

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

No. 39

Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung  
der Ostsee 1999

von

Wolfgang Matthäus, Günther Nausch, Hans Ulrich Lass,  
Klaus Nagel und Herbert Siegel

**Institut für Ostseeforschung**  
**Warnemünde**  
**2000**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Einleitung	6
2. Meteorologische Bedingungen	7
3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge	13
3.1 Beobachtungen an der Meßplattform "Darßer Schwelle"	13
3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt	14
3.1.2 Strömung	18
4. Beobachtungen an der Bojenstation "Oder Bank"	19
5. Hydrographisch-chemische Bedingungen	21
5.1 Wassertemperatur	22
5.1.1 Jahrgang der Oberflächentemperatur	22
5.1.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur	27
5.2 Salzgehalt	30
5.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff	34
5.4 Anorganische Nährstoffe	39
5.5 Natürliche organische Nährstoffe	51
6. Die gegenwärtige Stagnationsperiode im Tiefenwasser der zentralen Ostsee	55
7. Diskussion	67
Danksagung	71
Literaturverzeichnis	71

## Zusammenfassung

Der Winter 1998/99 war in der gesamten Ostsee mild. Der Sommer reihte sich in die überdurchschnittlich warmen Sommer der 90er Jahre ein und gehörte zu den fünf wärmsten seit 1946. Der September 1999 war der wärmste in der südlichen Ostsee seit 1946.

Infolge des milden Winters blieben die Oberflächentemperaturen im Winter und zeitigen Frühjahr um 1 K über den langjährigen Erwartungswerten, was sich auch in den Temperaturen im sommerlichen kalten Zwischenwasser von 3–4 °C widerspiegelte. Infolge des warmen Sommers erreichten die Oberflächentemperaturen positive Anomalien bis zu 4 K in einer 20 m mächtigen Deckschicht. Die Temperaturen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee blieben mit 0,2–1,7 K über dem langjährigen Mittel (1950–1998) auch 1999 noch überdurchschnittlich hoch infolge des Einstroms von warmem Wasser im Jahre 1997.

Die Witterungsbedingungen im Winter 1998/99 verursachten nur schwache Einströme über die Schwellen in die Ostsee. Einstromereignisse im Oktober und Ende Dezember 1998 führten lediglich im Tiefenwasser des Bornholmbeckens im Frühjahr 1999 zu oxischen Bedingungen. Von Mai bis Ende November wurde Schwefelwasserstoff beobachtet bis schließlich im Spätherbst kleinere Einströme wieder Sauerstoff ins Bornholmbecken transportierten. Im Jahre 1999 erfolgte kein Salzwassereinbruch.

Die Stagnationsperiode, die 1995 einsetzte, hat sich im Jahre 1999 in allen Tiefenbecken der zentralen Ostsee deutlich verstärkt. Lediglich im Bornholmbecken wurden auf Grund der größeren Dynamik im Tiefenwasser variierende Verhältnisse beobachtet. Im östlichen Gotlandbecken wies der Wasserkörper zwischen Meeresgrund und 130 m Tiefe das ganze Jahr hindurch anoxische Bedingungen auf. Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens setzte sich der seit 1993 beobachtete Rückgang im Sauerstoffgehalt fort und führte im August 1999 zum ersten Mal seit Mitte der 80er Jahre wieder zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den grundnahen Schichten. Im Jahre 1999 erreichte der durch Sauerstoffmangel bzw. anoxische Bedingungen gekennzeichnete Bereich des Tiefenwassers der zentralen Ostsee seine größte Ausdehnung seit 15 Jahren.

Die Konzentrationen von Phosphat und Nitrat im winterlichen Oberflächenwasser schwankten seit 1995 ohne einen eindeutigen Trend aufzuzeigen. Vergleicht man jedoch die erste und die zweite Hälfte der 90er Jahre, zeigt sich besonders in den küstennahen Bereichen der westlichen Ostsee aber auch in der zentralen Ostsee ein eindeutiger Rück-

gang der Phosphatkonzentrationen. Die Maßnahmen zur Reduktion des Nährstoffeintrages aus Punktquellen scheinen hier gegriffen zu haben. Da sich offenbar bereits wieder ein Gleichgewichtsniveau gebildet hat, erscheint ein weiterer Phosphatrückgang zumindest fraglich. Beim Nitrat ist dagegen in den 90er Jahren kein signifikanter Rückgang in den Konzentrationen festzustellen. Die Dominanz diffuser Quellen sowie der atmosphärische Eintrag sind als Ursachen zu benennen.

Die Konzentrationen organischen Materials, die seit 1994 gemessen werden, weisen im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee sowohl für partikulären als auch gelösten organischen Kohlenstoff ein deutliches jahreszeitliches Signal auf. In küstennahen Gebieten, die durch Flusseinträge geprägt sind, oder in der westlichen Ostsee, die durch den Wasseraustausch mit der Nordsee beeinflusst wird, konnte dagegen kein eindeutiger saisonaler Zyklus der Konzentration organischen Materials identifiziert werden.

### Summary

The winter of 1998/1999 was mild in the entire Baltic Sea area. The summer was among the five warmest since 1946, all of it occurred in the 1990s. The September 1999 was the warmest since 1946.

The mild winter led to sea surface temperatures in the Baltic Sea that were about 1 K above the long-term mean during winter and early spring. This resulted in relatively warm water of 3–4 °C being trapped in the summer intermediate water layer of the central Baltic Sea. The surface temperatures in the summer reached positive anomalies up to 4 K in the 20 m upper layer due to the warm summer. The deep water temperatures of the central Baltic Sea were still anomalously high due to the inflow of warm water in 1997, 0.2–1.7 K above the mean for the period 1950–1998.

The weather conditions in winter 1998/1999 gave rise to a low inflow activity across the sills into the Baltic with only small inflows. Inflows in October and late December 1998 led only to the aeration of the Bornholm Basin deep water in spring 1999. From May onwards hydrogen sulphide was measured in the Bornholm Basin up to the end of November when other small inflows led again to oxic conditions. A major inflow event did not occur.

In the eastern Gotland Basin, the anoxic water covered the layer between bottom and about 130 m depth all year round. In the deep water of the western Gotland Basin, oxygen depletion has continued since 1993. The decrease in oxygen concentration led in August 1999 to the formation of hydrogen sulphide in the near-bottom layer for the first time since the mid-1980s. In 1999, the area of the whole central Baltic deep water which was affected by oxygen deficiency and anoxic conditions was the largest in the past 15 years.

The concentration of the inorganic nutrients phosphate and nitrate in the mixed winter surface layer did not show any clear tendencies since 1995. But, comparing the first and second half of the 1990s, distinct decrease in the phosphate concentrations can be observed, especially in the near-coastal areas of the western Baltic, but also in the central Baltic Sea. Measures undertaken to reduce point sources seem to be effective. A new equilibrium is already established and, therefore, a further decrease in phosphate concentrations is at least questionable. In contrast, nitrate concentrations do not show any significant decrease between both periods of the 1990s. This may be attributed to the predominance of diffuse sources and a huge contribution by atmospheric input.

Concentrations of organic nutrients observed since 1994 show a pronounced seasonal signal in the central Baltic surface water for both particulate and dissolved organic carbon. In near-coastal areas, which are strongly influenced by riverine inputs, and in the western Baltic, which is affected by exchange processes with the North Sea, no clear seasonal signals could be identified.

## 1. Einleitung

Die Einschätzung des hydrographisch-chemischen Zustandes der Ostsee im Jahre 1999 erfolgte im Wesentlichen auf der Grundlage des Ostsee-Überwachungsprogramms, das das *Institut für Ostseeforschung Warnemünde* (IOW) im Auftrag des *Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie* (BSH), Hamburg und Rostock, durchführt. Im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung wird dem IOW der deutsche Beitrag für das Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes übertragen. Zu den Aufgaben dieses Programms gehört die Überwachung des Wasseraustausches zwischen Ost- und Nordsee, der hydrographisch-chemischen Bedingungen in den zentralen Ostseebecken und deren zeitliche und räumliche Veränderungen sowie die Identifikation und Untersuchung von Langzeittrends.

Im Jahre 1999 wurden vier Monitoring-Fahrten durchgeführt, die die Situation im Winter, Frühjahr und Sommer erfaßten. Die Zustandseinschätzung wurde anhand von Umwelt-Daten, die im Rahmen von Forschungsarbeiten des IOW gewonnen wurden, sowie auf der Basis von Beobachtungen der Forschungseinrichtungen der Ostseeanliegerstaaten – insbesondere des *Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Instituts* (SMHI) und der maritimen Abteilung des polnischen *Instituts für Meteorologie und Wasserwirtschaft* (IMGW) – komplettiert. Die Lage der beprobten Stationen, soweit sie für die nachfolgenden Auswertungen verwendet wurden, sind der Abb. 1 zu entnehmen. Die internationale Zuordnung dieser Stationen ist bei MATTHÄUS et al. (1999a) zusammengestellt.

Grundlage des hydrographisch-chemischen Standard-Messprogramms, das mit den Forschungsschiffen "A.v.Humboldt" und "Alkor" durchgeführt wurde, sind die Richtlinien für die Überwachung der Ostsee im Rahmen des COMBINE-Programms der HELCOM (HELCOM, 1999). Angaben über die Gewinnung der Wasserproben und die untersuchten Parameter sowie über die verwendeten Messverfahren und ihre Genauigkeit sind bei NEHRING et al. (1993a, 1995a) enthalten.

Die schiffsgebundenen Untersuchungen wurden durch Messungen an zwei autonomen Stationen des deutschen Umweltüberwachungs-Messnetzes MARNET in der westlichen Ostsee ergänzt, die im Gebiet der Darßer Schwelle (Messplattform; Stat. 001) und in der Pommerschen Bucht (Messboje; Stat. OB) liegen (vgl. Abb. 1). Neben meteorologischen Parametern werden an diesen Stationen die Wassertemperatur und der Salzgehalt in 6 bzw. 4 Tiefen (Darßer Schwelle) und 2 Tiefen (Oder-Bank) sowie der Sauerstoffgehalt in 2 Tiefen (beide Stationen) registriert. Alle Daten werden als Stundenmittel aus 6 Messungen telemetrisch via Wettersatellit (METEOSAT) an die Datenbank des BSH übertragen (vgl. KRÜGER et al., 1996, 1998). Angaben über die Strömungsverhältnisse im Bereich der Darßer Schwelle liefert ein selbstregistrierender akustischer Doppler-Profil-Strömungsmesser (ADCP).

Die Überwachung der Wasseroberflächentemperatur der Ostsee wurde durch Einzelszenen und mittlere monatliche Verteilungen, ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten, ergänzt. Dabei wurden alle wolken- und eisfreien Bildpunkte (Pixel 1 x 1 km) der Satellitenüberflüge eines Monats berücksichtigt und in Karten zusammengestellt (SIEGEL et al., 1999).



zu kalt (vgl. MATTHÄUS et al., 1999a) während die Monate Januar bis April 1999 mit +1,0 bis +1,9 K über dem langjährigen Mittel lagen (Tabelle 2). Die Lufttemperaturen im Mai und Juni lagen etwa im Bereich der langjährigen Mittelwerte (Tabellen 1 und 2).

**Tabelle 1** Temperatursummen der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde (TIESEL, 2000); mittlere Temperatursummen 1961 bis 1990 in Klammern

	Kältesummen <sup>1)</sup> (K)		Wärmesummen <sup>2)</sup> (K)	
Nov. 1998	17,1	(2,5)	April 1999	0 (0,3)
Dez. 1998	39,3	(26,5)	Mai 1999	8,1 (5,2)
Jan. 1999	12,0	(50,2)	Juni 1999	21,3 (19,2)
Feb. 1999	15,6	(32,7)	Juli 1999	100,4 (41,6)
März 1999	0	(10,7)	Aug. 1999	63,3 (38,2)
April 1999	0	(0,04)	Sep. 1999	49,7 (7,7)
			Okt. 1999	0 (0,5)
Σ 1998/99	84,0	(123,0)	Σ 1999	242,8 (112,7)

<sup>1)</sup> Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen

<sup>2)</sup> Summe der Tagesmitteltemperaturen minus 16 für alle Tage mit Mitteltemperaturen über 16 °C

Der Sommer 1999 reiht sich in die überdurchschnittlich warmen Sommer der 90er Jahre ein. Mit einer Wärmesumme von 242,8 K ist er der fünftwärmste Sommer seit 1946 nach den extrem warmen Sommern 1997, 1992, 1995 und 1994 (Tabelle 3). Während der Juni noch durchschnittliche Werte aufwies, erreichten die Wärmesummen im Juli und August das Doppelte des langjährigen Mittels (Tabelle 1 und 2). Der September 1999 erreichte mit 49,7 K das 6fache des Mittelwertes (1961–1990) und war damit der wärmste September in der südlichen Ostsee seit 1946.

Während die mittleren Temperaturen der Monate Oktober und November wieder den langjährigen Erwartungswerten entsprachen (Tabelle 2), war der Dezember mit einer positiven Anomalie von 0,8 K ungewöhnlich mild. Insgesamt ergibt sich infolge des milden Winters und des überdurchschnittlich warmen Sommers im Jahresmittel 1999 eine positive Abweichung von 1,1 K.

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

Das Jahr 1999 war überdurchschnittlich niederschlagsreich (Tabelle 2). Hohe Niederschlagsmengen wurden vor allem im Juni und Dezember beobachtet, wo das 2 bis 2,5fache des normalen Niederschlags gemessen wurde. Aber auch im Januar, März, April und August wurde das 1,5 bis 1,8fache der Normalwerte registriert. Niederschlagsarm waren dagegen die Monate Mai, Juli und September.



**Tabelle 2 Anomalien der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft ( $\Delta T_L$ ) sowie prozentualer Anteil der monatlichen Sonnenscheindauer (SD) und Niederschlagshöhe (NH) an der Wetterstation Arkona im Jahre 1999 bezogen auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961 bis 1990 (DWD, 1999)**

Monat	$\Delta T_L$ (K)	SD (%)	NH (%)
Januar	1,9	87	149
Februar	1,0	106	85
März	1,4	80	182
April	1,8	105	162
Mai	0,5	108	62
Juni	0,3	100	240
Juli	1,8	113	54
August	0,8	106	174
September	2,9	135	69
Oktober	0,0	108	93
November	0,1	125	85
Dezember	0,8	75	212
Mittel	1,1	104	131

Im Jahresmittel 1999 waren die an der Wetterstation Arkona beobachteten Windgeschwindigkeiten – berechnet aus den Tagesmittelwerten – um rund 0,9 m/s geringer als im Jahre 1998. Die in Abb. 2A dargestellten Tagesmittel der Windgeschwindigkeit zeigen im Januar/Februar, im April sowie von Oktober bis Dezember 1999 mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten von über 8 m/s. In den übrigen Monaten lagen die Mittelwerte zwischen 5,2 m/s (Juni) und 6,2 m/s (August). Der Sommer war relativ windarm. Zwischen Mitte Mai und Mitte September lagen die Tagesmittelwerte meist unter dem Jahresmittelwert von 7,2 m/s und erreichten nur im Juli und August an jeweils einem Tag Werte bis 11 m/s.

Die Tagesmittel erreichten im Jahre 1999 maximal 19,2 m/s (5. Februar; Abb. 2A). Die höchsten Windspitzen wurden mit 37,4 m/s am 5. Februar und mit über 40 m/s während des Orkans über der westlichen Ostsee am 3./4. Dezember registriert. Die Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und -geschwindigkeit auf die acht Hauptrichtungen für das gesamte Jahr 1999 und den Monat September sind in Abb. 3 dargestellt.

Östliche Winde, die verstärkt im März, April, Mai sowie im September, Ende Oktober und Mitte November auftraten (Abb. 2B), führten zu einer unter-normalen Wasserfüllung der Ostsee (Abb. 5). Länger andauernde Perioden mit westlichen Winden im Bereich der westlichen Ostsee wurden vor allem im Januar/Februar, im April, Juli und August sowie Ende September bis Mitte Oktober und im Dezember beobachtet.

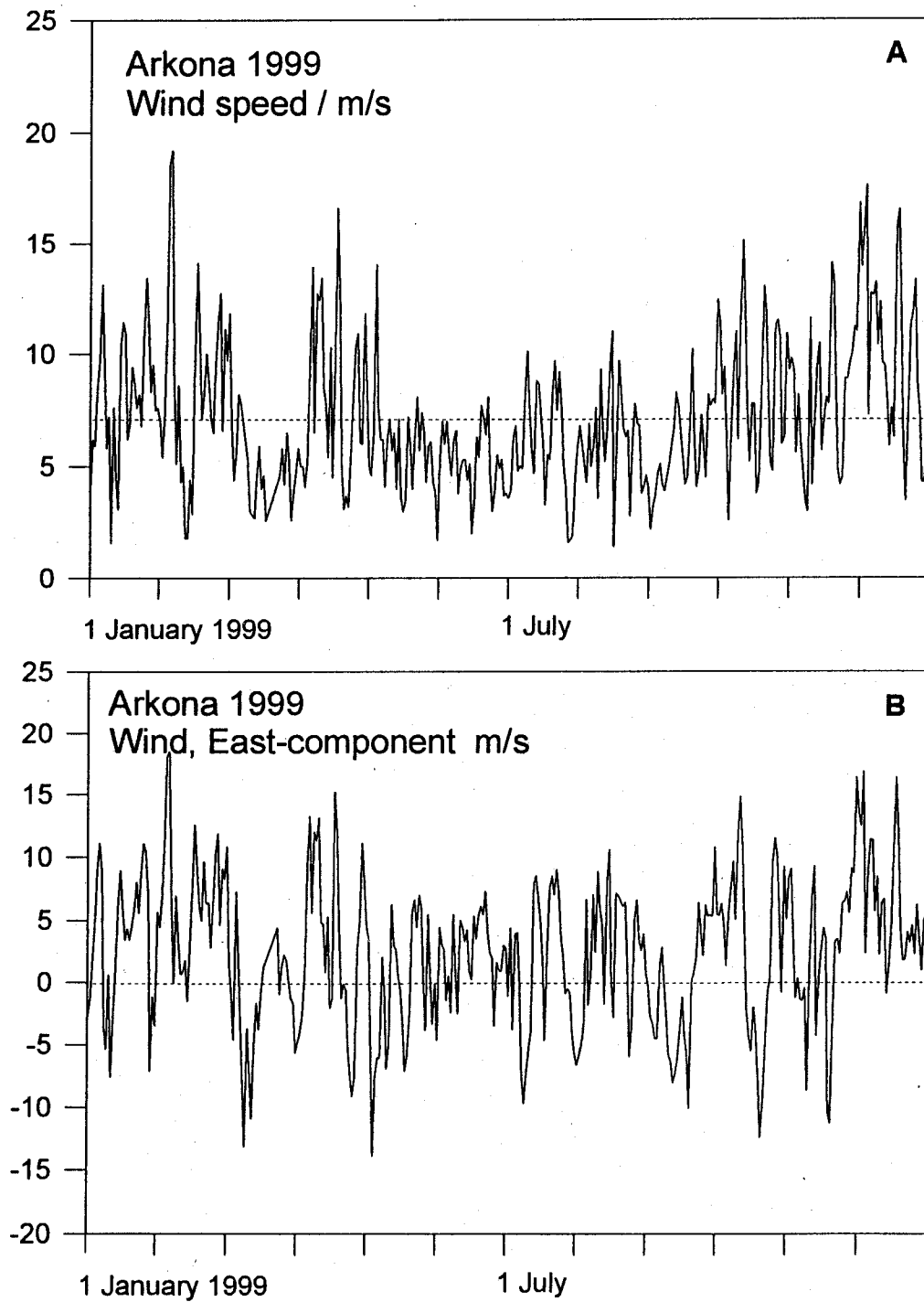


Abb. 2  
Tagesmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im Jahre 1999 (A) und ihrer Ostkomponente (B; Westwind positiv) (nach Daten des DWD)

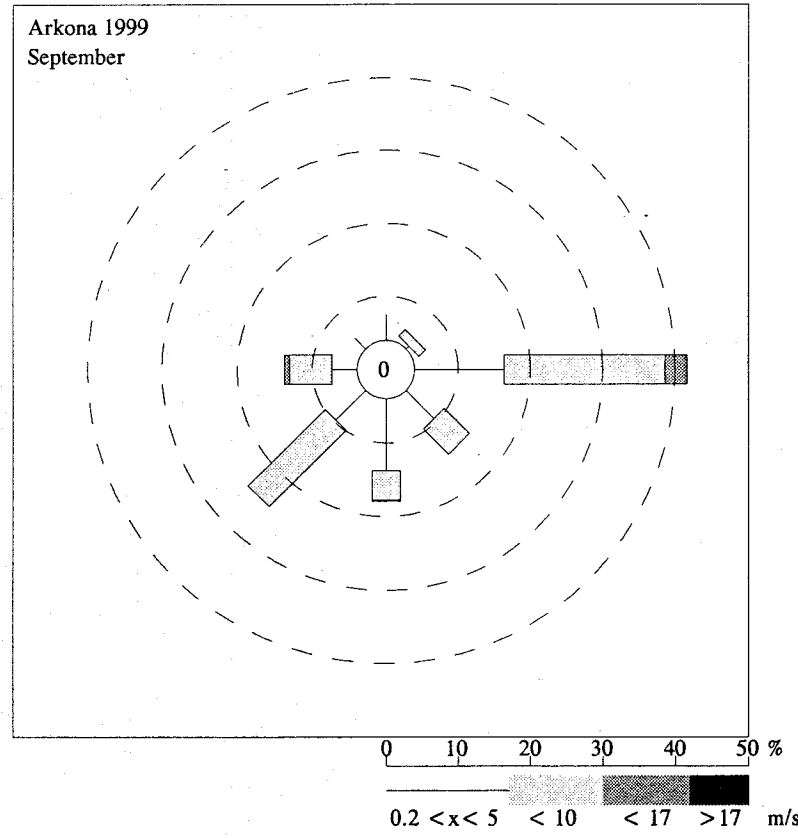
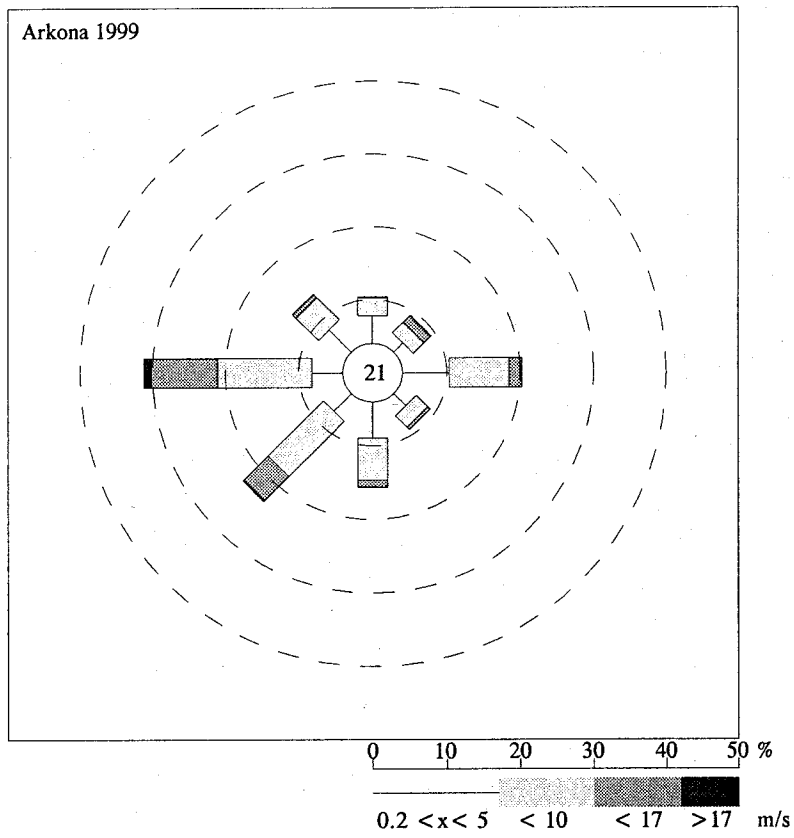


Abb. 3  
Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im gesamten Jahr 1999 und im Monat September (nach Daten des DWD)

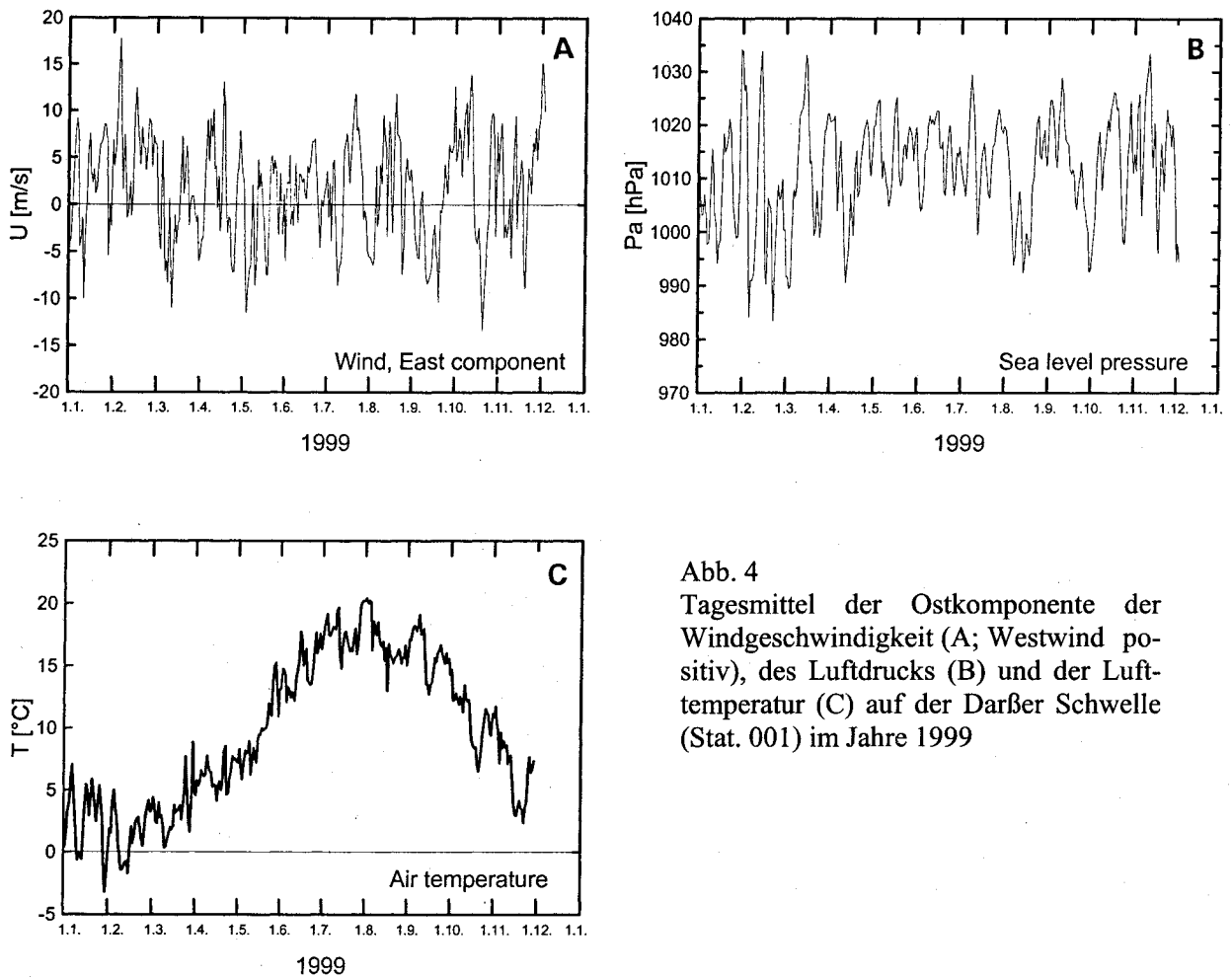


Abb. 4  
Tagesmittel der Ostkomponente der Windgeschwindigkeit (A; Westwind positiv), des Luftdrucks (B) und der Lufttemperatur (C) auf der Darßer Schwellen (Stat. 001) im Jahre 1999

**Tabelle 3** Wärmesummen<sup>1)</sup> der Lufttemperatur (in K) der wärmsten Sommer seit 1946 an der Wetterstation Warnemünde (nach TIESEL, 2000)

Sommer	1997	1992	1995	1994	1999	1947	1975	Mittel (1961-1990)
April	0	0	3,7	0	0	0	0,6	0,3
Mai	1,0	16,2	7,6	0,1	8,1	14,3	2,0	5,2
Juni	35,3	72,0	16,3	19,4	21,3	57,8	3,5	19,2
Juli	62,4	103,6	103,3	146,7	100,4	58,3	70,9	41,6
August	173,0	80,9	117,5	78,0	63,3	59,5	120,1	38,2
September	21,2	2,6	4,6	0,8	49,7	42,9	23,1	7,7
Oktober	0	0	4,7	0	0	0	0	0,5
$\Sigma$	292,9	275,3	257,7	245,0	242,8	232,8	220,2	112,7

<sup>1)</sup> Summe der Tagesmitteltemperaturen minus 16 für alle Tage mit Mitteltemperaturen über 16 °C

Die markantesten Perioden mit persistenten westlichen Winden traten im Februar, Oktober und Dezember auf. Infolge der Stürme im Januar/Februar war die Wasserfüllung der Ostsee ständig über-normal und erreichte während der Sturmperioden +25 bis +30 cm (Abb. 5). Die lange Ostwindperiode im März verursachte einen Rückgang der Wasserfüllung auf etwa -25 cm.

Zwischen April und August schwankte der Wasserstand der Ostsee je nach Windbedingungen zwischen +10 und -27 cm und erreichte Mitte September infolge anhaltender östlicher Winde (Abb. 3) einen unter-normalen Füllungsgrad von -25 cm. Die Herbststürme im September/Oktober füllten die Ostsee rasch mit Wasser und Mitte Oktober waren rund +30 cm erreicht. Nachdem der mittlere Wasserstand der Ostsee bis Ende November nochmals auf ca. -15 cm zurückgegangen war, brachten die Stürme Ende November und der Orkan vom 3./4. Dezember innerhalb von 10 Tagen einen Wasserstandsanstieg um 50 cm auf +35 cm (Abb. 5). Die anschließenden westlichen Stürme transportierten weiterhin Wasser in die Ostsee, so dass Mitte Dezember ein Füllungsgrad von 50 cm über Normal erreicht wurde.

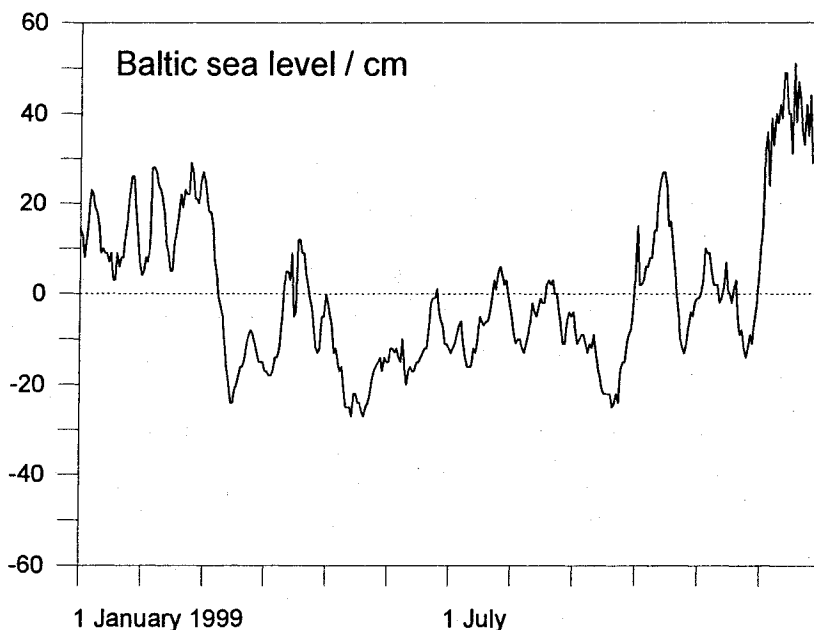


Abb. 5  
Schwankungen im Füllungsgrad der Ostsee im Jahre 1999, dargestellt anhand des Wasserstandes von Landsort (nach Daten des SMHI Norrköping)

### 3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge

#### 3.1 Beobachtungen an der Messplattform "Darßer Schwelle"

Die kontinuierlichen Registrierungen der Wassertemperatur und des Salzgehaltes sowie der Strömungsgeschwindigkeit wurden an der Station "Darßer Schwelle" (Stat. 001, vgl. Abb. 1) fortgesetzt.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers wurde 1999 mit einem SEACAT-Sauerstoff-Recorder im 7 m und 19 m Tiefenniveau am Messmast gemessen. Vereinzelt Vergleichsmessungen des Sauerstoffgehaltes an Wassersproben aus der Messtiefe der Geräte wurden mit Hilfe der Winklermethode (vgl. GRASSHOFF et al., 1983) während der Wartungszyklen des Messmastes durchgeführt. Die Zeitreihenmessungen wiesen einen Trend in der Empfindlichkeit der SEACAT-Registrierungen auf und wurden entsprechend korrigiert.

### 3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt

Die Jahresmittel der Wassertemperatur an der Darßer Schwelle, dargestellt in Tabelle 4, wiesen 1999 sowohl in der durchmischten Deckschicht (7 m Tiefe) als auch in der bodennahen Wasserschicht (19 m Tiefe) – verglichen mit dem Zeitraum seit 1992 – durchschnittliche Werte auf. Die Standardabweichung der Wassertemperatur ist sowohl in 7 m als auch in 19 m Tiefe in der Nähe des Mittelwertes des gesamten Beobachtungszeitraums. Die thermische Schichtung ist 1999 verglichen mit dem Mittel seit 1992 sehr ausgeprägt (Abb. 6A).

Die Fourieramplituden des Jahresganges der Wassertemperatur seit 1992 sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Jahresgang der Temperatur weist 1999 in 7 m einen nahe dem Mittel liegenden und in 17 m einen nahe dem Minimum liegenden Wert auf, während er in 19 m Tiefe das Minimum darstellt. Die Phase des Jahresganges entspricht in der Deckschicht den mittleren Werten, weist in der Bodenschicht aber das Minimum seit dem Beginn der kontinuierlichen Wassertemperaturmessungen auf der Darßer Schwelle auf. Die Phasenlage des Jahresganges weist darauf hin, dass die jahreszeitliche Erwärmung des Deckschichtwassers im Gebiet der Darßer Schwelle Mitte Mai und in der Bodenschicht Ende April 1999 begann.

Die im Jahre 1999 beobachteten thermischen Verhältnisse im Bereich der Darßer Schwelle können als Folge eines warmen Sommers auf einen milden Winter (STRÜBING, 1999) erklärt werden (Abb. 4C). Dies führte dazu, dass die Amplitude des Jahresganges der Wassertemperatur relativ niedrig war, ihr Mittelwert jedoch annähernd dem langjährigen Mittel entspricht (Tabelle 5). Der normale Anstieg der Wassertemperaturen der Deckschicht auf der Darßer Schwelle entspricht 1999 einem durchschnittlichen Wärmefluß aus der Atmosphäre in die Ostsee während des Frühjahrs. Das Bodenwasser wird dagegen durch Vermischung mit relativ warmem, von der Nordsee einströmenden Oberflächenwasser eher erwärmt als die Deckschicht. Die ausgeprägte thermische Schichtung des Wassers im Gebiet der Darßer Schwelle weist auf eine geringe Vermischung zwischen beiden Schichten (Tabelle 5) vor allem während des Sommers (Abb. 6B) hin.

**Tabelle 4** Jahresmittelwerte der Wassertemperatur (T) und des Salzgehaltes (S) sowie deren Standardabweichungen auf der Darßer Schwelle

	7 m Tiefe		17 m Tiefe		19 m Tiefe	
	T °C	S PSU	T °C	S PSU	T °C	S PSU
1992	9,41 ±5,46	9,58 ±1,52	9,01 ±5,04	11,01 ±2,27	8,90 ±4,91	11,77 ±2,63
1993	8,05 ±4,66	9,58 ±2,32	7,70 ±4,32	11,88 ±3,14	7,71 ±4,27	13,36 ±3,08
1994	8,95 ±5,76	9,55 ±2,01	7,94 ±4,79	13,05 ±3,48	7,87 ±4,64	14,16 ±3,36
1995	9,01 ±5,57	9,21 ±1,15	8,50 ±4,78	10,71 ±2,27	–	–
1996	7,44 ±5,44	8,93 ±1,85	6,86 ±5,06	13,00 ±3,28	6,90 ±5,01	14,50 ±3,14
1997	9,39 ±6,23	9,05 ±1,78	–	12,90 ±2,96	8,20 ±4,73	13,87 ±3,26
1998	8,61 ±4,63	9,14 ±1,93	7,99 ±4,07	11,90 ±3,01	8,10 ±3,83	12,80 ±3,22
1999	8,83 ±5,28	8,50 ±1,52	7,96 ±4,39	12,08 ±3,97	7,72 ±4,22	13,64 ±4,39

**Tabelle 5** Amplituden (in K) und Phasen (umgerechnet in Monate) des Jahresganges der Temperatur in verschiedenen Tiefen auf der Darßer Schwelle

	7 m Tiefe		17 m Tiefe		19 m Tiefe	
	Amplitude	Phase	Amplitude	Phase	Amplitude	Phase
1992	7,43	4,65	6,84	4,44	6,66	4,37
1993	6,48	4,79	5,88	4,54	5,84	4,41
1994	7,87	4,42	6,55	4,06	6,32	4,00
1995	7,46	4,36	6,36	4,12	–	–
1996	7,54	4,17	6,97	3,89	6,96	3,85
1997	8,60	4,83	–	–	6,42	3,95
1998	6,39	4,79	5,52	4,46	–	–
1999	7,19	4,52	5,93	4,00	5,70	3,83

Der aktuelle Verlauf der Wassertemperatur des Jahres 1999 ist für die Messtiefen 7 m und 17 m in Abb. 6A dargestellt. Das Minimum der Wassertemperatur wurde Mitte Februar 1999 mit Werten um 2 °C erreicht. Die thermische Schichtung der Wassersäule begann Mitte Mai und war bis Anfang September ausgeprägt. Der Anstieg der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde während des gesamten Sommers immer wieder durch Kaltwassereinschübe unterbrochen. Diese Ereignisse gingen mit anhaltenden Ostwindperioden (vgl. Abb. 2B und 4A) einher und wurden durch von der Insel Hiddensee zur Darßer Schwelle vordringende Filamente mit kaltem Auftriebswasser verursacht (vgl. LASS et al., 1996), welches aus dem winterlichen Zwischenwasser des Arkonabeckens stammt. Das Maximum der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde Ende Juli mit Werten um 19 °C erreicht. Die Abkühlungsphase des Wassers begann auf der Darßer Schwelle in allen Tiefen mit einem anhaltenden Starkwindereignis mit Winden aus westlichen Richtungen Ende September (vgl. auch Abb. 2). Das Wasser kühlte sich bis Ende Dezember auf rund 4 °C ab (Abb. 6A). Während der Abkühlungsphase sank die Temperatur des oberflächennahen Wassers im Oktober und November 1999 unter die der Bodenwasserschicht.

Im Jahre 1999 wies der mittlere Salzgehalt in 7 m Tiefe den niedrigsten Wert des gesamten Beobachtungszeitraums der Salzgehaltsmessungen auf der Darßer Schwelle auf (Tabelle 4). Das Jahresmittel des Salzgehalts in Bodennähe lag etwas oberhalb des langjährigen Mittelwertes der seit 1992 vorliegenden Messreihe. Die Standardabweichungen entsprachen in der Deckschicht dem mittleren Wert, während sie in der Bodenschicht die Maximalwerte darstellten. Auch 1999 wurde wieder eine ausgeprägte mittlere Schichtung des Salzgehaltes beobachtet (Tabelle 4), die auf einen signifikanten baroklinen, stark pulsierenden Anteil des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee hinweist.

Der zeitliche Verlauf des Salzgehalts im Bereich der Darßer Schwelle für 1999 ist in Abb. 6B dargestellt. Zwischen Januar und April wurden im Gegensatz zu vorangegangenen Jahren (vgl. auch MATTHÄUS et al., 1996, 1998b, 1999b) nur äußerst schwache barotrope Einstromereignisse

in die Ostsee registriert (vgl. auch SMHI, 1999b). Das Halbjahr von Juli bis Dezember war durch sehr intensive barokline Salzwassereinschübe in der bodennahen Schicht gekennzeichnet. Pulsförmige Einschübe mit erhöhtem Salzgehalt von mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule, wie sie für barotrope Einstromereignisse typisch ist, wurden 1999 lediglich Anfang Oktober und November sowie im Dezember beobachtet. Das über die Drogden Schwelle in die Ostsee transportierte Wasser erreichte Salzgehalte zwischen 20 und 25 PSU (vgl. SMHI, 1999b).

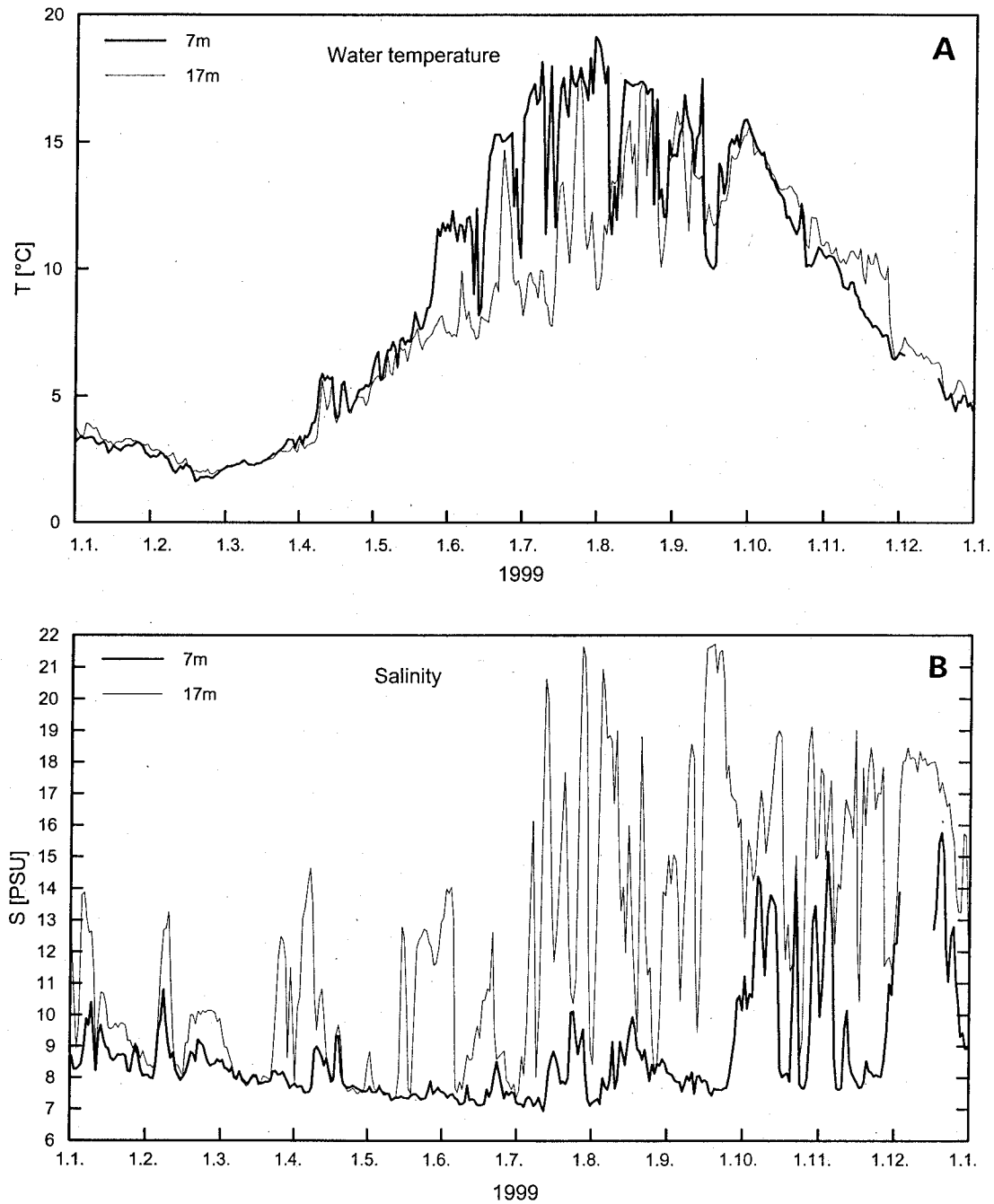


Abb. 6  
 Verlauf der Wassertemperatur (A) und des Salzgehaltes (B) in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle (Stat. 001) im Jahre 1999



Die untere Grenze der Variationen des Oberflächensalzgehalts an der Darßer Schwelle sank von annähernd 8 PSU im Januar bis auf etwa 7 PSU Anfang August, was auf eine signifikante Ausfischung des Oberflächenwassers im Arkonabecken in diesem Zeitraum hindeutet.

Der Salzgehalt in der bodennahen Schicht der Darßer Schwelle lag von Januar bis Juli relativ selten über 10 PSU. Ein besonders langer Zeitraum ausgeprägter haliner Schichtung wurde von Juli bis Dezember beobachtet (Abb. 6B). Dies deutet auf eine intensive ästuarine Zirkulation hin. Mitte März sowie Mitte April bis Mitte Mai wurden niedrige Salzgehalte in der ganzen Wassersäule gemessen, was auf einen mehrere Wochen anhaltenden Ausstrom von Oberflächenwasser aus dem Arkonabecken hinweist (vgl. auch SMHI, 1999b), der von persistenten Ostwindlagen unterstützt wurde (Abb. 2B und 4A).

Die Zeitreihen der kontinuierlichen Sauerstoffmessung am Messmast in 7 m und 19 m Tiefe sind in Abb. 7 dargestellt. Der Sauerstoffgehalt in der Deckschicht des Meeres ist in erster Näherung gleich seinem durch Wassertemperatur und Salzgehalt bestimmten Sättigungswert, wenngleich besonders im Frühjahr durch die Phytoplanktonblüte bedingte Übersättigungen auftreten können (vgl. Tabelle 8). Dementsprechend weist der Sauerstoffgehalt dort einen jahreszeitlichen Trend mit höheren Werten im Winterhalbjahr und niedrigeren Werten im Sommerhalbjahr auf. Dem Jahresgang des Sauerstoffs im Oberflächenwasser der Darßer Schwelle ist ein einmonatiger Rückgang im September von annähernd 6 auf 4  $\text{cm}^3/\text{dm}^3$  überlagert. Diese Periode ist durch anhaltenden Ostwind (Abb. 2B und 3) und damit verstärktem Auftrieb aus dem kalten Zwischenwasser des Arkonabeckens an der Darßer Schwelle gekennzeichnet. Ein ähnliches Ereignis wurde schon 1998 beobachtet (vgl. MATTHÄUS et al., 1999a).

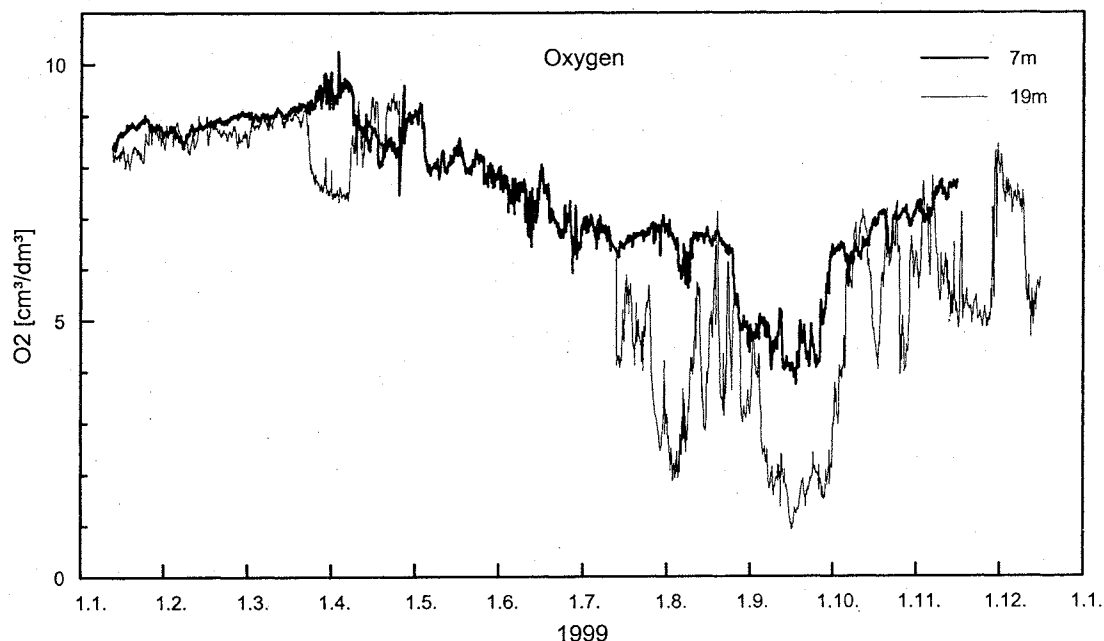


Abb. 7

Verlauf des Sauerstoffgehalts in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle (Stat. 001) im Jahre 1999

Der Sauerstoffgehalt in der bodennahen Schicht sinkt im Zusammenhang mit einem baroklinen Einstromereignis Ende März/Anfang April von 9 auf 7  $\text{cm}^3/\text{dm}^3$  (Abb. 6B und 7). Diese Abnahme steht in ursächlichem Zusammenhang mit biochemischen Sauerstoffzehrungsprozessen

in der stabilen Bodenwasserschicht während der Frühjahrsblüte. Von Mai bis Juli liegen keine zuverlässigen Messungen des Sauerstoffgehalts in der Bodenschicht vor. Mit Beginn der ausgeprägten ästuarinen Zirkulation von Juli bis November ist der Sauerstoff in der Bodenschicht – von mesomaßstäblichen Fluktuationen unterbrochen – um einige  $\text{cm}^3/\text{dm}^3$  niedriger als in der Deckschicht. In diesem Zeitraum strömt salzreiches Bodenwasser mit vermindertem Sauerstoffgehalt über die Schwelle. Besonders markant ist der September. Eine persistente Hochdruckwetterlage mit östlichen Winden (Abb. 2B und 4B) verstärkt den Kompensationsstrom in Grundnähe und transportiert sehr salzreiches aber sauerstoffarmes Wasser über die Darßer Schwelle in das Arkonabecken.

Der Sauerstoffgehalt des Bodenwassers steigt im Oktober, ebenfalls von Fluktuationen mit einer Dauer von einigen 10 Tagen unterbrochen, allmählich auf den Wert des oberflächennahen Wassers an. Die stärkere vertikale Vermischung führt im Herbst zur Belüftung des bodennahen Wassers in der westlichen Ostsee.

### 3.1.2 Strömung

Der auf der Darßer Schwelle eingesetzte Akustische Doppler-Profilstrommesser (vgl. NEHRING et al., 1996) liefert seit dem 8. Juni 1994 Stromprofile mit einer vertikalen Auflösung von 1 m zwischen 3 m und 18 m Wassertiefe. Das Gerät ist am Meeresgrund stationiert. Die bisherigen Einsätze haben gezeigt, dass die hochgenauen Messungen nicht durch Algenbewuchs beeinflusst werden.

Die fortschreitenden Vektordiagramme der Strömung in den einzelnen Messhorizonten sind hier nicht dargestellt. Die mittlere Strömung und ihre Fluktuationen erweisen sich in der Wassersäule als sehr kohärent. Zur Charakterisierung des barotropen Anteils der Strömung ist die vertikal gemittelte Strömung und zur Beschreibung des baroklinen Anteils ist die Strömung in 3 m und 19 m Messtiefe zeitlich integriert worden, und die fortschreitenden Vektordiagramme (Pseudotrajektorien) wurden berechnet. Diese filtern insbesondere die kurzzeitigen Fluktuationen aus der Strömungsmessung und lassen die langzeitigen Eigenschaften der Strömung besser erkennen.

Die Ostkomponenten der Pseudotrajektorien der vertikal gemittelten Strömung sowie der Strömung in Oberflächen- (3 m) und Grundnähe (19 m) sind in Abb. 8 dargestellt. Ihre Nordkomponenten sind vergleichsweise klein (zwischen 0 und 100 km) und werden deshalb hier nicht gezeigt.

Die Strömung in 3 m Tiefe weist im Februar und April zwei marginale Einstromereignisse auf, die einem generellen starken Ausstrom von Januar bis Juli überlagert sind. Dieser lang anhaltende Ausstrom in Oberflächennähe ist im März besonders kräftig, schwächt sich im April etwas ab und verstärkt sich danach wieder, bis er im Juli durch anhaltenden Einstrom abgelöst wird.

In der bodennahen Schicht in 19 m Tiefe herrscht Anfang Februar Einstrom, der im März durch kräftigen Ausstrom abgelöst wird. Von Anfang März bis Anfang Juli schließt sich eine Phase mit im Mittel stagnierender Strömung an, der von Anfang Juli bis Anfang Oktober ein ausgeprägter Ausstrom folgt.

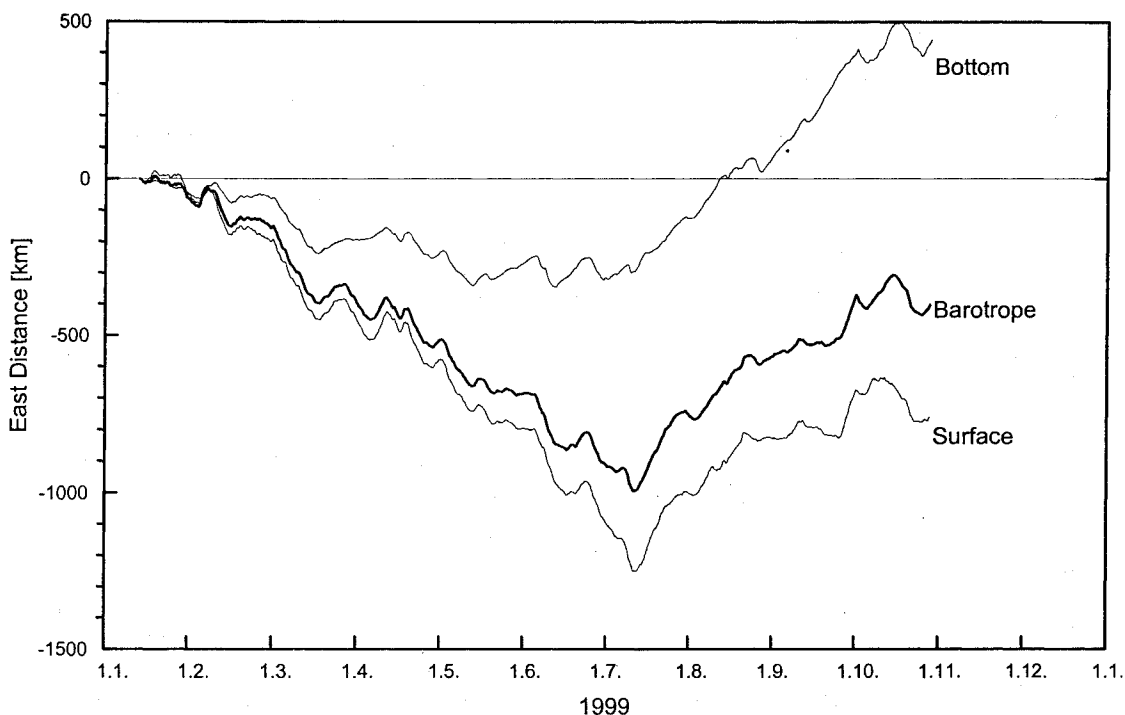


Abb. 8

Ostkomponente der Pseudotrajektorie des Vertikalmittels der Strömung sowie der Strömung an der Oberfläche (3 m Tiefe) und am Boden (19 m Tiefe) im Bereich der Darßer Schwelle (Stat. 001) im Jahre 1999

Die vertikal integrierte Strömung auf der Darßer Schwelle weist im Februar ein schwaches Einstromereignis auf. Im März erfolgt ein intensiver Ausstrom in der gesamten Wassersäule. Der barotrope Ausstrom schwächt sich Ende März ab und setzt sich – von kurzzeitigen Fluktuationen zwischen Ein- und Ausstrom überlagert – bis Anfang Juli fort. Im Oktober erfolgt ein Ausstrom in der ganzen Wassersäule, woran sich verschiedene Einstromereignisse bis zum Jahresende anschließen.

#### 4. Beobachtungen an der Bojenstation "Oder Bank"

Die Verteilung von Wassermassen und die Zirkulation in der Pommerschen Bucht sind im Rahmen des TRUMP-Projektes (*TR*ansport und *UM*satzprozesse in der *P*ommerschen Bucht) untersucht (v. BODUNGEN et al., 1995; TRUMP, 1998) und durch SIEGEL et al. (1996) und MOHRHOLZ (1998) beschrieben worden. Bei Westwindlagen wird dort gut durchmischtes Wasser der Pommerschen Bucht, dem sich ein geringer Anteil von Oberflächenwasser aus dem Arkonabecken beimischt, beobachtet. Während anhaltender Ostwindlagen strömt Wasser aus dem Oderhaff durch Swina und Peenestrom in die Pommersche Bucht und schichtet sich vor der Küste Usedom über das Buchtwasser.

Die Bojenstation "Oder Bank" befindet sich annähernd 5 km nordöstlich von Koserow/Usedom auf 15 m Wassertiefe (Stat. OB, vgl. Abb. 1). Von Januar bis Ende März 1999 war die Boje wegen einer erwarteten Eisbildung eingezogen worden, so dass aus diesem Zeitraum keine

Messungen vorliegen. Die Zeitreihen von Wassertemperatur und Salzgehalt in 3 m und 13 m Tiefe sind in Abb. 9 dargestellt.

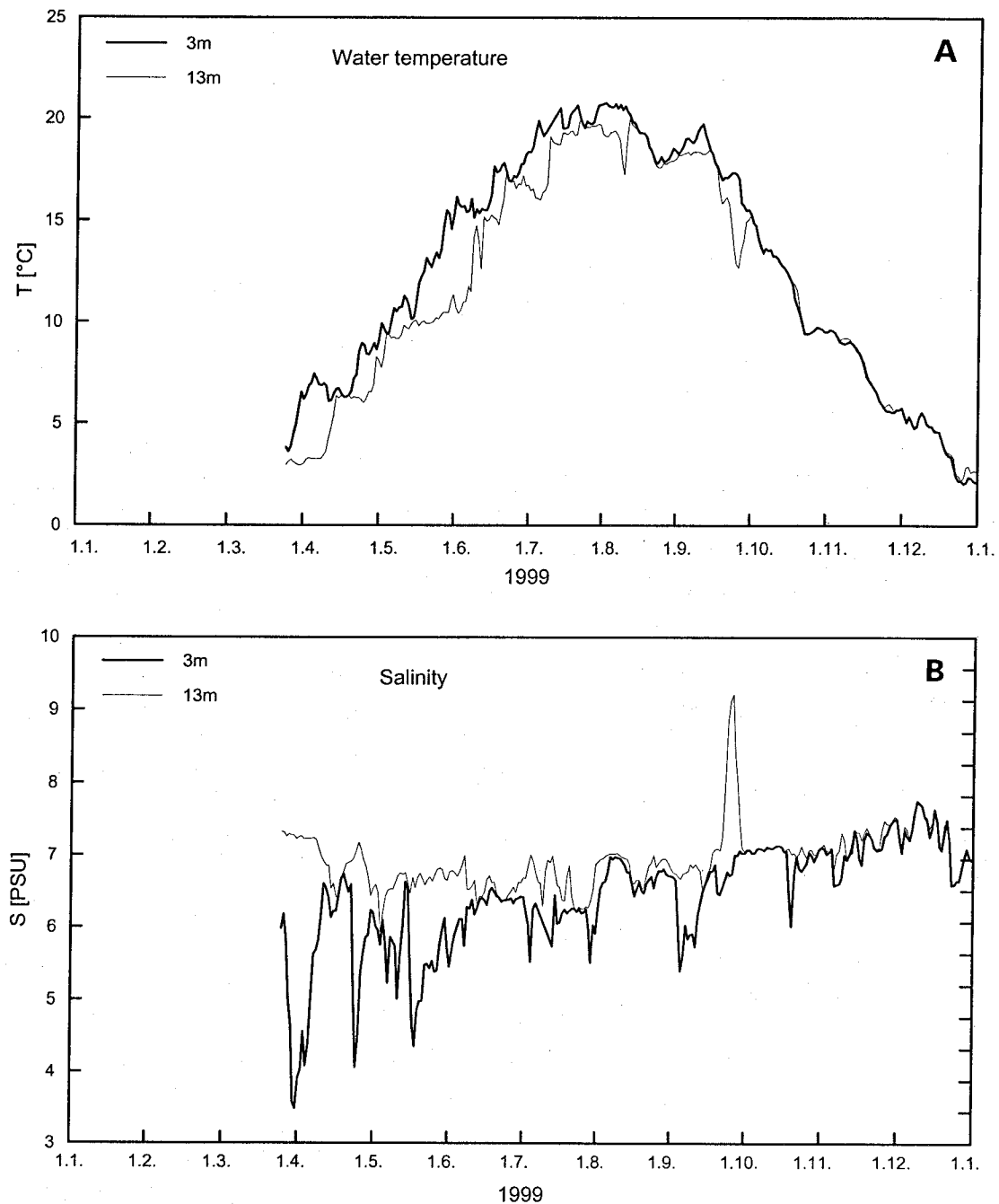


Abb. 9

Verlauf der Wassertemperatur (A) und des Salzgehaltes (B) in der Deck- und Bodenschicht in der Pommerschen Bucht (Stat. OB) im Jahre 1999

Die an dieser Station gemessene Wassertemperatur (Abb. 9A) folgt in ihrem Jahresgang weitgehend dem auf der Darßer Schwelle gemessenen Verlauf (vgl. Abb. 6A). Jedoch sind die Extremwerte des Jahresgangs der Wassertemperatur in der Pommerschen Bucht kräftiger ausgebildet als auf der Darßer Schwelle. Die maximale Temperatur der Pommerschen Bucht liegt

im Juli und August zwischen 20 und 21 °C. Dies weist darauf hin, dass die Wassertemperatur in der Pommerschen Bucht in stärkerem Maße durch den lokalen Wärmefluss durch die Meeresoberfläche bestimmt ist, als es an der stärker durch advective Prozesse beeinflussten Darßer Schwelle der Fall ist. Eine ausgeprägte thermische Schichtung wurde 1999 an der Station "Oder Bank" von April bis September beobachtet. Von Oktober bis Dezember verursachten Perioden mit relativ starken Winden eine ständige Durchmischung der Wassersäule.

Der in den gleichen Tiefen wie die Wassertemperatur gemessene Salzgehalt ist in Abb. 9B dargestellt. Er variierte im Laufe des Jahres zwischen 3,5 und 9 PSU und wies somit stärkere Schwankungen als 1998 auf (vgl. MATTHÄUS et al., 1999a). Der Salzgehalt in 3 m Tiefe ist von April bis September durch Phasen mit erniedrigtem Salzgehalt gekennzeichnet. In diesen Phasen mit einer Dauer von einigen Tagen bis einigen Wochen schichtet sich Wasser aus dem Oderhaff mit einem um 1 bis 3 PSU niedrigeren Salzgehalt über das Wasser der Pommerschen Bucht. Dieser Prozeß war 1999 wie 1998 an schwache und vor allem östliche Windlagen (vgl. Abb. 2B) gekoppelt. Der Salzgehalt in 13 m Tiefe wies einen schwachen Jahresgang mit Werten um 7 PSU im Winterhalbjahr und 6,5 PSU im Sommerhalbjahr auf. Eine singuläre Erhöhung des Bodensalzgehalts auf über 9 PSU wurde Ende September nach einer anhaltenden Ostwindphase beobachtet. Dabei dringt salzreiches Tiefenwasser aus dem Arkonabecken durch die Saßnitzer Rinne nach Süden vor (vgl. MOHRHOLZ, 1998) und kann offensichtlich die Position der Messstation "Oder Bank" erreichen. Die sich dabei ausbildende stabile Bodenwasserschicht ist auf Grund der Atmung von Benthosorganismen und der Remineralisierung von partikulärem organischen Material durch Sauerstoffmangel bzw. sogar durch Bildung von Schwefelwasserstoff gekennzeichnet (vgl. NEHRING et al., 1995b; SIEGEL et al., 1998).

## 5. Hydrographisch-chemische Bedingungen

Die Kieler und Mecklenburger Bucht liegen im Übergangsgebiet zwischen Ost- und Nordsee und sind daher durch starke kurzfristige Schwankungen der hydrographischen und chemischen Variablen gekennzeichnet. Dies gilt auch für die Pommersche Bucht (vgl. Abb. 9 und Kapitel 4), die durch den Oderausstrom beeinflusst wird. Das Datenmaterial, das auf den dort bearbeiteten Stationen durch das IOW gewonnen wird, kann daher nur zu einer ersten Einschätzung herangezogen werden. Eine detaillierte Auswertung wird gemeinsam mit den Landesämtern für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) und für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) im Rahmen der Jahresberichte des Bund-Länder-Messprogramms für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP) vorgenommen. In den östlich der Darßer Schwelle bearbeiteten Seegebieten, der eigentlichen Ostsee, nehmen die kurzfristigen Variationen mit zunehmender Entfernung von den Ostseezugängen und der Küste deutlich ab. Die nachfolgenden hydrographisch-chemischen Untersuchungen konzentrieren sich daher vorrangig auf diese Seegebiete.

Die Vertikalverteilungen der Wassertemperatur (Abb. 14), des Salz- (Abb. 15) und Sauerstoffgehalts (Abb. 16) sowie der Phosphat- (Abb. 18) und Nitratkonzentrationen (Abb. 19) sind auf einem Längsschnitt zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken, der dem Talweg durch die zentralen Ostseebecken folgt, dargestellt. Im Bedarfsfall wird auch auf weitere Stationen im Danziger Becken (Stat. 233) und im westlichen Gotlandbecken (Stat. 245, 284) eingegangen.

Von ausgewählten Stationen und Tiefen wurden die Jahresmittelwerte für einige hydrographisch-chemische Variablen berechnet und mit denen früherer Jahre verglichen. Während bei der Wassertemperatur sowie dem Salz- und Sauerstoffgehalt (Tabelle 6) 17 (Stat. 245) bis 35 (Stat. 284) relativ gleichmäßig über das Jahr verteilte Messungen zur Mittelbildung zur Verfügung standen, resultieren die Mittelwerte der anorganischen Nährstoffe (Tabellen 9 und 10) aus 16–19 Beprobungen.

## 5.1 Wassertemperatur

Die Verteilung der Wassertemperatur in den untersuchten Seegebieten der Ostsee ist in Abb. 10 und 14 dargestellt. Für die Analyse der Oberflächentemperaturen der Ostsee werden auch mittlere monatliche Verteilungen herangezogen, die aus Satellitendaten berechnet wurden (Abb. 11–13). Durch den synoptischen Charakter der Satellitendaten und die hohe Datenrate lassen sich statistisch gesicherte Mittel für die meisten Monate und Gebiete ableiten. Damit kann die zeitliche und räumliche Entwicklung der Oberflächentemperaturen für die gesamte Ostsee dargestellt werden (vgl. auch SIEGEL et al., 1999).

### 5.1.1 Jahrgang der Oberflächentemperatur

Der Jahrgang der Temperaturen im Oberflächenwasser wies im Jahre 1999 eine positive Abweichung gegenüber dem langjährigen mittleren Verlauf auf (LENZ, 1971; MATTHÄUS, 1977). Infolge des milden Winters gingen die Temperaturen in der Beltsee, im Arkona- und Bornholmbecken nur auf 2–3 °C zurück. Auch im östlichen Gotlandbecken wurden nur minimale Werte von 2,5–3 °C und im westlichen Gotlandbecken von 2–2,5 °C erreicht (Abb. 10A). Das entspricht einer positiven Anomalie von etwa 1 K.

Während die Temperaturentwicklung im Oberflächenwasser im Frühjahr weitgehend normal verlief, erwärmte sich das Wasser ab Juli schnell und erreichte Anfang August Werte von 20–22 °C (Abb. 10B). Die Erwärmung erfasste die gesamte sommerliche Deckschicht der westlichen und zentralen Ostsee und führte bis in ca. 20 m Tiefe zu Temperaturen >15 °C (Abb. 14). Das entspricht positiven Anomalien von 3–4 K, wenn man die langjährigen von MATTHÄUS (1977) berechneten Mittelwerte zugrunde legt. Da der September relativ windschwach (vgl. Abb. 2 und 3), überdurchschnittlich warm (vgl. Tabelle 2 und Abb. 4C) und sonnenscheinreich war (vgl. Tabelle 2), gingen die Oberflächentemperaturen nur langsam zurück und erreichten Ende September in einer 15 m mächtigen Deckschicht noch Werte bis 16 °C.

Die sommerlichen Temperaturen der Wasseroberfläche (SST) waren im Jahre 1999 insbesondere durch die warmen Monate Juni und September charakterisiert. In Abb. 11 und 12 sind die aus Satellitendaten berechneten monatlichen Mittelwerte für jeden Monat Juni (Abb. 11) und September (Abb. 12) der 90er Jahre gegenübergestellt. Im Juni 1999 lagen die mittleren SST über 12 °C in der zentralen und über 15 °C in der südlichen Ostsee und in den küstennahen Bereichen. Ähnliche Temperaturen wurden 1992 und 1990 erreicht. Im September 1999 lagen die Temperaturen im Mittel zwischen 17 und 18 °C in der zentralen Ostsee. Damit waren die SST im September 1999 die höchsten aller Monate September der 90er Jahre.

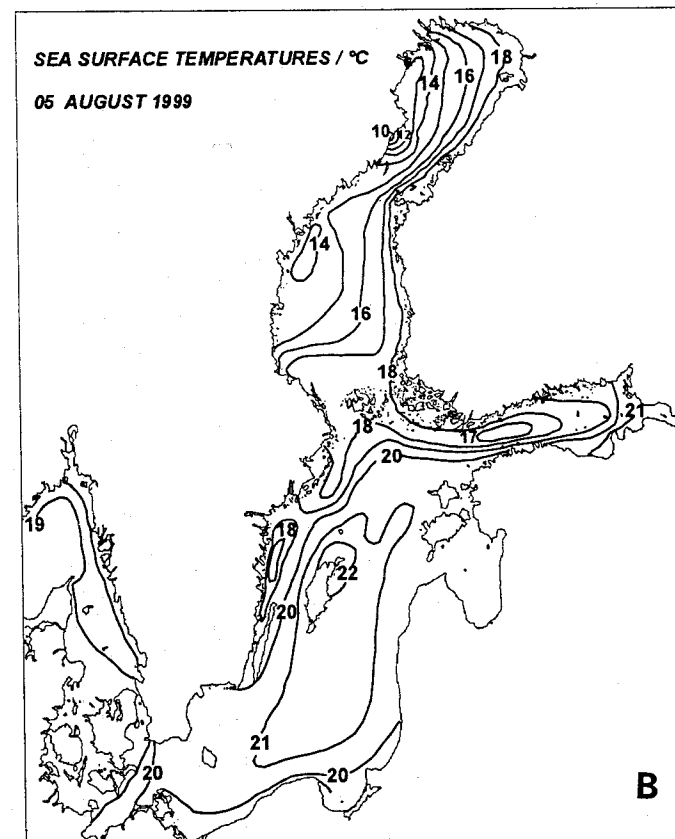
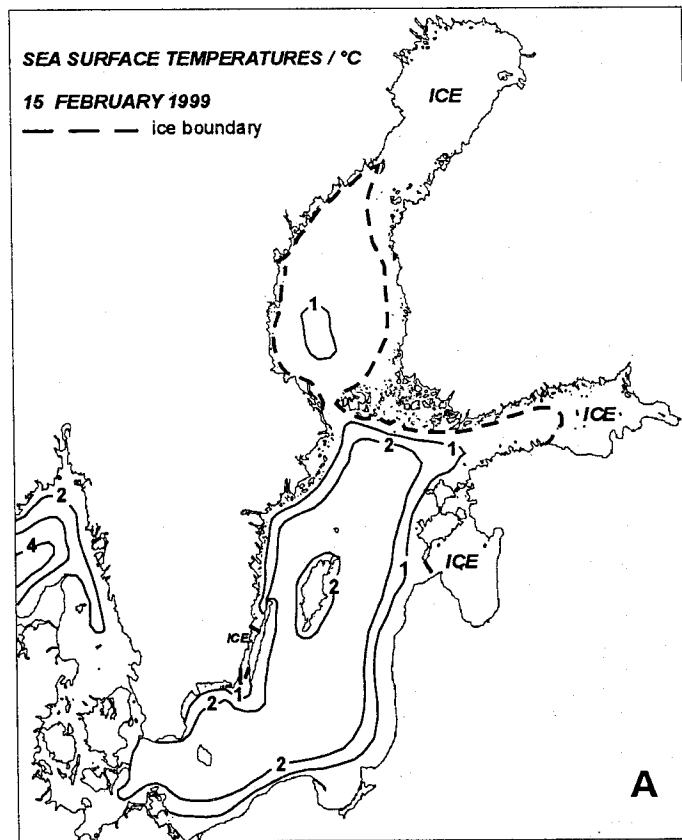


Abb. 10

Verteilung der Oberflächentemperatur der Ostsee zur Zeit der Minimal- (15. Februar; A) bzw. Maximalwerte (5. August; B) des Jahres 1999 (bearbeitet nach den Karten Nr. 13 und 60 des SMHI Norrköping,; SMHI, 1999a)

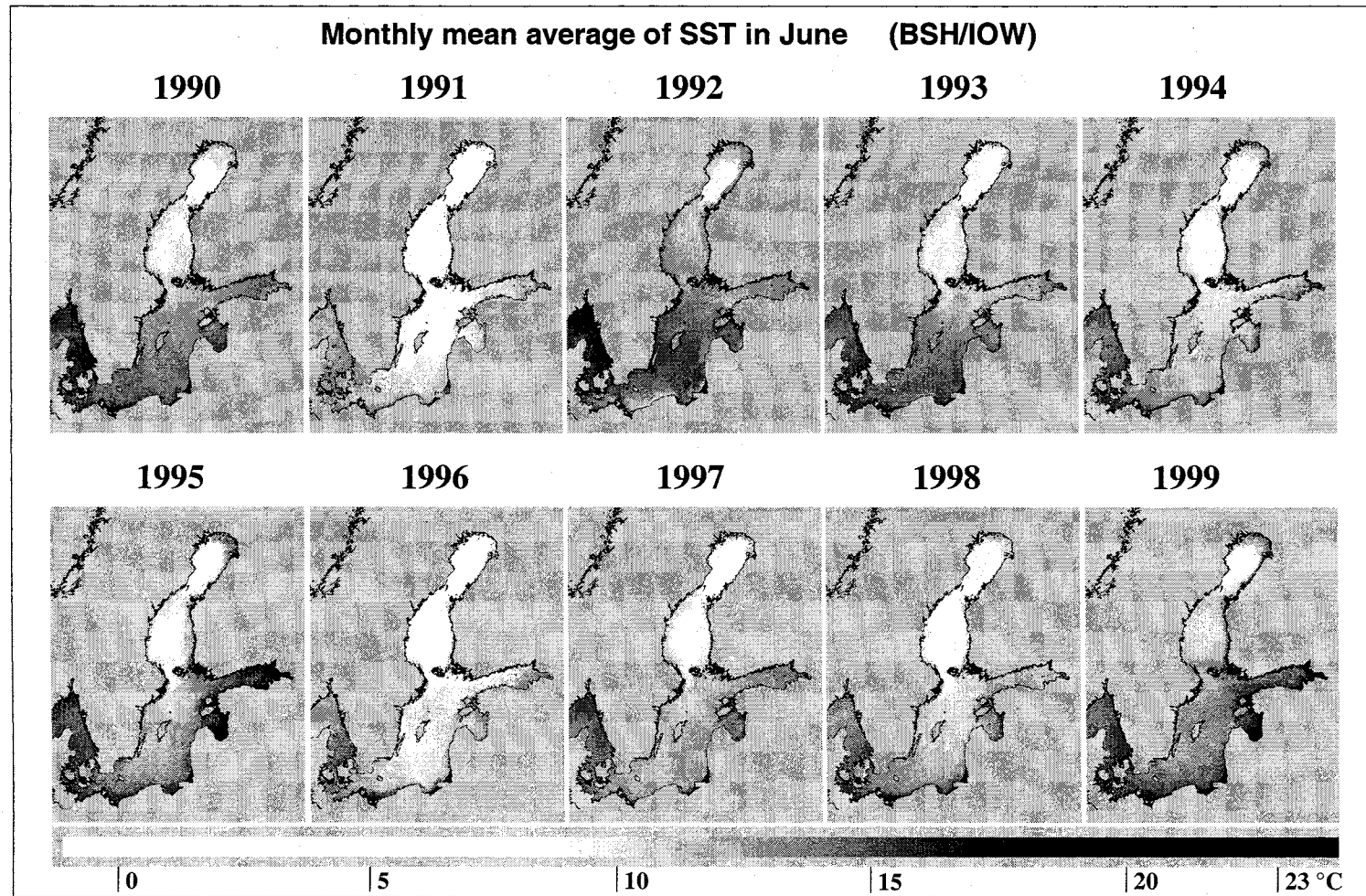


Abb. 11  
Mittlere Verteilung der Oberflächentemperaturen der Ostsee im Zeitraum 1990–1999 für den Monat Juni,  
ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten



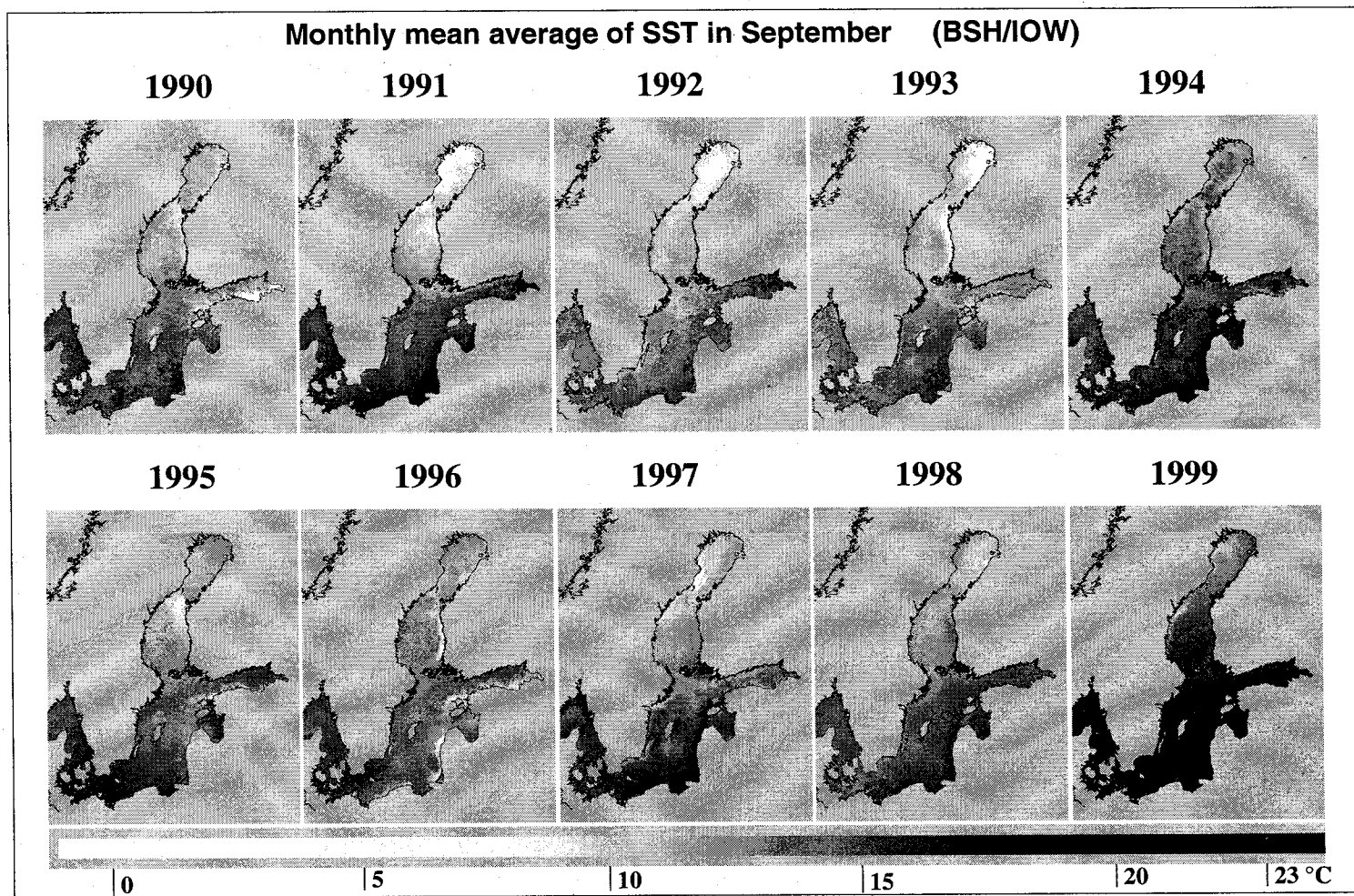


Abb. 12  
Mittlere Verteilung der Oberflächentemperaturen der Ostsee im Zeitraum 1990–1999 für den Monat September, ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten

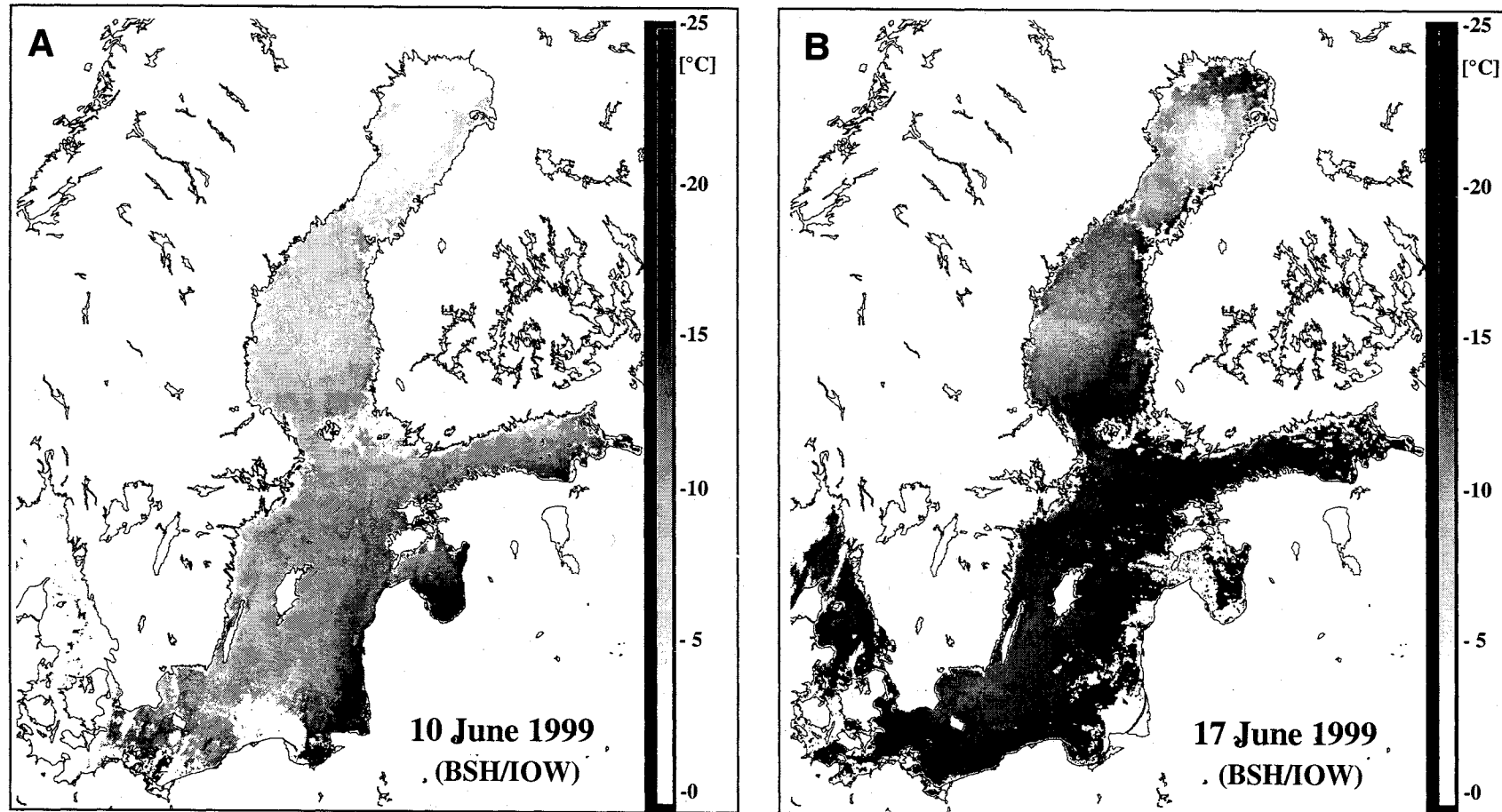


Abb. 13  
Erwärmung des Oberflächenwassers der Ostsee im Juni 1999, dargestellt anhand der Wettersatellitendaten vom 10. (A) und 17. Juni (B)

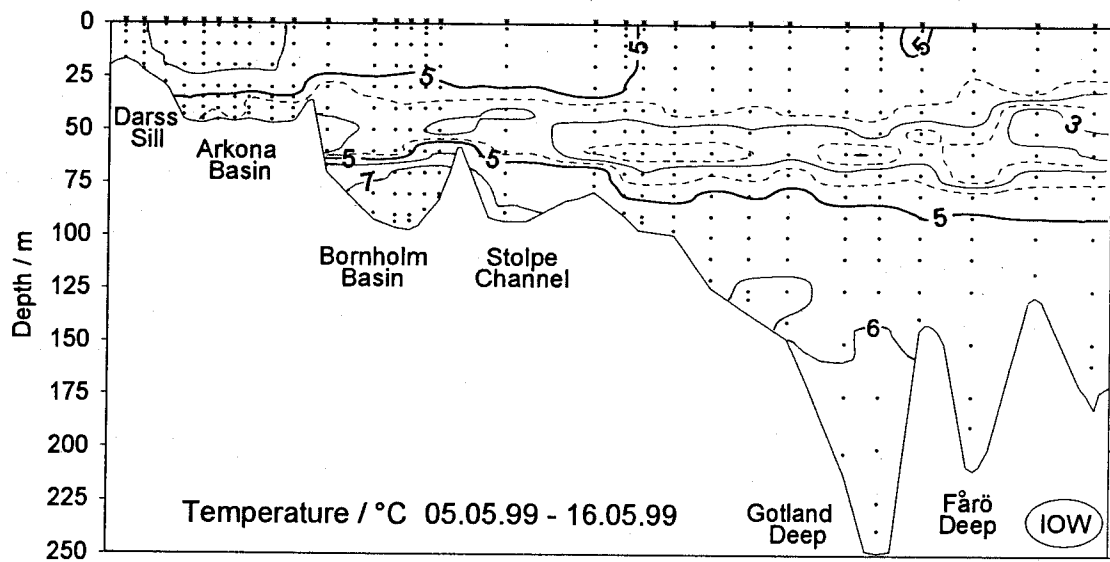
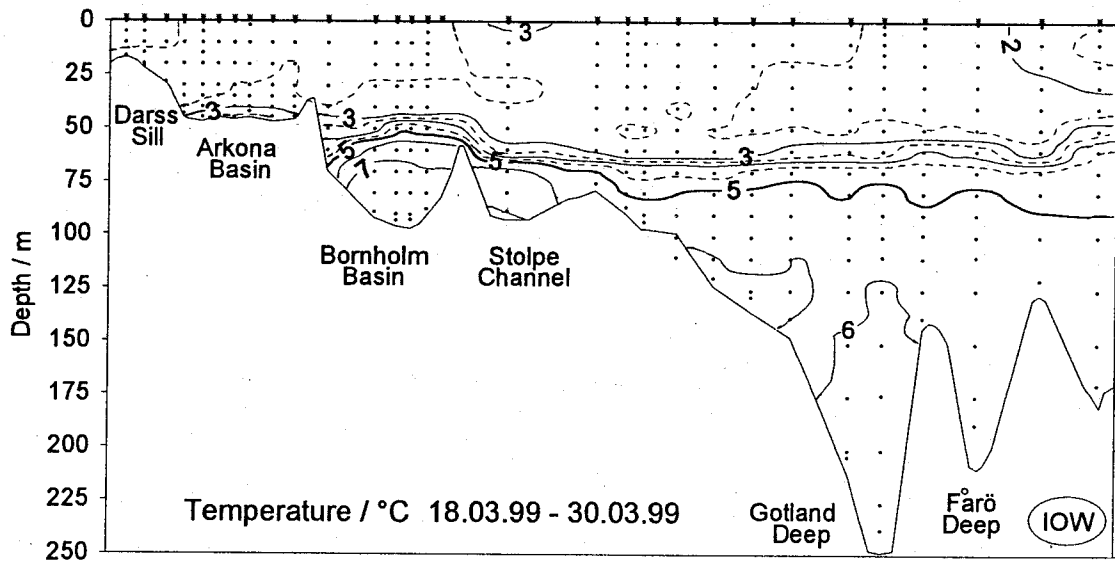
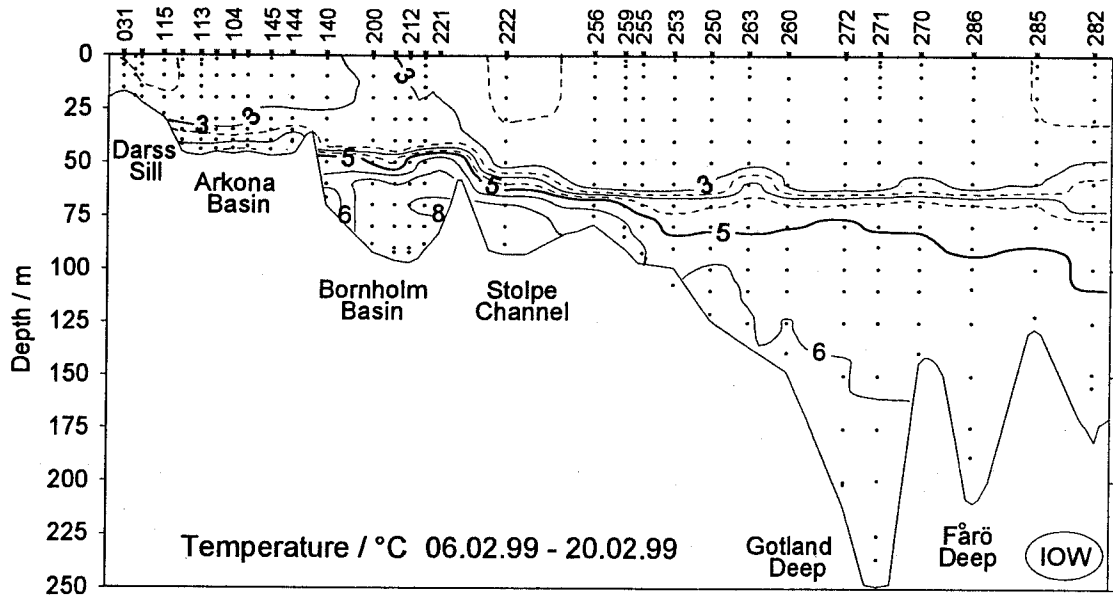
Während im Juni 1999 der Bottnische Meerbusen von der starken Erwärmung ausgeschlossen war, traten im September auch dort die höchsten Temperaturen auf. Dominierende östliche Winde über der südlichen Ostsee (vgl. Abb. 2B) sowie südliche bis westliche Winde über Nordskandinavien induzierten Kaltwasserauftrieb an der polnischen und deutschen Küste bzw. an der Westküste des Bottnischen Meerbusens, der auch im Monatsmittel der SST sichtbar war (Abb. 12; 1999). Die in den Abb. 11 und 12 dargestellten zwischenjährlichen Unterschiede in der SST spiegeln sich in der Wärmesumme der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde wider (vgl. Tabelle 3).

Die hohen Wassertemperaturen im Juni und September wurden durch länger anhaltende Hochdrucklagen über Mitteleuropa hervorgerufen (vgl. Abb. 4B), die durch schwache Winde charakterisiert waren (Monatsmittel Arkona: 5,2 bzw. 5,7 m/s; vgl. auch Abb. 2A). An der Messplattform "Darßer Schwelle" wurden vom 9.–17. Juni Luftdruckwerte um 1020 hPa gemessen (vgl. Abb. 4B). Der kontinuierlich gemessene Wind flaute in diesem Zeitraum von ca. 10 m/s auf Geschwindigkeiten unter 5 m/s ab. Dadurch erwärmte sich das Oberflächenwasser an der Darßer Schwelle von 10 °C am 12. Juni auf 14–16 °C ab 14. Juni 1999 (vgl. Abb. 6A). Diese Änderungen konnten anhand von Satellitendaten auch für die gesamte Ostsee belegt werden. Lagen die SST am 10. Juni noch um 10–12 °C, stiegen sie bis zum 14. Juni auf 14–16 °C und am 17. Juni auf 15–18 °C. In Abb. 13 sind je ein Beispiel vom 10. und 17. Juni gegenübergestellt. Durch die dominierenden Westwinde entstand Auftrieb kalten Wassers an der schwedischen Südküste. Die starke Temperaturerhöhung verbunden mit den schwachen Winden haben bereits früh zur Entwicklung von Cyanobakterien geführt, deren erste stärkere Oberflächenakkumulationen in Satellitendaten der Wasserfarbe (SeaWiFS) am 16. Juni 1999 beobachtet wurden (vgl. WASMUND et al., 2000a).

Im September 1999 war der Luftdruck an der Darßer Schwelle durchgängig über 1000 hPa, im Maximum bis 1030 hPa. In der windschwachen Periode bis 10. September mit Geschwindigkeiten um 5 m/s lag die SST in der eigentlichen Ostsee bis zu den Åland Inseln bei 18 °C. Danach bewirkten östliche Winde bis 10 m/s Auftriebsprozesse an der deutschen und polnischen Küste. Teilweise war auch die Darßer Schwelle beeinflusst, wodurch das Oberflächenwasser vom 14.–18. September auf Temperaturen zwischen 10 und 11 °C abgekühlt wurde (vgl. Abb. 6A). Ähnliche Werte waren auch in der SST vorhanden. Erst nach dem 20. September, als an der Darßer Schwelle Windgeschwindigkeiten zwischen 10 und 15 m/s gemessen wurden, hat sich das Oberflächenwasser der Ostsee insgesamt auf Werte von 16–17 °C abgekühlt. Diese Temperaturen waren für Ende September noch außergewöhnlich hoch.

### 5.1.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur

Die Auswirkungen des 1997/98 in die Ostsee eingedrungenen, sehr warmen Wassers (MATTHÄUS et al., 1999b) waren auch im Jahre 1999 noch zu beobachten. Im gesamten Tiefenwasser der zentralen Ostsee blieben die Temperaturen deutlich über den langjährigen Mittelwerten (vgl. Abb. 25). Darüber hinaus wurde durch das Einstromereignis Anfang Oktober



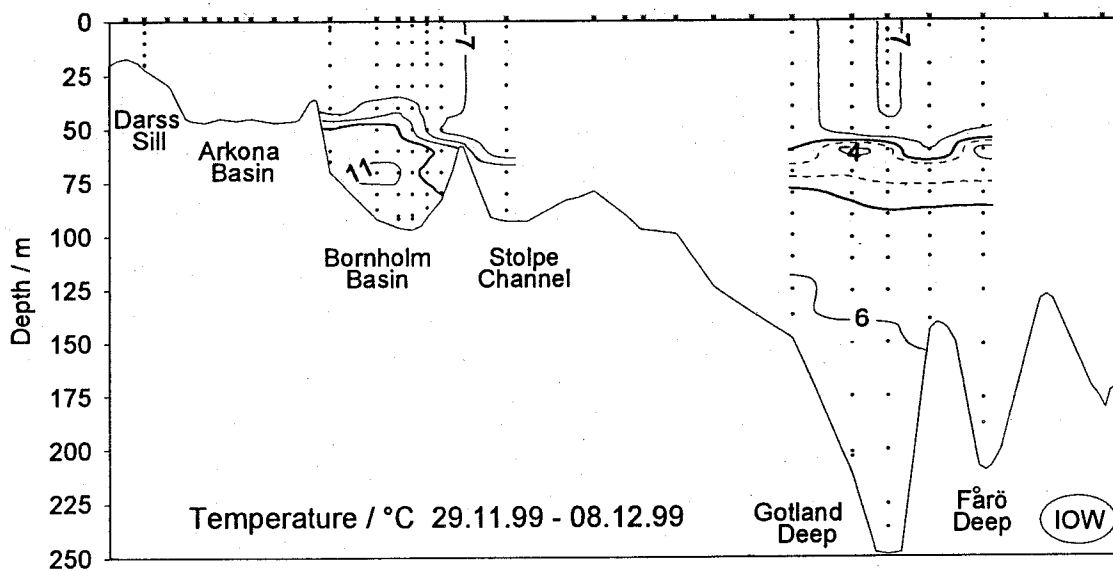
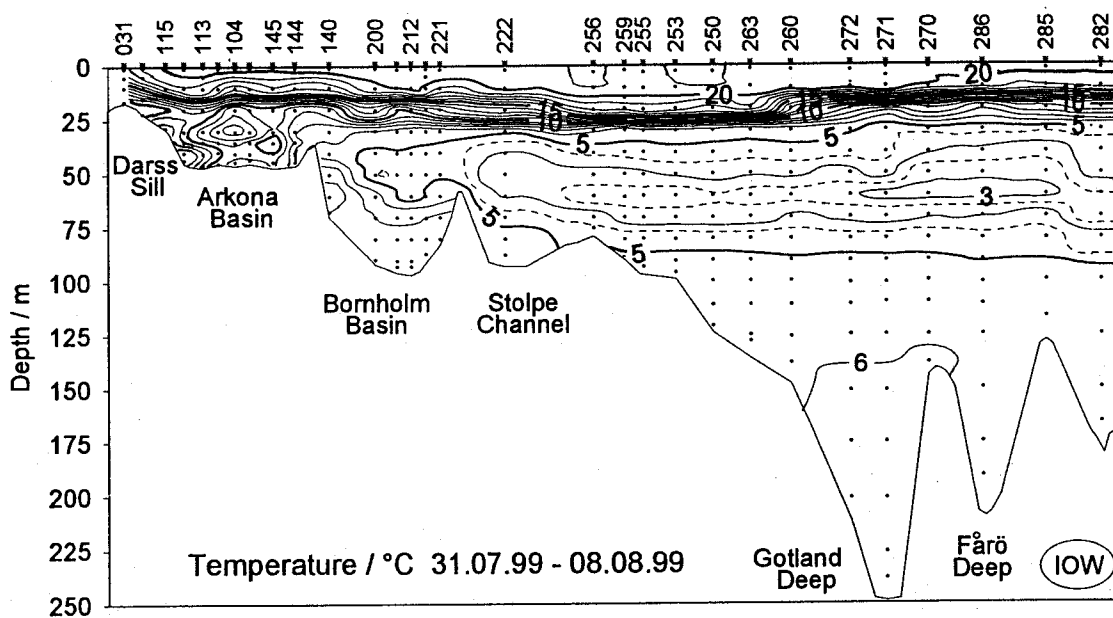


Abb. 14  
Vertikale Verteilung der Wassertemperatur zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken

(vgl. Abb. 6 und 8; SMHI, 1999b) das im September infolge der extremen meteorologischen Bedingungen überdurchschnittlich erwärmte Wasser aus dem Übergangsbereich über die Darßer und Drogden Schwelle bis ins Bornholmbecken transportiert. Ende November erreichten die Temperaturen im Tiefenwasser des Bornholmbeckens nochmals mehr als  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Abb. 14 und 25).

Im August 1999 wies die Kernschicht des kalten Zwischenwassers (50–70 m) in der zentralen Ostsee infolge des milden Winters Temperaturen von  $3\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf, was einer positiven Anomalie von etwa 1 K entspricht.

Insgesamt zeigten die Jahresmittel der Temperatur im Tiefenwasser des Bornholm- und Gotlandtiefs einen Rückgang um 0,5 bzw. 0,25 K gegenüber 1998 (Tabelle 6). Die Temperaturen lagen damit aber immer noch 1,7 bzw. 0,8 K über dem Mittel der Periode 1950–1998 (vgl. MATTHÄUS et al., 1999b). Im Tiefenwasser des Fårö-, Landsort- und Karlsötiefs stiegen die Jahresmittelwerte nochmals um 0,1 bis 0,3 K an. Auch hier lagen die Werte noch deutlich über den langjährigen Mittelwerten.

## 5.2 Salzgehalt

Die Salzgehaltsverteilungen für das Jahr 1999 sind in Abb. 15 zusammengestellt.

Im Jahre 1999 blieben die Einstromaktivitäten insgesamt nur gering (vgl. Kapitel 3), und es erfolgte kein Salzwassereintritt. Der Salzgehalt im Tiefenwasser des Bornholmbeckens ging im Laufe des Jahres um etwa 1 PSU zurück (vgl. Abb. 25) und erreichte im Oktober in Grundnähe Werte um 16 PSU. Die Auswirkungen der schwachen Einströme im Oktober, November und Anfang Dezember blieben daher im Wesentlichen auf das Bornholmbecken beschränkt und führten zu einem Anstieg im Salzgehalt um etwa 1,5 PSU und einer Verlagerung der 15 PSU Isohaline von etwa 80 m Tiefe im September auf rund 65 m Anfang Dezember (Abb. 15).

Der Salzgehalt im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens war im Jahre 1999 rückläufig (vgl. Abb. 25). Im westlichen Gotlandbecken ist seit 1994 ein nahezu kontinuierlicher Anstieg um etwa 3 PSU zu beobachten, der sich auch 1999 noch geringfügig fortsetzte (vgl. auch Tabelle 12).

Diese Entwicklung ist auch an den Jahresmittelwerten abzulesen (Tabelle 6). Der Trend im Grundnahen Wasser des Bornholmbeckens ist seit 1997 wieder rückläufig und der Jahresmittelwert liegt 1,9 PSU unter dem Mittel von 1993 (vgl. auch Tabelle 12). Auch im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens ist ein Rückgang gegenüber 1998 zu beobachten. Im westlichen Gotlandbecken ist dagegen noch ein geringfügiger Anstieg im Jahresmittelwert aufgetreten.

Der Salzgehalt im Oberflächenwasser des Bornholmbeckens ist im Jahresmittel 1999 nahezu unverändert niedrig und im östlichen Gotlandbecken nochmals um 0,15–0,2 PSU gegenüber 1998 zurückgegangen (Tabelle 7). Die Mittelwerte lagen damit noch 0,1–0,3 PSU unter den für das Jahr 1996 berechneten Werten (vgl. auch MATTHÄUS et al., 1996). Verglichen mit dem langjährigen Mittelwert 1961–1990 entspricht das negativen Abweichungen von 0,5–0,6 PSU. Im Oberflächenwasser des westlichen Gotlandbeckens gab es dagegen einen geringfügigen Anstieg im Jahresmittel um 0,1–0,2 PSU gegenüber 1998.

**Tabelle 6 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter hydrographischer Parameter im Tiefenwasser der zentralen Ostsee**

**Wassertemperatur (°C; Maximalwerte hervorgehoben)**

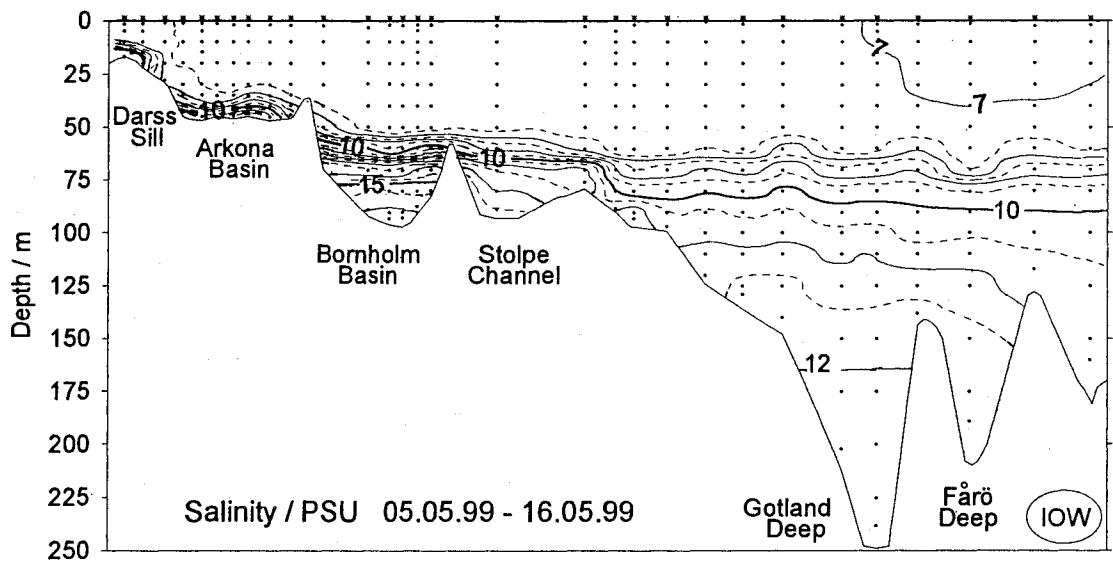
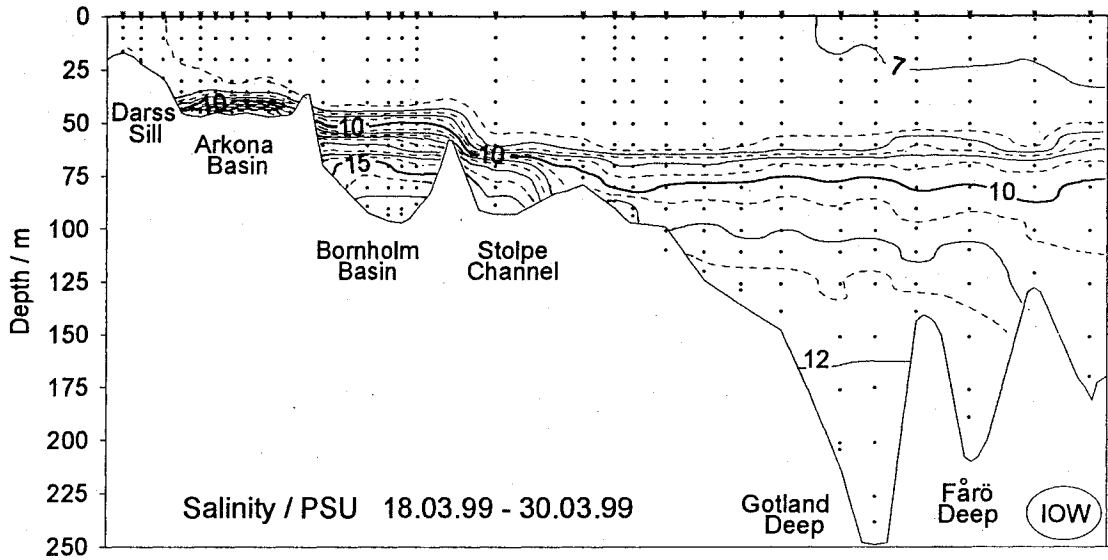
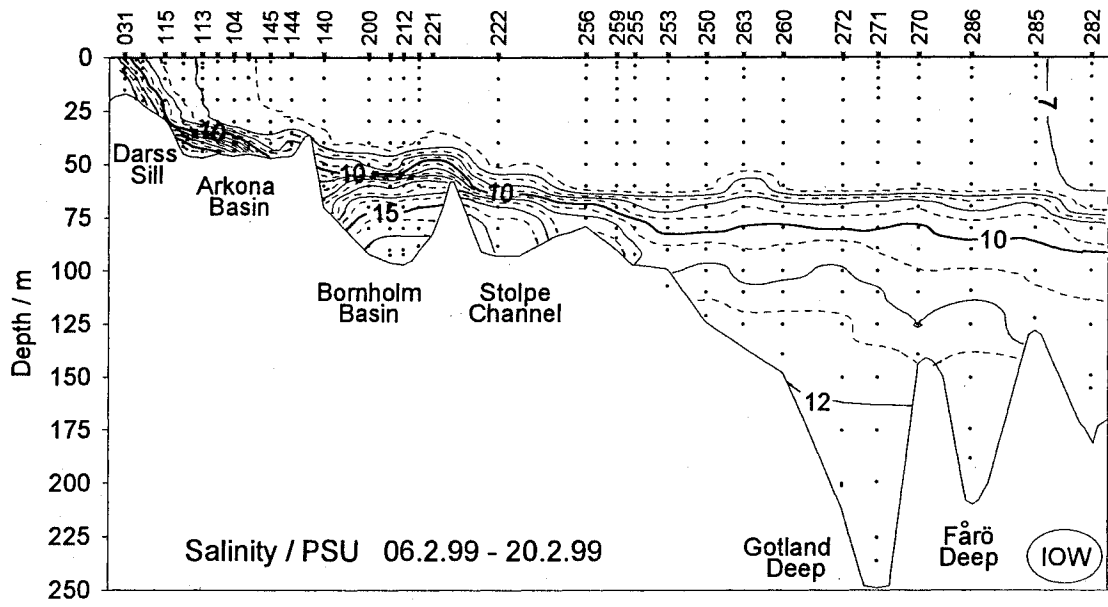
Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
213 (Bornholmtief)	80	5,85 ±0,56	5,95 ±0,94	7,32 ±1,91	<b>8,53 ±0,45</b>	8,04 ±1,13
271 (Gotlandtief)	200	4,43 ±0,13	4,64 ±0,07	5,17 ±0,06	<b>6,62 ±0,15</b>	6,38 ±0,06
286 (Fårötief)	150	4,72 ±0,04	4,79 ±0,03	4,84 ±0,20	5,66 ±0,32	<b>5,86 ±0,03</b>
284 (Landsorttief)	400	4,74 ±0,11	4,70 ±0,06	4,66 ±0,08	4,88 ±0,23	<b>5,17 ±0,14</b>
245 (Karlsötief)	100	4,39 ±0,15	4,45 ±0,07	4,35 ±0,08	4,33 ±0,05	<b>4,47 ±0,10</b>

**Salzgehalt (PSU; Maximalwerte hervorgehoben)**

Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
213 (Bornholmtief)	80	<b>16,61 ±0,31</b>	16,01 ±0,37	16,52 ±0,50	16,38 ±0,49	15,79 ±0,42
271 (Gotlandtief)	200	12,01 ±0,04	11,96 ±0,03	11,97 ±0,04	<b>12,32 ±0,07</b>	12,21 ±0,04
286 (Fårötief)	150	11,17 ±0,03	11,23 ±0,04	11,32 ±0,13	<b>11,62 ±0,09</b>	11,57 ±0,04
284 (Landsorttief)	400	9,94 ±0,16	10,09 ±0,11	10,22 ±0,11	10,50 ±0,16	<b>10,58 ±0,07</b>
245 (Karlsötief)	100	8,82 ±0,30	9,11 ±0,26	9,33 ±0,14	9,51 ±0,13	<b>9,57 ±0,17</b>

**Sauerstoffgehalt (cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>; Schwefelwasserstoff als negative Sauerstoffäquivalente; Minimalwerte hervorgehoben)**

Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
213 (Bornholmtief)	80	0,76 ±0,91	0,54 ±0,59	1,34 ±0,72	<b>-0,20 ±0,81</b>	0,29 ±1,23
271 (Gotlandtief)	200	1,26 ±0,43	0,20 ±0,24	-0,03 ±0,25	0,02 ±0,48	<b>-1,68 ±0,46</b>
286 (Fårötief)	150	0,70 ±0,26	0,16 ±0,39	0,14 ±0,39	-0,03 ±0,33	<b>-0,78 ±0,50</b>
284 (Landsorttief)	400	0,92 ±0,22	0,69 ±0,11	0,60 ±0,14	0,37 ±0,14	<b>0,15 ±0,22</b>
245 (Karlsötief)	100	1,72 ±0,68	1,09 ±0,46	0,66 ±0,34	0,43 ±0,22	<b>0,32 ±0,59</b>





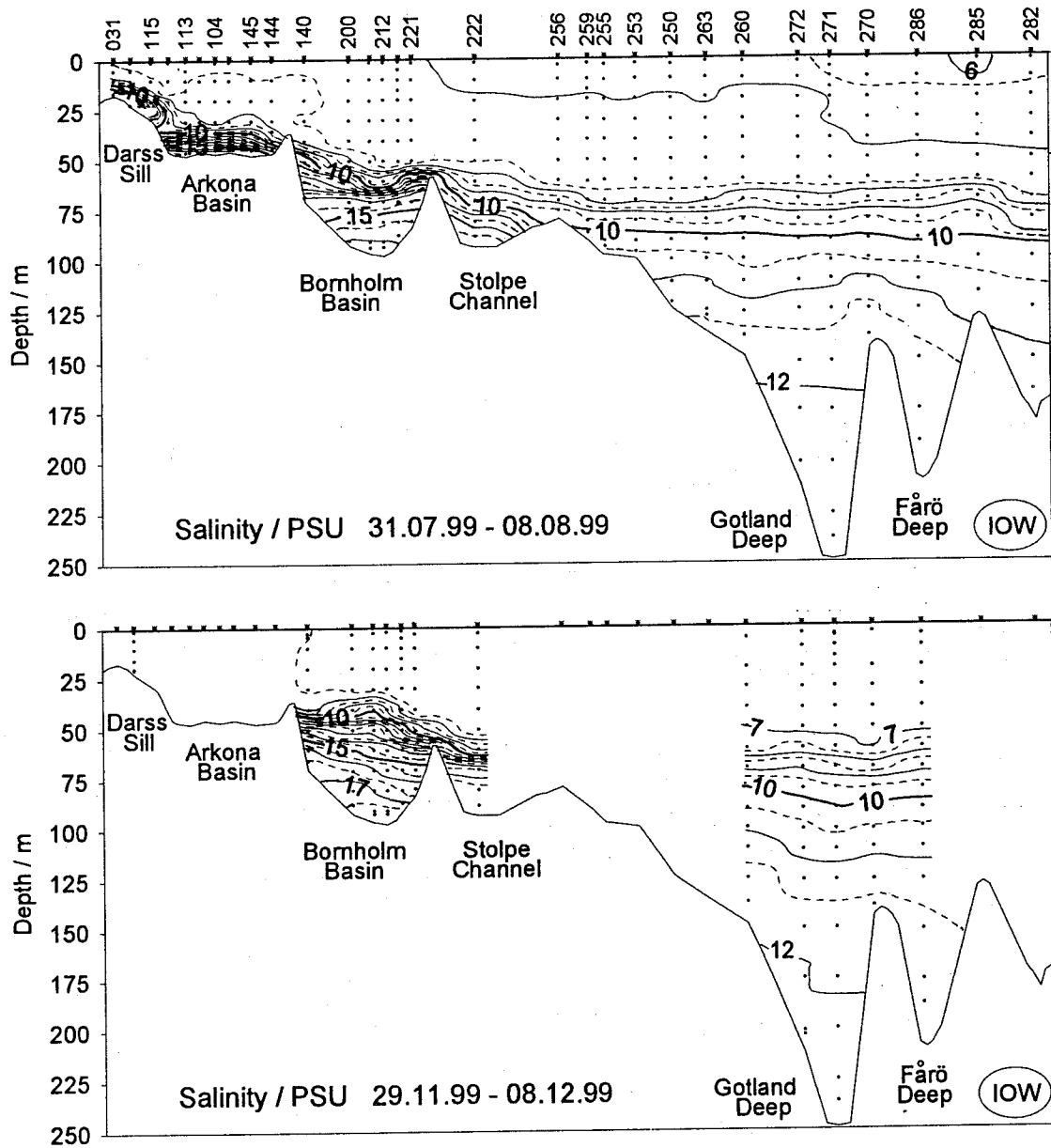


Abb. 15  
Vertikale Verteilung des Salzgehaltes zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken

**Tabelle 7** Jahresmittelwerte sowie Langzeitmittel ( $\bar{S}_0$ ) und Standardabweichungen des Salzgehalts (in PSU) im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee (Minimalwerte hervorgehoben)

Station	1995	1996	1997	1998	1999	$\bar{S}_0$ (1961-1990)
<b>213</b> (Bornholmtief)	7,50 ±0,21	7,28 ±0,21	7,45 ±0,09	<b>7,17 ±0,14</b>	7,20 ±0,18	7,72 ±0,25
<b>271</b> (Gotlandtief)	7,14 ±0,09	7,08 ±0,15	7,05 ±0,20	7,04 ±0,20	<b>6,81 ±0,23</b>	7,41 ±0,46
<b>286</b> (Fårötief)	6,82 ±0,20	6,74 ±0,24	6,90 ±0,13	6,79 ±0,35	<b>6,64 ±0,29</b>	7,15 ±0,31
<b>284</b> (Landsortief)	6,64 ±0,27	6,36 ±0,37	6,59 ±0,24	<b>6,30 ±0,41</b>	6,39 ±0,19	
<b>245</b> (Karlsötief)	6,94 ±0,17	6,68 ±0,24	6,89 ±0,22	<b>6,60 ±0,15</b>	6,78 ±0,10	

### 5.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Der Sauerstoffgehalt in der Oberflächenschicht wird durch die Jahrgänge der Temperatur, des Salzgehalts und die Entwicklung des Phytoplanktons sowie durch Zehrungsprozesse beim Abbau der organischen Substanz bestimmt. Er steht darüber hinaus im allgemeinen mit der Atmosphäre im Gleichgewicht. Zusätzlich spielen hydrodynamische Prozesse eine Rolle. In Abb. 16 ist die Vertikalverteilung des Sauerstoffs sowie das Auftreten von Schwefelwasserstoff zwischen Darßer Schwelle und dem nördlichen Gotlandbecken dargestellt. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff kommen nur kurzzeitig nebeneinander vor. Angaben über Halbwertszeiten schwanken zwischen 0,5 und 2 Stunden (MILLERO, 1986). Unter natürlichen Bedingungen kann daher das gleichzeitige Auftreten beider Gase praktisch ausgeschlossen werden.

Betrachtet man den Jahresgang des Sauerstoffs im Oberflächenwasser anhand der Sättigungswerte, wodurch der Einfluss der Temperatur und des Salzgehaltes auf die Löslichkeit eliminiert wird, zeigt sich im Winter ein Sauerstoffdefizit von etwa 4%, das durch Zehrungsprozesse verursacht wird und bereits im Herbst des Vorjahres einsetzt (MATTHÄUS et al., 1999a). Die räumlichen Unterschiede in der gesamten westlichen und zentralen Ostsee sind dabei sehr gering.

Da sich der Austausch mit der Atmosphäre relativ langsam vollzieht, kommt es im Frühjahr mit der Erwärmung des Wassers und der Massenentwicklung des Phytoplanktons regelmäßig zu einer Übersättigung mit Sauerstoff. In dieser Jahreszeit treten größere regionale Unterschiede auf. Die Massenentwicklung des Phytoplanktons setzt in Abhängigkeit vom Jahresverlauf in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken bereits im März ein, im Bornholmbecken beginnt sie Ende März/Anfang April und im östlichen Gotlandbecken etwa einen Monat später (KAISER, SCHULZ, 1978; WASMUND et al., 1998, 1999). Die Phytoplanktonblüte kann sich äußerst rasch entwickeln, was durch die wiederholte Beprobung einiger Stationen belegt werden kann (Tabelle 8). Innerhalb von 8 bis 10 Tagen nimmt die Sauerstoffsättigung um rund 12% zu, während die Nährstoffkonzentrationen deutlich abnehmen.

**Tabelle 8** Veränderungen charakteristischer hydrochemischer Parameter während der Frühlingsblüte des Phytoplanktons

Station	Datum	Sauerstoffsättigung (%)	Phosphat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Nitrat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )
030 (Darßer Schwelle)	20.03.99	103,6	0,45	3,71
	30.03.99	116,4	0,30	0,10
113 (Arkonasee)	20.03.99	103,7	0,50	3,64
	30.03.99	115,4	0,31	0,63
213 (Bornholmtief)	22.03.99	102,9	0,61	2,98
	30.03.99	115,0	0,35	0,07

Auf Grund der Löslichkeitsbedingungen für Sauerstoff treten die niedrigsten Konzentrationen im Sommer auf, wenn die Wassertemperaturen ihr Maximum erreicht haben. Im August 1999 führte die warme Witterung zu einer starken Erwärmung einer nur wenige Meter mächtigen Deckschicht, in der wegen der guten Lichtversorgung eine intensive Produktion von Blaualgen stattfand und ebenfalls Sättigungswerte bis 120% gemessen wurden. Extreme Sättigungen von 140–160%, wie sie von NEHRING et al. (1995a, b) für 1994 beschrieben wurden, konnten 1999 nicht gefunden werden. Im unmittelbar unter der Deckschicht liegenden kälteren Wasser lag die Sättigung wegen stärkerer sauerstoffverbrauchender Prozesse nur um 90%.

Das intermediäre Sauerstoffmaximum im kalten Zwischenwassers, in dem die winterlichen thermischen Bedingungen konserviert sind, wurde im östlichen Gotlandbecken im August mit  $7,9\text{--}8,0\text{ cm}^3/\text{dm}^3$  in 40–50 m Wassertiefe gefunden und lag 10–20 m oberhalb des Temperaturminiums in 60 m Tiefe. Es wies damit kaum Anomalien zum langjährigen Mittel auf (NEHRING et al., 1990), was mit dem milden Winter zu erklären ist (vgl. Tabelle 1). Im Bornholmbecken befindet sich das kalte Zwischenwasser in 30–40 m Wassertiefe und weist eine Konzentration zwischen  $7,8$  und  $7,9\text{ cm}^3/\text{dm}^3$  auf.

Im Tiefenwasser der zentralen Ostsee verstärkte sich die gegenwärtige Stagnationsperiode (MATTHÄUS et al., 1999b), was sich auch in den niedrigsten Jahresmittelwerten der Sauerstoffkonzentration/Sauerstoffäquivalente im östlichen und westlichen Gotlandbecken widerspiegelt (Tabelle 6), die nach dem Salzwassereinbruch 1993/94 beobachtet wurden.

Lediglich das Bornholmbecken, das westlichste Tiefenbecken der Ostsee, in dem eine Erneuerung des Tiefenwassers episodisch aber relativ häufig erfolgt, war durch variierende Sauerstoffverhältnisse im bodennahen Bereich gekennzeichnet. Schwache Einströme salzreicheren Wassers im Oktober und Dezember 1998 verbunden mit einem gleichzeitig durch den Sund erfolgten Einstrom führten wie in den Vorjahren zu einer Belüftung des Bornholmbeckens im Frühjahr 1999. Danach kam es wieder zu einem Rückgang der Sauerstoffkonzentration und ab Anfang Juli zum erneuten Auftreten von Schwefelwasserstoff. Einstromereignisse zwischen Oktober und Dezember 1999 führten dann wiederum zu recht hohen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser.

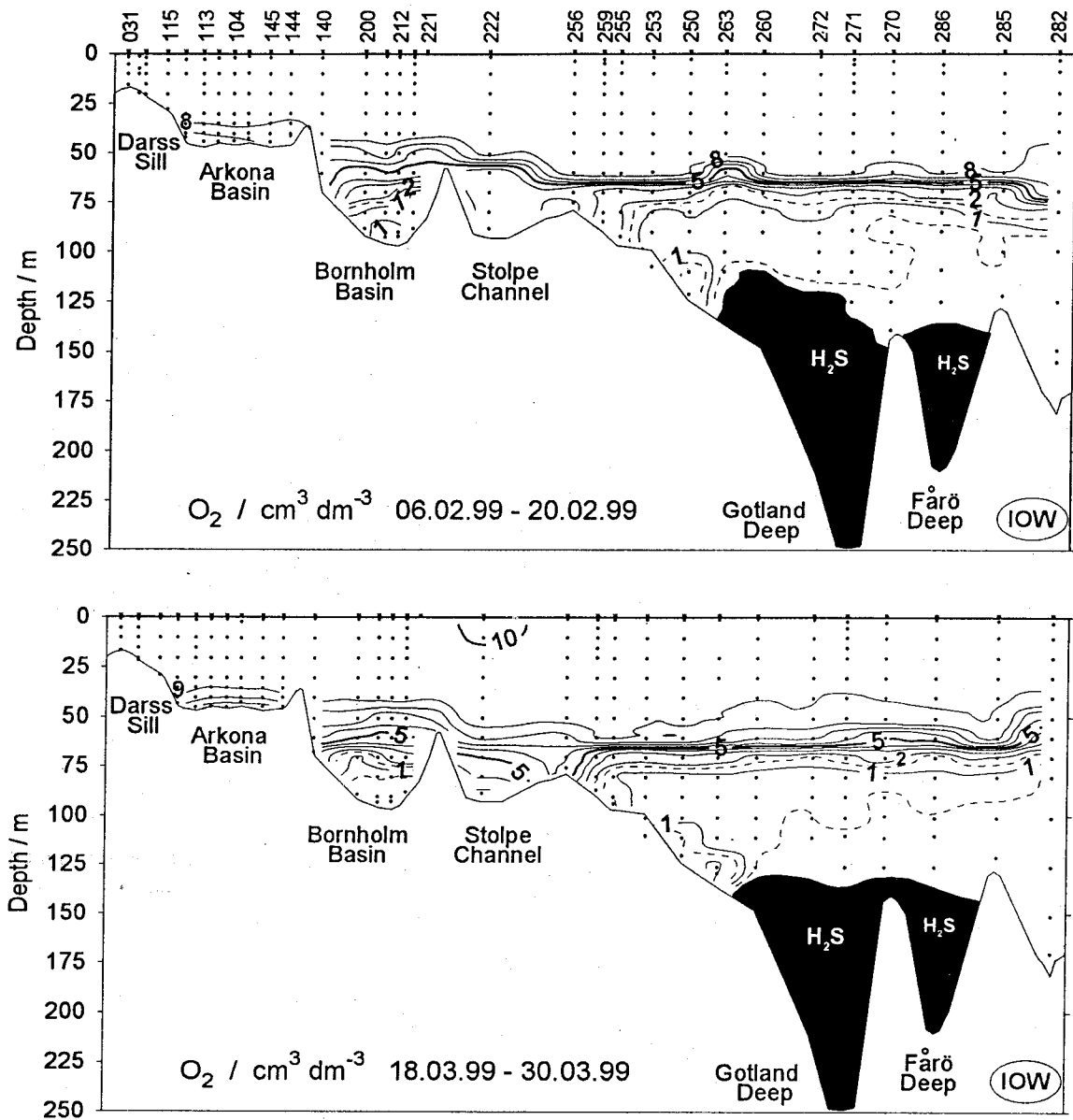
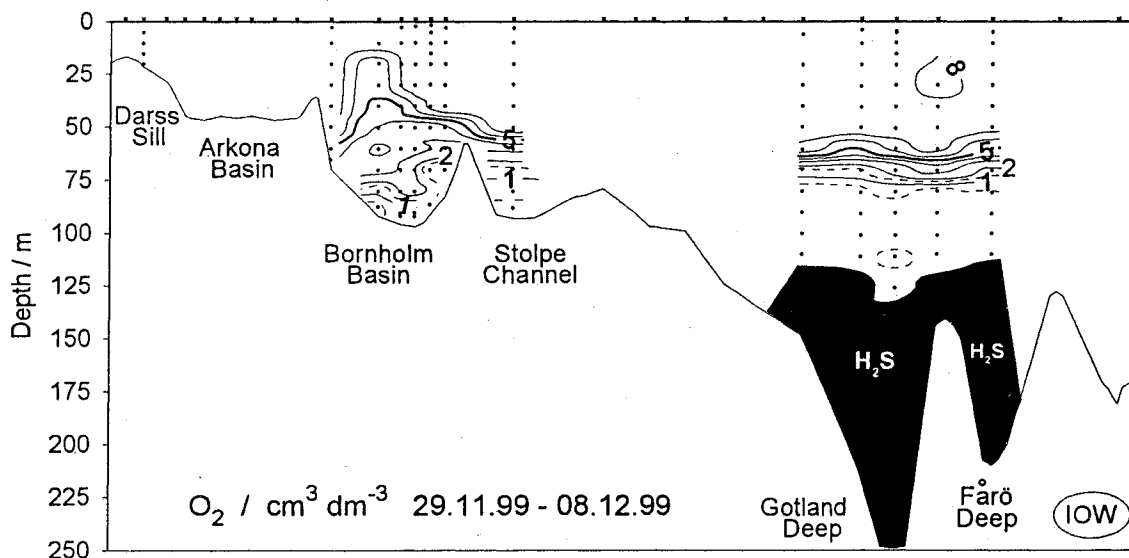
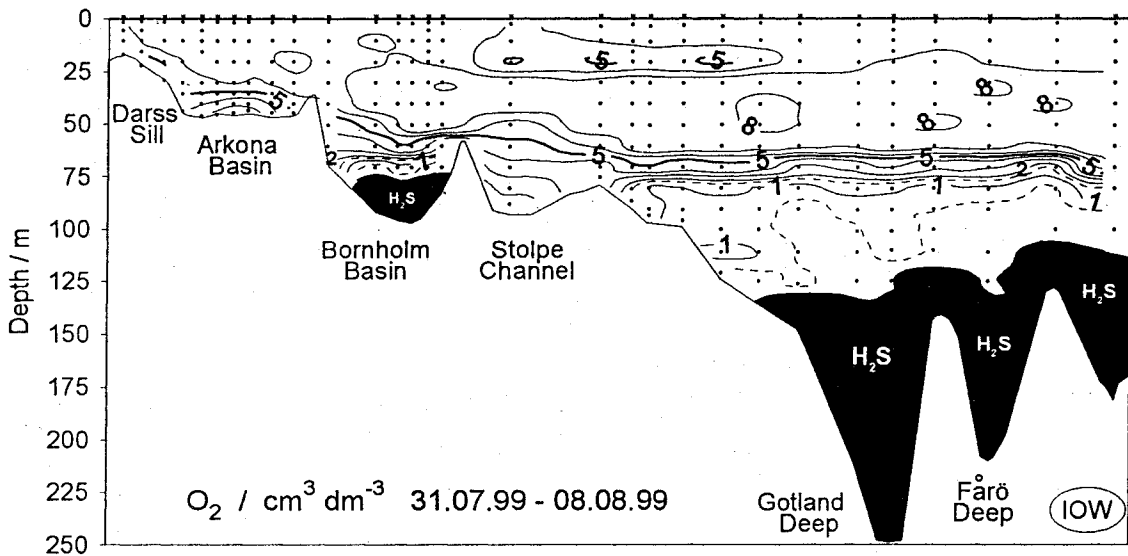
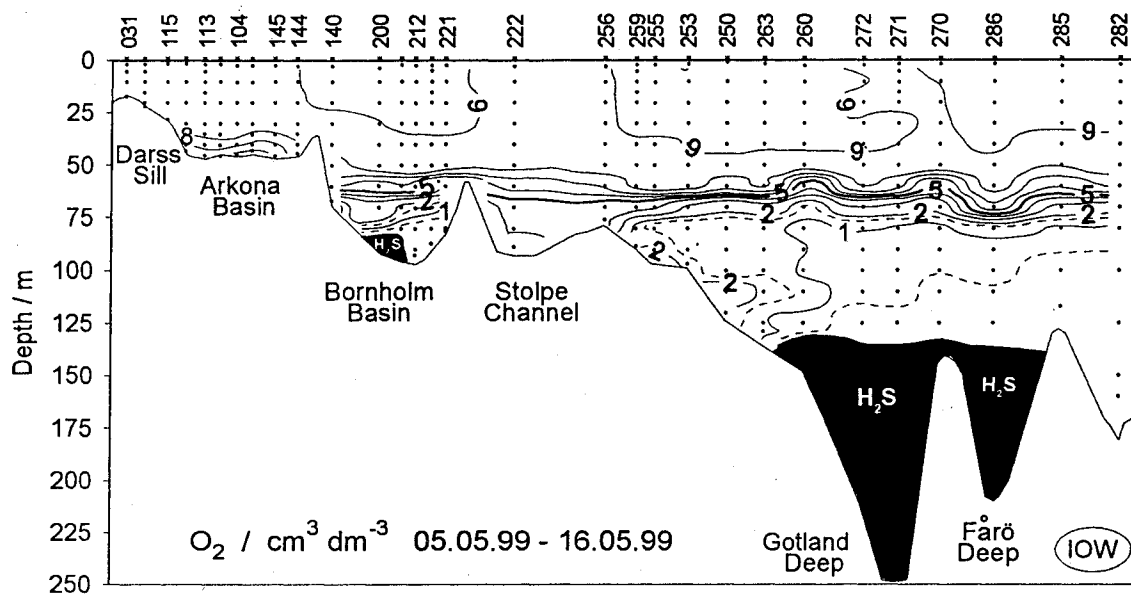


Abb. 16  
Vertikale Verteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens weiteten sich die schwefelwasserstoffhaltigen Bereiche weiter aus. Im 200 m Horizont wurden zu Beginn des Jahres Sauerstoffäquivalente von  $-1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  gemessen, im Dezember lagen die Werte bereits bei rund  $-2,9 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ . Auch die vertikale Ausdehnung der schwefelwasserstoffhaltigen Schicht nahm zu. Die Redoxkline lag im Januar 2000 im Gotlandtief oberhalb 125 m, im Fårötief sogar oberhalb 110 m.

Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens kam es seit 1993 zu einem kontinuierlichen Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen (vgl. Abb. 25), wie er für die erste Phase einer Stagnationsperiode charakteristisch ist (MATTHÄUS, 1995). In der 2. Jahreshälfte 1999 kam es zur Bildung von Schwefelwasserstoff (Abb. 17; vgl. auch Abb. 1 und 25). Im August wurden im

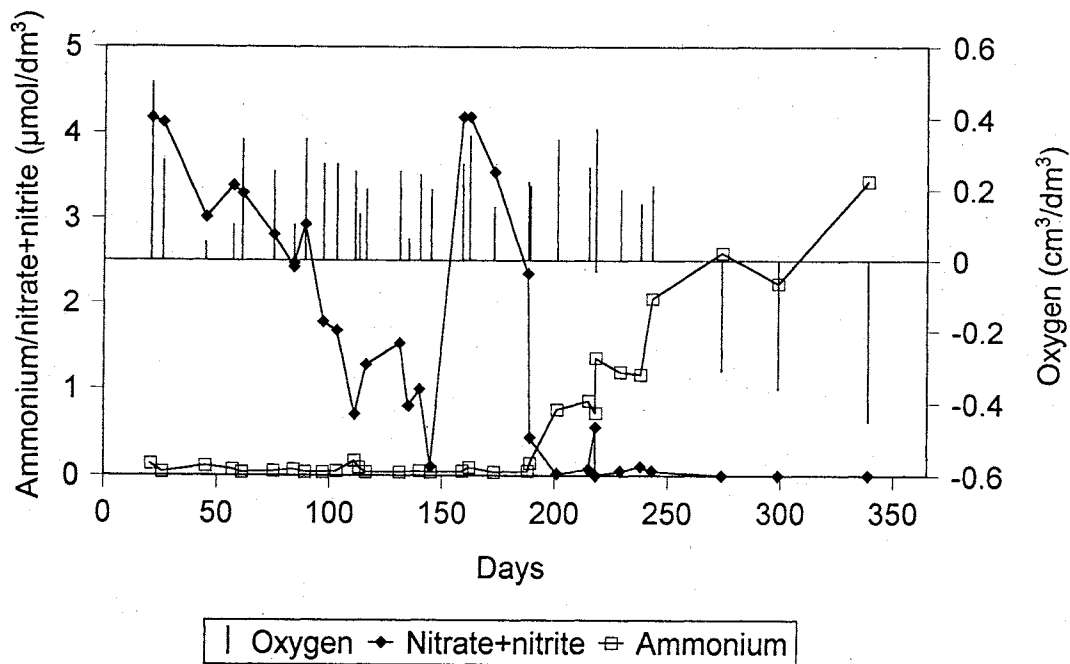


Abb. 17

Veränderungen in den Ammonium- sowie Nitrat+Nitrit-Konzentrationen im 400 m Horizont des Landsortiefs (Stat. 284) im Jahre 1999 beim Übergang von oxischen zu anoxischen Bedingungen (nach Daten des IOW und SMHI)

Landsortief zwischen 125 m und Boden Sauerstoffäquivalente zwischen  $-0,07$  und  $-0,14 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  gemessen. Auch das Karlsötief wies ab Mitte des Jahres ab 100 m Tiefe anoxische Bedingungen auf.

Im Jahre 1999 erreichte der durch Sauerstoffmangel bzw. anoxische Bedingungen gekennzeichnete Bereich des Tiefenwassers der zentralen Ostsee seine größte Ausdehnung seit 15 Jahren (vgl. auch Abb. 26).

## 5.4 Anorganische Nährstoffe

Phosphat und Nitrat sind die Endprodukte der biochemischen Mineralisation von organischer Substanz unter oxidischen Bedingungen. Sie sind damit die wichtigsten Nährstoffe, zu denen daneben noch Nitrit als intermediäres Übergangsprodukt und Ammonium als Endprodukt der Stickstoffmineralisation unter anoxischen Bedingungen gehören. Auch das für die Primärproduktion der Diatomeen notwendige Silikat wird zu den Nährstoffen gezählt.

Die 1999 beobachteten Vertikalverteilungen für Phosphat und Nitrat sind in den Abb. 18 und 19 dargestellt. In der Oberflächenschicht zeigt sich die für die gemäßigten Breiten typische Saisonalität, die durch die Dominanz abbauender Prozesse und Lichtlimitation in der strahlungsarmen Jahreszeit gekennzeichnet ist. Im Frühjahr und Sommer kommt es durch die Primärproduktion zu einem Rückgang der Nährstoffkonzentrationen bis an die Nachweisgrenze der äußerst empfindlichen Methoden. Auf Grund des für die Ostsee typischen geringen Redfield-Verhältnisses (REDFIELD et al., 1963) im Winter kommt es dabei im Frühjahr zu einer rascheren Verarmung an Nitrat, während Phosphat im Mai noch in messbaren Konzentrationen vorhanden ist (MATTHÄUS et al., 1999b).

Wegen der starken biologischen Beeinflussung der Nährstoffkonzentrationen in der produktiven Jahreszeit eignen sich nur die Wintermonate zur Erfassung von Langzeittrends (NEHRING, MATTHÄUS, 1991; NAUSCH, NEHRING, 1996). Es ist die Frage zu klären, ob die im Ostsee-Aktionsprogramm (HELCOM, 1993) initiierten Maßnahmen sowie der drastische Rückgang der Düngemittelapplikation im Einzugsgebiet (NEHRING et al., 1995c, 1996) zu einer Abnahme der Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlich durchmischten Deckschicht geführt haben.

In Tabelle 9 sind die winterlichen Oberflächenkonzentrationen für Phosphat, Nitrat und die Summe der anorganischen Stickstoffverbindungen für die zurückliegenden fünf Jahre zusammengefaßt. Für den Zeitraum 1995 – 1999 lassen sich keine eindeutigen Aussagen treffen. Sowohl für Phosphat als auch für Nitrat schwanken die Konzentrationen, wobei Minimalwerte in allen Jahren gefunden werden. Betrachtet man jedoch einen längeren Zeitraum, kann eine klare Entwicklung registriert werden. In Abb. 20 sind die Winterkonzentrationen für Phosphat und Nitrat in der ersten und zweiten Hälfte der 90er Jahre verglichen worden. Besonders in den küstennahen Bereichen der westlichen Ostsee ist ein eindeutiger Rückgang der Phosphatkonzentrationen (Abb. 20A) zu erkennen. Aber auch für die zentrale Ostsee ist dieser Rückgang deutlich sichtbar. Maßnahmen zur Reduktion des Nährstoffeintrages aus Punktquellen haben hier offenbar gegriffen. Wie die Daten in Tabelle 9 belegen, scheint sich jedoch bereits wieder ein Gleichgewichtsniveau gebildet zu haben, so dass ein weiterer Nährstoffrückgang zumindest fraglich erscheint.

Beim Nitrat dagegen sind diese Unterschiede nicht signifikant (Abb. 20B). Man kann in den 90er Jahren keinen Rückgang der Konzentrationen verzeichnen. Für die zentrale Ostsee kommt hier dem atmosphärischen Eintrag nach wie vor eine große Rolle zu, wenngleich für diesen Eintragspfad erste positive Tendenzen sichtbar werden (HELCOM, 1997). Auch der Stickstoffeintrag durch Blaualgen in den Sommermonaten ist nicht zu vernachlässigen (WASMUND et al., 2000b). In den Buchten der westlichen Ostsee ist der Eintrag stark an die Süßwasserfrachten der Flüsse gekoppelt (BACHOR, 1996; NAUSCH, SCHLUNGBAUM, 1995; PASTUSZAK et al., 1996; MEYER, LAMPE, 1999), da Nitrat zu einem überwiegenden Anteil aus diffusen Quellen stammt, der Eintrag also wesentlich schwieriger zu regulieren ist.

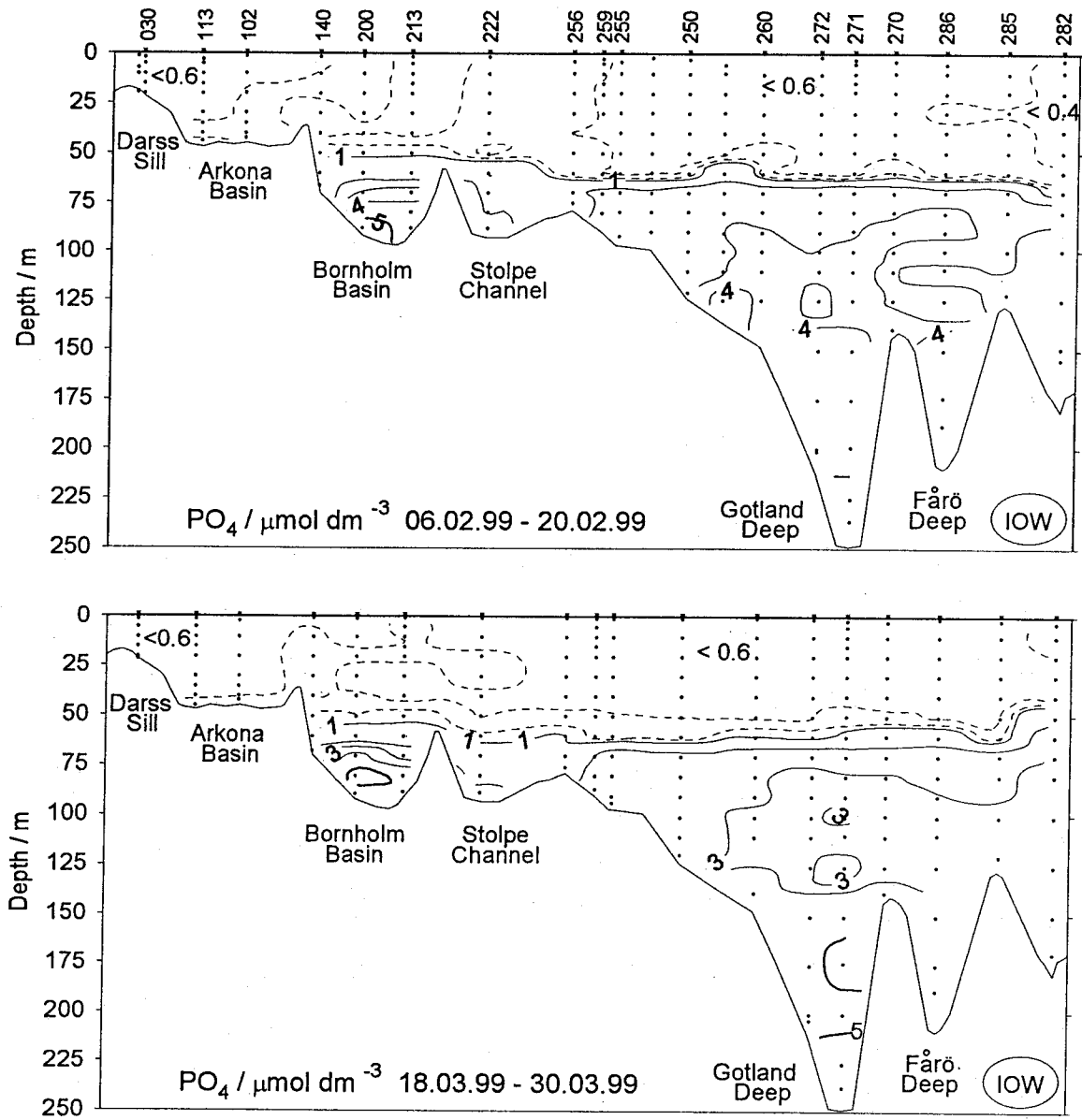
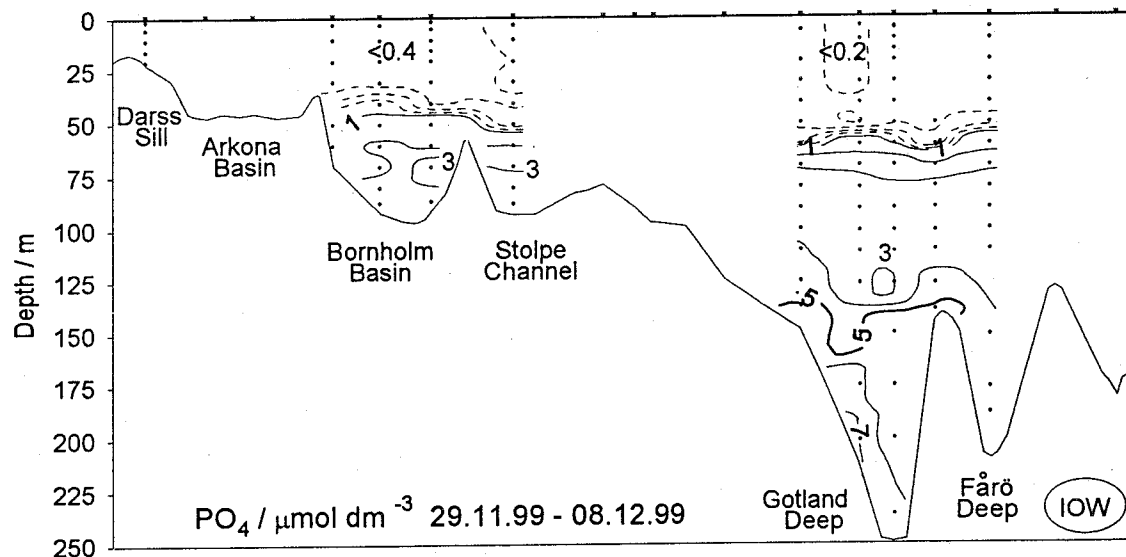
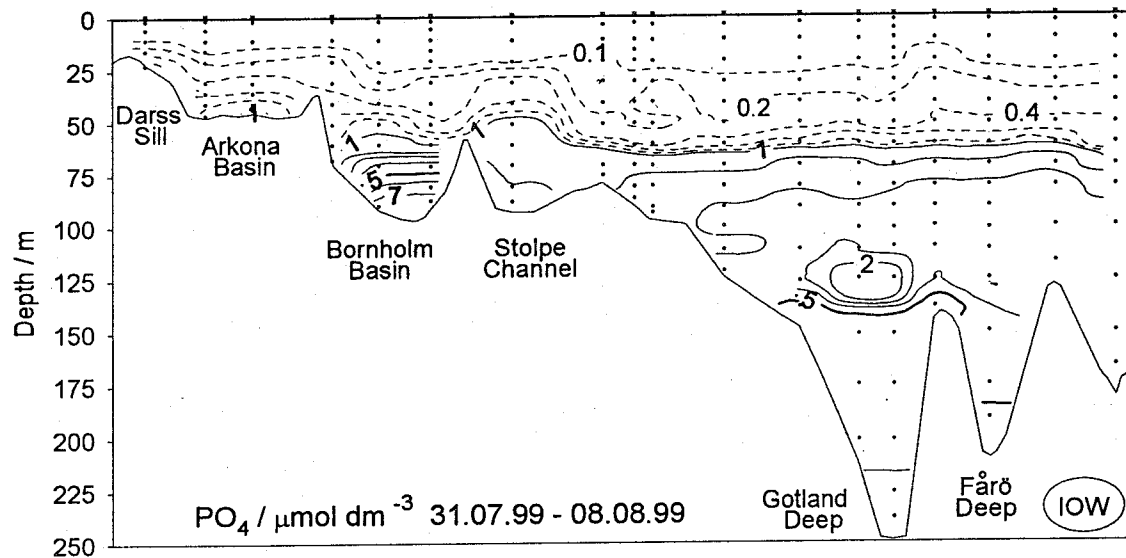
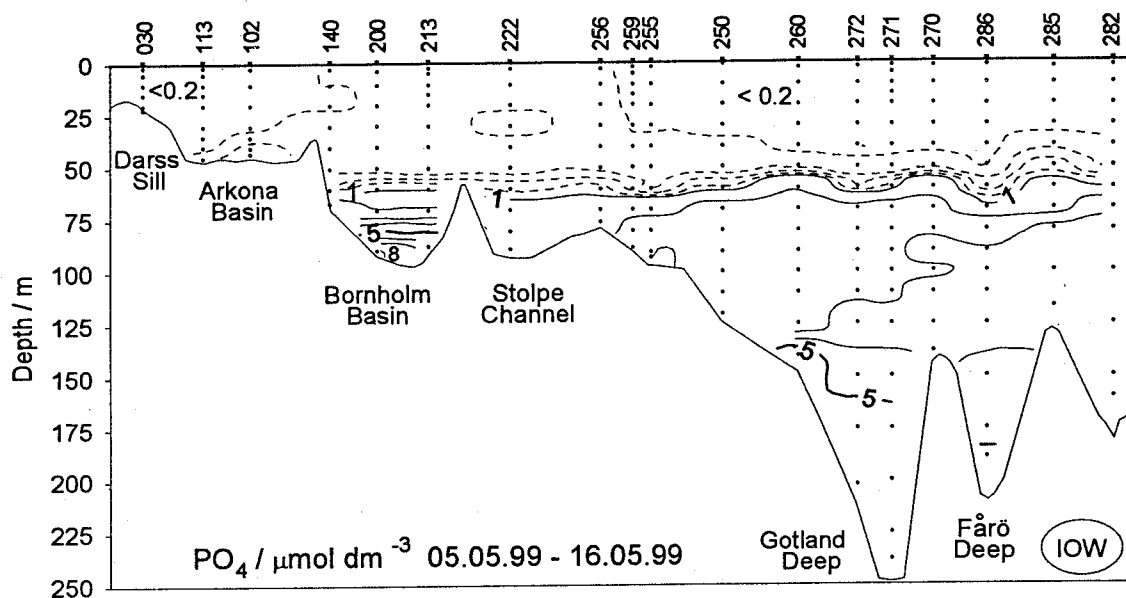


Abb. 18  
Vertikale Verteilung des Phosphatgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken





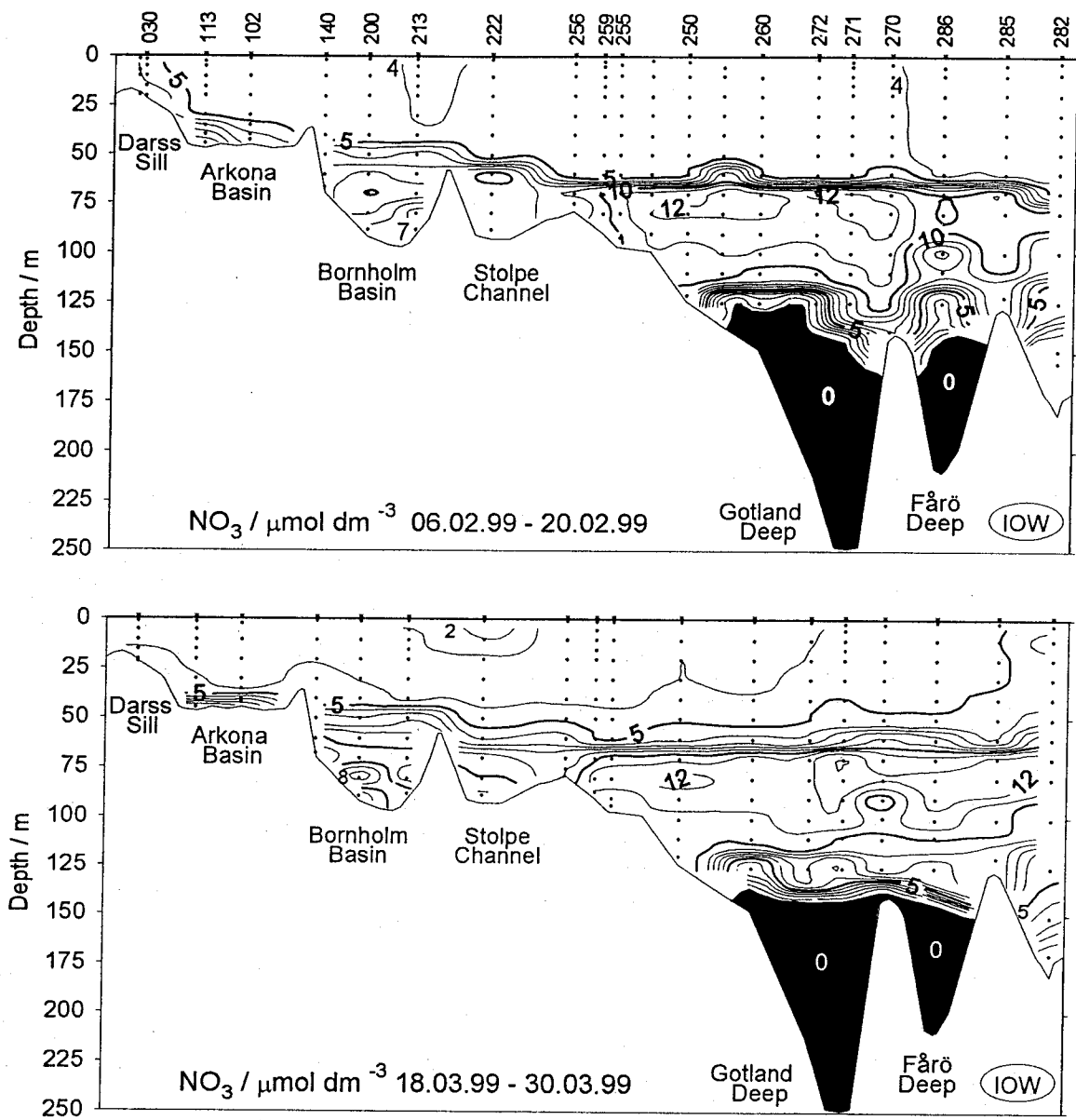
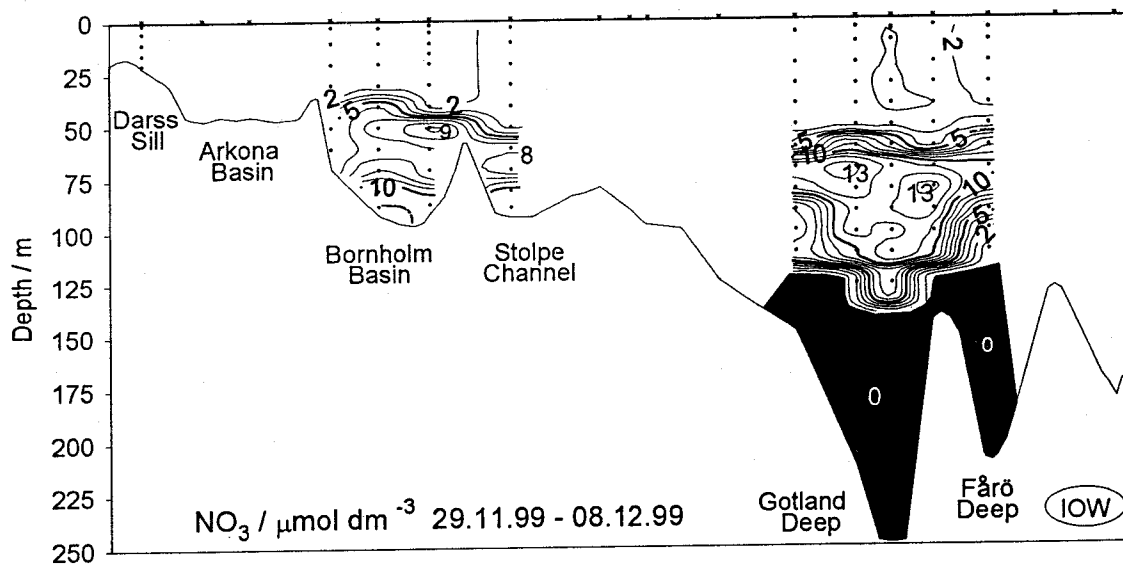
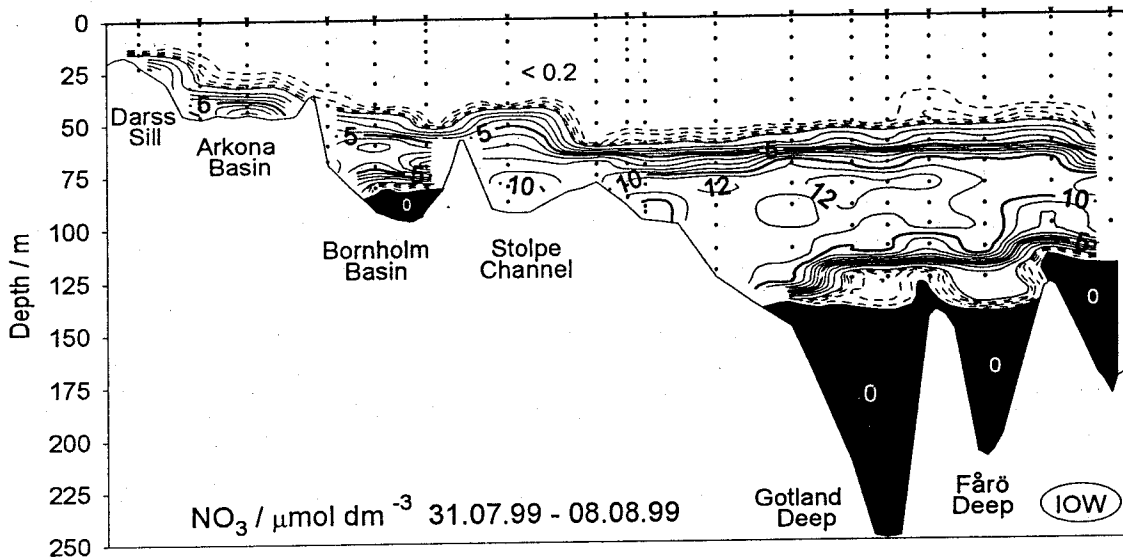
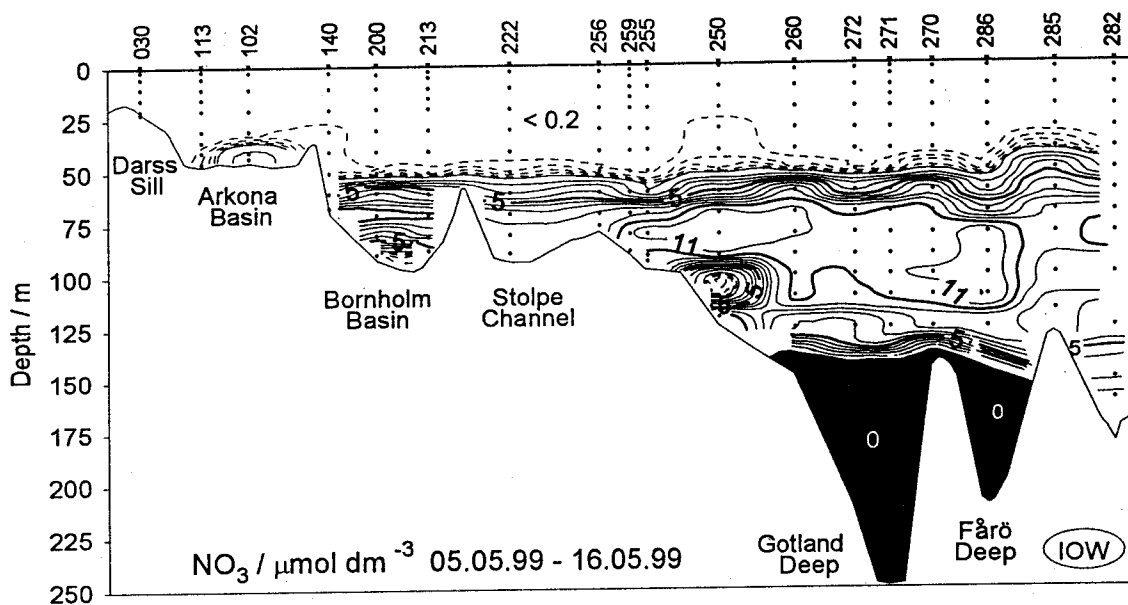


Abb. 19  
Vertikale Verteilung des Nitratgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



**Tabelle 9 Gemittelte Nährstoffkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht (0–10 m Tiefe) der westlichen und zentralen Ostsee (Minimalwerte hervorgehoben)**

Phosphat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )						
Station	Monat	1995	1996	1997	1998	1999
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	0,84 $\pm$ 0,02	–	<b>0,60 <math>\pm</math> 0,03</b>	0,64 $\pm$ 0,01	0,63 $\pm$ 0,01
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	0,68 $\pm$ 0,02	0,59 $\pm$ 0,01	<b>0,56 <math>\pm</math> 0,01</b>	0,66 $\pm$ 0,01	0,61 $\pm$ 0,02
<b>162</b> (Pommersche Bucht)	Feb.	0,78 $\pm$ 0,03	–	0,74 $\pm$ 0,01	0,66 $\pm$ 0,01	<b>0,64 <math>\pm</math> 0,01</b>
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	0,46 $\pm$ 0,01	0,51 $\pm$ 0,03	<b>0,38 <math>\pm</math> 0,01</b>	0,40 $\pm$ 0,0	0,49 $\pm$ 0,01
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	<b>0,44 <math>\pm</math> 0,01</b>	0,49 $\pm$ 0,01	0,50 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,01	0,56 $\pm$ 0,01
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	0,56 $\pm$ 0,02 0,62 $\pm$ 0,02	0,46 $\pm$ 0,04 0,50 $\pm$ 0,01 <sup>1)</sup>	<b>0,43 <math>\pm</math> 0,01</b> –	0,49 $\pm$ 0,01 0,52 $\pm$ 0,0	0,49 $\pm$ 0,04 <b>0,42 <math>\pm</math> 0,02</b>
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	0,55 $\pm$ 0,01 –	0,52 $\pm$ 0,00 <b>0,46 <math>\pm</math> 0,02</b>	<b>0,37 <math>\pm</math> 0,01</b> –	0,49 $\pm$ 0,01 0,47 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,02 0,50 $\pm$ 0,00
<b>284</b> (Landsortief)	Feb. Mär.	0,56 $\pm$ 0,01	0,54 $\pm$ 0,01	0,50 $\pm$ 0,01	<b>0,42 <math>\pm</math> 0,03</b>	<b>0,38 <math>\pm</math> 0,01</b> 0,39 $\pm$ 0,01
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	0,67 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,03	0,57 $\pm$ 0,01	<b>0,47 <math>\pm</math> 0,01</b>	0,54 $\pm$ 0,00

Nitrat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )						
Station	Monat	1995	1996	1997	1998	1999
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	11,5 $\pm$ 1,2	–	<b>8,1 <math>\pm</math> 0,2</b>	12,0 $\pm$ 1,0	9,0 $\pm$ 0,1
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	7,2 $\pm$ 0,1	<b>5,0 <math>\pm</math> 0,0</b>	5,7 $\pm$ 0,1	6,6 $\pm$ 0,0	7,9 $\pm$ 0,1
<b>162</b> (Pommersche Bucht)	Feb.	<b>11,5 <math>\pm</math> 0,0</b>	–	16,1 $\pm$ 0,5	14,1 $\pm$ 0,4	14,8 $\pm$ 0,2
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	4,2 $\pm$ 0,0	5,8 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,0	<b>3,1 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,4 $\pm$ 0,0
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	4,2 $\pm$ 0,0	4,1 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,0	<b>3,1 <math>\pm</math> 0,0</b>	3,8 $\pm$ 0,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	4,2 $\pm$ 0,0 5,2 $\pm$ 0,1	4,1 $\pm$ 0,1 4,3 $\pm$ 0,0 <sup>1)</sup>	<b>3,6 <math>\pm</math> 0,0</b> –	3,7 $\pm$ 0,1 <b>3,3 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,2 $\pm$ 0,0 4,1 $\pm$ 0,1
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	4,6 $\pm$ 0,0 –	3,8 $\pm$ 0,1 3,9 $\pm$ 0,0	3,6 $\pm$ 0,0 –	3,7 $\pm$ 0,0 <b>3,2 <math>\pm</math> 0,1</b>	<b>3,5 <math>\pm</math> 0,1</b> 4,5 $\pm$ 0,1
<b>284</b> (Landsortief)	Feb. Mär.	5,2 $\pm$ 0,1	4,0 $\pm$ 0,1	4,2 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,1	<b>3,6 <math>\pm</math> 0,1</b> 4,4 $\pm$ 0,0
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	4,6 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 0,0	<b>3,1 <math>\pm</math> 0,0</b>	<b>3,1 <math>\pm</math> 0,0</b>

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Summe der anorganischen Stickstoffverbindungen ( $\text{NO}^3 + \text{NO}^2 + \text{NH}^{4+}$ ;  $\mu\text{mol} / \text{dm}^3$ )

Station	Monat	1995	1996	1997	1998	1999
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	15,3 $\pm$ 1,4	–	<b>9,8 <math>\pm</math> 0,1</b>	–	11,6 $\pm$ 0,0
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	8,7 $\pm$ 1,7	–	<b>6,6 <math>\pm</math> 0,1</b>	–	10,3 $\pm$ 0,1
<b>162</b> (Pommersche Bucht)	Feb.	<b>14,7 <math>\pm</math> 0,2</b>	–	19,4 $\pm$ 0,6	16,5 $\pm$ 0,5	17,3 $\pm$ 0,2
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	5,4 $\pm$ 0,0	6,4 $\pm$ 0,5	4,4 $\pm$ 0,0	<b>3,3 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,9 $\pm$ 0,0
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	4,5 $\pm$ 0,0	4,7 $\pm$ 0,2	4,4 $\pm$ 0,0	<b>3,3 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,3 $\pm$ 0,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	4,4 $\pm$ 0,0 5,6 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,1 4,7 $\pm$ 0,1 <sup>1)</sup>	<b>3,8 <math>\pm</math> 0,1</b> –	3,9 $\pm$ 0,1 <b>3,8 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,8 $\pm$ 0,0 4,6 $\pm$ 0,1
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	4,7 $\pm$ 0,0 –	4,2 $\pm$ 0,0 4,6 $\pm$ 0,1	<b>3,8 <math>\pm</math> 0,1</b> –	3,9 $\pm$ 0,0 <b>3,5 <math>\pm</math> 0,0</b>	4,1 $\pm$ 0,0 5,0 $\pm$ 0,1
<b>284</b> (Landsorttief)	Feb. Mär.	5,5 $\pm$ 0,1	4,4 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,0	4,3 $\pm$ 0,1	<b>3,9 <math>\pm</math> 0,0</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	4,9 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,1	4,0 $\pm$ 0,1	<b>3,4 <math>\pm</math> 0,1</b>	3,7 $\pm$ 0,1

<sup>1)</sup> Ende März

Eine verstärkte Mineralisation führt ab August in der zentralen Ostsee zur Ausbildung eines schmalen Bandes mit erhöhten Nitrit- und Ammoniumkonzentrationen. Entlang eines Schnittes durch die gesamte östliche Gotlandsee (Stat. 259–286) wurde dieses Maximum in einer Wassertiefe von 60 m mit sehr einheitlichen Nitritwerten zwischen 0,41 und 0,49  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gefunden. Die Maximalwerte des Ammoniums lagen im gleichen Horizont und erreichten Konzentrationen zwischen 1,84 und 2,1  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ . Im weiteren Jahresverlauf dehnt sich dieser Bereich bis zur Wasseroberfläche aus, wobei die Maximalkonzentrationen zurück gehen. Im Dezember 1999 wurden bis in 50 m Wassertiefe Nitritwerte zwischen 0,2 und 0,3  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gemessen. Bis zum März des Folgejahres gehen die Konzentrationen in der Regel auf 0,1–0,2  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  zurück, im Mai liegen die Messwerte bereits wieder an der Nachweisgrenze.

Die Veränderungen der Nährstoffverhältnisse im Tiefenwasser können ebenfalls aus Abb. 18 und 19 entnommen werden. Die wiederholt wechselnden Redoxverhältnisse im Bornholmbecken (vgl. Abb. 16) dokumentieren sich auch in den Nährstoffverhältnissen. In Abhängigkeit von oxischen bzw. anoxischen Bedingungen schwanken die Messwerte im 80 m Horizont zwischen 1,8 und 7,9  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Phosphat), 11,8 und 0  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Nitrat) bzw. 0,2 und 13,9  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Ammonium). Die entsprechenden Jahresmittelwerte sind Tabelle 10 zu entnehmen.

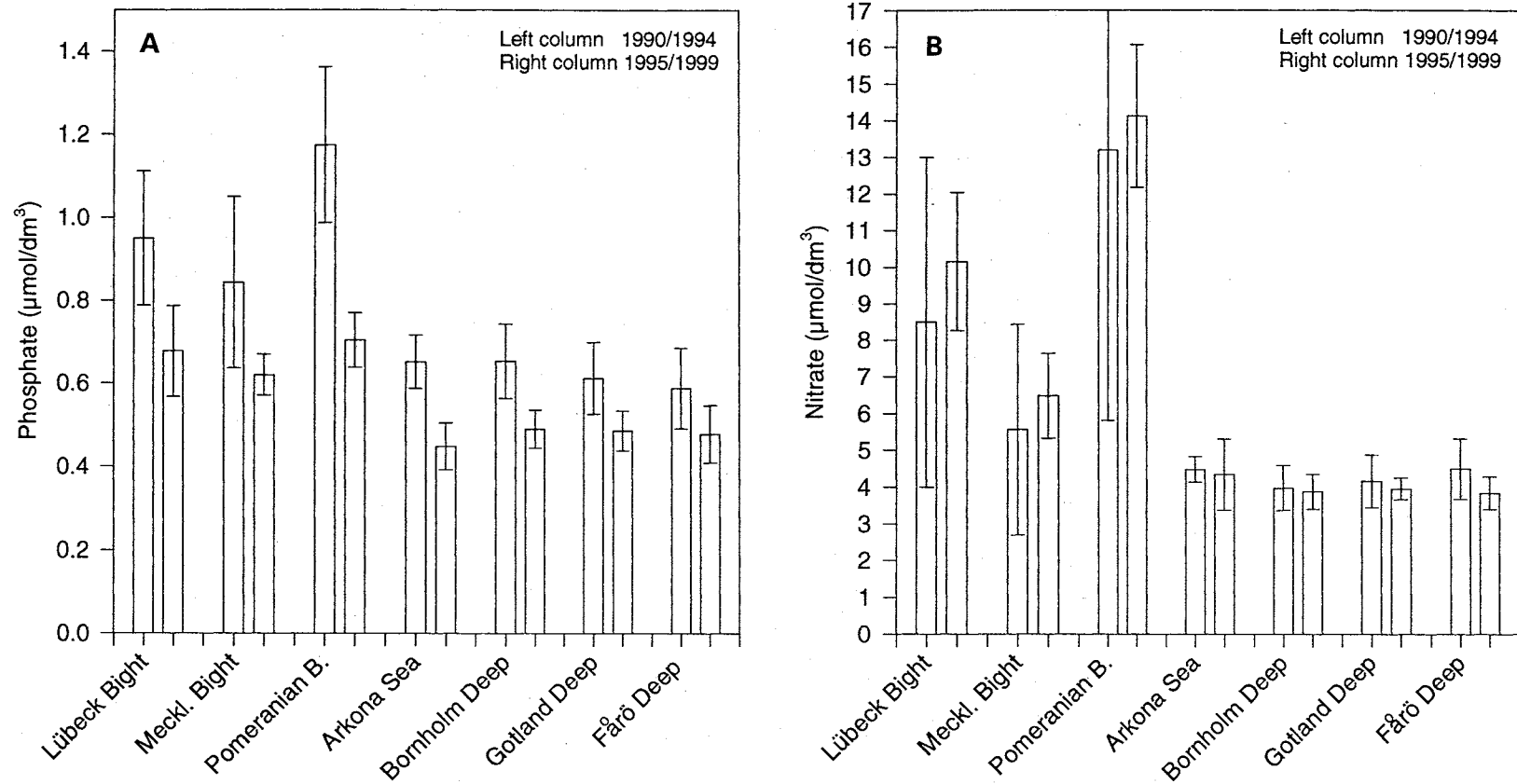


Abb. 20

Veränderungen der mittleren Phosphat- (A) und Nitratkonzentrationen (B) in der winterlichen Oberflächenschicht (Februar, 0–10 m Tiefe) der westlichen und zentralen Ostsee in den Zeiträumen 1990/1994 (linke Säulen) und 1995/1999 (rechte Säulen)

Im östlichen Gotlandbecken war die gegenwärtige Stagnationsperiode bisher durch einige Besonderheiten gekennzeichnet (MATTHÄUS et al., 1999b). In der zweiten Hälfte der Jahre 1996, 1997 und 1998 hatte sich zwischen dem Meeresboden und etwa 150 m Wassertiefe ein anoxischer Bereich gebildet. Diese anoxischen Phasen wurden jedoch im Winter und Frühjahr durch die Präsenz geringer Mengen Sauerstoff unterbrochen, die infolge kleinerer Einstromereignisse in das östliche Gotlandbecken gelangten. Im Jahre 1999 herrschten dagegen permanent anoxische Verhältnisse vor, was sich deutlich in den Nährstoffverhältnissen widerspiegelt. Sowohl im Gotlandtief (200 m) als auch im Fårötief (150 m) konnte kein Nitrat nachgewiesen werden (Tabelle 10). Ammonium und Phosphat erreichten dagegen im Vergleich der letzten fünf Jahre die höchsten Werte, wenngleich die Extremwerte wie sie am Ende der Stagnationsperiode 1977–1993 (NEHRING et al., 1993b; NAUSCH, NEHRING, 1994) vorlagen, bei weitem noch nicht erreicht werden.

Auch im Landsorttief spiegelt sich der Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen und der Übergang zu anoxischen Bedingungen in den Nährstoffkonzentrationen wider. Bei Sauerstoffkonzentrationen unter  $10 \mu\text{mol}/\text{dm}^3 = 0,22 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  können Denitrifikationsprozesse einsetzen (GOERING, 1968). Folgerichtig gehen die Nitratkonzentrationen bis auf 0 zurück (Tabelle 11). Der fehlende Sauerstoff lässt die Mineralisation beim Ammonium enden, so dass es ab Mitte des Jahres zu einem kontinuierlichen Anstieg der Ammoniumwerte kommt (vgl. Abb. 17). Auch die Phosphatkonzentrationen sind gegenüber den Vorjahren auf Grund verstärkter Desorptions- und Lösungsvorgänge gestiegen (Tabelle 10), wenngleich die Zunahme für den 400 m Horizont des Landsorttiefes nicht so deutlich ist wie im östlichen Gotlandbecken (MATTHÄUS et al., 1999a). Möglicherweise sind geringere Einflüsse der Sedimente dafür verantwortlich zu machen.

Im Tiefenwasser wird die Nährstoffverteilung durch Akkumulations- und Austauschprozesse sowie durch das Redoxpotential bestimmt. Dies wird besonders bei der Betrachtung der Langzeitentwicklung in den grundnahen Horizonten der tiefen Becken deutlich (vgl. Abb. 27). Tritt Schwefelwasserstoff auf, geht zusätzliches Phosphat in Lösung, Nitrat wird denitrifiziert und Ammonium reichert sich an. In Gegenwart von Sauerstoff werden vergleichsweise geringe Phosphatkonzentrationen gemessen, da es durch Sorptionsprozesse zu einer Ausfällung kommt. Gleichzeitig wird das Ammonium nitrifiziert und es kommt zur Bildung von Nitrat. Dieses Wechselspiel kann besonders gut im Ergebnis des letzten Salzwassereinbruchs 1993/94 verfolgt werden (NEHRING et al., 1995b), zeigt sich aber auch in der Nährstoffverteilung der Jahre 1996–1998, wo kleinere Einströme in das östliche Gotlandbecken gelangten und kurzzeitig Sauerstoff auftrat (MATTHÄUS et al., 1999b). Auch der kontinuierliche Rückgang des Sauerstoffs im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens und seine Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt werden sichtbar.

**Tabelle 10 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen von Nährstoffen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee [1995-1997 nur IOW-Daten (n = 5); 1998, 1999 IOW- sowie SMHI-Daten (n = 16-19)]**

**Phosphat ( $\mu\text{mol} / \text{dm}^3$ ; Maximalwerte hervorgehoben)**

Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	3,44 $\pm$ 2,27	<b>7,71 <math>\pm</math>2,06</b>	2,66 $\pm$ 0,97	5,10 $\pm$ 2,18	4,86 $\pm$ 1,72
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	1,86 $\pm$ 0,09	2,81 $\pm$ 1,00	4,47 $\pm$ 0,54	3,48 $\pm$ 0,55	<b>4,75 <math>\pm</math>0,29</b>
<b>286</b> (Färötief)	150	2,65 $\pm$ 0,18	3,04 $\pm$ 0,45	3,40 $\pm$ 0,45	3,44 $\pm$ 0,29	<b>4,16 <math>\pm</math>0,35</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	2,73 $\pm$ 0,20	2,94 $\pm$ 0,18	2,97 $\pm$ 0,44	3,19 $\pm$ 0,17	<b>3,62 <math>\pm</math>0,20</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	2,34 $\pm$ 0,20	2,79 $\pm$ 0,56	3,23 $\pm$ 0,73	3,53 $\pm$ 0,24	<b>3,79 <math>\pm</math>0,52</b>

**Nitrat ( $\mu\text{mol} / \text{dm}^3$ ; Minimalwerte hervorgehoben)**

Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	6,9 $\pm$ 5,0	3,5 $\pm$ 4,1	10,2 $\pm$ 1,9	<b>2,9 <math>\pm</math>4,2</b>	4,3 $\pm$ 4,9
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	11,2 $\pm$ 1,1	6,6 $\pm$ 4,3	0,5 $\pm$ 0,9	3,6 $\pm$ 4,1	<b>0,0 <math>\pm</math>0,0</b>
<b>286</b> (Färötief)	150	9,6 $\pm$ 0,5	6,5 $\pm$ 4,1	2,4 $\pm$ 2,6	1,1 $\pm$ 1,6	<b>0,0 <math>\pm</math>0,1</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	9,9 $\pm$ 1,2	11,6 $\pm$ 0,3	11,2 $\pm$ 1,1	9,2 $\pm$ 1,7	<b>1,5 <math>\pm</math>1,7</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	9,8 $\pm$ 0,9	10,3 $\pm$ 0,6	10,6 $\pm$ 0,5	9,3 $\pm$ 1,7	<b>4,8 <math>\pm</math>4,0</b>

**Ammonium ( $\mu\text{mol} / \text{dm}^3$ ; Maximalwerte hervorgehoben)**

Station	Tiefe/m	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	3,7 $\pm$ 5,1	<b>7,6 <math>\pm</math>7,3</b>	0,2 $\pm$ 0,1	4,9 $\pm$ 5,4	3,9 $\pm$ 4,6
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	0,1 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 1,7	3,5 $\pm$ 1,4	1,7 $\pm$ 2,0	<b>9,0 <math>\pm</math>2,6</b>
<b>286</b> (Färötief)			2,2 $\pm$ 2,3	1,8 $\pm$ 1,4	1,7 $\pm$ 1,4	<b>5,1 <math>\pm</math>2,3</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	0,2 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,2	<b>0,9 <math>\pm</math>1,1</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	0,2 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,4	<b>1,7 <math>\pm</math>2,2</b>



Bereits in der hydrographisch-chemischen Zustandseinschätzung der Ostsee für das Jahr 1998 (MATTHÄUS et al., 1999a, b) wurde auf Besonderheiten in der Nährstoffverteilung in Küstenregionen, die durch starken landseitigen Einfluss geprägt sind, hingewiesen. Die Pommersche Bucht wird in erheblichem Maße durch den Eintrag der Oder beeinflusst. In Abb. 21 sind die Phosphat- und die Nitratverteilung für die Monate Februar, März, Mai und August 1999 entlang eines Schnittes von der Mündung der Swina (Stat. 165) bis zur schwedischen Küste (Stat. 102) dargestellt. Für Phosphat konnten nur im Februar im unmittelbaren Mündungsbereich im Vergleich zur offenen Ostsee etwas erhöhte Konzentrationen festgestellt werden. Im Großteil der Bucht fanden sich jedoch Konzentrationen, wie sie auch für die offene Ostsee in den entsprechenden Jahreszeiten typisch sind. Dagegen kommt es während des gesamten Winters und Frühjahrs zu einem massiven Eintrag von Nitrat in die Pommersche Bucht. Maximalwerte über  $90 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  stellen das 20fache der normalen winterlichen Konzentrationen im Oberflächenwasser dar. Die hohen Nährstoffkonzentrationen werden im Winter im Wesentlichen durch Vermischungsprozesse verdünnt. Die Eintragsfahne kann jedoch bis mindestens östlich Rügen verfolgt werden.

**Tabelle 11** Quartalsmittelwerte für Sauerstoff, Nitrat, Ammonium und Phosphat im 400 m-Horizont des Landsorttiefs (Stat. 284)

Quartal	Anzahl der Proben (n)	Sauerstoff ( $\text{cm}^3/\text{dm}^3$ )	Nitrat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Ammonium ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Phosphat ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )
I/1999	9	$0,22 \pm 0,16$	$3,18 \pm 0,64$	$0,07 \pm 0,03$	$3,74 \pm 0,09$
II/1999	12	$0,22 \pm 0,08$	$2,03 \pm 1,45$	$0,06 \pm 0,04$	$3,77 \pm 0,25$
III/1999	9	$0,22 \pm 0,11$	$0,40 \pm 0,75$	$0,92 \pm 0,62$	$3,48 \pm 0,16$
IV/1999	3	$-0,37 \pm 0,07$	0	$2,75 \pm 0,62$	$3,60 \pm 0,12$

Nitrat stammt zu einem überwiegenden Teil aus diffusen Quellen, so dass der Eintrag stark an das Abflussgeschehen gekoppelt ist (NAUSCH et al., 1999; MEYER, LAMPE, 1999). Um so bemerkenswerter ist der Umstand, dass im Jahre 1999 wesentlich höhere Nitratkonzentrationen als im Vorjahr gefunden wurden. Beide Jahre waren niederschlagsreich und erreichten durchschnittliche Jahresmengen von 120 (1998) bis 130% (1999) im Vergleich zum Zeitraum 1961–1990. In beiden Jahren zählten die Monate Januar, März, April und Juni zu den niederschlagsreichsten. Die Gründe für die unterschiedlichen Nitratkonzentrationen können einerseits im exakten Zeitpunkt von Niederschlagsereignissen gesehen werden, die zu unterschiedlichen Auswaschungen führen können. Andererseits gibt es Hinweise, dass der jährliche Stickstoffaustrag aus landwirtschaftlichen Nutzflächen gegenwärtig noch deutlich unter dem jährlichen Stickstoffüberschuss derselben Flächen liegt. Die Ursache kann in dem Rückhaltevermögen der Böden gesehen werden (ANONYMOUS, 2000). Allerdings ist immer die Gefahr einer verstärkten Auswaschung unter ungünstigen Bedingungen bzw. mit fortschreitender Belastung gegeben.

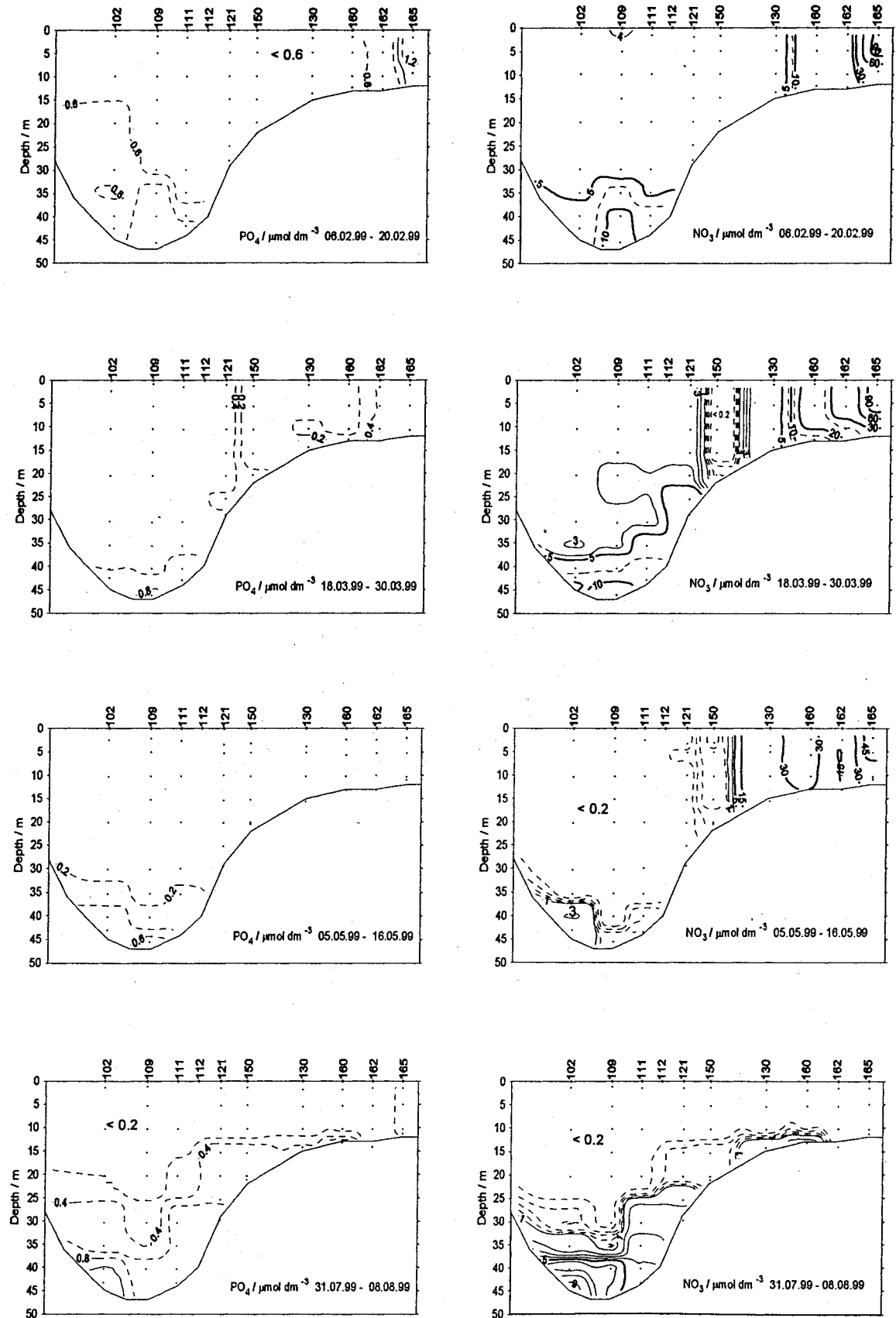


Abb. 21

Vertikale Verteilung der Phosphat- und Nitratkonzentrationen auf einem Schnitt durch das Arkonabecken zwischen der Swinamündung (nahe Stat. OB) und der schwedischen Küste (Stat. 102)

## 5.5 Natürliche organische Verbindungen

Im biogeochemischen Stoffkreislauf spielen natürliche organische Verbindungen eine wichtige Rolle (Abb. 22). Das im marinen Bereich vorkommende organische Material lässt sich dabei in zwei Klassen einteilen: das partikuläre organische Material (POM) und das gelöste organische Material (DOM). Neben Sauerstoff und Wasserstoff sind die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor die Hauptkomponenten des organischen Materials. Die Menge des vorhandenen organischen Materials kann über die Menge des darin gebundenen Kohlenstoffs bzw. Stickstoffs oder Phosphors abgeschätzt werden.

Die Hauptquelle für marines POM ist die Biomasse, die durch die photosynthetische Aktivität des Phytoplanktons aus  $\text{CO}_2$ , anorganischen Nährstoffen und anorganischen Spurenstoffen unter Lichteinwirkung gebildet wird. POM umfasst dabei alle lebenden und abgestorbenen Planktonzellen, unterschiedliche Stoffwechselprodukte mariner Organismen und Aggregate verschiedener organischer Verbindungen. In diesem Stoffkreislauf ist das POM die einzige Komponente, die dem pelagischen System durch Sedimentation und Einlagerung in das Sediment dauerhaft Material entziehen kann.

Gelöstes organische Material (DOM) entsteht einerseits durch einen vorwiegend mikrobiologisch gesteuerten Abbau eines Teils des POM, andererseits durch Ausscheidungsprodukte mariner Organismen. Durch ebenfalls vornehmlich mikrobiologisch kontrollierte Prozesse kann ein Teil des DOM abgebaut werden, wobei unter anderem anorganische Nährstoffe freigesetzt werden (Remineralisation). Während bei der Bildung des POM Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) gebunden und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) freigesetzt wird, erfordern die das POM und DOM abbauenden Prozesse in der Regel Sauerstoff und führen zur Bildung von  $\text{CO}_2$ . In Wasserkörpern, in denen der Gasaustausch mit der Atmosphäre limitiert oder völlig unterbunden ist (z.B. im Tiefenwasser oder im Sediment), kann es deshalb zu anoxischen Bedingungen und der Bildung von  $\text{H}_2\text{S}$  kommen. Durch laterale Austauschprozesse (z.B. Einträge durch Flüsse, Wasseraustausch mit der Nordsee) und durch Austauschprozesse mit der Atmosphäre können die Relationen zwischen den am biogeochemischen Stoffkreislauf beteiligten Komponenten nachhaltig beeinflusst werden. Auch das Verhältnis organisch gebundenen Kohlenstoffs (POC, DOC) bzw. Stickstoffs (PON, DON) oder Phosphors im organischen Material (POM, DOM) kann durch diese Prozesse verändert werden.

In den zentralen Bereichen der Ostsee, in denen der Einfluss lateraler Austauschprozesse relativ gering ist, lässt sich bei Kenntnis der im System vorhandenen Menge anorganischer Nährstoffe abschätzen, wieviel partikuläres bzw. gelöstes organisches Material im Verlauf eines Jahres gebildet werden kann. Legt man die mittleren Nährstoffkonzentrationen der winterlichen Deckschicht (Februar) an der Stat. 271 aus dem Zeitraum 1971–1990 als verfügbare Nährstoffmenge zugrunde, lässt sich mit Hilfe des Redfield-Verhältnisses (REDFIELD et al., 1963) abschätzen, dass in den Sommermonaten Gesamtkonzentrationen an organisch gebundenem Kohlenstoff zwischen 30 und  $60 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  erwartet werden können. Dabei differieren die Schätz-



dieser Frage ist insofern von Interesse, als sich daraus Hinweise darauf ableiten lassen, ob ein kurzfristiger Einfluss auf die winterlichen Konzentrationen von Nährstoffen erwartet werden kann, wenn deren terrigene oder atmosphärische Eintragungsmengen verändert werden.

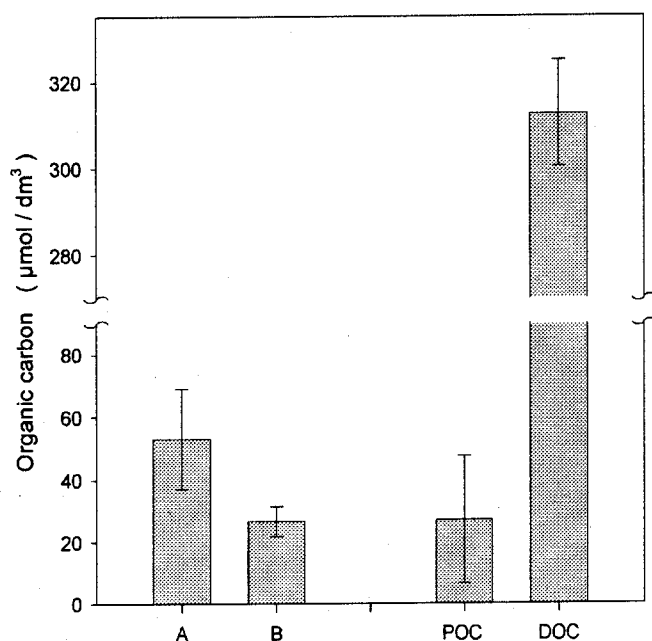


Abb. 23  
Vergleich zu erwartender und gemessener Konzentrationen an partikulärem (POC) und gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC)

Während für die Mengen des im Oberflächenwasser vorhandenen POM ein ausgeprägter saisonaler Zyklus zu beobachten ist, konnte diese Frage für DOM in den letzten Jahren nicht eindeutig beantwortet werden (MATTHÄUS et al., 1999b). Beschränkt man die Betrachtungen zunächst auf die zentralen Bereiche der Ostsee, so kann man aufgrund der oben dargestellten Überlegungen davon ausgehen, dass ein saisonales Signal der DOC-Konzentration, das nur auf die Umsatzprozesse des marinen Systems zurückzuführen ist, maximal  $60 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  ausmachen kann vor einem Hintergrund von knapp  $300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ . In Abb. 24A sind die in der Oberflächenschicht beobachteten DOC- und POC-Konzentrationen der letzten Jahre für die Stat. 271 im zentralen östlichen Gotlandbecken aufgetragen. Dabei werden saisonale Veränderungen im DOC-Gehalt deutlich, die denjenigen für POC ähnlich sind. Verglichen mit POC erreichen die DOC-Konzentrationen maximale bzw. minimale Werte jedoch mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Wochen. Aufgrund der relativ geringen zeitlichen Dichte der Messungen (5 Messungen pro Jahr) ist die genauere Angabe zu Lage und Höhe der Maxima und Minima zur Zeit noch schwierig. Wie an den Werten des Jahres 1996 zu erkennen ist, das durch den langanhaltenden Winter mit einer großflächigen Vereisung der Ostsee gekennzeichnet war (MATTHÄUS et al., 1996), können klimatische Besonderheiten zu deutlichen Verschiebungen in der saisonalen Entwicklung führen.

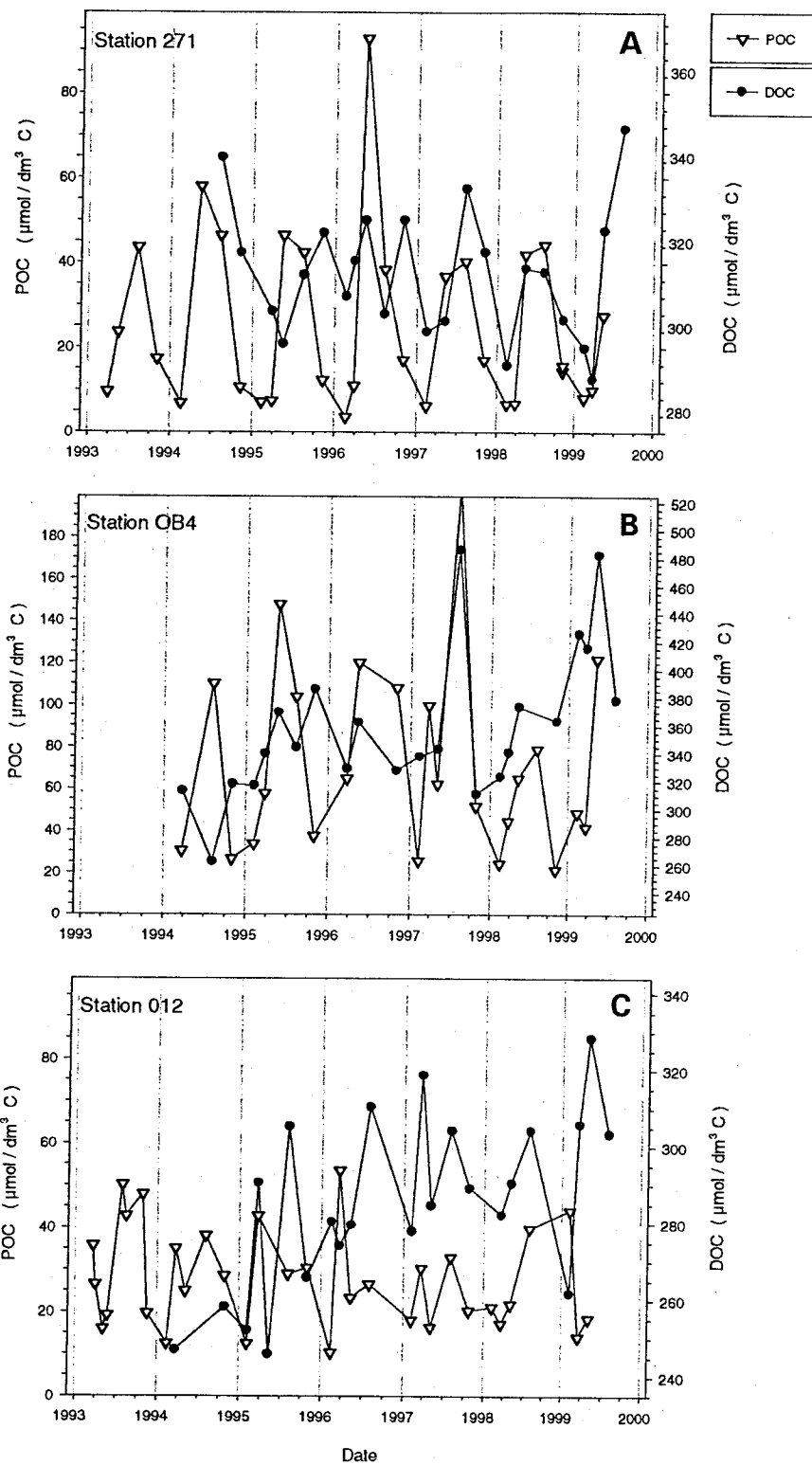


Abb. 24

Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von partikulärem (POC) und gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) in der oberflächennahen Schicht am Beispiel einer Station im östlichen Gotlandbecken (A), in der Pommerschen Bucht (B) und in der westlichen Ostsee (C)

Während in den zentralen Bereichen der Ostsee die erwartete Saisonalität sowohl für POC als auch für DOC zu beobachten ist, ergeben die Beobachtungen in anderen Gebieten der Ostsee ein komplexeres Bild (Abb. 24B, C). In der Oberflächenschicht der Stat. OB 4, die in der Pommerschen Bucht wenige Meilen von der Mündung der Swina entfernt liegt (südlich OB; vgl. Abb 1), ist ebenfalls eine gewisse Saisonalität zu beobachten, jedoch mit weitgehend gleicher Phase von POC und DOC (Abb. 24B). Die Differenzen zwischen saisonalen Maxima und Minima liegen hier bei ungefähr  $100 \mu\text{mol}/\text{dm}^3 \text{ C}$  für POC bzw. DOC. Auffallend sind ferner die extrem hohen Werte im Sommer 1997, die auf die Auswirkungen des Oderhochwassers zurückzuführen sind (MATTHÄUS et al., 1998b; HUMBORG et al., 1998; MOHRHOLZ et al., 1998). Die Untersuchungen der letzten Jahre machen deutlich, dass an dieser Station die durch Prozesse im marinen System verursachten saisonalen Veränderungen in den Mengen von POM und DOM durch Einträge aus der Oder bzw. der Swina überlagert werden. Da die Menge und Zusammensetzung dieser Einträge ebenfalls saisonalen Einflüssen unterliegt, werden auch hier jahreszeitlich abhängige Konzentrationsunterschiede beobachtet. Die Ursachen für die in der Pommerschen Bucht und an der Stat. 271 im östlichen Gotlandbecken beobachtete Saisonalität sind jedoch grundlegend verschieden.

In der westlichen Ostsee, die in hohem Maße durch die Austauschprozesse zwischen Nord- und Ostsee geprägt ist, sind praktisch weder für POC noch für DOC saisonale Einflüsse zu erkennen (Abb. 24C). Da die Planktonblüte im Kattegat früher im Jahr beginnt und außerdem die DOC-Konzentrationen in der Nordsee und im Übergangsgebiet zur Ostsee geringer sind (WEDBORG et al., 1994), können in diesem Seegebiet durch lokale Ein- oder Ausstromereignisse in relativ kurzen Zeiträumen deutliche Konzentrationsänderungen verursacht werden. Sie überdecken die durch Umsatzprozesse im marinen System bedingten Veränderungen fast vollständig. Auffallend an der Stat. 012 ist jedoch die ansteigende Tendenz der DOC-Konzentrationen in den letzten Jahren. Von den ersten Ergebnissen im Jahre 1994, die deutlich unter den mittleren Konzentrationen der Ostsee lagen, ist bis 1999 ein Anstieg auf Werte zu beobachten, die für die Ostsee charakteristisch sind. Es ist zu vermuten, dass die geringen DOC-Konzentrationen zu Beginn des Beobachtungszeitraumes eine Folge der Einstromereignisse von 1993/94 sind (NEHRING et al., 1994b, 1995a). Bisher ist der Einfluss, den der laterale Austausch zwischen Nord- und Ostsee auf den Gesamtgehalt der Ostsee an organischem Material besitzt, noch weitgehend unklar.

## **6. Die gegenwärtige Stagnationsperiode im Tiefenwasser der zentralen Ostsee**

Die seit Mitte der 70er Jahre beobachtete Tendenz zum Rückgang der Häufigkeit und Intensität extremer Einstromereignisse hat sich weiter fortgesetzt (SCHINKE, MATTHÄUS, 1998). Diese Tendenz wurde lediglich durch das starke Einzelereignis vom Jahre 1993 unterbrochen (MATTHÄUS, LASS, 1995). Die 90er Jahre waren in den tiefen Becken der Ostsee im Wesentlichen durch diesen Salzwassereinbruch und die kleinen Einströme Ende 1993/Anfang 1994 und 1997/98 sowie die erneute Stagnationsperiode geprägt, die 1995 begann (NEHRING et al., 1995b, c).

Stagnation ist ein natürlicher Prozess in Meeresgebieten, die weitgehend vom Festland umgeben sind und nur flache und enge Verbindungen zum offenen Weltmeer besitzen, deren Vertikalzirkulation durch eine stabile Schichtung und deren horizontaler Austausch durch das Bodenrelief eingeschränkt sind. Der Energie- und Stoffaustausch zwischen einem derartigen

Meeresgebiet und dem Ozean hängt in starkem Maße von den topographischen Gegebenheiten im Übergangsgebiet ab. Dadurch werden typische Erscheinungsformen der Stagnation hervorgerufen, die sich in der Zirkulation der Wassermassen und der zeitlichen und räumlichen Veränderlichkeit der physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnisse widerspiegeln.

Für den Verlauf der Stagnation im Tiefenwasser der zentralen Ostsee sind die thermohalinen Verhältnisse im Bornholmbecken, dem westlichsten der tiefen Becken der Ostsee, von erheblicher Bedeutung. Es erhält ständig Zufluss geringer Mengen salzreicheren Wassers, die bei jedem barotropen oder baroklinen Einstromereignis über die Schwellen in das Arkonabecken gelangen und von dort ungehindert ins Bornholmbecken abfließen können und somit das Tiefenwasser relativ häufig erneuern. Das Bornholmbecken ist mit einer Tiefe von mehr als 90 m gegen die zentrale Ostsee durch die Stolper Schwelle (Satteltiefe 60 m) getrennt.

Bei geringer Einstromaktivität über die Eingangsschwellen zur Ostsee, wie sie z.B. Ende der 80er Jahre zu beobachten war (vgl. MATTHÄUS, 1995), geht der Salzgehalt und damit die Dichte im Tiefenwasser des Bornholmbeckens zurück. Kleine Einströme salz- und sauerstoffreichen Wassers, aber auch Salzwassereinbrüche, führen dann lediglich zur Auffüllung dieses Beckens, gelangen aber kaum über die Stolper Schwelle in die zentrale Ostsee. Ein Beispiel dafür war der starke Salzwassereinbruch vom Januar 1993 (vgl. MATTHÄUS, 1994; NEHRING et al., 1994a, 1995b).

Ein Maß für die Abschätzung der Auswirkungen von kleineren Einströmen in die Ostsee auf das Tiefenwasser der zentralen Becken ist der Füllungsgrad des Bornholmbeckens mit salzreichem Wasser. Salz- und sauerstoffreiches Wasser, das mit kleineren Einströmen im Herbst und Winter über die Schwellen in die Ostsee transportiert wird, kann nur dann in größerer Menge das Bornholmbecken in 50–60 m Tiefe passieren und relativ schnell ins östliche Gotlandbecken gelangen, wenn das Bornholmbecken ausreichend mit salzreichem Wasser gefüllt ist. Eine derartige Situation war in den Jahren 1996–1998 zu beobachten.

Anfang der 90er Jahre hat sich die Zufuhr von salz- und sauerstoffreichem Wasser in das Bornholmbecken verstärkt, Salz- und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser sind angestiegen (Tabelle 12 und Abb. 25). Im Tiefenwasser der zentralen Ostsee ist der Salzgehalt aber weiter zurückgegangen. Im östlichen Gotlandbecken dauerte die Stagnationsperiode mit hohen Konzentrationen von Schwefelwasserstoff an während im westlichen Gotlandbecken die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser zunahm (Tabelle 12).

Der starke Salzwassereinbruch im Januar 1993 füllte zunächst das Bornholmbecken mit salz- und sauerstoffreichem Wasser auf (Abb. 25), die Auswirkungen in der zentralen Ostsee blieben aber nur gering (NEHRING et al., 1993b, 1994a). Erst die kleinen Einströme im Dezember 1993 und März 1994 zeigten auch dort deutliche Auswirkungen (NEHRING et al., 1995a, b), weil das Bornholmbecken bereits durch den Salzwassereinbruch im Januar 1993 mit salzreichem Wasser angefüllt war. Das durch die kleinen Einströme in die Ostsee gelangte Wasser konnte das Bornholmbecken unterhalb der permanenten Sprungschicht in 50–60 m sehr schnell passieren und nur geringfügig vermischt in das östliche Gotlandbecken vordringen. Dabei ging die Temperatur im 200 m Horizont des Gotlandtiefs um 1,1 K zurück, der Salzgehalt stieg aber deutlich an und die Sauerstoffkonzentration erreichte im Mai 1994 mit 3–3,8 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> Werte, wie sie letztmalig in den 30er Jahren beobachtet wurden (MATTHÄUS, 1990).



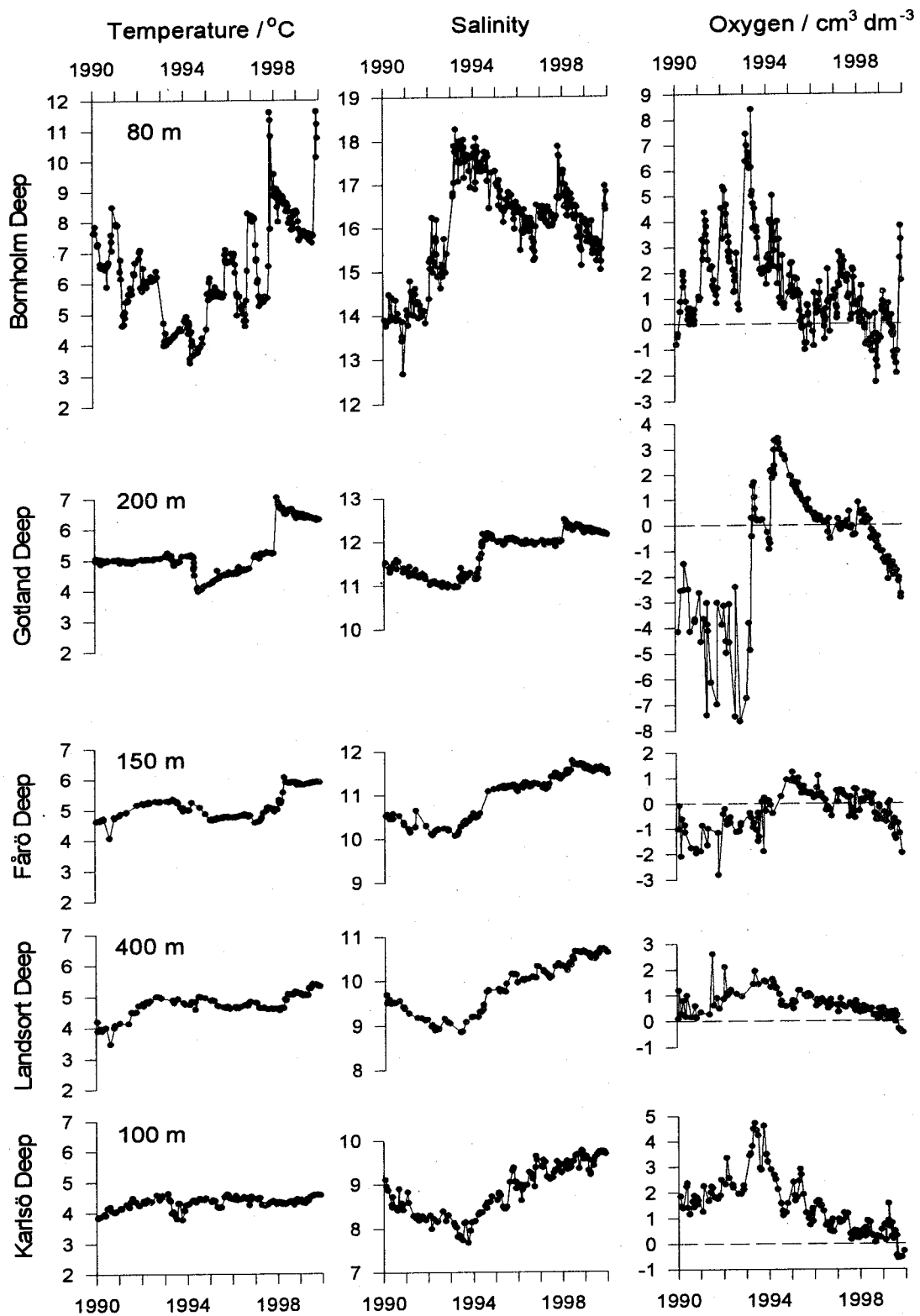


Abb. 25

Variationen von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt und Schwefelwasserstoffkonzentration im Tiefenwasser der zentralen Ostsee zwischen 1990 und 1999 (Schwefelwasserstoff als negative Sauerstoffäquivalente)

In den Jahren 1997/98 war das Bornholmbecken durch einen intensiven Einstrom im November 1996 (MATTHÄUS et al., 1996, 1997) und durch die Einstrombedingungen im Frühjahr und Sommer 1997 (MATTHÄUS et al., 1998a) aufgefüllt, so dass mit den Herbststürmen im September/Oktober 1997 sehr warmes, salzreiches Wasser über die Schwellen schnell in die zentrale Ostsee gelangen konnte (MATTHÄUS et al., 1999b; HAGEN, FEISTEL, 2000). Das führte im 200 m Horizont des Gotlandtiefs zu einem außergewöhnlichen Temperaturanstieg um 1,8 K (MATTHÄUS et al., 1999b), aber nur zu einer geringen Zunahme von Salz- und Sauerstoffgehalt (Abb. 25).

Im Ergebnis des starken Salzwassereintruchs 1993 stiegen die Sauerstoffkonzentrationen im Bornholmbecken Ende März 1993 bis auf Werte um  $7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  (NEHRING et al., 1994b). Die in der ersten Hälfte der 90er Jahre im Tiefenwasser des Bornholmbeckens fast durchgehend beobachteten oxischen Bedingungen (Abb. 26) dokumentieren sich auch in der Nährstoffverteilung. In Gegenwart von Sauerstoff ist Phosphat teilweise an Sediment und suspendierte Partikel in Form von Eisen-III-hydroxophosphat-Komplexen gebunden, so dass meist niedrige Phosphatkonzentrationen von  $1-2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gemessen werden. Ändert sich der Redoxstatus, kann der Komplex durch Schwefelwasserstoff reduziert werden und es kommt zur Freisetzung von Phosphat und Eisen-II-ionen, was unter anderem 1996, 1998 und 1999 zu beobachten war (Abb. 27). Gebiete mit stärker wechselnden oxischen und anoxischen Bedingungen wie das Bornholmbecken sind durch eine größere Phosphatakkumulation in Gegenwart von Schwefelwasserstoff gekennzeichnet. Hier wurden Phosphatkonzentrationen bis zu  $12 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gemessen. Auch der Nitratgehalt wird stark durch das Vorhandensein von Sauerstoff bzw. Schwefelwasserstoff beeinflusst. Unter oxischen Bedingungen liegen die anorganischen Stickstoffkomponenten fast ausschließlich in der oxidierten Form, dem Nitrat, vor. Treten anoxische Verhältnisse auf, wird einerseits das vorhandene Nitrat zu molekularem Stickstoff denitrifiziert, andererseits kann das durch Mineralisation freiwerdende Ammonium nicht oxidiert werden. Ergebnis ist eine Akkumulation von Ammonium und das Fehlen von Nitrat.

Die Verhältnisse im Danziger Becken werden einerseits durch Einströme bestimmt, bei denen salz- und sauerstoffreiches Wasser aus dem Bornholmbecken über die Stolper Rinne bis ins Danziger Tief vordringt. Zum anderen gibt es Anzeichen, dass es gelegentlich zu einer vertikalen Durchmischung bis in Grundnähe kommen kann. So finden sich in der ersten Hälfte der 90er Jahre fast durchweg oxische Verhältnisse mit niedrigen Phosphatkonzentrationen zwischen 1 und  $2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  und Nitratgehalten zwischen 10 und  $14 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Abb. 28). Ab Ende 1994 werden mehrfach anoxische Bedingungen gefunden, die jedoch immer wieder von oxischen Phasen abgelöst werden. Zum Ende des Beobachtungszeitraumes dominieren Anoxia, womit sich das Danziger Becken in das allgemein beobachtete Bild einordnet. In Abhängigkeit von den stark wechselnden Sauerstoffverhältnissen fluktuieren die Nährstoffe ebenfalls sehr (Abb. 28).

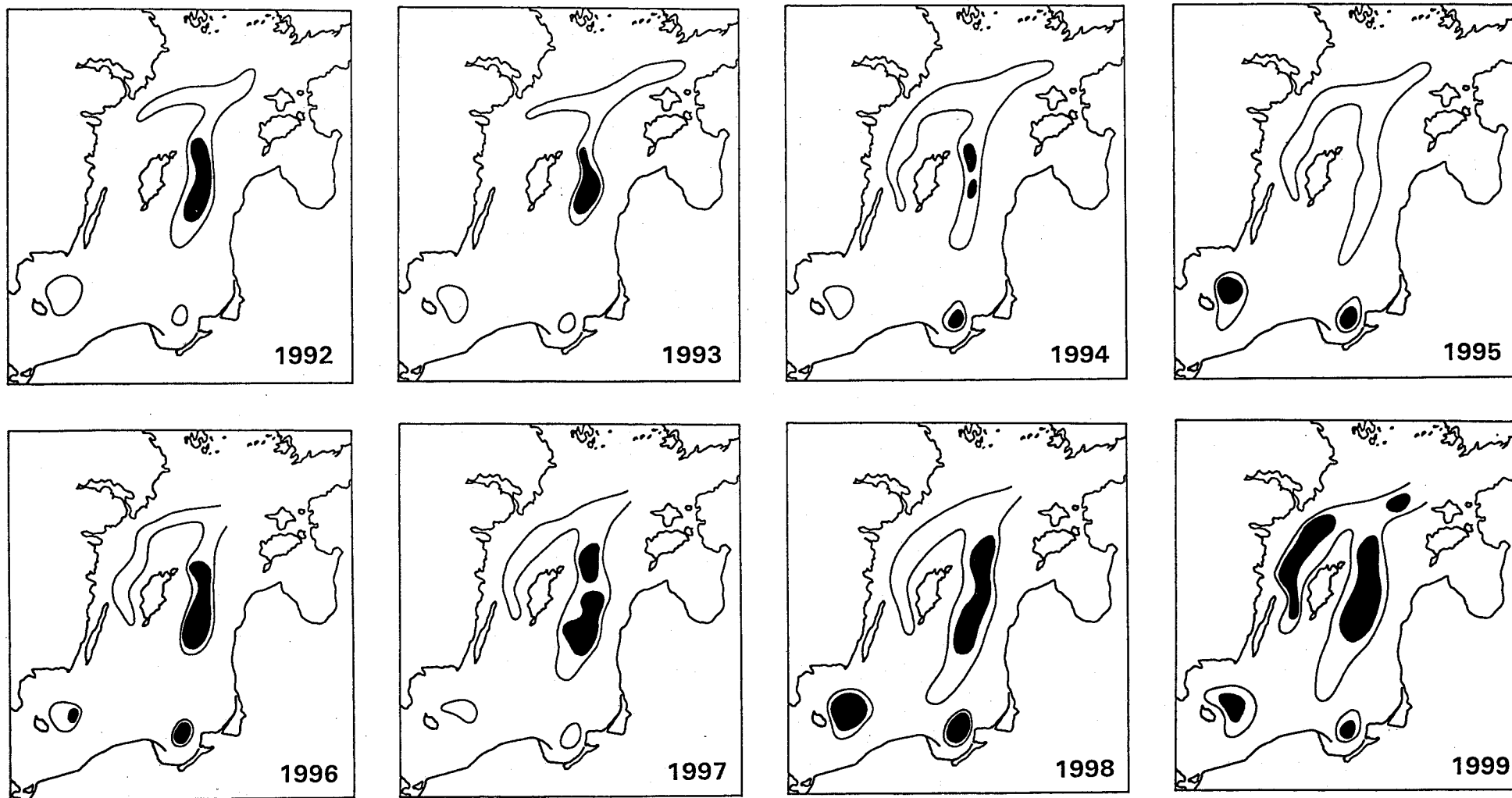


Abb. 26  
 Jährliche maximale Ausdehnung der Gebiete mit Sauerstoffmangel ( $\leq 2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ) und Schwefelwasserstoff (schwarz) in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostsee zwischen 1992 und 1999

Am deutlichsten lässt sich die Wassererneuerung im östlichen Gotlandbecken verfolgen (Abb. 27). Am Ende der 16jährigen Stagnationsperiode 1977–1992 traten sehr hohe Schwefelwasserstoffkonzentrationen auf, die in Sauerstoffäquivalenten umgerechnet  $-8 \text{ cm}^3\text{O}_2/\text{dm}^3$  – im grundnahen Horizont sogar bis  $-10 \text{ cm}^3\text{O}_2/\text{dm}^3$  – erreichten, jedoch starke zwischenzeitliche Unterschiede aufwiesen. Das Nährstoffregime war, wie oben beschrieben, durch das Fehlen von Nitrat und Nitrit sowie eine starke Anreicherung von Ammonium bis zu  $40 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gekennzeichnet (NEHRING et al., 1995c). Am Beginn von Stagnationsperioden kommt es in der Regel zu einer raschen Phosphatakkumulation. So erhöhte sich der Phosphatgehalt im Gotlandtief von  $2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  im Jahre 1977 auf  $6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  im Jahre 1979. Im weiteren Verlauf der Stagnation stiegen die Werte nicht weiter an, sondern schwankten um einen Mittelwert. Während längerer Stagnationsperioden scheint der Phosphatgehalt im Sediment mehr oder weniger erschöpft zu sein, so dass es trotz des weiteren Anstiegs der Schwefelwasserstoffkonzentrationen zu keiner weiteren Phosphatfreisetzung kommt (Tabelle 12 und 13). Nach dem Salzwassereinbruch im Januar 1993 waren bereits Anfang April Auswirkungen in den Sauerstoffkonzentrationen des östlichen Gotlandbeckens zu erkennen, die ihren Höhepunkt im Mai 1993 erreichten. Die Nährstoffverteilung reagierte drastisch auf das sich ändernde Redoxpotential. Es kam zum deutlichen Rückgang des Ammoniums (im Juni und August 1993 konnte es nicht mehr nachgewiesen werden), zu einer Anreicherung von Nitrat und zu einem starken Rückgang der Phosphatkonzentrationen (NEHRING et al., 1994b). Diese Veränderungen sind sowohl auf lang- als auch auf kurzfristigen Zeitskalen zu beobachten. Jedoch bereits im November war der Tiefenbereich unterhalb 200 m wieder anoxisch. Erst die nachfolgenden kleinen Einströme Ende 1993/Anfang 1994 führten zu einer nachhaltigeren Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im Bereich des Gotlandtiefs. Die nachfolgende erneute Entwicklung einer Stagnationsphase war durch einige Besonderheiten gekennzeichnet. Nachdem im März 1996 (MATTHÄUS et al., 1996) erstmals wieder Schwefelwasserstoff registriert wurde, weitete sich der anoxische Horizont in der zweiten Hälfte der Jahre 1996, 1997 und 1998 jeweils zwischen Meeresgrund und etwa 150 m Wassertiefe aus. Diese anoxischen Phasen wurden im Winter und Frühjahr durch die Präsenz geringer Mengen an Sauerstoff unterbrochen (Abb. 25), die infolge kleinerer Einstromereignisse in das Gotlandtief gelangten. Die Nährstoffverteilung reagiert in der bereits mehrfach beschriebenen Weise (MATTHÄUS et al., 1999b). Seit Mitte 1998 herrschen permanent anoxische Verhältnisse.

Im Fårötief lässt sich im Wesentlichen eine ähnliche Entwicklung beobachten, wenngleich durch das Vorhandensein einer Schwelle zwischen Gotland- und Fårötief (Satteltiefe 140 m) eine zeitliche Verzögerung und Dämpfung der Vorgänge zu beobachten ist. Einerseits sind die Schwefelwasserstoffkonzentrationen am Ende der Stagnationsperiode 1977–1992 deutlich geringer als im Gotlandtief, andererseits fällt die Zunahme der Sauerstoffkonzentrationen im Ergebnis der Wassererneuerung wesentlich geringer aus. Die günstigsten Bedingungen herrschten, wie in der gesamten Ostsee, im Mai 1994 vor. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch die höchsten Nitrat- sowie die geringsten Phosphatkonzentrationen gemessen (Abb. 27). Gegenwärtig kommt es auch im Fårötief zu einer Stabilisierung der Stagnationsverhältnisse mit einer kontinuierlichen Zunahme von Ammonium und Phosphat sowie dem Fehlen von Nitrat.

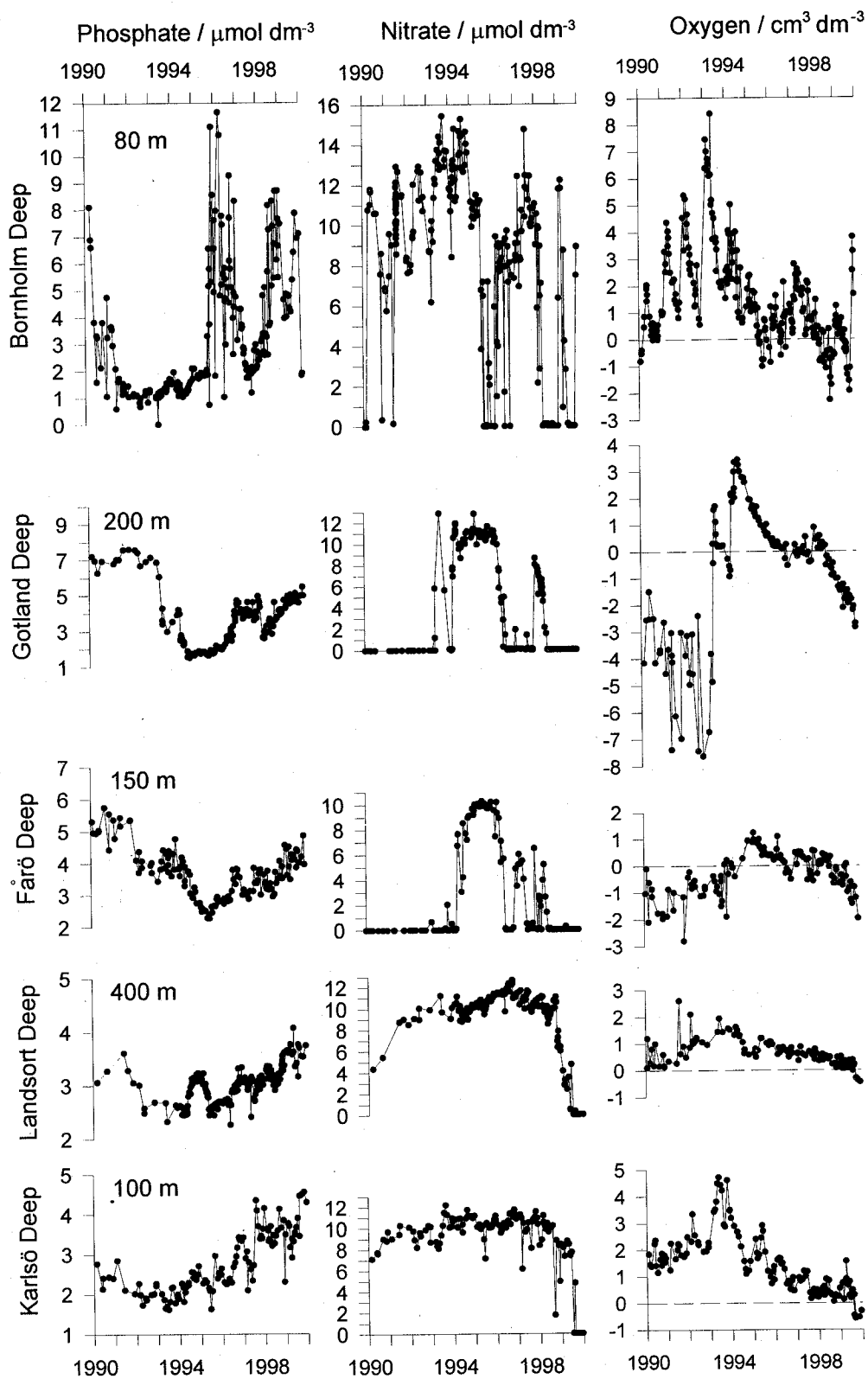


Abb. 27

Variationen von Phosphat, Nitrat, Sauerstoffgehalt und Schwefelwasserstoffkonzentration im Tiefenwasser der zentralen Ostsee zwischen 1990 und 1999 (Schwefelwasserstoff als negative Sauerstoffäquivalente)

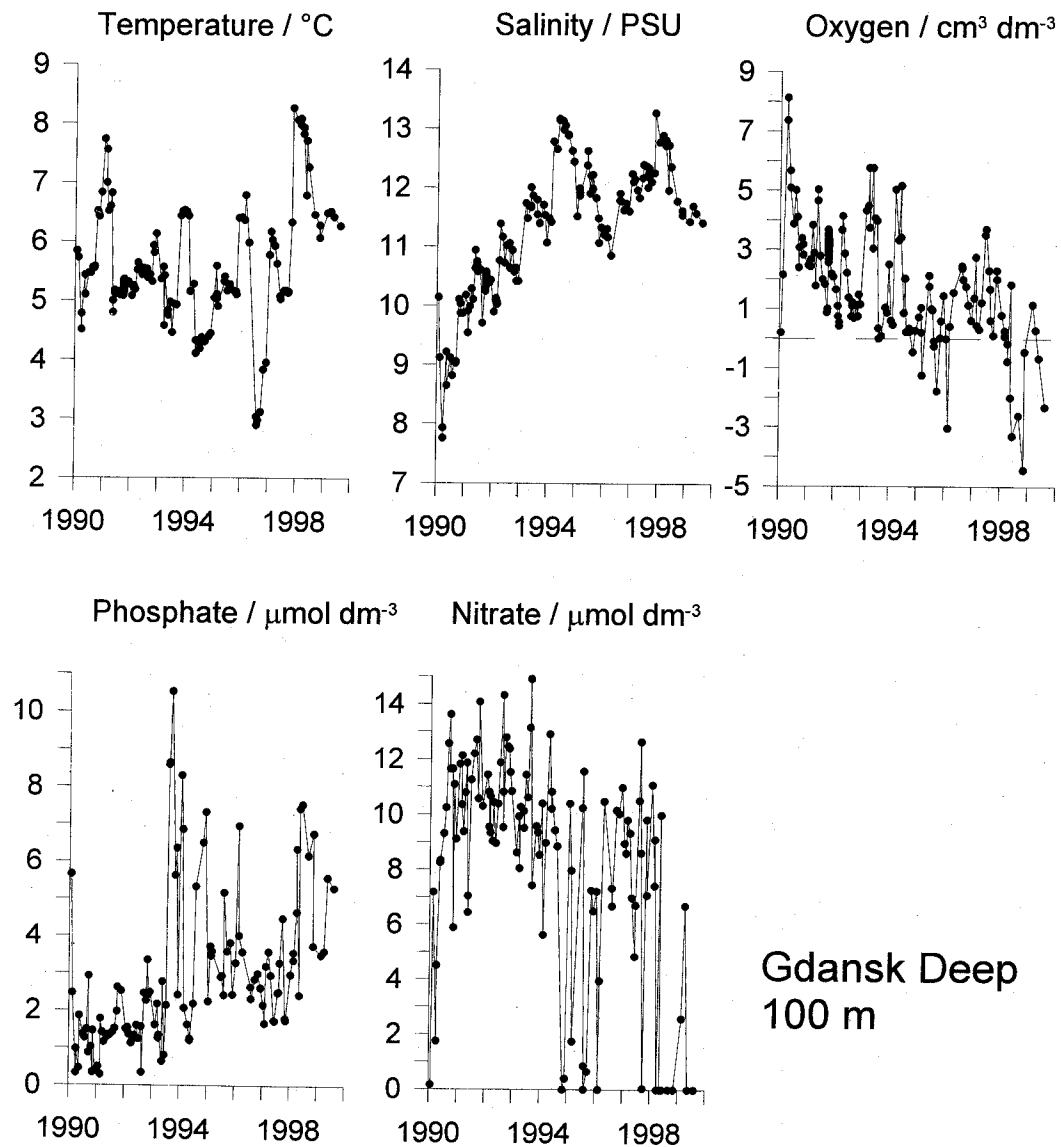


Abb. 28

Variationen von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff- bzw. Schwefelwasserstoffkonzentration sowie der anorganischen Nährstoffe Phosphat und Nitrat im Danziger Tief (Stat. 233) im Zeitraum 1990 – 1999 (nach Daten des IMGW Gdynia und des IOW)

**Tabelle 12 Jahresmittelwerte ausgewählter hydrographischer Parameter im Tiefenwasser der zentralen Ostsee (Extremwerte hervorgehoben)**

**Wassertemperatur (°C)**

Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	6,98	5,90	6,22	4,26	<u>4,21</u>	5,85	5,95	7,32	<b>8,53</b>	8,04
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	4,98	4,96	5,03	5,01	4,68	<u>4,43</u>	4,64	5,17	<b>6,62</b>	6,38
<b>286</b> (Färötief)	150	<u>4,61</u>	4,97	5,24	5,21	5,03	4,72	4,79	4,84	5,66	<b>5,86</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	<u>3,96</u>	4,41	4,86	4,83	4,86	4,74	4,70	4,66	4,88	<b>5,17</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	<u>3,91</u>	4,27	4,44	4,15	4,41	4,39	4,45	4,35	4,33	<b>4,47</b>

**Salzgehalt (PSU)**

Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<u>13,88</u>	14,19	15,26	<b>17,66</b>	17,43	16,61	16,01	16,52	16,38	15,79
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	11,46	11,26	<u>11,04</u>	11,16	11,78	12,01	11,96	11,97	<b>12,32</b>	12,21
<b>286</b> (Färötief)	150	10,48	10,32	<u>10,18</u>	10,33	10,75	11,17	11,23	11,32	<b>11,62</b>	11,57
<b>284</b> (Landsorttief)	400	9,51	9,18	<u>8,99</u>	9,04	9,49	9,94	10,09	10,22	10,50	<b>10,58</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	8,65	8,34	8,22	<u>7,95</u>	8,45	8,82	9,11	9,33	9,51	<b>9,57</b>

**Sauerstoffgehalt (cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>; Schwefelwasserstoff als negative Sauerstoffäquivalente)**

Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	0,54	2,26	2,90	<b>4,81</b>	2,43	0,76	0,54	1,34	<u>-0,20</u>	0,29
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	-3,10	-4,54	<u>-4,63</u>	-0,61	<b>2,03</b>	1,26	0,20	-0,03	0,02	-1,68
<b>286</b> (Färötief)	150	-1,26	<u>-1,56</u>	-0,74	-0,73	0,17	<b>0,70</b>	0,16	0,14	-0,03	-0,78
<b>284</b> (Landsorttief)	400	0,47	0,87	1,17	<b>1,58</b>	1,12	0,92	0,69	0,60	0,37	<u>0,15</u>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	1,69	1,95	2,33	<b>3,79</b>	1,88	1,72	1,09	0,66	0,43	<u>0,32</u>

**Tabelle 13 Jahresmittelwerte von Nährstoffen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee  
(Extremwerte hervorgehoben)**

<b>Phosphat (<math>\mu\text{mol}/\text{dm}^3</math>)</b>											
Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	3,10	1,85	<u>1,06</u>	1,24	1,46	3,44	<b>7,71</b>	2,66	5,10	4,86
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	6,42	<b>7,21</b>	7,15	4,61	2,49	<u>1,86</u>	2,81	4,47	3,48	3,75
<b>286</b> (Färötief)	150	4,85	<b>5,19</b>	4,16	4,03	3,62	<u>2,65</u>	3,04	3,40	3,44	4,16
<b>284</b> (Landsorttief)	400	(1,32)	(3,13)	2,69	<u>2,64</u>	2,79	2,73	2,94	2,97	3,19	<b>3,62</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	1,98	(2,11)	2,06	<u>1,90</u>	2,37	2,34	2,79	3,23	3,53	<b>3,79</b>

<b>Nitrat (<math>\mu\text{mol}/\text{dm}^3</math>)</b>											
Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	8,1	9,1	9,7	11,2	<b>12,9</b>	6,9	3,5	10,2	<u>2,9</u>	4,3
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	3,7	6,1	<b>11,2</b>	6,6	0,5	3,6	<u>0,0</u>
<b>286</b> (Färötief)	150	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	0,1	4,0	<b>9,6</b>	6,5	2,4	1,1	<u>0,0</u>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	(1,1)	(8,9)	10,1	10,3	9,4	9,9	<b>11,6</b>	11,2	9,2	<u>1,5</u>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	7,9	(9,4)	9,1	9,1	10,2	9,8	10,3	<b>10,6</b>	9,3	<u>4,8</u>

<b>Ammonium (<math>\mu\text{mol}/\text{dm}^3</math>)</b>											
Station	Tiefe/m	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	2,9	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	0,3	3,7	<b>7,6</b>	<u>0,2</u>	4,9	3,9
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	23,2	16,6	<b>26,7</b>	12,6	5,2	<u>0,1</u>	1,0	3,5	1,7	9,0
<b>286</b> (Färötief)	150							2,2	1,8	<u>1,7</u>	<b>5,1</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	(0,5)	(0,1)	0,3	0,3	0,4	<u>0,2</u>	0,3	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	<b>0,9</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	<u>0,1</u>	-	0,3	0,2	<u>0,1</u>	0,2	0,3	0,3	0,3	1,7



Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens (Landsort- und Karlsötief) kam es zu einer Entwicklung, die für die erste Phase einer Stagnationsperiode charakteristisch scheint (MATTHÄUS, 1995). Die Sauerstoffkonzentrationen sind seit 1993 zurückgegangen (Abb. 25). In der 2. Jahreshälfte 1999 kam es seit Mitte der 80er Jahre erstmals wieder zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den grundnahen Schichten (Abb. 1 und 26). Im August wurde  $\text{H}_2\text{S}$  im Landsorttief sogar zwischen 125 m und Meeresgrund gemessen. Die Abnahme des Sauerstoffs ging mit einer Zunahme des Phosphatgehaltes einher, wobei diese – vor allem im Bereich des Landsorttiefs – durch die unterschiedliche Beschaffenheit des Meeresbodens jedoch nur langsam erfolgte. Die Nitratkonzentrationen halten sich über einen längeren Zeitraum auf einem recht stabilen Niveau um  $10 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Abb. 27). Nachdem die Sauerstoffkonzentrationen ab Mitte 1998 jedoch unter  $0,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  fielen, setzten Denitrifikationsprozesse ein (GOERING, 1968), die zu einem drastischen Rückgang des Nitrats führten.

Die Stagnationsperiode hat sich im Jahre 1999 in allen Tiefenbecken der Ostsee deutlich verstärkt (Abb. 25 und 27). Das wird auch durch die niedrigsten Jahresmittelwerte der Sauerstoffkonzentration/Sauerstoffäquivalente im östlichen und westlichen Gotlandbecken dokumentiert (Tabelle 12), die nach 1993 beobachtet wurden. Lediglich das Bornholmbecken war durch variierende Sauerstoffverhältnisse im grundnahen Bereich ( $-1,9$  bis  $3,8 \text{ cm}^3\text{O}_2/\text{dm}^3$ ) gekennzeichnet, wobei im Jahre 1998 das Jahresmittel im 80 m Horizont des Bornholmtiefs erstmalig negativ war. Im Jahre 1999 erreichte das durch erheblichen Sauerstoffmangel bzw. anoxische Bedingungen gekennzeichnete Gebiet des Tiefenwassers der zentralen Ostsee seine größte Ausdehnung der vergangenen 15 Jahre (Abb. 26).

Obwohl der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee seit 1994 beträchtlich zurückgegangen ist und sich in allen Tiefenbecken Schwefelwasserstoff gebildet hat, ist der Salzgehalt im Mittel angestiegen (Abb. 25). Der Salzgehaltsanstieg im 200 m Horizont des Gotlandtiefs erfolgte in drei Schritten (1993: etwa 0,4 PSU; 1994: ca. 1 PSU; 1998 0,5 PSU). Die Zunahme im Fårötief und im westlichen Gotlandbecken ging jedoch nahezu kontinuierlich vor sich (Abb. 25).

In Abb. 29 sind die Korrelogramme Sauerstoff/Salzgehalt (Abb. 29A) und Sauerstoff/Temperatur (Abb. 29B) für den 200 m Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1977–1999 dargestellt. Der Rückgang der Sauerstoffkonzentration und die Bildung von  $\text{H}_2\text{S}$  erfolgte 1994–1997 und 1998/1999 bei geringer Abnahme im Salzgehalt deutlich schneller als während der Stagnationsperiode 1977–1992 (Abb. 29A). Bei niedrigerer Temperatur des Tiefenwassers (1994–1997) scheint – zumindest in der gegenwärtigen Stagnationsperiode – der Rückgang in der Sauerstoffkonzentration langsamer zu erfolgen als bei höheren Temperaturen (1998/1999) (Abb. 29B).

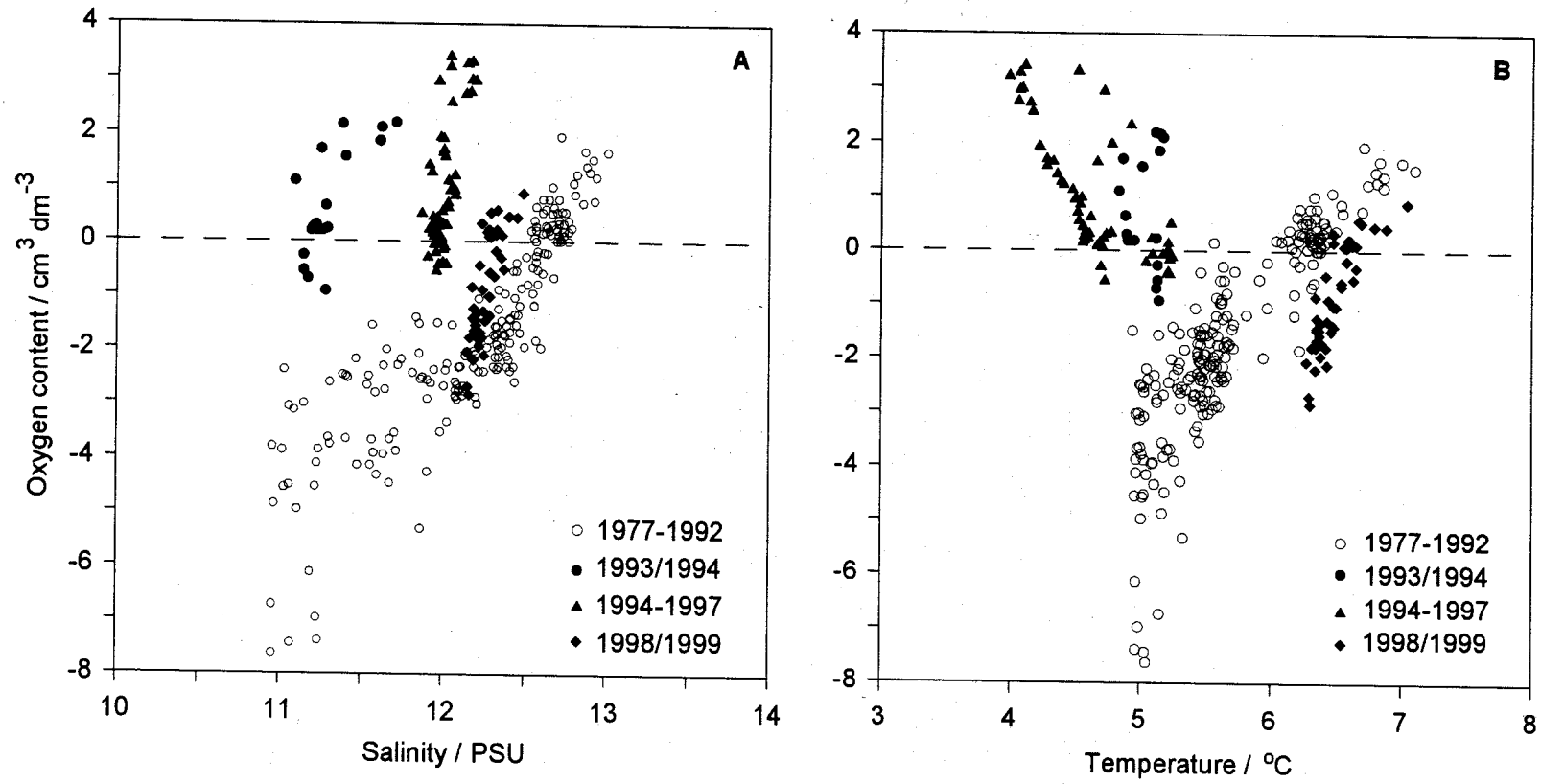


Abb. 29

Korrelogramme Sauerstoff/Salzgehalt (A) und Sauerstoff/Temperatur (B) im 200 m Horizont des Gotlandtiefs für den Zeitraum 1977–1999

## 7. Diskussion

Der Winter 1998/99 kann im Bereich der gesamten Ostsee als mild bis normal charakterisiert werden (STRÜBING, 1999; LUNDQVIST et al., 2000). Die für die Wetterstation Warnemünde berechnete Kältesumme des gesamten Winters lag mit 84 K klar unter dem langjährigen Mittel von 123 K (vgl. Tabelle 1). Der Sommer 1999 reihte sich in die überdurchschnittlich warmen Sommer der 90er Jahre ein. Mit einer Wärmesumme von rund 243 K ist er der fünftwärmste seit 1946 (vgl. Tabelle 3). Der September erreichte mit fast 50 K das 6fache des langjährigen Mittelwertes (1961–1990) und war damit der wärmste September in der südlichen Ostsee seit 1946.

Insgesamt ergibt sich infolge des milden Winters und des überdurchschnittlich warmen Sommers im Jahresmittel 1999 eine positive Abweichung in der Lufttemperatur an der Wetterstation Arkona von 1,1 K (vgl. Tabelle 2). Das Jahresmittel der Sonnenscheindauer lag im Bereich der Normalwerte. Die Monate Juli, September und November waren überdurchschnittlich sonnenscheinreich. Das Jahr 1999 war aber auch überdurchschnittlich niederschlagsreich.

Das Jahresmittel 1999 der aus Tagesmittelwerten berechneten Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona war mit 7,2 m/s um rund 0,9 m/s geringer als im Jahre 1998. Die Monate Januar, Februar, April sowie Oktober bis Dezember waren windreich, der Sommer war relativ windarm (vgl. Abb. 2).

Die markantesten Perioden mit persistenten westlichen Winden traten im Februar, Oktober und Dezember auf. Infolge der Stürme im Januar/Februar war die Wasserfüllung der Ostsee ständig über-normal und erreichte während der Sturmperioden +25 bis +30 cm (vgl. Abb. 5). Zwischen April und November schwankte der Wasserstand je nach Windbedingungen zwischen +10 und -27 cm. Die Stürme Ende November und der Orkan vom 3./4. Dezember führten innerhalb von 10 Tagen zu einem Wasserstandsanstieg um 50 cm auf +35 cm. Die anschließenden westlichen Stürme transportierten weiterhin Wasser in die Ostsee, so dass Mitte Dezember ein Füllungsgrad von 50 cm über Normal erreicht wurde.

Im Mittel ist der Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee über die Darßer Schwelle im ersten Halbjahr 1999 durch anhaltenden Ausstrom und danach bis zum Jahresende durch anhaltenden Einstrom geprägt (vgl. Abb. 8). Kurzzeitige Einstromereignisse werden in schwacher Form Anfang Februar und etwas stärkerer Intensität von Oktober bis Dezember beobachtet. Von Anfang Juli bis Ende September ist eine anhaltende ästuarine Zirkulation mit schwachem Einstrom in Oberflächennähe und starkem Einstrom in der bodennahen Schicht zu beobachten. Ein ausgeprägter Export von Süßwasser in Richtung Nordsee erfolgt Anfang März und zwischen Anfang Juni bis Anfang Juli (vgl. Abb. 6B und 8).

Die Phase ausgeprägter barokliner Strömung auf der Darßer Schwelle spiegelt sich in der gleichzeitig beobachteten kräftigen Salzgehaltsschichtung wieder (vgl. Abb. 6B). Insgesamt war der Wasseraustausch im Bereich der Darßer Schwelle im ersten Halbjahr 1999 durch außergewöhnlich schwache barotrope und barokline Einstromereignisse gekennzeichnet (vgl. Abb. 6B). Das Halbjahr von Juli bis Dezember war durch sehr intensive barokline Salzwassereinschübe in der bodennahen Schicht gekennzeichnet. Pulsförmige Einschübe mit erhöhtem Salzgehalt von mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule, wie sie für barotrope Einstromereignisse typisch sind, wurden 1999 lediglich Anfang Oktober und November sowie im

Dezember beobachtet (vgl. Abb. 6B). Das über die Drogden Schwelle in die Ostsee transportierte Wasser erreichte Salzgehalte zwischen 20 und 25 PSU (vgl. SMHI, 1999b).

Die Einströme Anfang Oktober und Anfang Dezember 1999 waren von besonderer Bedeutung. Anfang Oktober gelangten ca.  $180 \text{ km}^3$  Wasser mit Temperaturen von  $13\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$  (vgl. Abb. 6A und SMHI, 1999b) in die Ostsee, die im Tiefenwasser des Bornholmbeckens Ende November zur Erhöhung der Temperaturen auf über  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  führten (vgl. Abb. 14 und 25). Das Einstromereignis Ende November/Anfang Dezember, bei dem innerhalb von nur 10 Tagen wiederum etwa  $180 \text{ km}^3$  salz- und sauerstoffreiches Wasser über die Schwellen in die Ostsee transportiert wurden, führte im Dezember zur Erneuerung des Tiefenwassers im Bornholmbecken (vgl. Abb. 16 und 25).

Infolge des milden Winters gingen die Temperaturen im Oberflächenwasser der Beltsee, des Arkona- und Bornholmbeckens nur auf  $2,5\text{--}3 \text{ }^\circ\text{C}$  zurück. Auch im östlichen Gotlandbecken wurden nur minimale Werte von  $2,5\text{--}3 \text{ }^\circ\text{C}$  und im westlichen Gotlandbecken von  $2\text{--}2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht (Abb. 10A). Das entspricht einer positiven Anomalie von etwa 1 K.

Ab Juli erwärmte sich das Wasser schnell und erreichte Anfang August Werte von  $20\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$  (vgl. Abb. 10B). Die Erwärmung erfasste die gesamte sommerliche Deckschicht der westlichen und zentralen Ostsee und führte bis in ca. 20 m Tiefe zu Temperaturen  $>15 \text{ }^\circ\text{C}$  (vgl. Abb. 14). Das entspricht positiven Anomalien von  $3\text{--}4 \text{ K}$ , wenn man die langjährigen von MATTHÄUS (1977) berechneten Mittelwerte zugrunde legt. Da der September relativ windschwach (vgl. Abb. 2), überdurchschnittlich warm (vgl. Tabelle 2 und Abb. 4C) und sonnenscheinreich war (vgl. Tabelle 2), gingen die Oberflächentemperaturen nur langsam zurück und erreichten Ende September in einer 15 m mächtigen Deckschicht noch Werte bis  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Im August 1999 wies die Kernschicht des kalten Zwischenwassers (50–70 m) in der zentralen Ostsee infolge des milden Winters Temperaturen von  $3\text{--}4 \text{ }^\circ\text{C}$  auf, was einer positiven Anomalie von etwa 1 K entspricht.

Im gesamten Tiefenwasser der zentralen Ostsee zeigten sich auch 1999 noch die Auswirkungen des 1997/98 in die Ostsee eingedrungenen, sehr warmen Wassers (vgl. Abb. 25). Die Jahresmittel der Temperatur im Tiefenwasser des Bornholm- und Gotlandtiefs lagen noch  $1,7$  bzw.  $0,8 \text{ K}$  über dem Mittel der Periode 1950–1998 (vgl. MATTHÄUS et al., 1999b). Im Tiefenwasser des Färö-, Landsort- und Karlsötiefs stiegen die Jahresmittelwerte sogar um  $0,1\text{--}0,3 \text{ K}$  an (vgl. Tabelle 12). Einstromereignisse Anfang Oktober und Ende Oktober/Anfang November 1999 (vgl. Abb. 6 und 8; SMHI, 1999b) transportierten das im September infolge der extremen meteorologischen Bedingungen überdurchschnittlich erwärmte Wasser aus dem Übergangsgebiet über die Darßer und Drogden Schwelle bis ins Bornholmbecken. Ende November erreichten die Temperaturen im Tiefenwasser des Bornholmbeckens nochmals mehr als  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  (Abb. 14 und 25).

Im Jahre 1999 blieben die Einstromaktivitäten insgesamt nur gering, und es erfolgte kein Salzwassereinbruch. Der Salzgehalt im Tiefenwasser des Bornholmbeckens ging im Laufe des Jahres um etwa 1 PSU zurück (vgl. Abb. 25) und erreichte im Oktober in Grundnähe Werte um 16 PSU. Die Auswirkungen der schwachen Einströme im Oktober, November und Anfang Dezember blieben daher im Wesentlichen auf das Bornholmbecken beschränkt und führten zu einem Anstieg im Salzgehalt um etwa  $1,5 \text{ PSU}$  und einer Verlagerung der 15 PSU Isohaline von etwa 80 m Tiefe im September auf rund 65 m Anfang Dezember (vgl. Abb. 15).

Der Salzgehalt im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens war im Jahre 1999 weiter rückläufig (vgl. Abb. 25). Lediglich im westlichen Gotlandbecken ist seit 1994 ein nahezu kontinuierlicher Anstieg um etwa 3 PSU zu beobachten, der sich auch 1999 noch geringfügig fortsetzte (vgl. Tabelle 12).

Der Salzgehalt im Oberflächenwasser des Bornholmbeckens ist im Jahresmittel 1999 nahezu unverändert niedrig und im östlichen Gotlandbecken nochmals um 0,15 bis 0,2 PSU gegenüber 1998 zurückgegangen (vgl. Tabelle 7). Verglichen mit dem langjährigen Mittelwert 1961–1990 entspricht das negativen Abweichungen von 0,5–0,6 PSU. Im Oberflächenwasser des westlichen Gotlandbeckens gab es dagegen einen geringfügigen Anstieg im Jahresmittel um 0,1–0,2 PSU gegenüber 1998.

Die Stagnationsperiode, die nach dem Salzwassereinbruch 1993/1994 einsetzte (NEHRING et al., 1995c), hat sich im Jahre 1999 in allen Tiefenbecken der Ostsee deutlich verstärkt (vgl. Abb. 25 und 27). Das wird auch durch die niedrigsten Jahresmittelwerte der Sauerstoffkonzentration/Sauerstoffäquivalente im östlichen und westlichen Gotlandbecken dokumentiert (vgl. Tabelle 12), die nach 1993 beobachtet wurden. Lediglich das Bornholmbecken war durch variierende Sauerstoffverhältnisse im bodennahen Bereich gekennzeichnet. Schwache Einströme salzreicheren Wassers im Oktober und Dezember 1998 verbunden mit einem gleichzeitig durch den Sund erfolgten Einstrom führten wie in den Vorjahren zu einer Belüftung des Bornholmbeckens im Frühjahr 1999 (vgl. Abb. 16). Danach kam es wieder zu einem Rückgang der Sauerstoffkonzentration und ab Anfang Juli zum erneuten Auftreten von Schwefelwasserstoff. Einstromereignisse zwischen Oktober und Dezember führten dann wiederum zu recht hohen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser.

Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens weiteten sich die schwefelwasserstoffhaltigen Bereiche weiter aus (vgl. Abb. 26). Auch die vertikale Ausdehnung der schwefelwasserstoffhaltigen Schicht nahm zu.

Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens kam es seit 1993 zu einem kontinuierlichen Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen (vgl. Abb. 25), wie er für die erste Phase einer Stagnationsperiode charakteristisch ist (MATTHÄUS, 1995). In der 2. Jahreshälfte 1999 kam es zum ersten Mal seit Mitte der 80er Jahre wieder zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den grundnahen Schichten (vgl. Abb. 1 und 25). Im August wurde  $H_2S$  im Landsorttief zwischen 125 m und Meeresgrund beobachtet.

Im Jahre 1999 erreichte das durch erheblichen Sauerstoffmangel bzw. anoxische Bedingungen gekennzeichnete Gebiet des Tiefenwassers der zentralen Ostsee seine größte Ausdehnung seit 15 Jahren (vgl. Abb. 26).

Die Konzentrationen von Phosphat und Nitrat im winterlichen Oberflächenwasser schwankten seit 1995 ohne einen eindeutigen Trend aufzuzeigen (vgl. Tabelle 9). Vergleicht man jedoch die erste und die zweite Hälfte der 90er Jahre, zeigt sich besonders in den küstennahen Bereichen der westlichen Ostsee aber auch in der zentralen Ostsee ein eindeutiger Rückgang der Phosphatkonzentrationen (vgl. Abb. 20A). Die Maßnahmen zur Reduktion des Nährstoffeintrages aus Punktquellen scheinen hier gegriffen zu haben. Da sich offenbar bereits wieder ein Gleichgewichtsniveau gebildet hat, erscheint ein weiterer Phosphatrückgang zumindest fraglich.

Beim Nitrat ist dagegen in den 90er Jahren kein signifikanter Rückgang in den Konzentrationen festzustellen (vgl. Abb. 20B). Die Dominanz diffuser Quellen im Einzugsgebiet sowie der atmosphärische Eintrag sind als Ursachen zu benennen.

Die im Jahre 1999 im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens permanent herrschenden anoxischen Verhältnisse widerspiegeln sich auch deutlich in den Nährstoffverhältnissen (vgl. Abb. 18 und 19). Sowohl im Gotlandtief (200 m) als auch im Fårötief (150 m) konnte kein Nitrat nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 10). Ammonium und Phosphat erreichten dagegen im Vergleich der letzten fünf Jahre die höchsten Werte, wenngleich die Extremwerte wie sie am Ende der Stagnationsperiode 1977–1992 (NEHRING et al., 1993b; NAUSCH, NEHRING, 1994) vorlagen, bei weitem noch nicht erreicht werden (vgl. Tabelle 13).

Im Landsorttief kam es mit dem Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen und dem Übergang zu anoxischen Bedingungen zum Rückgang der Nitratkonzentrationen bis auf 0 (vgl. Tabelle 11 und Abb. 27) und ab Mitte des Jahres zu einem kontinuierlichen Anstieg der Ammoniumwerte (vgl. Abb. 17). Auch die Phosphatkonzentrationen sind gegenüber den Vorjahren auf Grund verstärkter Desorptions- und Lösungsvorgänge gestiegen (vgl. Tabelle 10 und Abb. 27).

Aus den winterlichen Konzentrationen der Nährstoffe in den zentralen Bereichen der Ostsee lässt sich abschätzen, dass hier zwischen 30 und 60  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  Kohlenstoff in organischem Material gebunden werden können. Während sich die gemessenen Konzentrationen von POC (vgl. Abb. 23, POC) in dem erwarteten Bereich bewegen, liegen sie für DOC fast bei dem zehnfachen dieses Wertes (vgl. Abb. 23, DOC). Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass nur etwas mehr als 10% des DOM durch Prozesse im marinen Bereich gebildet werden, während der weitaus überwiegende Anteil vermutlich aus terrigenen Quellen eingetragen wird.

In den zentralen Bereichen der Ostsee ist sowohl für POC als auch für DOC eine jahreszeitliche Konzentrationsabhängigkeit zu beobachten (vgl. Abb. 24A), wobei sich dieses saisonale Signal beim DOC nur auf den Anteil erstreckt, der im biogeochemischen Stoffkreislauf umgesetzt wird. In küstennahen Gebieten, die durch bedeutende Flusseinträge geprägt sind (vgl. Abb. 24B), und in der westlichen Ostsee (vgl. Abb. 24C), in der laterale Austauschprozesse zwischen Nord- und Ostsee die aus dem biogeochemischen Stoffkreislauf resultierenden Umsätze überlagern, ist keine Saisonalität der Konzentrationen organischen Materials zu beobachten.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen lassen noch kein abschließendes Urteil darüber zu, ob die während der Wintermonate akkumulierten anorganischen Nährstoffmengen zur Bildung der gemessenen Mengen an organischem Material ausreichend sind oder ob weitere Nährstoffquellen erforderlich sind. Als zusätzliche Nährstoffquelle kommt neben atmosphärischen Einträgen in erster Linie das DOM in Betracht. Da weder die chemische Zusammensetzung des DOM noch die Mechanismen der Remineralisationsprozesse hinreichend bekannt sind, lässt sich die Frage derzeit nicht beantworten, ob alle remineralisierbaren Bestandteile des DOM in den Herbst- und Wintermonaten quantitativ umgesetzt werden. Die Beantwortung dieser Frage könnte Hinweise darauf ergeben, ob ein kurzfristiger Einfluss auf die winterlichen Nährstoffkonzentrationen zu erwarten ist, wenn sich deren terrigene oder atmosphärische Eintragsmengen verändern.

## Danksagung

Die Autoren danken den am Ostsee-Überwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde für die Durchführung der Messungen sowie Kapitänen und Besatzungen der Forschungsschiffe "A. v. Humboldt" und "Alkor" für die Unterstützung und den Einsatz bei den Messfahrten des Jahres 1999. Herrn GERD SCHENKEL danken wir für die gewissenhafte Vorbereitung und Durchführung der gesamten technisch-organisatorischen Arbeiten der Messfahrten. Herrn BARRY BROMAN, Schwedisches Meteorologisches und Hydrologisches Institut (SMHI) Norrköping, gilt unser Dank für die Überlassung von Wasserstandsdaten. Herr JAN SZARON, Ozeanographisches Labor des SMHI in Göteborg, stellte uns hydrographisch-chemische Beobachtungsdaten ausgewählter Ostseestationen aus dem Schwedischen Ozean Archiv (SHARK) zur Verfügung, die im Rahmen des nationalen schwedischen Umwelt-Überwachungsprogramms gewonnen wurden. Dem SMHI danken wir darüber hinaus für die Genehmigung zur Verwendung von Oberflächen-temperaturkarten der Ostsee. Die Maritime Abteilung des Instituts für Meteorologie und Wasserwirtschaft (IMGW) in Gdynia übermittelte uns freundlicherweise Beobachtungsdaten der Stationen "Bornholmtief" und "Danziger Tief" (cf. also IMGW, 1999). Frau GISELA TSCHERSICH, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg, sind wir dankbar für die Bereitstellung von Satellitendaten. Herr Dr. REINER TIESEL stellte uns freundlicherweise die Langzeitreihen der Wärme- und Kältesummen der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde zur Verfügung. Vom Deutschen Wetterdienst erhielten wir die Wind-Daten der Wetterstationen Arkona und Warnemünde.

## Literaturverzeichnis

- ANONYMOUS, 2000: Langes Gedächtnis der Landschaft – beim Stickstoff Gnadenfrist mit später Reue? – Internet: [http://idw.tu-clausthal.de/public/zeige\\_pm.html?pmid=18537](http://idw.tu-clausthal.de/public/zeige_pm.html?pmid=18537).
- BACHOR, A., 1996: Nährstoffeinträge aus Mecklenburg-Vorpommern in die Ostsee 1990-1995. – *Wasser & Boden*, **48**, 33-36.
- V. BODUNGEN, B., GRAEVE, M., KUBE, J., LASS, H. U., MEYER-HARMS, B., MUMM, N., NAGEL, K., POLLEHNE, F., POWILLEIT, M., RECKERMANN, M., SATTLER, C., SIEGEL, H., WODARG, D., 1995: Stoff-Flüsse am Grenzfluß – Transport- und Umsatz-Prozesse im Übergangsbereich zwischen Oderästuar und Pommerscher Bucht (TRUMP). – *Geowiss.* **13**, 479-485.
- DWD, 1999: WitterungsReport Daten. – *Deutscher Wetterdienst, Offenbach*, **1**, Nr. 1-13.
- GOERING, J. J., 1968: Denitrification in the oxygen minimum zone of the eastern tropical North Pacific. – *Deep Sea Res.*, **15**, 157-164.
- GRASSHOFF, K., EHRHARD, M., KREMLING, K., 1983: *Methods of seawater analysis*. 2nd ed., Verlag Chemie, Weinheim, 1-419.
- HAGEN, E., FEISTEL, R., 2000: Deep water changes in the Baltic Sea in winter 1997/98. – *Cont. Shelf Res.* (im Druck).
- HELCOM, 1993: The Baltic Sea joint comprehensive environmental action plan. – *Baltic Sea Environ. Proc.*, **49**, 1-58.
- HELCOM, 1997: Airborne pollution load to the Baltic Sea 1991-1995. – *Baltic Sea Environ. Proc.*, **69**, 1-55.
- HELCOM, 1999: Manual for marine monitoring in the COMBINE programme of HELCOM. – *Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki*. Updated 1999: Internet: <http://www.helcom.fi/ec.html>.
- HUMBORG, C., NAUSCH, G., NEUMANN, T., POLLEHNE, F., WASMUND, N., 1998: The exceptional Oder flood in summer 1997 – the fate of nutrients and particulate organic matter in the Baltic Sea. – *Dt. Hydrogr. Z.*, **50**, 169-182.
- IMGW, 1999: Monitoring cruise reports. *Inst. Meteorol. Water Managem., Marit. Branch, Gdynia*.
- KAISER, W., SCHULZ, S., 1978: Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. – *Fischerei-Forsch.*, Rostock, **14** (2), 77-81.
- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., 1996: The IOW – Baltic stations Darss Sill & Oder-Bank – part of the German Marine Monitoring Network–MARUM. *Baltic Marine Science Conference, Rønne, Denmark, October 22-26, 1996* (Paper; Publikation in: *Symposium Proceedings des ICES, 1997*).

- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., KOCH, M., KÄMMERER, H., KNUTZ, T., 1998: Autonomous instrumentation carrier (APIC) with acoustic transmission for shallow water profiling. – *Oceanology International 98: The Global Ocean. Conf. Proc.*, 2, 149-158.
- LASS, H.-U., SCHMIDT, T., SEIFERT, T., 1996: Hiddensee upwelling – field measurements and modelling results. *Baltic Marine Science Conference*, Rønne, Denmark, October 22-26, 1996 (Paper; Publikation in: *Symposium Proceedings des ICES*, 1997).
- LENZ, W., 1971: Monatskarten der Temperatur der Ostsee. – *Dt. Hydrogr. Z., Erg.-H. B.*, 11, 1-148.
- LUNDQVIST, J.-E., BERGQUIST, I., 2000: A summary of the ice season and icebreaking activities 1998/99. – *SMHI-Sjöfartsverket, Norrköping 2000*, 1-47.
- MATTHÄUS, W., 1977: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee. – *Beitr. Meereskunde*, Berlin, 40, 117-155.
- MATTHÄUS, W., 1990: Langzeittrends und Veränderungen ozeanologischer Parameter während der gegenwärtigen Stagnationsperiode im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. – *Fischerei-Forsch.*, Rostock, 28, 3, 25-34.
- MATTHÄUS, W., 1994: Auswirkungen der Salzeintröme 1993/1994 auf die ozeanographischen Bedingungen in der zentralen Ostsee. – *Inf. Fischwirtsch.*, Hamburg, 41, 142-147.
- MATTHÄUS, W., 1995: Natural variability and human impacts reflected in long-term changes in the Baltic deep water conditions - a brief review. – *Dt. Hydrogr. Z.*, 47, 47-65.
- MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., 1995: The recent salt inflow into the Baltic Sea. – *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 280-286.
- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1996: The Baltic Sea in 1996 - continuation of stagnation and decreasing phosphate concentrations. – *Dt. Hydrogr. Z.*, 48, 161-174.
- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1997: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1996. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, 24, 1-49.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.-U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1998a: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1997. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, 29, 1-65.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.-U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1998b: The Baltic Sea in 1997 – Impacts of the extremely warm summer and of the exceptional Oder flood. – *Dt. Hydrogr. Z.*, 50, 47-69.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.-U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1999a: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1998. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, 35, 1-69.
- MATTHÄUS, W., NAUSCH, G., LASS, H.-U., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1999b: The Baltic Sea in 1998 – Characteristic features of the current stagnation period, nutrient conditions in the surface layer and exceptionally high deep water temperatures. – *Dt. Hydrogr. Z.*, 51, 67-84.
- MEYER, H., LAMPE, R., 1999: The restricted buffer capacity of a south Baltic estuary – the Oder estuary. – *Limnologica*, 29, 242-248.
- MILLERO, F. J., 1986: The thermodynamics and kinetics of H<sub>2</sub>S. – *Proc. of the Chemical and Physical Oceanography of the Black Sea*, Göteborg, Sweden, 2.-4. June 1986.
- MOHRHOLZ, V., 1998: Transport- und Vermischungsprozesse in der Pommerschen Bucht. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, 33, 1-106.
- MOHRHOLZ, V., M. PASTUSZAK, S. SITEK, K. NAGEL, LASS, H. U., 1998: The exceptional Oder flood in summer 1997 – riverine mass and nutrient transport into the Pomeranian Bight. – *Dt. Hydrogr. Z.* 50, 129-144.
- NAUSCH, G., NEHRING, D., 1994: Nutrient dynamics in the Gotland Deep – reactions to the major salt water inflow in 1993. – *Proc. 19th Conf. Baltic Oceanographers*, 29 August – 1 September 1994, Sopot, 2, 551-559.
- NAUSCH, G., NEHRING, D., 1996: Baltic proper, Hydrochemistry. In: *Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989–1993; Background Document.* – *Baltic Sea Environ. Proc.*, 64B, 80-85.
- NAUSCH, G., SCHLUNGBAUM, G., 1995: Nährstoffdynamik in einem flachen Brackwassersystem (Darß-Zingster Boddengewässer) unter dem Einfluß variierender meteorologischer und hydrographischer Bedingungen. – *Bodden*, 2, 153-164.
- NAUSCH, G., NEHRING, D., ÆRTEBJERG, G., 1999: Anthropogenic nutrient load of the Baltic Sea. – *Limnologica*, 29, 233-241.
- NEHRING, D., 1990: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee von 1979 bis 1988 – ein Vergleich. – *Meereswiss. Ber.*, Warnemünde, 2, 2-45.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., 1991: Current trends in hydrographic and chemical parameters and eutrophication in the Baltic Sea. – *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 76, 297-316.



- NEHRING, D., TIESEL, R., FRANCKE, E., 1990: Beziehungen zwischen einigen ozeanologischen Größen der Ostsee und den Lufttemperaturen an der DDR-Küste. – Beitr. Meereskunde, Berlin, **61**, 79-92.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., 1993a: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1992. – Dt. Hydrogr. Z., **45**, 281-331.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., 1993b: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1993. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **7**, 1-68.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., 1994a: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1993. – Dt. Hydrogr. Z., **46**, 151-162.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., 1994b: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1993. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **7**, 1-68.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1995a: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1994. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **9**, 1-71.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1995b: The Baltic Sea 1994 – consequences of the hot summer and inflow events. – Dt. Hydrogr. Z., **47**, 131-144.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1995c: The Baltic Sea in 1995 – beginning of a new stagnation period in its central Baltic deep waters and decreasing nutrient load in its surface layer. – Dt. Hydrogr. Z. **47**, 319-327.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1996: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **16**, 1-43.
- PASTUSZAK, M., NAGEL, K., NAUSCH, G., 1996: Variability in nutrient distribution in the Pomeranian Bight in September 1993. – Oceanologia, **38**, 195-225.
- REDFIELD, A. C., KETCHUM, B. H., RICHARDS, F. A., 1963: The influence of organisms on the composition of sea water. – In: HILL, M. N. (Ed.): The Sea, Vol. II. Wiley, New York, 26-77.
- SCHINKE, H., MATTHÄUS, W., 1998: On the causes of major Baltic inflows – an analysis of long time series. – Cont. Shelf Res., **18**, 67-97.
- SIEGEL, H., GERTH, M., SCHMIDT, T., 1996: Water exchange in the Pomeranian Bight investigated by satellite data and shipborne measurements. Cont. Shelf Res., **16**, 1793-1817.
- SIEGEL, H., MATTHÄUS, W., BRUHN, R., GERTH, M., NAUSCH, G., NEUMANN, T., POHL, C., 1998: The exceptional Oder flood in summer 1997 – distribution patterns of the Oder discharge in the Pomeranian Bight. – Dt. Hydrogr. Z. **50**, 145-167.
- SIEGEL, H., GERTH, M., TIESEL, R., TSCHERSICH, G., 1999: Seasonal and interannual variations in satellite derived sea surface temperature of the Baltic Sea in the 1990s. – Dt. Hydrogr. Z., **51**, H. 2 (im Druck).
- SMHI, 1999a: Ice conditions and sea surface temperatures. Maps No. 1-102, Norrköping.
- SMHI, 1999b: Flow through the Sound in 1999. Internet: [http://www.smhi.se/hfa\\_coord/BOOS/inflow99\\_x.html](http://www.smhi.se/hfa_coord/BOOS/inflow99_x.html) (x = 1-4).
- STRÜBING, K., 1999: The ice winter of 1998/99 on the German coasts between Ems and Oder, with a survey of the entire Baltic area. – Dt. Hydrogr. Z., **51**, 85-95.
- TIESEL, R., 2000: Temperatursummen der Lufttemperaturen an der Wetterstation Warnemünde 1946–1999. – Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Warnemünde (unveröff.).
- TRUMP, 1998: Transport- und Umsatzprozesse in der Pommerschen Bucht (TRUMP) 1994–1996. Abschlußbericht, IOW Warnemünde, 1-32 (unveröff.).
- WASMUND, N., NAUSCH, G., MATTHÄUS, W., 1998: Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea – spatio-temporal development and long-term trends. – J. Plankton Res., **20**, 1099-1117.
- WASMUND, N., ALHEIT, J., POLLEHNE, F., SIEGEL, H., ZETTLER, M., 1999: Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1998 auf der Basis von Phytoplankton-, Zooplankton- und Zoobenthosuntersuchungen. – Meereswiss. Ber., Warnemünde, **37**, 1-75.
- WASMUND, N., ALHEIT, J., POLLEHNE, F., SIEGEL, H., 2000a: Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1999 auf der Basis von Phytoplankton- und Zooplanktonuntersuchungen. – Meereswiss. Ber., Warnemünde (in Vorbereitung).
- WASMUND, N., VOSS, M., LOCHTE, K., 2000b: Annual nitrogen fixation patterns in the Baltic Proper. – Mar. Ecol. Progr. Ser., (im Druck).
- WEDBORG, M., SKOOG, A., FOGELQVIST, E., 1994: Organic carbon and humic substances in the Baltic Sea, the Kattegatt, and the Skagerrak. In: SENESI, N., MIANO, T. M. (eds.): Humic substances in the global environment and implications in human health. Elsevier, Amsterdam, 917-924.

# Meereswissenschaftliche Berichte

## MARINE SCIENCE REPORTS

---

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

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

- 29 (1998) Matthäus, Wolfgang; Nausch, Günther; Lass, Hans Ulrich; Nagel, Klaus; Siegel, Herbert:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1997
- 30 (1998) Fennel, Katja:  
Ein gekoppeltes, dreidimensionales Modell der Nährstoff- und Planktondynamik für die westliche Ostsee
- 31 (1998) Lemke, Wolfram:  
Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression
- 32 (1998) Wasmund, Norbert; Alheit, Jürgen; Pollehne, Falk; Siegel, Herbert; Zettler, Michael L.:  
Ergebnisse des Biologischen Monitorings der Ostsee im Jahre 1997 im Vergleich mit bisherigen Untersuchungen
- 33 (1998) Mohrholz, Volker:  
Transport- und Vermischungsprozesse in der Pommerschen Bucht
- 34 (1998) Emeis, Kay-Christian; Struck, Ulrich (Editors):  
Gotland Basin Experiment (GOBEX) - Status Report on Investigations concerning Benthic Processes, Sediment Formation and Accumulation
- 35 (1999) Matthäus, Wolfgang; Nausch, Günther; Lass, Hans Ulrich; Nagel, Klaus; Siegel, Herbert:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1998
- 36 (1999) Schernewski, Gerald:  
Der Stoffhaushalt von Seen: Bedeutung zeitlicher Variabilität und räumlicher Heterogenität von Prozessen sowie des Betrachtungsmaßstabs - eine Analyse am Beispiel eines eutrophen, geschichteten Sees im Einzugsgebiet der Ostsee (Belauer See, Schleswig-Holstein)
- 37 (1999) Wasmund, Norbert; Alheit, Jürgen; Pollehne, Falk; Siegel, Herbert, Zettler, Michael L.:  
Der biologische Zustand der Ostsee im Jahre 1998 auf der Basis von Phytoplankton-, Zooplankton- und Zoobenthosuntersuchungen
- 38 (2000) Wasmund, Norbert; Nausch, Günther; Postel, Lutz; Witek, Zbigniew; Zalewski, Mariusz; Gromisz, Sławomira; Łysiak-Pastuszek, Elżbieta; Olenina, Irina; Kavolyte, Rima; Jasinskaite, Aldona; Müller-Karulis, Bärbel; Ikauniece, Anda; Andrushaitis, Andris; Ojaveer, Henn; Kallaste, Kalle; Jaanus, Andres:  
Trophic status of coastal and open areas of the south-eastern Baltic Sea based on nutrient and phytoplankton data from 1993 - 1997
- 39 (2000) Matthäus, Wolfgang; Nausch, Günther; Lass, Hans Ulrich; Nagel, Klaus; Siegel, Herbert:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1999