, von Muscheln und Kleinpolychaeten dominierte Gemeinschaft, gilt als Anzeichen einer Verschlechterung. Untersuchungen am Makrozoobenthos der **Pommerschen Bucht** Anfang der 1990er Jahre ergaben im Ver-

gleich zu Untersuchungen aus den 1950er und 1980er Jahren ebenfalls Veränderungen in der Gemeinschaftsstruktur der Benthoszönose. Das Vorkommen einiger Arten ist ganz erloschen, und die Biomasse der filtrierenden Muscheln stieg signifikant. KUBE (1996) führt diese Veränderungen letztlich auf Eutrophierungsphänomene und Veränderungen des hydrographischen und meteorologischen Regimes zurück. Die seit Mitte der 80er Jahre auch in der Pommerschen Bucht häufiger auftretenden Sauerstoffmangelereignisse sind Ausdruck dieser Veränderungen.

Seit 1994 führt das LAUN im Rahmen des biologischen Küstenmonitoring im flachen Küstenbereich Untersuchungen am Makrozoobenthos durch. Im Jahr 1994 wurde ausschließlich der Tiefenbereich 0-10 m beprobt, seit 1995 werden die Untersuchungen an den 6 Transekten Klein Klützhövd, Kaltenhof/Poel, Kühlungsborn, Zingst, Prorer Wiek und Zinnowitz auf den Tiefenstufen 5, 10, 15 und 20 m durchgeführt (Abb.17).

Bisher wurden über 100 wirbellose Tierarten nachgewiesen. Diese sind im wesentlichen den taxonomischen Gruppen der Meeresborstenwürmer und Wenigborster (31 Polychaeta und 7 Oligochaeta), den Muscheln und Schnecken (13 Bivalvia und 11 Gastropoda) und den Krebsen (20 Crustacea) zuzuordnen. Bezüglich der Individuendichte dominieren die Meeresborstenwürmer sowie die Muscheln und Schnecken; die Biomasse wird im wesentlichen von den Muscheln bestimmt. Einige wenige Arten bestimmen mit hohen Individuenzahlen die Besiedlungsdichte und die Biomasse des Meeresbodens. Die überwiegende Anzahl der Arten werden in geringer Häufigkeit bzw. als Einzelindividuen angetroffen. Bezüglich der häufigen Arten gibt es von West nach Ost nur geringfügige Unterschiede.

Sehr häufige Meeresborstenwürmer sind *Scoloplos armiger* und *Pygospio elegans*. Während *Bylgides sarsi*, *Polydora ciliata* und *Lagis koreni* vor allem in der Mecklenburger Bucht massenhaft auftreten, treten *Hediste diversicolor* und *Marenzelleria viridis* erst in der Prorer Wiek und Pommerschen Bucht in Erscheinung. Im gesamten Küstengebiet verbreitet und sehr häufig sind die Muscheln *Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Mya arena-*

*ria*. *Astarte borealis* und die Islandmuschel *Arctica islandica* kommen nur in der Mecklenburger Bucht häufig vor. Die Wattschnecke *Hydrobia ulvae* ist als einzige Schnecke sehr häufig und überall verbreitet. Weitere häufige Arten sind der Kumazeenkrebs *Diastylis rathkei* und der Priapswurm *Halicryptus spinulosus*.

Die aktuellen Befunde bestätigen die Ergebnisse der früheren Untersuchungen. Demnach ist in den tieferen und verschlickten Bereichen der Lübecker und Mecklenburger Bucht durch die episodisch auftretenden Sauerstoffmangelperioden unterhalb von etwa 20 m Wassertiefe eine Arten-, Individuen- und Biomassereduktion zu beobachten. Nur ganz wenige Arten überleben diese Perioden. Durch das Phänomen der Brackwassersubmergenz, d.h., das Abwandern mariner Arten bei Brackwasserbedingungen in salzreichere Tiefen, werden hier insbesondere die Bestände großer, langlebiger Muschelarten langfristig geschädigt. Auffallend ist ein Akkumulationsphänomen im Bereich der 10- und 15 m-Zone der Lübecker und Mecklenburger Bucht. Während im 10 m-Bereich maximale Individuendichten und Biomassen gefunden werden, ist der Artenreichtum und die Diversität in der 15m-Zone am höchsten. Das heißt, dass dem Phänomen der Brackwassersubmergenz eine Emergenz der Tiefengemeinschaft entgegenwirkt. Marine Arten mit hohen Salzgehaltsansprüchen, die eigentlich bevorzugt in tieferen Bereichen vorkommen, versuchen sich in flacheren Bereichen anzusiedeln, um den episodisch lebensfeindlichen Bedingungen der tiefen Bereiche zu entgehen.

Versucht man, die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in die fünf definierten Stadien der Zoobenthosverschlechterung des ostseespezifischen Sukzessionsmodells von RUMOHR (1996a) einzuordnen, kommt man in den verschiedenen Tiefenzonen der Mecklenburger Bucht zu unterschiedlichen Befunden.

Die von episodischen Sauerstoffmangelereignissen heimgesuchten Böden unterhalb von 20 m können dem Stadium 3 zugeordnet werden (biomassearme Kleinpolychaeten-Gemeinschaft mit starken Schwankungen der Populationsparameter und gelegentlichen Auslöschungen durch Sauerstoffmangel; die Grenzschicht zum sauerstofffreien Sediment,

(Redox-Diskontinuitätsschicht) liegt bereits dicht unter der Sedimentoberfläche.

(Muschel- und langlebige Polychaeten-dominiert, starke Fluktuationen, erhöhte Biomasse u.a. als Folge der Eutrophierung)

Die Zone zwischen 10 und 20 m entspricht im wesentlichen den Merkmalen des Stadium 2

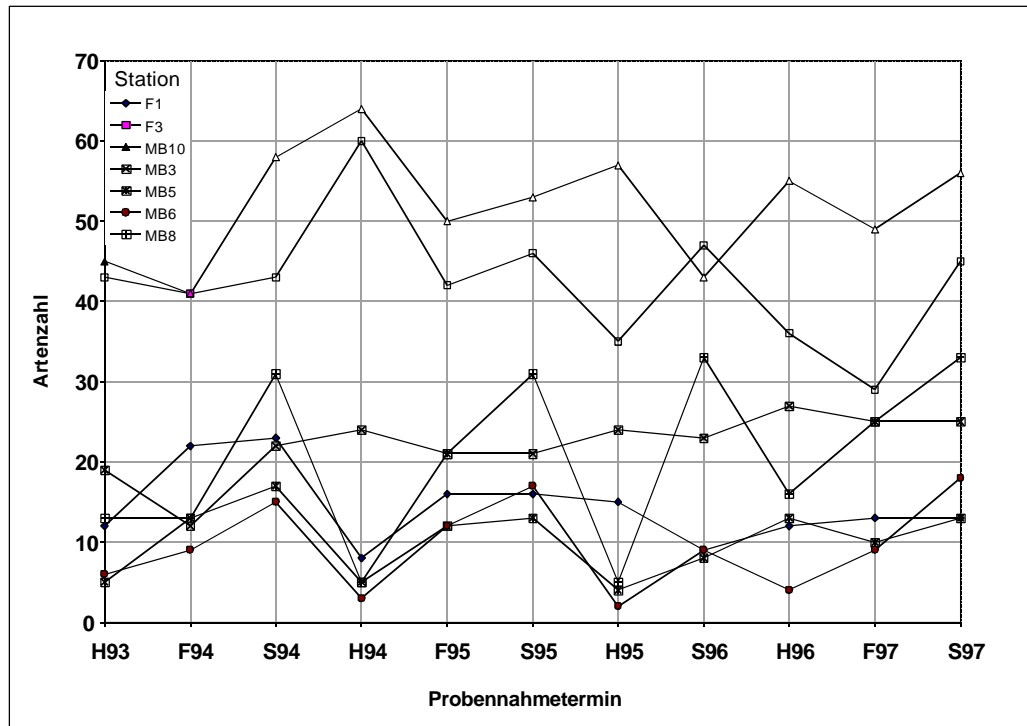


Abb. 17: Artenzahlen auf ausgewählten Stationen in der Ostsee vom Herbst (H) 1993 bis Sommer (S) 1997 (Frühjahr 1996 wegen Eisgangs keine Probenahme)

## 105 Makrophyten - Untersuchungen

Zahlreiche Untersuchungen aus den letzten Jahren belegen Veränderungen in der Vegetationsstruktur der Ostsee. Dominanzverschiebungen, Änderungen der Artzusammensetzung, vor allem aber ein Rückzug der Vegetation aus tieferen Bereichen (bedingt durch eine über Jahre hinweg abnehmende Durchdringungstiefe des Lichts) in die Flachwasserzonen sind als deutlich sichtbare Veränderungen beschrieben worden.

Da eine aktuelle systematische Untersuchung des Flachwassers der deutschen Ostseeküste nicht vorlag, wurde 1993 in Schleswig-Holstein vom damaligen Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten und 1995 in Mecklenburg-Vorpommern ein gemeinsames Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Landes und des Umweltbundesamtes initiiert.

Es wurden insgesamt 112 senkrecht zur Küste verlaufende Transekte im Tiefenbereich zwischen 2 und maximal 20 m untersucht. 14 dieser Transekte wurden als Dauertransekte ausgewiesen und zweimal jährlich beprobt. Die Dauertransekte wurden wie die Kartierungstransekte mit einem Unterwasservideosystem abgefahren und zusätzlich an den Tiefenstufen 2, 4, 6, 8 und 10 m mit Hilfe von Forschungstauchern beprobt. Vorrangige Ziele des Projektes waren:

- die Bestandsaufnahme der Makrophytengemeinschaften (Großalgen und Seegras) und der Miesmuschelvorkommen,
- die Auswahl von Dauertransekten an repräsentativen Küstenabschnitten für ein Langzeitmonitoring und

- die Weiterentwicklung und der Test von Methoden zur Entwicklung eines Makrophytenmonitoringprogramms.

Hinsichtlich der Makrophytenbesiedlung lassen sich verschiedene Küstenabschnitte voneinander unterscheiden:

Im Bereich der Flensburger Außenförde liegt die geschützte **Geltinger Bucht** zwischen der Kliffkante von Habernis im Westen und dem weit nach Norden auslaufenden Kalkgrund. Da dieser Küstenabschnitt nur wenig exponiert ist, und so Wellen und Wasserbewegung nur geringe Auswirkungen haben, konnten sich knapp unterhalb des Spülsaums *Zostera-Mytilus*-Gemeinschaften ausbilden, sogar das seltene Zwergseegras (*Zostera nana*) kam in diesem Gebiet vor. Auf den vorherrschenden sandigen Sedimenten wuchsen bis in eine Wassertiefe von 6 m ausgedehnte Seegraswiesen. In größerer Wassertiefe siedelten auf den regelmäßig vorkommenden Geröllfeldern ein- und mehrjährige Algen (z.B. *Pilayella littoralis* und *Delesseria sanguinea*). Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) waren in größeren Dichten nur vor dem Naturschutzgebiet Geltinger Birk ab einer Tiefe von 8 m zu finden.

Da sich der **Kalkgrund** in einer exponierten Lage befindet, kommt es durch die hohe Dynamik bei West- und Ostwinden zu Sandumlagerungen. Eine Besiedlung der flacheren Abschnitte bis 4 m Wassertiefe ist deswegen nahezu unmöglich. Aus diesem Grund waren Algen und Seegras nur selten zu finden. In größerer Wassertiefe wuchsen auf den wenigen Steinen fädige Algen, auf der westlichen Seite des Kalkgrunds siedelten auch einige Miesmuscheln.

Auch der Bereich südlich des Kalkgrunds zwischen **Falshöft und Schleimünde** weist einen hohen Exponierungsgrad auf. Es existieren ausgeprägte Feinsandriffe, die einer starken Umlagerungsdynamik unterliegen. Nur in geschützten Riffälern zwischen 2 und 4 m gab es einen schmalen Gürtel von *Zostera marina*. An wenigen flacheren Stellen war auch *Fucus* zu finden. Der Meeresboden fällt schnell ab und neben den sandigen Sedimenten im Flachwasser liegen in größerer Tiefe Steine, die dicht mit Rot- und Braunalgen bewachsen waren.

Der Bereich zwischen **Olpenitz und Boknis Eck** ist in weiten Abschnitten durch Steilküsten geprägt. Auch hier fällt der Meeresboden relativ schnell ab. Der hohe Exponierungsgrad bewirkt bei starken östlichen Winden immer wieder, dass Teile aus der Steilküste ausgebrochen werden und es unter Wasser zu starken Sedimentumlagerungen kommt. Seegras kam aus diesem Grund in diesem Küstenabschnitt nur in lückenhaften Beständen unterhalb der Feinsandriffe vor. Neben Geröllfeldern findet man hier auch immer wieder freie Mergelflächen, auf denen sich keine Vegetation halten kann. Auf dem Geröll wuchsen jedoch viele ein- und mehrjährige Rot- und Braunalgen. Im Sommer konnte es hier durch abgerissenes Algenmaterial zur Bildung von Driftalgenmatten kommen, die an der Küste angespült oder entlanggetrieben wurden.

Der nördliche Teil der **Eckernförder Bucht** zeichnete sich trotz des schnell abfallenden Meeresgrundes durch das Vorhandensein von dichten Seegraswiesen aus, die im Bereich Hemmelmark und Karlsminde bis in eine Tiefe von 10 m vordrangen. Das Sediment besteht aus Sand, nur im Strandbereich kommen vereinzelte, mit *Fucus* sp. und anderen Algen bewachsene Steine vor. Unterhalb der Seegraswiesen fanden sich Miesmuschelbänke und Miesmuschelklumpen. Am westlichen Ende der Eckernförder Bucht traten im Sommer große Mengen losgerissener Algen auf. Auf den im südlichen Bereich der Eckernförder Bucht vorkommenden Sandflächen bei Noer und westlich von Aschau gab es ausgedehnte Seegraswiesen, die immer wieder von einzelnen Findlingen durchsetzt sind. Vor den Steilufern im südöstlichen Bereich der Bucht existierte nur ein schmaler Streifen Seegras. Miesmuscheln fanden sich auf kleineren und größeren Steinen relativ häufig, wohingegen der Algenbewuchs nicht sehr ausgeprägt war.

Im weiteren Verlauf der **Steilküste zwischen Dänisch Nienhof und Leuchtturm Bülk** wuchs auf dem flach abfallendem Seegrund bis in größere Tiefen Seegras. Dieses Gebiet ist jedoch durch das Vorkommen von vielen verschiedenen Substratarten wie Kies, Steinen, Mergel und Torf charakterisiert und zeichnete sich durch eine hohe Biodiversität und einen oftmals dichten Bewuchs durch die verschiedensten Algenarten aus.

Im äußeren Teil der **Kieler Förde** konnten teilweise ausgedehnte Seegraswiesen, besonders in der Strander und der Wendtorfer Bucht bis in etwa 6 m Wassertiefe, gefunden werden. Daran schließen sich schlickige Untergründe an, auf denen Miesmuscheln siedelten. In der Kieler Innenförde sind viele Küstenbereiche überbaut und durch menschlichen Einfluss so nachhaltig verändert, dass natürliche Pflanzengemeinschaften nur noch selten zu finden sind. Jedoch kamen z.B. im Bereich Düsternbrook und Möltenort noch Seegrasbestände vor.

Der in weiten Teilen mit Buhnen und im Hinterland mit einem Deich künstlich befestigte Bereich zwischen **Wendtorf und Stakendorf** ist lediglich bei nördlichen Winden einem starken Wellengang ausgesetzt. Durch küstenparallele Strömungen kommt es aber trotzdem immer wieder zu starken Sedimentumlagerungen, wodurch sich nur vereinzelte Seegrashorste ausbilden konnten, dichte Seegraswiesen fehlten. Natürliches Hartsubstrat findet sich auf dem flach abfallenden Meeresgrund nur sehr selten. Das Vorkommen von Algen war aus diesem Grund relativ gering.

Die **Hohwacher Bucht** wird landseitig wieder durch Steilküsten begrenzt. Auch hier brechen Teile des Kliffs bei starken nördlichen Winden regelmäßig ab. Die hierdurch entstehenden Geröllfelder dienen zahlreichen Algenarten, aber auch Miesmuscheln, als Siedlungsgrund. *Fucus vesiculosus* kam hier bis in 6 m Wassertiefe vor. Mehrjährige Arten (z.B. *Delesseria sanguinea*) konnten bei geeignetem Substrat auch noch in 15 m Wassertiefe angetroffen werden.

Die **Insel Fehmarn** kann durch die unterschiedlichen im Sublitoral vorkommenden Habitateigenschaften in zwei Gebiete aufgeteilt werden: Der westliche Teil des Fehmarnsund inklusive der Orther Bucht und dem Bereich Flügge bis Puttgarden ist durch weite Sandflächen gekennzeichnet, die relativ langsam in die Tiefe abfallen. Hier kamen teilweise dichte Seegraswiesen vor, in denen Algen nur auf den vereinzelt zwischen dem Seegras liegenden Steinen wuchsen. Der östliche Bereich Fehmarns besteht aus Steilküsten, der teilweise aus sehr großen Steinen mit ausgeprägten Rot- und Braunalgengemeinschaften

bestehende Meeresgrund fällt schnell ab. Bemerkenswert war hier das Vorkommen von *Laminaria saccharina* und *L. digitata* bis in eine Tiefe von 12 m.

Auf den Sandflächen des Küstenabschnitts zwischen **Großenbrode und Neustadt** war bis in eine Tiefe von 6 m regelmäßig Seegras zu finden. Die Dichte der Seegrasbestände verringerte sich jedoch kontinuierlich in Richtung Süden bis zum Schwarzen Grund. Kleine Steine bildeten in einigen der Seegraswiesen einen Siedlungsgrund für Algen. An den Rhizomen des Seegrases kamen häufig Miesmuscheln vor. Der Schwarze Grund bei Dahmeshöved erhielt seinen Namen durch die dort in großer Ausdehnung vorkommende Miesmuschelbank. Im Sommer wurden durch Wind und Strömung oftmals große Algenmatten zusammengetrieben.

Auf den fast reinen Sandgebieten, die sich **östlich von Neustadt** befinden, fand Seegras einen guten Siedlungsgrund, so dass sich hier ausgedehnte Seegraswiesen ausbilden konnten. Vereinzelt Miesmuschelklumpen, aber auch verschiedene Algen waren Bestandteil des Phytals.

Der Küstenabschnitt zwischen **Travemünde und Halbinsel Wustrow** in der Lübecker und Mecklenburger Bucht ist in weiten Bereichen durch geringe Wassertiefen, geringe Meeresbodenneigung und sandige Sedimente gekennzeichnet. Hartboden ist nur im Flachwasserbereich in Form von einigen Felsblöcken zu finden. Dementsprechend wurde die Besiedlung zwischen 3 und 6 m vor allem von Seegras (*Zostera marina*) dominiert. Die Dichte der Seegraswiesen nahm zur Insel Poel hin deutlich zu. Die Blöcke im Flachwasserbereich waren in der Regel dicht mit Rotalgen bewachsen. Nicht festsitzende, fädige Braun- und Rotalgen (z.B. *Pilayella littoralis* oder *Polysiphonia fucoides*), sog. Driftalgen, wurden in großen Mengen im unteren Sublitoral oder zwischen Seegräsern zusammengetrieben. Im Sommer kam es z.T. zu einem explosionsartigen Wachstum dieser fädigen, oftmals epiphytisch auf Seegras wachsenden Formen. Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) siedelten vor allem im Bereich der Seegraswiesen.

Der Küstenabschnitt zwischen **Meschendorf und Bukspitze** ist morphologisch ähnlich

strukturiert wie der vorherige. Trotz vorherrschender sandiger Sedimente mit wenigen Geröllfeldern und Blöcken siedelte hier kein Seegras. Auf den Geröllfeldern und Blöcken waren Rotalgen dominierend. Auch Driftalgen und - als prägendes Element - Miesmuschelbänke konnten häufig beobachtet werden.

Zwischen **Kühlungsborn und Diedrichshagen** wuchs wieder Seegras in einem sehr dünnen Streifen mit geringer Dichte. Miesmuscheln siedelten mit höherer Abundanz, Rotalgen waren wie an den vorherigen Abschnitten an Hartboden gebunden, und Driftalgen traten in relativ geringer Häufigkeit auf.

Im stark exponierten Küstenabschnitt zwischen **Markgrafenheide und Darßer Ort** kam trotz ausgedehnter sandiger Sedimente kein oder kaum Seegras vor. Der relativ hohe Expositionsgrad bedingt einen Küstenrückgang zwischen 40 und 90 m, im Extremfall sogar bis zu 210 m in 100 Jahren. Vermutlich verhindern hier ständige Sedimentumlagerungen eine kontinuierliche Ansiedlung von Seegras. Miesmuscheln waren häufig zu finden, auch Driftalgen konnten - z.T. in großen Matten - auf dem Grund liegen.

Im Abschnitt **Prerow bis Vitte** liegen durch die geringe Neigung des Meeresbodens, die große Ausdehnung dieses Flachwassergebietes und das sandige Sediment ideale Bedingungen für die Ansiedlung von Seegras vor. Mehr oder minder dichte Seegraswiesen bildeten ein breites Band bis in eine Tiefe von 8 m. Miesmuscheln kamen in Vergesellschaftung mit dem Seegras vor, bilden aber keine Bänke. Driftalgen konnten hier so hohe Konzentrationen erreichen, dass das Seegras z.T. völlig überdeckt wurde. Rotalgen wuchsen nur vereinzelt auf kleineren Steinen.

Der Bereich zwischen **Hiddensee Nord und Arkona** ist einer der exponiertesten Küstenabschnitte Mecklenburg-Vorpommerns. Der Meeresboden fällt hier relativ steil ab, und die Sedimente sind entsprechend grob. Grobsand, Kies und Hartboden in Form von Steinen und Blöcken, z.T. auch Geschiebemergel, sind vorherrschend. Die Steine und Blöcke im Flachwasser waren mit *Fucus* (bis 8m), Rotalgen, Grünalgen und Miesmuscheln bewachsen.

Auf dem Abschnitt **Vitt bis Binz** wechseln Hart- und Sandböden einander ab. Zwischen Vitt und Glowe war die hohe Siedlungsdichte von Miesmuscheln und Rotalgen auffällig, die im gesamten Tiefenbereich annähernd 75 % der Fläche einnahmen. Im Tiefenbereich zwischen 12 bis 16 m wurde 1995 der Zuckertang *Laminaria saccharina* relativ häufig angetroffen. Ab Lohme waren die Blöcke im Flachwasserbereich dicht mit Grünalgen besiedelt, die in tieferen Bereichen durch Rotalgen verdrängt wurden. Auf den Sandböden der Tromper Wiek wurde kein Seegras gefunden. Nördlich Saßnitz wurden 1995 *Fucus*-Vorkommen bis in 10 m Tiefe angetroffen. Im Bereich zwischen Lohme und Saßnitz wurden ebenfalls *Fucus* bis in 10 m Tiefe sowie *Laminaria* bis in 14 m Tiefe gefunden. Im Gegensatz zu 1995 wurde *Laminaria saccharina* 1996 im Bereich nördlich Saßnitz nur noch in geringem Umfang und nur als juvenile Formen ausgemacht.

Im Gebiet der **Prorer Wiek** wurde der Hartboden wieder von Sandgrund abgelöst. Makroalgen wurden nicht registriert, auch Seegras siedelte trotz der guten Substratbedingungen nicht.

Im Abschnitt **Sellin bis Südperd** war wieder Hartboden vorherrschend. Dadurch konnten sich im flacheren Bereich Grünalgen ansiedeln. Rotalgen wurden bis in eine Tiefe von 10 m in hoher Dichte angetroffen. Auch Miesmuscheln waren dominant vertreten. Zwischen Lobber Ort und Südperd waren die Sandböden im Flachwasserbereich mit *Zostera*, Geröll und Steine in tieferen Bereichen mit Rotalgen bewachsen. Driftalgen traten wieder häufiger als an den nördlich gelegenen Transekten auf.

Im Bereich der **Usedomer Küste** wurde keine Besiedlung durch Makroalgen registriert, trotz vorherrschenden Sandgrunds auch kein Seegras. Selbst die Steine im Flachwasserbereich zwischen 2 und 3 m waren vollkommen unbewachsen.

Wesentliche für die Makrophyten besiedlungsbestimmende Umweltfaktoren sind der in der Ostsee in Richtung Osten hin abnehmende Salzgehalt sowie die Trübung der oberen Wasserschicht durch Plankton und

Schwebstoffe, welche die Eindringtiefe des Lichtes in den Wasserkörper bestimmt.

Ein weiterer wichtiger Besiedlungsfaktor ist der Grad der Exposition, der durch mechanische Beanspruchung, hervorgerufen durch hydrodynamische und destruktive Vorgänge wie Strömung, Wellenbewegung, Eisbildung/Eisgang, Sedimentdynamik und Substratvariabilität, eine direkte Wirkung auf die Besiedlung ausübt.

Einen starken Einfluss auf die im allgemeinen arktisch-borealen Arten können in warmen Sommern auch hohe Temperaturen haben.

Allgemein gilt für die Ostseevegetation, dass sie, vor allem durch den geringeren Salzgehalt, als Restbestand der ursprünglich vollmarinen Nordseeflora angesehen werden kann. Mit abnehmendem Salzgehalt reduziert sich durch den osmotischen Stress die Anzahl der marinen Makrophytenarten, während limnische Arten das Brackwasser zunehmend als Lebensraum erobern. Dies geschieht jedoch nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft in bestimmten Übergangsbereichen. An der schleswig-holsteinischen Küste sind limnische Arten nur im Bereich der Orther Bucht und des Großenbroder Binnensees anzutreffen. An der mecklenburg-vorpommerschen Küste sind sie fast nur in den inneren Küstengewässern zu finden, wo sie jedoch sehr dominant werden und die marinen Pflanzen völlig verdrängen können.

Die Untersuchungen der Jahre 1993 bis 1996 zeigen bei abnehmendem Salzgehalt eine deutliche Artenreduktion in östlicher Richtung. SCHWENKE (1996) setzt die für die Vegetation ökologisch bedeutungsvolle Salzgehaltsgrenze nicht an der Darßer Schwelle, sondern erst etwa in Höhe Rügen an. Diese Beobachtung wird durch die Funde von marinen Braunalgen wie *Laminaria saccharina* und *Desmarestia viridis* im Rahmen dieser Untersuchungen gestützt.

Das Lichtklima in dem durch Makrophyten besiedelten flachen schmalen Küstensaum wird vor allem durch den Gehalt an Trübstoffen bestimmt. Dieser wird in hohem Maße durch den Grad der Eutrophierung, d.h. das pflanzenverfügbare Nährstoffpotential und die daraus resultierende Intensität der plankti-

schen Primärproduktion, bestimmt. Stark eutrophierte Küstenabschnitte, wie einige schleswig-holsteinische Förden und die inneren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns oder die Pommersche Bucht, weisen generell einen höheren Trübungsgrad auf. Die Folge ist eine geringe Eindringtiefe des Lichtes. Hierdurch ist der vertikale Besiedlungsraum für Makrophyten in vielen Küstenabschnitten erheblich eingeschränkt.

Untersuchungen zu den Auswirkungen der Eutrophierung auf die Besiedlung mit Makrophyten gibt es an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns aus der jüngeren Vergangenheit für die Wismar-Bucht, die Darß-Zingster-Boddenkette und den Greifswalder Bodden.

Die im Rahmen der Bestandsaufnahme vor Usedom durchgeführten Untersuchungen zeigten für dieses Gebiet trotz geeigneter Substrate keine Besiedlung durch Makroalgen. Die langjährige mittlere Sichttiefe beträgt zwischen April und August vor Ahlbeck 1,70 bis 2 m und etwas weiter nördlich vor Zinnowitz ca. 2 bis 3 m. Vor Göhren werden schon wieder zwischen 3 und 4,50 m gemessen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist die Lichtlimitation in der inneren Pommerschen Bucht ausschlaggebend für die fehlende Besiedlung in diesem Küstenabschnitt.

Die Substratverhältnisse als Siedlungsmöglichkeit für die benthische Vegetation sind weitgehend geologisch vorgegeben und infolge der eiszeitlichen Prägung sehr abwechslungsreich. SCHWENKE (1996) und Meyer (1997a) messen dem Substrat als besiedlungsbestimmendem Faktor eine größere Bedeutung zu als dem Salzgehalt. Natürliche Hartböden, wichtigstes Siedlungssubstrat für die meisten benthischen Makroalgen, sind an der Ostseeküste nur sporadisch in Form von Geröll- und Blockfeldern vor den Steilküsten vorzufinden. Dass die Strukturvielfalt des Substrates eine wesentliche Rolle spielt, zeigt die relativ artenreiche Besiedlung der Geröll- und Blockfelder im Vergleich zu den „sterilen“ Sandgründen, die nur für echt wurzelnde Arten wie das Seegras attraktiv sind. Das Seegras seinerseits bietet jedoch epiphytischen Formen, quasi als sekundäres Hartsubstrat, Ansiedlungsmöglichkeiten.

Ein weiterer Streßfaktor für die makrophytische Besiedlung ist der Grad der Exposition, d.h. die hydrodynamische Beanspruchung der einzelnen Küstenabschnitte. Diese kann anhand des mittleren jährlichen Eintrags an Seegangenergie charakterisiert werden. WIEMER und GURWELL (1991) haben diese Seegangenergie für die verschiedenen Küstenabschnitte in Mecklenburg-Vorpommern modellhaft berechnet. Demnach sind die Küstenabschnitte Pötenitz-Boltenhagen-Insel Poel und nördlich der Halbinsel Zingst bis zum südlichen Hiddensee nur gering belastet. Eine mittlere Belastung liegt für die Küstenabschnitte Halbinsel Wustrow bis Darßer Ort, die südliche Ostküste Rügens und die Usedomer Küste vor. Am stärksten belastet sind die Küstenabschnitte von Nordhiddensee und Nordrügen mit Arkona, Lohme und der Stubbenkammer. Insbesondere auf leicht beweglichen Sandgründen wirkt sich vermutlich schon eine mittlere Exposition ungünstig auf die Besiedlung aus. Diese Gebiete unterliegen einer natürlichen hohen Küstendynamik, die mit Transport- und Umverteilungsprozessen von Sedimenten in größerem Umfang verbunden sind. Diese hohe Sedimentdynamik hat eine mechanische Beanspruchung bis hin zur völligen Übersandung und Vernichtung der Makrophytenbestände zur Folge. Sandumlagerungen verändern die Substratverhältnisse entscheidend, da Geröll- und Blockfelder teilweise großflächig verschüttet, aber auch wieder freigespült werden. Die Siedlungsmöglichkeiten für die Vegetation sind dadurch erheblichen Veränderungen unterworfen. So ist es vielleicht zu erklären, dass zwischen der Halbinsel Wustrow und Darßer Ort keine bzw. im Bereich zwischen Heiligendamm und Warnemünde eine nur sehr spärliche Besied-

lung mit Seegras zu finden ist, dagegen die gering exponierten Lagen in der Lübecker Bucht, Wismar-Bucht und vor der Halbinsel Darß-Zingst deutlich dichtere Bestände an Seegras aufweisen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich auch auf die Gebiete der schleswig-holsteinischen Ostseeküste übertragen.

Insbesondere für die sehr flachen Bereiche der Ostsee ist Eisgang, als stark destruktive Komponente, eine gewöhnliche Erscheinung. Der Eiswinter von 1995/1996 hatte einen erheblichen Einfluss auf die Besiedlung und die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaften an der Nord- und Ostküste Fehmarns und Rügens. Die starke Eisbildung hatte zur Folge, dass viele besiedelte Flächen bis in größere Tiefen nahezu vollständig von ihrem Bewuchs befreit wurden. Als Erstbesiedler nach dem Eisaufruch wurden besonders viele Grünalgen gefunden.

In dem extrem warmen Sommer von 1995 kam es durch die hohen Wassertemperaturen zu einem Absterben der Laminarienbestände an der Ostseite Fehmarns und an der Ostseite Rügens. Lediglich in Gebieten wie dem Walkyriengrund in der Lübecker Bucht blieb die Population stabil. Dies liegt daran, dass dort ständig kaltes Tiefenwasser aufströmt und die hohen Wassertemperaturen nicht über einen längeren Zeitraum auf die Makroalgen einwirken können. In flachen Bereichen mit wenig Wasseraustausch kann es im Sommer auch zu einem Absterben der Seegraswiesen kommen, die sich jedoch im Gegensatz zu den Laminarien meistens im folgenden Jahr wieder regenerieren.