

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENCE REPORTS

No. 24

Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1996

von

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

Institut für Ostseeforschung
Warnemünde
1997

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	2
Summary	2
1. Einleitung	3
2. Meteorologische Bedingungen	4
3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge	11
3.1 Beobachtungen an der Bojenstation „Darßer Schwelle“	11
3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoff	11
3.1.2 Strömung	15
3.2 Einströme salzreichen Wassers	17
4. Hydrographisch-chemische Bedingungen	20
4.1 Wassertemperatur	21
4.2 Salzgehalt	24
4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff	28
4.4 Anorganische Nährstoffe	36
4.5 Organische Nährstoffe	41
5. Abiotische Umweltbedingungen und Entwicklung der Fischbestände	43
6. Diskussion	43
Danksagung	47
Literaturverzeichnis	47

Zusammenfassung

Der strenge Winter 1995/96 in der westlichen und zentralen Ostsee, der als viertstärkster Winter seit 1946 registriert wurde, führte zu negativen Temperaturanomalien im winterlichen Oberflächen- und sommerlichen Zwischenwasser. Die Oberflächentemperaturen blieben bis in den Juli hinein unterhalb der langjährigen Mittelwerte und erreichten erst im August positive Anomalien von 2 bis 4 K infolge windschwacher sonniger Hochdruckwetterlagen.

Der mittlere Einstrom von salzreichem Wasser in die Ostsee hat sich im Jahre 1996 weiter abgeschwächt, wodurch sich die Tendenz zur Stagnation in den Tiefenbecken fortsetzte. Ein sehr intensiver Einstrom Anfang November, der die Kriterien für Salzwassereinbrüche nur knapp verfehlte, transportierte rund 80 km³ Wasser mit Salzgehalten bis 26 bzw. 20 PSU über die Drogden bzw. Darßer Schwelle in die Ostsee.

In Abhängigkeit von der gegenwärtigen Stagnationsperiode, die 1995 begonnen hat, haben sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken 1996 weiter verschlechtert. Im Gotland- und Färötief wurde zum ersten Mal seit 1994 erneut Schwefelwasserstoff beobachtet. Advective Prozesse, die mit Einstößen im März und Juni 1996 zusammenhingen, führten nur im Bornholm- und Danziger Becken zu einer vorübergehenden Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers.

Während die Winterkonzentrationen des Nitrats in der Oberflächenschicht nahezu unverändert hoch waren, setzte sich 1996 beim Phosphatgehalt die abnehmende Tendenz in allen untersuchten Ostseegebieten fort. Die Veränderungen des Redoxpotentials, das von den Sauerstoffverhältnissen abhängig ist, bestimmte die Verteilung der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken.

Aufgrund des strengen Winters sowie der sich verschlechternden Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser herrschten 1996 ungünstige abiotische Umweltbedingungen für die Bestandsentwicklung von Dorsch, Sprotte und Hering.

Summary

The severe winter 1995/96 in the western and central Baltic Sea which is among the strongest since 1946 (4th rank) caused negative temperature anomalies in winter surface and summer intermediate waters. The surface temperatures were below the long-term mean up to July but reached positive anomalies between 2 and 4 K in August due to sunny high pressure weather conditions and weak winds.

Compared with 1995, the mean inflow of saline water into the Baltic decreased. This supported the continuation of stagnation in the deep water of the central Baltic in 1996. The very intensive inflow in the beginning of November, which just missed the criteria for major Baltic inflows, transported about 80 km³ water with salinities up to 26 and 20 PSU across the Drogden and Darss Sills into the Baltic.

The oxygen conditions in central Baltic deep waters deteriorated in 1996, due to the continuation of the present stagnation period beginning in 1995. For the first time since 1994, hydrogen sulphide was observed in the Gotland and Färö Deeps. Advective processes linked with small inflow events in March and June 1996 supplied the deep water of the Bornholm and Gdańsk Basins with oxygen.

Whereas the winter concentrations of nitrate were nearly unchanged high in the surface layer in 1996, the decreasing tendency of the phosphate concentrations continued in all Baltic areas under investigation. The changes of the redox potential depending on the oxygen conditions decided the distribution of the inorganic phosphorus and nitrogen compounds in central Baltic deep waters in 1996.

In 1996, the abiotic environmental conditions were unfavourable for the development of good year classes of cod, sprat and herring due to the deteriorating oxygen conditions and the severe winter.

1. Einleitung

Das hydrographisch-chemische Ostsee-Überwachungsprogramm des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) wurde 1996 auf der Grundlage der Verwaltungsvereinbarung mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Hamburg und Rostock fortgesetzt. Darin wird dem IOW der hydrographisch-chemische Beitrag Deutschlands für das Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt übertragen. Zu den Aufgaben dieses Programms gehört auch die Überwachung des Wasseraustausches zwischen Ost- und Nordsee sowie der hydrographisch-chemischen Bedingungen in den zentralen Ostseebecken.

Wie in den Vorjahren (vgl. NEHRING et al., 1995a, 1996) wurden auch 1996 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.

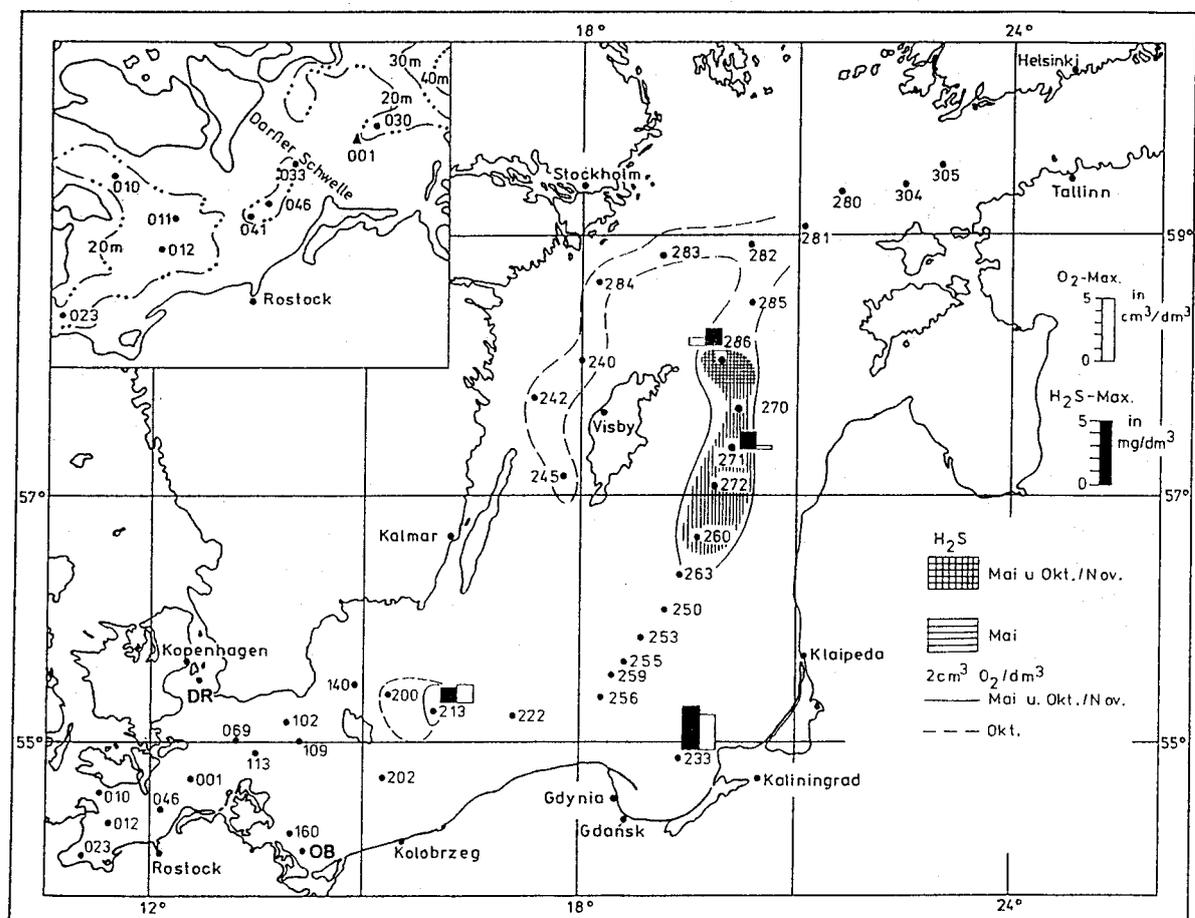


Abb. 1

Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der Ostsee sowie maximale Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen auf ausgewählten Stationen (Histogramme) im Jahre 1996

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, 1995a) enthalten.

Die schiffsgebundenen Untersuchungen wurden durch Messungen an einer autonomen Plattform im Gebiet der Darßer Schwelle (Stat. 001) sowie an der permanenten Meßboje „Oderbank“ in der Pommerschen Bucht (Stat. OB) ergänzt. Neben meteorologischen Parametern werden an diesen Stationen die Wassertemperatur und der Salzgehalt in 6 bzw. 4 Tiefen (Darßer Schwelle) und 2 Tiefen (Oderbank) 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., 1995, 1996). Angaben über die Strömungsverhältnisse werden darüber hinaus durch einen selbstregistrierenden akustischen Doppler-Profil-Strömungsmesser (ADCP; Darßer Schwelle) und durch akustische Strömungsmesser (2 Tiefen; Oderbank) erhalten.

2. Meteorologische Bedingungen

Der Witterungsablauf des Jahres 1996 wird anhand der meteorologischen Beobachtungen an den Wetterstationen Warnemünde und Arkona des Deutschen Wetterdienstes Offenbach sowie an der Meßplattform im Gebiet der Darßer Schwelle charakterisiert. Tabelle 1 zeigt die für Warnemünde ermittelten Summen der Lufttemperatur, die auch Rückschlüsse auf die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht der zentralen Ostsee gestatten (NEHRING et al., 1990).

Während der Winter 1995/96 im Bereich des Bottnischen Meerbusens als normal charakterisiert werden kann, muß er in der zentralen Ostsee und im Übergangsbereich zur Nordsee strenger als normal angesehen werden (LUNDQVIST, ÅRNELL, 1996). Die Kältesumme im Bereich der westlichen Ostsee lag mit 292,5 K weit über dem langjährigen Mittelwert (vgl. Tabelle 1). Die seit 1946/47 vorliegende Meßreihe an der Wetterstation Warnemünde weist ihn als den viertstrengsten Winter aus (vgl. Tabelle 2). Die Anzahl der Tage mit Tagesmitteln der Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt war zwischen Dezember 1995 und März 1996 mit 82 Tagen genau so groß wie im strengsten Winter 1946/47. Die negativen Anomalien der Monatsmittel der Lufttemperaturen an der Wetterstation Arkona betragen 2 bis 3 K (vgl. Tabelle 3). Die gesamte westliche Ostsee und der westliche und südliche Teil des Arkonabeckens war zeitweilig mit Eis bedeckt (vgl. Abb. 2). Die maximale Eisbedeckung der Ostsee wurde mit 270 000 km² (65 %) angegeben und in der 3. Februardekade erreicht (vgl. Abb. 11).

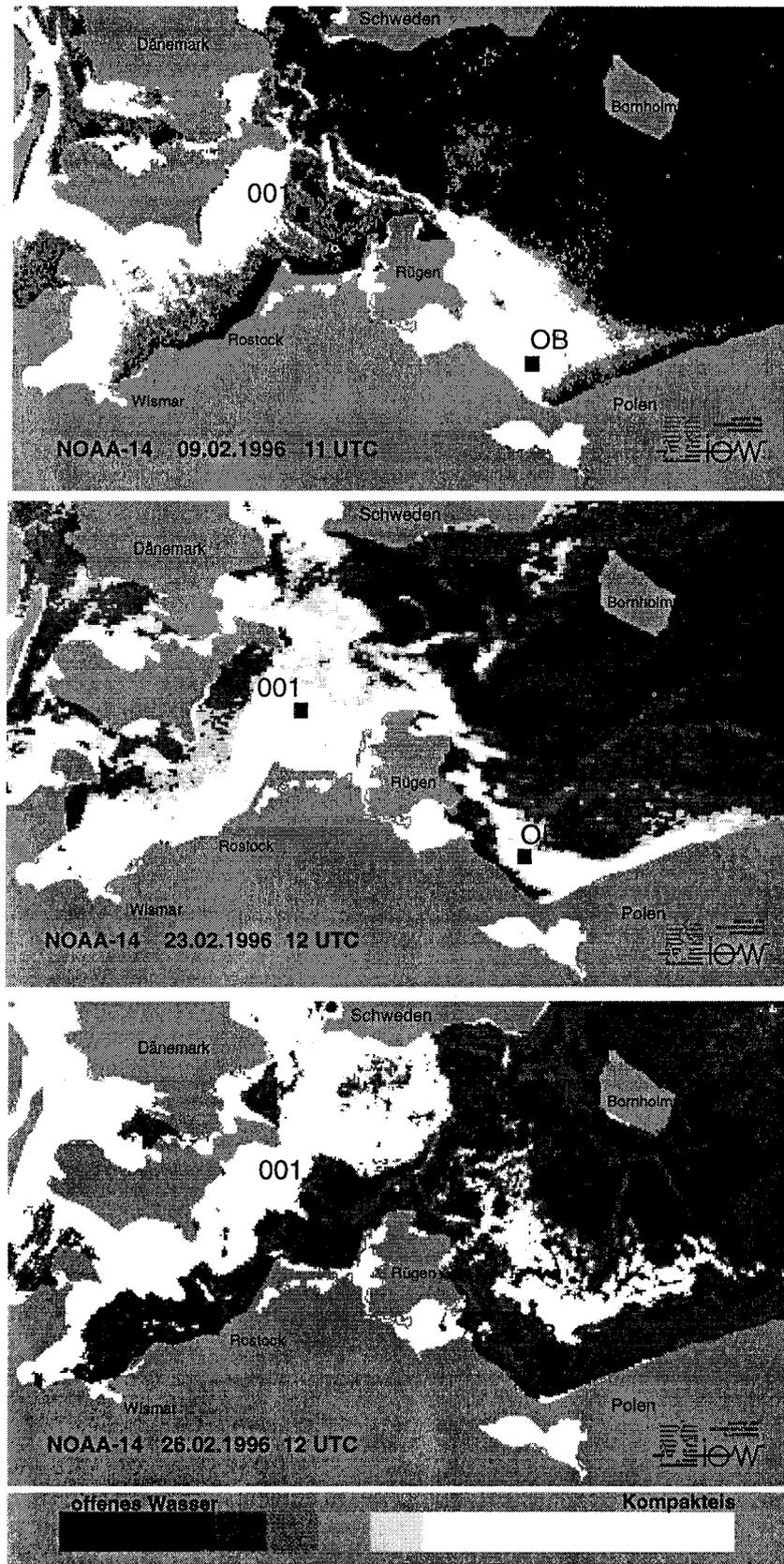


Abb. 2
Veränderlichkeit der Eisbedeckung in der westlichen Ostsee im Februar 1996,
abgeleitet aus NOAA-AVHRR-Daten (Datenquelle: BSH-Hamburg)

Tabelle 1 **Temperatursummen der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde (TIESEL, 1997); mittlere Temperatursummen 1961 bis 1990 in Klammern**

		Kältesummen ¹⁾ (K)		Wärmesummen ²⁾ (K)		
				Apr. 1996	11,0 (0,3)	
Nov.	1995	3,1	(2,4)	Mai 1996	2,3 (5,2)	
Dez.	1995	83,7	(26,5)	Jun. 1996	34,1 (19,2)	
Jan.	1996	89,3	(50,2)	Jul. 1996	22,2 (41,6)	
Feb.	1996	99,7	(32,7)	Aug. 1996	78,3 (38,2)	
Mär.	1996	16,0	(10,7)	Sep. 1996	0,2 (7,7)	
Apr.	1996	0,7	(0,04)	Okt. 1996	- (0,5)	
Σ	1995/96	292,5	(123,0)	Σ	1996	148,1 (112,7)

¹⁾ Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen

²⁾ Summe der Tagesmitteltemperaturen minus 16 für alle Tage mit Mitteltemperaturen über 16 °C

Tabelle 2 **Kältesummen der Lufttemperatur (in K) der fünf strengsten Winter seit 1946 an der Wetterstation Warnemünde (nach Tiesel)**

Winter	1946/47	1962/63	1969/70	1984/85	1995/96	Mittel (1961-1990)
November	1,2	0,0	0,0	4,9	3,1	2,5
Dezember	75,6	70,0	140,5	18,1	83,7	26,5
Januar	162,3	155,3	113,7	142,5	89,3	50,2
Februar	194,3	138,1	66,0	106,6	99,7	32,7
März	72,7	34,6	7,7	6,8	16,0	10,7
April	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,04
Σ	506,1	398,0	328,2	278,9	292,5	123,0

Zusätzlich zum Eisbericht des BSH wurden 1996 aktuelle flächenhafte Informationen über die Eislage aus NOAA-Satellitendaten genutzt, um die Eisentwicklung in der westlichen Ostsee zu kontrollieren. Das war für die Abschätzung der Gefährdung der autonomen Meßstation auf der Darßer Schwelle von besonderem Interesse, denn vor der Kompakteisentwicklung in der westlichen Ostsee mußten die Instrumente geborgen und der Mast geflutet sein.

Nachdem durch die anhaltende Ostwindlage in der 2. Januarhälfte (vgl. Abb. 4) der Westteil der Pommerschen Bucht einschließlich der Bodden bereits eisbedeckt war, begann die Entwicklung in der westlichen Ostsee erst in den letzten Januartagen. Dadurch konnten die Messungen an der

Darßer Schwelle bis 27. Januar durchgeführt werden. Am 2. Februar wurde der Mast geflutet und am 5. Februar war die westliche Ostsee schon zu einem hohen Prozentsatz mit Eis bedeckt.

In Abb. 2 ist der Einfluß des Windes auf die Variabilität der Eisbedeckung dargestellt. Während der Ostwindlage vom 5. bis 9. Februar war durch den Ekmantransport das Eis an die dänische Küste gedrückt worden. Der entstehende Auftrieb hat die Küste Mecklenburg-Vorpommerns eisfrei gehalten. Eine kurzzeitige Umstellung auf Westwind, die innerhalb weniger Stunden erfolgte, erzeugte dann Kompakteis an der deutschen Küste (23. Februar). Der 26. Februar zeigte bereits wieder die Situation mit dem eisfreien Bereich vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern.

Die Wärmesummen der Monate Mai, Juli und September lagen unter den langjährigen Mittelwerten (vgl. Tabelle 1). Im Juni und August erreichten sie aber etwa das Doppelte des langjährigen Mittels, so daß der Sommer insgesamt als überdurchschnittlich warm charakterisiert werden kann. Die Anomalien der Lufttemperaturen an der Wetterstation Arkona (vgl. Tabelle 3) zeigen, daß lediglich die Monate April und August positive Anomalien von > 1 K aufweisen. Im Jahresmittel 1996 war die Abweichung vom langjährigen Erwartungswert mit $-0,9$ K nur gering.

Tabelle 3 Anomalien der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft (ΔT_L) sowie prozentualer Anteil der monatlichen Sonnenscheindauer (SD) und Niederschlagshöhe (NH) an der Wetterstation Arkona im Jahre 1996 bezogen auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961 bis 1990 (ANONYM, 1996a)

Monat	ΔT_L (K)	SD (%)	NH (%)
Januar	-2,0	71	6
Februar	-3,0	88	89
März	-2,5	118	26
April	1,4	139	53
Mai	-1,5	63	262
Juni	-0,7	84	96
Juli	-1,4	86	111
August	1,1	111	91
September	-0,9	122	90
Oktober	0,3	135	75
November	0,4	92	125
Dezember	-2,2	129	37
Mittel	-0,9	103	88

Das Jahresmittel der Sonnenscheindauer lag im Bereich der Normalwerte. Während die Monate April und Oktober besonders sonnenscheinreich waren, blieben Januar und Mai deutlich unter den Mittelwerten.

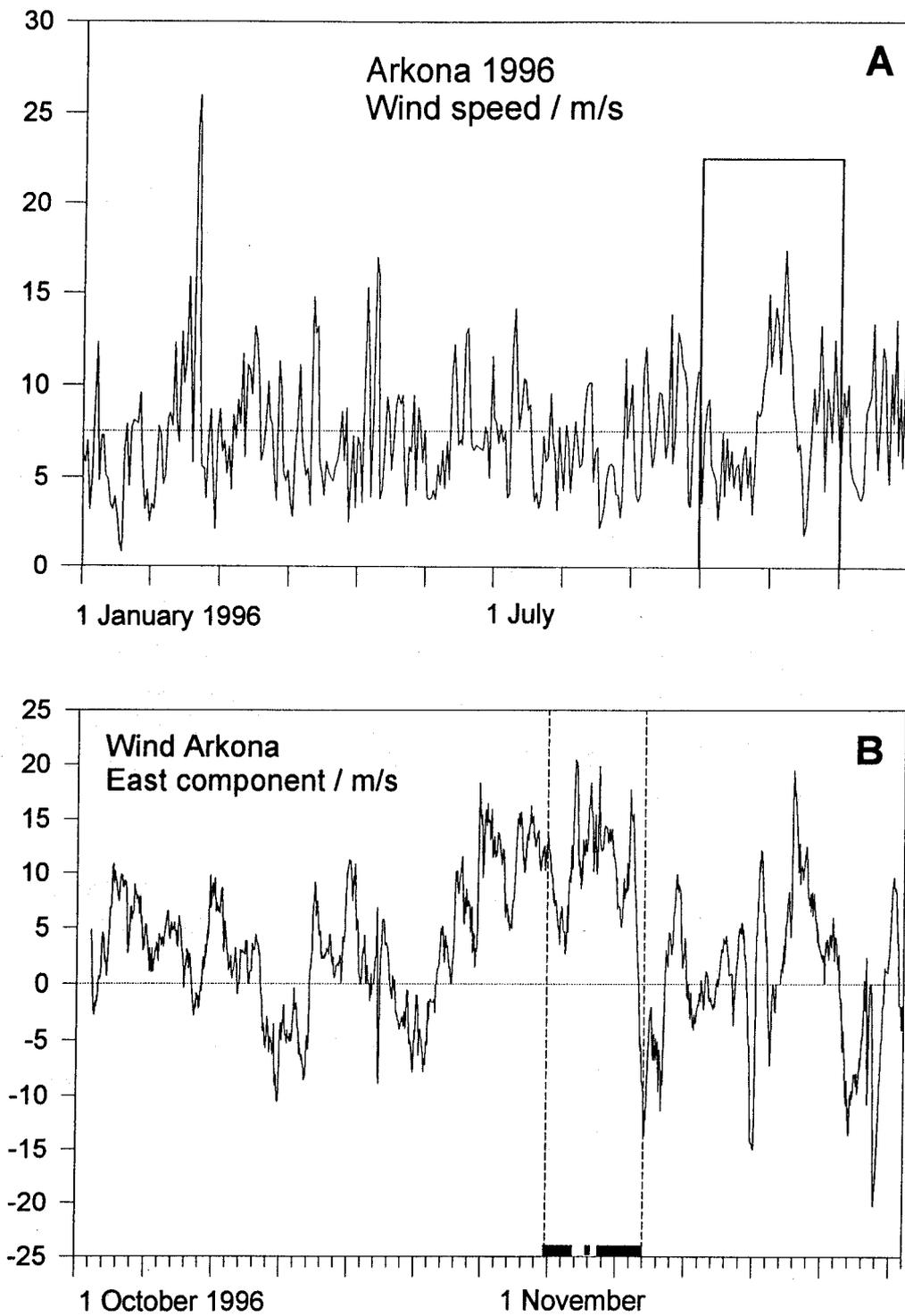


Abb. 3

Tagesmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im Jahre 1996 (A) und ihre Ostkomponente im Oktober und November (B) (nach Daten des DWD)

Hohe Niederschlagsmengen wurden lediglich im Mai beobachtet. Niederschlagsarm waren dagegen die Monate Januar, März, April und Dezember. Im Jahresmittel dominierte eine negative Niederschlagsanomalie.

Die in Abb. 3A dargestellten Tagesmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona zeigen 1996 zwei markante Ereignisse: Einen Sturm im Februar und eine längere Periode starker Winde Ende Oktober/Anfang November. Tagesmittel von mehr als 17 m/s (> 8 Bft.) wurden nur am 19./20. Februar (26,0 m/s; Oststurm) und am 6. November (17,4 m/s; Weststurm) registriert. Die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit lagen zwischen 5,6 m/s (Januar) und 9,4 m/s (November).

Östliche Winde, die in dem Oststurm am 19./20. Februar kulminierten, traten vor allem von Januar bis März mit Monatsmitteln der Windgeschwindigkeit zwischen 5,6 und 8,9 m/s auf. Diese verursachten eine extrem geringe Wasserfüllung der Ostsee (vgl. Abb. 5). Eine längere Periode mit östlichen Winden wurde auch im August/September mit Monatsmitteln von 6,3 bzw. 8,3 m/s beobachtet (Abb. 4).

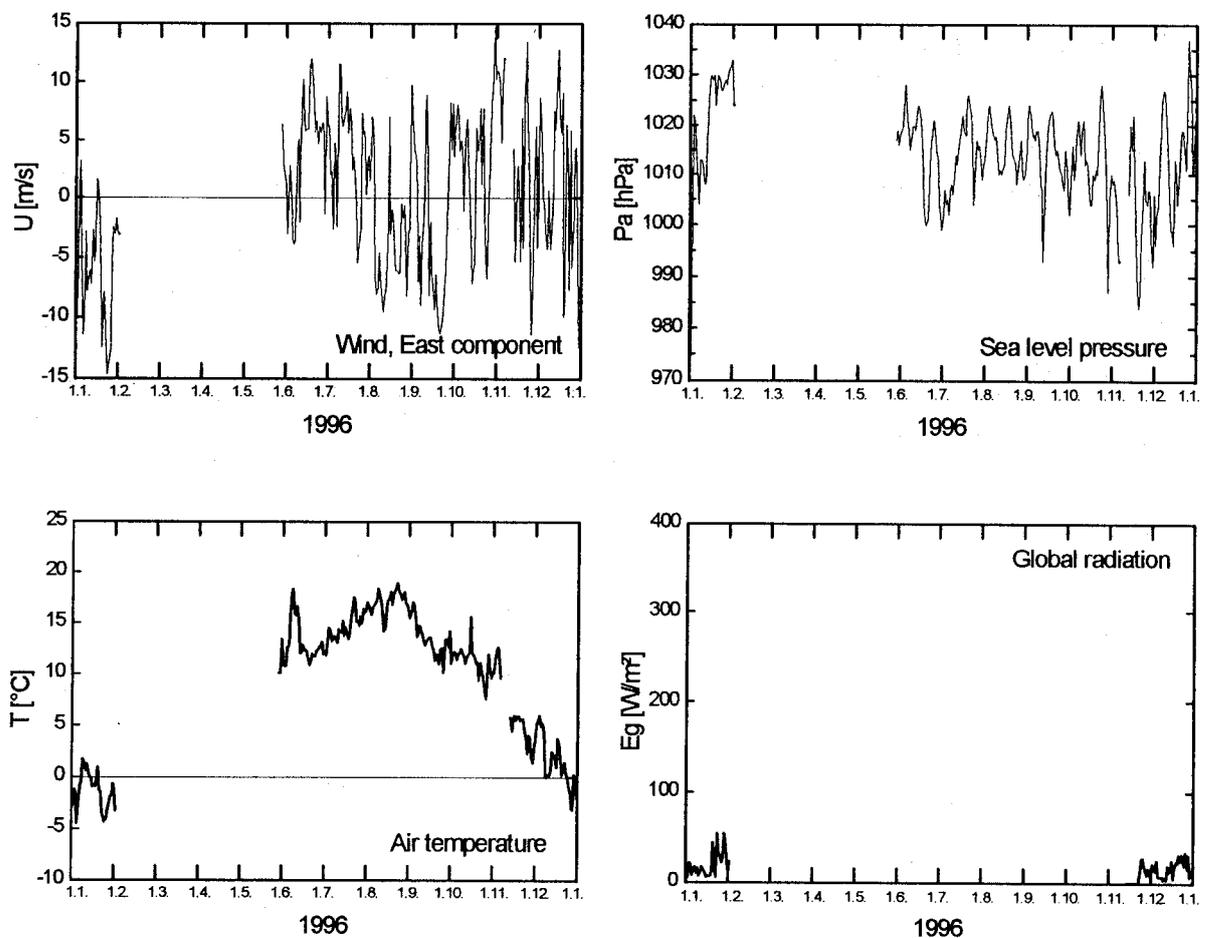


Abb. 4

Tagesmittel der Ostkomponente der Windgeschwindigkeit und des Luftdrucks sowie Tagesmittel der Lufttemperatur und der Globalstrahlung auf der Darßer Schelle (Stat. 001)

Die Ostkomponente (Westwind positiv) im Bereich der westlichen Ostsee zeigte im Verlaufe des Jahres länger andauernde Perioden mit westlichen Winden im Juni/Juli, Oktober/November und Mitte Dezember (Abb. 4). Die markanteste Periode mit starken westlichen Winden trat zwischen 27. Oktober und 10. November auf (Abb. 3B), die zwischen 3. und 10. November 1996 zu einem starken Einstrom salzreichen Wassers in die Ostsee führte (vgl. Kapitel 3.2).

Die vorherrschenden Wind- und Luftdruckverhältnisse im Winter 1995/96 spiegeln sich deutlich im Füllungsgrad der Ostsee wider (Abb. 5). Die von Januar bis März dominierende Hochdruckwetterlage führte zu einer extremen Entleerung der Ostsee mit einem Rückgang des Ostseewasserstandes auf zeitweise mehr als 50 cm unter Normal. Ein ähnlich niedriger Füllungsgrad wurde kurzzeitig zuletzt im Februar/März 1984 beobachtet.

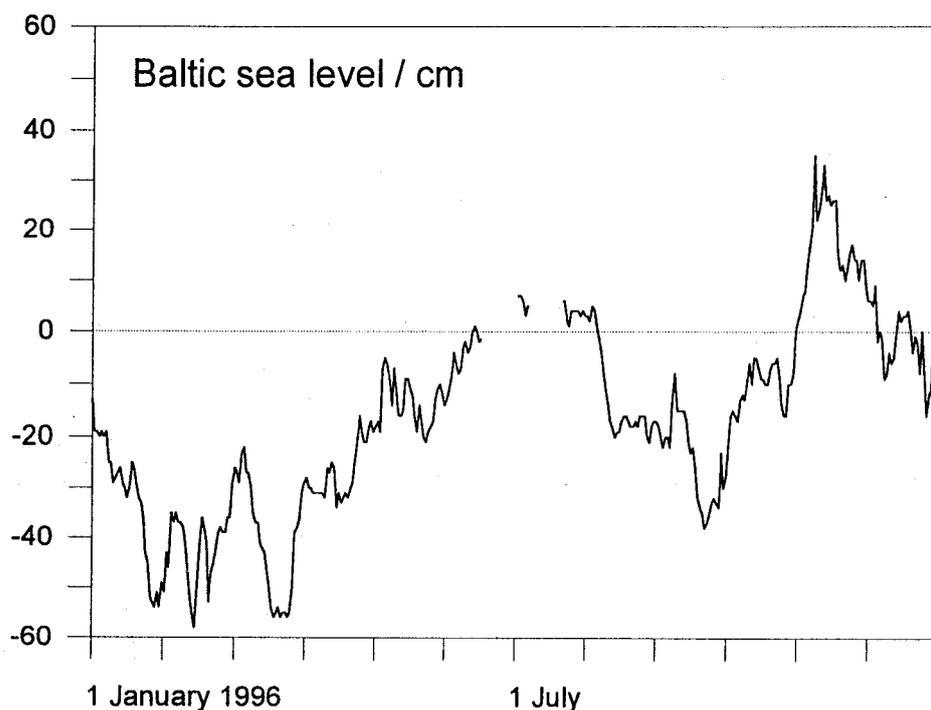


Abb. 5

Schwankungen im Füllungsgrad der Ostsee im Jahre 1996, dargestellt anhand des Wasserstandes von Landsort (nach Daten des SMHI Norrköping)

Im Laufe des Frühjahrs füllte sich die Ostsee wieder langsam und erreichte im Juni und Juli die langjährigen Normalwerte. Von August bis Oktober lag die Wasserfüllung - wiederum auf Grund der vorherrschenden Ostwetterlagen - durchweg zwischen 10 und 40 cm unter Normal. Infolge einer längeren Westwindperiode Ende Oktober/Anfang November mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 13 m/s und Windspitzen von > 30 m/s lag der Ostseewasserstand kurzzeitig etwa 35 cm über Normal und ging bis Ende 1996 wieder langsam auf den mittleren Wasserstand zurück.

3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge

3.1 Beobachtungen an der Bojenstation „Darßer Schwelle“

Die kontinuierlichen Registrierungen der Wassertemperatur und des Salzgehaltes sowie der Strömungsgeschwindigkeit an der Station „Darßer Schwelle“ (Stat. 001, vgl. Abb. 1) wurden 1996 fortgesetzt. Die Eisbedeckung der westlichen Ostsee im Winter 1995/1996 (vgl. Abb. 2) erzwang die zeitweise Stilllegung des Meßmastes auf der Darßer Schwelle. Dieser Zeitraum wurde mit verankerten Meßgeräten überbrückt. Die meteorologischen Messungen fielen dadurch vom 2. Februar bis zum 30. Mai, die Messungen der Globalstrahlung infolge eines Sensordefektes bis Ende November 1996 aus.

Der Sauerstoffgehalt in der Bodenschicht der Darßer Schwelle wurde 1996 erstmals versuchsweise über längere Zeit mit einem Seacat-Sauerstoff-Recorder, der am Meßgestell des ADCP befestigt war, gemessen. Parallel dazu wurde der Sauerstoffgehalt am Meßmast mit einem unabhängigen Gerät in der gleichen Tiefe registriert. Vereinzelt Vergleichsmessungen von Wasserproben aus der Meßtiefe der Geräte wurden nach der Winklermethode während der Wartungszyklen des Meßmastes durchgeführt. Die Zeitreihenmessungen waren stabil, und die Übereinstimmung mit den Vergleichsmessungen lag in der Größenordnung von $\pm 0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$.

3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoff

Die Jahresmittel der Wassertemperatur an der Darßer Schwelle, dargestellt in Tabelle 4, wiesen 1996 in allen Tiefenniveaus die niedrigsten Werte seit 1992 auf, die um 1 bis 2 K unter den Mittelwerten früherer Jahre lagen. Die Standardabweichungen der Wassertemperatur in 17 m und 19,5 m Tiefe waren die höchsten im Beobachtungszeitraum, während die in 7 m Tiefe innerhalb ihrer Schwankungsbreite lag. Die thermische Schichtung war 1996 an der Darßer Schwelle im Mittel normal ausgeprägt.

Die Fourieramplituden des Jahresganges der Wassertemperatur von fünf aufeinander folgenden Jahren sind in Tabelle 5 zusammengefaßt. Die Amplituden in den verschiedenen Wassertiefen verhalten sich 1996 analog zu den Standardabweichungen. Die Phasen des Jahresganges von 1996 sind in allen Beobachtungstiefen die niedrigsten seit 1992. Sie weisen darauf hin, daß die jahreszeitliche Erwärmung des Wassers auf der Darßer Schwelle 1996 schon Ende März begann, während sie im Mittel Anfang April beobachtet wird.

Die 1996 beobachteten thermischen Verhältnisse im Bereich der Darßer Schwelle können durch die Folge eines im Mittel zu warmen Sommers auf einen strengen Winter erklärt werden (vgl. Tabelle 3 und Abb. 4). Dadurch weist die Amplitude des Jahresganges annähernd gleiche Werte wie in den vorangegangenen Jahren mit milden Wintern und sehr warmen Sommern auf (NEHRING et al., 1995a, 1996). Die Jahresmitteltemperatur ist jedoch signifikant niedriger.

Der extrem frühe Anstieg der Wassertemperaturen auf der Darßer Schwelle (vgl. Abb. 6A) kann durch die Advektion relativ warmen Wassers aus dem Kattegat erklärt werden, die früher erfolgen kann als die lokale Erwärmung der Wassersäule infolge des im Frühjahr in das Meer gerichteten Wärmeflusses.

Gemäß Tabelle 4 wies der mittlere Salzgehalt 1996 auf der Darßer Schwelle in 7 m Tiefe den niedrigsten Mittelwert verglichen mit den vorangegangenen Jahren auf. Dagegen hatte der

mittlere Salzgehalt in Bodennähe die höchsten Werte der vorliegenden Meßreihe. Die Standardabweichung des Salzgehalts hatte in allen Tiefen Werte, die innerhalb der Streubreite der bisherigen Beobachtungen liegen. Die ausgeprägte mittlere Schichtung des Salzgehaltes im Jahre 1996 dokumentiert einen stärkeren baroklinen Anteil des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee als in den vorangegangenen Jahren des Beobachtungszeitraums.

Tabelle 4 Jahresmittelwerte der Wassertemperatur (T) und des Salzgehaltes (S) sowie deren Standardabweichungen 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
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

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		19,5 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

Der Verlauf der Wassertemperatur auf der Darßer Schwelle im Jahre 1996 ist für die Meßtiefen 7 m und 17 m in Abb. 6A dargestellt. Das Minimum der Wassertemperatur wurde Anfang März 1996 mit Werten um $-0,5$ °C erreicht. Die thermische Schichtung der Wassersäule begann bereits Anfang April und blieb bis Anfang September erhalten. Maximale Wassertemperaturen von etwa 17 °C wurden Anfang und Ende August erreicht, unterbrochen durch ein relatives Minimum mit Werten zwischen 6 und 8 °C. Dieses Minimum ist charakteristisch für ein von der Insel Hiddensee zur Darßer Schwelle reichendes Filament mit kaltem Auftriebswasser aus dem winterlichen Zwischenwasser des Arkonabeckens (vgl. LASS et al., 1996). In der Zeit der

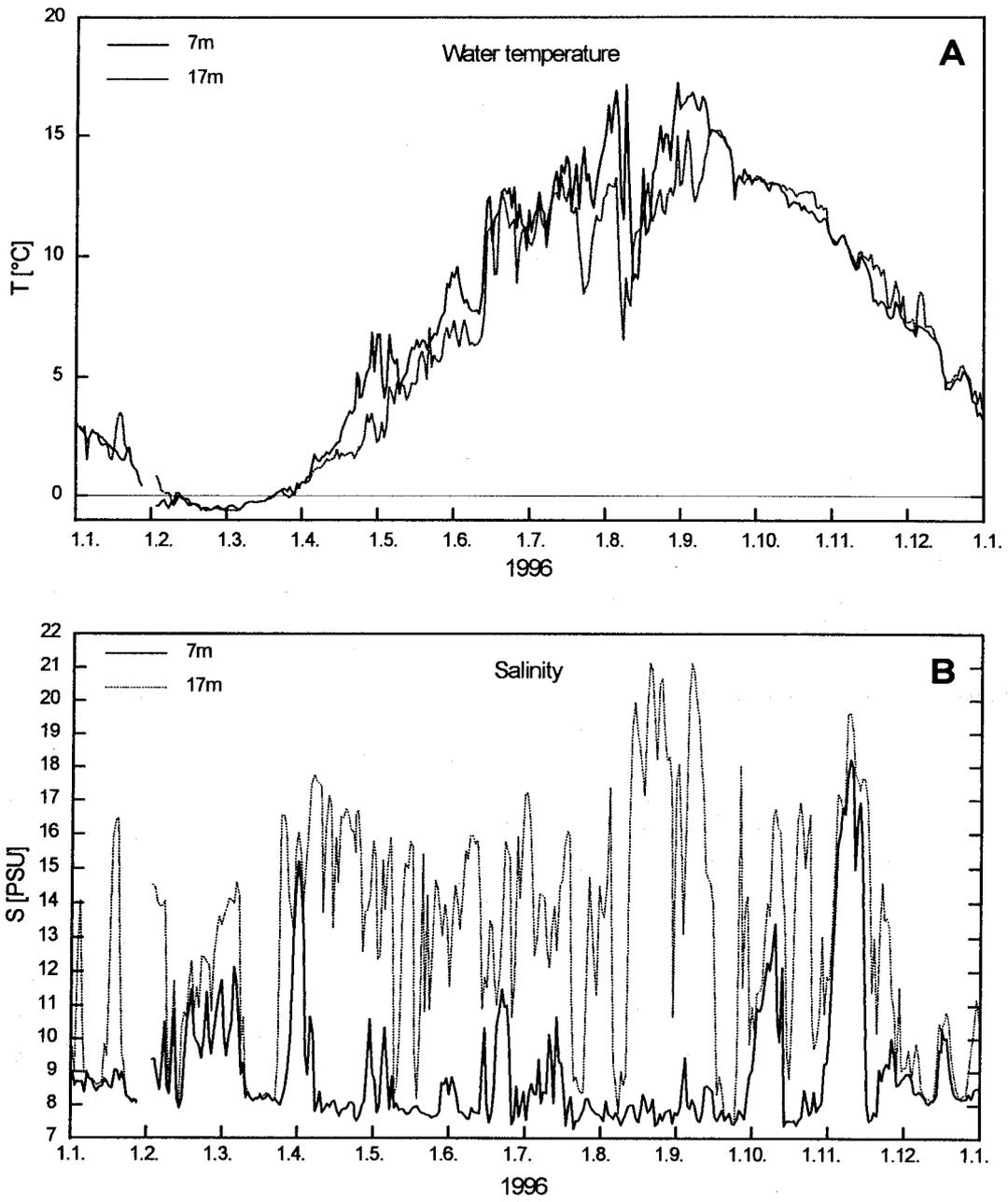


Abb. 6
 Verlauf der Wassertemperatur (A) und des Salzgehaltes (B) in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle im Jahre 1996

ausgeprägten thermischen Schichtung war eine deutliche mesomaßstäbliche Variabilität zu beobachten. Die Abkühlungsphase des Wassers begann auf der Darßer Schwelle in allen Tiefen im September, wobei Ende Dezember rund 3 °C erreicht wurden (vgl. auch Abb. 4).

Der zeitliche Verlauf des Salzgehaltes auf der Darßer Schwelle ist in Abb. 6B dargestellt. Der minimale Oberflächensalzgehalt lag zwischen Anfang März und Ende November unter 8 PSU. Solch anhaltend niedriger Oberflächensalzgehalt wurde auf der Darßer Schwelle seit Beginn der kontinuierlichen Messungen im Jahre 1992 noch nicht beobachtet (vgl. auch Kapitel 4.2 und Tabelle 7). Der Salzgehalt in der bodennahen Schicht lag im gleichen Zeitraum im Mittel mit 15 PSU ungewöhnlich hoch. Er wurde von den charakteristischen 10tägigen Fluktuationen unterbrochen. Dabei nähert sich der Salzgehalt des bodennahen Wassers in den extremen Minima dem Salzgehalt des Oberflächenwassers im Arkonabecken. Die Wassertemperatur weist die für den Auftrieb charakteristischen niedrigen Werte auf. Das Sommerhalbjahr 1996 ist somit durch eine anhaltend ausgeprägte Schichtung im Salzgehalt charakterisiert, wie sie für ästuarine Zirkulation typisch ist.

Hoher Salzgehalt mit mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule, wie er für barotrope Einstromereignisse charakteristisch ist, wurde 1996 während eines kurzen Pulses Anfang April und in einem längeren Puls Anfang November beobachtet. Drei weitere Einstromereignisse mit Salzgehalten zwischen 10 und 12 PSU in der ganzen Wassersäule erfolgten Mitte Februar bis Anfang März, Ende Juni und Anfang Oktober.

Das Jahr 1996 war somit durch eine ausgeprägte ästuarine Zirkulation im Sommerhalbjahr und zwei schwache barotrope Einstromereignisse gekennzeichnet. Zusammen mit dem gleichzeitig durch den Öresund erfolgenden Salzwassereinstrom führte lediglich das Einstromereignis im November zu einer Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers in den zentralen Ostseebecken.

Die barotropen Einstromereignisse sind eng mit dem Verlauf der Ostkomponente des Windes in der westlichen Ostsee korreliert, die in Abb. 3B und 4 dargestellt ist. Sie treten bevorzugt dann auf, wenn eine Ostwetterlage von einer Periode lang anhaltender intensiver Westwinde abgelöst wird. Die baroklinen Austauschprozesse werden dagegen vor allem bei schwachen Winden beobachtet.

Die 1996 in 19,5 m Tiefe registrierte Zeitreihe des Sauerstoffs ist in Abb. 7 dargestellt. Der Sauerstoffgehalt sinkt im Mittel von 5 bis 6 cm³/dm³ Mitte Juni auf rund 3 cm³/dm³ Mitte September. Diese Abnahme steht in ursächlichem Zusammenhang mit biochemischen Sauerstoffzehrungsprozessen in der stabilen Bodenwasserschicht. Beendet wird diese Periode durch die zunehmende vertikale Vermischung, die im Herbst einsetzt und im Zusammenhang mit einem Salzwassereinstrom (vgl. Abb. 6B) zu einem starken Anstieg des Sauerstoffgehalts im Oktober führte.

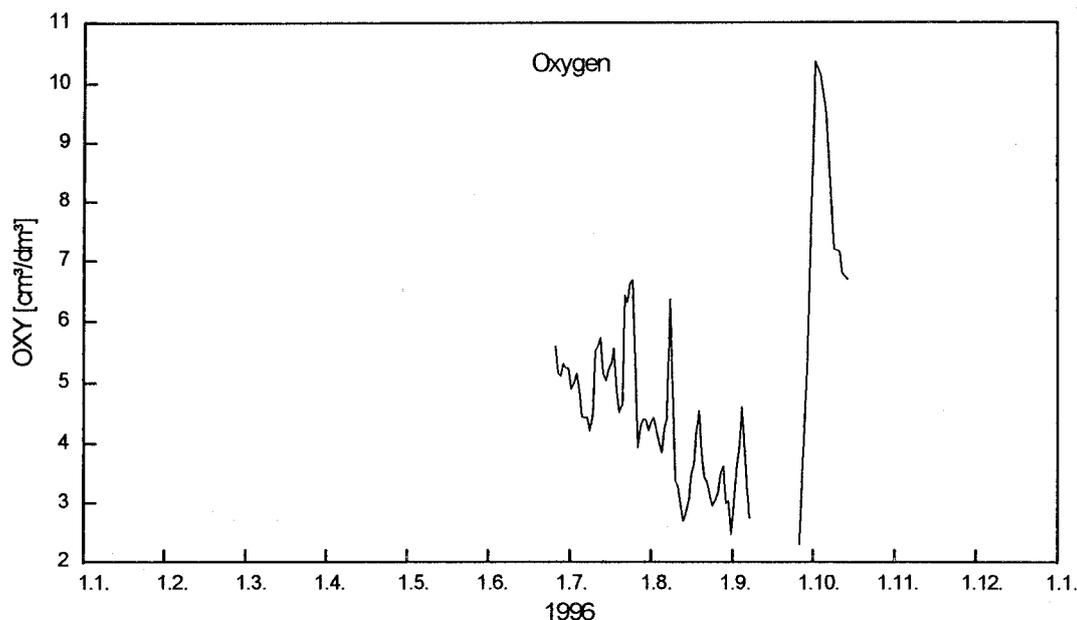


Abb. 7

Verlauf des Sauerstoffgehalts in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle im Jahre 1996

Den jahreszeitlichen Variationen sind Schwankungen des Sauerstoffgehaltes von einigen cm^3/dm^3 mit typischen Zeitskalen von 10 Tagen überlagert. Der Vergleich mit den Fluktuationen des Bodensalzgehaltes in Abb. 6B während des im Mittel abfallenden Sauerstoffgehaltes zeigt, daß beide Variablen miteinander korreliert sind. Dies ist dadurch begründet, daß bei starkem Ausstrom sauerstoffreiches Wasser aus dem Arkonabecken das aus der westlichen Ostsee stammende sauerstoffarme Bodenwasser auf der Darßer Schwelle verdrängt und der anschließende Einstrom erneut sauerstoffarmes Wasser zuführt.

3.1.2 Strömung

Der auf der Darßer Schwelle eingesetzte Akustische Doppler Profilströmungsmesser (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 Meeresboden stationiert und wies auch in den Sommermonaten nur einen geringfügigen Algenbewuchs auf, so daß die hochgenauen Messungen nicht beeinflusst worden sind.

Die fortschreitenden Vektordiagramme der Strömungsmessungen 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 sind die vertikal gemittelte Strömung und zur Beschreibung des baroklinen Anteils die Strömung in 3 m und 18 m Meßtiefe zeitlich integriert und die fortschreitenden Vektordiagramme (Pseudotrajektorien) berechnet worden. Diese filtern insbesondere die kurzzeitigen Fluktuationen

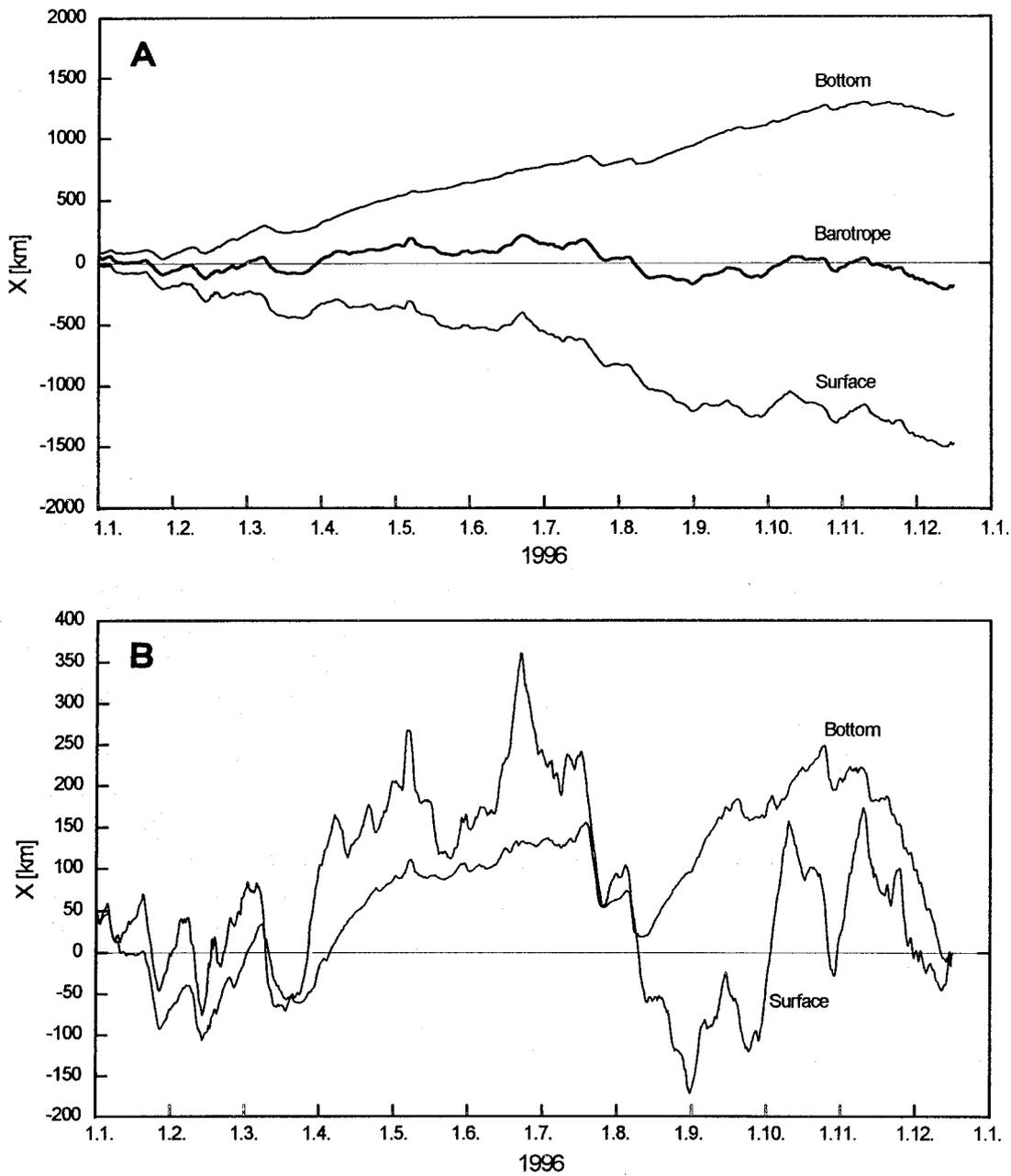


Abb. 8

Ostkomponente der Pseudotrajektorie des Vertikalmittels der Strömung (dicke Linie) und der Strömung an der Oberfläche und am Boden im Bereich der Darßer Schwelle im Jahre 1996 (A) sowie deren Fluktuationen (B)

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- und Bodennähe sind in Abb. 8A dargestellt. Ihre Nordkomponenten sind vergleichsweise klein (zwischen 0 und 100 km) und werden deshalb hier nicht gezeigt.

Das erste Halbjahr 1995 war durch einen intensiven und langandauernden Ausstrom geprägt (vgl. NEHRING et al., 1996). Im zweiten Halbjahr 1995 war der mittlere Ausstrom verschwindend gering. Dieser geringe Ausstrom hielt während des gesamten Jahres 1996 an (Abb. 8A). Ab November 1996 ist ein anhaltend deutlicher Ausstrom zu beobachten. Da die langzeitigen Fluktuationen der barotropen Strömung auf der Darßer Schwelle wesentlich durch die Wasserbilanz der Ostsee geprägt sind, weist dies hin auf einen ausgeprägten Süßwasserüberschuß der Ostsee im Frühjahr 1995 und einen sehr geringen Wasserexport aus der Ostsee vom Sommer 1995 bis zum Herbst 1996. Da sich Verdunstung und Niederschlag über der Ostsee nahezu ausgleichen, muß also im letzteren Zeitraum auch die Flußwasserzufuhr aus dem Einzugsgebiet der Ostsee sehr gering gewesen sein.

Die barokline (ästuarine) Zirkulation war 1996 auf der Darßer Schwelle gut ausgeprägt. An der Oberfläche herrschte – von einigen Fluktuationen abgesehen – durchgehend Ausstrom. Diese Beobachtung erklärt den geringen mittleren Oberflächensalzgehalt auf der Darßer Schwelle im Jahre 1996 (vgl. Kapitel 3.1.1). Am Boden wurde insbesondere vom Frühjahr bis zum November 1996 ein langanhaltender Einstrom gemessen, der zu dem hohen mittleren Salzgehalt auf der Darßer Schwelle in diesem Zeitraum geführt hat (vgl. auch Tabelle 4 und Abb. 6B).

Um die Fluktuationen des Wasseraustausches über die Darßer Schwelle deutlicher sichtbar zu machen, wurde von den fortschreitenden Vektordiagrammen der mittlere Anstieg im Jahre 1996 subtrahiert. Die Fluktuationen der scheinbaren Partikelverschiebung sind in Abb. 8B dargestellt. Es zeigt sich, daß der Wasseraustausch über die Darßer Schwelle von Januar bis Anfang April 1996 im wesentlichen durch die Aufeinanderfolge von drei barotropen Ein- und Ausstromereignissen geprägt war. Ab April trat eine Entkopplung der Fluktuationen der oberflächennahen Strömung von denen der bodennahen ein (vgl. auch Abb. 6B), die bis zum Oktober 1996 anhielt und lediglich Anfang August durch ein starkes barotropes Ausstromereignis unterbrochen wurde. Von Oktober bis Ende 1996 ist der Wasseraustausch wieder durch barotrope Einstromereignisse charakterisiert.

Die Phase ausgeprägter barokliner Strömung auf der Darßer Schwelle spiegelt sich in der gleichzeitig beobachteten kräftigen Salzgehaltsschichtung wieder (vgl. Abb. 6B). Die barotropen Einstromereignisse Anfang April, Anfang Oktober und Anfang November hatten einen Einstrom salzreichen Wassers in der ganzen Wassersäule zur Folge. Das barotrope Ausstromereignis im August ist deutlich mit einem kräftigen Kaltwasserauftrieb an der Darßer Schwelle korreliert (vgl. Abb. 6A).

3.2 Einströme salzreichen Wassers

Alle Einstromereignisse des Jahres 1996 sind mit einer intensiven positiven Ostkomponente des Windes (Westwind; vgl. Abb. 4) und mit einer Advektion salzhaltigen Wassers in der Boden- und Oberflächenschicht der Darßer Schwelle verbunden.

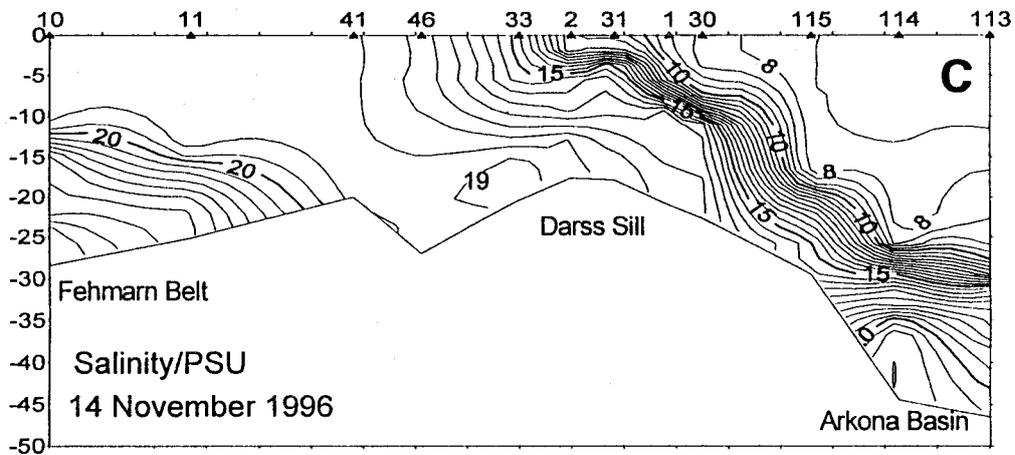
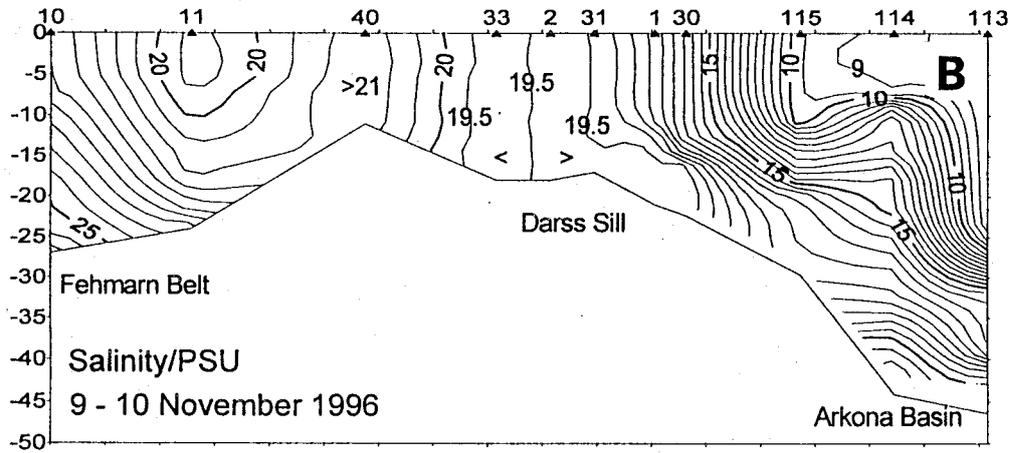
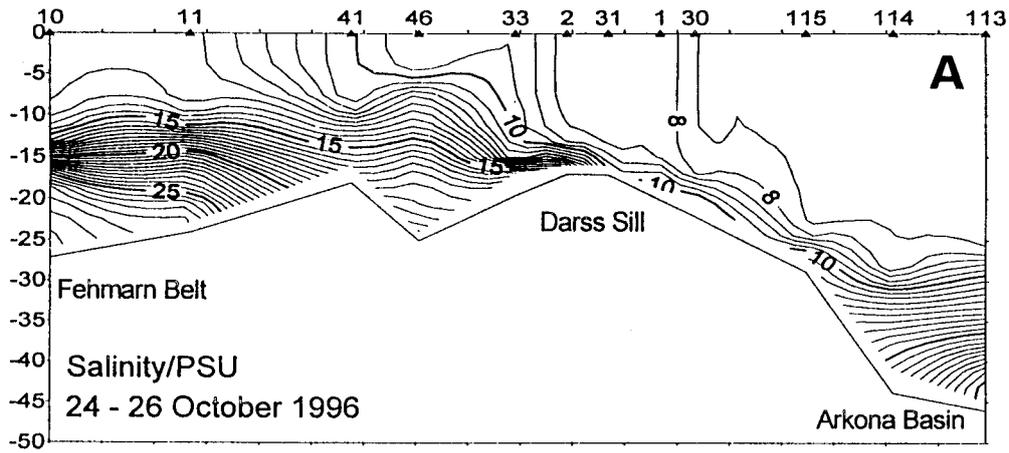


Abb. 9

Vertikalverteilung des Salzgehaltes auf einem Längsschnitt Fehmarnbelt - Arkonabecken vor, während und nach dem Einstrom salzreichen Wassers Anfang November 1996

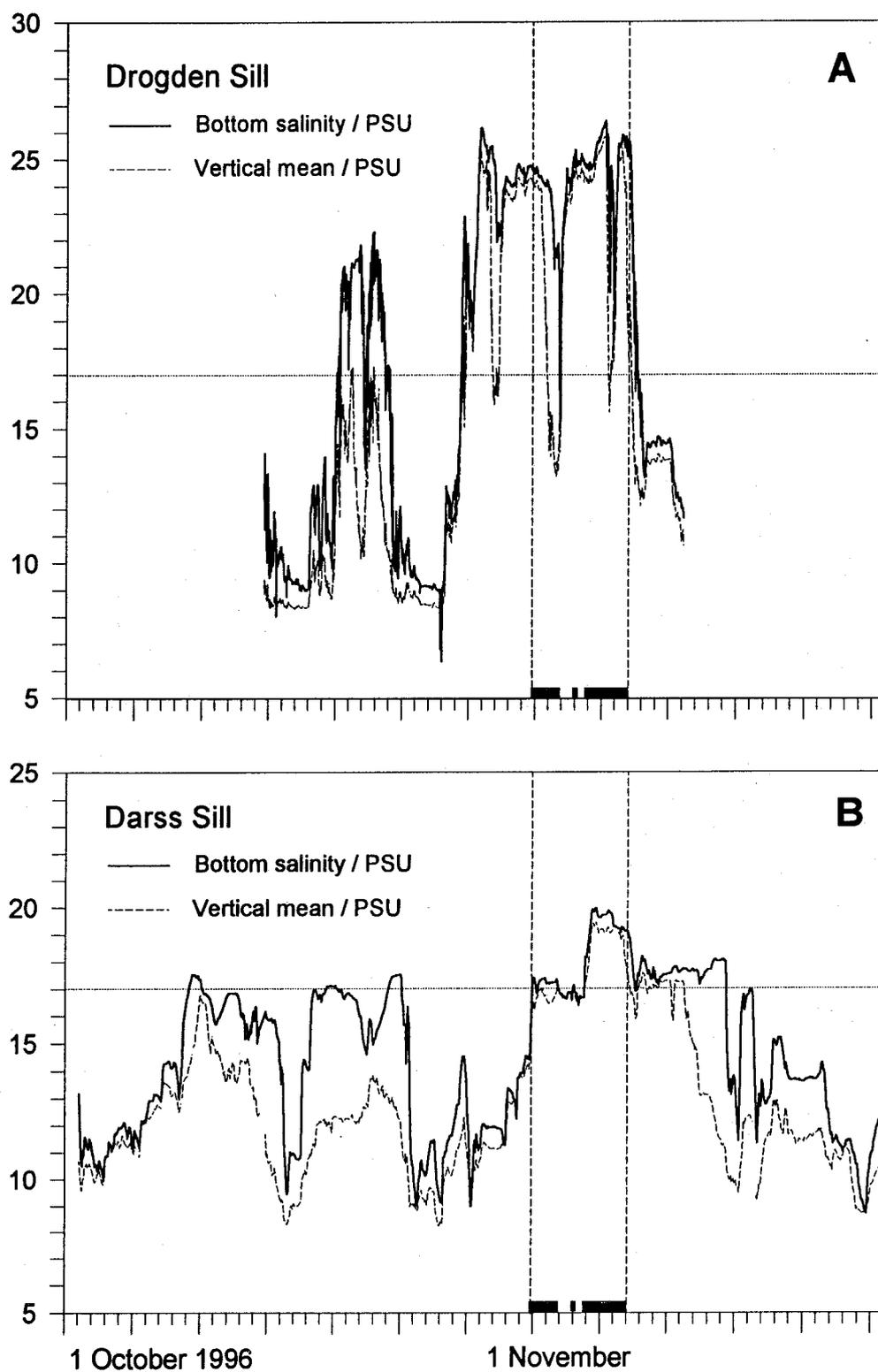


Abb. 10

Verlauf des Salzgehaltes auf der Drogden (Stat. DR; vgl. Abb. 1) und Darßer Schwelle (Stat. 001) im Oktober und November 1996

Einstromereignisse mit Salzgehalten zwischen 10 und 12 PSU in der ganzen Wassersäule über der Darßer Schwelle erfolgten Mitte Februar bis Anfang März, Ende Juni und Anfang Oktober (vgl. Abb. 6B). Bei dem Einstrom Ende September/Anfang Oktober gelangten 40 km^3 salzreichen Wassers (25 bis 32 PSU) über die Drogden Schwelle ins Arkonabecken (ANONYM, 1996c). Salzgehalte mit mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule, wie sie für barotrope Einstromereignisse charakteristisch sind, wurden 1996 während eines kurzen Einstroms Anfang April beobachtet. Ein kurzer Einstrom von salzreichem Wasser, wie er Ende August über die Drogden Schwelle (20 km^3 ; ca. 25 PSU) beobachtet wurde (ANONYM, 1996b) und sich im Füllungsgrad der Ostsee widerspiegelt (vgl. Abb. 5), war an der Darßer Schwelle nicht zu erkennen.

Anfang November erfolgte der intensivste Einstrom salzreichen Wassers über die Darßer Schwelle im Jahre 1996 mit Salzgehalten bis etwa 20 PSU und Temperaturen von rund $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (Abb. 9B und 10B). Das über den Sund eingeströmte Wasser wies Salzgehalte zwischen 20 und 26 PSU (Abb. 10A) bei Temperaturen von $8,5$ bis $10 \text{ }^\circ\text{C}$ auf und war auch am Südwestrand des Arkonabeckens erkennbar (Abb. 9B, C). Der Einstrom begann am 27. Oktober im Anschluß an mehrere Tage mit nordöstlichen bis östlichen Winden (vgl. Abb. 3B; Ostseewasserstand etwa 15 cm unter Normal). Am 29. Oktober überstieg der Bodensalzgehalt im Bereich der Drogden Schwelle 17 PSU und betrug später 22 bis 26 PSU (Abb. 10A). Am 3. November erreichte er auf der Darßer Schwelle die 17 PSU-Marke und lag bis zum 10. November nicht unter 16,5 PSU (vgl. Abb. 10B).

Die Kriterien für Salzwassereinbrüche nach MATTHÄUS und FRANCK (1992) waren zwischen 3. und 10. November an insgesamt 5 Tagen (3.–5. und 7.–10. November) erfüllt (schwarze Balken in Abb. 10). Lediglich an etwa 2 Tagen war der Bodensalzgehalt mit 16,5 bis <17 PSU unterhalb der angegebenen Kriterien. Insgesamt kam es zu einer Wasserfüllung bis zu 35 cm über Normal am 8. November (vgl. Abb. 5), so daß etwa 190 km^3 , davon rund 80 km^3 salzreiches Wasser (≥ 17 PSU) eingeströmt sind. Das Ereignis vom November kann somit bereits als sehr schwacher Salzwassereinbruch angesehen werden.

4. Hydrographisch-chemische Bedingungen

Die Mecklenburger und Kieler Bucht liegen im Übergangsbereich zwischen Ostsee und Nordsee und sind daher durch starke kurzfristige Schwankungen der hydrographischen und chemischen Variablen gekennzeichnet. Dies gilt auch für die Pommersche Bucht, die durch den Oderausstrom beeinflusst wird. Das Datenmaterial, das auf den dort bearbeiteten Stationen durch das IOW gewonnen wird, ist daher nur für Hinweise auf Extremsituationen geeignet. Seine detaillierte Auswertung wird gemeinsam mit den Daten des Landesamtes für Umwelt und Natur (LAUN) Mecklenburg-Vorpommern und dem Landesamt für Natur und Umwelt (LANU) Schleswig-Holstein angestrebt, mit denen in Vorbereitung des zukünftigen Bund-Länder-Meßprogramms (BLMP) Ostsee bereits eine Abstimmung der zu bearbeitenden Stationen mit dem Ziel einer höheren zeitlichen und räumlichen Auflösung der Beprobung erfolgt ist.

In den östlich der Darßer Schwelle bearbeiteten Seegebieten, der eigentlichen Ostsee, nehmen die kurzfristigen Variationen mit zunehmender Entfernung von den Ostseezugängen deutlich ab. Die nachfolgenden hydrographisch-chemischen Untersuchungen konzentrieren sich daher vorrangig auf diese Seegebiete.

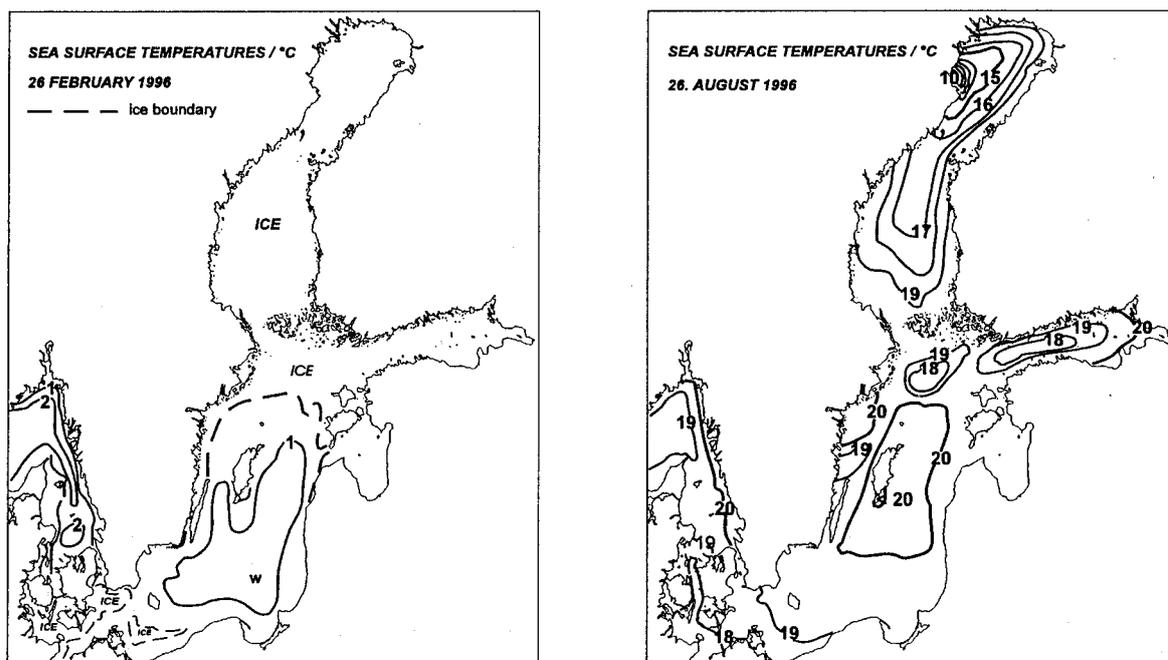


Abb. 11

Verteilung der Oberflächentemperatur der Ostsee zur Zeit der Minimal- (26. Februar, maximale Eisbedeckung) bzw. Maximalwerte (26. August) des Jahres 1996 (bearbeitet nach den Karten Nr. 17 und 68 des SMHI Norrköping)

In den Abb. 12–16 sind die Vertikalverteilungen der Wassertemperatur, des Salz- und Sauerstoffgehalts sowie der Phosphat- und Nitratkonzentrationen auf einem Längsschnitt zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken, der dem Talweg durch die zentralen Ostseebecken folgt, dargestellt. Auf eine Ergänzung durch weitere Schnittdarstellungen wurde verzichtet, weil sie 1996 keine hydrographisch-chemischen Besonderheiten aufwiesen. Im Bedarfsfall wird jedoch verbal auf einzelne Stationen in der Pommernbucht (Stat. 165, OB) 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 6) auch schwedische Daten in die Mittelbildung einbezogen wurden, so daß 11 bis 24 relativ gleichmäßig über das Jahr verteilte Werte zur Mittelbildung zur Verfügung standen, resultieren die Mittelwerte der anorganischen Nährstoffe (Tabellen 8 und 10) ausschließlich aus den saisonalen Messungen sowie der 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. 11 und 12 dargestellt. Infolge des strengen Winters 1995/96 in der zentralen und westlichen Ostsee (vgl. Kapitel 2) kühlte sich das Oberflächenwasser in der zentralen Ostsee auf 0 bis 1 °C ab (Abb. 11). Die Temperaturen zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwelle lagen im Februar/März um 1,5 bis 2 K unter den langjährigen Mittelwerten (vgl. REICHEL, 1980,

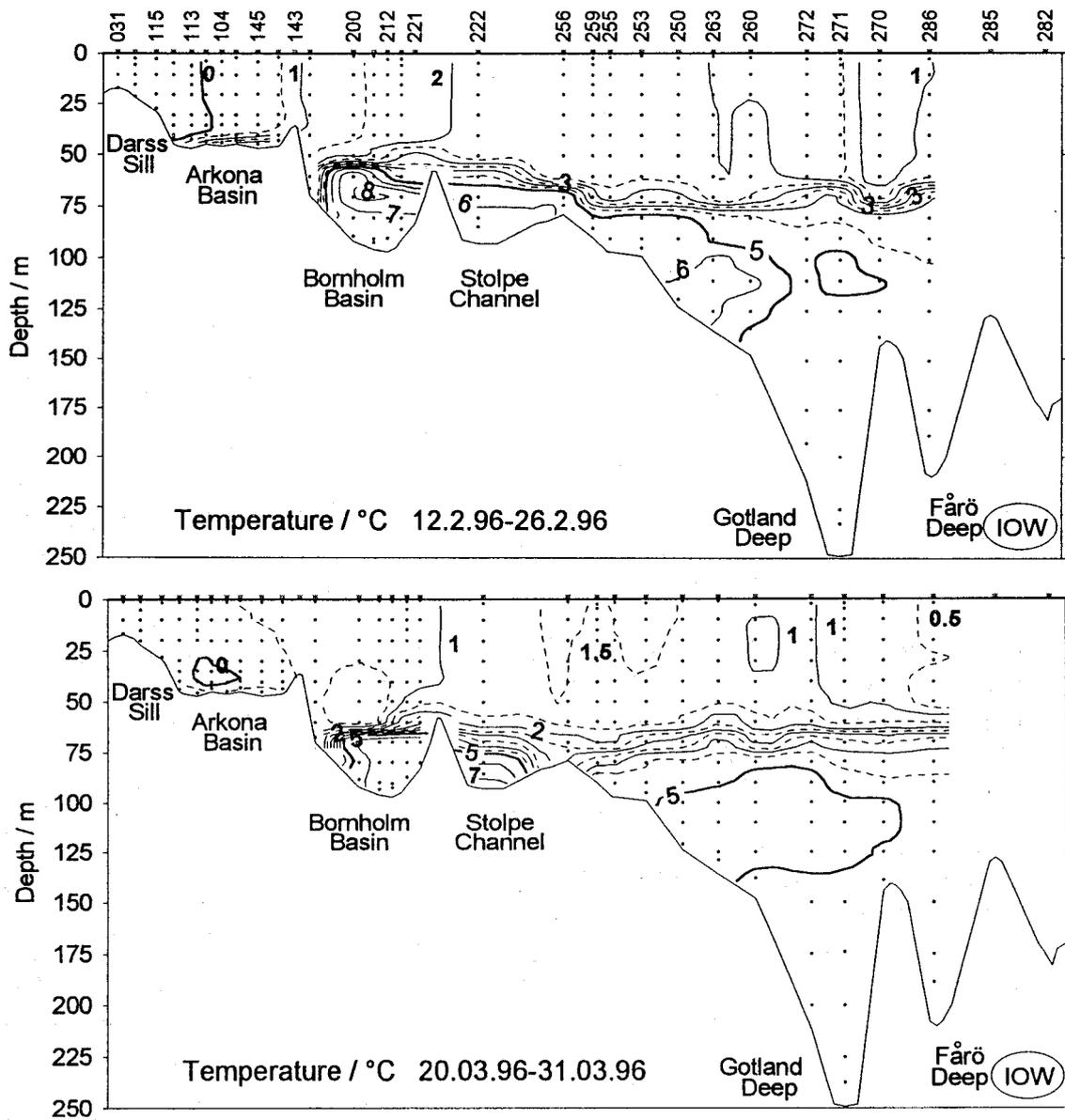


Abb. 12

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

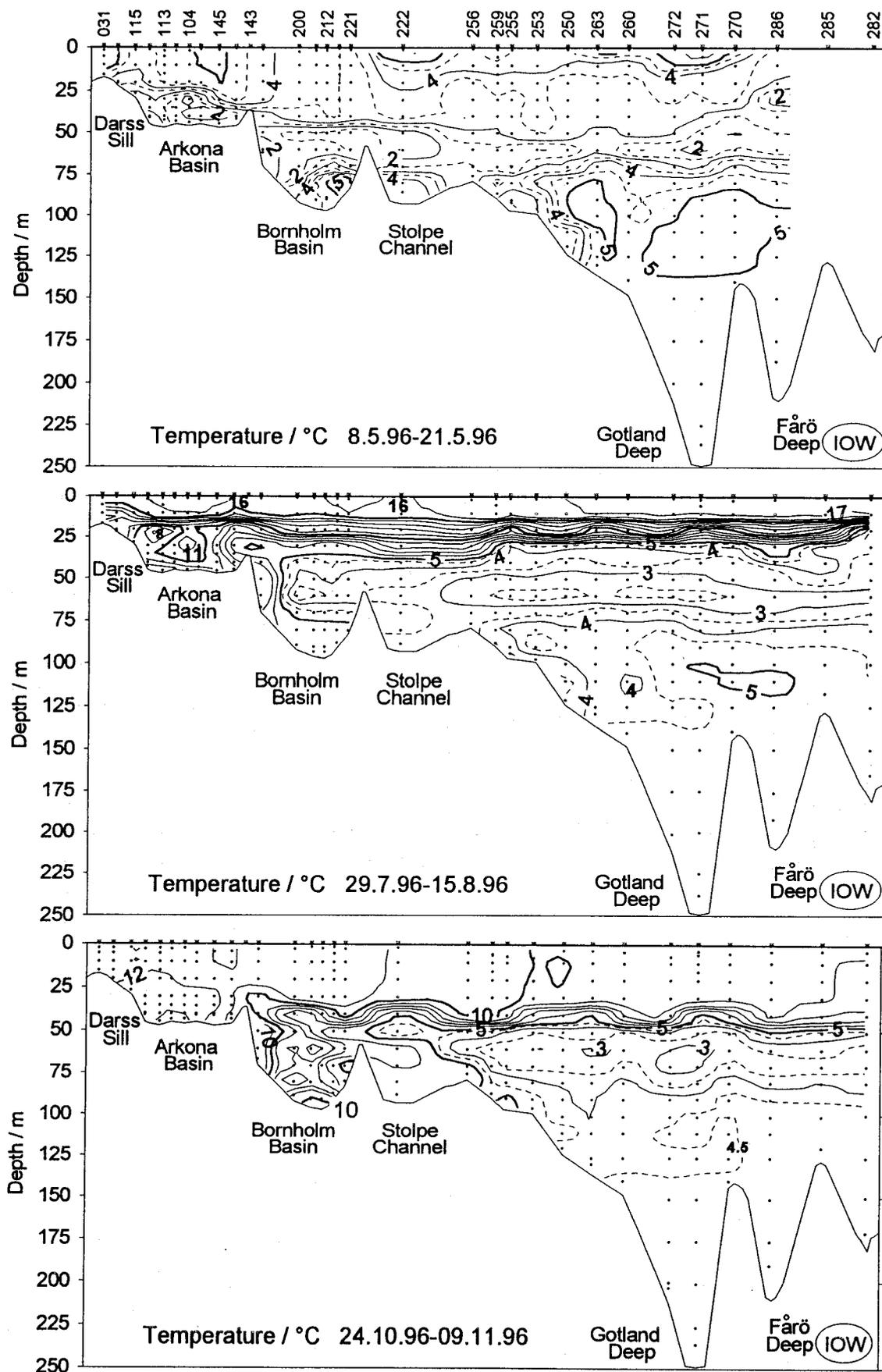


Abb. 12 (Fortsetzung)

1982). Das Arkonabecken wies im Winter eine negative Anomalie von 0,5 bis 1 K, das Bornholmbecken von 1 bis 1,5 K und das östliche Gotlandbecken bis etwa 1 K auf, wenn die von MATTHÄUS (1975, 1977) angegebenen mittleren Bedingungen zugrunde gelegt werden.

Da das Frühjahr und der Frühsommer verglichen mit den langjährigen Erwartungswerten durchweg zu kühl waren (vgl. Tabellen 1 und 3), blieben auch die Oberflächentemperaturen bis in den Juli unterhalb der langjährigen Mittelwerte. Erst der August brachte mit windschwachen sonnigen Hochdruckwetterlagen (vgl. auch Abb. 3A und 4) eine starke Erwärmung in einer ca. 15 m mächtigen Deckschicht und überdurchschnittliche Temperaturen in der gesamten Ostsee. In der zweiten Augushälfte wurden in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken Temperaturen von 18 bis 19 °C gemessen (SMHI, 1996), was positiven Anomalien von 1 bis 2 K entspricht. Diese Werte waren - zumindest in der westlichen Ostsee - nur auf wenige Meter beschränkt. Im Bereich der Darßer Schwelle wurden in 7 m Tiefe maximal nur 17 °C erreicht (vgl. Abb. 6A). Im Bornholmbecken wurden positive Anomalien bis 2,5 K und im Gotlandbecken sogar solche von 3 bis 4 K beobachtet. Abb. 11, 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 1996 infolge des strengen Winters nur Temperaturen von 2 bis 3 °C auf. Das entspricht einer negativen Anomalie von 0,5 bis 1 K. Diese Anomalie blieb im östlichen Gotlandbecken den gesamten Sommer über erhalten (Abb. 12).

Der Einstrom von 2 bis 3 °C kaltem Wasser, der im Mai über die Stolper Rinne in die zentrale Ostsee erfolgte, führte im östlichen Gotlandbecken in 100 bis 150 m Tiefe zu einer Abkühlung um 0,5 bis 1 K (vgl. Abb. 12).

Im grundnahen Wasser des Bornholm- und östlichen Gotlandbeckens ist die Jahresmitteltemperatur gegenüber 1995 um 0,1 bis 0,2 K angestiegen, liegt aber im Vergleich zu den Werten von 1992 um 0,3 bis 0,4 K niedriger (vgl. Tabelle 6). Im westlichen Gotlandbecken haben sich die Temperaturen im grundnahen Wasser im Jahresmittel nur geringfügig verändert. Im Oktober/November 1996 drang unterhalb der halinen Sprungschicht 5 bis 6 °C warmes Wasser über die Stolper Rinne ins östliche Gotlandbecken vor.

4.2 Salzgehalt

Die Salzgehaltsverteilungen für das Jahr 1996 sind in Abb. 13 zusammengestellt. Schwach ausgeprägte Einstromereignisse im Sommer und Herbst 1995 (vgl. NEHRING et al., 1996) zeigten keine signifikanten Auswirkungen im Bornholmbecken. Einströme von kleinen Mengen salzreichen Wassers im 1. Halbjahr 1996 über die Drogden Schwelle führten im Bornholmbecken nur zu geringen Veränderungen im Bodensalzgehalt. Infolge des Fehlens effektiver Einströme über die Stolper Schwelle im Winter und Frühjahr ging der Salzgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee weiter zurück. Lediglich im Danziger Tief wurde im Sommer gegenüber den Winterwerten eine deutliche Erhöhung um 1 PSU auf 12 PSU beobachtet. Im Herbst 1996 lag der Salzgehalt im grundnahen Wasser des Bornholmtiefs bei 16 PSU, des Gotlandtiefs bei 12,1 PSU und des Färötiefs bei 11,3 PSU. Am Boden des westlichen Gotlandbeckens stieg der Salzgehalt gegen Jahresende um 0,3 PSU auf 9,6 PSU (Karlsötief) bzw. um 0,5 PSU auf 10,3 PSU (Landsorttief) an.

Tabelle 6 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter hydrographischer Parameter im Tiefenwasser der zentralen Ostsee (Maximalwerte hervorgehoben)

Wassertemperatur (°C)

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	6,22 ± 0,35	4,26 ± 0,18	4,21 ± 0,46	5,85 ± 0,56	5,95 ± 0,94
271 (Gotlandtief)	200	5,03 ± 0,02	5,01 ± 0,13	4,68 ± 0,48	4,43 ± 0,13	4,64 ± 0,07
286 (Färötief)	150	5,24 ± 0,04	5,21 ± 0,12	5,03 ± 0,13	4,72 ± 0,04	4,79 ± 0,03
284 (Landsorttief)	400	4,86 ± 0,09	4,83 ± 0,07	4,86 ± 0,13	4,74 ± 0,11	4,70 ± 0,06
245 (Karlsötief)	100	4,44 ± 0,09	4,15 ± 0,25	4,41 ± 0,06	4,39 ± 0,15	4,45 ± 0,07

Salzgehalt (PSU)

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	15,26 ± 0,45	17,66 ± 0,38	17,43 ± 0,34	16,61 ± 0,31	16,01 ± 0,37
271 (Gotlandtief)	200	11,04 ± 0,04	11,16 ± 0,13	11,78 ± 0,38	12,01 ± 0,04	11,96 ± 0,03
286 (Färötief)	150	10,18 ± 0,05	10,33 ± 0,14	10,75 ± 0,29	11,17 ± 0,03	11,23 ± 0,04
284 (Landsorttief)	400	8,99 ± 0,08	9,04 ± 0,15	9,49 ± 0,23	9,94 ± 0,16	10,09 ± 0,11
245 (Karlsötief)	100	8,22 ± 0,11	7,95 ± 0,16	8,45 ± 0,16	8,82 ± 0,30	9,11 ± 0,26

Sauerstoffgehalt (cm³/dm³; Schwefelwasserstoff als negative Sauerstoffäquivalente)

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	2,90 ± 1,38	4,81 ± 1,70	2,43 ± 1,07	0,76 ± 0,91	0,54 ± 0,59
271 (Gotlandtief)	200	-4,63 ± 1,74	-0,61 ± 2,39	2,03 ± 1,40	1,26 ± 0,43	0,20 ± 0,24
286 (Färötief)	150	-0,74 ± 0,27	-0,73 ± 0,59	0,17 ± 0,44	0,70 ± 0,26	0,16 ± 0,39
284 (Landsorttief)	400	1,17 ± 0,34	1,58 ± 0,19	1,12 ± 0,36	0,92 ± 0,22	0,69 ± 0,11
245 (Karlsötief)	100	2,33 ± 0,40	3,79 ± 0,61	1,88 ± 0,64	1,72 ± 0,68	1,09 ± 0,46

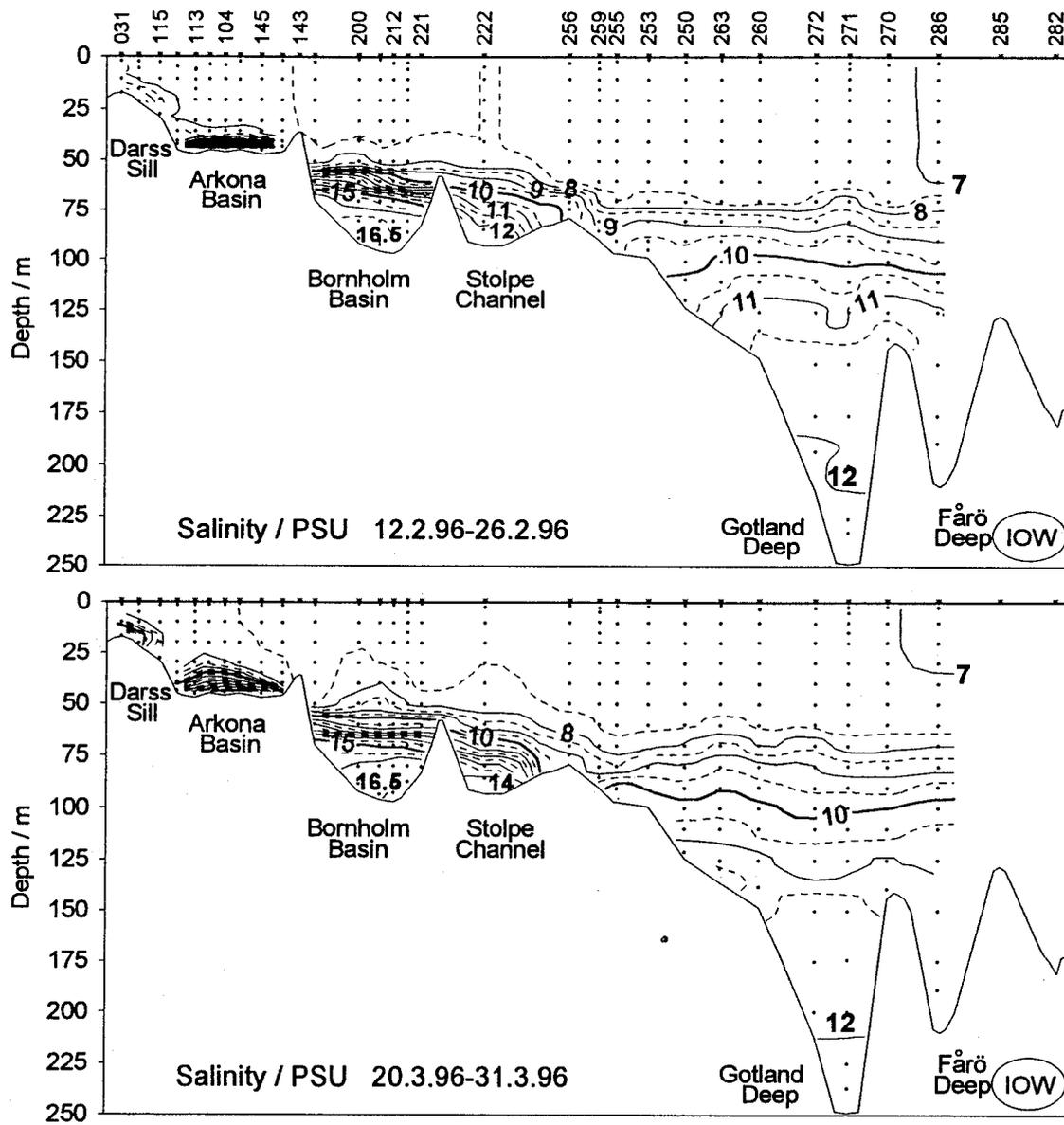


Abb. 13

Vertikale Verteilung des Salzgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

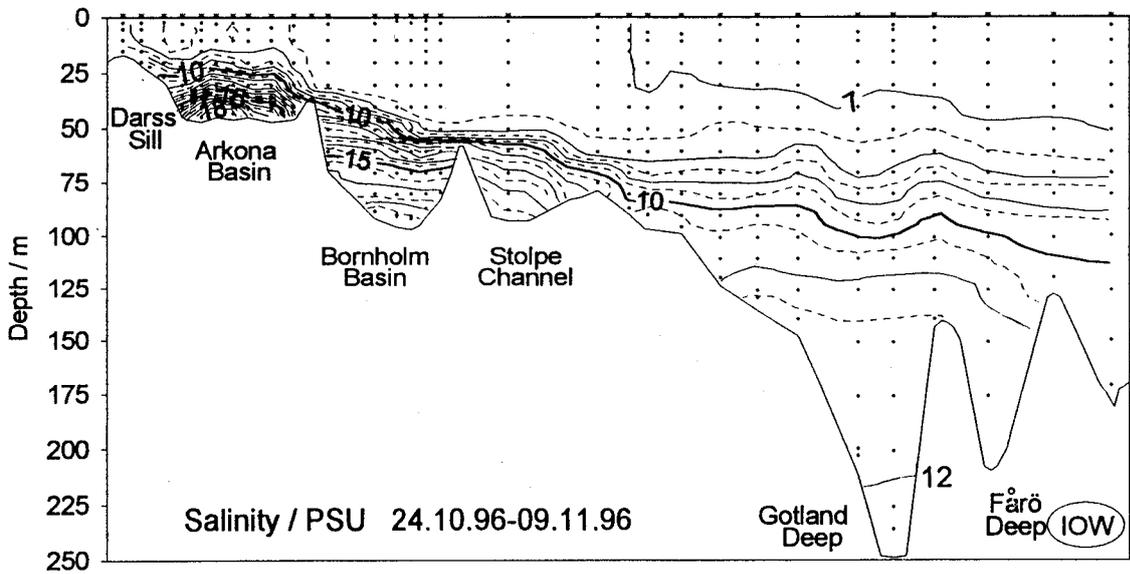
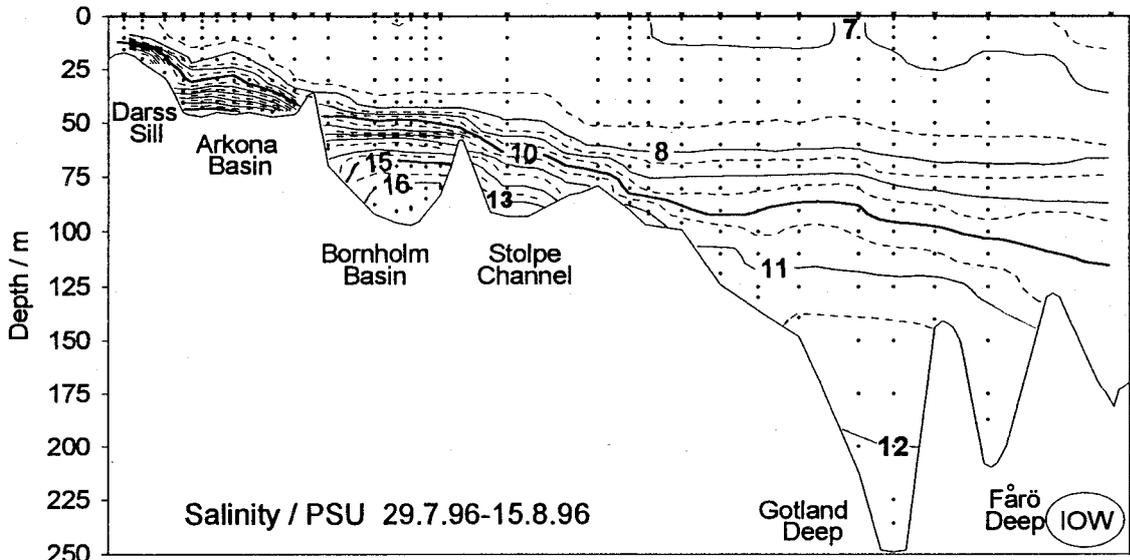
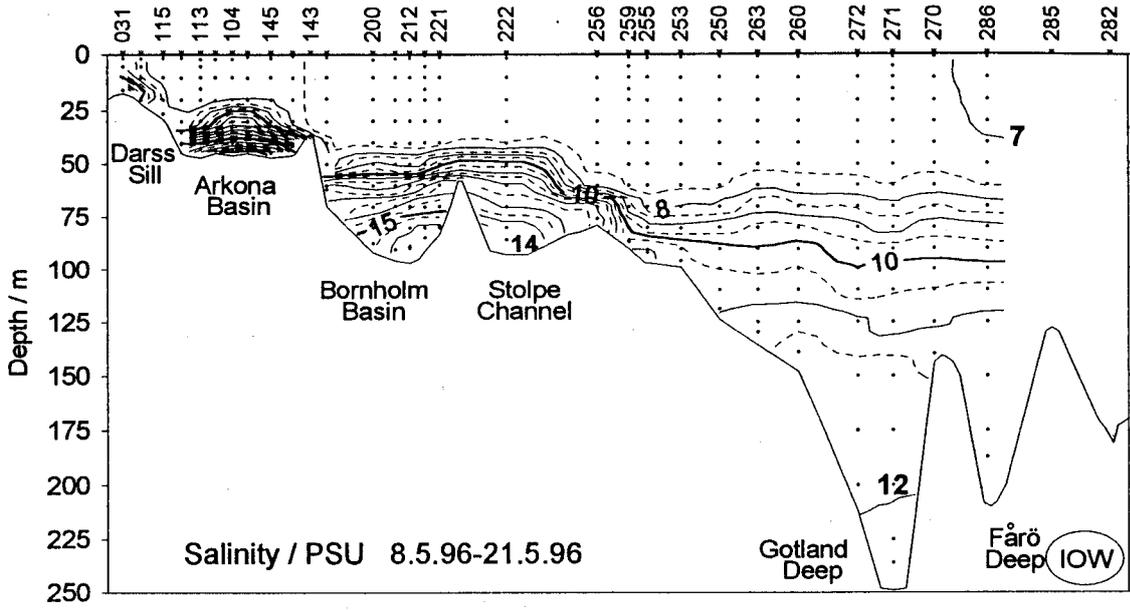


Abb. 13 (Fortsetzung)

Kleine Einströme von salzreichem Wasser über die Drogden Schwelle wurden Ende August (20 km³; ca. 25 PSU) und Ende September/Anfang Oktober (40 km³; 25 bis 32 PSU) registriert. Anfang November erfolgte ein sehr intensiver Einstrom von Wasser mit Salzgehalten bis etwa 26 bzw. 20 PSU über die Drogden bzw. Darßer Schwelle (vgl. Abb. 6B und 10), der bereits als sehr schwacher Salzwassereinbruch angesehen werden kann (vgl. Kapitel 3.2).

Die Oberflächensalzgehalte waren im Jahre 1996 relativ niedrig. In der zentralen Ostsee wurden verglichen mit dem Langzeitmittel negative Anomalien von etwa 0,5 PSU im Bornholmbecken und rund 0,4 PSU im östlichen Gotlandbecken beobachtet (vgl. Tabelle 7). Die mittlere Jahresschwankung beträgt dagegen nur rund 0,2 PSU im Bornholmbecken und etwa 0,6 PSU im östlichen Gotlandbecken (vgl. MATTHÄUS, 1978).

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

Station	1992	1993	1994	1995	1996	\bar{S}_0 (1961-1990)
213 (Bornholmtief)	7,55 ± 0,14	7,48 ± 0,22	7,35 ± 0,13	7,50 ± 0,21	7,28 ± 0,21	7,72 ± 0,25
271 (Gotlandtief)	7,22 ± 0,11	7,20 ± 0,13	7,09 ± 0,21	7,14 ± 0,09	7,08 ± 0,15	7,41 ± 0,46
286 (Färötief)	7,12 ± 0,19	7,07 ± 0,18	6,91 ± 0,25	6,82 ± 0,20	6,74 ± 0,24	7,15 ± 0,31

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 1,7 PSU zurückgegangen (vgl. Tabelle 6). Während 1996 der Salzgehalt in der Bodenwasserschicht des Gotlandtiefs im Mittel bereits geringfügig zurückgegangen ist, stiegen die Jahresmittel in den anderen Teilgebieten des Gotlandbeckens nochmals um 0,1 bis 0,3 PSU an.

4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die Sauerstoffverteilung in der Oberflächenschicht der Ostsee zeigte 1996 die bekannten jahreszeitlichen Variationen mit hohen Konzentrationen in der kalten Jahreszeit und einem Maximum während der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons sowie niedrigeren Konzentrationen im Sommer (Abb. 14). Die niedrigen Wintertemperaturen sowie die starke Erwärmung im August führten darüber hinaus zu positiven bzw. negativen Anomalien des Sauerstoffpartialdruckes in dieser Schicht.

Im Zwischenwasser hatte der strenge Winter nicht nur für negative Temperaturanomalien gesorgt (vgl. Kapitel 4.1), sondern war auch Anlaß für positive Sauerstoffanomalien, die mit ihrem Maximum 10–20 m oberhalb des Temperaturminimums lagen. In der Kernschicht des Sauerstoffmaximums, das sich in 30–40 m Tiefe befindet und im August am deutlichsten ausgeprägt ist (Abb. 14), wurden 1996 sowohl im Bornholmbecken als auch im Südteil des östlichen Gotlandbeckens Sauerstoffkonzentrationen gemessen, die um rund $0,3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ über dem von NEHRING et al. (1990) berechneten langjährigen Mittelwert lagen.

Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Arkonabeckens wiesen die bekannten jahreszeitlichen Variationen auf (MATTHÄUS, 1975), die im Spätherbst und Winter vorrangig durch die Advektion sauerstoffreicherer Wassermassen sowie vertikale Vermischung und im Frühjahr und Sommer durch zunehmende Stagnation und Sauerstoffzehrungsprozesse gesteuert werden.

Bedingt durch Einstromereignisse relativ geringer Intensität zeichnete sich 1996 die Sauerstoff-Schwefelwasserstoff-Verteilung im Tiefenwasser des Bornholmbeckens durch starke Variationen aus (Abb. 14). Nach stagnierenden Bedingungen, die bereits im Vorjahr durch das Auftreten von Schwefelwasserstoff gekennzeichnet waren (NEHRING et al., 1995c, 1996), erfolgte im März ein schwacher Einstrom salz- und sauerstoffreicherer Wassers, dessen Auswirkungen im Mai ihr Maximum erreichten. Anfang August traten erneut stagnierende Bedingungen und Schwefelwasserstoff auf, die im Oktober-November durch weitere advektive Prozesse beendet wurden, ohne daß bereits der gesamte Schwefelwasserstoff oxidiert worden war.

In der grundnahen Wasserschicht des Danziger Tiefs (103–105 m) herrschten zum Jahresbeginn 1996 ebenfalls anoxische Bedingungen. Ausgedrückt als negative Sauerstoffäquivalente erreichten die maximalen Schwefelwasserstoffkonzentrationen Werte bis $-3,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$. Bei der nächsten Beprobung, die erst im August erfolgte, hatten advektive Prozesse zu einer Wassererneuerung und einem Anstieg des Sauerstoffgehalts auf $2,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ (105 m) geführt. Auch im November waren auf dieser Station noch oxische Bedingungen vorhanden, wobei der Sauerstoffgehalt inzwischen aber auf $0,8 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ abgesunken war.

Infolge der Stagnationsperiode im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens, die bereits im Vorjahr begonnen hatte (NEHRING et al., 1995c, 1996), wurden im März 1996 erstmals seit etwa 3 Jahren wieder geringe Schwefelwasserstoffkonzentrationen in der unmittelbaren Bodenwasserschicht des Gotland- und Färötiefs identifiziert (Abb. 14). Im Mai war kurzfristig kein Schwefelwasserstoff im Gotlandtief vorhanden, der Sauerstoffpartialdruck in der Bodenwasserschicht war allerdings nur äußerst gering.

Im westlichen Gotlandbecken wurde 1996 kein Schwefelwasserstoff festgestellt. Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Landsorttiefs ($< 150 \text{ m}$) lagen ganzjährig bei $0,5$ bis $0,7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, im Karlsötief sanken sie unterhalb 90 m Tiefe von $1,4$ bis $1,8 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ zu Jahresbeginn auf $0,4$ bis $0,6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ im November 1996 ab. Nach dem zwischenzeitlichen Maximum, das 1993 beobachtet wurde, haben sich 1996 insgesamt gesehen die mittleren Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser dieses Beckens weiter verringert (Tabelle 6).

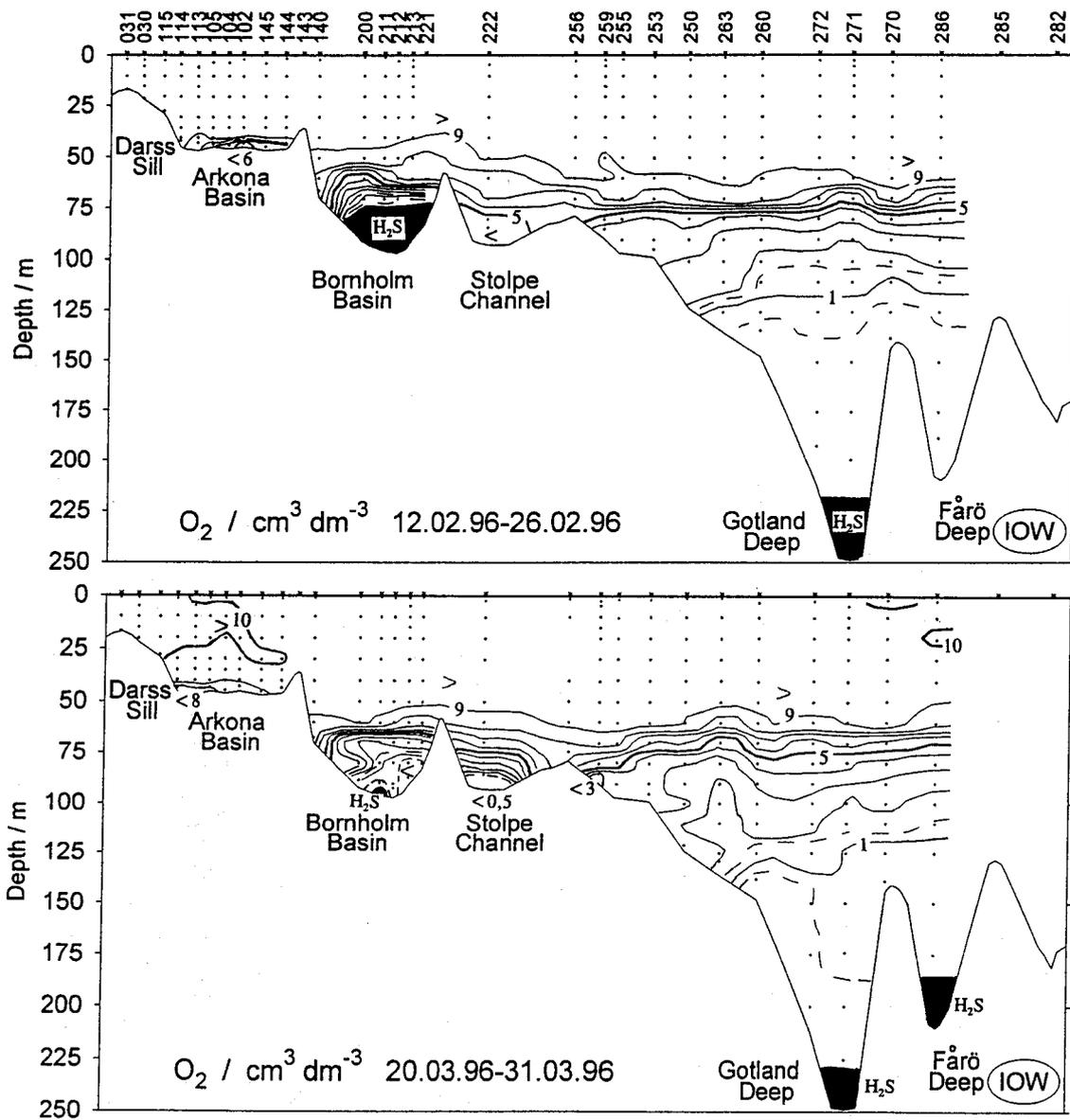


Abb. 14
 Vertikale Verteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

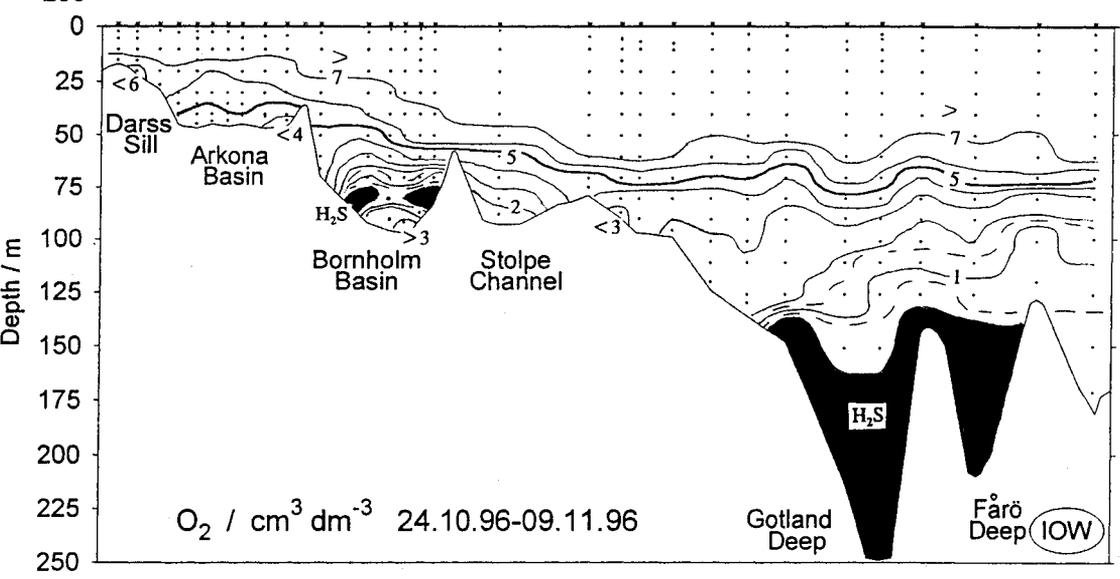
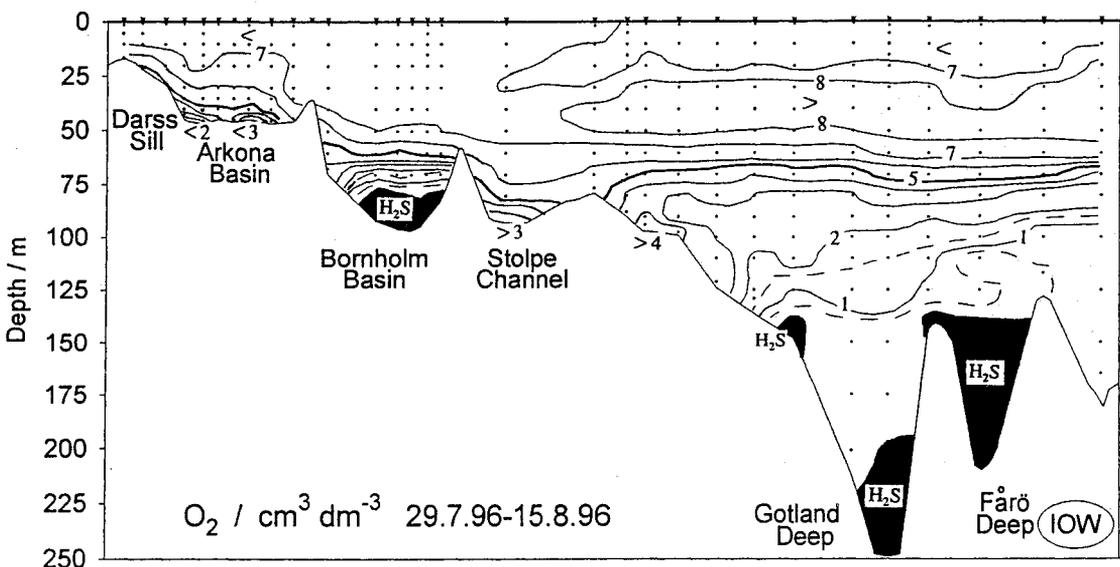
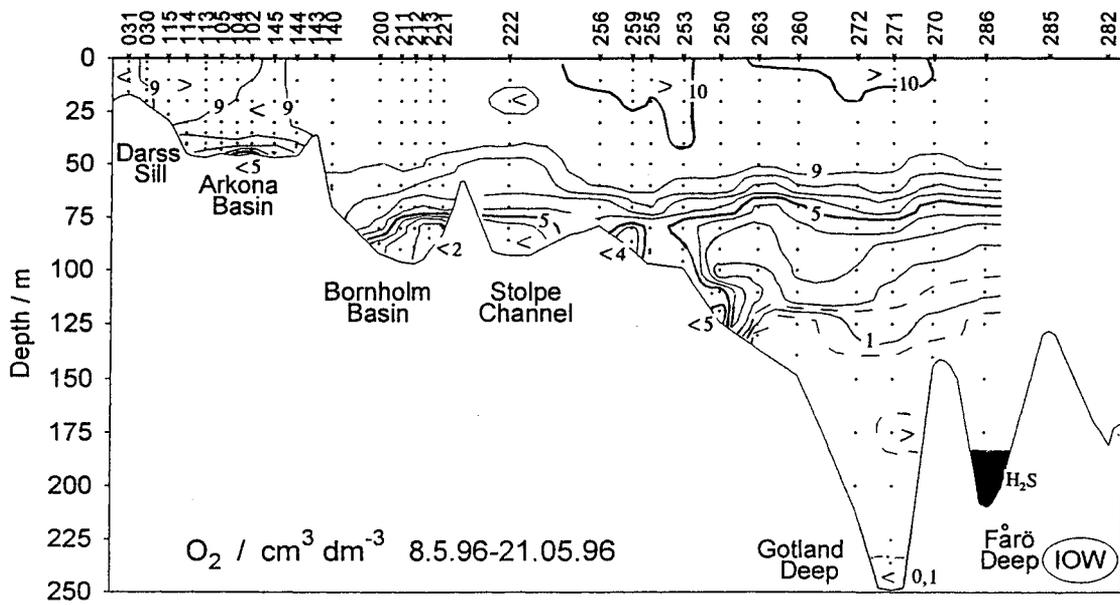


Abb. 14 (Fortsetzung)

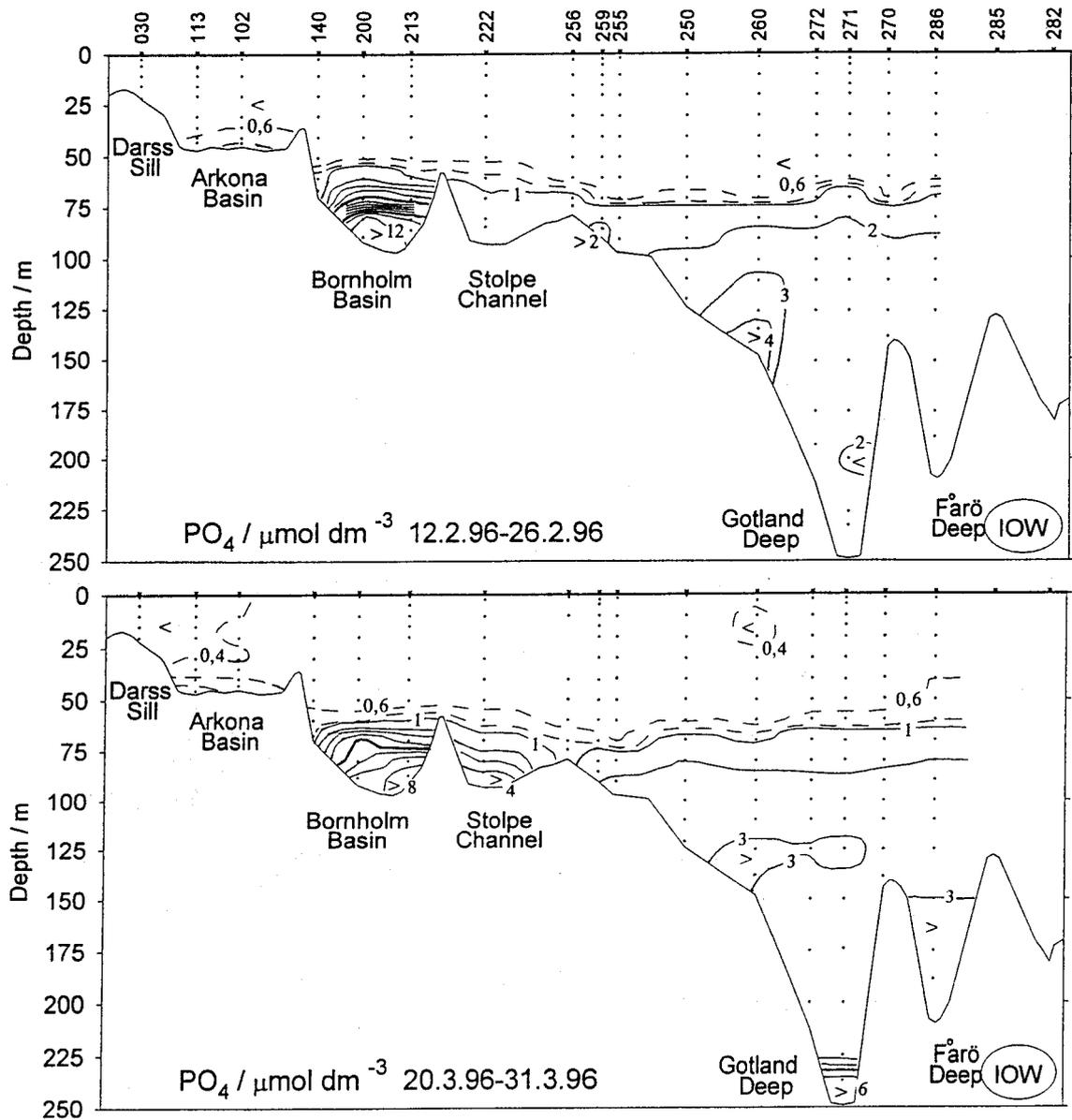


Abb. 15

Vertikale Verteilung des Phosphatgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

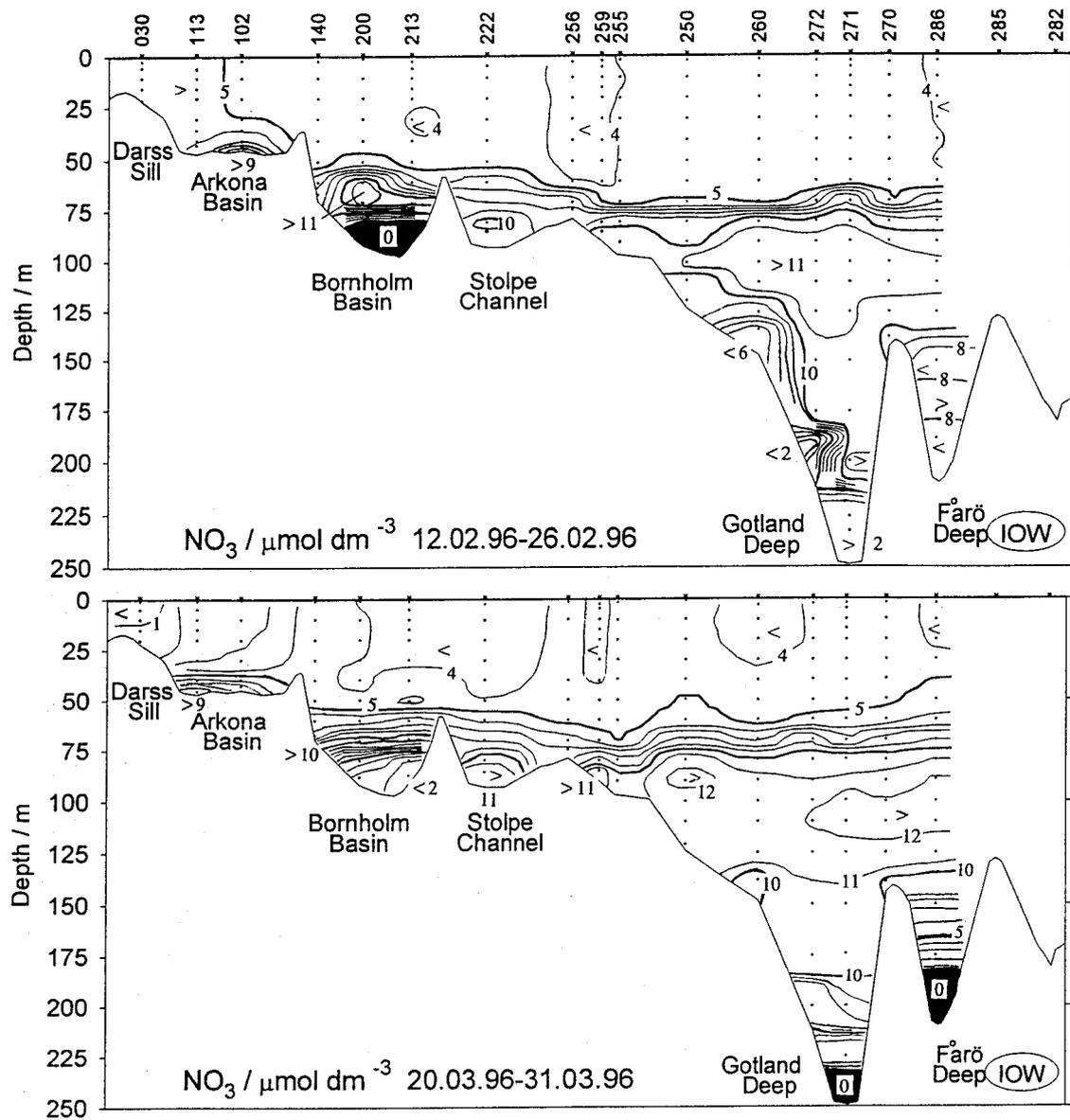


Abb. 16
Vertikale Verteilung des Nitratgehalts zwischen Darßer Schwelle und nordöstlichem Gotlandbecken

4.4 Anorganische Nährstoffe

Im Zusammenhang mit der Eutrophierung der Ostsee steht die Frage im Raum, ob der verstärkte Bau von Kläranlagen, der im Rahmen des Ostsee-Aktionsprogramms der Anrainer angestrebt wird (HELCOM, 1993), sowie der drastische Rückgang des Düngemittelverbrauchs im Einzugsgebiet (NEHRING et al., 1995c, 1996) sich auch in einer Abnahme der Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht widerspiegelt. Die 1996 beobachteten Veränderungen in den Konzentrationen dieser Nährstoffe sind in den Abb. 15 und 16 dargestellt. Sie sind in der Oberflächenschicht durch eine Saisonalität gekennzeichnet, die mit der Lichtlimitation der Phytoplanktonentwicklung in der strahlungsarmen Jahreszeit zusammenhängt. Im Tiefenwasser werden sie durch Akkumulations- und Austauschprozesse sowie durch das Redoxpotential bestimmt.

Tabelle 8 zeigt die winterlichen Nährstoffkonzentrationen in der Oberflächenschicht im Zeitraum 1992–1996, wobei im Februar 1996 infolge Eisbedeckung keine Meßwerte aus der Lübecker und Pommerschen Bucht vorliegen. Beim Phosphatgehalt dominiert in allen untersuchten Seegebieten eine regional unterschiedliche Abnahme. Während in der Arkonasee und im Bornholmtief 1995 die niedrigsten Phosphatkonzentrationen gemessen wurden, wiesen sie 1996 in den anderen untersuchten Seegebieten ein Minimum auf.

Bei den anorganischen Stickstoffverbindungen, die in der Jahreszeit geringer biologischer Produktivität durch den Nitratgehalt dominiert werden, ist die Situation unübersichtlicher. Eine im Mittel abnehmende Tendenz, wie sie beim Phosphatgehalt sichtbar wurde, ist bei den anorganischen Stickstoffverbindungen nicht zu erkennen. Andererseits ist aber auch kein Hinweis auf eine Zunahme vorhanden.

In der Bornholm- und Gotlandsee wird im oberen Bereich der Halocline eine Akkumulation von Nitrit und Ammonium beobachtet, die im August einsetzt und sich im weiteren Jahresverlauf unter Intensivierung auf die gesamte Oberflächenschicht ausdehnt (NEHRING, 1981; NEHRING et al., 1994b). Die Kernschicht dieser Maxima wurde auch 1996 in 50–70 m Tiefe ermittelt, wobei Konzentrationen von 0,2 bis 0,4 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ Nitrit und 0,2 bis 1,3 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ Ammonium auftraten. Insbesondere das Nitritmaximum wurde häufig nur als schmales Band identifiziert und erreichte im Extremfall 0,59 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (Stat. 271, 02.11.1996). Die Ausdehnung beider Maxima auf die Oberflächenschicht war jedoch schwächer als in anderen Jahren ausgeprägt und erreichte im November nur Konzentrationen von 0,05 bis 0,1 μmol Nitrit und 0,4 bis 0,8 μmol Ammonium pro Liter. Ursache hierfür kann eine Herbstblüte des Phytoplanktons sein, die generell eine in den letzten Jahren beobachtete, längere Nährstoffverarmung bewirkt. Die Beprobungsfrequenz des IOW reicht nicht aus, um feststellen zu können, ob zwischenzeitlich noch eine Zunahme der Nitrit- und Ammoniumkonzentrationen in der Oberflächenschicht eingetreten war, ehe zu Beginn des Winters die biochemische Oxidation zu Nitrat dominierte.

Tabelle 8 Gemittelte Nährsalzkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht (0–10 m Tiefe) der westlichen und zentralen Ostsee (Minimalwerte hervorgehoben)

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

Station	Monat	1992	1993	1994	1995	1996
023 (Lübecker Bucht)	Feb.	0,90 \pm 0,02	0,91 \pm 0,02	0,73 \pm 0,02	0,84 \pm 0,02	-
012 (Meckl. Bucht)	Feb.	0,66 \pm 0,09	0,80 \pm 0,05	0,64 \pm 0,04	0,68 \pm 0,02	0,59 \pm 0,01
162 (Oderbucht)	Feb.	1,11 \pm 0,00	1,11 \pm 0,03	1,03 \pm 0,07	0,78 \pm 0,03	-
113 (Arkonasee)	Feb.	0,61 \pm 0,02	0,71 \pm 0,01	0,56 \pm 0,01	0,46 \pm 0,01	0,51 \pm 0,03
213 (Bornholmtief)	Feb.	0,65 \pm 0,03	0,75 \pm 0,00	0,53 \pm 0,01	0,44 \pm 0,01	0,49 \pm 0,01
271 (Gotlandtief)	Feb. Apr.	0,62 \pm 0,01 0,68 \pm 0,02	0,71 \pm 0,01 0,71 \pm 0,01	0,48 \pm 0,02 0,55 ¹⁾ \pm 0,02	0,56 \pm 0,02 0,62 \pm 0,02	0,46 \pm 0,04 0,50 \pm 0,01²⁾
286 (Färötief)	Feb. Mär.	0,61 \pm 0,00 0,60 \pm 0,20	0,63 \pm 0,00 0,66 \pm 0,00	0,43 \pm 0,00 0,51 \pm 0,00	0,55 \pm 0,01 -	0,52 \pm 0,00 0,46 \pm 0,02
284 (Landsorttief)	Feb.	-	0,78 \pm 0,01	-	0,56 \pm 0,01	0,54 \pm 0,01
245 (Karlsötief)	Feb.	0,85 \pm 0,01	0,86 \pm 0,00	0,61 \pm 0,02	0,67 \pm 0,02	0,58 \pm 0,03

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

Station	Monat	1992	1992	1993	1994	1996
023 (Lübecker Bucht)	Feb.	6,8 \pm 0,2	14,4 \pm 1,6	16,1 \pm 0,2	11,5 \pm 1,2	-
012 (Meckl. Bucht)	Feb.	5,1 \pm 0,3	6,9 \pm 1,2	6,6 \pm 0,8	7,2 \pm 0,1	5,0 \pm 0,0
162 (Oderbucht)	Feb.	5,3 \pm 0,4	19,4 \pm 2,0	19,6 \pm 0,2	11,5 \pm 0,0	-
113 (Arkonasee)	Feb.	4,2 \pm 0,1	4,8 \pm 0,0	4,9 \pm 0,1	4,2 \pm 0,0	5,8 \pm 0,0
213 (Bornholmtief)	Feb.	3,6 \pm 0,2	4,8 \pm 0,0	4,1 \pm 0,0	4,2 \pm 0,0	4,1 \pm 0,0
271 (Gotlandtief)	Feb. Apr.	3,8 \pm 0,1 5,2 \pm 0,1	5,1 \pm 0,0 4,8 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1 4,5 ¹⁾ \pm 0,0	4,2 \pm 0,0 5,2 \pm 0,1	4,1 \pm 0,1 4,3 \pm 0,0²⁾
286 (Färötief)	Feb. Mär.	4,6 \pm 0,0 5,4 \pm 0,0	4,9 \pm 0,0 5,0 \pm 0,1	3,7 \pm 0,0 4,1 \pm 0,0	4,6 \pm 0,0 -	3,8 \pm 0,1 3,9 \pm 0,0
284 (Landsorttief)	Feb.	-	5,8 \pm 0,0	-	5,2 \pm 0,1	4,0 \pm 0,1
245 (Karlsötief)	Feb.	4,6 \pm 0,5	5,8 \pm 0,4	4,8 \pm 0,2	4,6 \pm 0,1	4,3 \pm 0,1

Tabelle 8 (Fortsetzung)

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

Station	Monat	1992	1993	1994	1995	1996
023 (Lübecker Bucht)	Feb.	8,5 ± 0,2	16,9 ± 1,5	17,5 ± 1,5	15,3 ± 1,4	-
012 (Meckl. Bucht)	Feb.	6,7 ± 0,3	8,4 ± 1,8	7,0 ± 0,8	8,7 ± 1,7	-
162 (Oderbucht)	Feb.	8,7 ± 0,3	28,2 ± 3,1	24,2 ± 0,2	14,7 ± 0,2	-
113 (Arkonasee)	Feb.	4,6 ± 0,1	5,3 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,4 ± 0,0	6,4 ± 0,5
213 (Bornholmtief)	Feb.	4,5 ± 0,3	5,2 ± 0,1	4,4 ± 0,0	4,5 ± 0,0	4,7 ± 0,2
271 (Gotlandtief)	Feb.	4,1 ± 0,2	5,3 ± 0,0	3,9 ± 0,1	4,4 ± 0,0	4,5 ± 0,1
	Apr.	5,4 ± 0,1	5,4 ± 0,2	4,9 ¹⁾ ± 0,0	5,6 ± 0,1	4,7 ± 0,1²⁾
286 (Fårötief)	Feb.	4,7 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,8 ± 0,0	4,7 ± 0,0	4,2 ± 0,0
	Mär.	5,5 ± 0,0	5,1 ± 0,1	4,2 ± 0,0	-	4,6 ± 0,1
284 (Landsortief)	Feb.	-	6,2 ± 0,2	-	5,5 ± 0,1	4,4 ± 0,1
245 (Karlsötief)	Feb.	4,8 ± 0,5	6,0 ± 0,4	4,8 ± 0,2	4,9 ± 0,1	4,6 ± 0,1

¹⁾ Station 272²⁾ Ende März

Tabelle 9 zeigt die Silikatkonzentrationen, die 1996 auf den Monitoring-Fahrten des IOW angetroffen wurden. Trotz des lückenhaften Datenmaterials ist deutlich zu erkennen, daß die Silikatverarmung in den westlichen Teilgebieten früher einsetzt und nachhaltiger ist als in der zentralen Ostsee.

Die Nährstoffverteilung im Tiefenwasser des relativ flachen Arkonabeckens ist durch jahreszeitliche Veränderungen geprägt, die beim Phosphat wesentlich schwächer ausgebildet sind als beim Nitrat (Abb. 15 und 16). Vor allem im Mai, wenn die in dieser Jahreszeit noch relativ schwach entwickelte Schichtung den vertikalen Austausch begünstigt und die Strahlungsintensität hoch ist, wird eine nahezu vollständige Nährstoffverarmung in der gesamten Wassersäule dieses Beckens beobachtet.

Tabelle 9 Silikatkonzentrationen in der Oberflächenschicht (1-10 m) im Jahre 1996 (Minima hervorgehoben)

Station Datum	Konzentrationen in $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$				
023 (Lübecker Bucht)	-	21.Mär. 0,1	09.Mai 0,7-0,8	29.Jul. 5,0- 7,0	25.Okt. 7,1
012 (Meckl. Bucht) 11,0	13.Feb. 11,8-12,0	20.Mär. 0,5- 0,9	09.Mai 1,0	30.Jul. 5,2- 5,5	25.Okt. 10,4-
162 (Oderbucht)	-	24.Mär. 1,0	12.Mai 1,3	04.Aug. 13,4-13,9	30.Okt. 12,9
113 (Arkonasee)	14.Feb. 8,3	31.Mär. 0,6- 1,6	10.Mai 2,8-3,0	01.Aug. 5,5- 5,7	26.Okt. 8,8
213 (Bornholmtief)	16.Feb. 8,0- 8,1	23.Mär. 10,8-11,0	11.Mai 5,5-5,9	02.Aug. 6,7- 6,9	27.Okt. 7,2-7,5
271 (Gotlandtief)	21.Feb. 10,8-11,0	28.Mär. 11,8-11,9	16.Mai 5,2-6,8	08.Aug. 6,1	02.Nov. 6,7
286 (Fårötief)	22.Feb. 11,3	28.Mär. 13,3-13,8	16.Mai 8,2-8,6	08.Aug. 5,9- 6,3	02.Nov. 7,0
284 (Landsorttief)	24.Feb. 12,8-13,2	29.Mär. 14,1	-	10.Aug. 5,1- 5,2	01.Nov. 9,1
245 (Karlsötief)	24.Feb. 13,1-13,4	30.Mär. 13,6-14,5	-	13.Aug. 6,3- 6,6	01.Nov. 7,2-7,3

Die labilen Sauerstoffverhältnisse und die starken Schwankungen des Redoxpotentials im Tiefenwasser des Bornholmbeckens spiegeln sich auch in der Nährstoffverteilung wider und sind die Ursache für die hohen Standardabweichungen der Jahresmittelwerte, die sowohl 1995 als auch 1996 beobachtet wurden (Tabelle 10). Dies gilt auch für das östliche Gotlandbecken (Stat. 271 und 286), in dessen Tiefenwasser es 1996 erneut zu anoxischen Bedingungen und zur Schwefelwasserstoffbildung kam. Im Mai traten dabei in Übereinstimmung mit den etwas günstigeren Sauerstoffverhältnissen geringe Nitratkonzentrationen im Bodenwasser des Gotlandtiefs auf.

Die niedrigen Standardabweichungen der Jahresmittelwerte dokumentieren dagegen die geringen zeitlichen Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen im Landsort- und Karlsötief (Tabelle 10), in deren Tiefenwasser zuletzt 1983 bzw. 1986 anoxische Bedingungen beobachtet wurden (NEHRING, 1990).

Tabelle 10 Jahresmittelwerte und Standardabweichungen von Nährsalzen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee

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

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	1,06 \pm 0,14	1,24 \pm 0,23	1,46 \pm 0,20	3,44 \pm 2,27	7,71 \pm 2,06
271 (Gotlandtief)	200	7,15 \pm 0,37	4,61 \pm 1,73	2,49 \pm 1,08	1,86 \pm 0,09	2,81 \pm 1,00
286 (Färötief)	150	4,16 \pm 0,18	4,03 \pm 0,40	3,62 \pm 0,43	2,65 \pm 0,18	3,04 \pm 0,45
284 ¹⁾ (Landsorttief)	400	2,69 \pm 0,16	2,64 \pm 0,05	2,79 \pm 0,45	2,73 \pm 0,20	2,94 \pm 0,18
245 ¹⁾ (Karlsötief)	100	2,06 \pm 0,19	1,90 \pm 0,14	2,37 \pm 0,29	2,34 \pm 0,20	2,79 \pm 0,56

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

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	9,7 \pm 2,1	11,2 \pm 1,9	12,9 \pm 1,1	6,9 \pm 5,0	3,5 \pm 4,1
271 (Gotlandtief)	200	0,0	3,7 \pm 5,4	6,1 \pm 5,7	11,2 \pm 1,1	6,6 \pm 4,3
286 (Färötief)	150	0,0	0,1 \pm 0,3	4,0 \pm 4,0	9,6 \pm 0,5	6,5 \pm 4,1
284 ¹⁾ (Landsorttief)	400	10,1 \pm 0,2	10,3 \pm 0,9	9,4 \pm 1,0	9,9 \pm 1,2	11,6 \pm 0,3
245 ¹⁾ (Karlsötief)	100	9,1 \pm 0,5	9,1 \pm 0,9	10,2 \pm 0,7	9,8 \pm 0,9	10,3 \pm 0,6

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

Station	Tiefe/m	1992	1993	1994	1995	1996
213 (Bornholmtief)	80	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	3,7 \pm 5,1	7,6 \pm 7,3
271 (Gotlandtief)	200	26,7 \pm 4,3	12,6 \pm 7,9	5,2 \pm 4,4	0,1 \pm 0,1	1,0 \pm 1,7
284 ¹⁾ (Landsorttief)	400	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0
245 ¹⁾ (Karlsötief)	100	0,3 \pm 0,2	0,2 \pm 0,0	0,1 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,2

¹⁾ nur 2-4 Meßwerte pro Jahr

Die Entstehung oxidischer Bedingungen in der grundnahen Wasserschicht des Danziger Tiefs wurde von einer starken Zunahme des Nitratgehalts und einer Abnahme der Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen begleitet.

4.5 Organische Nährstoffe

Die Untersuchungen des natürlich vorkommenden organischen Materials wurden 1996 im dritten Jahr fortgesetzt. Obwohl sowohl saisonale als auch regionale Unterschiede in den Konzentrationen gelöster organischer Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen bestehen, lassen sich aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraums noch keine statistisch gesicherten Angaben über Mittelwerte sowie saisonale und zwischenjährliche Varianzen in der Menge des organischen Materials machen. Die Konzentrationen liegen für gelösten, organisch gebundenen Kohlenstoff (DOC) in der Regel zwischen $200 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und $350 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, für gelösten, organisch gebundenen Stickstoff (DON) zwischen $15 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und $30 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

Die Konzentrationen der im partikulären Material gebundenen organischen Kohlenstoff-Stickstoffkomponenten zeigen im Gegensatz zu den gelösten Verbindungen eine deutliche jahreszeitliche Abhängigkeit, die auf das Planktonwachstum im Frühjahr und Sommer zurückzuführen ist. Die saisonalen Konzentrationsunterschiede dieser Verbindungen sind jedoch weniger stark ausgeprägt als diejenigen der Nährsalze (vgl. NEHRING et al., 1995a,b). Insgesamt ist die Menge des partikulären organischen Materials weitaus geringer als diejenige der entsprechenden gelösten organischen Verbindungen. In den zentralen Gebieten der Ostsee wurden im Winter Konzentrationen partikulärer Kohlenstoffverbindungen zwischen $5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und $10 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ bzw. partikulärer Stickstoffverbindungen unter $1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ beobachtet, während die entsprechenden Werte im Sommer auf bis zu $90 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ bzw. $8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ anstiegen. Der Beitrag des partikulären Materials zum Gesamtkohlenstoff bzw. -stickstoffgehalt ist jedoch auch in den Sommermonaten mit deutlich unter 20 % relativ gering. Werte über 20 % wurden nur in vereinzelt Proben gefunden, die von küstennahen Stationen oder aus Bodennähe stammten.

Aufgrund der geringen saisonalen und zwischenjährlichen Unterschiede in den Gesamtkonzentrationen der organischen Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen wird die zentrale Bedeutung dieses Materials für die Stoffkreisläufe im Ökosystem der Ostsee nicht auf den ersten Blick erkennbar. Das Ausmaß der Umwandlungsprozesse, denen dieses Material unterworfen ist, wird jedoch offensichtlich, wenn man an Stelle der Gesamtkonzentrationen die Veränderungen in den Konzentrationsverhältnissen zwischen den einzelnen Kohlenstoff- bzw. Stickstoffkomponenten betrachtet. In Abb. 17 ist beispielhaft für eine Station am südlichen Rand des Gotlandbeckens (Stat. 259) gezeigt, wie sich im Jahresverlauf das Verhältnis des in der gelösten und der partikulären Fraktion gebundenen Stickstoffs verändert und welche Verschiebungen im Verhältnis zwischen gelösten anorganisch und organisch gebundenen Stickstoffverbindungen auftreten. Diese augenfälligen saisonalen Veränderungen, die durch eine Reihe biologisch kontrollierter Prozesse verursacht werden, sind dabei direkt mit der Freisetzung bzw. dem Verbrauch von Sauerstoff gekoppelt.

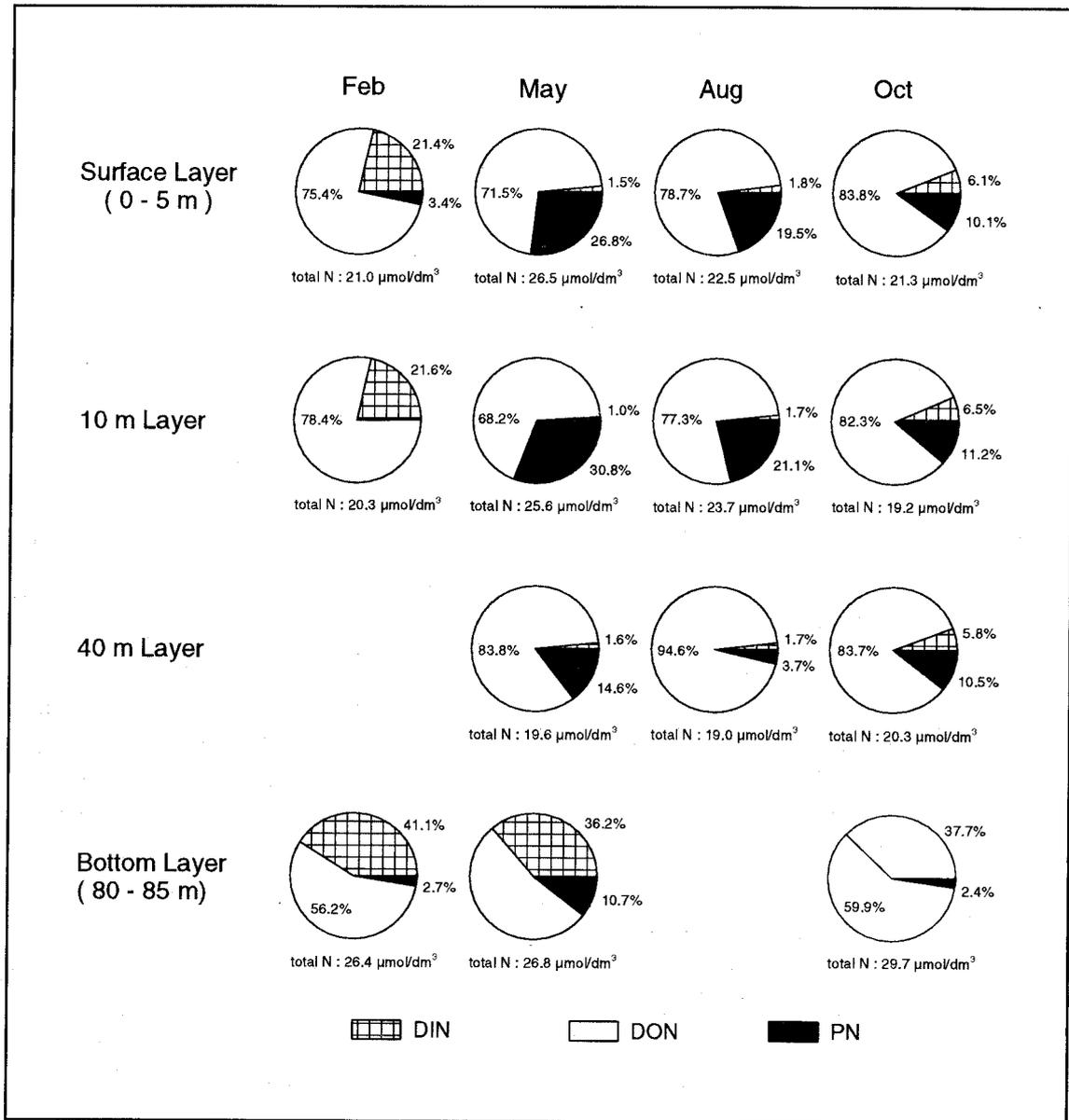


Abb. 17

Relative Verteilung verschiedener Stickstoffkomponenten an einer Station im südöstlichen Gotlandbecken (Stat. 259) im Verlauf des Jahres 1996.

DIN - gelöster anorganischer Gesamtstickstoff

(als Summe aus Nitrat + Nitrit + Ammonium);

DON - gelöster organisch gebundener Stickstoff (als Differenz aus Gesamtstickstoff - DIN);

PN - partikuläre Stickstoffverbindungen

5. Abiotische Umweltbedingungen und Entwicklung der Fischbestände

Nur im Südteil des östlichen Gotlandbeckens reichte 1996 der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser für eine erfolgreiche Dorschrekrutierung aus. Auf den beiden anderen wichtigen Laichplätzen in der zentralen Ostsee, dem Bornholm- und dem Danziger Becken, können sich die ungünstigen Sauerstoffverhältnisse und das zeitweilige Auftreten von Schwefelwasserstoff in der ersten Jahreshälfte nachteilig auf die Entwicklung der dortigen Dorschbestände auswirken.

Da negative Temperaturanomalien im Zwischenwasser die Entwicklung der Sprottbestände beeinträchtigen, waren die abiotischen Umweltbedingungen des Jahres 1996 auch für diese Fischart ungünstig. Gleiches gilt für den Rügenschon Frühjahrserring, dessen Mobilität bei niedrigen Wassertemperaturen zunimmt. Dies geht zu Lasten der Kondition der Fische und beeinflusst damit auch ihr Laichverhalten. Von Nachteil kann in diesem Zusammenhang auch die lange Eisbedeckung der Gewässer um Rügen sein.

6. Diskussion

Der Winter 1995/96 war in der zentralen Ostsee und im Übergangsbereich zur Nordsee überdurchschnittlich streng und führte in der 3. Februardekade zu einer maximalen Eisbedeckung der Ostsee von 65 % (vgl. Abb. 11). Die Kältesumme von 292,5 K, die an der Wetterstation Warnemünde ermittelt wurde, weist ihn als den viertstrengsten Winter seit 1946 (vgl. Tabelle 2) aus. Die Wärmesumme liegt mit 148,1 K über dem langjährigen Mittelwert (112,7 K), wobei vor allem der Juni (34,1 K) und August (78,3 K) sehr warm waren und die mittleren Bedingungen (19,2 K bzw. 38,2 K) um das Doppelte übertrafen. Im Jahresmittel war die Abweichung der Lufttemperaturen vom langjährigen Mittel mit -0,9 K nur gering (vgl. Tabelle 3).

Der strenge Winter verursachte im Oberflächenwasser der Ostsee negative Temperaturanomalien, die im Februar/März 1996 Werte zwischen 0,5 und 2 K erreichten und im Zwischenwasser der zentralen Ostsee durch negative Anomalien von 0,5 bis 1 K reflektiert wurden. Die Oberflächentemperaturen blieben bis in den Juli hinein unterhalb der langjährigen Mittelwerte. Erst der sehr warme August führte zu einer starken Erwärmung der Deckschicht und zu positiven Anomalien von 1 bis 2 K in der westlichen Ostsee sowie 3 bis 4 K in der Gotlandsee (vgl. Abb. 11).

Im Jahre 1996 erfolgte kein Salzwassereintritt in die Ostsee. Die meteorologischen Bedingungen führten bis zum Herbst nur zu schwachen Einströmen von salz- und sauerstoffreichem Wasser. Anfang November verursachten jedoch Weststürme mit Windgeschwindigkeiten bis über 30 m/s einen intensiven Einstrom von Wasser mit Salzgehalten bis 26 bzw. 20 PSU über die Droggen bzw. Darßer Schwelle (Abb. 10), der insgesamt etwa 190 km³, davon rund 80 km³ salzreiches Wasser (≥ 17 PSU) in die Ostsee transportierte. Da die Kriterien für Salzwassereintritte zwischen 3. und 10. November an insgesamt 5 Tagen erfüllt waren, kann man von einem sehr intensiven Einstrom oder bereits von einem sehr schwachen Salzwassereintritt sprechen.

Im Oberflächenwasser der Darßer Schwelle ging im Jahre 1996 der Mittelwert des Salzgehalts auf den niedrigsten Wert zurück, der seit der Installation der permanenten Station im Jahre 1992

beobachtet wurde. Er lag mit 7,4 PSU um 2 PSU unter dem Wert von 1992 (vgl. Tabelle 4). Das kann mit dem - von einigen Fluktuationen abgesehen - permanenten Ausstrom in der Oberflächenschicht erklärt werden. Auch in der gesamten zentralen Ostsee wurden im Jahre 1996 relativ niedrige Oberflächensalzgehalte gemessen, die - verglichen mit dem Langzeitmittel (1961-1990) - durch negative Anomalien von etwa 0,5 PSU (Bornholmbecken) und rund 0,4 PSU (östliches Gotlandbecken) gekennzeichnet waren (vgl. Tabelle 7).

Das Jahresmittel des Salzgehalts der grundnahen Wasserschicht erreichte 1996 den höchsten bisher beobachteten Wert und lag um 2 bis 3 PSU über dem Wert von 1992. Am Boden wurde insbesondere seit dem Frühjahr bis zum November 1996 ein langanhaltender Einstrom gemessen, der zu dem hohen mittleren Salzgehalt auf der Darßer Schwelle in diesem Zeitraum geführt hat (vgl. auch Tabelle 4 und Abb. 6B). Das weist auf eine Verstärkung der baroklinen Zirkulation auf der Darßer Schwelle und damit auf eine weitere Abschwächung des mittleren Einstroms in die Ostsee im Jahre 1996 hin. Damit setzte sich die Tendenz zur Stagnation in den Tiefenbecken fort.

Im März gelangte salz- und sauerstoffreiches Wasser ins Bornholmbecken, das die im Januar und Februar beobachteten anoxischen Bedingungen in den grundnahen Schichten vorübergehend beendete. Im Mai strömte im Bereich der Sprungschicht salz- (10 bis 12 PSU) und sauerstoffreiches ($5 \text{ bis } 8 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$) sowie relativ kühles Wasser (2 bis 3 °C) über die Stolper Rinne in das östliche Gotlandbecken (vgl. Abb. 12-14). Das führte im Sommer 1996 zu einer Abkühlung im Tiefenwasser unterhalb der Sprungschicht und im südlichen Teil zu einer Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im grundnahen Wasser. Im Danziger Tief stieg der Salzgehalt um etwa 1 PSU auf 12 PSU, und es traten wieder oxische Bedingungen ($> 2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$) auf, nachdem im Winter Schwefelwasserstoff festgestellt worden war.

Während die Sauerstoffverhältnisse in der Oberflächenschicht und im Zwischenwasser der Ostsee durch den strengen Winter 1995/96 und den warmen August 1996 geprägt wurden, führten advective Prozesse im Tiefenwasser des Bornholmbeckens sowie des Danziger Tiefs zu starken Variationen in der Sauerstoff-Schwefelwasserstoff-Verteilung (Abb. 14). Im östlichen Gotlandbecken dominierten dagegen anoxische Bedingungen, wobei die schwefelwasserstoffhaltige Tiefenschicht 1996 an Mächtigkeit gewann und sich in Abhängigkeit von der Bodentopographie nach Süden ausdehnte (Abb. 1). Die vorübergehende Abwesenheit von Schwefelwasserstoff im Gotlandtief, die im Mai 1996 beobachtet wurde (Abb. 14), zeugt jedoch von den labilen Sauerstoffverhältnissen im Tiefenwasser dieses Beckens.

Im Mittel haben sich 1996 auch die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens verschlechtert (Tabelle 6). Ebenso wie im östlichen Gotlandbecken ist diese ungünstige Entwicklung eine Folge der neuen Stagnationsperiode, die 1995 in den zentralen Ostseebecken begonnen hat (NEHRING et al., 1995c).

Unter Berücksichtigung der Jahre 1995 und 1996 (Tabelle 8) werden gegenwärtig die niedrigsten winterlichen Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser der eigentlichen Ostsee beobachtet. Seit Beginn des starken Anstiegs in den 70er und zu Beginn der 80er Jahre wurden ähnlich niedrige Konzentrationen nur 1988 und 1989 gemessen (NEHRING und NAUSCH, 1996). Die nunmehr verstärkte Abnahme der Phosphat-Winterkonzentrationen deuten wir als den Beginn einer Mesotrophierung, deren Ursache die drastische Abnahme im Verbrauch synthetischer Düngemittel und der verstärkte Bau von Klärwerken im Einzugsgebiet der Ostsee ist.

Beim Nitrat, das im Winter als praktisch einzige anorganische Stickstoffverbindung in der Oberflächenschicht der offenen Ostsee vorhanden ist, wurde 1996 noch keine abnehmende Tendenz festgestellt. Die Konzentrationen dieses Nährstoffes entsprachen denen, die seit Mitte der 80er Jahre beobachtet werden (vgl. NEHRING und NAUSCH, 1996).

Die Eutrophierung der Ostsee hat zu einer verstärkten Einbeziehung des Silikats in den chemisch-biologischen Stoffkreislauf geführt (HELCOM, 1996) und bewirkt, daß dieser Nährstoff nicht nur im Kattegat und in der Kieler Bucht, sondern auch in der Mecklenburger Bucht und der Arkonasee, einschließlich der Pommerschen Bucht, zum limitierenden Faktor für die Entwicklung von Kieselalgen werden kann (Tabelle 9).

Das Silikatminimum scheint in der euphotischen Schicht der westlichen Teilgebiete früher erreicht zu werden und vollständiger zu sein als in der zentralen Ostsee. Ursache hierfür kann eine regional unterschiedliche Artendominanz des Phytoplanktons sein. Während die Frühjahrsblüte in den westlichen Teilen durch Diatomeen dominiert wird, gewinnen in den zentralen Teilen Xenophyten zunehmend an Bedeutung (WASMUND et al., 1997). Darüber hinaus scheinen zwischenjährliche Unterschiede zu bestehen, denn 1993 wurde erst im November, vor allem im Südteil des östlichen Gotlandbeckens, eine starke Silikatverarmung beobachtet (NEHRING et al., 1994a,b), die mit einer Diatomeenblüte zusammenhing (BREUEL et al., 1994).

Die Nährstoffverteilung im Tiefenwasser der zentralen Ostsee (Abb. 15 und 16) wurde 1996 vorrangig durch die labilen Sauerstoffverhältnisse und die damit verbundenen starken Schwankungen des Redoxpotentials bestimmt. Der Übergang zu anoxischen Bedingungen war dabei durch Denitrifikation sowie die Akkumulation von Phosphat und Ammonium gekennzeichnet. Umgekehrt bewirkte der Übergang in oxische Bedingungen eine starke Zunahme des Nitratgehalts, während die Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen signifikant abnahmen.

Abb. 18 zeigt die Veränderungen chemischer Variablen im Gotlandtief im Jahre 1996. Sie werden in der Oberflächenschicht nachhaltig durch die Phytoplanktonentwicklung beeinflusst, während im Tiefenwasser die Entstehung anoxischer Bedingungen von entscheidender Bedeutung ist.

Trotz des weiteren Rückgangs der Sauerstoffkonzentrationen blieben 1996 oxische Bedingungen im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens erhalten. Da seit der letzten nachhaltigen Wassererneuerung, die 1993 in diesem Becken beobachtet wurde, keine signifikante Zunahme der Phosphat- und Nitratkonzentrationen eingetreten ist (vgl. Tabelle 10), kommt der Nährstoffakkumulation durch Remineralisierung offenbar nur geringe Bedeutung zu, oder sie wird durch horizontale und vertikale Austauschprozesse kompensiert.

Die Konzentrationen gelöster, organisch gebundener Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in der Ostsee sind mit mit 200 bis 300 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ bzw. 15 bis 30 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ deutlich höher als die Werte, die in den offenen Ozeanen gemessen wurden (z.B. im Atlantik mit 100 bis 160 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ für DOC bzw. 8 bis 15 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ für DON; FITZWATER, MARTIN, 1993). Aus der für die Primärproduzenten zur Verfügung stehenden Gesamtmenge an Nähr-

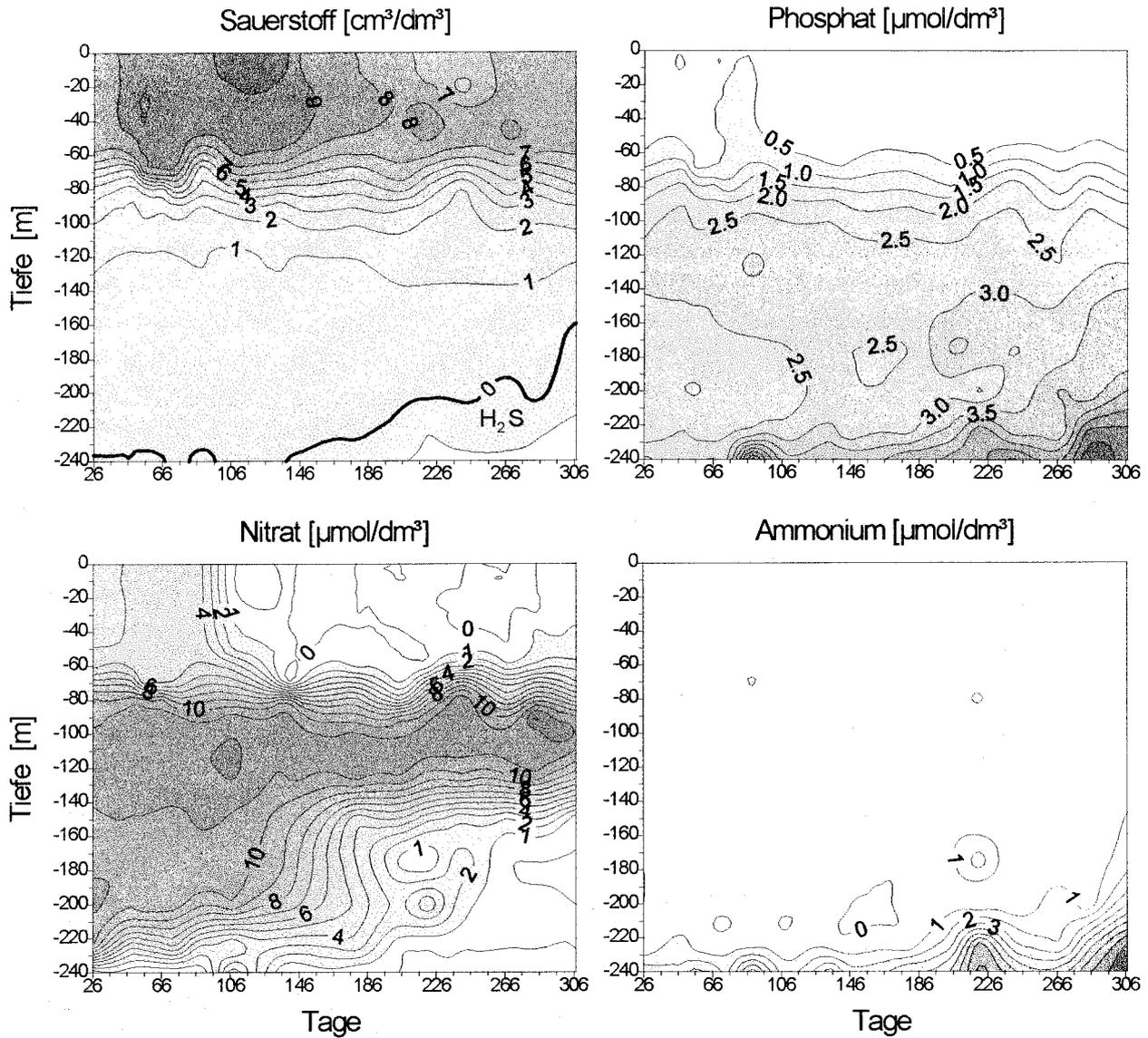


Abb. 18

Veränderungen des Sauerstoffgehalts und der Konzentrationen anorganischer Phosphor- und Stickstoffverbindungen im Gotlandtief (Stat. 271) im Jahre 1996 (Meßwerte des IOW und des SMHI)

salzen, die man aus den winterlichen Konzentrationen in der Deckschicht ableiten kann, läßt sich aufgrund des Redfield-Richards-Verhältnisses abschätzen, daß in der Ostsee 50 bis 70 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ organischer Kohlenstoffverbindungen bzw. 3 bis 5 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ organischer Stickstoffverbindungen durch die Primärproduzenten im Jahresverlauf neu gebildet werden können. Diese Menge macht jedoch weitaus weniger als Hälfte des vorhandenen organischen Materials aus. Die Rolle, die diese nicht im saisonalen Zyklus umgesetzten organischen Substanzen für die Stoffkreisläufe im Ökosystem der Ostsee spielen, ihre Herkunft und ihr weiteres Schicksal sind noch in vielen Punkten ungeklärt.

Die abiotischen Umweltfaktoren der Ostsee sind 1996 als eher ungünstig für die Rekrutierung der 3 wichtigsten kommerziellen Fischarten Dorsch, Hering und Sprotte zu bewerten.

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 1996. Herrn Barry Broman, Schwedisches Meteorologisches und Hydrologisches Institut (SMHI) Norrköping, gilt unser Dank für die Überlassung von Wasserstandsdaten sowie dem Ozeanographischen Labor des SMHI in Göteborg für hydrographisch-chemische Beobachtungsdaten ausgewählter Ostsee-Stationen. Dem SMHI danken wir darüber hinaus für die Genehmigung zur Verwendung von Oberflächentemperaturkarten der Ostsee. Herrn Dr. Erik Buch, Königlich Dänische Behörde für Navigation und Hydrographie Kopenhagen, sind wir dankbar für die Bereitstellung von Salzgehaltsdaten aus dem Bereich der Droggen Schwelle. Der Deutsche Wetterdienst stellte uns Datenmaterial der Wetterstationen Arkona und Warnemünde zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

- ANONYM, 1996a: Monatlicher Witterungsbericht. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, **44**, H. 1-13.
- ANONYM, 1996b: Report on the conditions of the coastal and off shore waters of the Baltic proper. - Länsstyrelsen i Stockholms Län, Inf. No. 8, 4 September.
- ANONYM, 1996c: Report on the conditions of the coastal and off shore waters of the Baltic proper. - Länsstyrelsen i Stockholms Län, Inf. No. 9, 9 October.
- BREUEL, G., JOST, G., KAISER, W., POWILLEIT, M., WASMUND, N., VON BODUNGEN, B., 1994: Biologisches Monitoring und Zustandseinschätzung der Ostsee im Jahre 1993. - UBA-Forschungsbericht '94 - 102 04 395, S. 1-65.
- FITZWATER, S.E., MATIN, J.H., 1993: Notes on the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment - dissolved organic carbon intercomparison. - Mar.Chem. **41**, 179-185.
- 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.
- HELCOM, 1993: The Baltic Sea joint comprehensive environmental action programme. - Baltic Sea Environ. Proc. **49**, 1-58.
- HELCOM, 1996: Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; Background Document. - Baltic Sea Environ. Proc. **64B**, (im Druck).
- 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.
- 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).

- 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., ÅRNELL, T., 1996: A summary of the ice season and icebreaking activities 1995/96. - SMHI-Sjöfartsverket, Norrköping 1996, 1 - 50.
- 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., 1978: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehaltes in der Ostsee. - Gerlands Beitr. Geophys., Leipzig, **87**, 369-376.
- MATTHÄUS, W., FRANCK, H., 1992: Characteristics of major Baltic inflows - a statistical analysis. - Cont. Shelf Res., **12**, 1375-1400.
- NEHRING, D., 1981: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee 1969-1978. II. Die chemischen Bedingungen und ihre Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. - Geod. Geoph. Veröff. R. IV, **35**, 39-137.
- NEHRING, D., 1990: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee 1979 bis 1988 - ein Vergleich. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **2**, 1-45.
- NEHRING, D., NAUSCH, G. 1996: Fertilizer consumption in the catchment area and eutrophication of the Baltic Sea. - Baltic Marine Science Conference, Rønne, Denmark, October 22-26, 1996 (Paper; Publikation in: Symposium Proceedings des ICES, 1997).
- 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., 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. Hydrog. 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.
- 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.).
- SMHI, 1996: Ice conditions and sea surface temperatures. Maps No. 1 - 104, Norrköping.
- TIESEL, R., 1997: Temperatursummen der Lufttemperaturen an der Wetterstation Warnemünde im Jahre 1996. - Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Warnemünde (unveröff.).
- WASMUND, N., NAUSCH, G., MATTHÄUS, W. 1997: Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea - spatio-temporal development and long-term trends. - *Est. Coast. Shelf Res.* (im Druck).

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:
Spurenmittelkonzentrationen vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns

- 12 (1996) Schinke, Holger:
Zu den Ursachen von Salzwassereintrüben in die Ostsee
- 13 (1996) Meyer-Harms, Bettina:
Ernährungsstrategie calanoider Copepoden in zwei unterschiedlich trophierten Seegebieten der Ostsee (Pommernbucht, Gotlandsee)
- 14 (1996) Reckermann, Marcus:
Ultraplankton and protozoan communities and their interactions in different marine pelagic ecosystems (Arabian Sea and Baltic Sea)
- 15 (1996) Kerstan, Eberhard:
Untersuchung der Verteilungsmuster von Kohlenhydraten in der Ostsee unter Berücksichtigung produktionsbiologischer Meßgrößen
- 16 (1996) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus:
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995
- 17 (1996) Brosin, Hans-Jürgen:
Zur Geschichte der Meeresforschung in der DDR
- 18 (1996) Kube, Jan:
The ecology of macrozoobenthos and sea ducks in the Pomeranian Bay
- 19 (1996) Hagen, Eberhard (Editor):
GOBEX - Summary Report
- 20 (1996) Harms, Andreas:
Die bodennahe Trübezone 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