

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

No. 16

**Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995**

von

**Dietwart Nehring, Wolfgang Matthäus, Hans Ulrich Lass  
Günther Nausch und Klaus Nagel**

**Institut für Ostseeforschung  
Warnemünde  
1996**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	2
Summary	2
1. Einleitung	3
2. Meteorologische Bedingungen	4
3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge	9
3.1 Beobachtungen an der Bojenstation „Darßer Schwelle“	9
3.1.1 Wassertemperatur und Salzgehalt	9
3.1.2 Strömung	13
4. Hydrographisch-chemische Bedingungen	16
4.1 Wassertemperatur	16
4.2 Salzgehalt	21
4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff	21
4.4 Nährstoffe	26
4.5 Organische Inhaltsstoffe	34
5. Diskussion	38
Danksagung	41
Literaturverzeichnis	42

## Zusammenfassung

Der milde Winter 1994/95 und der warme Sommer 1995, der an zweiter Stelle der seit 1946 für Warnemünde vorhandenen Beobachtungsreihe liegt, verursachten ausgeprägte positive Temperaturanomalien in der Oberflächenschicht der gesamten Ostsee und im Baltischen Zwischenwasser der zentralen Ostsee.

Der Einstrom in die Ostsee hat sich im Jahre 1995 stark abgeschwächt. Die meteorologischen Bedingungen führten weder zu einem Salzwassereinbruch noch zu größeren Einströmen salz- und sauerstoffreicheren Wassers in die Ostsee, so daß im Tiefenwasser der zentralen Becken eine neue Stagnationsperiode begann. Dadurch entstanden anoxische Bedingungen im Bornholm- und Danziger Becken.

Die Winterkonzentrationen der anorganischen Nährstoffe in der Oberflächenschicht der eigentlichen Ostsee sind seit einigen Jahren durch eine insgesamt abnehmende Tendenz gekennzeichnet, die beim Phosphat stärker als beim Nitrat ausgeprägt ist. Dies wird mit der drastischen Abnahme des Düngemittelverbrauchs im Flußwassereinzugsgebiet der Ostsee in Zusammenhang gebracht. Im stagnierenden Tiefenwasser bestimmten die Veränderungen in den Redoxbedingungen die Verteilung der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen.

Untersuchungen über den organisch gebundenen Phosphor ergaben, daß in der euphotischen Schicht der Ostsee ein Pool vorhanden ist, der in der biologisch aktiven Jahreszeit ansteigt. Im Tiefenwasser, vor allem in der grundnahen Wasserschicht, ist das Phosphat die mit Abstand dominierende Größe.

Der Anteil partikulären organischen Materials (POC) am organischen Gesamtkohlenstoffgehalt ist mit 10 % relativ gering. In Abhängigkeit von der Phytoplanktonentwicklung und von allochthonen Einträgen sind jedoch deutliche saisonale und regionale Unterschiede vorhanden. Im Vergleich dazu sind die entsprechenden Unterschiede beim gelösten organischen Material (DOC) relativ gering.

Der Beginn einer neuen Stagnationsperiode in Verbindung mit dem erneuten Auftreten von Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser des Bornholm- und Danziger Beckens verschlechterten 1995 die abiotischen Umweltbedingungen des Ostseedorsches. Der milde Winter 1994/95 schuf dagegen günstige Laichbedingungen für Hering und Sprotte.

## Summary

The mild winter 1994/95 and the warm summer 1995, the latter ranging at the second place of the observations in Warnemünde since 1946, caused relatively great positive anomalies of the temperatures in both the surface layer of the entire Baltic and the intermediate water of the central Baltic Sea.

The inflow into the Baltic Sea diminished considerably in 1995. The meteorological conditions gave rise to neither major Baltic inflows nor greater inflow events of saline and oxygen rich water across the sills. Thus, a new stagnation period began in central Baltic deep waters causing anoxic conditions in the Bornholm and Gdańsk Basins in August 1995.

The winter concentrations of inorganic nutrients are characterized by a decreasing tendency in the surface layer of the Baltic Proper in recent years. The reduction is more pronounced in the phosphate concentrations than in the nitrate concentrations. The decrease of the nutrient winter concentrations is discussed in connection with the strongly reduced fertilizer consumption in the catchment area of the Baltic Sea since the late 1980s. In central Baltic deep waters, the distribution of the inorganic phosphorus and nitrogen compounds was dominated by the redox conditions.

Investigations on organic phosphorus compounds indicated a pool in the euphotic layer of the Baltic Sea increasing in seasons with high biological productivity. Phosphate is the dominating phosphorus compound in Baltic deep waters, especially in the near-bottom layer.

The share of particulate organic carbon (POC) related to total organic carbon is about 10 % and thus relatively low. The POC concentrations show clear seasonal and regional differences in the Baltic Sea depending on the phytoplankton development and allochthonic inputs. The corresponding differences of dissolved organic carbon (DOC) are relatively low.

The begin of a new stagnation period causing the formation of hydrogen sulphide in the deep water of the Bornholm and Gdańsk Basins deteriorated the environmental conditions of Baltic cod in 1995. On the contrary, the mild winter 1994/95 generated favourable spawning conditions for herring and spratt.

## 1. Einleitung

Das hydrographisch-chemische Ostsee-Überwachungsprogramm des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) wurde 1995 auf der Grundlage der Verwaltungsvereinbarung mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Hamburg und Rostock fortgesetzt. Dem IOW wird darin als Hoheitsaufgabe der hydrographisch-chemische Beitrag Deutschlands für das Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt übertragen. Weitere Aufgaben dieses Programms sind die Überwachung des Wasseraustausches zwischen Ost- und Nordsee sowie der hydrographisch-chemischen Bedingungen in den zentralen Ostseebecken. Diese Untersuchungen sind damit auch für die Prognosen der Ostseefischerei von Bedeutung.

Ebenso wie in den Vorjahren (vgl. NEHRING et al., 1995 a,b) wurden auch 1995 fünf Monitoring-Fahrten durchgeführt, die alle 4 Jahreszeiten sowie zusätzliche Beobachtungen im März-April umfaßten. Die Lage der beprobten Stationen, soweit sie für die nachfolgenden Auswertungen verwendet wurden, sind der Abb. 1 zu entnehmen. Zwecks internationaler Zuordnung dieser Stationen sei auf NEHRING et al. (1993) verwiesen.

Grundlage des hydrographisch-chemischen Standard-Meßprogramms, das mit den Forschungsschiffen „A.v.Humboldt“ und „Prof. Albrecht Penck“ durchgeführt wurde, sind die Richtlinien für die 3. Stufe des BMP (HELCOM, 1988). Angaben über die Gewinnung der Wasserproben und die untersuchten Parameter sowie die verwendeten Meßverfahren und ihre Genauigkeit sind bei NEHRING et al. (1993 bzw. 1995a) enthalten.

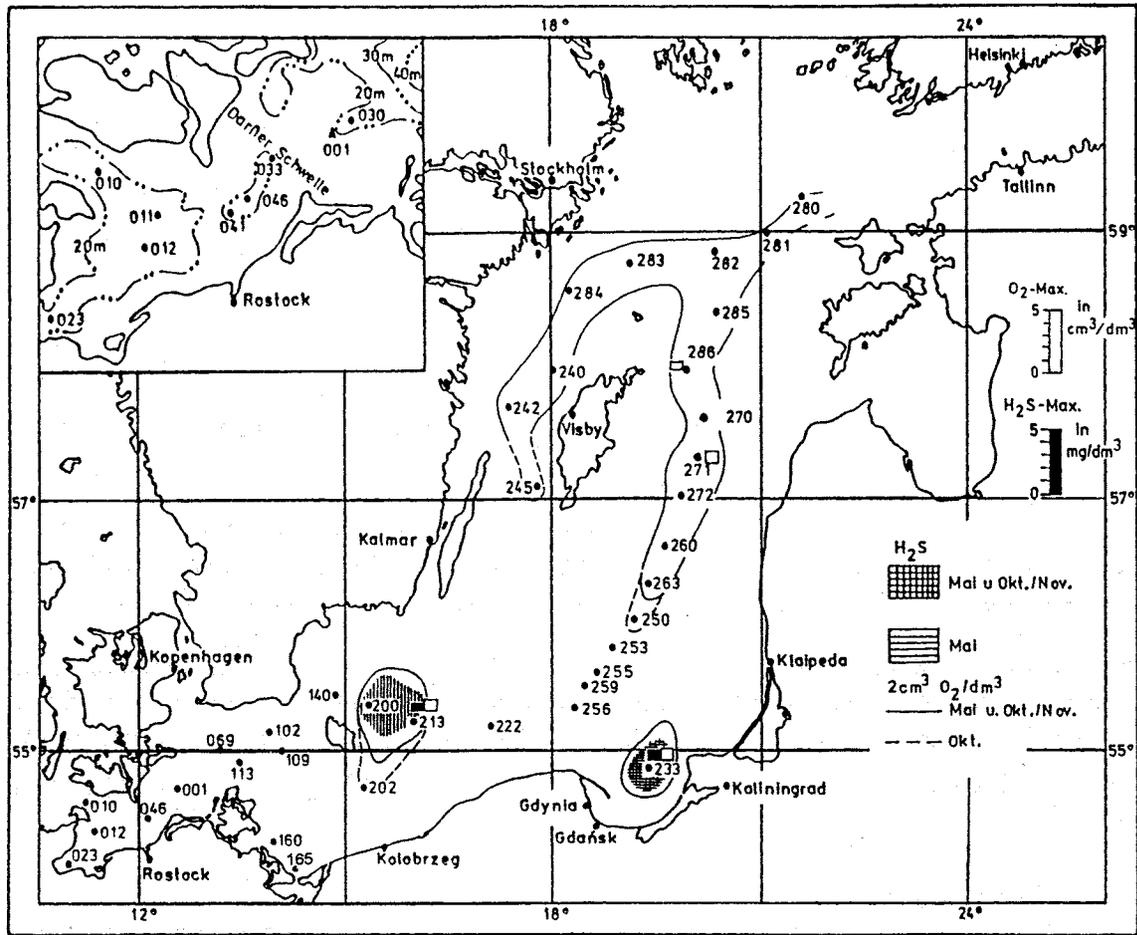


Abb. 1 Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht im Jahre 1995

Die schiffsgebundenen Untersuchungen wurden durch Messungen an einer autonomen Meßplattform im Gebiet der Darßer Schwelle (Stat. 001) ergänzt. Neben meteorologischen Parametern werden an dieser Station die Wassertemperatur und der Salzgehalt in 9 bzw. 4 Tiefen registriert und als Stundenmittel aus 6 Messungen telemetrisch via Wettersatellit (METEOSAT) an die Datenbank des BSH übertragen (vgl. KRÜGER et al., 1995). Angaben über die Strömungsverhältnisse an dieser Station werden darüber hinaus durch einen selbstregistrierenden akustischen Doppler-Profil-Strömungsmesser (ADCP) erhalten.

## 2. Meteorologische Bedingungen

Der Witterungsablauf, der die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Oberflächenschicht des Meeres beeinflusst, wurde auch 1995 durch meteorologische Beobachtungen an den Wetterstationen Warnemünde und Arkona des Deutschen Wetterdienstes Offenbach sowie an der Bojenstation „Darßer Schwelle“ charakterisiert. Tabelle 1 zeigt die für Warnemünde ermittelten Temperatursummen, die auch Rückschlüsse auf die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht der zentralen Ostsee gestatten (NEHRING et al., 1990).

**Tabelle 1**    **Temperatursummen der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde (TIESEL, 1996); mittlere Temperatursummen 1961 bis 1990 in Klammern**

		Kältesummen <sup>1)</sup> (K)		Wärmesummen <sup>2)</sup> (K)	
				Apr. 1995	3,7    (0,3)
Nov. 1994	-	(2,4)		Mai 1995	7,6    (5,2)
Dez. 1994	6,1	(26,5)		Jun. 1995	16,3   (19,2)
Jan. 1995	28,0	(50,2)		Jul. 1995	103,3   (41,6)
Feb. 1995	-	(32,7)		Aug. 1995	117,5   (38,2)
Mär. 1995	2,0	(10,7)		Sep. 1995	4,6    (7,7)
Apr. 1995	-	(0,04)		Okt. 1995	4,7    (0,5)
$\Sigma$ 1994/95	36,1	(123,0)		$\Sigma$ 1995	257,7   (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

Die Kältesumme des Winters 1994/95 liegt deutlich unter dem langjährigen Mittelwert. Sie ist die zehntniedrigste in der seit 1946/47 für die Wetterstation Warnemünde vorliegenden Meßreihe, die niedrigste Kältesumme mit nur 11 K wurde für den Winter 1974/75 ermittelt (TIESEL, in NEHRING et al., 1990). Infolge des milden Winters kam es 1994/95 zu keiner nennenswerten Eisbildung an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns, und die maximale Eisbedeckung in der Ostsee blieb auf die inneren Teile der Meerbusen beschränkt (vgl. auch Abb. 8).

Außer im Juni und September 1995 lagen die Wärmesummen der einzelnen Monate zum Teil um ein Mehrfaches über dem langjährigen Mittel. Im August wurde die bisher höchste Wärmesumme seit 1946 für Warnemünde ermittelt, die Tagesmitteltemperatur von 16 °C wurde in diesem Monat ebenso wie im Juli an 27 Tagen überschritten.

Im Jahresmittel 1995 war die Anomalie der Lufttemperaturen an der Wetterstation Arkona relativ gering (Tabelle 2). Dabei werden allerdings die stark positiven Anomalien im Februar sowie im Juli, August und Oktober weitgehend durch die im Mittel deutlich zu kalten Monate November und Dezember ausgeglichen. Den Jahrgang der Lufttemperatur im Gebiet der Darßer Schwelle (Stat. 001) zeigt Abb. 3.

Die Sonnenscheindauer war 1995 überdurchschnittlich hoch, wobei die Anomalien relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt sind. Das wird auch aus dem Jahrgang der Globalstrahlung im Bereich der Darßer Schwelle deutlich (vgl. Abb. 3), der für Juli und August durchweg hohe Werte aufweist. Zu sonnenscheinarm waren nur der Juni und der September.

Extrem hohe Niederschlagsmengen traten 1995 nicht auf. Niederschlagsarm waren dagegen die sehr warmen Sommermonate Juli und August sowie der Oktober, November und Dezember. Im Jahresmittel dominierte daher an der Wetterstation Arkona eine negative Niederschlagsanomalie.

Die Windverhältnisse des Jahres 1995 an der Wetterstation Arkona, die in Abb. 2 als Windrose dargestellt sind, unterscheiden sich deutlich von denen im Vorjahr. Während Winde aus westlichen bis nordwestlichen Richtungen mit etwa 35 % der Fälle etwas geringer waren, traten mit 33 % verstärkt Winde aus südwestlichen bis südlichen Richtungen auf. Östliche Winde waren mit 11 % aller Fälle deutlich geringer. Die u-Komponente für die westliche Ostsee (Abb. 3) zeigte im Verlaufe des Jahres länger andauernde Perioden mit westlichen Winden im Januar/Februar, von Mitte März bis Mitte April und von Mitte September bis Ende November, während östliche Winde nur in kurzen Perioden auftraten, vor allem Anfang März, Ende April, im September und Dezember. Von Anfang Mai bis Mitte September war die Windgeschwindigkeit im Mittel relativ gering (Monatsmittel 1-3 m/s). Im gesamten Jahr 1995 wurden Stundenmittel von mehr als 17 m/s (> 8 Bft.) lediglich im September registriert.

**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 1995 bezogen auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961 bis 1990 (ANONYM, 1995)

Monat	$\Delta T_L$ (K)	SD (%)	NH (%)
Januar	0,5	139	171
Februar	3,5	109	122
März	1,0	111	76
April	0,4	112	126
Mai	-0,1	111	105
Juni	-0,6	88	106
Juli	1,6	123	39
August	2,7	136	5
September	0,3	70	151
Oktober	2,0	128	52
November	-1,4	128	49
Dezember	-2,6	179	53
Mittel	0,6	120	88

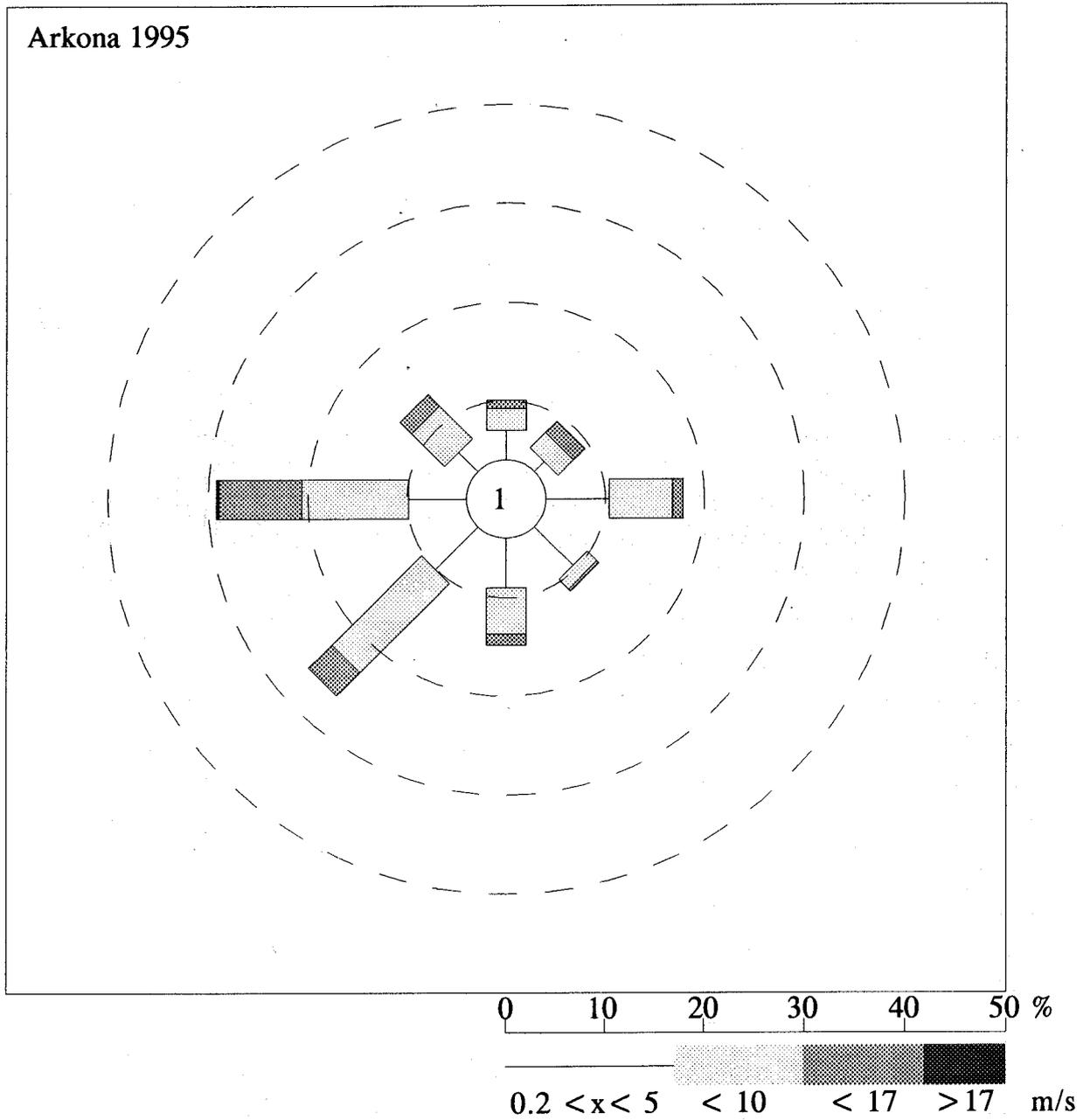


Abb. 2 Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im gesamten Jahr 1995 (nach Daten des DWD)

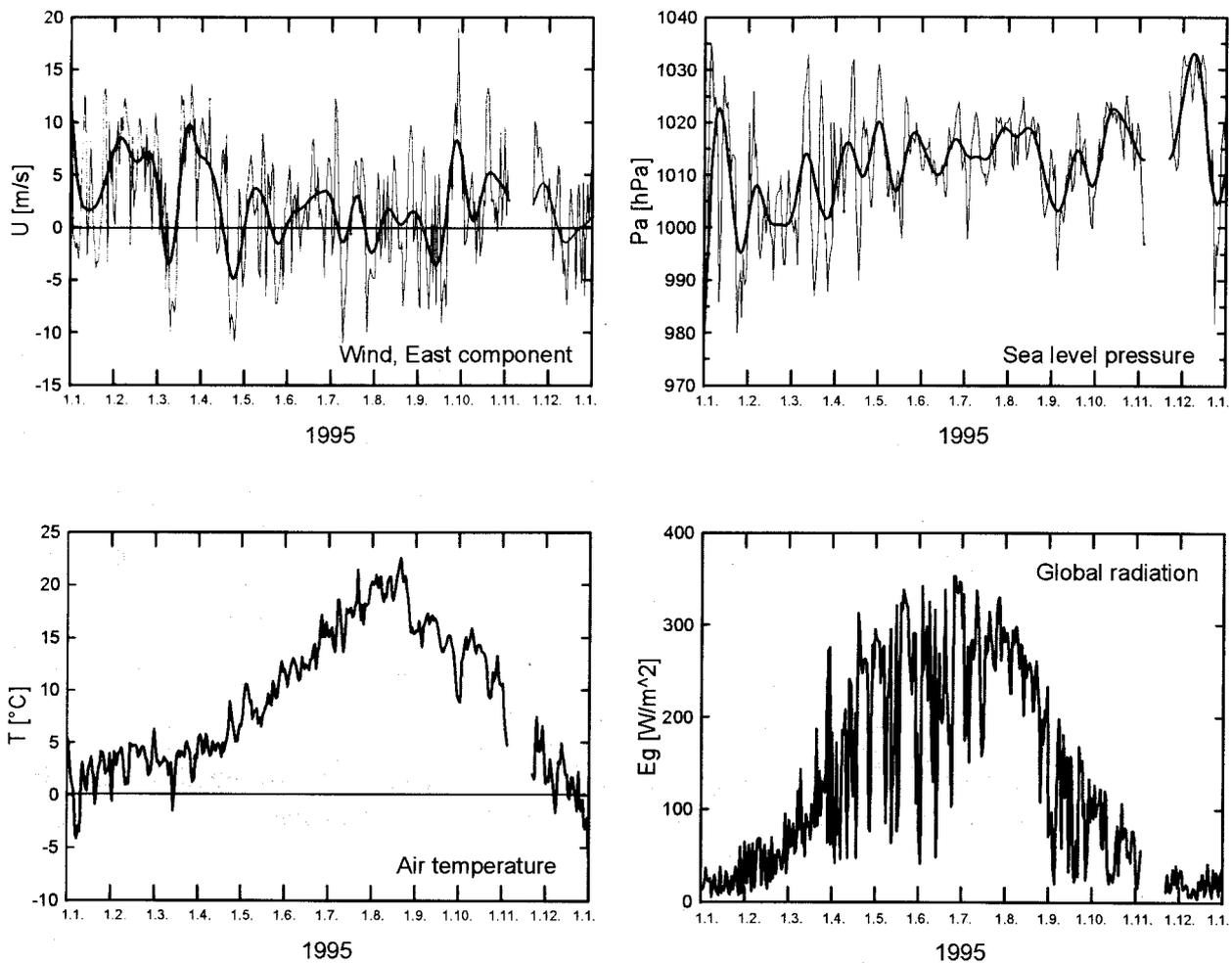


Abb. 3 Tagesmittel (dünne Linie) und mit einer Grenzperiode von 20 Tagen tiefpaßgefilterte Werte (dicke Linie) der Ostkomponente der Windgeschwindigkeit und des Luftdrucks sowie Tagesmittel der Lufttemperatur und der Globalstrahlung auf der Darßer Schwelle (Stat. 001)

Die vorherrschenden Wind- und Luftdruckverhältnisse spiegeln sich deutlich im Wasserstand der Ostsee wider (Abb. 4). Die starken westlichen Winde im Februar und März/April führten zu einem Anstieg des Ostseewasserstandes bis auf etwa 35 cm über Normalfüllung. Die kurzen Ostwindphasen Anfang März und Ende April verringerten die Wasserfüllung bis etwa 20 cm unter Normal. Der seit Mai relativ hohe Luftdruck (vgl. Abb. 3) verbunden mit geringen Windgeschwindigkeiten hatte bis in den Oktober hinein Ostseewasserstände von 10 - 20 cm unter Normal zur Folge. Die relativ lange Ostwindphase im September führte sogar zu einem mittleren Wasserstand von 40 cm unter Normal, so daß der anschließende Sturm aus westlichen Richtungen kurzzeitig einen Einstrom von Wasser mit 13 bis 16 PSU über die Darßer Schwelle (vgl. Abb. 5 und 10) und mehr als 17 PSU über die Drogden Schwelle bewirkte. Die meteorologischen Bedingungen im Jahre 1995 führten insgesamt jedoch zu keinen größeren Einstömen von salz- und sauerstoffreichem Wasser in die Ostsee.

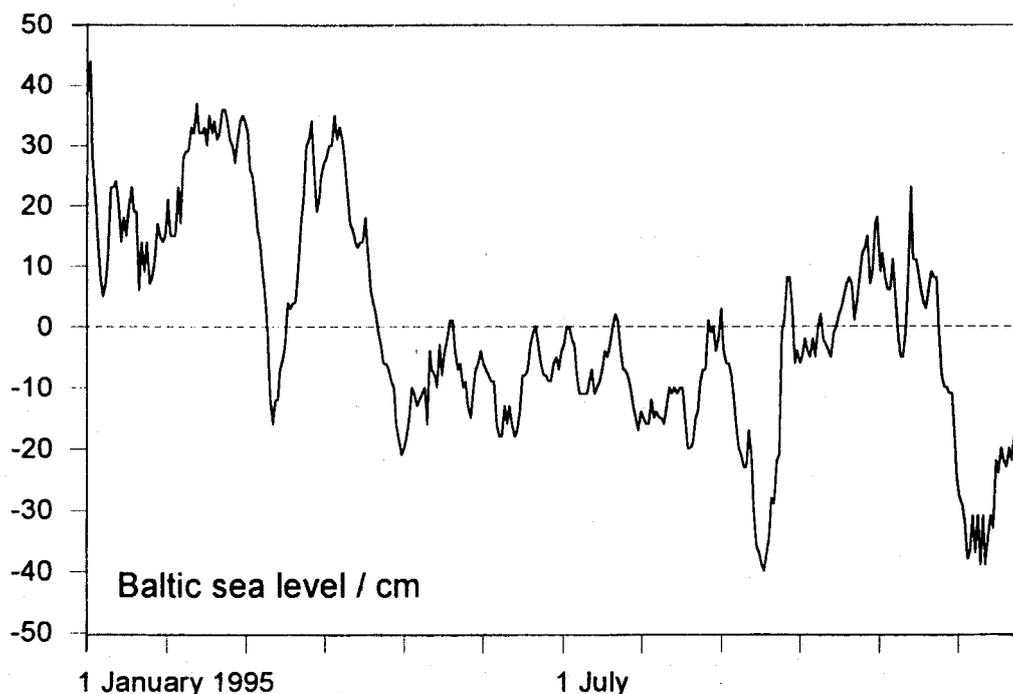


Abb. 4 Schwankungen im Füllungsgrad der Ostsee im Jahre 1995, dargestellt anhand des Wasserstandes von Landsort (nach Daten des SMHI Norrköping)

### 3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge

#### 3.1 Beobachtungen an der Bojenstation „Darßer Schwelle“

Die kontinuierlichen Registrierungen der Wassertemperatur und des Salzgehaltes sowie der Strömungsgeschwindigkeit wurden 1995 an der Bojenstation „Darßer Schwelle“ (Station 001, Abb. 1) fortgesetzt. Leider verhinderten zeitweise Geräteausfälle sowohl der verankerten ADCP als auch des Seacats in 19,5m Tiefe ununterbrochene Zeitreihen der entsprechenden Parameter.

##### 3.1.1 Wassertemperatur und Salzgehalt

Die Jahresmittel der Wassertemperatur, dargestellt in Tabelle 3 für drei Wassertiefen, erreichten an der Darßer Schwelle 1995 hohe Werte, die an der Oberfläche vergleichbar mit denen der warmen Jahre 1992 und 1994 sind. Dies deutet auf eine hohe Wärmezufuhr sowohl in der Beltsee als auch in den benachbarten Seegebieten hin. Ebenso wie in den vorangegangenen Jahren (NEHRING et al., 1995a) wurde auch 1995 im Bereich der Darßer Schwelle eine Temperaturschichtung beobachtet, die jedoch schwächer ausgeprägt war als 1994, denn die mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Oberflächenschicht in 7 m und dem bodennahen Niveau in 17 m Tiefe war nur halb so groß (Tabelle 3). Da die Schichtung in der Beltsee vorwiegend durch horizontale Zufuhr salzreichen Wassers erzeugt wird, ist diese Beobachtung ein Hinweis auf verminderte Advektion oder verstärkte turbulente Windmischung.

**Tabelle 3 Jahresmittelwerte der Wassertemperatur (T) und des Salzgehaltes (S) auf der Darßer Schwelle**

	7 m Tiefe		17 m Tiefe		19,5 m Tiefe	
	T °C	S PSU	T °C	S PSU	T °C	S PSU
<b>1992</b>	9,41 ± 5,46	9,58 ± 1,52	9,01 ± 5,04	11,01 ± 2,27	8,90 ± 4,91	11,77 ± 2,63
<b>1993</b>	8,05 ± 4,66	9,58 ± 2,32	7,70 ± 4,32	11,88 ± 3,14	7,71 ± 4,27	13,36 ± 3,08
<b>1994</b>	8,95 ± 5,76	9,55 ± 2,01	7,94 ± 4,79	13,05 ± 3,48	7,87 ± 4,64	14,16 ± 3,36
<b>1995</b>	9,01 ± 5,57	9,21 ± 1,15	8,50 ± 4,78	10,71 ± 2,27	-	-

Die Fourieramplituden des Jahresganges der Wassertemperatur auf der Darßer Schwelle von vier aufeinander folgenden Jahren sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Der Verlauf der Amplituden zwischen 1992 und 1995 bestätigt das aus der einfachen Statistik abgeleitete Bild, daß die große Wärmezufuhr im Jahre 1995 zu einem Jahresgang führte, der mit den warmen Jahren 1992 und 1994 vergleichbar ist.

**Tabelle 4 Amplituden (K) und Phasen (umgerechnet in Monate) des Jahresganges der Temperatur in verschiedenen Tiefen auf der Darßer Schwelle**

	7 m Tiefe		17 m Tiefe		19,5 m Tiefe	
	Amplitude	Phase	Amplitude	Phase	Amplitude	Phase
<b>1992</b>	7,43	4,65	6,84	4,44	6,66	4,37
<b>1993</b>	6,48	4,79	5,88	4,54	5,84	4,41
<b>1994</b>	7,87	4,42	6,55	4,06	6,32	4,00
<b>1995</b>	7,46	4,36	6,36	4,12	-	-

Die Phasen des Jahresganges der Wassertemperatur sind 1995 ähnlich wie 1994 deutlich geringer als in den beiden vorangegangenen Jahren. Die Erwärmung und thermische Schichtung des Wassers setzte im Frühjahr 1995 um ungefähr zwei Wochen eher ein als 1992 und 1993, nämlich bereits Ende April. Dies ist wahrscheinlich auf die erhöhte Wärmezufuhr zu Beginn des Frühjahrs (vgl. Tabelle 2 und Abb. 3) zurückzuführen.

Gemäß Tabelle 3 wies der mittlere Salzgehalt 1995 im Bereich der Darßer Schwelle den niedrigsten Wert verglichen mit den vorangegangenen Jahren auf. Während der mittlere Salzgehalt an der Oberfläche durch bemerkenswert geringe zwischenjährliche Fluktuationen gekennzeichnet ist, lag er in 17 m Tiefe um mehr als 2 PSU niedriger als 1994, einem Jahr mit intensivem Wasseraustausch (vgl. auch NEHRING et al., 1995a). Die Standardabweichung nahm auch 1995 von der Oberfläche zum Boden zu. Dabei war sie in 7 m Tiefe kleiner als in allen vorangegangenen Jahren. Das bedeutet, daß 1995 der Austausch von Salzwasser zwischen dem Kattegat und der Arkonasee generell schwach und der Oberflächensalzgehalt in stärkerem Maße durch ausströmendes Ostseewasser beeinflusst war.

Der aktuelle Verlauf der Wassertemperatur auf der Darßer Schwelle im Jahre 1995 ist für die Meßtiefen 7 m und 17 m in Abb. 5 dargestellt. Das Minimum der Wassertemperatur wurde Anfang Februar mit Werten zwischen 2,0 °C und 2,5 °C erreicht. Die thermische Schichtung der Wassersäule begann sich Mitte Mai deutlich auszuprägen und blieb in dieser Form bis Mitte September erhalten. Ihr Maximum trat Mitte August auf. Die Temperatur in der Oberflächenschicht stieg in diesem Zeitraum auf Werte von über 20 °C an. Diese hohen Temperaturen sind untypisch für die westliche Ostsee und liegen 3 bis 4 K über den langjährigen Mittelwerten. Sie wurden jedoch auch im Sommer 1994 beobachtet und sind auf die anhaltenden sommerlichen Schönwetterperioden beider Jahre zurückzuführen (vgl. auch Tabelle 1 und 2 sowie Abb. 3). Ab Anfang Oktober nahm die Wassertemperatur in allen Meßtiefen kontinuierlich ab. Ende des Jahres sank sie bis auf 2 °C ab.

Dem Jahresgang der Temperatur sind wie auch 1993 und 1994 (vgl. NEHRING et al., 1995a) in den Sommermonaten Schwankungen mit einer charakteristische Zeitskala von ungefähr 10 Tagen überlagert, die mit den Variationen des Transports in der Beltsee und Auftriebsprozessen im Bereich der Darßer Schwelle gekoppelt sind (vgl. LASS et al., 1987).

Der zeitliche Verlauf des Salzgehaltes auf der Darßer Schwelle im Jahre 1995 ist in Abb. 5 dargestellt. Er zeigt, wie auch in den vorangegangenen Jahren, keinen ausgeprägten Jahresgang. Die Variationen des Salzgehaltes sind dadurch charakterisiert, daß sich, ausgehend von minimalen Werten zwischen 8 und 9 PSU, kurzzeitige Pulse höheren Salzgehaltes von 10 bis 16 PSU mit einer typischen Zeitskala von 10 Tagen bilden. Diese Pulse höheren Salzgehaltes wurden 1995 im Verlauf des ganzen Jahres vor allem in der bodennahen Schicht unterhalb 17 m Tiefe beobachtet. Eine Phase geringerer Pulsaktivität trat Mitte April bis Mitte Juni auf.

Hoher Salzgehalt mit mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule wurde 1995 gar nicht beobachtet. Drei Einströme von Wasserkörpern mit Salzgehalten zwischen 10 und 12 PSU in der Oberflächenschicht erfolgten Anfang Februar, Anfang April und Ende September bis Anfang Oktober (vgl. auch Abb. 4). Darüber hinaus traten vor allem von Anfang Juli bis Anfang September und zum Jahresende barokline Einstromereignisse in der Bodenschicht der Darßer Schwelle auf.

Das Jahr 1995 war somit nur durch schwache Einstromereignisse gekennzeichnet. Zusammen mit dem gleichzeitig durch den Öresund erfolgenden Salzwassereinstrom läßt lediglich das Ereignis im September/Oktober Auswirkungen auf das Tiefenwasser in den zentralen Ostseebecken erwarten.

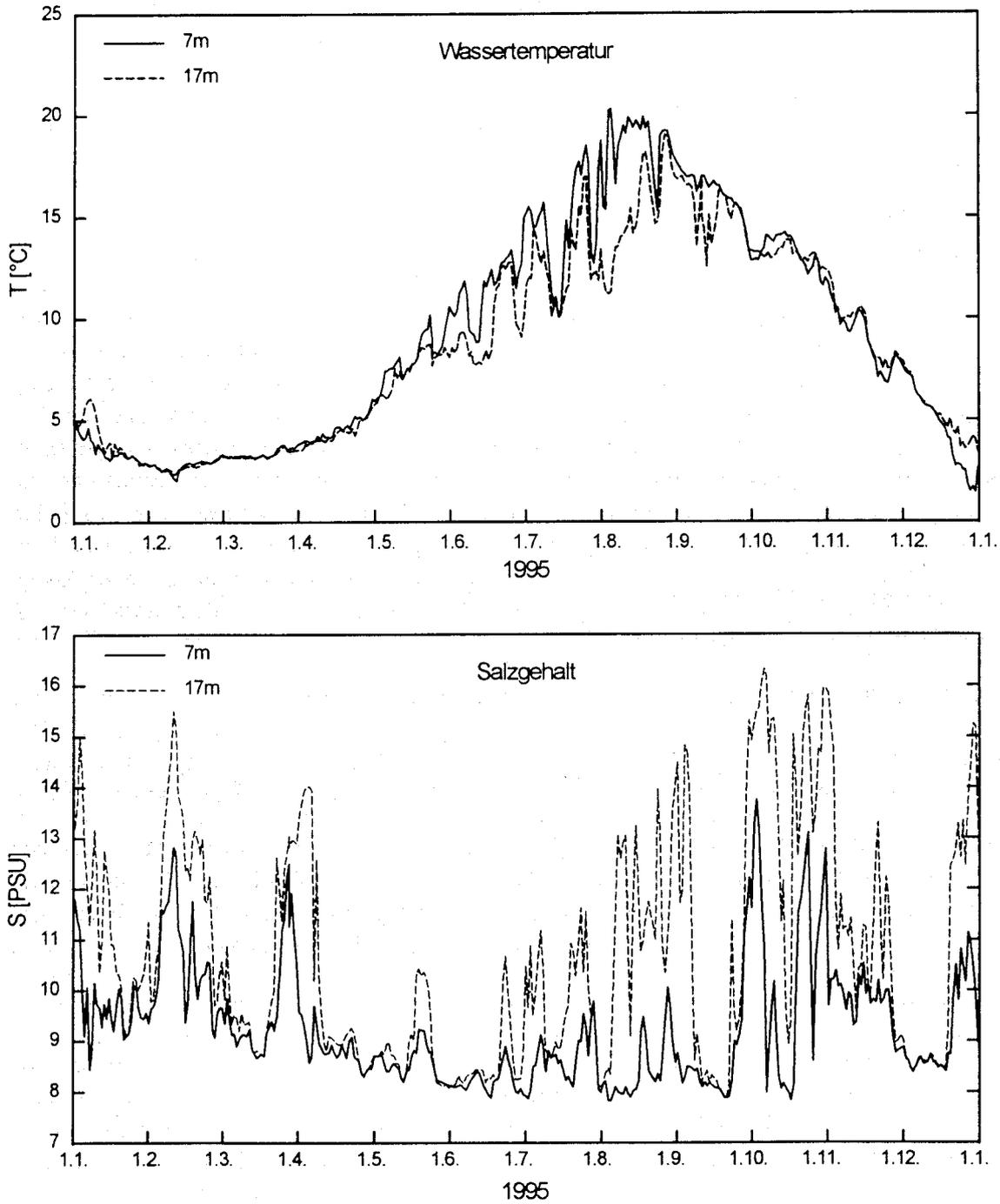


Abb. 5 Verlauf der Wassertemperatur (oberer Teil) und des Salzgehaltes (unterer Teil) in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle im Jahre 1995

Die barotropen Einstromereignisse sind eng mit dem Verlauf der Ostkomponente des Windes in der westlichen Ostsee korreliert, die in Abb. 2 und 3 dargestellt ist. Sie treten bevorzugt dann auf, wenn eine Ostwetterlage von einer Periode länger anhaltender intensiver Westwinde abgelöst wird. Die baroklinen Austauschprozesse werden dagegen vor allem bei schwachen Winden beobachtet, die für den gesamten Sommer 1995 charakteristisch waren.

Der minimale Salzgehalt auf der Darßer Schwelle unterlag 1995 ähnlich wie in den vorangegangenen Jahren (NEHRING et al., 1995a) geringen jahreszeitlichen Schwankungen zwischen 7,5 PSU im Sommer und 9 PSU im Winter.

### 3.1.2 Strömung

Der auf der Darßer Schwelle eingesetzte akustische Doppler-Profilströmnesser (ADCP) der Fa. RD-Instruments liefert seit dem 8. Juni 1994 Stromprofile mit einer vertikalen Auflösung von 1 m zwischen 3 m und 18 m Wassertiefe. Das mit einer Sendefrequenz von 600 kHz betriebene Gerät ist am Meeresboden stationiert. Die 4 Schallstrahlen werden unter einem Winkel von 20° gegenüber der Vertikalen in zwei zueinander senkrechten Ebenen in die Wassersäule abgestrahlt. Aus 300 etwa im Sekundenabstand aufeinander folgenden Messungen wird ein Vektormittel der Strömung in jedem Tiefenniveau berechnet und intern abgespeichert, dessen wahrscheinlicher Fehler  $< 0,5$  cm/s ist. Dieser Vorgang wiederholt sich im stündlichen Abstand. Da in 21 m Wassertiefe, in der sich das Gerät befindet, auch in den Sommermonaten nur geringer Algenbewuchs auftritt, der die Messungen nicht beeinflusste, sind erstmals auch aus diesem Zeitraum hochgenaue Geschwindigkeitsmessungen verfügbar.

Von Ende Mai bis Mitte August 1995 fiel die ADCP-Registrierung jedoch aus, weil ein interner Speicher nicht ordnungsgemäß arbeitete. Da auch die Oberflächenmarkierung des Gerätes verschwunden war und das Gerät erst durch Einsatz eines Unterwasser-Videosystems gefunden und geborgen wurde, konnte der Fehler nicht innerhalb eines Wartungszyklus beseitigt werden.

LASS (in NEHRING et al., 1995a) hat gezeigt, daß das über ein bis zwei Monate gemittelte Stromprofil auf der Darßer Schwelle im Gegensatz zu den statistischen Parametern der Strömungsfuktuationen substantielle Variationen zwischen Sommer- und Winterhalbjahr aufweist. Die nachfolgenden Untersuchungen konzentrieren sich auf Strömungsmessungen in einem Zeitraum, der nahezu ein ganzes Jahr umfaßt (6. Juni 1994 bis 22. Mai 1995). Die mittleren Stromprofile des Untersuchungszeitraums sind in Abb. 6 (oben) dargestellt.

Die Ostkomponente ( $u$ ) der gemittelten Strömung ist in der gesamten Wassersäule negativ. Ihr Betrag nimmt von 2 m bis 15 m Tiefe nahezu linear von 7 cm/s auf 4 cm/s ab. Von 15 m bis 19 m Tiefe nimmt der Betrag weiter bis auf annähernd 0 cm/s ab. Die Nordkomponente ( $v$ ) ist in Oberflächen- und Bodennähe fast Null und erreicht in einem parabolischen Profil in 12 m Tiefe den maximalen Wert von 3 cm/s. Das bedeutet für den Beobachtungszeitraum, daß im Mittel in der ganzen Wassersäule Ausstrom herrschte. Die mittleren Strömungsvektoren sind direkt unter der Meeresoberfläche nach Westen gerichtet. Sie drehen im Uhrzeigersinn bis 14 m Tiefe auf Nordwest und behalten diese Richtung bis zum Boden bei. Dieses Ergebnis läßt die Schlußfolgerung zu, daß im Beobachtungszeitraum der durch die Süßwasserzufuhr angeregte Ausstrom den dichte-bedingten mittleren Einstrom in der gesamten Wassersäule kompensierte. Die vertikal gemittelte Strömung betrug in diesem Zeitraum 3,5 cm/s nach 285°.

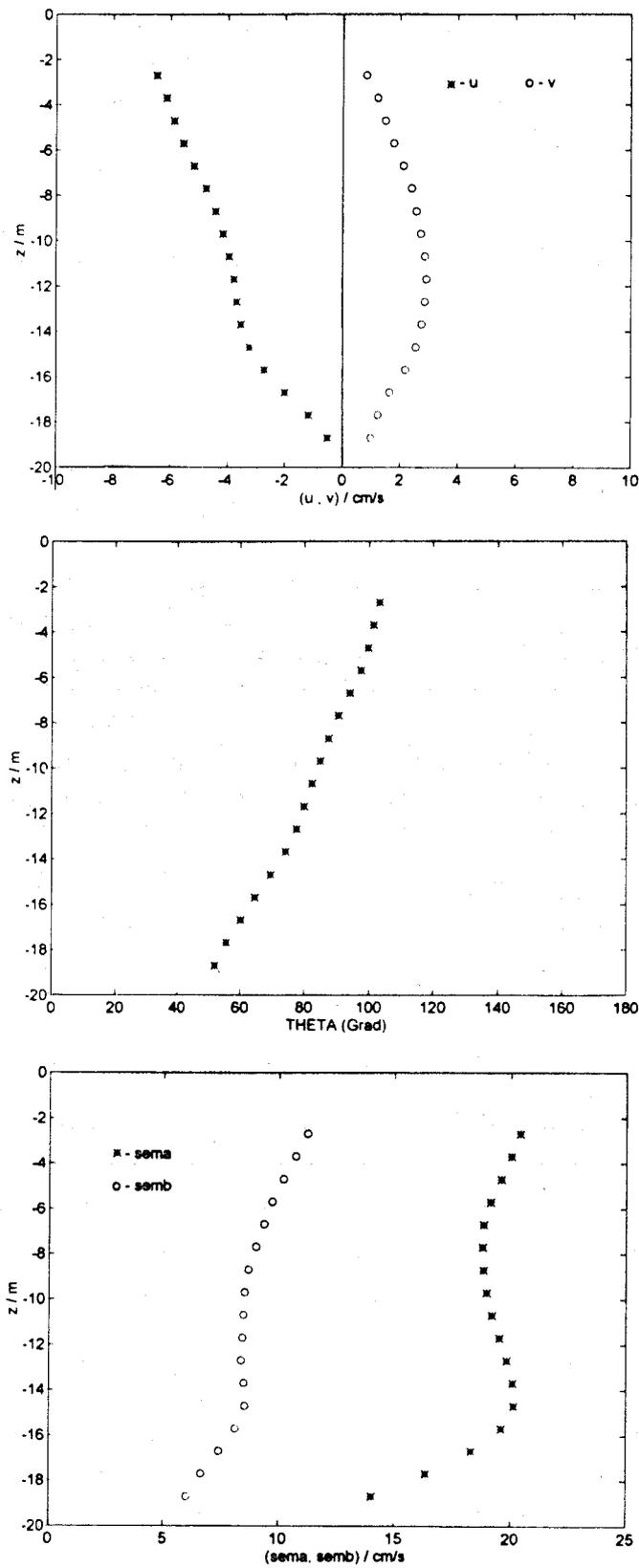


Abb. 6 Mittlere Vertikalprofile der Strömung (oben), der Hauptachsenrichtung (Mitte) und des Betrages der Haupt- und Nebenachse (unten) der Strömungsfluktuationen

Die Strömungsfuktuationen in den verschiedenen Tiefenniveaus der Darßer Schwelle ergaben gegenüber dem Vorjahr (NEHRING et al., 1995a) keine nennenswerten Unterschiede. Ihre statistischen Parameter sind in Mittelungszeiträumen zwischen einigen Monaten und einem Jahr nahezu gleich. Die Hauptachse der Fluktuationen der vertikal gemittelten Strömung ist nach  $80^\circ$  gerichtet (Abb. 6, Mitte). Sie hat einen Betrag von 15 cm/s, während der der Nebenachse 5 cm/s beträgt (Abb. 6, unten).

Die fortschreitenden Vektordiagramme der Strömungsmessungen in den einzelnen Meßhorizonten sind hier nicht dargestellt. Die mittlere Strömung und ihre Fluktuationen erwiesen sich in der Wassersäule als sehr kohärent. Darüber hinaus zeigte sich, daß unterhalb 15 m Tiefe die mittlere Strömung und ihre Fluktuationen stark abnehmen.

Im Sommer 1994 erfolgte eine längere Ausstromphase, der sich vom Herbst bis zum Winter ein Zeitraum anschloß, in dem Ein- und Ausstrom abwechselten. Seit Beginn 1995 trat wiederum ein starker Ausstrom auf, der durch drei kleinere Einstromereignisse unterbrochen ist (vgl. Abb. 4 und 5).

Die Ostkomponente der Pseudo-Trajektorie der vertikal gemittelten Strömung ist in Abb. 7 dargestellt. Ihre Nordkomponente ist vergleichsweise klein (zwischen 0-100 km) und wird deshalb hier nicht gezeigt. Das erste Halbjahr 1995 ist geprägt durch einen intensiven und

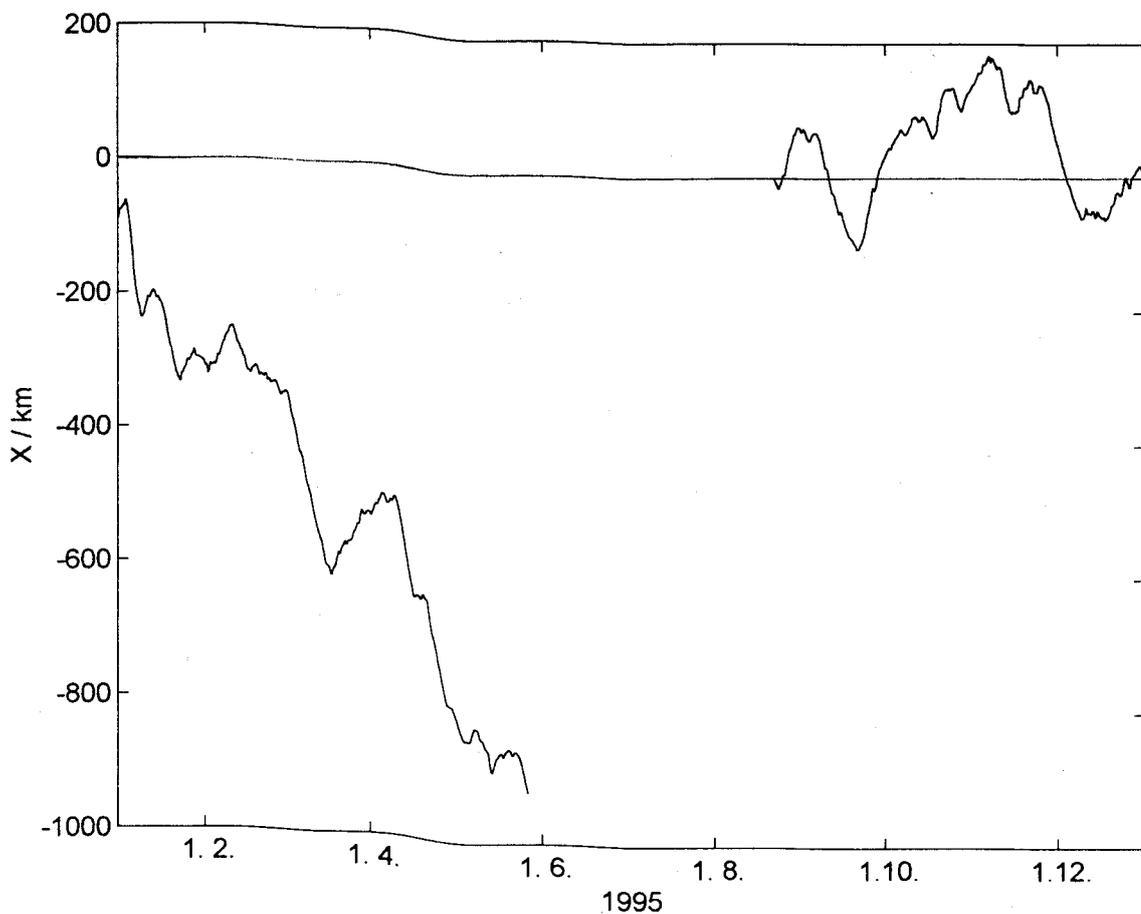


Abb. 7 Ostkomponente der Pseudotrajektorie der vertikal gemittelten Strömung auf der Darßer Schwelle im Jahre 1995

Die Strömungsfuktuationen in den verschiedenen Tiefenniveaus der Darßer Schwelle ergaben gegenüber dem Vorjahr (NEHRING et al., 1995a) keine nennenswerten Unterschiede. Ihre statistischen Parameter sind in Mittelungszeiträumen zwischen einigen Monaten und einem Jahr nahezu gleich. Die Hauptachse der Fluktuationen der vertikal gemittelten Strömung ist nach  $80^\circ$  gerichtet (Abb. 6, Mitte). Sie hat einen Betrag von 15 cm/s, während der der Nebenachse 5 cm/s beträgt (Abb. 6, unten).

Die fortschreitenden Vektordiagramme der Strömungsmessungen in den einzelnen Meßhorizonten sind hier nicht dargestellt. Die mittlere Strömung und ihre Fluktuationen erwiesen sich in der Wassersäule als sehr kohärent. Darüber hinaus zeigte sich, daß unterhalb 15 m Tiefe die mittlere Strömung und ihre Fluktuationen stark abnehmen.

Im Sommer 1994 erfolgte eine längere Ausstromphase, der sich vom Herbst bis zum Winter ein Zeitraum anschloß, in dem Ein- und Ausstrom abwechselten. Seit Beginn 1995 trat wiederum ein starker Ausstrom auf, der durch drei kleinere Einstromereignisse unterbrochen ist (vgl. Abb. 4 und 5).

Die Ostkomponente der Pseudo-Trajektorie der vertikal gemittelten Strömung ist in Abb. 7 dargestellt. Ihre Nordkomponente ist vergleichsweise klein (zwischen 0-100 km) und wird deshalb hier nicht gezeigt. Das erste Halbjahr 1995 ist geprägt durch einen intensiven und

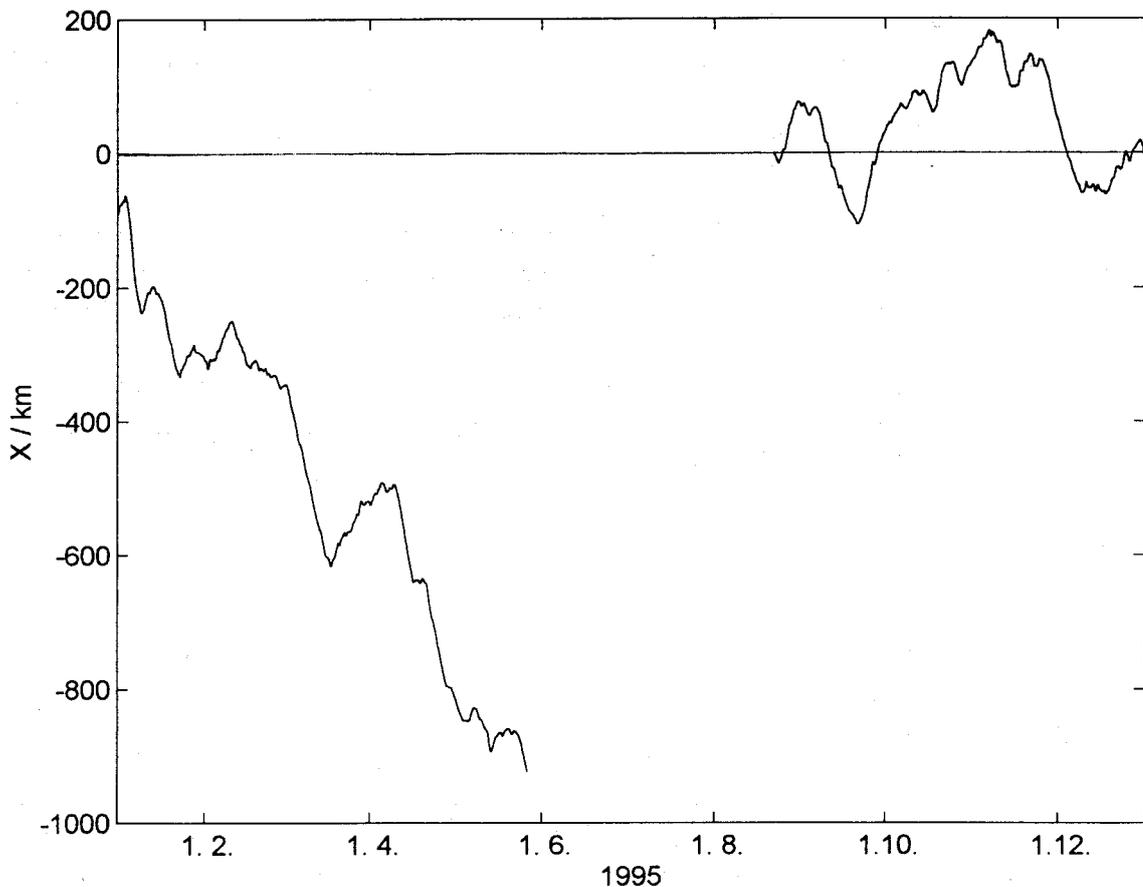


Abb. 7 Ostkomponente der Pseudotrajektorie der vertikal gemittelten Strömung auf der Darßer Schwelle im Jahre 1995

langandauernden Ausstrom. Es ist zu vermuten, daß dieser Ausstrom durch verstärkte Süßwasserzufuhr in die Ostsee verursacht wurde. Er wird nur durch drei kleinere Einstromereignisse zum Jahreswechsel, Anfang Februar und Anfang April unterbrochen. Im zweiten Halbjahr 1995 ist dagegen der mittlere Ausstrom verschwindend gering. Dies weist auf einen ausgeprägten Jahresgang der Süßwasserbilanz der Ostsee mit einem maximalen Süßwasserexport im Frühjahr und einem entsprechenden Minimum im Herbst hin. Die Pseudotrajektorie zeigt im Herbst Einstrom zwischen September und Anfang November an, der lediglich Ende September/Anfang Oktober zum Einstrom von Wasser mit Salzgehalten zwischen 13 und 16 PSU führte (vgl. Abb. 5).

Alle Einstromereignisse waren sowohl mit einer langanhaltenden und intensiven positiven Ostkomponente des Windes (vgl. Abb. 3 und 4) als auch mit der Advektion salzhaltigen Wassers in der Boden- und der Oberflächenschicht der Darßer Schwelle (vgl. Abb. 5) verbunden.

#### 4. Hydrographische-chemische Bedingungen

In den Abb. 9-13 sind die Vertikalverteilungen der Wassertemperatur, des Salz- und Sauerstoffgehalts sowie der Phosphat- und Nitratkonzentrationen auf einem Schnitt zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken, der dem Talweg durch die zentralen Ostseebecken folgt, dargestellt. Auf eine Ergänzung durch weitere Profile wurde verzichtet, weil sie 1995 keine hydrographisch-chemischen Besonderheiten aufwiesen. Im Bedarfsfall wird jedoch verbal auf einzelne Stationen in der Pommernbucht (Stat. 165) sowie des Danziger Beckens (Stat. 233) und westlichen Gotlandbeckens (Stat. 245, 284) eingegangen.

Von ausgewählten Stationen und Tiefen wurden die Jahresmittelwerte für einige hydrographisch-chemische Variable berechnet und mit denen früherer Jahre verglichen. Während bei der Wassertemperatur sowie dem Salz- und Sauerstoffgehalt (Tabelle 5) auch schwedische Daten in die Mittelbildung einbezogen wurden, so daß 11-22 relativ gleichmäßig über das Jahr verteilte Werte zur Mittelbildung zur Verfügung standen, resultieren die Mittelwerte der anorganischen Nährstoffe (Tabellen 6 und 7) ausschließlich aus den saisonalen Messungen sowie einer zusätzlichen Beprobung im März-April durch das IOW.

##### 4.1 Wassertemperatur

Die Verteilung der Wassertemperatur in den untersuchten Seegebieten der Ostsee ist in den Abb. 8 und 9 dargestellt. Infolge des sehr milden Winters 1994/95 (vgl. Kapitel 2) kühlte sich das Oberflächenwasser in der zentralen Ostsee nur auf rund 3 °C ab (Abb. 8). Die Temperaturen zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwelle lagen im Februar/März um etwa 1 K über den langjährigen Mittelwerten (vgl. REICHEL, 1980, 1982). Das Arkonabecken wies im Winter eine positive Anomalie von 1 bis 1,5 K, das Bornholmbecken von 1,5 bis 2 K und das östliche Gotlandbecken von 2 bis 2,5 K auf, wenn die von MATTHÄUS (1975, 1977) angegebenen mittleren Bedingungen zugrunde gelegt werden.

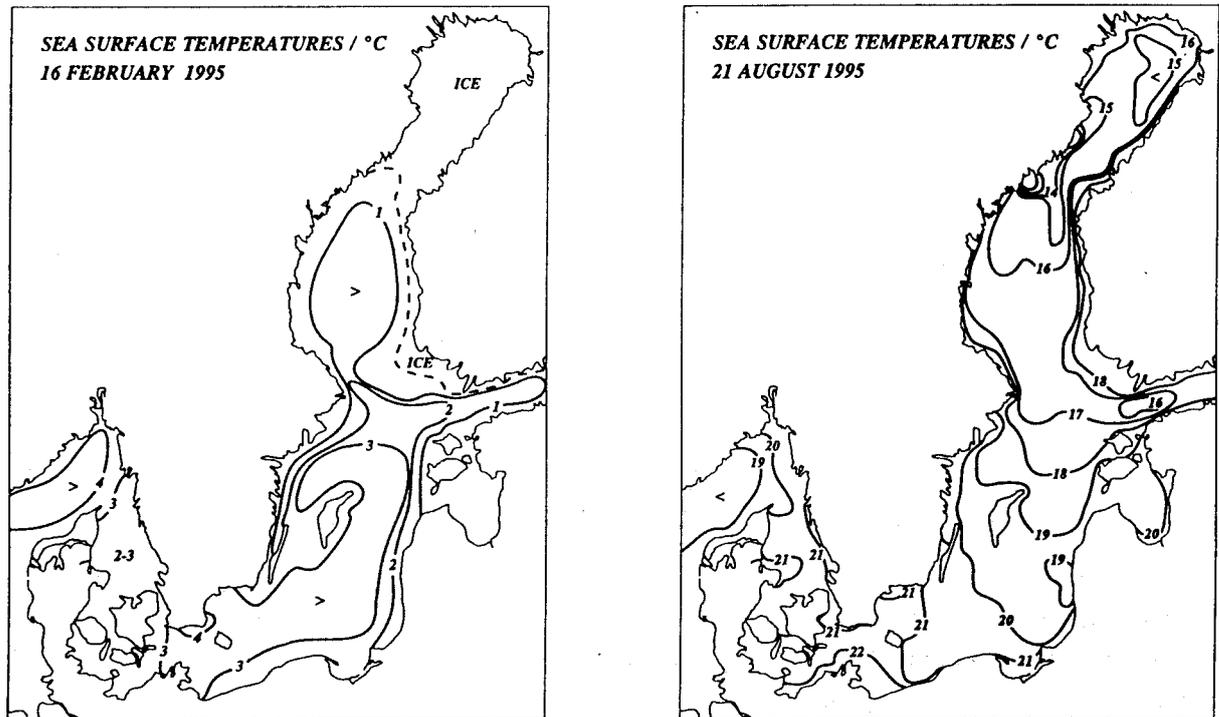


Abb. 8 Verteilung der Oberflächentemperatur der Ostsee zur Zeit der Minimal- (16. Februar, maximale Eisbedeckung) bzw. Maximalwerte (21. August) des Jahres 1995 (bearbeitet nach den Karten Nr. 14 und 66 des SMHI Norrköping)

Da die mittlere Sonnenscheindauer und die Lufttemperaturen zwischen April und Juni 1995 kaum Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten aufwiesen, entsprachen auch die Oberflächentemperaturen den fröhsommerlichen Erwartungswerten. Erst die windschwachen Hochdruckwetterlagen im Juli und August (vgl. auch Abb. 3) verbunden mit extrem hohen Wärmesummen der Lufttemperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung (vgl. Tabellen 1 und 2) führten zu überdurchschnittlichen Temperaturen in der Deckschicht der Ostsee. Mitte August wurden in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken Temperaturen zwischen 21 und 22 °C gemessen (Abb. 9), was positiven Anomalien von 4-5 K entspricht. Im Bornholmbecken wurden noch positive Anomalien von 4 K und im Gotlandbecken solche von 1-2 K beobachtet. Abb. 8, die die Verteilung der Oberflächentemperaturen zur Zeit des Höhepunktes der Erwärmung zeigt, macht deutlich, daß positive Anomalien auch im Finnischen und Bottnischen Meerbusen auftraten (vgl. LENZ, 1971).

Die Kernschicht des kalten Zwischenwassers (50-70 m Tiefe) wies 1995 infolge des sehr milden Winters Temperaturen von 3,5-4 °C auf. Das entspricht einer positiven Anomalie von 0,5 bis 1 K. Diese Anomalie blieb im östlichen Gotlandbecken den gesamten Sommer über erhalten (Abb. 9).

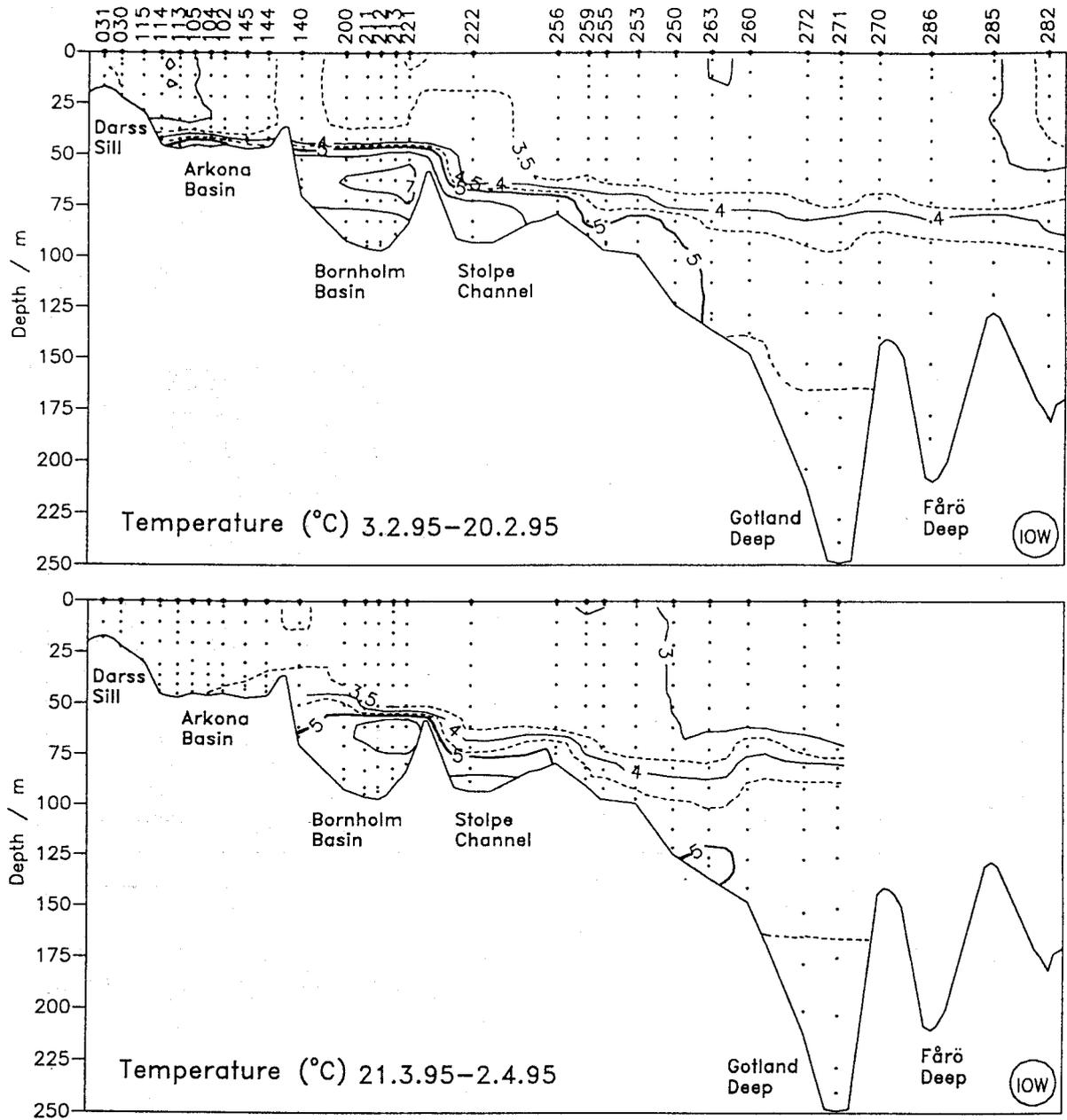


Abb. 9 Vertikale Verteilung der Wassertemperatur zwischen Darßer Schwelle und nord-östlichem Gotlandbecken

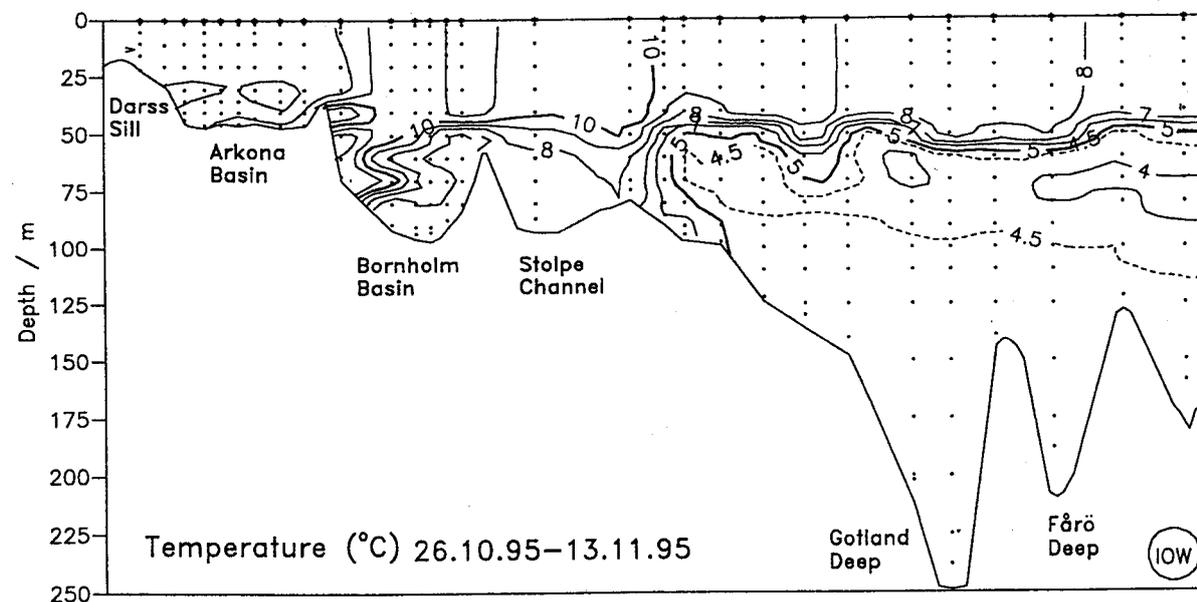
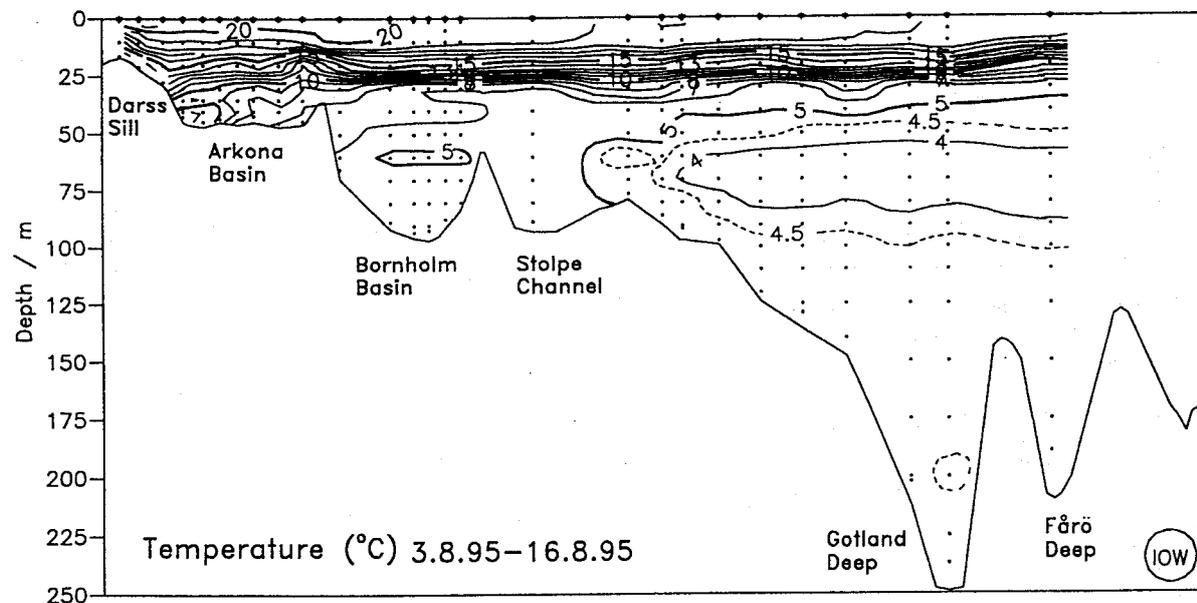
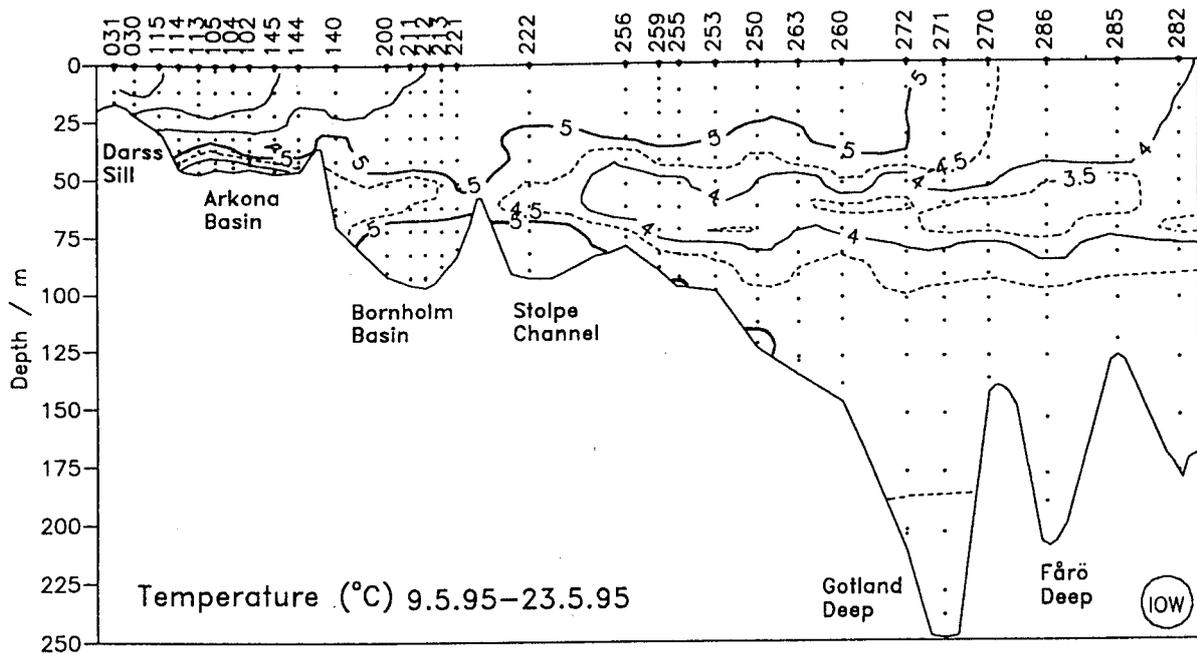


Abb. 9 (Fortsetzung)

**Tabelle 5 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter hydrographischer Parameter im Tiefenwasser der zentralen Ostsee (Maximalwerte hervorgehoben)**

**Wassertemperatur (°C)**

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	5,90 ±0,97	<b>6,22 ±0,35</b>	4,26 ±0,18	4,21 ±0,46	5,85 ±0,56
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	4,96 ±0,04	<b>5,03 ±0,02</b>	5,01 ±0,13	4,68 ±0,48	4,43 ±0,13
<b>286</b> (Färötief)	150	4,97 ±0,14	<b>5,24 ±0,04</b>	5,21 ±0,12	5,03 ±0,13	4,72 ±0,04
<b>284</b> (Landsorttief)	400	4,41 ±0,21	<b>4,86 ±0,09</b>	4,83 ±0,07	<b>4,86 ±0,13</b>	4,74 ±0,11
<b>245</b> (Karlsötief)	100	4,27 ±0,10	<b>4,44 ±0,09</b>	4,15 ±0,25	4,41 ±0,06	4,39 ±0,15

**Salzgehalt (PSU)**

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	14,19 ±0,25	15,26 ±0,45	<b>17,66 ±0,38</b>	17,43 ±0,34	16,61 ±0,31
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	11,26 ±0,07	11,04 ±0,04	11,16 ±0,13	11,78 ±0,38	<b>12,01 ±0,04</b>
<b>286</b> (Färötief)	150	10,32 ±0,16	10,18 ±0,05	10,33 ±0,14	10,75 ±0,29	<b>11,17 ±0,03</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	9,18 ±0,05	8,99 ±0,08	9,04 ±0,15	9,49 ±0,23	<b>9,94 ± 0,16</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	8,34 ±0,20	8,22 ±0,11	7,95 ±0,16	8,45 ±0,16	<b>8,82 ±0,30</b>

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

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	2,26 ±1,06	2,90 ±1,38	<b>4,81 ±1,70</b>	2,43 ±1,07	0,76 ±0,91
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	-4,54 ±1,62	-4,63 ±1,74	-0,61 ±2,39	<b>2,03 ±1,40</b>	1,26 ±0,43
<b>286</b> (Färötief)	150	-1,56 ±0,66	-0,74 ±0,27	-0,73 ±0,59	0,17 ±0,44	<b>0,70 ±0,26</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	0,87 ±0,80	1,17 ±0,34	<b>1,58 ±0,19</b>	1,12 ±0,36	0,92 ±0,22
<b>245</b> (Karlsötief)	100	1,95 ±0,34	2,33 ±0,40	<b>3,79 ±0,61</b>	1,88 ±0,64	1,72 ±0,68

Im grundnahen Wasser des Bornholmbeckens ist die Jahresmitteltemperatur gegenüber 1994 um 1,6 K angestiegen (vgl. Tabelle 5). Im östlichen Gotlandbecken wird dagegen seit 1992 ein mittlerer jährlicher Rückgang um etwa 0,6 K beobachtet, während die Jahresmitteltemperatur im grundnahen Wasser des westlichen Gotlandbeckens gegenüber 1994 nahezu unverändert geblieben ist.

Im Oktober 1995 wurde im Arkonabecken oberhalb der halinen Sprungschicht sehr warmes Wasser (12-13 °C) registriert, das im Laufe dieses Monats eingeströmt ist und sich über dem Ende September/Anfang Oktober eingedrungenen salzreicheren Tiefenwasser einschichtete. Anfang November wurde das warme Wasser im Bornholmbecken in etwa 75 m Tiefe beobachtet (Abb. 9). Gleichzeitig floß das salzreiche Bodenwasser aus dem Arkonabecken ins Bornholmbecken ab (vgl. auch Abb. 10).

#### 4.2 Salzgehalt

In Zusammenhang mit der Salzgehaltsverteilung im Jahre 1995 sei auf die Abb. 10 verwiesen. Das salzreiche Wasser, das bei kleineren Einströmen im November und Dezember 1994 ins Arkonabecken gelangt war (vgl. NEHRING et al., 1995a), wurde im Januar 1995 im grundnahen Wasser des Bornholmbeckens gespeichert, führte aber nicht zu einem Anstieg über 18 PSU. Im Laufe des Frühjahrs drang dieses Wasser unter Vermischung weiter nach Osten vor. Es hatte aber nur geringe Auswirkungen in der zentralen Ostsee. Im Herbst 1995 war der Salzgehalt im grundnahen Wasser des Gotlandtiefs auf 12,2 PSU und des Färötiefs auf 11,3 PSU zurückgegangen, während im westlichen Gotlandbecken noch ein geringer Anstieg zu beobachten war.

Der seit 1990 im grundnahen Wasser des Bornholmbeckens beobachtete Anstieg der Jahresmittelwerte des Salzgehaltes erreichte 1993 mit 17,7 PSU seinen höchsten Wert und ist seitdem um etwa 1 PSU zurückgegangen (vgl. Tabelle 5). Im Bodenwasser des gesamten Gotlandbeckens wurden 1995 jedoch die höchsten Jahresmittel der vergangenen fünf Jahre festgestellt, die gegenüber 1994 nochmals um 0,2 bis 0,4 PSU angestiegen waren.

#### 4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die Vertikalverteilung der Sauerstoffkonzentrationen sowie des Schwefelwasserstoffs im Jahre 1995 ist in Abb. 11 dargestellt; Tabelle 5 gibt Auskunft über die Jahresmittelwerte in der grundnahen Wasserschicht. Die Standardabweichungen der Jahresmittelwerte integrieren die Abnahme des Sauerstoffgehalts und die Bildung von Schwefelwasserstoff durch biochemische Zehrungsprozesse und Sulfatreduktion.

Stürmische Winde in Verbindung mit starker Turbulenz und vertikalem Austausch verhinderten im Mai 1995 die Anreicherung von Sauerstoff und hohe Übersättigungswerte durch die Phytoplanktonentwicklung in der Oberflächenschicht der zentralen Ostsee. Im oberen Bereich der thermischen Dichtesprungschicht zeichnete sich im August ein intermediäres Sauerstoffminimum ab, dessen Ursache die verstärkte biochemische Sauerstoffzehrung durch das hier angereicherte organische Material ist. Solche Minima sind keine Seltenheit; sie werden aber zumeist nicht so deutlich durch die Sauerstoff-Isolinien markiert. Die im Vergleich zu strengen Wintern geringe-

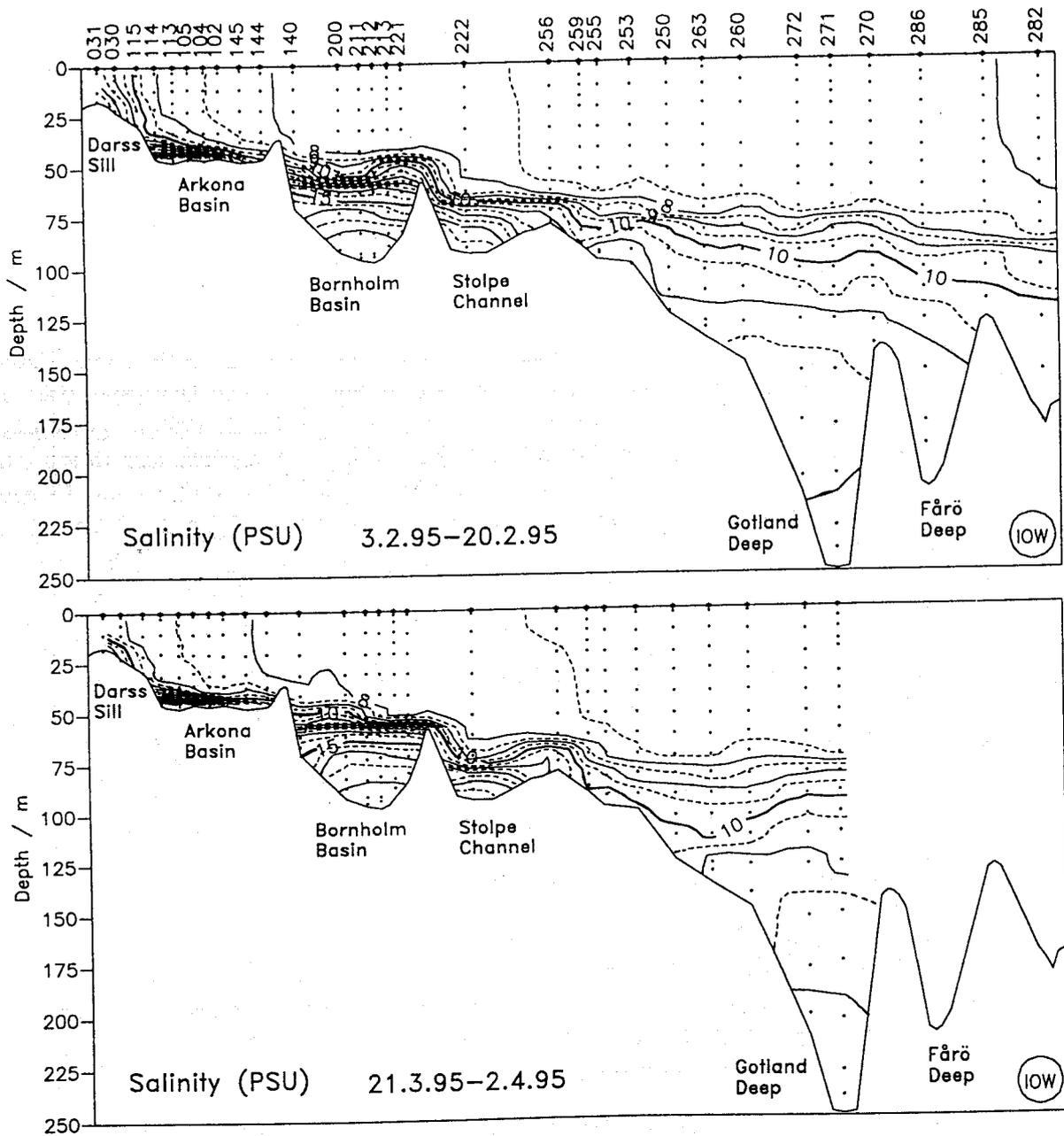


Abb. 10 Vertikale Verteilung des Salzgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

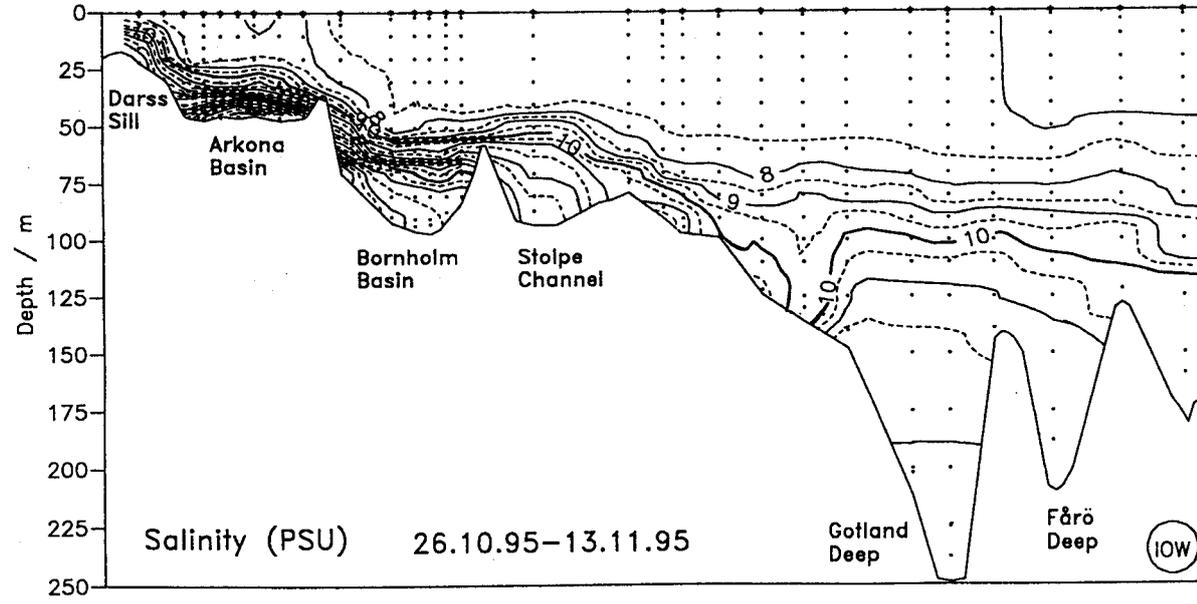
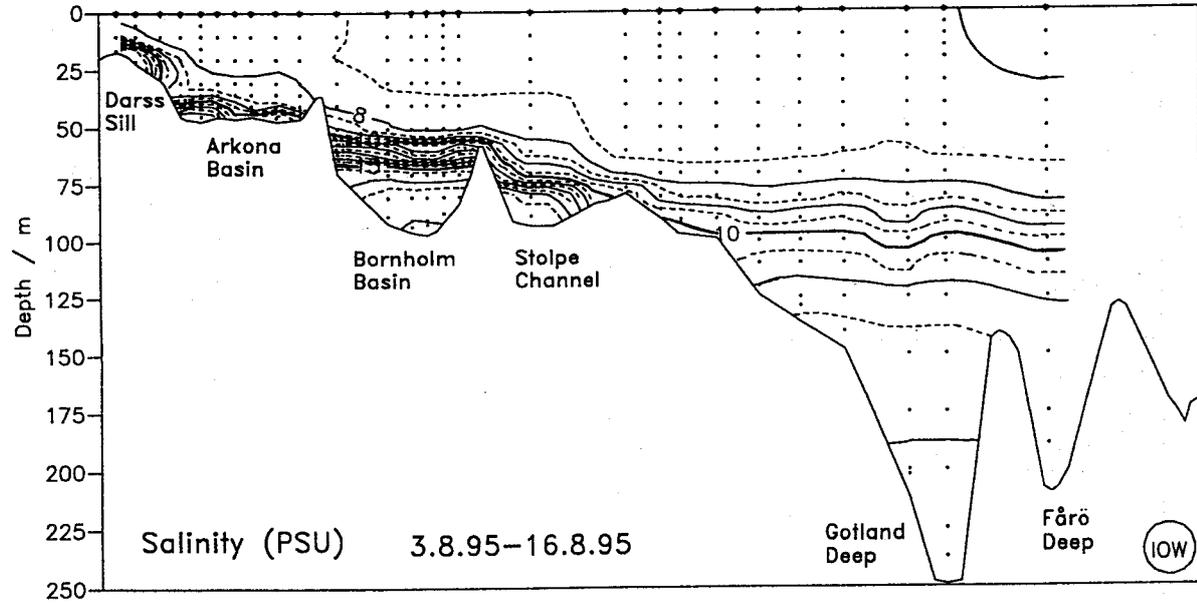
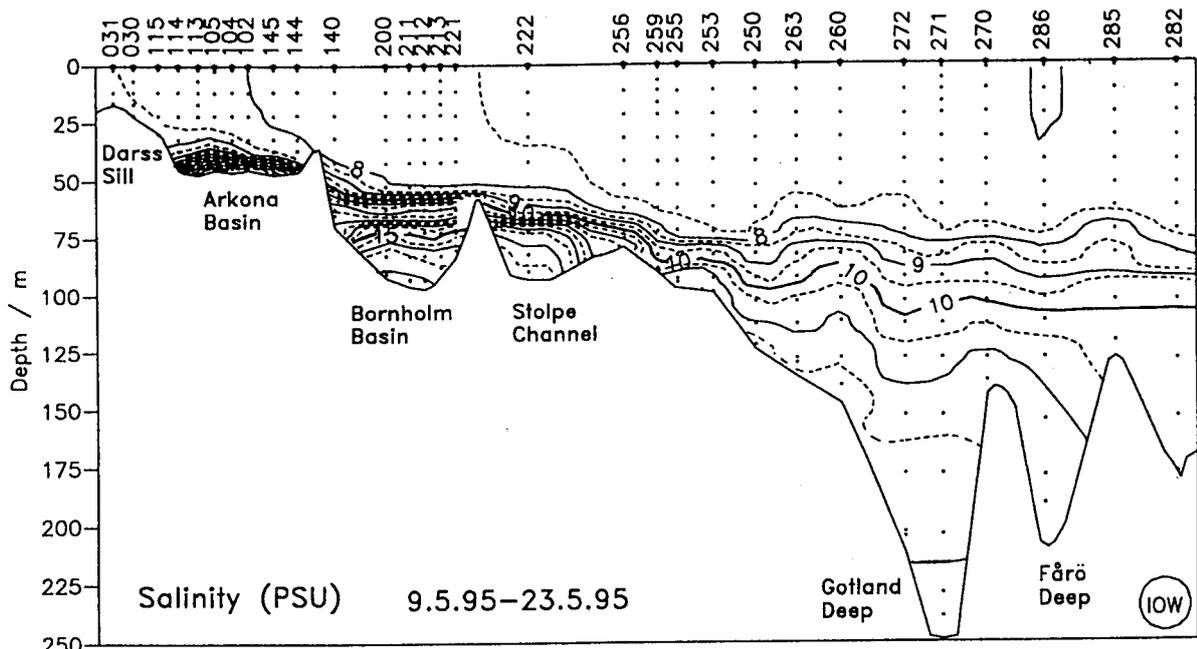


Abb. 10 (Fortsetzung)

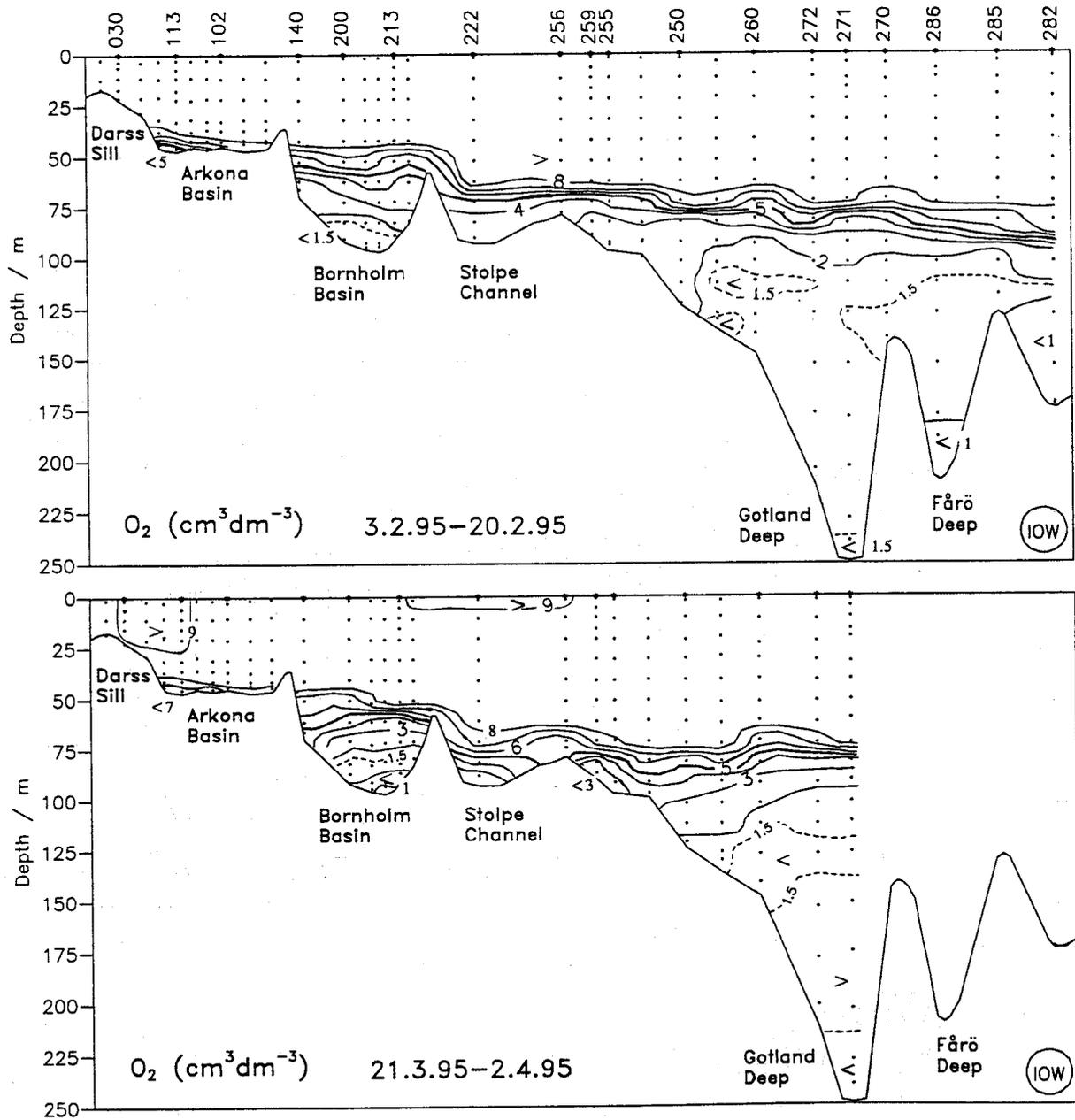


Abb. 11 Vertikale Verteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

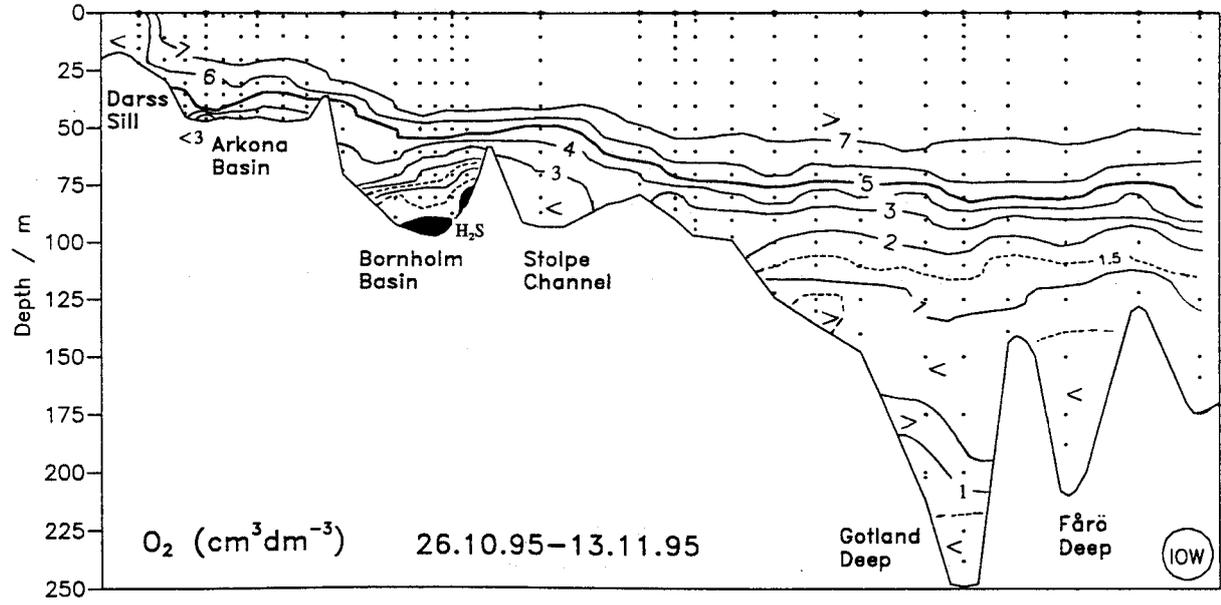
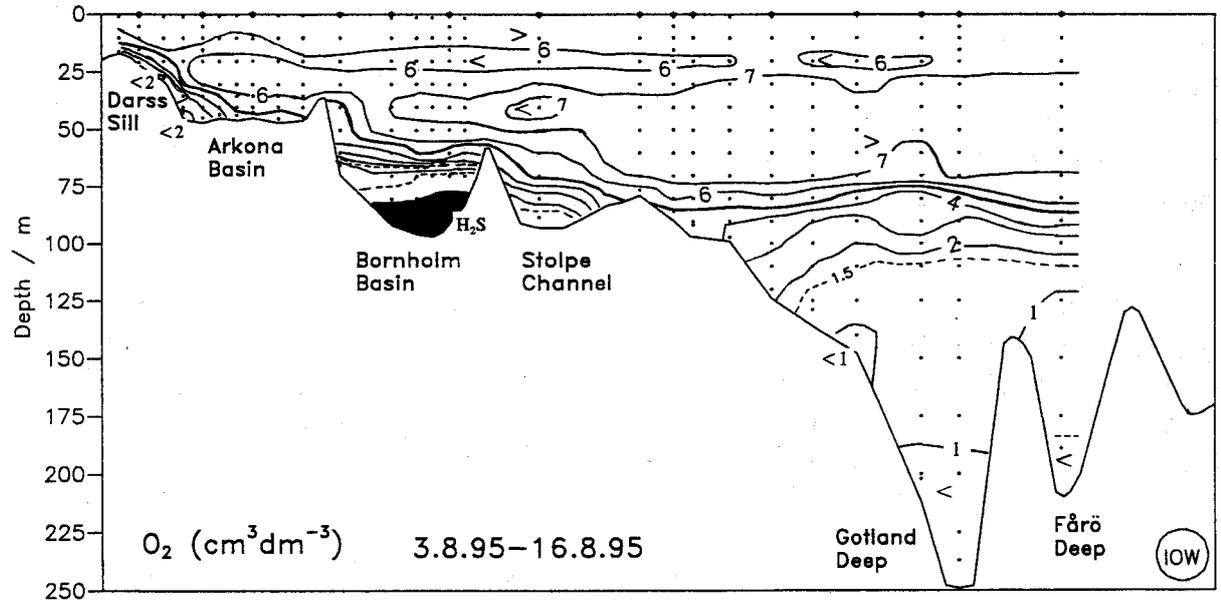
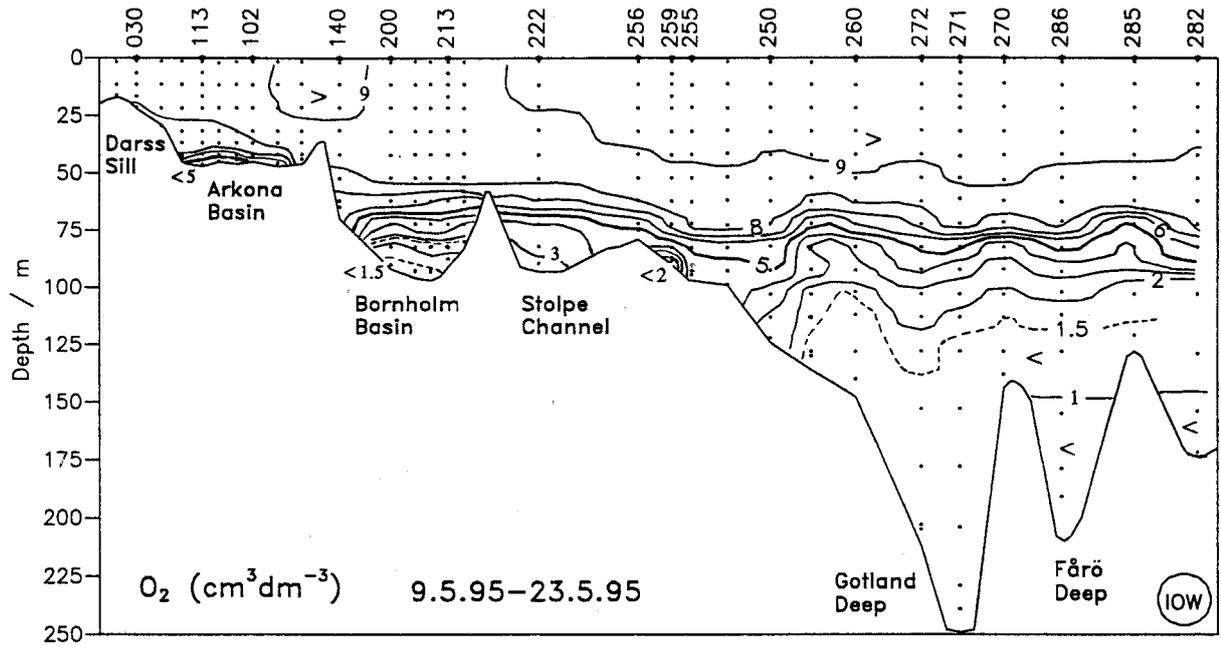


Abb. 11 (Fortsetzung)

ren Sauerstoffkonzentrationen in der Oberflächenschicht führten im Baltischen Zwischenwasser, in dem die winterlichen Bedingungen „konserviert“ sind, zu einer negativen Sauerstoffanomalie, die in den zentralen Ostseebecken im August  $0,3-0,4 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  betrug.

Nach den günstigen Sauerstoffbedingungen im 2. Halbjahr 1994 (NEHRING et al., 1995a,b) verschlechterte sich 1995 die Situation im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken erneut, wobei im Bornholmbecken im August zum ersten Mal seit 5 Jahren wieder Schwefelwasserstoff auftritt (Abb. 11). Advective Prozesse aus dem Arkonabecken, die mit unterschiedlicher Intensität in jedem Jahr erfolgen, hatten jedoch im Herbst die vertikale Ausdehnung des anoxischen Bodenwassers verringert.

Die Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Bornholm- und Gotlandtief kommt auch in den für die grundnahe Wasserschicht berechneten Jahresmittelwerten zum Ausdruck (Tabelle 5). Dies gilt in geringerem Maße auch für das Landsort- und Karlsötief. Im Fårötief waren die mittleren Sauerstoffverhältnisse dagegen deutlich günstiger als in den Vorjahren, weil hier – entgegen früheren Annahmen (NEHRING et al., 1995a,b) – die Wassererneuerung erst 1995 beendet war. Im Danziger Tief, das 1995 nur dreimal beprobt wurde, waren im Februar oxische sowie im Mai (nach polnischen Untersuchungen), August und November anoxische Bedingungen in der grundnahen Wasserschicht vorhanden (vgl. auch Abb. 1).

#### 4.4 Nährstoffe

Die nachfolgenden Untersuchungen konzentrieren sich auf die anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen, die die wichtigsten produktionsbegrenzenden Nährstoffe sind. Vertikalverteilungen dieser Nährstoffe wurden für das Jahr 1995 in Abb. 12 und 13 dargestellt. Tabelle 6 enthält Angaben über die mittleren Winterkonzentrationen in der Oberflächenschicht ausgewählter Stationen. Hohe Standardabweichungen, die insbesondere im Übergangsbereich zur Nordsee sowie vor Flußmündungen angetroffen werden, deuten auf eine inhomogene Verteilung hin. In Tabelle 7 sind die Jahresmittelwerte anorganischer Phosphor- und Stickstoffverbindungen in der grundnahen Wasserschicht zusammengefaßt. Die Standardabweichungen dieser Werte werden einerseits durch die Nährstoffakkumulation infolge biochemischer Mineralisierung und andererseits durch den Vorzeichenwechsel des Redoxpotentials bestimmt. Insbesondere in letztem Fall führen die Entstehung anoxischer Bedingungen sowie die Sauerstoffversorgung durch advective Prozesse zu einer starken Zunahme der Streuung.

Da Silikat in der westlichen und zentralen Ostsee nicht oder nur in Ausnahmefällen zu den wachstumsbegrenzenden Faktoren gehört, wird dieser für die Diatomeenentwicklung essentielle Nährstoff nur randlich behandelt. Weitere Untersuchungen sind dem organisch gebundenen Phosphor gewidmet, dessen Konzentration sich aus der Differenz zwischen der Gesamtphosphorkonzentration und dem anorganischen Anteil ergibt.

Die Winterkonzentrationen der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen in der Oberflächenschicht zeigten 1995 insbesondere beim Phosphat im Vergleich zu den beiden Vorjahren eine eher abnehmende Tendenz (Tabelle 6). Mit der im Frühjahr einsetzenden Massenentwicklung des Phytoplanktons sanken die Konzentrationen dieser Nährstoffe und erreichten im Sommer Werte, die an der Grenze der analytischen Nachweisbarkeit lagen

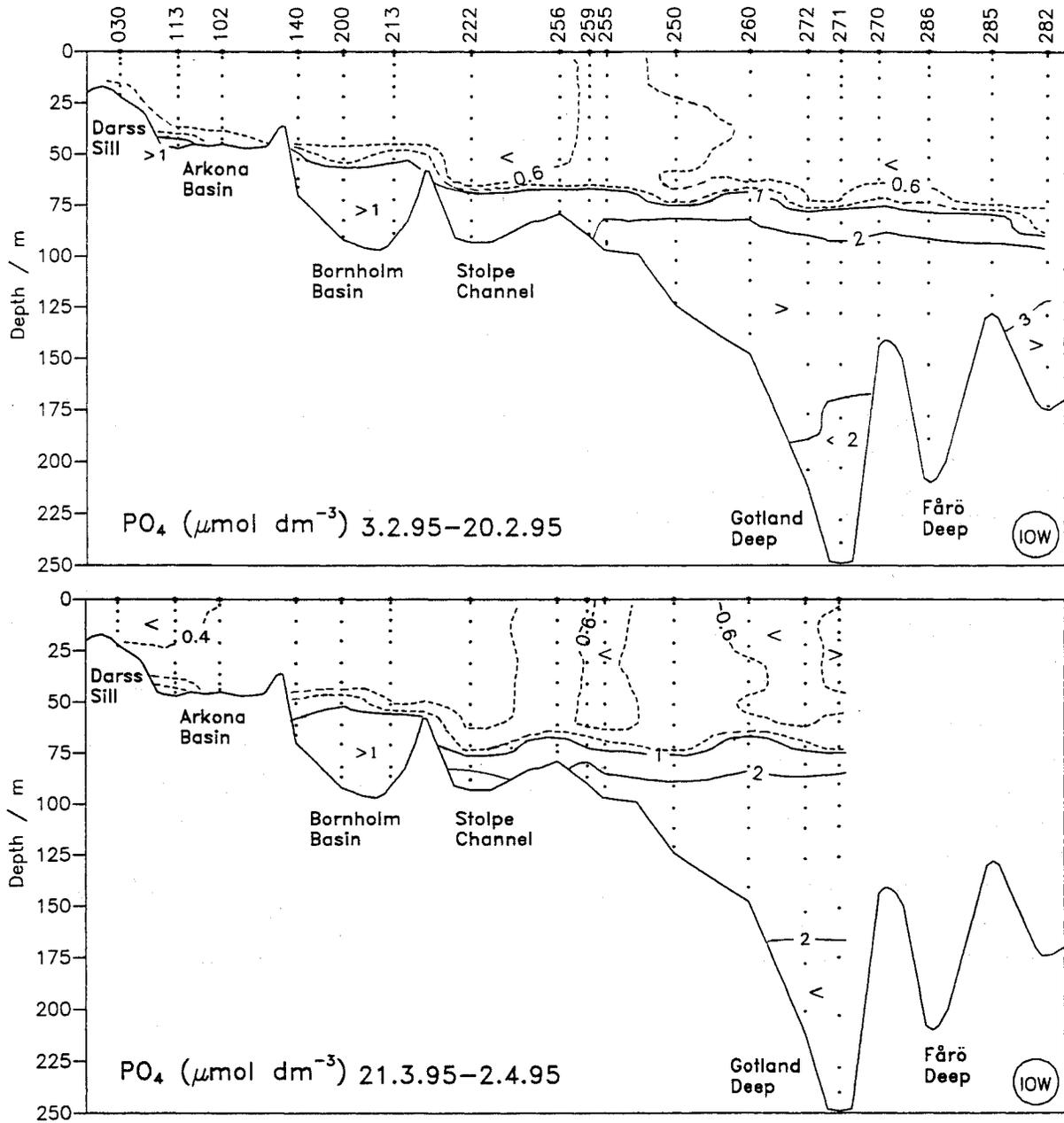


Abb. 12 Vertikale Verteilung des Phosphatgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken



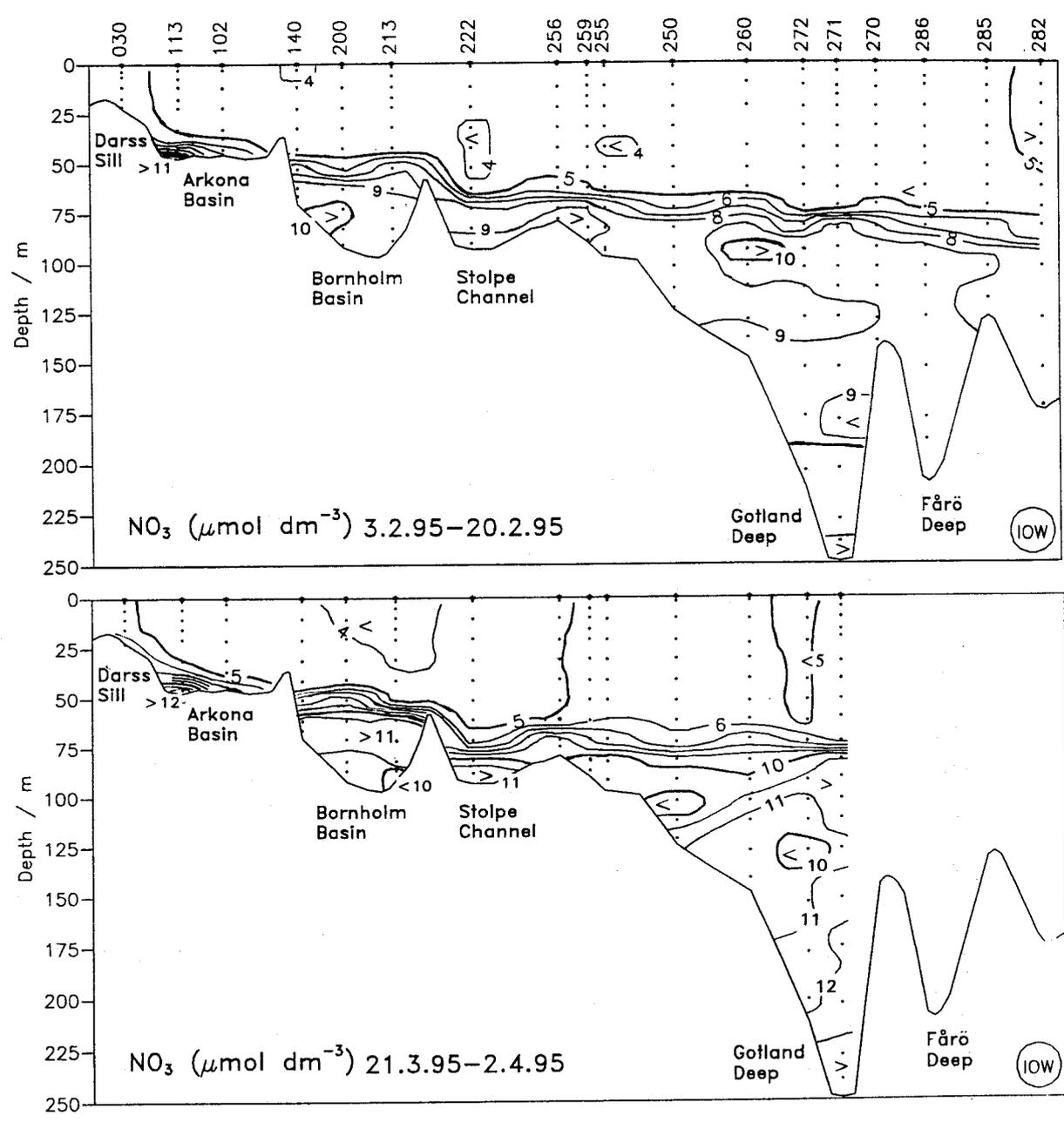


Abb. 13 Vertikale Verteilung des Nitratgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

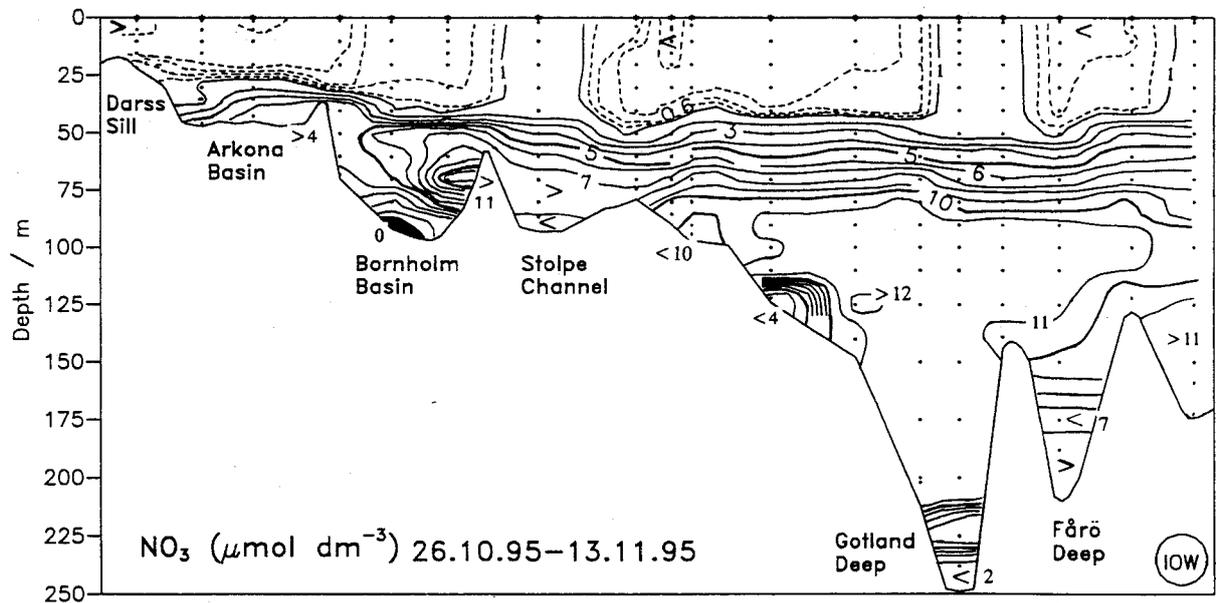
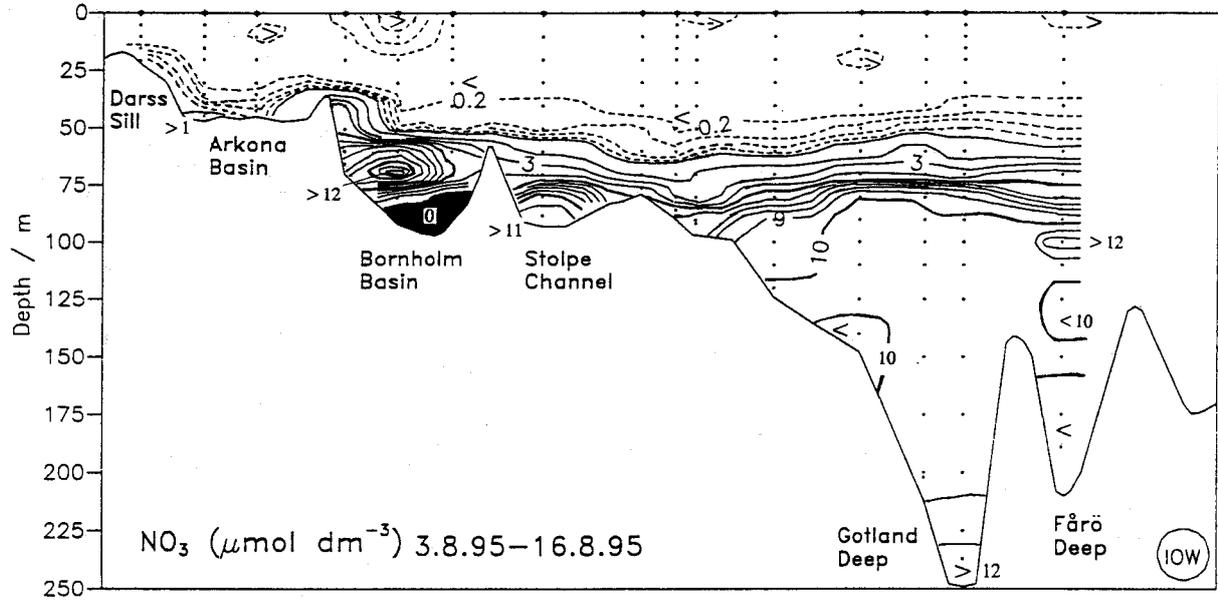
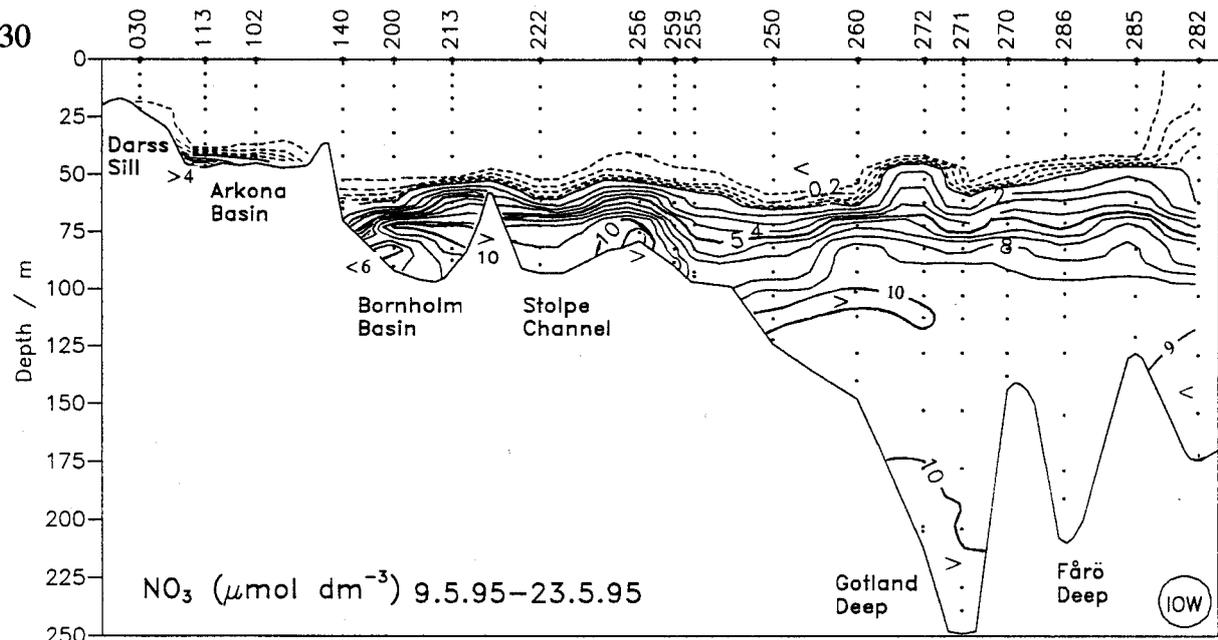


Abb. 13 (Fortsetzung)

**Tabelle 6** Gemittelte Nährsalzkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht (0–10 m Tiefe) der westlichen und zentralen Ostsee

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

Station	Monat	1991	1992	1993	1994	1995
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	1,06 $\pm$ 0,05	0,90 $\pm$ 0,02	0,91 $\pm$ 0,02	0,73 $\pm$ 0,02	0,84 $\pm$ 0,02
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	1,05 $\pm$ 0,00	0,66 $\pm$ 0,09	0,80 $\pm$ 0,05	0,64 $\pm$ 0,04	0,68 $\pm$ 0,02
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	-	1,11 $\pm$ 0,00	1,11 $\pm$ 0,03	1,03 $\pm$ 0,07	0,78 $\pm$ 0,03
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	0,68 $\pm$ 0,04	0,61 $\pm$ 0,02	0,71 $\pm$ 0,01	0,56 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,01
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	0,61 $\pm$ 0,01	0,65 $\pm$ 0,03	0,75 $\pm$ 0,00	0,53 $\pm$ 0,01	0,44 $\pm$ 0,01
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb.	0,66 $\pm$ 0,02	0,62 $\pm$ 0,01	0,71 $\pm$ 0,01	0,48 $\pm$ 0,02	0,56 $\pm$ 0,02
	Apr.	0,58 $\pm$ 0,02	0,68 $\pm$ 0,02	0,71 $\pm$ 0,01	0,55 <sup>1)</sup> $\pm$ 0,02	0,62 $\pm$ 0,02

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

Station	Monat	1991	1992	1993	1994	1995
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	8,6 $\pm$ 0,1	6,8 $\pm$ 0,2	14,4 $\pm$ 1,6	16,1 $\pm$ 0,2	11,5 $\pm$ 1,2
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	8,5 $\pm$ 0,1	5,1 $\pm$ 0,3	6,9 $\pm$ 1,2	6,6 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 0,1
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	-	5,3 $\pm$ 0,4	19,4 $\pm$ 2,0	19,6 $\pm$ 0,2	11,5 $\pm$ 0,0
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	4,3 $\pm$ 0,1	4,2 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,0	4,9 $\pm$ 0,1	4,2 $\pm$ 0,0
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	4,2 $\pm$ 0,0	3,6 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 0,0	4,1 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb.	4,7 $\pm$ 0,0	3,8 $\pm$ 0,1	5,1 $\pm$ 0,0	3,8 $\pm$ 0,1	4,2 $\pm$ 0,0
	Apr.	5,4 $\pm$ 0,0	5,2 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,1	4,5 <sup>1)</sup> $\pm$ 0,0	5,2 $\pm$ 0,1

**Summe der anorganischen Stickstoffverbindungen ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$  ;  $\mu\text{mol} / \text{dm}^3$ )**

Station	Monat	1991	1992	1993	1994	1995
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	10,8 $\pm$ 0,2	8,5 $\pm$ 0,2	16,9 $\pm$ 1,5	17,5 $\pm$ 1,5	15,3 $\pm$ 1,4
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	10,9 $\pm$ 0,4	6,7 $\pm$ 0,3	8,4 $\pm$ 1,8	7,0 $\pm$ 0,8	8,7 $\pm$ 1,7
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	-	8,7 $\pm$ 0,3	28,2 $\pm$ 3,1	24,2 $\pm$ 0,2	14,7 $\pm$ 0,2
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	4,8 $\pm$ 0,2	4,6 $\pm$ 0,1	5,3 $\pm$ 0,1	5,2 $\pm$ 0,1	5,4 $\pm$ 0,0
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	4,4 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,3	5,2 $\pm$ 0,1	4,4 $\pm$ 0,0	4,5 $\pm$ 0,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb.	5,1 $\pm$ 0,1	4,1 $\pm$ 0,2	5,3 $\pm$ 0,0	3,9 $\pm$ 0,1	4,4 $\pm$ 0,0
	Apr.	5,4 $\pm$ 0,0	5,4 $\pm$ 0,1	5,4 $\pm$ 0,2	4,9 <sup>1)</sup> $\pm$ 0,0	5,6 $\pm$ 0,1

<sup>1)</sup> Station 272

**Tabelle 7 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen von Nährsalzen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee**

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

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	1,85 $\pm$ 0,71	<b>1,06 <math>\pm</math> 0,14</b>	1,24 $\pm$ 0,23	1,46 $\pm$ 0,20	3,44 $\pm$ 2,27
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	7,21 $\pm$ 0,36	7,15 $\pm$ 0,37	4,61 $\pm$ 1,73	2,49 $\pm$ 1,08	<b>1,86 <math>\pm</math> 0,09</b>
<b>286</b> (Färötief)	150	5,19 $\pm$ 0,35	4,16 $\pm$ 0,18	4,03 $\pm$ 0,40	3,62 $\pm$ 0,43	<b>2,65 <math>\pm</math> 0,18</b>
<b>284</b> <sup>1)</sup> (Landsorttief)	400	(3,13)	2,69 $\pm$ 0,16	<b>2,64 <math>\pm</math> 0,05</b>	2,79 $\pm$ 0,45	2,73 $\pm$ 0,20
<b>245</b> <sup>1)</sup> (Karlsötief)	100	(2,11)	2,06 $\pm$ 0,19	<b>1,90 <math>\pm</math> 0,14</b>	2,37 $\pm$ 0,29	2,34 $\pm$ 0,20

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

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	9,1 $\pm$ 2,6	9,7 $\pm$ 2,1	11,2 $\pm$ 1,9	<b>12,9 <math>\pm</math> 1,1</b>	6,9 $\pm$ 5,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	0,0	0,0	3,7 $\pm$ 5,4	6,1 $\pm$ 5,7	<b>11,2 <math>\pm</math> 1,1</b>
<b>286</b> (Färötief)	150	0,0	0,0	0,1 $\pm$ 0,3	4,0 $\pm$ 4,0	<b>9,6 <math>\pm</math> 0,5</b>
<b>284</b> <sup>1)</sup> (Landsorttief)	400	(8,9)	10,1 $\pm$ 0,2	<b>10,3 <math>\pm</math> 0,9</b>	9,4 $\pm$ 1,0	9,9 $\pm$ 1,2
<b>245</b> <sup>1)</sup> (Karlsötief)	100	(9,4)	9,1 $\pm$ 0,5	9,1 $\pm$ 0,9	<b>10,2 <math>\pm</math> 0,7</b>	9,8 $\pm$ 0,9

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

Station	Tiefe/m	1991	1992	1993	1994	1995
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,3</b>	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>	0,3 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 5,1
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	16,6 $\pm$ 6,4	26,7 $\pm$ 4,3	12,6 $\pm$ 7,9	5,2 $\pm$ 4,4	<b>0,1 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>284</b> <sup>1)</sup> (Landsorttief)	400	(0,1)	0,3 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,2	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>245</b> <sup>1)</sup> (Karlsötief)	100	-	0,3 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,0	<b>0,1 <math>\pm</math> 0,1</b>	0,2 $\pm$ 0,1

<sup>1)</sup> nur 1-3 Meßwerte pro Jahr

(Abb. 12 und 13). Die herbstliche Nährstoffakkumulation in der Oberflächenschicht setzte insbesondere beim Nitrat verhältnismäßig spät ein und schloß sich damit den beiden vorangegangenen Jahren an (vgl. auch NEHRING et al., 1995a).

Nach Winterkonzentrationen von 9-13  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  wurden 1995 beim Silikat im Arkona- und Bornholmbecken erst im Oktober - November die niedrigsten Werte, die zwischen 1 und 3  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  lagen, gemessen, während die Silikatkonzentrationen in der Oberflächenschicht des östlichen und westlichen Gotlandbeckens nicht unter 7-10  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  abgesunken waren. Eine Ausnahme wurde östlich der Darßer Schwelle beobachtet, als im April während einer *Skeletonema costatum*-Blüte kein Silikat im Wasser nachgewiesen werden konnte.

Wie in jedem Jahr führten advective Prozesse im Herbst und Winter zu relativ hohen Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der grundnahen Wasserschicht des Arkonabeckens (Abb. 12 und 13). Sie werden im Frühjahr und Sommer abgelöst durch den Zustrom nährstoffarmen Wassers, das aus der euphotischen Schicht des Kattegats und der Beltsee stammt und infolge seiner größeren Dichte das Bodenwasser dieses Beckens verdrängt.

Die Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der zentralen Ostsee, insbesondere im Bornholmbecken und im Gotlandtief, spiegelt sich auch in der Freisetzung von Phosphat (Abb. 12) und Ammonium wider, während der Nitratgehalt infolge mikrobieller Denitrifikation stark abnimmt und unter anoxischen Bedingungen völlig aus der Wassersäule verschwindet (Abb. 13). Oberhalb der nitratfreien anoxischen Tiefenwasserschicht im Bornholmbecken und der nitratverarmten suboxischen Bodenwasserschicht des Gotlandtiefs traten in der zweiten Hälfte des Jahres 1995 ausgeprägte Nitratmaxima auf.

Die starke Abnahme des Redoxpotentials im Bornholmbecken durch die Bildung von Schwefelwasserstoff wurde bei den Jahresmittelwerten von einer Zunahme der Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen und einer Abnahme des Nitratgehaltes im Jahre 1995 begleitet (Tabelle 7). Der zwischenzeitliche Anstieg des Redoxpotentials auf positive Werte, der im östlichen Gotlandbecken im Zeitraum 1993-1995 eintrat und die Folge einer advectiven Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers war, führte umgekehrt bei den Jahresmittelwerten zu einem starken Anstieg des Nitratgehaltes und zu einer Abnahme der Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen. Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens, in dem 1991-1995 oxische Bedingungen herrschten, waren die zwischenjährlichen Fluktuationen der Jahresmittelwerte viel geringer.

An ausgewählten Monitoring-Stationen wird neben Phosphat auch der Gehalt an Gesamtphosphor bestimmt. Die Differenz ergibt den organisch gebundenen Phosphor, wobei nicht zwischen gelösten und partikulären Anteilen unterschieden wurde. Aus Tabelle 8 wird deutlich, daß die Jahresmittelwerte des organisch gebundenen Phosphors im Oberflächenwasser der küstenfernen Ostsee (Stat. 012, 113, 213, 271) keine großen Unterschiede aufweisen. Die Schwankungen im Jahresverlauf sind ebenfalls relativ gering. Allerdings wird das frühere Einsetzen der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012) und im Arkonabecken (Stat. 113; vgl. auch KAISER, SCHULZ, 1978) durch erhöhte Werte im März belegt, während dieses Maximum im Gotlandbecken (Stat. 271) erst im Mai beobachtet wird (Abb. 14). Die unter unmittelbarem Küsteneinfluß gelegenen Stationen in der Lübecker Bucht (Stat. 023) und in der Pommernbucht (Stat. 165) zeigen deutlich höhere Werte, wobei die größeren Standardabweichungen durch variierende terrestrische Einträge zu erklären sind. Außerdem

treten teilweise vertikale Unterschiede zwischen 1 m und 10 m Tiefe auf, die in der küstenfernen Ostsee nicht vorhanden sind.

**Tabelle 8** Mittlere Gehalte und Standardabweichungen des organisch gebundenen Phosphors in der durchmischten Oberflächenschicht im Jahre 1995 (0-10 m Tiefe; n = 10)

Stat.	org. geb. P ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	Stat.	org. geb. P ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )
012	0,51 $\pm$ 0,18	165	0,85 $\pm$ 0,33
023	0,70 $\pm$ 0,12	213	0,44 $\pm$ 0,12
113	0,46 $\pm$ 0,08	271	0,41 $\pm$ 0,16

Während der Gesamtphosphor-Pool der euphotischen Schicht in der produktiven Jahreszeit fast ausschließlich aus organisch gebundenem Phosphor besteht, sind die tieferen Wasserschichten ganzjährig durch die Dominanz des Phosphats charakterisiert (Abb. 14). Hier ist die sedimentierende organische Substanz schon weitgehend mineralisiert.

Der Gesamtphosphorgehalt im Bodenwasser des Gotlandtiefs reflektiert vor allem die Veränderungen des Phosphatgehalts, die mit dem Wechsel des Redoxpotentials und mit advektiven Prozessen zusammenhängen (Abb. 4, vgl. auch NEHRING et al., 1994). Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors ist zumeist sehr gering. Höhere Konzentrationen scheinen jedoch kurzfristig bei der Erneuerung des Bodenwassers aufzutreten, wie jeweils im Frühjahr 1993 und 1994 beobachtet wurde.

#### 4.5 Organische Inhaltsstoffe

Die 1994 an ausgewählten Stationen begonnenen Untersuchungen des natürlichen organischen Materials wurden 1995 fortgesetzt, wobei der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Bestimmung der Summenparameter gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und partikulärer organischer Stickstoff (PON) lag. Die für die Untersuchungen eingesetzten Methoden sind bei NEHRING et al. (1995a) beschrieben.

Die in der Oberflächenschicht gemessenen Werte für POC und DOC sind in Abb. 15 dargestellt, wobei jeweils 4 Stationen aus verschiedenen Gebieten der Ostsee ausgewählt wurden (Arkona-becken, Stat. 113; Pommernbucht, Stat. 165; Bornholmbecken, Stat. 213; östliches Gotlandbecken, Stat. 271). Abb. 16 zeigt das DOC/POC-Verhältnis in der Oberflächenschicht ausgewählter Ostseestationen. Die Verteilung von PON weist ein ähnliches Verteilungsmuster auf wie POC, jedoch mit dem Unterschied, daß die Konzentrationen um den Faktor 10 niedriger sind. Die Vertikalverteilung der analysierten Parameter in der Wassersäule ist am Beispiel der Stat. 271 in Abb. 17 dargestellt.

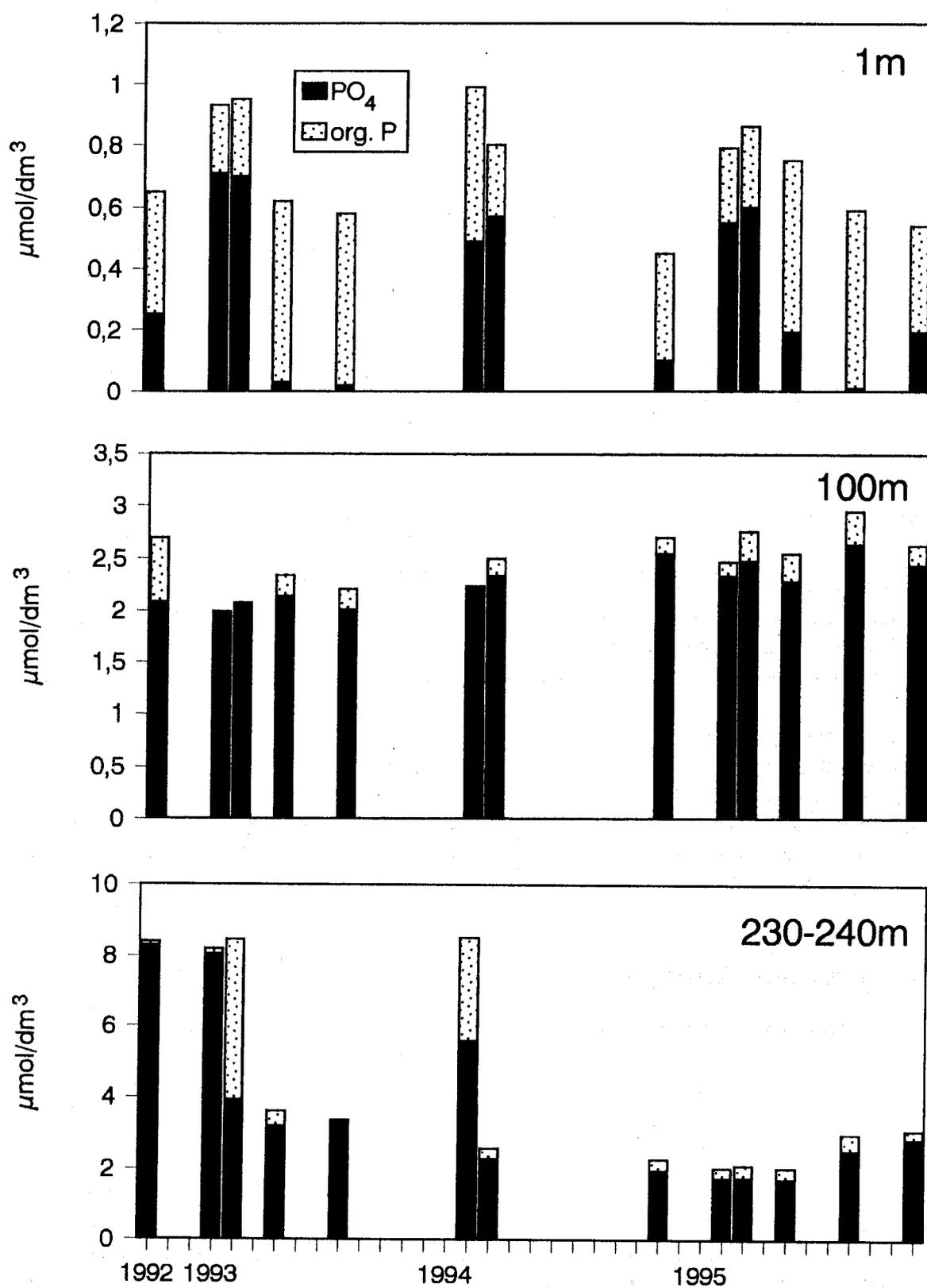


Abb. 14 Veränderungen des Gehalts an Gesamtphosphor und Phosphat am Beispiel des Gotlandtiefs (Stat. 271) in verschiedenen Wassertiefen (organischer Phosphor als Differenz)

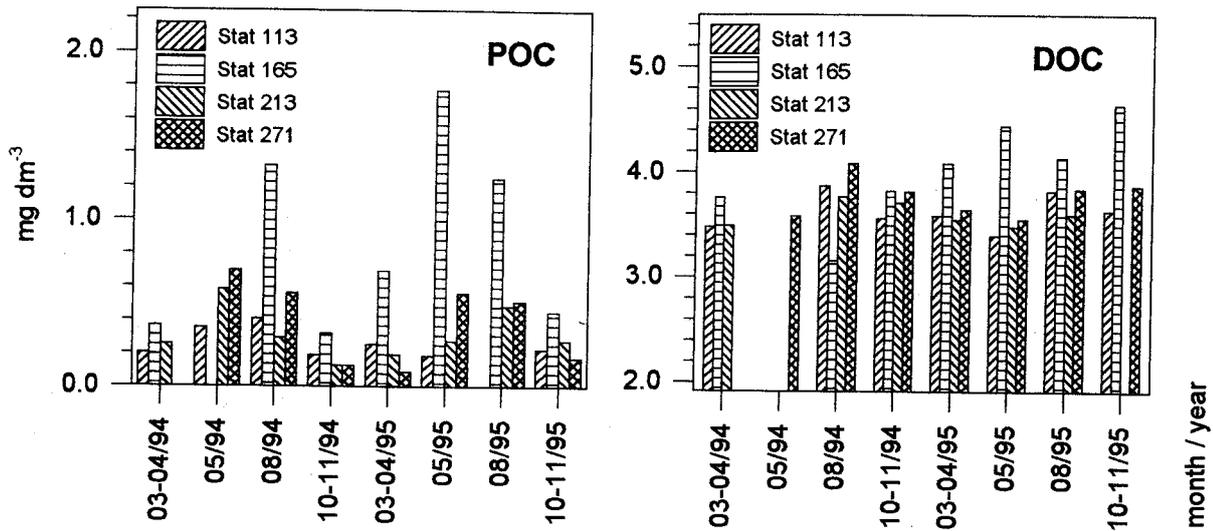


Abb. 15 Saisonale Veränderungen der POC- und DOC-Konzentrationen in der oberflächennahen Wasserschicht ausgewählter Stationen in der eigentlichen Ostsee 1994 und 1995

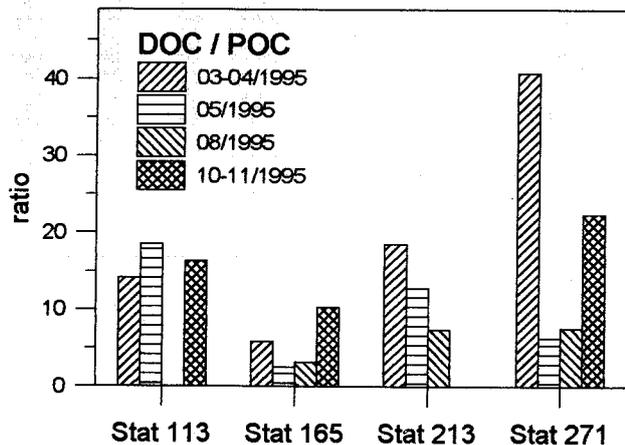


Abb. 16 DOC/POC-Verhältnisse in der oberflächennahen Wasserschicht ausgewählter Stationen in der eigentlichen Ostsee 1995

Für DOC sind nur geringe regionale und saisonale Unterschiede zu erkennen. Die Konzentrationen in der Oberflächenschicht lagen generell zwischen  $3 \text{ mg/dm}^3$  und  $5 \text{ mg/dm}^3$  (Abb. 15). Im Vergleich zum Vorjahr wurden 1995 in den flachen, küstennahen Stationen etwas höhere DOC-Konzentrationen beobachtet, während der DOC-Gehalt in der zentralen Ostsee (Stat. 271) um einen Mittelwert von  $3,8 \pm 0,3 \text{ mg/dm}^3$  schwankte.

Im Gegensatz zum DOC sind für den partikulären organischen Kohlenstoffgehalt in der Oberflächenschicht saisonale Zyklen zu erkennen (Abb. 15). Dabei bestehen jedoch regionale Unterschiede. Während in der Pommernbucht und in der Gotlandsee die saisonalen Unterschiede relativ deutlich hervortreten, sind sie in der Arkona- und Bornholmsee weniger ausgeprägt. Bei dieser Aussage sind jedoch zwei Dinge zu berücksichtigen. Zum einen wird der POC-Gehalt durch die Planktonentwicklung beeinflusst, da während der Planktonblüte ein Teil des POC auf die hohen Zellzahlen planktischer Organismen zurückzuführen ist. Da die Messungen während der Monitoring-Fahrten jedoch immer nur eine Momentaufnahme darstellen und Planktonblüten in den verschiedenen Seegebieten nicht gleichzeitig auftreten, sind die gemessenen POC-Konzentrationen vom Zeitpunkt der Messung abhängig und deshalb nicht unmittelbar vergleichbar. Zum zweiten kann anhand der vorliegenden Daten noch nicht abgeschätzt werden, welche Rolle terrestrische Einträge partikulären organischen Materials vor allem in küstennahen Gebieten spielen.

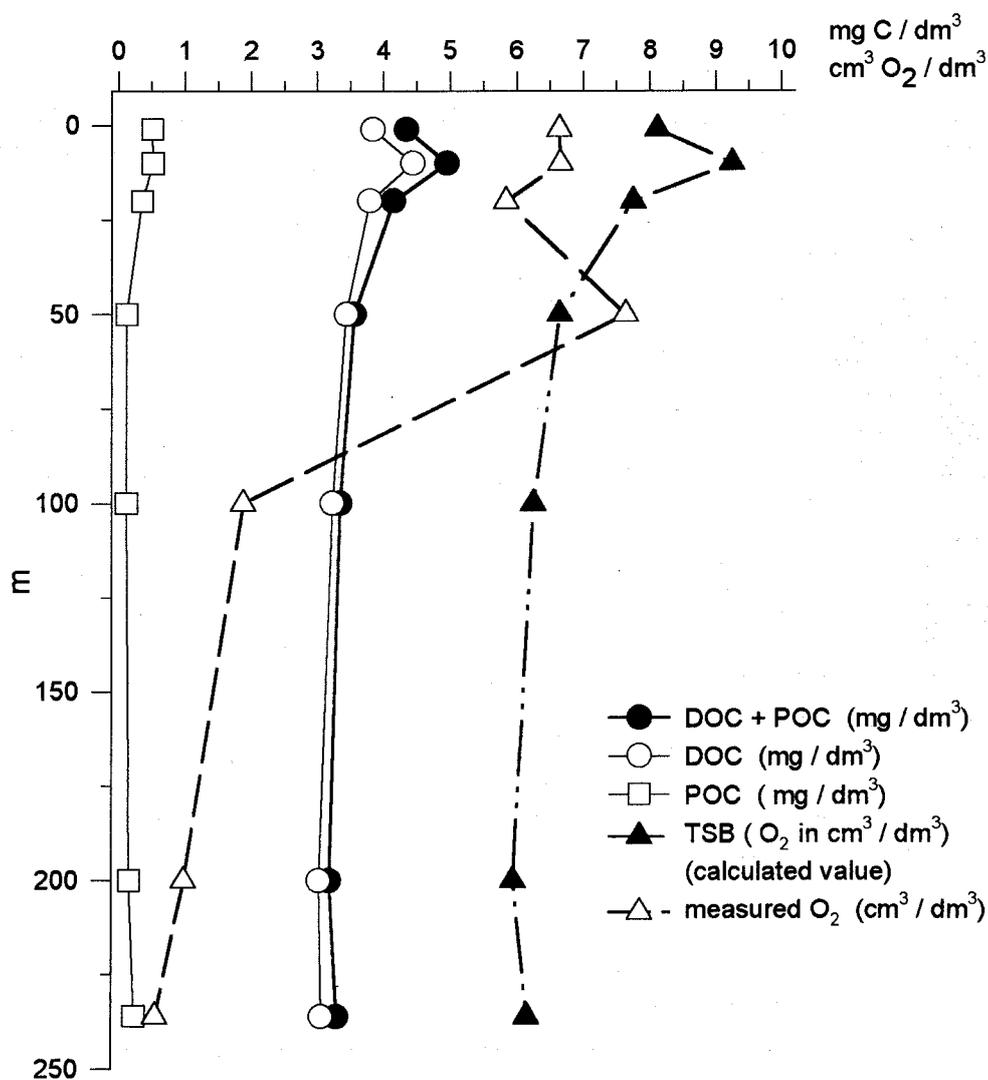


Abb. 17 Vertikalprofile von DOC und POC sowie gemessener Sauerstoffgehalt und theoretischer Sauerstoffgehalt (TSB) an der Station 271 am 18. August 1995

Die bisherigen Untersuchungen haben ergeben, daß der Gehalt an organisch gebundenem Gesamtkohlenstoff in der Ostsee keinen so ausgeprägten saisonalen Veränderungen unterworfen ist, wie sie bei den anorganischen Nährsalzen beobachtet werden. Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, als sicher ist, daß innerhalb des Pools organisch gebundenen Kohlenstoffs vielfältige Umsatzprozesse ablaufen. In der Abb. 17 ist am Beispiel der Station 271 vergleichend der in der Wassersäule gemessene Sauerstoffgehalt einem theoretischen Sauerstoffbedarf (TSB) gegenübergestellt. Der TSB gibt dabei die Menge an Sauerstoff an, die benötigt würde, um den gesamten in der Wassersäule vorhandenen organisch gebundenen Kohlenstoff in  $\text{CO}_2$  umzuwandeln. Wie ein Vergleich des gemessenen Sauerstoffgehalts mit dem TSB zeigt, würde der in der Wassersäule vorhandene Sauerstoff bei weitem nicht ausreichen, um den organisch gebundenen Kohlenstoff vollständig abzubauen. Dies gilt insbesondere für das stagnierende Tiefenwasser, in dem der TSB um das 5-10fache über dem vorhandenen Sauerstoffgehalt liegt. Hieraus ergibt sich als zwingende Schlußfolgerung, daß der überwiegende Teil des gelösten organischen Kohlenstoffs in der Ostsee biologisch nicht oder nur schwer abbaubar ist.

## 5. Diskussion

Der sehr milde Winter 1994/95 und der überdurchschnittlich warme Sommer mit häufigen Hochdruckwetterlagen und relativ geringen Windgeschwindigkeiten (vgl. Abb. 2 und 3) sind die markantesten klimatologischen Ereignisse des Jahres 1995, die für die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee von besonderer Relevanz waren.

Die Kältesumme von 36,1 K, die an der Wetterstation Warnemünde ermittelt wurde, weist einen Winter aus, der zu keiner nennenswerten Eisbildung an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns führte. Mit einer Wärmesumme von 257,7 K lag der Sommer 1995 an zweiter Stelle der seit 1946 für Warnemünde vorhandenen Beobachtungsreihe, wobei der August sogar die bisher höchste Wärmesumme (117,5 K) erreichte. Noch wärmer war nur der Sommer 1992, der eine Wärmesumme von 275,3 K aufwies (NEHRING et al., 1993).

Der milde Winter verursachte im Oberflächenwasser der Ostsee Temperaturanomalien, die im Februar/März 1995 Werte zwischen 1 und 2,5 K erreichten und im August durch solche von 0,5-1 K im Zwischenwasser der zentralen Ostsee reflektiert wurden. Infolge des warmen Sommers lagen die August-Temperaturen (vgl. Abb. 8) in der Deckschicht der Ostsee sogar um 2-4 K über den langjährigen Mittelwerten.

Im Jahre 1995 erfolgte kein Salzwassereintrich in die Ostsee. Die meteorologischen Bedingungen führten auch zu keinen größeren Einströmen von salz- und sauerstoffreichem Wasser. Lediglich das Sturmereignis Ende September/Anfang Oktober (vgl. Abb. 3) verursachte kurzzeitig den Einstrom von Wasser mit 13 - 16 PSU über die Darßer Schwelle und von mehr als 17 PSU über die Drogden Schwelle. Kleinere Einströme im November und Dezember 1994 und im Frühjahr 1995 hatten nur eine geringe Erhöhung im Salz- und Sauerstoffgehalt des Bornholmbeckens im Frühjahr und der zentralen Ostsee im Sommer zur Folge.

Salzgehalte von mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule wurden 1995 an der Darßer Schwelle nicht beobachtet. Der schwache Einstrom vom September/Oktober war das einzige Ereignis im Jahre 1995, von dem zusammen mit dem Einstrom über die Drogden Schwelle geringe Auswirkungen in der zentralen Ostsee erwartet werden können. Damit hat sich die seit Mitte der 70er Jahre zu beobachtende Tendenz zum Rückgang der Häufigkeit und Intensität extremer

Einstromereignisse (MATTHÄUS, 1995) weiter fortgesetzt, lediglich unterbrochen durch das Einzelereignis vom Januar 1993 (MATTHÄUS, LASS, 1995).

Im ersten Halbjahr 1995 wurde auf der Darßer Schwelle ein langanhaltender, intensiver Ausstrom aus der Ostsee beobachtet (vgl. Abb. 7). Im Zusammenhang mit der saisonalen Entwicklung der Konzentration gelöster und partikulärer Nährstoffe in der Oberflächenschicht der Ostsee, führte dieser Ausstrom zu einem Nährstoffexport durch die Beltsee in das Kattegat.

Während sich die Jahresmittelwerte des Salzgehaltes in der grundnahen Wasserschicht auf der Darßer Schwelle von 1992–1994 um mehr als 2 PSU erhöht hatten (vgl. Tabelle 3), ging das Jahresmittel von 1995 auch im Oberflächenwasser auf Werte unter dem Jahresmittel von 1992 zurück. Das weist auf eine starke Abschwächung des Einstroms insgesamt im Jahre 1995 hin und führte im Tiefenwasser der zentralen Ostsee zum Beginn einer neuen Stagnationsperiode, die sich in der Beendigung der Wasserumschichtung im Fårötief und der drastischen Verschlechterung der Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser der anderen Stationen im östlichen Gotlandbecken ausdrückt (Abb. 11). Darüber hinaus wurden im Danziger Tief seit Mai und im Bornholmbecken seit August anoxische Bedingungen beobachtet (Abb. 1). Im Zusammenhang damit führten Denitrifikationsprozesse zur vollständigen Nitratverarmung (Abb. 13), während die Remobilisierung von Phosphat (Abb. 12) und Ammonium aus den Sedimenten die Akkumulation dieser Verbindungen in der schwefelwasserstoffhaltigen Bodenwasserschicht begünstigte.

In der Oberflächenschicht der untersuchten Ostseeregionen war die winterliche Phosphatakkumulation relativ gering. In der zentralen Ostsee setzt sich damit eine Tendenz fort, die seit einigen Jahren (Tabelle 6) beobachtet wird. Bei den anorganischen Stickstoffverbindungen, deren Konzentration vor allem durch das Nitrat bestimmt wird, ist diese Tendenz bisher noch nicht vorhanden. Sie ist jedoch, ähnlich wie beim Phosphat, seit einigen Jahren in den Küstengewässern, beispielsweise in der Pommernbucht (LAUN, 1993–1995), deutlich ausgeprägt.

Die zunehmende Verwendung von synthetischen Düngern wird als wichtigste Ursache für die Eutrophierung der Schelfmeere angesehen (NIXON, 1995). Ziel des Düngemittleinsatzes ist die Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktion, wobei als Konsequenz die Umweltbelastung durch die Tierproduktion und die Nahrungsgüterindustrie sowie durch kommunale Abwässer ansteigt.

Der überwiegende Anteil der nicht durch die Pflanzen verwerteten Düngemittel wird im Boden zurückgehalten oder geht durch Denitrifikation verloren. Nur geringe Mengen des im Einzugsgebiet verwendeten Düngers erreichen nach Umwandlung durch verschiedene biogeochemische und technologische Prozesse das Küstengebiet.

Der Einsatz von Düngemitteln im Flußwassereinzugsgebiet, der Ende der 80er Jahre sein Maximum erreichte, läßt Beziehungen zum Anstieg der Winterkonzentrationen des Phosphats und Nitrats in der Oberflächenschicht der Ostsee vermuten, wenn man eine Verzögerung von 5-10 Jahren berücksichtigt (Abb. 18). Der drastische Rückgang des Düngemittelverbrauchs, der 1989/90 begann und vor allem mit den großen ökonomischen Veränderungen in den Ländern des ehemaligen Ostblocks zusammenhängt, spiegelt sich daher noch nicht signifikant in abnehmenden Winterkonzentrationen wider. Erste Hinweise sind jedoch bereits in bezug auf die gemittelten Phosphat- und Nitratkonzentrationen im Winter vorhanden, die vor allem im Arkona- und Bornholmbecken abnehmen, während der mittlere Phosphatgehalt im Oberflächenwasser des östlichen Gotlandbeckens weiter ansteigt.

Untersuchungen über den Gesamtphosphorgehalt im Oberflächenwasser machen deutlich, daß der Jahresgang dieser Größe überwiegend durch die Variationen des Phosphats verursacht wird. Organisch gebundener Phosphor bildet einen weitgehend konstanten Pool (Abb. 14), der nur in den Jahreszeiten hoher biologischer Produktivität zunimmt. Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens besteht der Gesamtphosphorgehalt überwiegend (100 m Tiefe) oder fast ausschließlich (230-240 m Tiefe) aus Phosphat, dessen Konzentrationen in Abhängigkeit von advektiven Prozessen und vom Redoxpotential variieren.

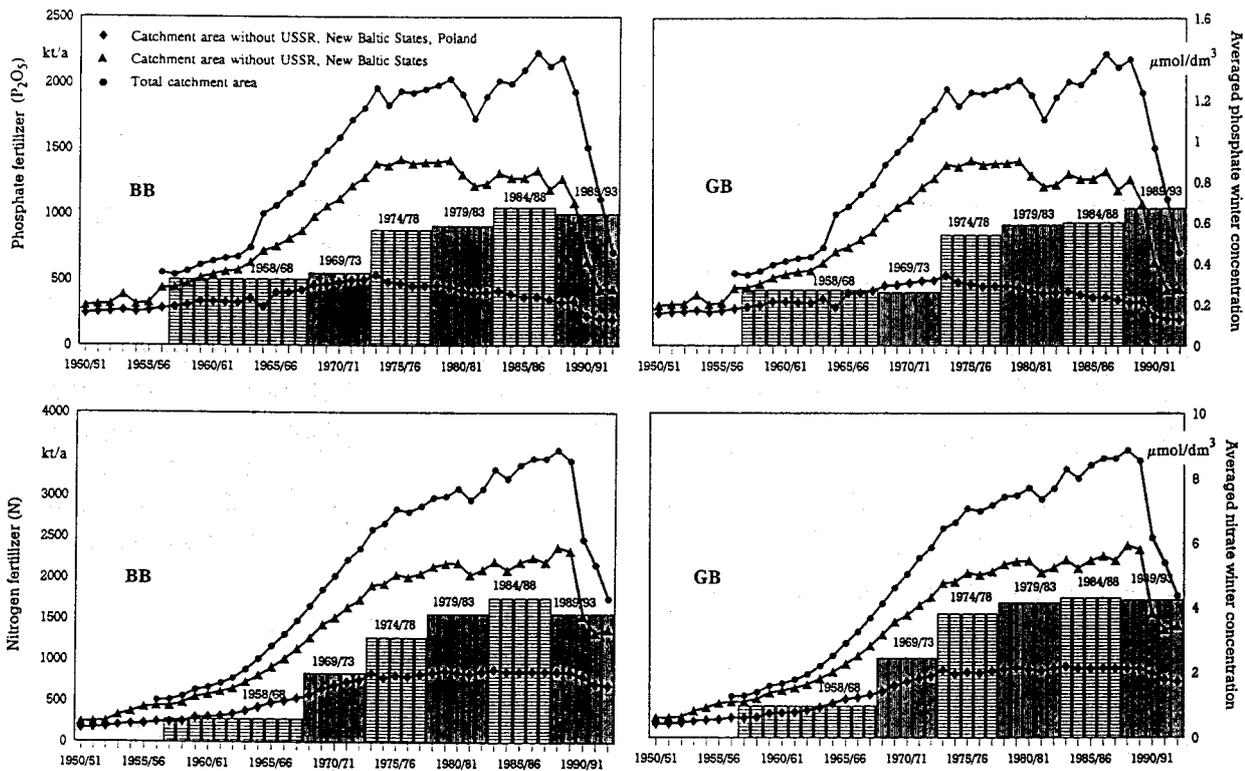


Abb. 18 Verbrauch synthetischer Phosphor- und Stickstoffdüngemittel (FAO, 1951-1993) berechnet für das Einzugsgebiet der Ostsee und 5(11)jährig gemittelte Phosphat- und Nitratwinterkonzentrationen in der Oberflächenschicht (0-10 m Tiefe) des Bornholmbeckens (BB) und des südöstlichen Gotlandbeckens (GB)

Die Untersuchungen über partikulär (POC) und gelöst gebundenen organischen Kohlenstoff (DOC) wurden 1995 fortgesetzt. Im allgemeinen ist der Beitrag partikulären organischen Materials zum Gesamtgehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs mit einem Anteil von etwa 10 % relativ gering. In Abhängigkeit von der Phytoplanktonentwicklung und terrestrischen Einträgen treten jedoch deutliche saisonale und regionale Unterschiede auf (Abb. 15). An den küstenfernen Stationen wurden während der Sommermonate POC-Anteile am Gesamtkohlenstoff

Einträgen treten jedoch deutliche saisonale und regionale Unterschiede auf (Abb. 15). An den küstenfernen Stationen wurden während der Sommermonate POC-Anteile am Gesamtkohlenstoff zwischen 5 % und 15 % gemessen. In den Wintermonaten lagen die entsprechenden Werte zwischen 2,5 % und 7 %. Eine Ausnahme bildet die Pommernbucht, wo der Anteil des POC am organisch gebundenen Gesamtkohlenstoff in den Sommermonaten bis zu 40 % ausmachen kann und die erhöhten Werte früher im Jahr beobachtet werden als an den küstenfernen Stationen. Auch die Winterwerte liegen hier mit 10 % bis 20 % deutlich über denjenigen in der offenen Ostsee. Die zeitliche Verschiebung ist darauf zurückzuführen, daß die Planktonblüte im Flachwasserbereich eher beginnt und sich seewärts in die zentralen Teile der Ostsee ausbreitet (vgl. KAISER, SCHULZ, 1978). Eine Erklärung für den in dieser Region höheren Anteil von POC am Gesamtkohlenstoff ist anhand des zur Verfügung stehenden Datenmaterials schwierig, da die Rolle terrestrischer Einträge nicht abgeschätzt werden kann.

Im Untersuchungsgebiet besteht der weitaus größte Anteil des organisch gebundenen Kohlenstoffs aus gelösten Verbindungen, die offenkundig nur schwer biologisch abbaubar sind und keinen ausgeprägten saisonalen Zyklen unterliegen. Sie werden oftmals unter dem Begriff „Huminstoffe“ zusammengefaßt. Ihre Senken sind weitgehend unbekannt und können daher bei einer Bilanzierung des Kohlenstoffs nicht berücksichtigt werden. Als wichtigste Quelle des DOC werden terrestrische Einträge vermutet. Über die Rolle mariner Quellen ist ebenfalls wenig bekannt.

Durch die nachhaltige Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse und das Auftreten von Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser des Bornholm- und Danziger Beckens im Sommer und Herbst 1995 haben sich die abiotischen Umweltfaktoren für einen starken Dorschjahrgang drastisch verschlechtert. Relativ günstige Laichbedingungen in bezug auf Sauerstoff herrschten nur im Südtteil des östlichen Gotlandbeckens. Der milde Winter 1994/95 und die positiven Temperaturanomalien im Baltischen Zwischenwasser können sich fördernd auf das Laichgeschäft von Hering und Sprotte ausgewirkt haben.

### **Danksagung**

Die Autoren danken den am Ostseeüberwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde für die sorgfältige Durchführung der Messungen sowie Kapitän und Besatzung der Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ und „A.v. Humboldt“ für die Unterstützung und den Einsatz bei den Meßfahrten des Jahres 1995. Dem Deutschen Wetterdienst in Offenbach und dem Wetteramt Rostock gilt unser Dank für die Bereitstellung von Datenmaterial. Dem Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut (SMHI) in Norrköping sowie dem Ozeanographischen Labor des SMHI in Göteborg sind wir für die Überlassung von Wasserstands- und hydrographisch-chemischen Daten ausgewählter Ostseestationen sowie für die Genehmigung zur Verwendung von Oberflächentemperaturkarten der Ostsee zu Dank verpflichtet.

### Literaturverzeichnis

- ANONYM, 1995: Monatlicher Witterungsbericht. - Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 1, H. 1-12.
- FAO, 1952-1993: Yearbooks Fertilizer. - FAO Statistic Series.
- HELCOM, 1988: Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage. - Baltic Sea Environ. Proc. 27B, Part A, Introductory chapters, 1-49; Part B, Physical and chemical determinants in sea water, 1-60.
- KAISER, W., SCHULZ, S., 1978: On the causes for the differences in space and time of the commencement of the phytoplankton bloom in the Baltic. - Kieler Meeresf., Sonderh., 4, 161-170.
- KRÜGER, S., WLOST, K.-P., ROEDER, W., 1995: Die neuen automatischen Meßstationen des IOW als Bestandteil des Stationären Umweltmeßnetzes Nord- und Ostsee. In: Technik zur Nutzung und Erhaltung aquatischer Lebensräume, Universität Rostock, 53-60.
- LASS, H.-U., SCHWABE, R., MATTHÄUS, W., FRANCKE, E., 1987: On the dynamics of water exchange between Baltic and North Sea. - Beitr. Meereskunde, Berlin, 56, 27-49.
- LAUN, 1993-1995: Küstengewässer-Monitoring Mecklenburg-Vorpommern, Küstengewässerbericht 1993-1995 des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern.
- LENZ, W., 1971: Monatskarten der Temperatur der Ostsee. - Dt. Hydrogr. Z., Erg.-H. B, 11, 1-148.
- MATTHÄUS, W., 1975: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY 2A auf 55° N, 14° E. - Beitr. Meereskunde, Berlin, 36, 5-27.
- MATTHÄUS, W., 1977: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee. - Beitr. Meereskunde, Berlin, 40, 117-155.
- 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.
- 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., 1993: 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., 1994: 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., 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. Hydrog. 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. Hydrog. Z. 47, 319-327.
- NIXON, S.W., 1995: Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. - Ophelia 41, 199-219.
- REICHEL, U., 1980: Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelts. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffsbeobachtungen 1949-1978. - Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde (unveröff.).
- REICHEL, U., 1982: Monatsmittel der Temperatur und des Salzgehaltes am Feuerschiff „Gedser Rev“ (1931-1960). - Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde (unveröff.).
- TIESEL, R., 1996: Temperatursummen der Lufttemperaturen an der Wetterstation Warnemünde im Jahre 1995. - Deutscher Wetterdienst Offenbach, Wetteramt Rostock (unveröff.).

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. D. Nehring  
Dr. habil. W. Matthäus  
Dr. habil. H.-U. Lass  
Dr. G. Nausch  
Dr. K. Nagel

Institut für Ostseeforschung Warnemünde  
an der Universität Rostock  
Seestr. 15  
18119 Warnemünde

# 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 mesoskaliger 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:  
Spurenmittelkonzentrationen vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns

- 12 (1996) Schinke, Holger:  
Zu den Ursachen von Salzwassereinbrüchen in die Ostsee
- 13 (1996) Meyer-Harms, Bettina:  
Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in zwei unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee (Pommernbucht, Gotlandsee)
- 14 (1996) Reckermann, Marcus:  
Ultraplankton and protozoan communities and their interactions in different marine pelagic ecosystems (Arabian Sea and Baltic Sea)
- 15 (1996) Kerstan, Eberhard:  
Untersuchung der Verteilungsmuster von Kohlenhydraten in der Ostsee unter Berücksichtigung produktionsbiologischer Meßgrößen
- 16 (1996) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995