

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

No. 29

Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung  
der Ostsee 1997

von

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

**Institut für Ostseeforschung**  
**Warnemünde**  
**1998**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Einleitung	5
2. Meteorologische Bedingungen	6
3. Wasseraustausch durch die Ostseezugänge	13
3.1 Beobachtungen an der Bojenstation „Darßer Schwelle“	13
3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt	13
3.1.2 Strömung	18
4. Hydrographisch-chemische Bedingungen	19
4.1 Wassertemperatur	21
4.1.1 Jahresgang der Oberflächentemperatur	21
4.1.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur	25
4.2 Salzgehalt	28
4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff	32
4.4 Anorganische Nährstoffe	40
4.5 Organische Nährstoffe	44
5. Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf die Ostsee	46
5.1 Hydrographische Bedingungen	48
5.2 Nährstoffsituation	52
5.3 Schlußfolgerungen	55
6. Diskussion	56
Danksagung	61
Literaturverzeichnis	62

## Zusammenfassung

Der Winter 1996/97 kann in der westlichen und zentralen Ostsee als mäßig, im Bottnischen, Finnischen und Rigaer Meerbusen aber nur als schwach charakterisiert werden. Dementsprechend lagen die Temperaturen im winterlichen Oberflächenwasser weitgehend im normalen Bereich. Der Sommer 1997 war dagegen außergewöhnlich warm und muß als der wärmste seit 1890 angesehen werden. Die sommerlichen Wassertemperaturen erreichten in einer 10 m mächtigen Deckschicht positive Anomalien bis zu 6 K.

Im Jahre 1997 erfolgte kein Salzwassereinbruch. Der Bereich der Darßer Schwelle war ganzjährig durch eine ausgeprägte ästuarine Zirkulation gekennzeichnet, die lediglich durch zwei lang anhaltende Ausstromereignisse im Mai und November unterbrochen wurde. In der grundnahen Schicht herrschte von Ende Mai bis Anfang November anhaltender Einstrom, der während der Sturmereignisse im September und Anfang Oktober größere Wassermengen über die Schwellen transportierte. Dadurch gelangte sehr warmes und salzreiches Wasser in die Ostsee, das Ende Oktober mit Temperaturen von 11,5 bis 13 °C und Salzgehalten bis 18 PSU im Tiefenwasser des Bornholmbeckens beobachtet wurde. Derartig hohe Temperaturen, die um 3 bis 4 K über den langjährigen Mittelwerten des Tiefenwassers liegen, wurden im Bornholmbecken in diesem Jahrhundert nur selten erreicht. Das Becken füllte sich im Herbst zunehmend mit salzreichem Wasser, wobei Ende Oktober im Tiefenbereich > 60 m Salzgehalte > 15 PSU erreicht wurden, so daß warmes (> 10 °C), salz- und sauerstoffreiches Wasser von 14 bis 15 PSU bzw. von bis zu 2 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> ungehindert über die Stolper Schwelle in die zentrale Ostsee abfließen konnte.

Die Stagnationsperiode, die im Jahre 1995 begann und im Tiefenwasser des Gotland- und Färötiefs bis Ende 1996 zur Ausbildung einer schwefelwasserstoffhaltigen Schicht unterhalb von 175 m Tiefe führte, wurde von Februar bis Mai 1997 kurzzeitig durch Einstromprozesse unterbrochen. Jedoch bereits ab August 1997 waren die Tiefenbereiche des östlichen Gotlandbeckens unterhalb von etwa 150 m wieder mit schwefelwasserstoffhaltigem Wasser gefüllt. Wie in den Vorjahren wurde auch 1997 im westlichen Gotlandbecken kein Schwefelwasserstoff gemessen.

Bei den Winterkonzentrationen der anorganischen Nährstoffe setzte sich die bereits in den Vorjahren erkennbare Entwicklung fort. Beim Phosphat zeigte sich eine weiterhin abnehmende Tendenz in allen untersuchten Seegebieten. Bei den Nitratkonzentrationen, die nach wie vor hoch sind, wurden 1997 erste Anzeichen für einen leichten Rückgang beobachtet, wenngleich die Tendenz noch nicht so ausgeprägt ist wie beim Phosphat.

Signifikante Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf die Ostsee waren im wesentlichen nur lokal in der Pommerschen Bucht zu beobachten. Die gemessenen Konzentrationen der meisten anorganischen Nährstoffe waren in der gleichen Größenordnung wie sie bei früheren Untersuchungen zu Zeiten verstärkten Oderausstroms im Frühjahr zu beobachten waren. Signifikant erhöhte Konzentrationen wurden aber für Silikat sowie für

organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen gefunden. Im Bereich der Ausstromfahne der Oder vor Usedom kam es im August zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten. Langzeiteffekte der während des Hochwassers eingetragenen Nährstoffmengen auf das Ökosystem sind weder für die Pommersche Bucht noch für die Ostsee zu erwarten.

### Summary

The winter of 1996/97 can be characterized as moderate in the western and central Baltic Sea but was only weak in the Gulfs of Bothnia, Finland and Riga. The temperatures in the winter surface and summer intermediate layers met the long-term mean. The summer of 1997 was the warmest since 1890. The water temperatures reached positive anomalies up to 6 K in the 10 m upper layer due to sunny weather conditions and weak winds during August.

The meteorological conditions in 1997 did not give rise to major Baltic inflows. The Darss Sill area was characterized by a distinct estuarine circulation only interrupted by two long lasting outflow events in May and November. Between the end of May and the beginning of November, persistent inflow was recorded in the near-bottom layers which culminated in two storms in September and at the beginning of October transporting larger volumes of water across the sills. Thereby exceptional warm and saline water entered the Baltic Sea which caused temperatures from 11.5 to 13 °C and salinities up to 18 PSU in the Bornholm Basin deep water at the end of October. Such positive temperature anomalies of 3 to 4 K were rarely measured in the deep water during the present century. The Bornholm Basin deeper than 60 m was filled by water with salinities > 15 PSU at the end of October. Saline (14 to 15 PSU), warm (> 10 °C) and oxygen-rich water (up to 2 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>) crossed the Stolpe Sill into the central Baltic Sea.

Due to the stagnation beginning in 1995 the deep water in the Gotland and Fårö Deeps became anoxic below 175 m depth until the end of 1996. Small inflows shortly interrupted this development between February and May 1997. From August onward the layer below 150 m in the eastern Gotland Basin again became anoxic. The deep water of the western Gotland Basin continues to be oxic.

The decreasing tendency of phosphate concentrations measured in the mixed winter surface layer since several years continued in all Baltic areas under investigation. The winter concentrations of nitrate are still high but in 1997 first indications for a decrease could be observed.

Significant impacts of the exceptional Oder flood in summer 1997 could only be observed locally in the Pomeranian Bight. The measured concentrations of most of the inorganic nutrients ranged in the same order of magnitude as observed earlier during times of increased Oder discharges in spring. Significantly increased concentrations were, however, measured for silicate and organic carbon and nitrogen compounds. In August, hydrogen sulphide occurred in the bottom layer in front off Usedom Island. Long-term effects of the nutrient load on the ecosystem in the Pomeranian Bight and in the whole Baltic Sea are not expected.

## 1. Einleitung

Das hydrographisch-chemische Ostsee-Überwachungsprogramm des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) wurde 1997 auf der Grundlage der Verwaltungsvereinbarung mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Hamburg und Rostock fortgesetzt. Darin wird dem IOW der deutsche Beitrag 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 wurden auch 1997 fünf Monitoring-Fahrten durchgeführt, die alle vier 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. Zur internationaler Zuordnung dieser Stationen sei auf NEHRING et al. (1993) verwiesen.

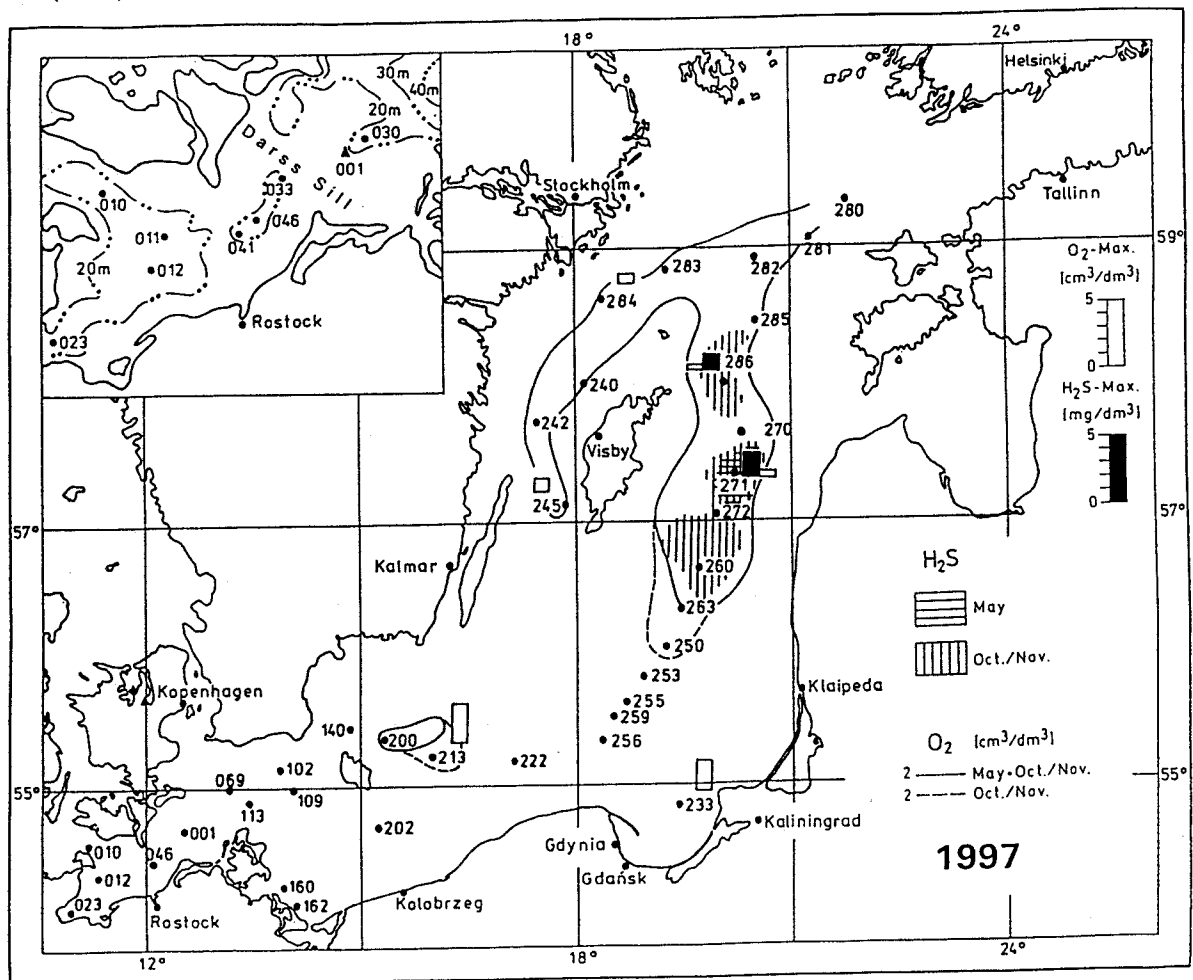


Abb. 1

Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der Ostsee sowie maximale Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen auf ausgewählten Stationen (Histogramme) im Jahre 1997

Auf Grund des extremen Hochwassers der Oder im Juli und August wurde die Überwachungsfahrt im Sommer erweitert und auf die innere Pommersche Bucht ausgedehnt. Insgesamt viermal wurde zwischen dem 27. Juli und dem 13. August ein enges Stationsnetz (vgl. Abb. 18) beprobt und die Ausbreitung des aus der Oder über das Oderhaff in die Pommersche Bucht transportierten Wassers sowie die Transformation seiner Inhaltsstoffe untersucht.

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., 1996, 1998). Angaben über die Strömungsverhältnisse liefern darüber hinaus ein selbstregistrierender akustischer Doppler-Profil-Strömungsmesser (ADCP; Darßer Schwelle) und akustische Strömungsmesser (2 Tiefen; Oderbank).

Die Überwachung der Wasseroberflächentemperatur der Ostsee wurde 1997 erstmals durch mittlere monatliche Verteilungen, ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten, ergänzt. Dabei wurden alle wolkenlosen Bildpunkte (Pixel 1 x 1 km) der Satellitenüberflüge eines Monats berücksichtigt und in Karten zusammengestellt.

## **2. Meteorologische Bedingungen**

Der Witterungsverlauf des Jahres 1997 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).

Der Winter 1996/97 kann in der westlichen und zentralen Ostsee als mäßig charakterisiert werden (STRÜBING, 1996), was auch durch die Kältesumme des gesamten Winters, die mit 124,6 K fast exakt dem langjährigen Mittelwert entspricht, zum Ausdruck kommt. Lediglich die Starkfrostperiode von etwa Mitte Dezember 1996 bis Mitte Januar 1997 führte im Küstenbereich der westlichen Ostsee zu einer intensiveren Eisbildung. Die für die Station Warnemünde berechneten monatlichen Kältesummen erreichten im Dezember 1996 das Doppelte des lang-

**Tabelle 1** Temperatursummen der Lufttemperatur an der Wetterstation Warnemünde (TIESEL, 1998); mittlere Temperatursummen 1961 bis 1990 in Klammern

		Kältesummen <sup>1)</sup> (K)		Wärmesummen <sup>2)</sup> (K)	
				Apr. 1997	0 (0,3)
Nov. 1996	0	(2,5)		Mai 1997	1,0 (5,2)
Dez. 1996	52,9	(26,5)		Jun. 1997	35,3 (19,2)
Jan. 1997	68,5	(50,2)		Jul. 1997	62,4 (41,6)
Feb. 1997	3,1	(32,7)		Aug. 1997	173,0 (38,2)
Mär. 1997	0,1	(10,7)		Sep. 1997	21,2 (7,7)
Apr. 1997	0	(0,04)		Okt. 1997	0 (0,5)
$\Sigma$ 1996/97	124,6	(123,0)	$\Sigma$ 1997	292,9	(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

jährigen Mittelwertes, und auch für den Januar 1997 wurde noch ein erheblich über dem Mittel liegender Wert beobachtet (vgl. Tabelle 1). Die Anomalien der Monatsmittel der Lufttemperaturen an der Wetterstation Arkona betragen für diese Monate -2,2 bzw. -1,0 K. Anhand der Eisentwicklung im Bottnischen, Finnischen und Rigaer Meerbusen (vgl. auch Abb. 9) kann der Winter in diesen Teilgebieten der Ostsee nur als schwach eingestuft werden (STRÜBING, 1996; LUNDQVIST, ASP, 1997).

Die Monate Februar und März waren in der westlichen und zentralen Ostsee sehr mild mit positiven Anomalien der Lufttemperatur an der Wetterstation Arkona von 2,6 bzw. 1,7 K (vgl. Tabellen 1 und 2). Das Frühjahr blieb kühl und die Anomalien wiesen zwischen April und Juni mit -0,5 bis 0,3 K nur geringe Abweichungen vom langjährigen Mittel auf. Im Juni begann eine Wärmeperiode, die an der Wetterstation Warnemünde zu monatlichen Wärmesummen führte, die erheblich über dem langjährigen Mittelwert lagen. Durch die extreme Wärmeperiode im August, die mit einer Wärmesumme von 173 K mehr als das Vierfache des langjährigen Mittelwertes erreichte (Tabelle 1), muß der Sommer 1997 als wärmster Sommer seit 1890 angesehen werden (R. TIESEL, pers. Mitt.). Der August 1997 wurde als heißester Sommermonat seit wenigstens 1947 - dem Beginn der Zeitreihe der Wärmesummen - registriert und lag an der Station Arkona 4,7 K über dem langjährigen Monatsmittel. Er übertraf in der Wärmesumme den Monat Juli 1994 erheblich, die Monate August 1975 und 1995 sogar um etwa das 1,5fache (vgl. Tabelle 3). Der Herbst war zu kühl im Vergleich zum langjährigen Mittel. Im Jahresmittel 1997 war die Abweichung vom langjährigen Erwartungswert mit 0,8 K aber nur gering.

**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 1997 bezogen auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961 bis 1990 (DWD, 1997)**

Monat	$\Delta T_L$ (K)	SD (%)	NH (%)
Januar	-1,0	150	0
Februar	2,6	119	115
März	1,7	163	68
April	0,3	112	76
Mai	-0,5	92	211
Juni	0,1	96	119
Juli	1,3	122	51
August	4,7	144	17
September	1,3	102	127
Oktober	-1,0	103	168
November	-0,3	62	60
Dezember	0,7	82	84
Mittel	0,8	112	91

Der Ablauf des Sommers 1997 kann mit dem des Sommers 1975 verglichen werden, wobei die Erwärmung 1975 erst im Juli einsetzte. Vergleicht man die Wärmesummen, dann wurden in den letzten fünf Jahren die vier wärmsten Sommer seit wenigstens 1947 beobachtet (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3 Wärmesummen der Lufttemperatur (in K) der sechs wärmsten Sommer seit 1946 an der Wetterstation Warnemünde (nach TIESEL)**

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



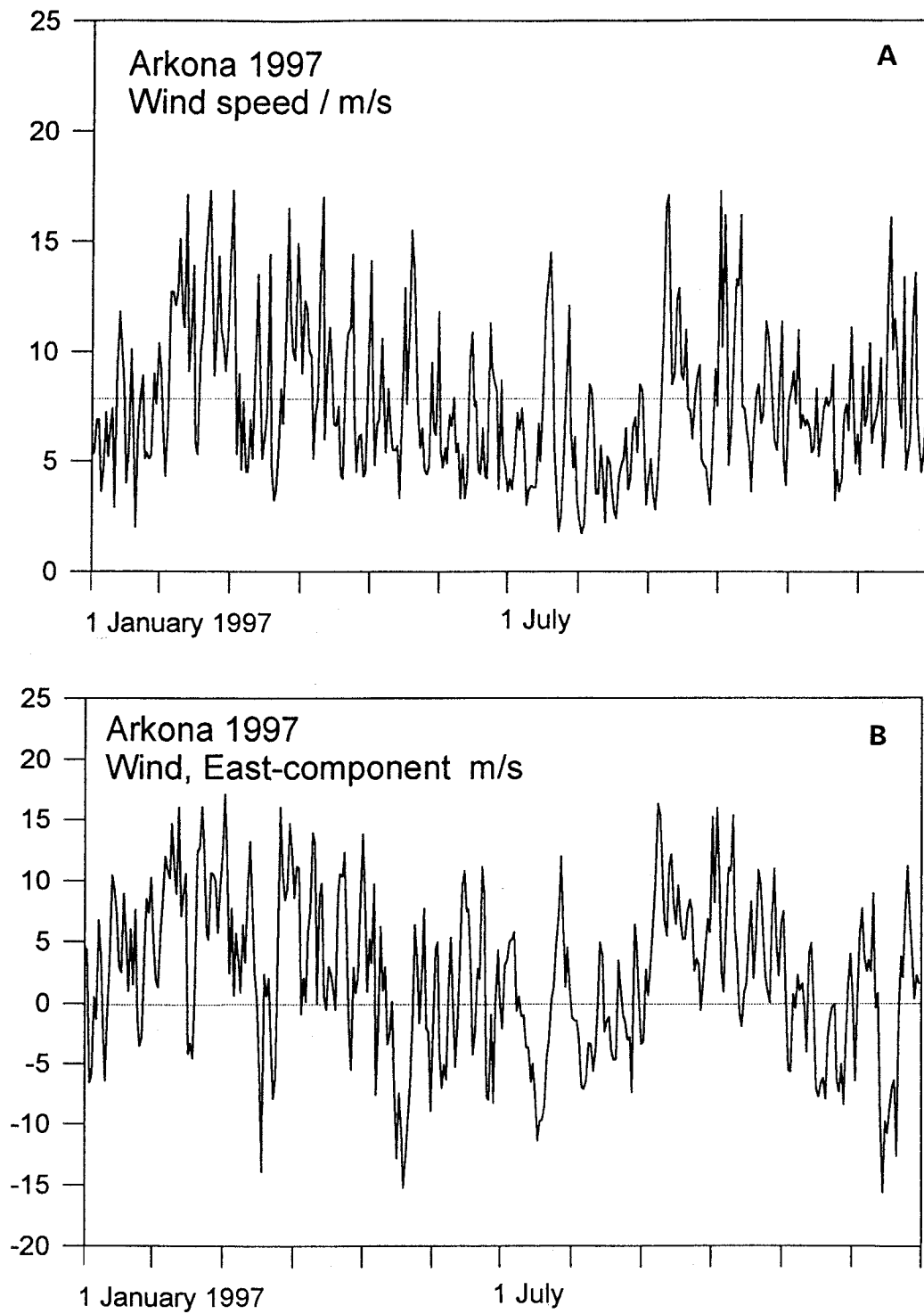


Abb. 2  
Tagesmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im Jahre 1997 (A) und ihrer Ostkomponente (B; Westwind positiv) (nach Daten des DWD)

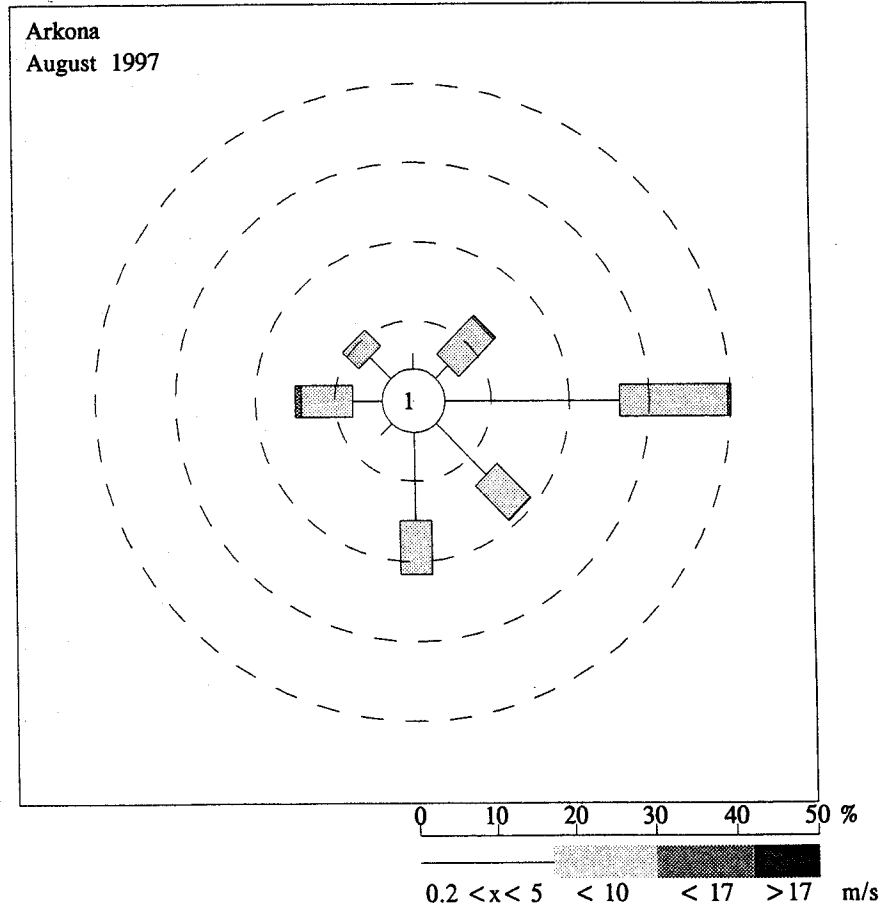
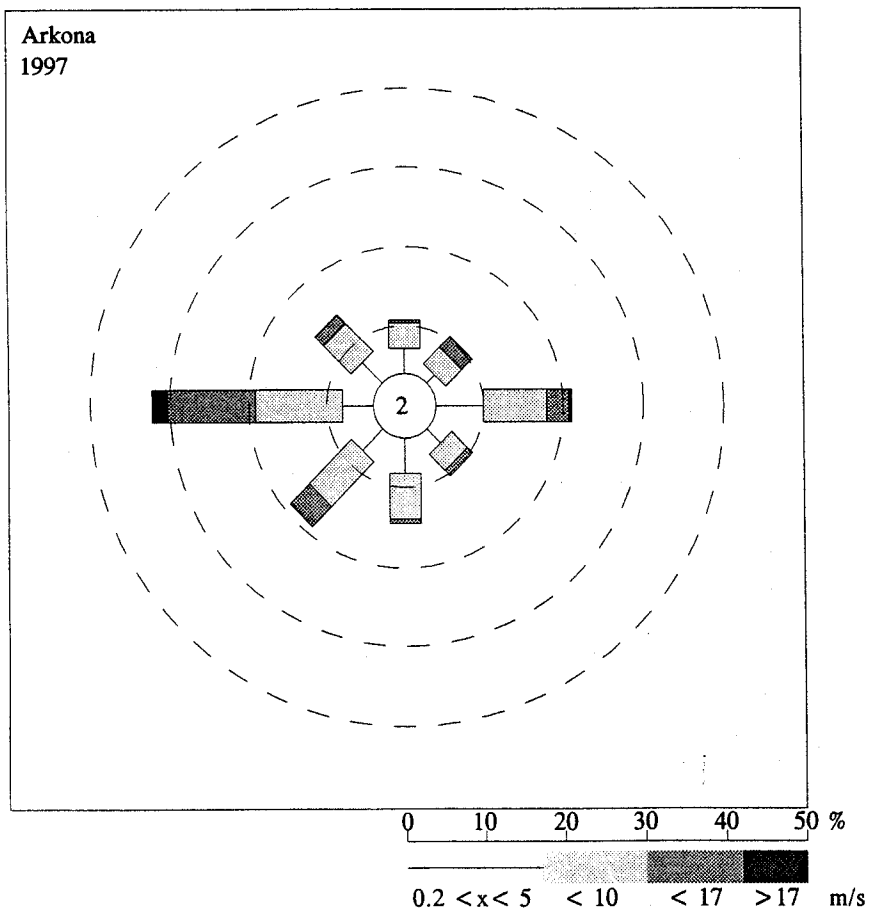


Abb. 3  
Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit an der Wetterstation Arkona im gesamten Jahr 1997 und im Monat August (nach Daten des DWD)

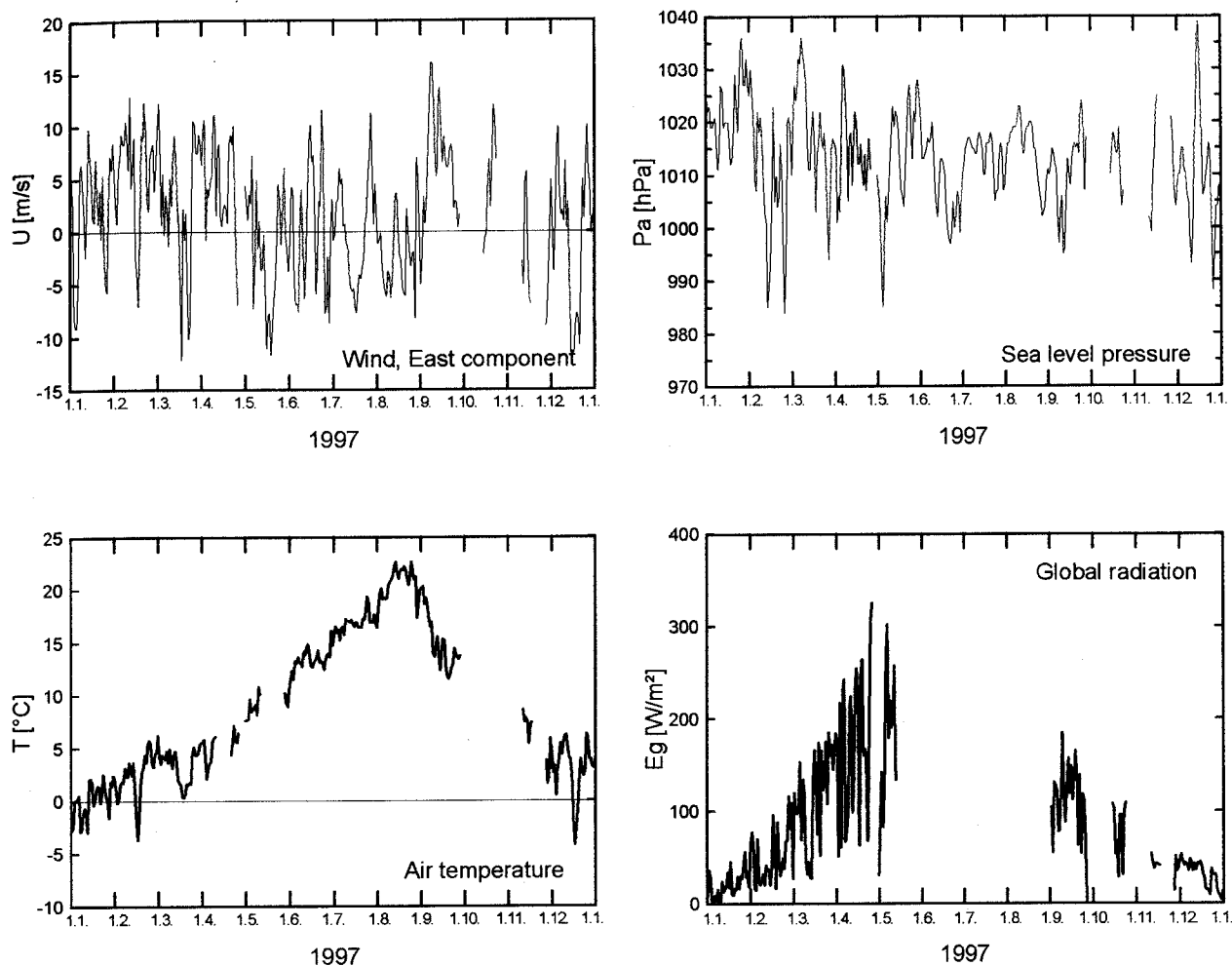


Abb. 4  
Tagesmittel der Ostkomponente der Windgeschwindigkeit (Westwind positiv) und des Luftdrucks sowie Tagesmittel der Lufttemperatur und der Globalstrahlung auf der Darßer Schwelle (Stat. 001) im Jahre 1997

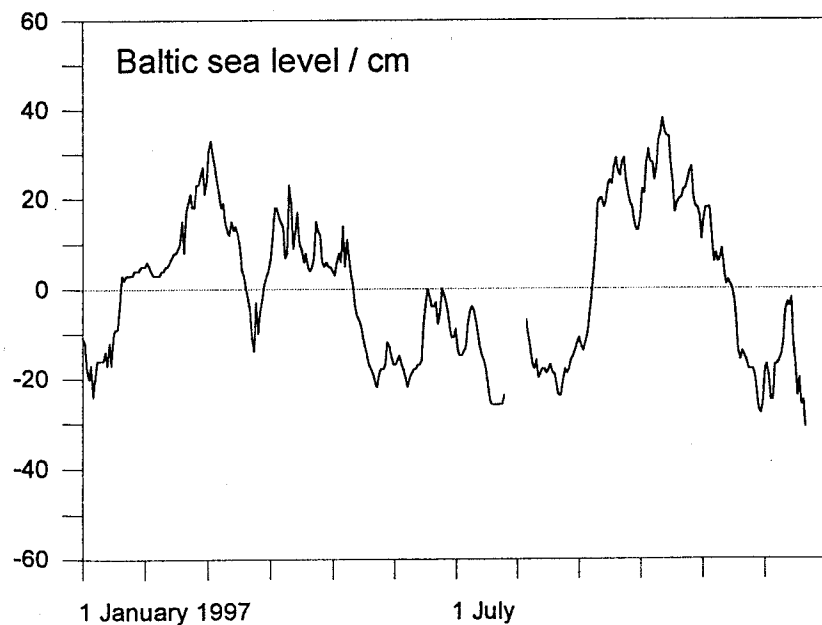


Abb. 5  
Schwankungen im Füllungsgrad der Ostsee im Jahre 1997, dargestellt anhand des Wasserstandes von Landsort (nach Daten des SMHI Norrköping)

Das Jahresmittel der Sonnenscheindauer lag über den Normalwerten. Die Monate Januar, März und August waren besonders sonnenscheinreich. Lediglich Mai, Juni und besonders November und Dezember blieben unter den Mittelwerten.

Hohe Niederschlagsmengen wurden vor allem im Mai und Oktober beobachtet. Den gesamten Monat Januar hindurch fiel kein Niederschlag. Sehr niederschlagsarm waren auch die Monate Juli und August. Im Jahresmittel ergab sich eine negative Niederschlagsanomalie (vgl. Tabelle 2).

Die in Abb. 2A dargestellten Tagesmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Arkona zeigen nahezu den gesamten Februar hindurch und Ende März/Anfang April 1997 starke Winde mit Tagesmitteln der Windgeschwindigkeit durchweg  $> 10$  m/s. Von Ende Juni bis Anfang September herrschte schwachwindiges Wetter. Die mittlere Windgeschwindigkeit betrug im August nur 4,8 m/s, vorwiegend aus östlichen Richtungen (Abb. 3). Anfang bis Mitte September und Ende September/Anfang Oktober gingen Stürme mit maximalen Tagesmitteln der Windgeschwindigkeit bis 17,1 m/s (9. September) bzw. 17,3 m/s (2. Oktober) über die westliche und mittlere Ostsee hinweg. Die Tagesmittel erreichten im Jahre 1997 maximal nur 17,3 m/s und die höchste Windspitze wurde mit 32,3 m/s am 11. Oktober registriert. Die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit lagen zwischen 11,2 m/s (Februar) und 4,8 m/s (August). Die Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und -geschwindigkeit auf die acht Hauptrichtungen für das gesamte Jahr 1997 und den Monat August sind in Abb. 3 dargestellt.

Östliche Winde traten Anfang Januar, Mitte März, im Mai, über einen längeren Zeitraum im Juli und August, sowie im November und Dezember auf (Abb. 2B), die durchweg zu einer unter-normalen Wasserfüllung der Ostsee führten (vgl. Abb. 5). Länger andauernde Perioden mit westlichen Winden im Bereich der westlichen Ostsee wurden vor allem im 1. Halbjahr und im September/Oktober beobachtet. Die markanteste Periode mit starken westlichen Winden, die auch zu einem verstärkten Einstrom warmen und salzreichen Wassers in die Ostsee führte (vgl. auch Abb. 6 und 8), trat zwischen 3. und 24. September auf.

Die vorherrschenden Windverhältnisse spiegeln sich auch im Füllungsgrad der Ostsee mit Wasserständen bis etwa 35 cm über Normal im Februar, bis etwa +20 cm im April und bis +40 cm im September/Oktober wider (Abb. 5). Die windschwachen, durch östliche Winde geprägten Monate Mai und Juli/August führten zum Rückgang des Ostseewasserstandes auf zeitweise 20 cm unter Normal.

### **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, Abb. 1) wurden 1997 fortgesetzt.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers wurde 1997 mit einem Seacat-Sauerstoff-Recorder im 7 m und 19 m Tiefenniveau am Meßmast auf der Darßer Schwelle gemessen. Vereinzelte Vergleichsmessungen des Sauerstoffgehaltes nach der Winklermethode an Wasserproben aus der Meßtiefe der Geräte wurden während der Wartungszyklen des Meßmastes durchgeführt. Die Zeitreihenmessungen wiesen einen Trend in der Empfindlichkeit der Seacat-Registrierungen auf und wurden entsprechend korrigiert.

##### **3.1.1 Wassertemperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt**

Die Jahresmittel der Wassertemperatur an der Darßer Schwelle, zusammengestellt in Tabelle 4, wiesen 1997 sowohl in der durchmischten Deckschicht (7 m Tiefe) als auch in der bodennahen Wasserschicht (19,5 m Tiefe) ähnlich hohe Werte wie 1992 auf. Die Standardabweichung der Wassertemperatur in 7 m ist die höchste im Beobachtungszeitraum, während sie in 19 m Tiefe innerhalb der bisherigen Schwankungsbreite liegt. Die thermische Schichtung an der Darßer Schwelle war 1997 im Mittel seit 1992 am stärksten ausgeprägt.

Die Fourieramplituden des Jahresganges der Wassertemperatur von sechs aufeinander folgenden Jahren sind in Tabelle 5 zusammengefaßt. Der Jahresgang der Temperatur in 7 m Tiefe weist 1997 den höchsten Wert seit 1992 auf. Ebenso wie die Amplitude hat die Phase des Jahresganges 1997 den größten Wert seit dem Beginn der kontinuierlichen Wassertemperaturmessungen auf der Darßer Schwelle. In der bodennahen Schicht wurde dagegen kein extremer Verlauf des Jahresgangs beobachtet. Die Phasenlage des Jahresgangs weist daraufhin, daß die jahreszeitliche Erwärmung der Deckschicht im Gebiet der Darßer Schwelle erst Ende April 1997 begann, während ihr Beginn im Mittel Anfang April liegt.

Die im Jahre 1997 beobachteten thermischen Verhältnisse im Bereich der Darßer Schwelle können durch die Folge eines extrem warmen Sommers auf einen insgesamt normalen Winter mit einem Kälteeinbruch von Mitte Dezember 1996 bis Mitte Januar 1997 erklärt werden (vgl. Tabellen 1 und 2 sowie Abb. 4). Daraus folgt, daß sowohl die Amplitude des Jahresganges der Wassertemperatur extrem als auch ihr Mittelwert sehr hoch ist. Der späte Anstieg der Wassertemperaturen der Deckschicht wird durch einen niedrigen Wärmefluß aus der Atmosphäre in die Ostsee während des Frühjahrs verursacht. Das Bodenwasser wird dagegen durch Vermischung mit relativ warmem, von der Nordsee einströmenden Oberflächenwasser eher erwärmt als die Deckschicht. Die im Mittel starke thermische Schichtung im Gebiet der Darßer Schwelle weist auf eine geringere Vermischung zwischen beiden Schichten hin.

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

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

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

Der aktuelle Verlauf der Wassertemperatur auf der Darßer Schwelle im Jahre 1997 ist für die Meßtiefen 7 m und 19 m in Abb. 6A dargestellt. Das Minimum der Wassertemperatur wurde Mitte Januar 1997 mit Werten nahe dem Gefrierpunkt erreicht. Die thermische Schichtung der Wassersäule begann erst Mitte Mai und war bis Anfang September ausgeprägt. Der Anstieg der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde Mitte Juli für fast zwei Wochen unterbrochen. Dieses Ereignis ging mit einem lang anhaltenden Ostwind (vgl. Abb. 2 und 4) einher und wurde durch ein von der Insel Hiddensee zur Darßer Schwelle reichendes Filament mit kaltem Auftriebswasser verursacht (vgl. auch LASS et al., 1996), welches aus dem winterlichen Zwischenwasser des Arkonabeckens stammt. In der Zeit der ausgeprägten thermischen Schichtung war - wie für die Jahreszeit charakteristisch - eine deutliche mesomaßstäbliche Variabilität zu beobachten. Das Maximum der Wassertemperatur in der Deckschicht wurde

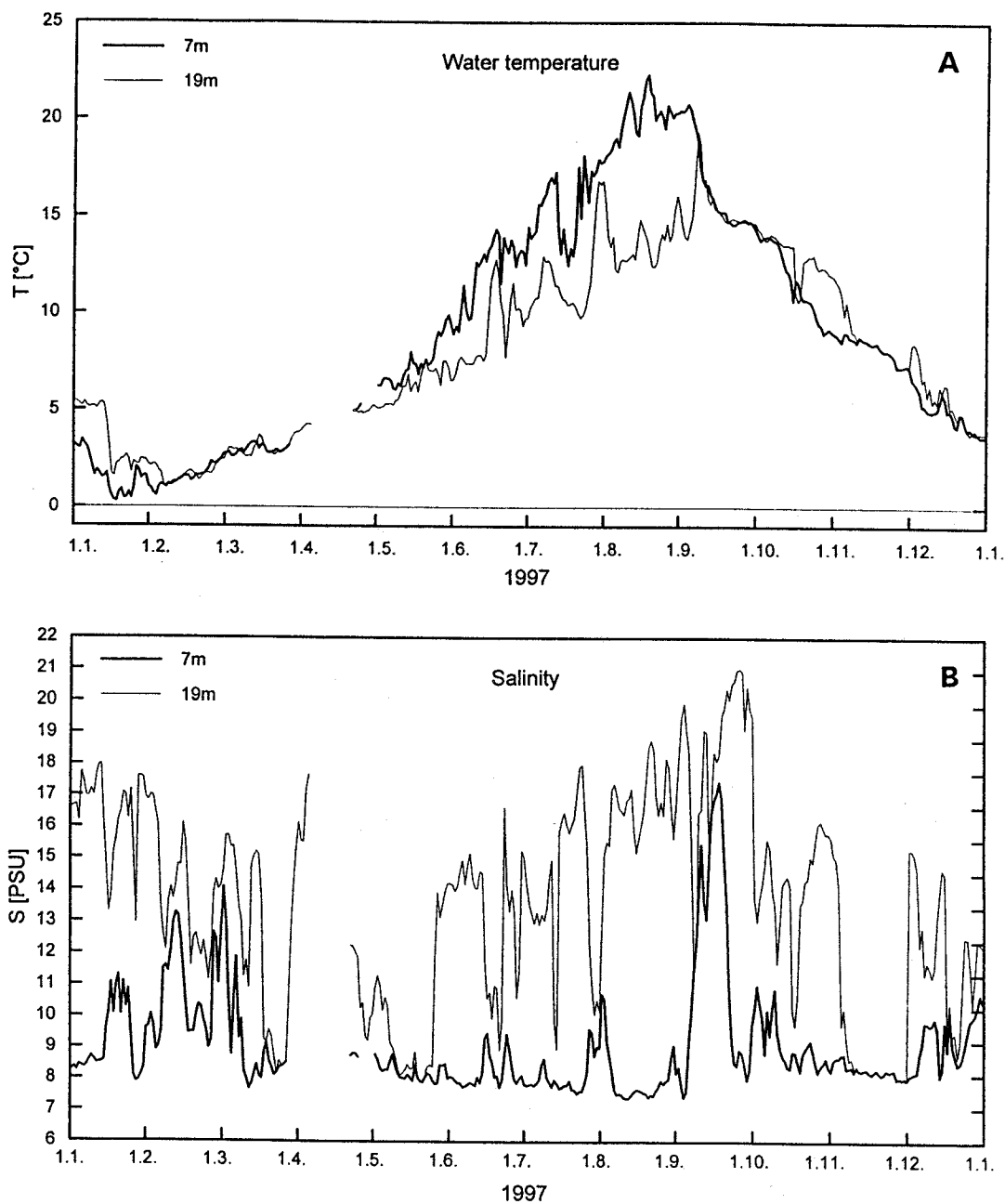


Abb. 6  
Verlauf der Wassertemperatur (A) und des Salzgehaltes (B) in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle im Jahre 1997 (Stat. 001)

Mitte August mit Werten zwischen 22 und 23 °C erreicht. Die Abkühlungsphase beginnt auf der Darßer Schwelle in allen Tiefen mit dem Starkwindereignis Anfang September. Das Wasser kühlt sich bis Ende Dezember auf rund 4 °C ab (vgl. auch Tabellen 1 und 2 sowie Abb. 4).

Gemäß Tabelle 4 wies der mittlere Salzgehalt 1997 auf der Darßer Schwelle in 7 m Tiefe ähnlich niedrige Werte wie 1996 auf (vgl. auch MATTHÄUS et al., 1997). Das Jahresmittel des Salzgehalts in Bodennähe liegt dagegen in der Nähe des langjährigen Mittelwertes der seit 1992 vorliegenden Meßreihe. Die Standardabweichungen des Salzgehalts sind in allen Tiefen nicht extrem, weisen jedoch Werte auf, die oberhalb des langjährigen Mittelwertes liegen. Auch 1997 wurde wieder eine ausgeprägte mittlere Schichtung des Salzgehaltes beobachtet, die auf einen intensiven baroklinen Anteil des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee hinweist.

Der zeitliche Verlauf des Salzgehaltes auf der Darßer Schwelle im Jahre 1997 ist in Abb. 6B dargestellt. Pulsförmige Einschübe mit erhöhtem Salzgehalt von mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule, wie er für barotrope Einstromereignisse typisch ist, wurden Anfang April (durch Geräteausfall im 7 m Horizont nicht in Abb. 6B gezeigt) und im September beobachtet. Bei dem stärkeren Einstromereignis im September überschritt der Oberflächensalzgehalt 17 PSU. Weitere Einstromereignisse mit minimalen Salzgehalten zwischen 12 und 14 PSU in der gesamten Wassersäule erfolgten im Februar und März. Die untere Grenze der Variationen des Oberflächensalzgehalts sank von annähernd 9 PSU im April bis auf 7,5 PSU zum Ende des August. Dies deutet auf eine signifikante Aussüßung des Oberflächenwassers des Arkonabeckens in diesem Zeitraum hin.

Der Salzgehalt in der bodennahen Schicht der Darßer Schwelle lag von Januar bis Anfang November häufig über 15 PSU. Er wurde von den charakteristischen 10tägigen Fluktuationen unterbrochen. Weiterhin wurden im Mai und vor allem im November über einen Zeitraum von zwei Wochen niedrige Salzgehalte von <9 PSU in der gesamten Wassersäule gemessen. Dies weist auf einen lang anhaltenden Ausstrom von Oberflächenwasser aus dem Arkonabecken hin. Beide Perioden sind durch anhaltende östliche Winde (vgl. Abb. 2B) und durch ein „Leerlaufen“ der Ostsee bis auf etwa 20 bzw. 30 cm unter Normalfüllung (vgl. Abb. 5) gekennzeichnet. Die Wassertemperatur an der Darßer Schwelle hatte dabei die für den Auftrieb charakteristischen niedrigen Werte.

Das Jahr 1997 war somit ganzjährig durch eine ausgeprägte ästuarine Zirkulation gekennzeichnet. Darüber hinaus wurde der lang anhaltende Salzwassereinstrom in der Bodenschicht durch pulsformige Salzwassereinschübe verstärkt. Drei schwächere Einschübe erfolgten von Januar bis März und je ein stärkeres Ereignis fand im April und im September statt. Die ästuarine Zirkulation wurde durch zwei lang anhaltende Ausstromereignisse im Mai und November unterbrochen.

Zusammen mit dem gleichzeitig durch den Sund erfolgenden Salzwassereinstrom führten die Einstromereignisse im April und im September 1997 zu einer Belüftung des Tiefenwassers im Bornholmbecken und Anfang 1998 auch in den zentralen Ostseebecken.



Da der Sauerstoff in der Deckschicht des Meeres in erster Näherung gleich dem Sättigungsgehalt an Sauerstoff für die entsprechende Wassermasse ist, wird er hier nicht gezeigt. Die Zeitreihe der kontinuierlichen Sauerstoffmessung in 7 und 19 m Tiefe ist in Abb. 7 dargestellt. Der Sauerstoffgehalt sinkt in der bodennahen Schicht von  $6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  Mitte Juli auf rund  $2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im August. Diese Abnahme steht in ursächlichem Zusammenhang mit biochemischen Sauerstoffzehrungsprozessen in der stabilen Bodenwasserschicht. In diesem Zeitraum strömt salzreiches Bodenwasser mit vermindertem Sauerstoffgehalt in das Arkonabecken ein. Diesem jahreszeitlichen Trend sind Schwankungen des Sauerstoffgehaltes von einigen  $\text{cm}^3/\text{dm}^3$  mit typischen Zeitskalen von 10 Tagen überlagert. Der Vergleich mit den Fluktuationen des Bodensalzgehaltes in Abb. 6B während des abfallenden Trends des Sauerstoffgehaltes zeigt, daß diese Schwankungen negativ mit dem Salzgehalt korreliert sind. Dies ist dadurch begründet, daß bei starkem Ausstrom sauerstoffreicherer Oberflächenwasser aus dem Arkonabecken das aus der westlichen Ostsee stammende sauerstoffarme Bodenwasser auf der Darßer Schwelle verdrängt und der sich anschließende Einstrom das sauerstoffarme Wasser wieder zurücktransportiert.

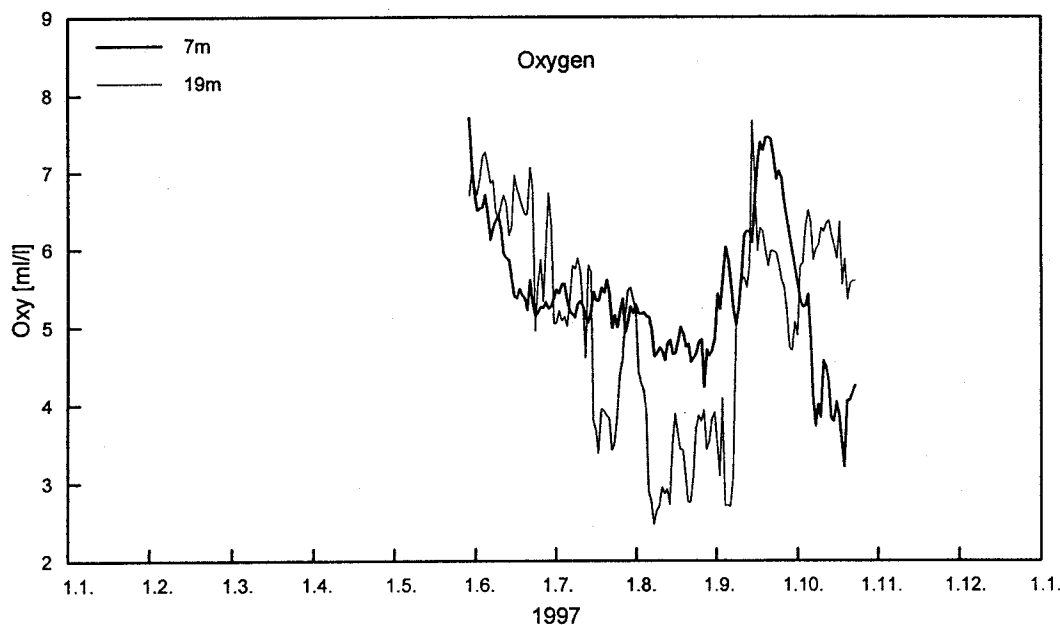


Abb. 7

Verlauf des Sauerstoffgehaltes in der Deck- und Bodenschicht auf der Darßer Schwelle (Stat. 001) im Jahre 1997

Der Sauerstoffgehalt des Bodenwassers steigt während des Salzwassereinstroms Anfang September sprunghaft auf den gleichen Wert wie im oberflächennahen Wasser an. Die stärkere vertikale Vermischung während des winterzeugten Salzwassereinstroms führt zur Belüftung des bodennahen Wassers in der westlichen Ostsee.

### 3.1.2 Strömung

Der auf der Darßer Schwelle eingesetzte Akustische Doppler Profil-Strömungsmesser (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. Durch eine unterbrochene Stromversorgung verursacht stehen aus den ersten anderthalb Monaten des Jahres 1997 leider keine Daten zur Verfügung.

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

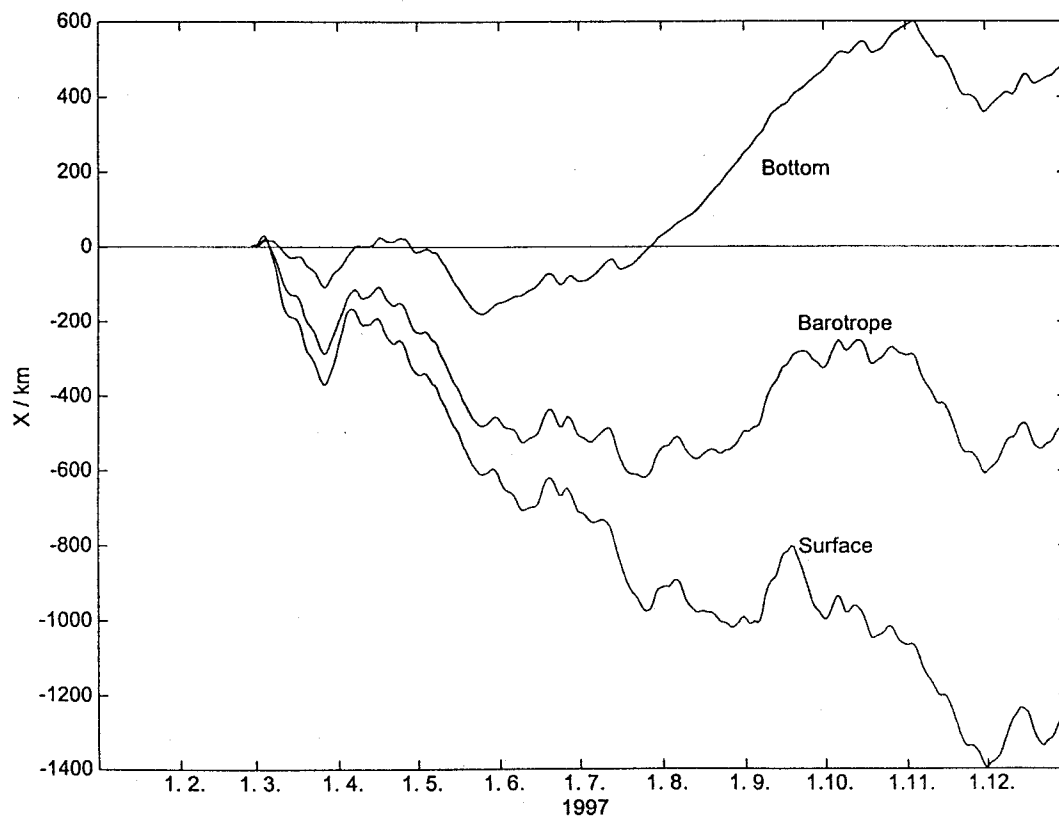


Abb. 8

Ostkomponente der Pseudotrajektorie des Vertikalmittels der Strömung und der Strömung an der Oberfläche und am Boden im Bereich der Darßer Schwelle im Jahre 1997

Die Strömung in 3 m Tiefe weist im ersten Halbjahr 1997 einen starken Ausstrom auf, der von August bis Oktober schwächer wird und sich Anfang November wieder verstärkt. Der generelle Ausstrom in Oberflächennähe wird für längere Zeit nur von Ende März bis Mitte April und in der ersten Septemberhälfte unterbrochen.

In der bodennahen Schicht in 19 m Tiefe herrscht von Ende Februar bis Mitte Mai 1997 ein Wechsel zwischen Ein- und Ausstrom, dem sich ein von Ende Mai bis Anfang November anhaltender Einstrom anschließt. Im November ist die Strömung in der Bodenschicht wiederum ostsee-auswärts gerichtet, die im Dezember in Einstrom umschlägt.

Die vertikal integrierte Strömung auf der Darßer Schwelle weist im ersten Halbjahr intensiven Ausstrom auf, der nur von dem Einstromereignis zwischen Ende März bis Mitte April unterbrochen wird. Von Juni bis August wurde nur schwacher Ausstrom gemessen, der durch Wechsel zwischen Ein- und Ausstrom charakterisiert ist. Dabei ist interessant, daß sich der Abfluß von Oder und Weichsel während der Hochwasserphase von Ende Juli bis Ende August nicht signifikant in der vertikal integrierten Strömung auf der Darßer Schwelle abbildet. Von Mitte August bis Ende Oktober herrscht Einstrom bzw. stagnierende Strömung, an die sich im November Ausstrom anschließt.

Die mittlere Zirkulation auf der Darßer Schwelle ist im ersten Halbjahr 1997 durch den Abfluß großer Mengen von Flußwasser aus dem Einzugsgebiet der Ostsee geprägt. Dies führt zu starkem Ausstrom in der Nähe der Meeresoberfläche und zu einer nahezu stagnierenden Strömung unmittelbar über dem Meeresboden. Der Abfluß des Frühjahrswassers aus der Ostsee wird von Ende März bis Mitte April durch ein windgetriebenes Einstromereignis unterbrochen (vgl. auch Abb. 5). Die Flußwasserzufuhr schwächt sich im zweiten Halbjahr merkbar ab. Dies führt zu einer anhaltenden ästuarinen Zirkulation mit Ausstrom in Oberflächennähe und Einstrom in der bodennahen Schicht. Die ästuarine Zirkulation des zweiten Halbjahres wird durch ein windgetriebenes Einstromereignis im September und ein Ausstromereignis im November unterbrochen.

Die Phase ausgeprägter barokliner Strömung auf der Darßer Schwelle spiegelt sich in der gleichzeitig beobachteten kräftigen Salzgehaltsschichtung wider (vgl. Abb. 6B). Die barotropen Einstromereignisse Anfang April und im September hatten einen Einstrom salzreichen Wassers in der ganzen Wassersäule zur Folge. Das barotrope Ausstromereignis im Juli korreliert mit dem gleichzeitigen kräftigen Kaltwasserauftrieb an der Darßer Schwelle.

#### **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, kann daher nur zu einer ersten Einschätzung herangezogen werden. Eine detaillierte Auswertung wird gemeinsam mit dem Landesamt für Umwelt und Natur (LAUN) Mecklenburg-Vorpommern und dem Landesamt für Natur und Umwelt (LANU)

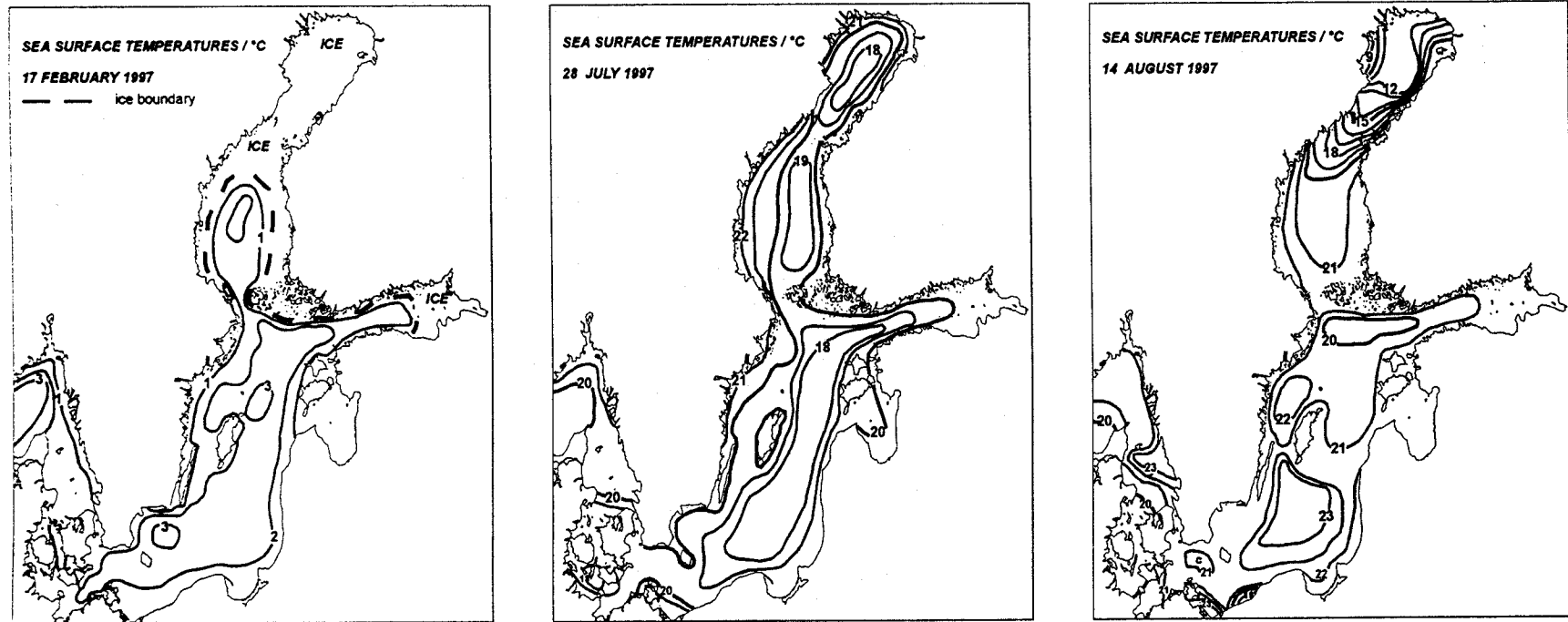


Abb. 9  
Verteilung der Oberflächentemperatur der Ostsee zur Zeit der Minimal- (17. Februar, maximale Eisbedeckung) bzw. Maximalwerte (28. Juli, 14. August) des Jahres 1997 (bearbeitet nach den Karten Nr. 14, 59 und 64 des SMHI Norrköping; SMHI, 1997)

Schleswig-Holstein angestrebt, mit denen im Rahmen des Bund/Länder-Meßprogramms (BLMP) Ostsee 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.

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. Eine Ergänzung durch weitere Schnittdarstellungen erfolgt 1997 insbesondere im Hinblick auf Untersuchungen zu Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf die Pommersche Bucht. Im Bedarfsfall wird verbal auch auf weitere Stationen im Danziger Becken (Stat. 233) und im westlichen Gotlandbecken (Stat. 245, 284) eingegangen.

Von ausgewählten Stationen und Tiefen wurden die Jahresmittelwerte für einige hydrographisch-chemische Variablen berechnet und mit denen früherer Jahre verglichen. Während bei der Wassertemperatur sowie dem Salz- und Sauerstoffgehalt (Tabelle 6) auch schwedische Daten in die Mittelbildung einbezogen wurden, so daß 12 bis 22 relativ gleichmäßig über das Jahr verteilte Werte zur Mittelbildung zur Verfügung standen, resultieren die Mittelwerte der anorganischen Nährstoffe (Tabellen 7 und 8) ausschließlich aus den saisonalen Messungen sowie den zusätzlichen Beprobungen im Januar und März/April durch das IOW.

#### **4.1 Wassertemperatur**

Die Verteilung der Wassertemperatur in den untersuchten Seegebieten der Ostsee ist in Abb. 9 und 12 dargestellt. Erstmals werden für die Analyse der Oberflächentemperaturen der Ostsee auch mittlere monatliche Verteilungen herangezogen (Abb. 10 und 11), die aus Satellitendaten berechnet wurden (vgl. auch SIEGEL et al., 1998b).

##### **4.1.1 Jahrgang der Oberflächentemperatur**

Im Verlaufe des Winters 1996/97 kühlte sich das Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht Anfang Januar auf  $< 1$  °C ab, erreichte in der westlichen Ostsee bis zum Februar wieder 1 bis 2 °C und stieg im März bereits auf 3 °C an (vgl. auch Abb. 6A). Das entspricht insgesamt einem normalen Verlauf mit Abweichungen von -1 bis -2 K zu Jahresbeginn und etwa +1 K im März. Die Temperaturen des winterlichen Oberflächenwassers in der zentralen Ostsee entsprachen den langjährigen Mittelwerten von 2,5 bis 3 °C (MATTHÄUS, 1977). Infolge des kühlen Frühjahrs erwärmte sich das Wasser nur langsam, und die Oberflächenwerte blieben geringfügig unterhalb der für diese Jahreszeit normalen Werte.

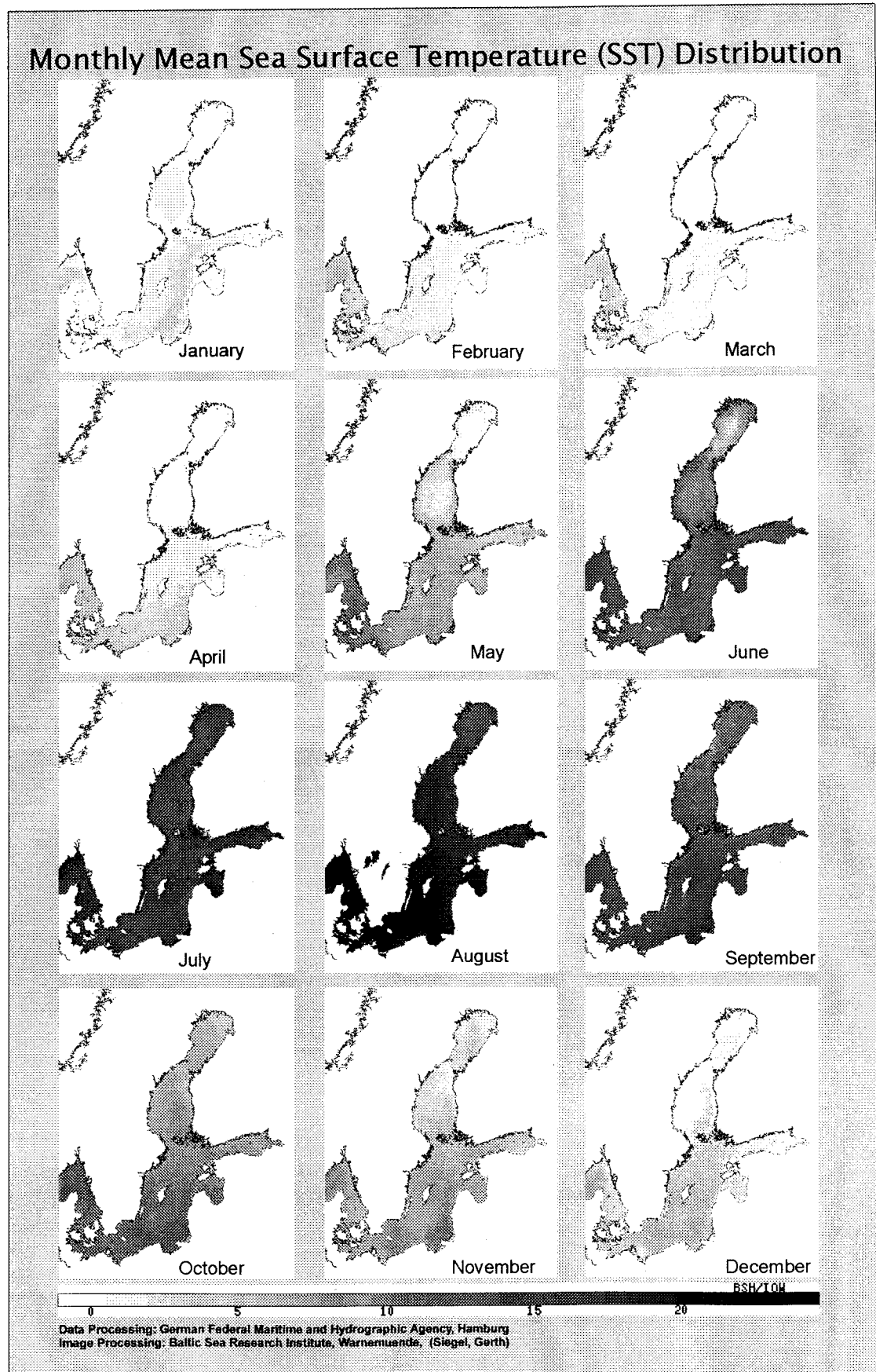


Abb. 10  
 Mittlere monatliche Verteilung der Oberflächentemperatur der Ostsee im Jahre 1997,  
 ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten

Abb. 10 zeigt die monatliche Verteilung der Wasseroberflächentemperaturen der Ostsee im Jahre 1997. Durch den synoptischen Charakter der Satellitendaten und die hohe Datenrate lassen sich statistisch gesicherte Mittel für die meisten Monate und Gebiete ableiten. Damit wird die zeitliche und räumliche Entwicklung der Oberflächentemperaturen für die gesamte Ostsee dargestellt.

Ab Mitte Juni begann eine schnelle Erwärmung des Oberflächenwassers. Gemittelt über den ganzen Monat lagen die Temperaturen im Juli in der gesamten Ostsee bereits zwischen 17 und 18 °C (vgl. Abb. 10) und erreichten Ende Juli im Bottnischen Meerbusen Temperaturen zwischen 18 und 22 °C (vgl. Abb. 9). Das entspricht Abweichungen vom langjährigen Monatsmittel (vgl. LENZ, 1971) von 5 bis 6 K.

Im August erwärmte sich das Oberflächenwasser der westlichen und zentralen Ostsee infolge windarmer Hochdruckwetterlagen Ende Juli und im August (vgl. Abb. 2 und 3) verbunden mit extrem hohen Lufttemperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung (vgl. Tabellen 1 und 2) auf teilweise mehr als 23 °C im offenen Seegebiet (vgl. Abb. 6A und 9) und bis zu 25 °C im Küstenbereich (LAUN, 1998). Ausnahmen bildeten die Süd- und Ostküsten, die durch Auftriebsprozesse beeinflusst waren (vgl. Abb. 10, Monat August).

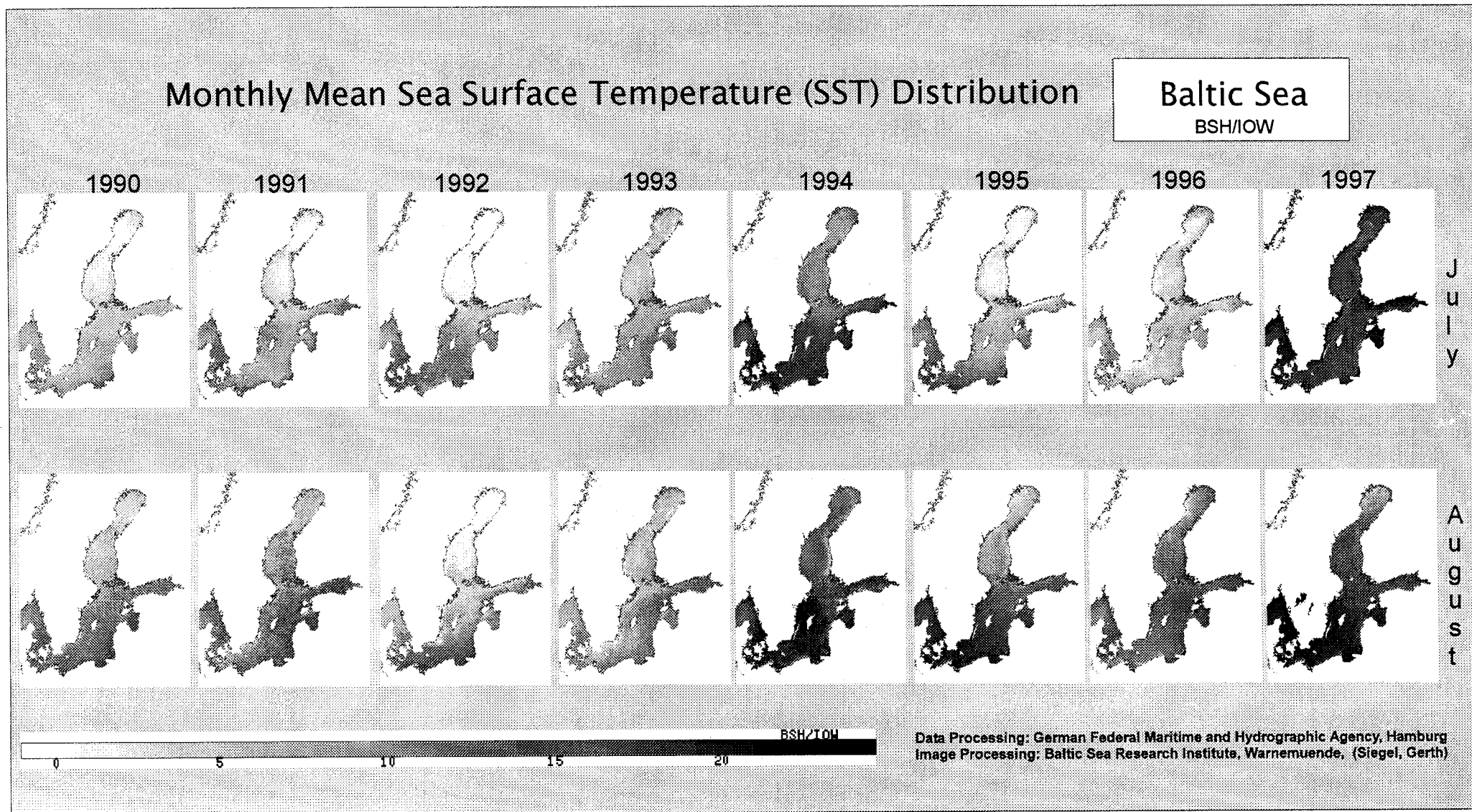
Die Erwärmung erfaßte die gesamte sommerliche Deckschicht der westlichen und zentralen Ostsee und führte bis in 20–25 m Tiefe durchweg zu Temperaturen > 15 °C (vgl. Abb. 12). In einer 10 m mächtigen Deckschicht traten positive Anomalien bis zu 6 K im Arkonabecken, von 5 bis 6 K im Bornholmbecken und von etwa 4 K im gesamten Gotlandbecken auf, wenn man die langjährigen von MATTHÄUS (1977) berechneten Mittelwerte zugrunde legt.

Die Wassertemperaturen im August 1997 haben die Werte des „Jahrhundertsommers“ 1975 noch übertroffen (MATTHÄUS et al., 1976). Abb. 9 zeigt die Verteilung der Oberflächentemperaturen zur Zeit des Höhepunktes der Erwärmung im Bottnischen Meerbusen (28. Juli) sowie in der westlichen und zentralen Ostsee (14. August).

Die vier wärmsten Sommer dieses Jahrhunderts wurden in den 90er Jahren beobachtet. In der Reihenfolge der für Warnemünde bestimmten Wärmesummen (vgl. Abschnitt 2) waren es die Sommer der Jahre 1997, 1992, 1995 und 1994 (vgl. Tabelle 3). Sie sind durch sehr unterschiedliche zeitliche Verläufe in der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung charakterisiert, die Auswirkungen auf die Entwicklung der Wasseroberflächentemperaturen der Ostsee hatten. Die Monatsmittel der Wassertemperatur für den Zeitraum 1990–1997 sind jeweils für Juli und August in Abb. 11 zusammengestellt. Die höchsten Monatsmittel bis > 23 °C wurden jeweils im August der Jahre 1997, 1994 und 1995 beobachtet. Lagen die Temperaturen in den Jahren 1994 und 1997 schon im Juli bis in den Bottnischen Meerbusen über 17 °C, unterschied sich der Juli 1995 nicht von anderen Jahren. Die höchsten Wassertemperaturen im Juli wurden 1994 beobachtet, was mit den höchsten Juli-Lufttemperaturen zusammenhängt. Die mit Abstand höchsten Werte in der Lufttemperatur im August 1997 (vgl. Tabelle 3) bewirkten auch die höchsten Wassertemperaturen.

Abb. 11

Mittlere Verteilung der Oberflächentemperaturen der Ostsee im Zeitraum 1990–1997 für die Monate Juli und August, ermittelt aus NOAA-AVHRR-Wettersatellitendaten





Dagegen ist der Verlauf des Sommers 1992 wesentlich anders. Der zweitwärmste Sommer nach 1997 ist nicht durch extreme Temperaturen im August sondern durch die sehr warmen Monate Mai bis Juli charakterisiert. Das hatte auch Auswirkungen auf die Entwicklung der Wassertemperatur. So wurden im Juni die höchsten Temperaturen in den 90er Jahren mit Werten über 15 °C in der zentralen Ostsee erreicht und auch der Juli 1992 gehört zu den wärmsten. Im August findet dagegen nur noch eine geringfügige Temperaturerhöhung statt, weil die Wärmesumme im August relativ gering blieb.

Anhand der aus Satellitendaten berechneten Monatsmittel der Wasseroberflächentemperatur ist zu erkennen, daß ein relativ enger Zusammenhang zwischen den monatlichen Wärmesummen in Warnemünde und der Wassertemperatur zumindest in der westlichen und zentralen Ostsee hergestellt werden kann. Bezüglich der Jahres-Wärmesumme kann dieser Zusammenhang aber sehr unterschiedlich sein, wie das am Beispiel des Sommers 1992 deutlich wird. Darüber hinaus können starke regionale Unterschiede auftreten, die eine Interpretation ausschließlich auf der Grundlage der Lufttemperaturen von Warnemünde nicht gestatten, was sich besonders im Bottnischen Meerbusen im Juli und August 1992 zeigt. Im Gegensatz zur zentralen Ostsee wurden hier die geringsten Wassertemperaturen der 90er Jahre gemessen.

#### 4.1.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur

Im Winter und Frühjahr 1997 drang kühles, salzreiches Wasser vom Übergangsgebiet ins Bornholmbecken bis zur Stolper Schwelle vor und führte dort zur Abkühlung des durch den überdurchschnittlich warmen August 1996 erwärmten Wassers. Dagegen blieb das Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens mit Temperaturen um 5 °C relativ warm (vgl. Abb. 12 und Tabelle 6).

Die außergewöhnlichen Wassertemperaturen im Sommer 1997 führten im Spätherbst auch zu starken Erwärmungen im Tiefenwasser des Arkona- und Bornholmbeckens sowie der Stolper Rinne. Ende Oktober 1997 lag das Tiefenwasser im Arkonabecken mit Temperaturen > 14,5 °C um etwa 2 K (MATTHÄUS, 1975, 1977) und im Bornholmbecken mit 11,5 bis 13 °C um etwa 3 bis 4 K (MATTHÄUS, 1977; FRANCK, 1985) über den langjährigen Mittelwerten. Derartig hohe Temperaturen wurden im Tiefenwasser des Bornholmbeckens in diesem Jahrhundert nur selten erreicht (vgl. BERGSTRÖM, MATTHÄUS, 1996). Anfang November war das warme Wasser be-

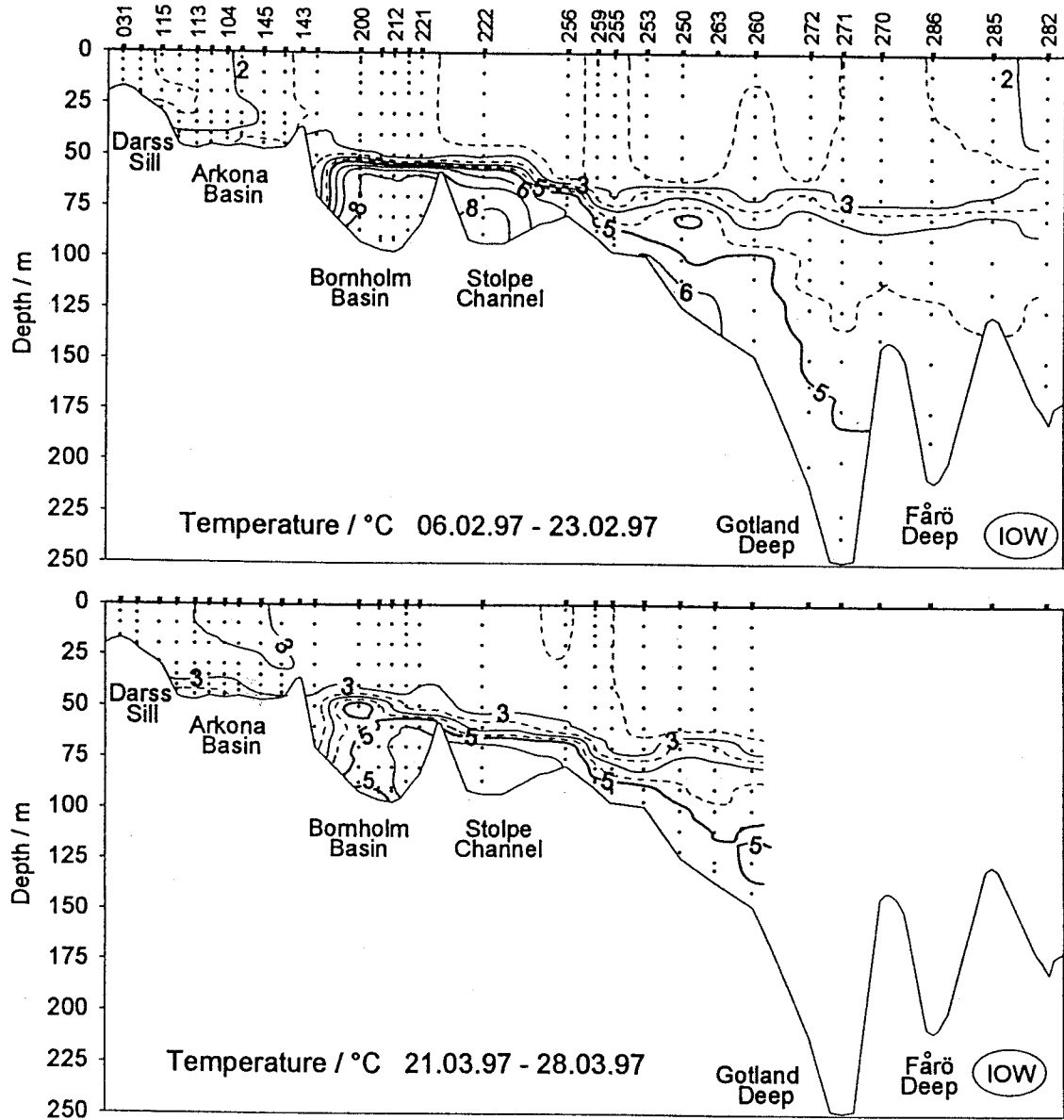
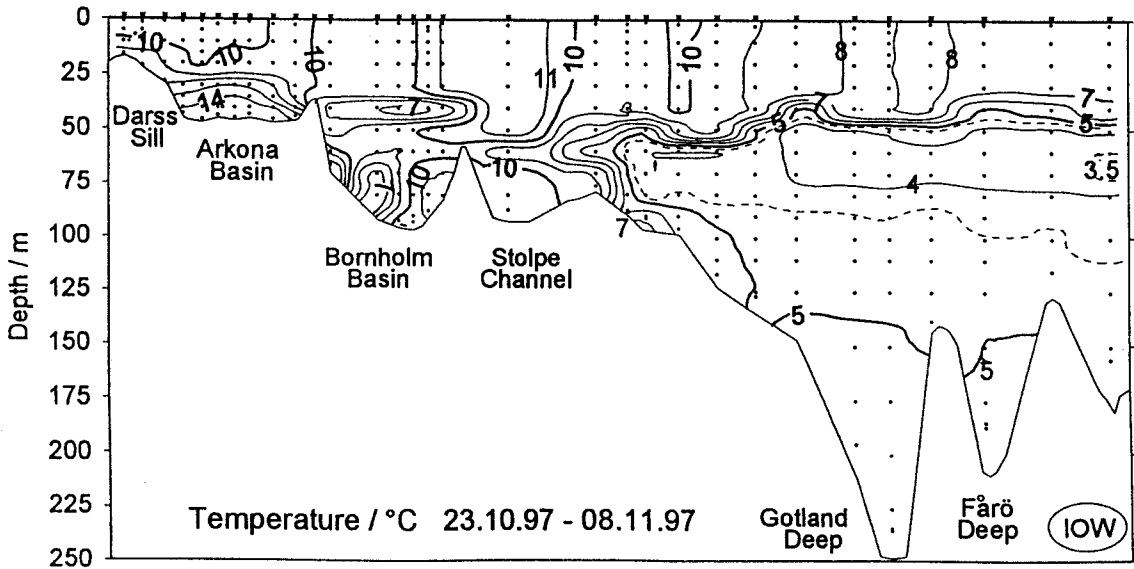
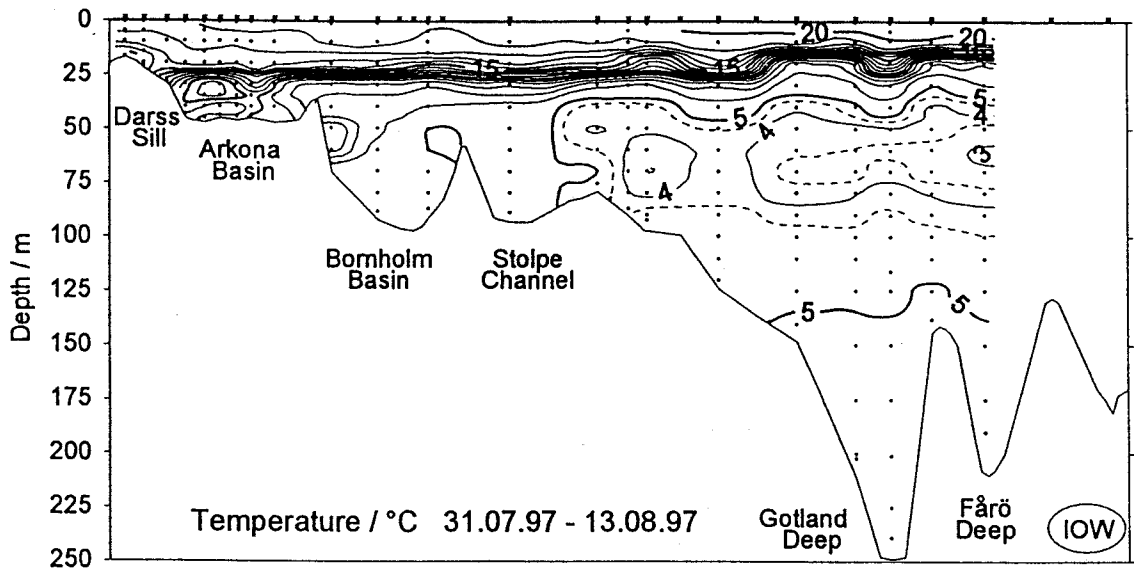
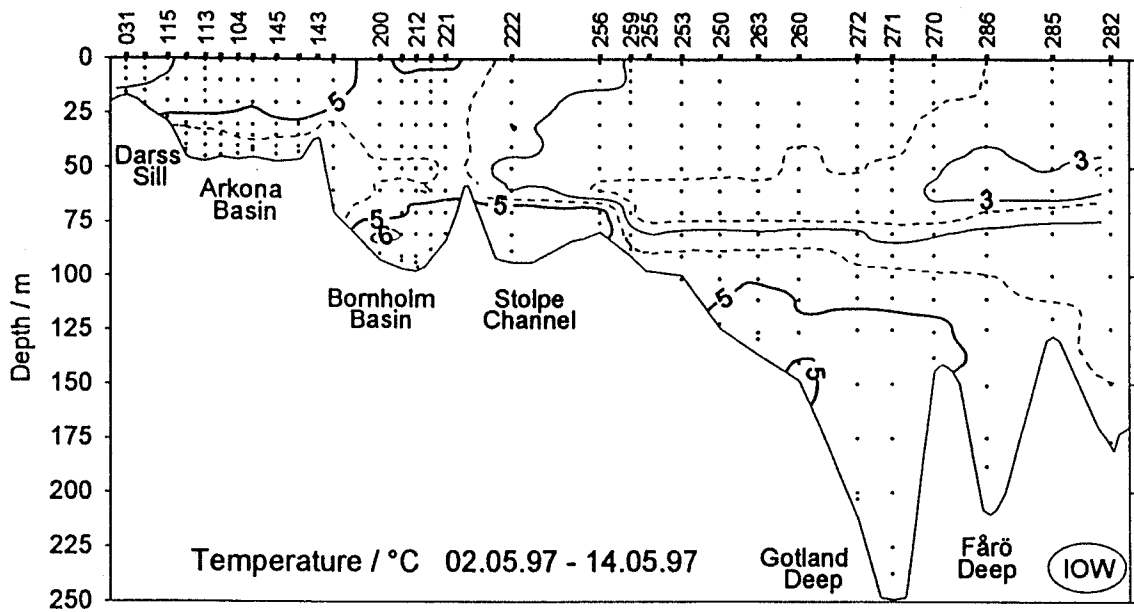


Abb. 12  
 Vertikale Verteilung der Wassertemperatur zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



reits bis zum Südhang des östlichen Gotlandbeckens vorgedrungen. Im Verlaufe des Frühjahrs 1998 wird sich die Erwärmung auch im östlichen Gotlandbecken bemerkbar machen.

Die Kernschicht des kalten Zwischenwassers (50-70 m) erreichte im August 1997 infolge des weitgehend normalen Winters Temperaturen zwischen 3 und 4 °C, was positiven Anomalien von etwa 0,5 bis 1 K entspricht.

Die außergewöhnlichen Wassertemperaturen im Sommer 1997 wirkten sich auch auf die Jahresmitteltemperaturen im Tiefenwasser des Bornholmbeckens aus. Das Jahresmittel lag 1997 um etwa 1,4 K über dem von 1996 (vgl. Tabelle 6). Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens ist seit 1995 ein Anstieg der Jahresmitteltemperaturen zu beobachten. Im Gotlandtief erreichte das Jahresmittel mit einer Erhöhung um rund 0,5 K gegenüber 1996 einen Wert, wie er zuletzt 1988 gefunden wurde (NEHRING, MATTHÄUS, 1991/1992). Im westlichen Gotlandbecken lagen die Jahresmittelwerte dagegen geringfügig unter den Vorjahreswerten.

## 4.2 Salzgehalt

Die Salzgehaltsverteilungen für das Jahr 1997 sind in Abb. 13 zusammengestellt. Anfang November 1996 erfolgte ein sehr intensiver Einstrom in die Ostsee (vgl. MATTHÄUS et al., 1996), der nach den Kriterien von MATTHÄUS und FRANCK (1992) bereits als sehr schwacher Salzwassereinbruch angesehen werden konnte. Die Auswirkungen dieses Einstroms auf die bodennahen Wasserschichten des östlichen Gotlandbeckens blieben aber nur gering, da das salz- und sauerstoffreiche Wasser zum größten Teil im Bornholmbecken blieb. In mittleren Tiefen breitete sich das Wasser aber entsprechend seiner Dichte über das Färö- und Landsorttief bis ins Karlsötief aus, wo es zu einem Anstieg im Salzgehalt führte.

Im Jahre 1997 erfolgte kein Salzwassereinbruch. Nachdem sich das Bornholmbecken im Frühjahr 1997 bis zum Mai infolge des Einstroms vom November 1996 und kleineren Einströmen zwischen Ende März und Mitte April 1997 mit salzreichem Wasser aufgefüllt hatte, ging der Salzgehalt im Sommer wieder etwas zurück (vgl. Abb. 13). Anfang November stieg er dann infolge eines Einstroms Ende September/Anfang Oktober um mehr als 1,7 PSU bis auf 18 PSU an.

Die kleineren Einströme im Winter und Frühjahr 1997 führten im Färö-, Landsort- und Karlsötief zu den höchsten Salzgehalten in Grundnähe seit Mitte der 80er Jahre (vgl. BERGSTRÖM, MATTHÄUS, 1996).

Infolge der langen schwachwindigen Wetterperiode im Juli/August war der Kompensationsstrom über die Schwellen kräftig ausgeprägt (vgl. Abb. 6B), der salzreiches Wasser in die Ostsee transportiert hat. Mit den ersten Herbststürmen im September und Anfang Oktober ist weiteres Wasser in die Ostsee gedrückt worden (vgl. auch Abb. 5), das Ende Oktober mit Salzgehalten > 18,5 PSU im Arkonabecken und bis 18 PSU im Bornholmbecken beobachtet wurde. Dadurch

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

**Wassertemperatur (°C)**

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	4,26 ±0,18	4,21 ±0,46	5,85 ±0,56	5,95 ±0,94	<b>7,32 ±1,91</b>
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	5,01 ±0,13	4,68 ±0,48	4,43 ±0,13	4,64 ±0,07	<b>5,17 ±0,06</b>
<b>286</b> (Fårötief)	150	<b>5,21 ±0,12</b>	5,03 ±0,13	4,72 ±0,04	4,79 ±0,03	4,84 ±0,20
<b>284</b> (Landsorttief)	400	4,83 ±0,07	<b>4,86 ±0,13</b>	4,74 ±0,11	4,70 ±0,06	4,66 ±0,08
<b>245</b> (Karlsötief)	100	4,15 ±0,25	4,41 ±0,06	4,39 ±0,15	<b>4,45 ±0,07</b>	4,35 ±0,08

**Salzgehalt (PSU)**

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<b>17,66 ±0,38</b>	17,43 ±0,34	16,61 ±0,31	16,01 ±0,37	16,52 ±0,50
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	11,16 ±0,13	11,78 ±0,38	<b>12,01 ±0,04</b>	11,96 ±0,03	11,97 ±0,04
<b>286</b> (Fårötief)	150	10,33 ±0,14	10,75 ±0,29	11,17 ±0,03	11,23 ±0,04	<b>11,32 ±0,13</b>
<b>284</b> (Landsorttief)	400	9,04 ±0,15	9,49 ±0,23	9,94 ±0,16	10,09 ±0,11	<b>10,22 ±0,11</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	7,95 ±0,16	8,45 ±0,16	8,82 ±0,30	9,11 ±0,26	<b>9,33 ±0,14</b>

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

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<b>4,81 ±1,70</b>	2,43 ±1,07	0,76 ±0,91	0,54 ±0,59	1,34 ±0,72
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	-0,61 ±2,39	<b>2,03 ±1,40</b>	1,26 ±0,43	0,20 ±0,24	-0,03 ±0,25
<b>286</b> (Fårötief)	150	-0,73 ±0,59	0,17 ±0,44	<b>0,70 ±0,26</b>	0,16 ±0,39	0,14 ±0,39
<b>284</b> (Landsorttief)	400	<b>1,58 ±0,19</b>	1,12 ±0,36	0,92 ±0,22	0,69 ±0,11	0,60 ±0,14
<b>245</b> (Karlsötief)	100	<b>3,79 ±0,61</b>	1,88 ±0,64	1,72 ±0,68	1,09 ±0,46	0,66 ±0,34

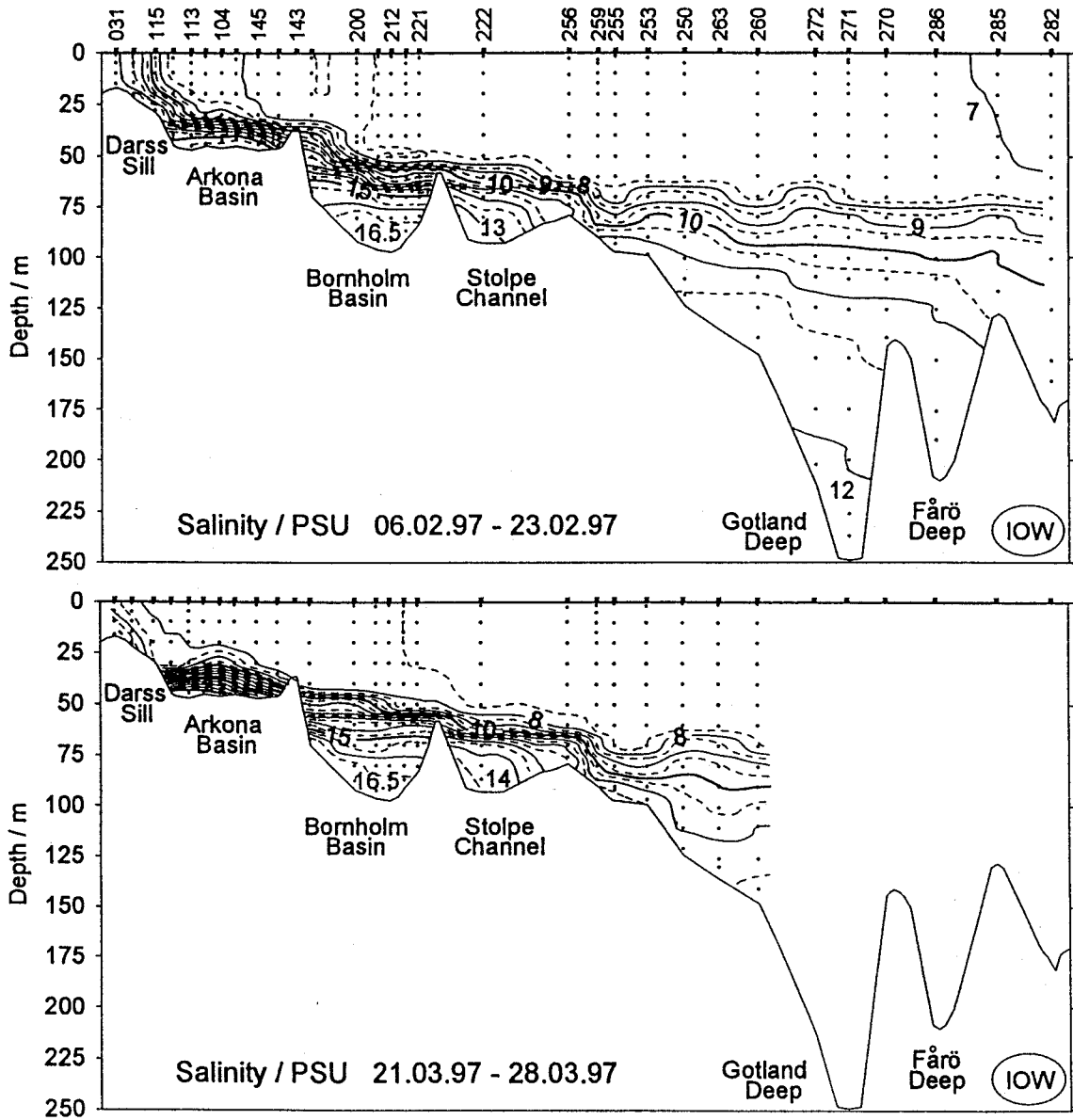
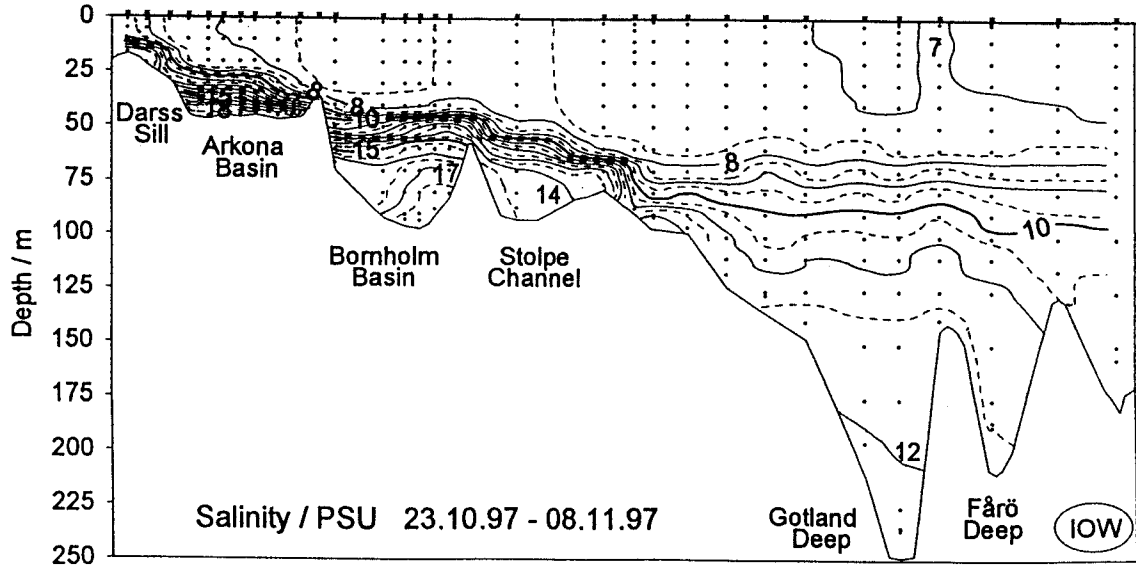
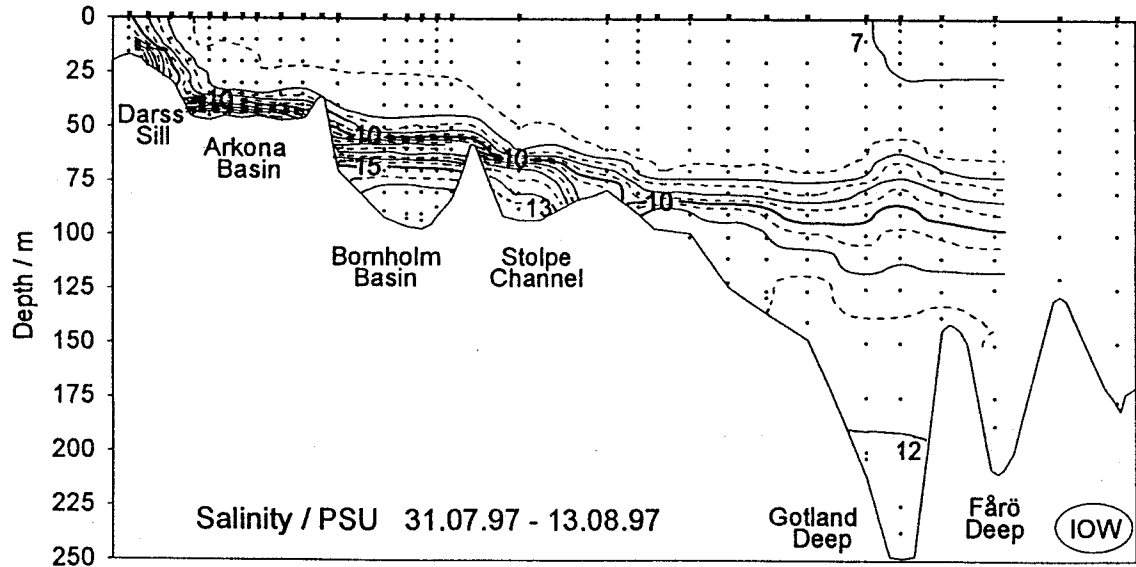
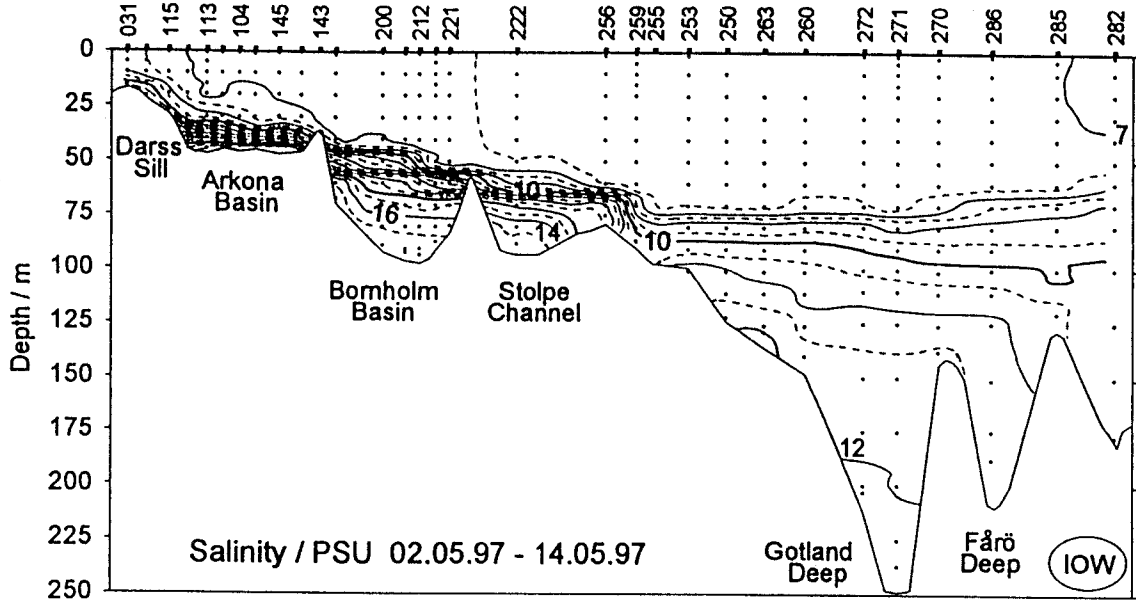


Abb. 13  
 Vertikale Verteilung des Salzgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



füllte sich das Bornholmbecken zunehmend mit salzreichem Wasser und erreichte Ende Oktober im gesamten Becken in Tiefen  $> 60$  m Salzgehalte  $> 15$  PSU.

Die Oberflächensalzgehalte der zentralen Ostsee sind gegenüber 1996 (vgl. MATTHÄUS et al., 1996) um etwa 0,2 PSU angestiegen, liegen aber noch um 0,2 bis 0,3 PSU unter dem Langzeitmittel 1961–1990.

Die beobachteten Salzgehaltsveränderungen spiegeln sich auch in den Mittelwerten wider. Während der Jahresmittelwert im grundnahen Wasser des Bornholmbeckens erstmals seit 1993 wieder angestiegen ist (um 0,5 PSU), zeigten sich in der Bodenwasserschicht des Gotlandtiefs gegenüber 1996 keine Veränderungen (vgl. Tabelle 6). In den anderen Teilgebieten des Gotlandbeckens, in denen die Jahresmittelwerte seit 1992/93 angestiegen sind, wurden mit einer weiteren Zunahme von 0,1 bis 0,2 PSU die höchsten Mittelwerte dieses Jahrzehnts erreicht (vgl. auch NEHRING et al., 1995a).

#### 4.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die Sauerstoffkonzentration in der Wassersäule wird im wesentlichen durch Austauschprozesse an der Grenzfläche zwischen Atmosphäre und Wasser, durch die Phytoplanktonentwicklung, die biochemische Sauerstoffzehrung sowie durch advective Austauschprozesse bestimmt. Die Sauerstoffsättigung ist darüber hinaus temperatur- und salzgehaltsabhängig. In Abb. 14 ist die Vertikalverteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts dargestellt.

Die Oberflächenschicht ist durch die typischen jahreszeitlichen Variabilitäten gekennzeichnet. Hohe Sauerstoffkonzentrationen werden im Winter sowie während der Blüte des Phytoplanktons gemessen, niedrigere Werte finden sich temperaturabhängig im Sommer (vgl. auch MATTHÄUS, 1978). Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (NEHRING et al., 1993, 1994a,b) traten extreme Übersättigungen während der Phytoplanktonblüte nicht auf. Die Maximalwerte wurden im Mai mit etwa  $9,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  (110 % Sättigung) in der östlichen Gotlandsee ermittelt. Die extrem warme Witterung führte im August zu einer starken Erwärmung einer 10 m mächtigen Deckschicht. In dieser Zone, in der die Algen ausreichend mit Licht versorgt waren, wurden ebenfalls Sättigungswerte um 110 % gemessen. Im unmittelbar darunterliegenden, deutlich kälteren Wasser sank die Sauerstoffsättigung infolge verstärkter biochemischer Zehrung auf Werte zwischen 80 und 90 %.

Das sommerliche kalte Zwischenwasser, dessen Kernschicht sich im Bornholmbecken zwischen 40 und 60 m und im östlichen Gotlandbecken zwischen 50 und 70 m Tiefe befindet, ist gleichzeitig durch ein intermediäres Sauerstoffmaximum charakterisiert, das im August besonders deutlich sichtbar wird (Abb. 14). Es liegt in der Regel 10–20 m oberhalb des Temperaturminimums und ist eng korreliert mit der Strenge des vorausgegangenen Winters (NEHRING et al., 1990). Folglich liegen die Meßwerte des Jahres 1997 auf Grund des nur mäßigen Winters im Bereich der langjährigen Mittelwerte.



Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Arkonabeckens weisen typische jahreszeitliche Schwankungen auf. Vertikale Durchmischung und advective Prozesse, die bereits im Herbst einsetzen, führen im Winter und Frühjahr zu einer guten Sauerstoffversorgung bis zum Grund. Der Aufbau einer thermischen Schichtung und der vermehrte Abbau organischer Substanz führen zur Sauerstoffzehrung im Sommer, so daß im August im bodennahen 44 m-Horizont Konzentrationen unter  $2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  gemessen wurden.

Im Gegensatz zu den Jahren 1995 und 1996 (NEHRING et al., 1996; MATTHÄUS et al., 1997) war der Tiefenbereich des Bornholmbeckens im gesamten Jahr 1997 frei von Schwefelwasserstoff (vgl. auch Abb. 1). Die Ende 1996 noch verbliebenen Reste an Schwefelwasserstoff waren im Januar 1997 oxidiert. Wiederholte Einstromereignisse geringerer Intensität führten zu variierenden Sauerstoffgehalten (Abb. 14). In 80 m Tiefe schwankten die Werte bei einem Mittelwert von rund  $1,3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  (Tabelle 6) zwischen  $2,6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im Mai und  $0,14 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im September ( $n=24$ ). Im Tiefenwasser des Bornholmbeckens ist seit 1996 ein starker Anstieg im Jahresmittelwert des Sauerstoffgehalts zu beobachten (vgl. Tabelle 6), was für einen verstärkten Einstrom spricht.

Erste Anzeichen einer neuen Stagnationsperiode in den Tiefenbecken der zentralen Ostsee wurden bereits 1995 beobachtet (NEHRING et al., 1995c), die im März 1996 nach dreijähriger Unterbrechung erstmals wieder zum Auftreten von Schwefelwasserstoff im Bodenwasser des Gotlandtiefs führte (MATTHÄUS et al., 1996). Die schwefelwasserstoffhaltige Schicht dehnte sich bis Ende 1996 auf den gesamten Tiefenbereich unterhalb 175 m aus. Advective Einstromereignisse verhinderten jedoch die Stabilisierung des schwefelwasserstoffhaltigen Bodenwassers, so daß bis Mitte 1997 sehr variable Bedingungen im Gotlandtief dominierten. In kurzzeitigem Abstand wechselten geringe Sauerstoffkonzentrationen mit dem Auftreten von Schwefelwasserstoff. Seit August 1997 hat sich das anoxische Milieu im Bereich unterhalb 150 m erneut stabilisiert. Schwefelwasserstoffgehalte bis  $-2,3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  wurden beobachtet. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß erneute kleinere Einstromereignisse wiederum zu einer vorübergehenden Oxidierung des Schwefelwasserstoffs führen können. Insgesamt ging der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser im Jahresmittel 1997 weiter zurück und erreichte erstmals seit 1993 wieder einen geringen negativen Wert (vgl. Tabelle 6).

Die Situation im Fårötief gestaltet sich vergleichbar. Die im Januar 1997 noch vorhandenen Reste von Schwefelwasserstoff wurden durch überströmendes Wasser verdrängt/oxidiert, danach herrschten in der ersten Jahreshälfte oxische Bedingungen (Sauerstoffgehalt  $< 0,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ). Ab August wechselte das Redoxpotential und unterhalb 175 m Tiefe wurde das System anoxisch.

Wie in den Vorjahren wurde auch 1997 im westlichen Gotlandbecken kein Schwefelwasserstoff gemessen. Aus Tabelle 6 ist jedoch ersichtlich, daß die Konzentrationen sowohl im Landsorttief als auch im Karlsötief seit dem zwischenzeitlichen Maximum im Jahre 1993 kontinuierlich abgenommen haben. Die Schwankungsbreite sowohl im 400 m Horizont des Landsorttiefs ( $0,35$  bis  $0,87 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ;  $n=12$ ), als auch im 100 m Horizont des Karlsötiefs ( $0,16$  bis  $1,19 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ;  $n=15$ ) blieb relativ gering.

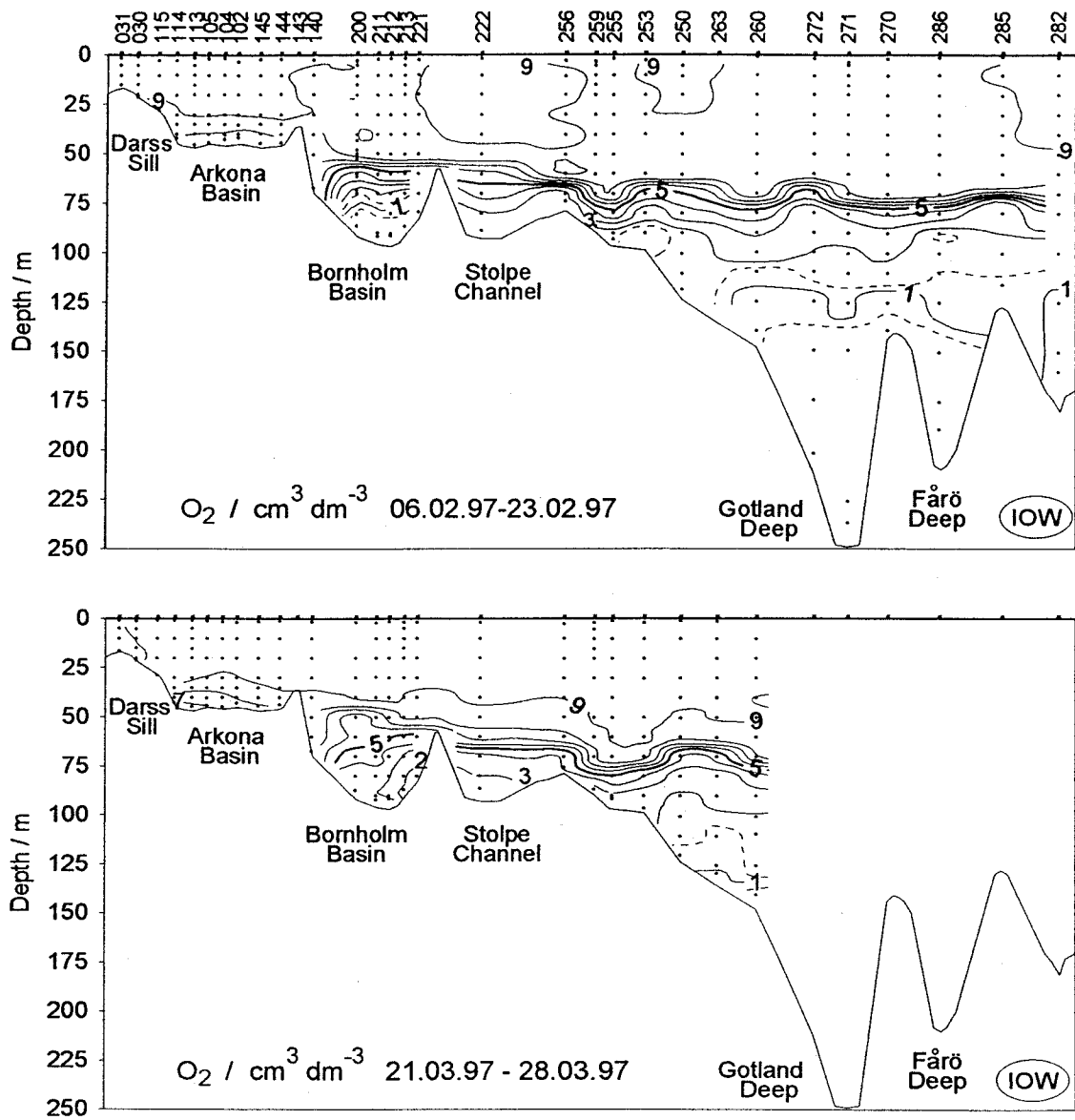
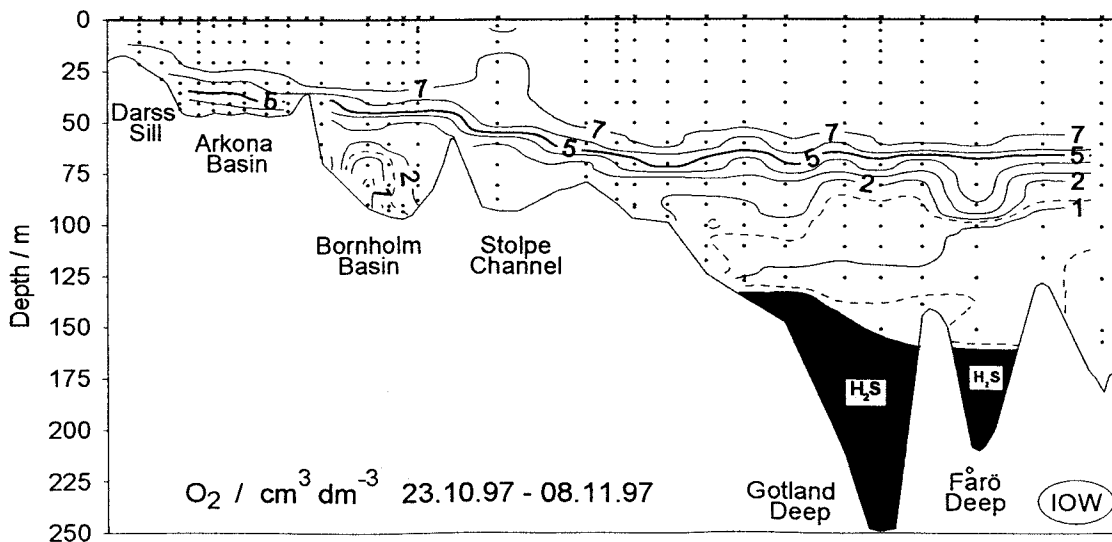
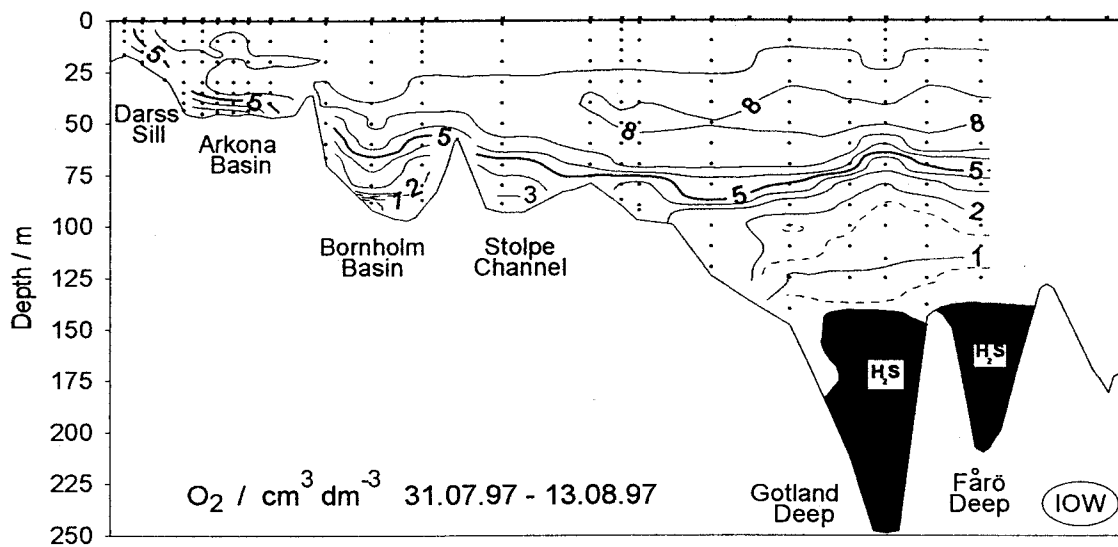
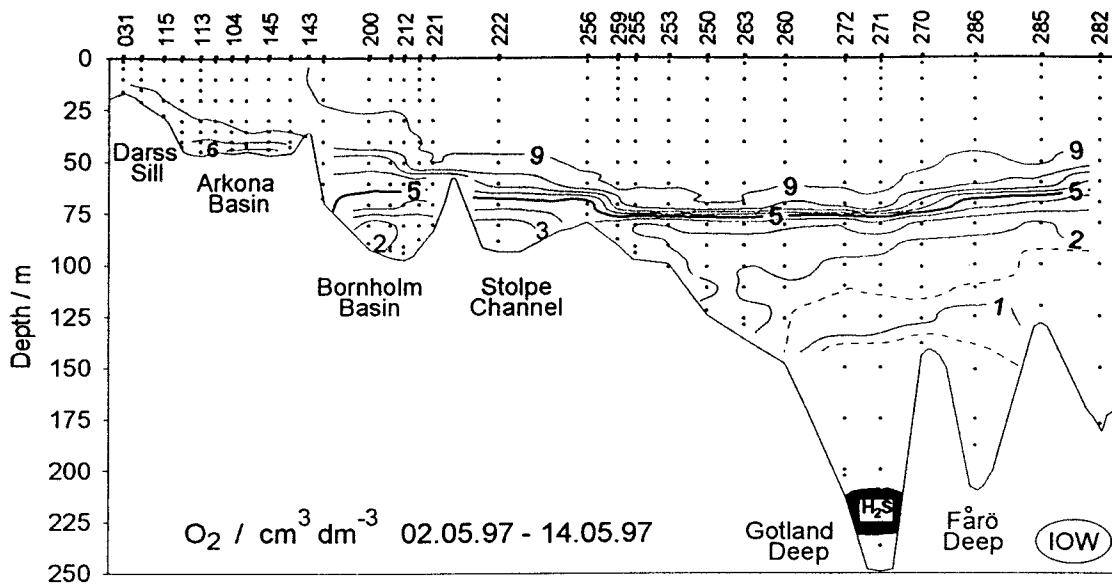


Abb. 14  
Vertikale Verteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



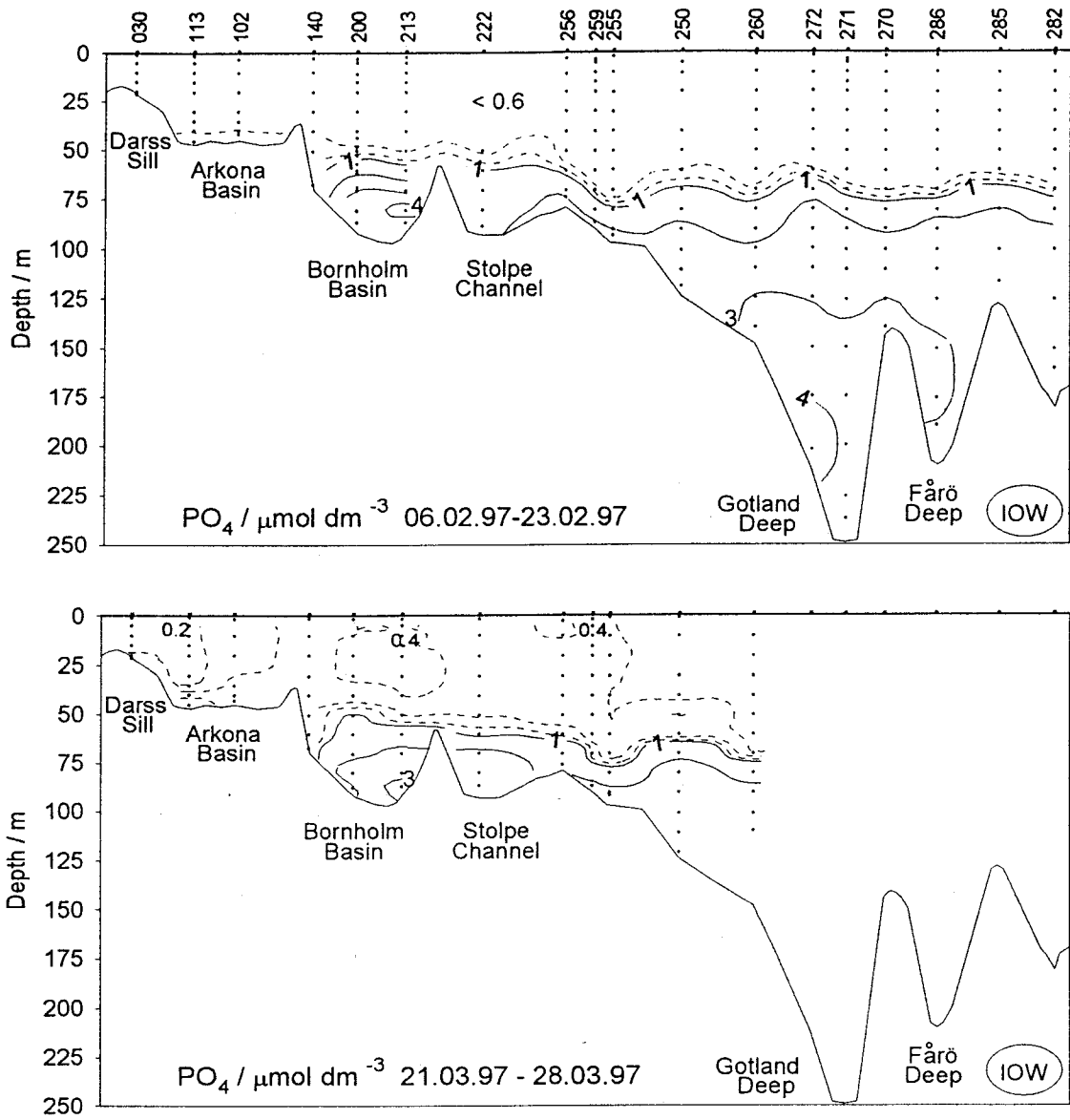
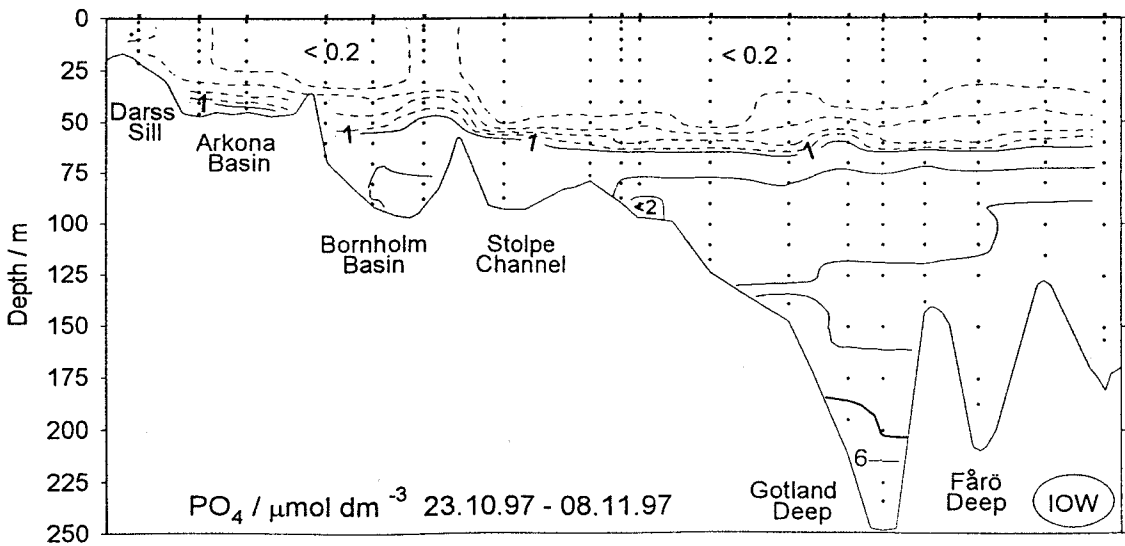
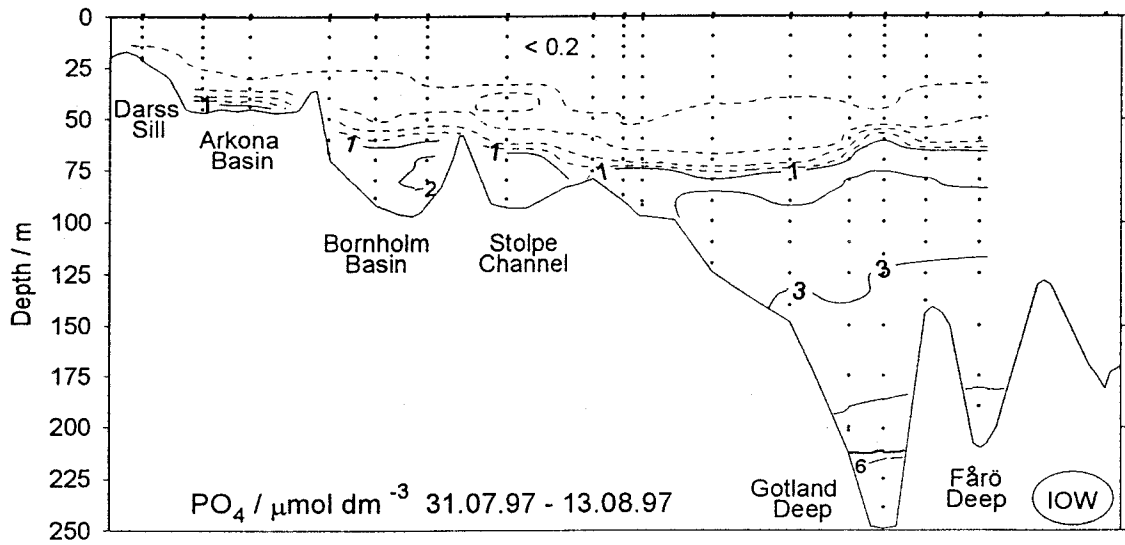
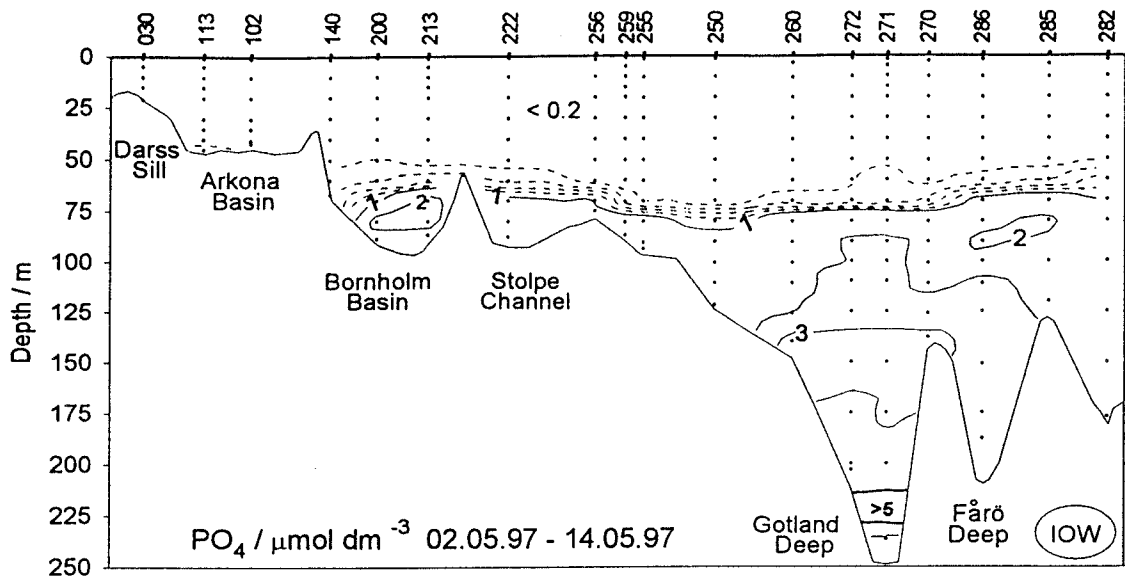


Abb. 15  
Vertikale Verteilung des Phosphatgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



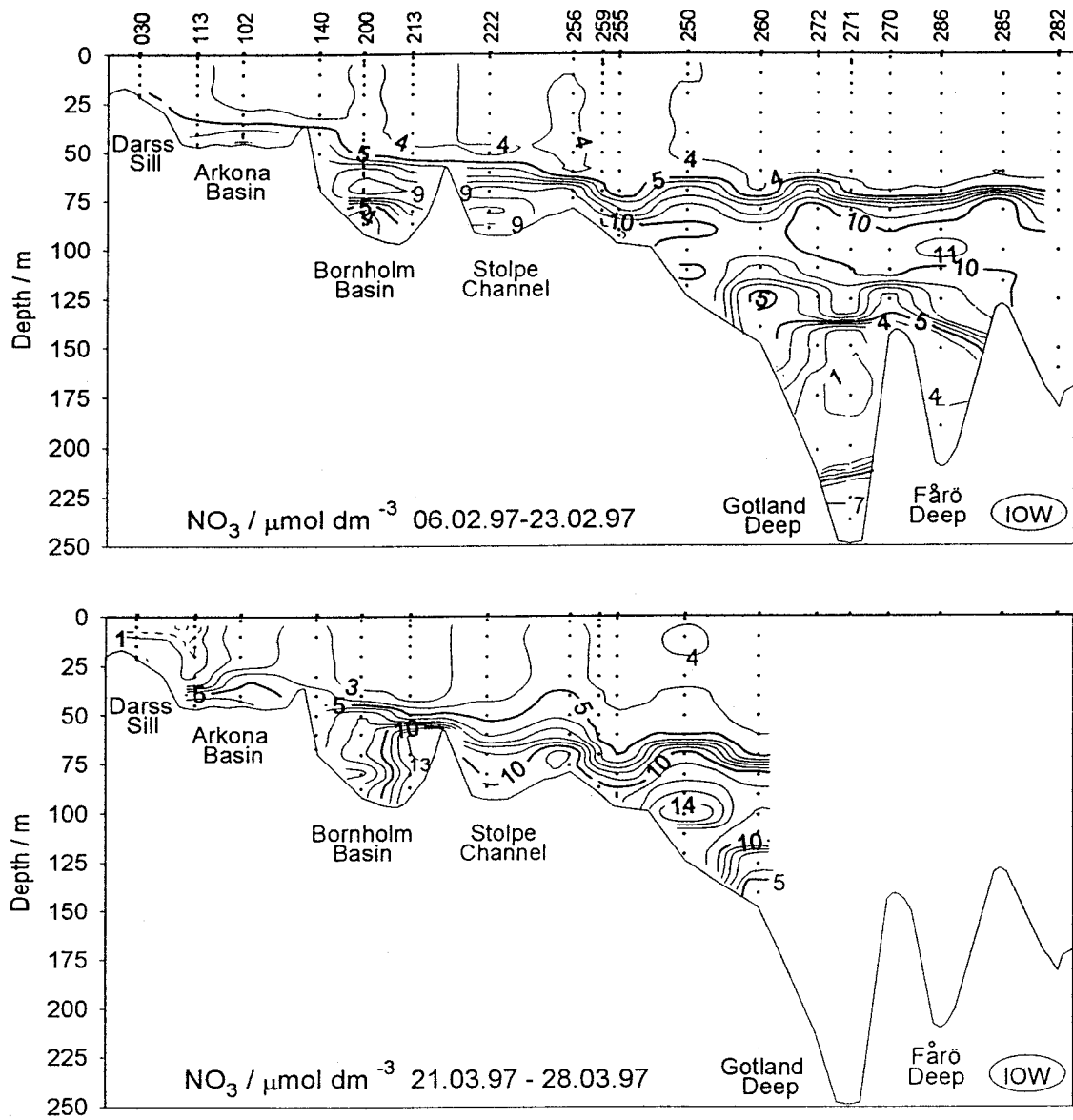
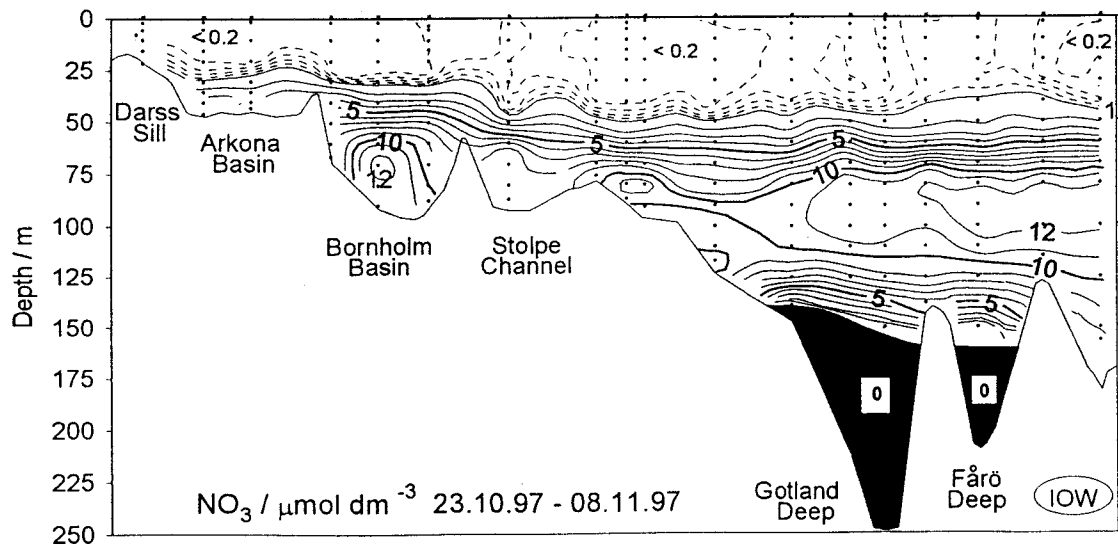
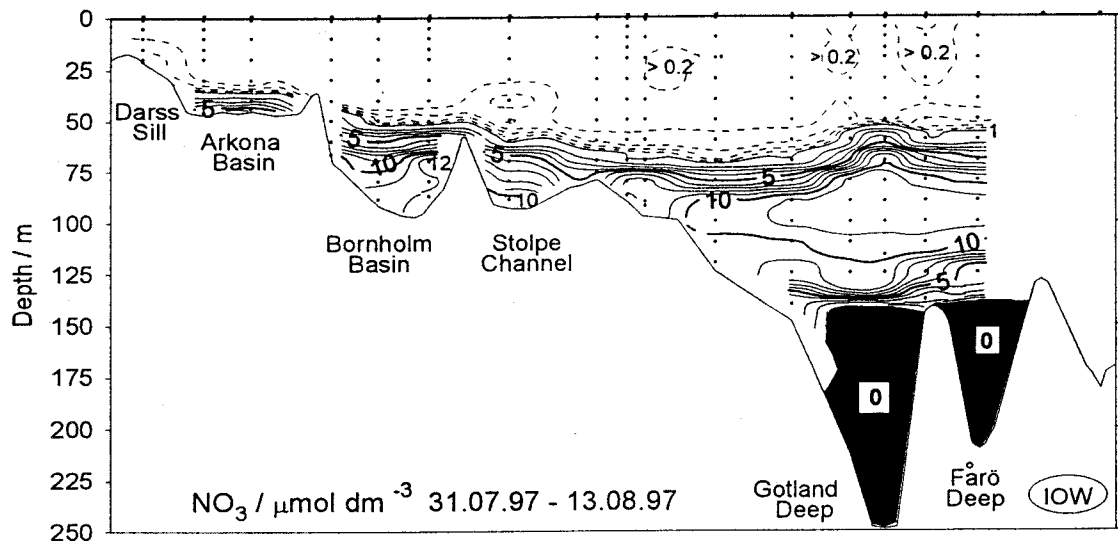
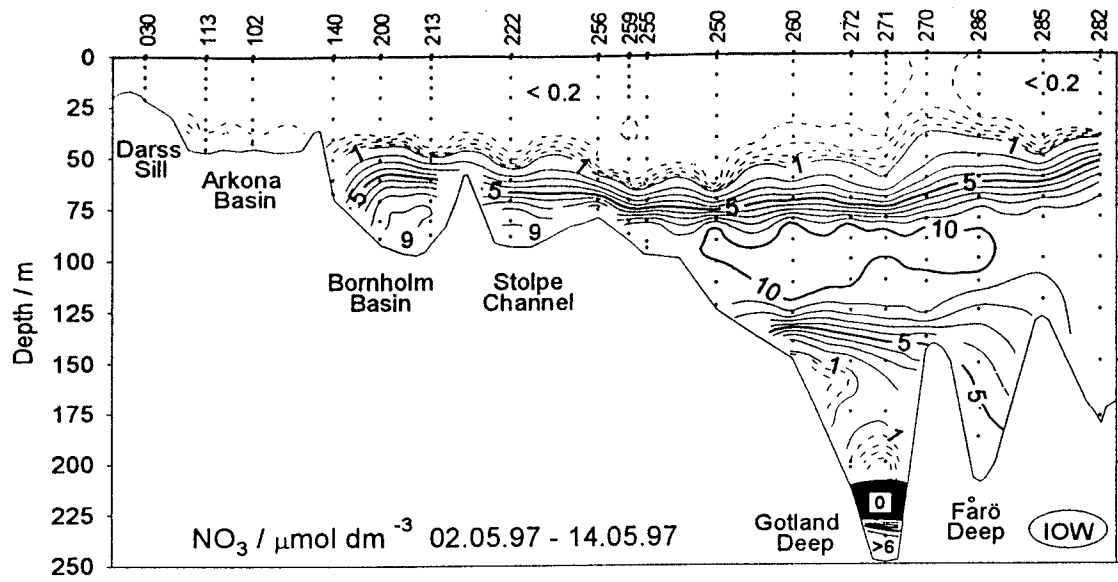


Abb. 16  
Vertikale Verteilung des Nitratgehalts zwischen Darßer Schwelle und nördlichem Gotlandbecken



#### 4.4 Anorganische Nährstoffe

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die anorganischen Nährstoffe Phosphat, Ammonium, Nitrit und Nitrat sowie Silikat. Diese Nährstoffe können die Primärproduktion des Phytoplanktons begrenzen. Hauptaugenmerk wird bei den Erörterungen auf Phosphat sowie auf die unter oxidischen Bedingungen dominierende anorganische Stickstoffverbindung Nitrat gerichtet. Die Verteilung dieser Nährstoffe für 1997 ist in Abb.15 und 16 dargestellt. Der gegenwärtige Kenntnisstand zum Silikat ist bei MATTHÄUS et al. (1997) beschrieben und soll hier nicht weiter ausgeführt werden.

Nährstofftrends werden in der winterlichen Oberflächenschicht untersucht, wenn die biologische Aktivität gering ist (NEHRING, MATTHÄUS, 1991). Diese Methode basiert auf der Annahme, daß sich in dieser Jahreszeit die Nährstoffkonzentrationen infolge eines Gleichgewichtes zwischen mikrobieller Mineralisation, geringer biologischer Aktivität und großem Vertikalaustausch auf hohem Niveau stabilisieren. Die Dauer dieses Zustandes ist für die einzelnen Seegebiete der Ostsee unterschiedlich. Am längsten bleibt er mit 3–4 Monaten im östlichen Gotlandbecken erhalten, so daß hier auch die Anfang April gemessenen Konzentrationen noch die Wintersituation charakterisieren (NAUSCH, NEHRING, 1996). In den anderen Gebieten nimmt die Nährstoffkonzentration bereits im März ab, wobei die Verarmung im Bornholm- und Arkonabecken deutlich langsamer erfolgt als in der Mecklenburger Bucht.

Tabelle 7 faßt die winterlichen Oberflächenkonzentrationen für Phosphat, Nitrat sowie die Summe der anorganischen Stickstoffkomponenten für die Jahresreihe 1993–1997 zusammen. Die Meßwerte wurden jeweils aus den Meßtiefen 1 m, 5 m und 10 m gemittelt. Geringe Standardabweichungen stehen für eine homogene Deckschicht. Wie bereits in den zurückliegenden Einschätzungen (NEHRING et al., 1995c; MATTHÄUS et al., 1997) beschrieben, ist für das Phosphat in allen untersuchten Seegebieten eine leichte Abnahme zu konstatieren. Die niedrigsten Meßwerte werden ausnahmslos für das Jahr 1997 ermittelt. Diese Aussagen lassen sich für Nitrat und die anorganischen Stickstoffverbindungen nicht in gleicher Deutlichkeit treffen. Jedoch finden sich auch hier die Minimalwerte in den Jahren 1996 und 1997 (Tabelle 7). Zumindest eine Stagnation der Meßwerte ist festzustellen. Die besonders landseitig beeinflussten Stationen in der Lübecker Bucht und in der Oderbucht zeichnen sich durch deutlich höhere Konzentrationen und größere zwischenjährliche Schwankungen aus.

Die Konzentrationen an Nitrit im Oberflächenwasser sind in der Regel sehr gering ( $<0,1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ). Im Winter kommt es jedoch in der westlichen Ostsee ( $0,8$  bis  $0,9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ) sowie besonders in der Lübecker Bucht und in der Oderbucht ( $1$  bis  $1,9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ) zu deutlich erhöhten Gehalten, die auf eine noch nicht abgeschlossene Nitrifikation und möglicherweise auch auf landseitige Einflüsse schließen lassen.

Wie alljährlich beobachtet (MATTHÄUS et al., 1997), beginnt im August in der zentralen Ostsee eine Akkumulation von Nitrit und Ammonium oberhalb der Salzgehaltssprungschicht (50–70 m). 1997 wurden in diesem Tiefenbereich Nitritkonzentrationen bis  $0,35 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  und Ammoniumkonzentrationen bis  $1,75 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  ermittelt. Ein verstärktes Mineralisationsge-



**Tabelle 7 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	1993	1994	1995	1996	1997
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	0,91 $\pm$ 0,02	0,73 $\pm$ 0,02	0,84 $\pm$ 0,02	-	<b>0,60 <math>\pm</math>0,03</b>
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	0,80 $\pm$ 0,05	0,64 $\pm$ 0,04	0,68 $\pm$ 0,02	0,59 $\pm$ 0,01	<b>0,56 <math>\pm</math>0,01</b>
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	1,11 $\pm$ 0,03	1,03 $\pm$ 0,07	0,78 $\pm$ 0,03	-	<b>0,74 <math>\pm</math>0,01</b>
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	0,71 $\pm$ 0,01	0,56 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,01	0,51 $\pm$ 0,03	<b>0,38 <math>\pm</math>0,01</b>
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	0,75 $\pm$ 0,00	0,53 $\pm$ 0,01	<b>0,44 <math>\pm</math>0,01</b>	0,49 $\pm$ 0,01	0,50 $\pm$ 0,01
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	0,71 $\pm$ 0,01 0,71 $\pm$ 0,01	0,48 $\pm$ 0,02 0,55 <sup>1)</sup> $\pm$ 0,02	0,56 $\pm$ 0,02 0,62 $\pm$ 0,02	0,46 $\pm$ 0,04 <b>0,50 <math>\pm</math>0,01<sup>2)</sup></b>	<b>0,43 <math>\pm</math>0,01</b> -
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	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 <b>0,46 <math>\pm</math>0,02</b>	<b>0,37 <math>\pm</math>0,01</b> -
<b>284</b> (Landsortief)	Feb.	0,78 $\pm$ 0,01	-	0,56 $\pm$ 0,01	0,54 $\pm$ 0,01	<b>0,50 <math>\pm</math>0,01</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	0,86 $\pm$ 0,00	0,61 $\pm$ 0,02	0,67 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,03	<b>0,57 <math>\pm</math>0,01</b>

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

Station	Monat	1993	1994	1995	1996	1997
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	14,4 $\pm$ 1,6	16,1 $\pm$ 0,2	11,5 $\pm$ 1,2	-	<b>8,1 <math>\pm</math>0,2</b>
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	6,9 $\pm$ 1,2	6,6 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 0,1	<b>5,0 <math>\pm</math>0,0</b>	5,7 $\pm$ 0,1
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	19,4 $\pm$ 2,0	19,6 $\pm$ 0,2	<b>11,5 <math>\pm</math>0,0</b>	-	16,1 $\pm$ 0,5
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	4,8 $\pm$ 0,0	4,9 $\pm$ 0,1	<b>4,2 <math>\pm</math>0,0</b>	5,8 $\pm$ 0,0	<b>4,2 <math>\pm</math>0,0</b>
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	4,8 $\pm$ 0,0	<b>4,1 <math>\pm</math>0,0</b>	4,2 $\pm$ 0,0	<b>4,1 <math>\pm</math>0,0</b>	4,2 $\pm$ 0,0
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	5,1 $\pm$ 0,0 4,8 $\pm$ 0,1	3,8 $\pm$ 0,1 4,5 <sup>1)</sup> $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,0 5,2 $\pm$ 0,1	4,1 $\pm$ 0,1 <b>4,3 <math>\pm</math>0,0<sup>2)</sup></b>	<b>3,6 <math>\pm</math>0,0</b> -
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	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 <b>3,9 <math>\pm</math>0,0</b>	<b>3,6 <math>\pm</math>0,0</b> -
<b>284</b> (Landsortief)	Feb.	5,8 $\pm$ 0,0	-	5,2 $\pm$ 0,1	<b>4,0 <math>\pm</math>0,1</b>	4,2 $\pm$ 0,0
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	5,8 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,2	4,6 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,1	<b>3,7 <math>\pm</math>0,0</b>

Tabelle 7 (Fortsetzung)

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

Station	Monat	1993	1994	1995	1996	1997
<b>023</b> (Lübecker Bucht)	Feb.	16,9 ± 1,5	17,5 ± 1,5	15,3 ± 1,4	-	<b>9,8 ± 0,1</b>
<b>012</b> (Meckl. Bucht)	Feb.	8,4 ± 1,8	7,0 ± 0,8	8,7 ± 1,7	-	<b>6,6 ± 0,1</b>
<b>162</b> (Oderbucht)	Feb.	28,2 ± 3,1	24,2 ± 0,2	<b>14,7 ± 0,2</b>	-	19,4 ± 0,6
<b>113</b> (Arkonasee)	Feb.	5,3 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,4 ± 0,0	6,4 ± 0,5	<b>4,4 ± 0,0</b>
<b>213</b> (Bornholmtief)	Feb.	5,2 ± 0,1	<b>4,4 ± 0,0</b>	4,5 ± 0,0	4,7 ± 0,2	<b>4,4 ± 0,0</b>
<b>271</b> (Gotlandtief)	Feb. Apr.	5,3 ± 0,0 5,4 ± 0,2	3,9 ± 0,1 4,9 <sup>1)</sup> ± 0,0	4,4 ± 0,0 5,6 ± 0,1	4,5 ± 0,1 <b>4,7 ± 0,1<sup>2)</sup></b>	<b>3,8 ± 0,1</b> -
<b>286</b> (Färötief)	Feb. Mär.	5,0 ± 0,1 5,1 ± 0,1	<b>3,8 ± 0,0</b> <b>4,2 ± 0,0</b>	4,7 ± 0,0 -	4,2 ± 0,0 4,6 ± 0,1	<b>3,8 ± 0,1</b> -
<b>284</b> (Landsorttief)	Feb.	6,2 ± 0,2	-	5,5 ± 0,1	<b>4,4 ± 0,1</b>	4,5 ± 0,0
<b>245</b> (Karlsötief)	Feb.	6,0 ± 0,4	4,8 ± 0,2	4,9 ± 0,1	4,6 ± 0,1	<b>4,0 ± 0,1</b>

<sup>1)</sup> Station 272<sup>2)</sup> Ende März

schehen könnte als Ursache benannt werden. Im weiteren Jahresverlauf dehnt sich dieser Bereich bis zur Oberfläche aus, wobei die Konzentrationen beider Nährstoffe jedoch zurückgehen (0,2 bis 0,3  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ).

Die Veränderungen der Nährstoffverhältnisse im Tiefenwasser können ebenfalls aus den Abb. 15 und 16 entnommen werden. Wie bereits erwähnt, war der Tiefenbereich des Bornholmbeckens im Jahre 1997 frei von Schwefelwasserstoff. Aus diesem Grunde konnten keine Anreicherungen von Ammonium beobachtet werden (Tabelle 8). Infolge des positiven Redoxpotentials lagen die Nitratgehalte dagegen deutlich höher als im Vorjahr, während die Phosphatkonzentrationen bei einem Mittelwert von 2,66  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  vergleichsweise niedrig waren. Die Schwankungsbreite der Meßwerte war relativ gering.

**Tabelle 8** Jahresmittelwerte und Standardabweichungen von Nährsalzen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee

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

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<b>1,24 <math>\pm</math> 0,23</b>	1,46 $\pm$ 0,20	3,44 $\pm$ 2,27	7,71 $\pm$ 2,06	2,66 $\pm$ 0,97
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	4,61 $\pm$ 1,73	2,49 $\pm$ 1,08	<b>1,86 <math>\pm</math> 0,09</b>	2,81 $\pm$ 1,00	4,47 $\pm$ 0,54
<b>286</b> (Färötief)	150	4,03 $\pm$ 0,40	3,62 $\pm$ 0,43	<b>2,65 <math>\pm</math> 0,18</b>	3,04 $\pm$ 0,45	3,40 $\pm$ 0,45
<b>284</b> (Landsorttief)	400	<b>2,64 <math>\pm</math> 0,05</b>	2,79 $\pm$ 0,45	2,73 $\pm$ 0,20	2,94 $\pm$ 0,18	2,97 $\pm$ 0,44
<b>245</b> (Karlsötief)	100	<b>1,90 <math>\pm</math> 0,14</b>	2,37 $\pm$ 0,29	2,34 $\pm$ 0,20	2,79 $\pm$ 0,56	3,23 $\pm$ 0,73

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

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	11,2 $\pm$ 1,9	<b>12,9 <math>\pm</math> 1,1</b>	6,9 $\pm$ 5,0	3,5 $\pm$ 4,1	10,2 $\pm$ 1,9
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	3,7 $\pm$ 5,4	6,1 $\pm$ 5,7	<b>11,2 <math>\pm</math> 1,1</b>	6,6 $\pm$ 4,3	0,5 $\pm$ 0,9
<b>286</b> (Färötief)	150	0,1 $\pm$ 0,3	4,0 $\pm$ 4,0	<b>9,6 <math>\pm</math> 0,5</b>	6,5 $\pm$ 4,1	2,4 $\pm$ 2,6
<b>284</b> (Landsorttief)	400	10,3 $\pm$ 0,9	9,4 $\pm$ 1,0	9,9 $\pm$ 1,2	<b>11,6 <math>\pm</math> 0,3</b>	11,2 $\pm$ 1,1
<b>245</b> (Karlsötief)	100	9,1 $\pm$ 0,9	10,2 $\pm$ 0,7	9,8 $\pm$ 0,9	10,3 $\pm$ 0,6	<b>10,6 <math>\pm</math> 0,5</b>

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

Station	Tiefe/m	1993	1994	1995	1996	1997
<b>213</b> (Bornholmtief)	80	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>	0,3 $\pm$ 0,1	3,7 $\pm$ 5,1	7,6 $\pm$ 7,3	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>271</b> (Gotlandtief)	200	12,6 $\pm$ 7,9	5,2 $\pm$ 4,4	<b>0,1 <math>\pm</math> 0,1</b>	1,0 $\pm$ 1,7	3,5 $\pm$ 1,4
<b>284</b> (Landsorttief)	400	0,3 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,2	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>	0,3 $\pm$ 0,0	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>245</b> (Karlsötief)	100	0,2 $\pm$ 0,0	<b>0,1 <math>\pm</math> 0,1</b>	0,2 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,1

Im Gotlandtief führten die variablen Redoxbedingungen in der ersten Jahreshälfte zu stark schwankenden Nährstoffgehalten im Tiefenwasser. Mit dem Auftreten anoxischer Bedingungen ab August 1997 konnte kein Nitrat mehr nachgewiesen werden, die Ammonium- und Phosphatkonzentrationen stiegen dagegen kontinuierlich an und erreichten im Oktober Werte von 12,2 bzw. 6,45  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (225 m Tiefe). Ein analoges Verhalten kann für das Fårötief beschrieben werden (vgl. Abschnitt 4.3).

Die recht stabilen Sauerstoffverhältnisse im westlichen Gotlandbecken sind die Ursache für nur geringfügig variierende Nährstoffgehalte im Vergleich zum Jahr 1996 (Tabelle 8).

#### 4.5 Organische Nährstoffe

Während die Konzentrationen anorganischer Nährsalze bereits seit vielen Jahren überwacht werden, wird die Messung organischer Nährstoffe erst seit 1994 an einer Reihe ausgewählter Stationen durchgeführt. Obwohl noch keine statistisch gesicherten Werte über zwischenjährige Schwankungen oder Trends angegeben werden können, sind nunmehr erste Abschätzungen mittlerer Konzentrationen an gelöstem bzw. partikulär gebundenem organischen Kohlenstoff (DOC bzw. POC), gelöstem Gesamtstickstoff (DN) und partikulär gebundenem organischen Stickstoff (PON) möglich. Für alle untersuchten Verbindungsklassen zeigt sich dabei im küstennahen Bereich, insbesondere in stark terrigen beeinflussten Gebieten wie z.B. der Pommerschen Bucht (Stat. OB 4), eine deutlich höhere Variabilität als in den zentralen Bereichen der Ostsee. Das zeigte sich besonders während des Oderhochwassers im Sommer 1997, bei dem die Konzentrationen deutlich über den bisher beobachteten Werten lagen (vgl. auch Abschnitt 5).

Für das partikuläre organische Material ist im Oberflächenwasser aller Stationen ein saisonaler Zyklus mit einem Maximum im März/April (Stat. 113: Arkonabecken) bzw. Mai (Stat. 213: Bornholmbecken; Stat. 271: Gotlandbecken) zu beobachten, der in erster Linie auf das massenhafte Auftreten des Phytoplanktons zurückzuführen ist. Bedingt durch die geringe zeitliche Auflösung der Meßreihen sind relativ große zwischenjährige Variabilitäten zu beobachten, die durch geringe zeitliche Verschiebungen in der Abfolge der Planktonblüte - z.B. durch unterschiedliche meteorologische Bedingungen - erklärt werden können. Die zu dieser Jahreszeit gemessenen POC-Konzentrationen betragen in den zentralen Gebieten der Ostsee (Stat. 113, 213, 271) zwischen 30 und 70  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , während sie im Winter auf Werte unter 10  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  abfallen können (Abb. 17). In terrigen beeinflussten Gebieten wie z.B. der Pommerschen Bucht (Stat. OB4) liegen die sommerlichen Maxima mit über 100  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  deutlich höher, während des Oderhochwassers im Sommer 1997 wurden sogar Werte von 350  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  beobachtet (Abb. 17 und 24). Ein ähnliches Bild ergibt sich für die PON-Verteilung. Entsprechend dem Redfield-Verhältnis betragen die PON-Konzentrationen jedoch nur ca. 15 % derjenigen des POC, wobei in der euphotischen Zone keine signifikanten Abweichungen im C/N-Verhältnis beobachtet wurden.

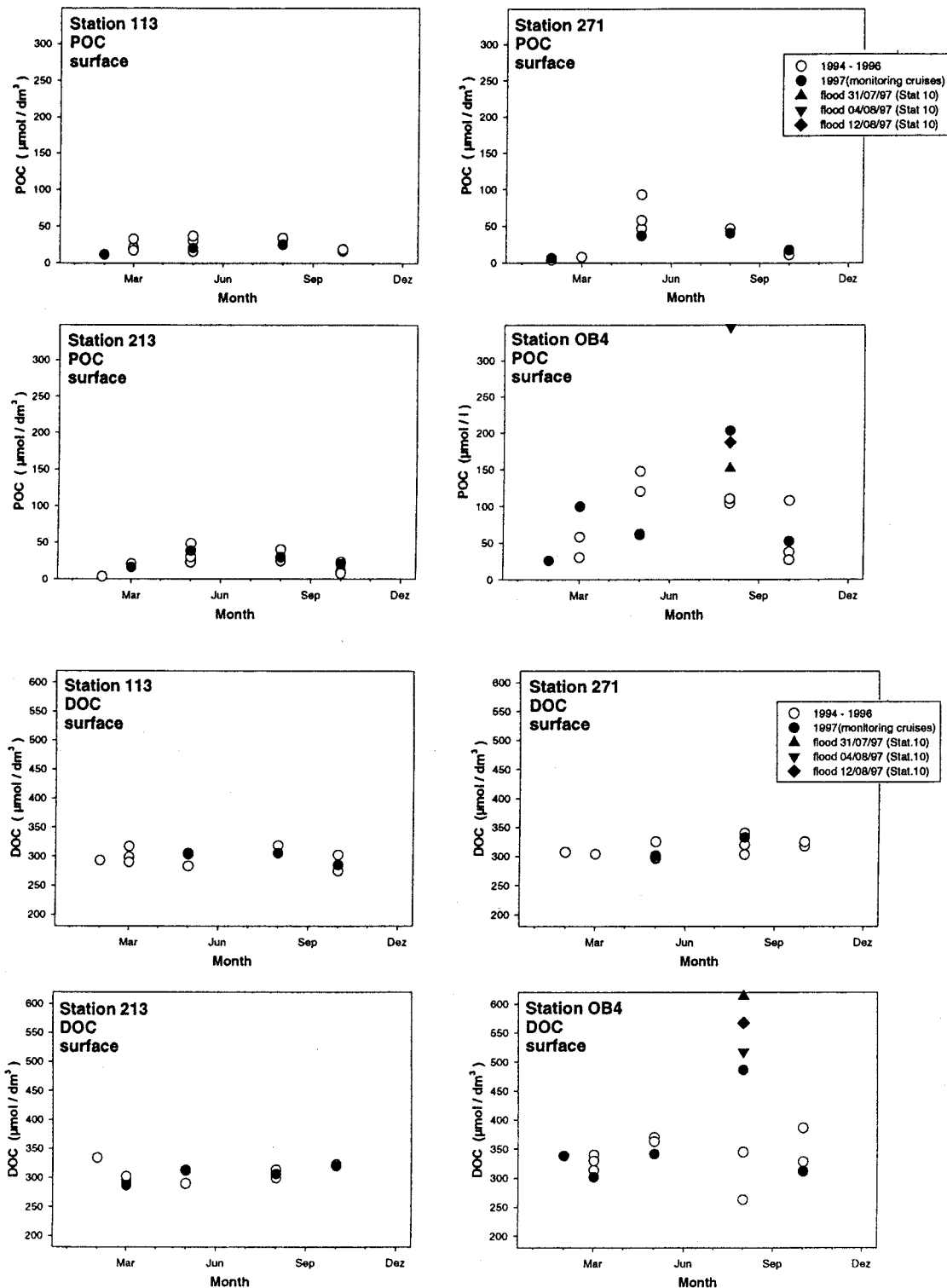


Abb. 17

Konzentrationen partikulärer (POC) und gelöster organischer Kohlenstoffverbindungen (DOC) an ausgewählten Stationen in der oberflächennahen Schicht der Ostsee. (Stat. 113: Arkonasee; Stat. 213: Bornholmsee; Stat. 271: Gotlandsee; Stat. OB4: Pommersche Bucht). Dargestellt sind die während der Monitoring-Fahrten im Februar, März, Mai, August und Oktober/November in den Jahren 1994 bis 1996 gemessenen Werte (Kreise) im Vergleich zu den 1997 beobachteten Konzentrationen (Punkte). In den Abbildungen der Stat. OB4 sind zusätzlich die Meßwerte angegeben, die während des Hochwassers der Oder im Sommer 1997 an der Stat. 10 in der Nähe der Mündung der Swina (vgl. Abb. 18) ermittelt wurden.

Die DOC-Konzentrationen liegen etwa um den Faktor 10 höher als die des POC. Obwohl saisonale Variabilitäten auftreten, sind signifikante jahreszeitliche Zyklen anhand der bisher vorliegenden Daten nicht erkennbar (Abb. 17). Es fällt jedoch auf, daß die zwischenjährlichen Schwankungen des DOC-Gehalts in den zentralen Teilen der Ostsee relativ gering sind. Mit ca.  $300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  liegen die Werte deutlich über denjenigen der offenen Ozeane. In küstennahen Gebieten treten demgegenüber deutlich größere Schwankungen auf, die zum großen Teil auf terrigene Einträge gelösten organischen Materials zurückzuführen sind. Dieser Zusammenhang wurde während der Zeit des Oderhochwassers besonders deutlich, als DOC-Konzentrationen von 500 bis  $650 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  gemessen wurden (Abb. 24). Informationen über die chemische Zusammensetzung des terrigenen Anteils am DOC und sein weiteres Schicksal im marinen Ökosystem sind bisher nicht verfügbar.

In küstennahen Bereichen ist es häufig schwierig, anhand einzelner Messungen die Ursachen für die beobachtete erhöhte Variabilität zu erklären. Für die Pommersche Bucht konnte z.B. im Rahmen des TRUMP-Projekts gezeigt werden, daß der Einstrom des Oderwassers diskontinuierlich in Form von sogenannten „Ausstromereignissen“ erfolgt, die im wesentlichen durch unterschiedliche Wasserstände im Oderhaff und in der Pommerschen Bucht gesteuert werden (v. BODUNGEN, 1995; TRUMP, 1998). Die Verteilung der eingetragenen Stoffe unterliegt Strömungsmustern, die wesentlich durch die Windsituation beeinflusst werden, wobei sich aufgrund unterschiedlicher Prozesse im Oderhaff nicht zwangsläufig für alle Stoffe gleiche Muster ergeben müssen.

Gelöster organisch gebundener Stickstoff (DON) macht in den zentralen Teilen der Ostsee den größten Anteil am gelösten Gesamtstickstoff aus (vgl. MATTHÄUS et al., 1997). Im Gegensatz zu den anorganischen Stickstoffverbindungen, deren Abnahme im jahreszeitlichen Rhythmus mit der Bildung partikulären organischen Materials einher geht, sind saisonale Einflüsse auf die DON-Konzentration anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht eindeutig zu belegen. In küstennahen Gebieten können jedoch durch den Eintrag nährstoffreichen Süßwassers deutliche saisonale Schwankungen auftreten.

## **5. Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf die Ostsee**

Die Oder stellt mit einer durchschnittlichen jährlichen Abflußmenge von etwa  $18 \text{ km}^3$  den fünftgrößten Süßwasserzufluß zur Ostsee dar (BERGSTRÖM, CARLSSON, 1994). Sie hat ein Einzugsgebiet von rund  $119\,000 \text{ km}^2$  und mündet in das Oderhaff, das über die drei Arme Peenestrom, Swina und Dziwna mit der Pommerschen Bucht in Verbindung steht. An Hand eines barotropen Boxmodells für den Wasseraustausch haben MOHRHOLZ und LASS (1998) ermittelt, daß der Ausstrom des Wassers aus dem Oderhaff in die Pommersche Bucht zu 80 % über die Swina und nur jeweils zu 10 % über die Dziwna und den Peenestrom erfolgt. Die Pommersche Bucht ist ein flaches Seegebiet mit Wassertiefen von weniger als 20 m, weist eine Gesamtfläche von etwa  $5580 \text{ km}^2$  auf und umfaßt ein Volumen von rund  $74 \text{ km}^3$ .

Im Juli 1997 war das Einzugsgebiet der Oder von einem außergewöhnlichen Hochwasser betroffen. Verursacht wurde das Sommerhochwasser durch zwei extreme Starkregenereignisse

innerhalb von 14 Tagen (FUCHS, RAPP, 1997). Der erste niederschlagsreiche Witterungsabschnitt vom 4. - 8. Juli brachte im Einzugsgebiet des Oberlaufes der Oder Gebietsniederschläge von  $> 150 \text{ l/m}^2$  mit Spitzenwerten einzelner Stationen von 300 bis  $> 400 \text{ l/m}^2$ . Eine zweite niederschlagsreiche Periode vom 18. - 21. Juli brachte nochmals mit  $> 50 \text{ l/m}^2$  ungewöhnlich große Regenmengen im Unterlauf der Oder und mit  $> 100 \text{ l/m}^2$  im Einzugsgebiet des Oberlaufes. Dadurch übertraf die Niederschlagsmenge vom Juli 1997 die langjährigen Mittelwerte um das 3- bis 5fache (FUCHS, RAPP, 1997).

Es wurde vermutet, daß die ungewöhnlich große, mit Nähr- und Schadstoffen befrachtete Wassermenge, die innerhalb weniger Wochen in die Ostsee gelangte, eine erhebliche Belastung für die Ostsee, zumindest aber für die Pommersche Bucht, mit sich bringen könnte. Aus Untersuchungen im Rahmen des TRUMP-Projektes (v. BODUNGEN et al., 1995) ist bekannt, daß die Oderfrachten im Oderhaff und vor allem in der Pommerschen Bucht eine Vermischung und chemisch-biologische Modifikation erfahren. Um die Auswirkungen des Oderhochwassers auf die Ostsee abschätzen zu können, führte das Institut für Ostseeforschung Warnemünde eine spezielle Überwachung der Umweltbedingungen in der Pommerschen Bucht (Abb. 18) in Verbindung mit der regulären Ostseeüberwachungsfahrt im August 1997 durch.

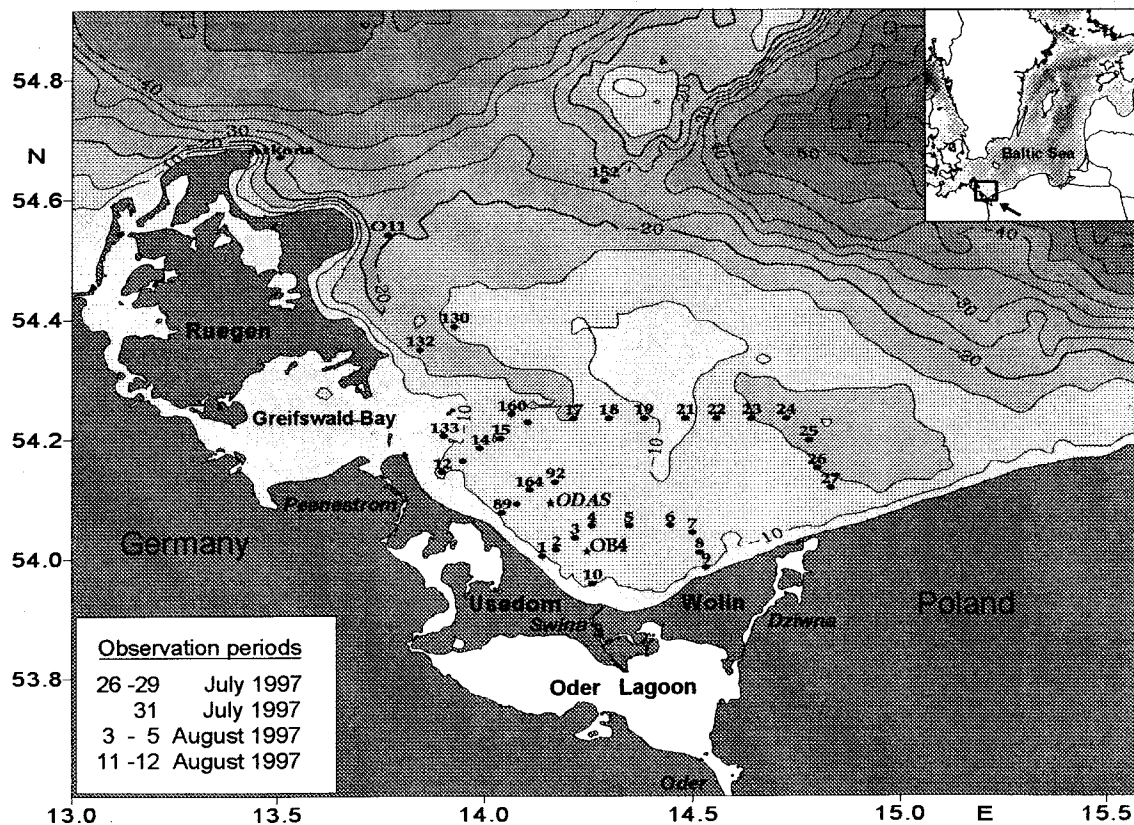


Abb. 18  
Karte der Pommerschen Bucht und die Lage der Beobachtungsstationen

## 5.1 Hydrographische Bedingungen

Durch das extreme Hochwasser der Oder wurde das Wasser im Oderhaff relativ schnell verdrängt und über die Swina direkt in die Pommersche Bucht transportiert. Die Verteilungsmuster der Ausstromfahne in der Pommerschen Bucht werden im allgemeinen durch die lokalen Windbedingungen bestimmt (SIEGEL et al., 1996).

Der Wind wurde an der Bojenstation „Oder-Bank“ vor der Küste Usedom gemessen (vgl. Abb. 18). Zwischen 9. und 24. Juli herrschten anhaltende östliche Winde mit Windgeschwindigkeiten zwischen 5 und 14 m/s (vgl. auch Abb. 2). Vom 25. Juli bis 1. August schloß sich eine Periode westlicher Winde an, bevor vom 1.-4. August schwachwindiges Wetter mit Windgeschwindigkeiten  $< 5$  m/s einsetzte. Ab 5. August dominierten dann Winde hauptsächlich aus dem Sektor zwischen Ost und Süd mit nur kurzen Unterbrechungen durch westliche Winde (vgl. Abb. 3).

Bis zum 26. Juli breitete sich das aus der Swina strömende Wasser in nordwestlicher Richtung vor dem Südteil von Usedom aus; während der anschließenden Westwindphase für einige Tage unter der polnischen Küste in nordöstlicher Richtung. Es handelte sich hierbei zunächst um Wasser aus dem Oderhaff, das durch das nachfolgende Oderwasser verdrängt wurde. Am 28. Juli wurde die Ausstromfahne des Oderwassers mit Salzgehalten  $< 4,4$  PSU unmittelbar vor der Insel Wolin beobachtet (Stat. 8 und 9). Ein schwächerer Zweig der Fahne (Salzgehalt im Kern  $< 5,4$  PSU) war im Oberflächenwasser vor Usedom zu beobachten (Stat. OB 4), der sich am 31. Juli verstärkte.

Ab Anfang August transportierten die vorherrschenden Winde das ausströmende Wasser ausschließlich entlang der Küsten von Usedom und Rügen in das westliche Arkonabecken. Am 4. August erreichte die Oderfahne die Nordspitze von Usedom (Abb. 19A, C, E). Im Kern der Fahne wurden Salzgehalte von  $< 3,2$  PSU im südlichen (Stat. 1 und 3; Abb. 20A) und  $< 5,8$  PSU im nördlichen Teil (Stat. 13 und 14; Abb. 21A) gemessen. Die Ausstromfahne erreichte am 12. August den nördlichen Bereich der Insel Rügen (Stat. O 11 und Arkona; Abb. 19B und Abb. 21B). Die Salzgehalte im Kern der Fahne stiegen im südlichen Schnitt geringfügig auf 4,2 PSU an, gingen aber auf dem nördlichen Schnitt auf 4,4 PSU zurück. Anhand von Satellitendaten im sichtbaren und infraroten Spektralbereich war der Einfluß des Oderwassers über die Pommersche Bucht hinaus bis in die südliche Arkonasee erkennbar (vgl. SIEGEL et al., 1998a).

Der Wasserkörper, der am 28. Juli vor Wolin beobachtet wurde, war durch den auf die Küste gerichteten Transport und ein entstehendes Downwelling kaum vertikal geschichtet. Die unter Usedom verlaufende Ausstromfahne war während des gesamten Untersuchungszeitraums stabil über dem Wasser der Pommerschen Bucht geschichtet (Abb. 20 und 21). Längs der Ausstromfahne trennte eine in 5 - 7 m Tiefe liegende Salzgehaltssprungschicht Wasser mit Salzgehalten  $< 5$  PSU vom grundnahen Wasser mit  $> 6,5$  PSU (Abb. 21). Ende Juli war die Schichtung noch schwach entwickelt mit vertikalen Salzgehaltsgradienten in der Sprungschicht von 0,6 PSU/m im südlichen und 0,1 PSU/m im nördlichen Schnitt. Im August verstärkte sich die Stabilität der Schichtung und vertikale Gradienten von 1 bis 1,2 PSU/m wurden beobachtet.



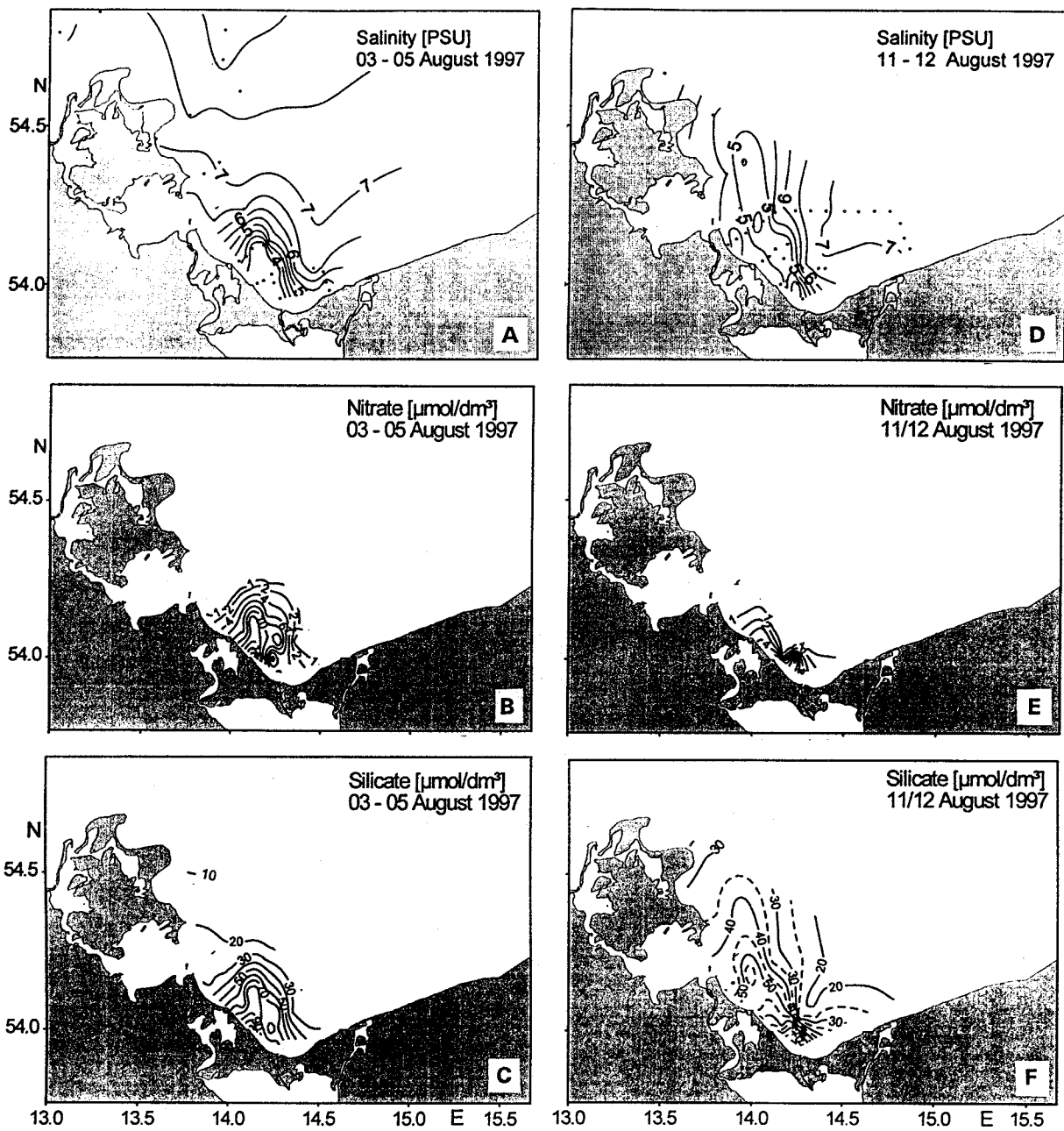


Abb. 19

Verteilungsmuster von Salzgehalt, Nitrat und Silikat in der Pommerschen Bucht im August 1997

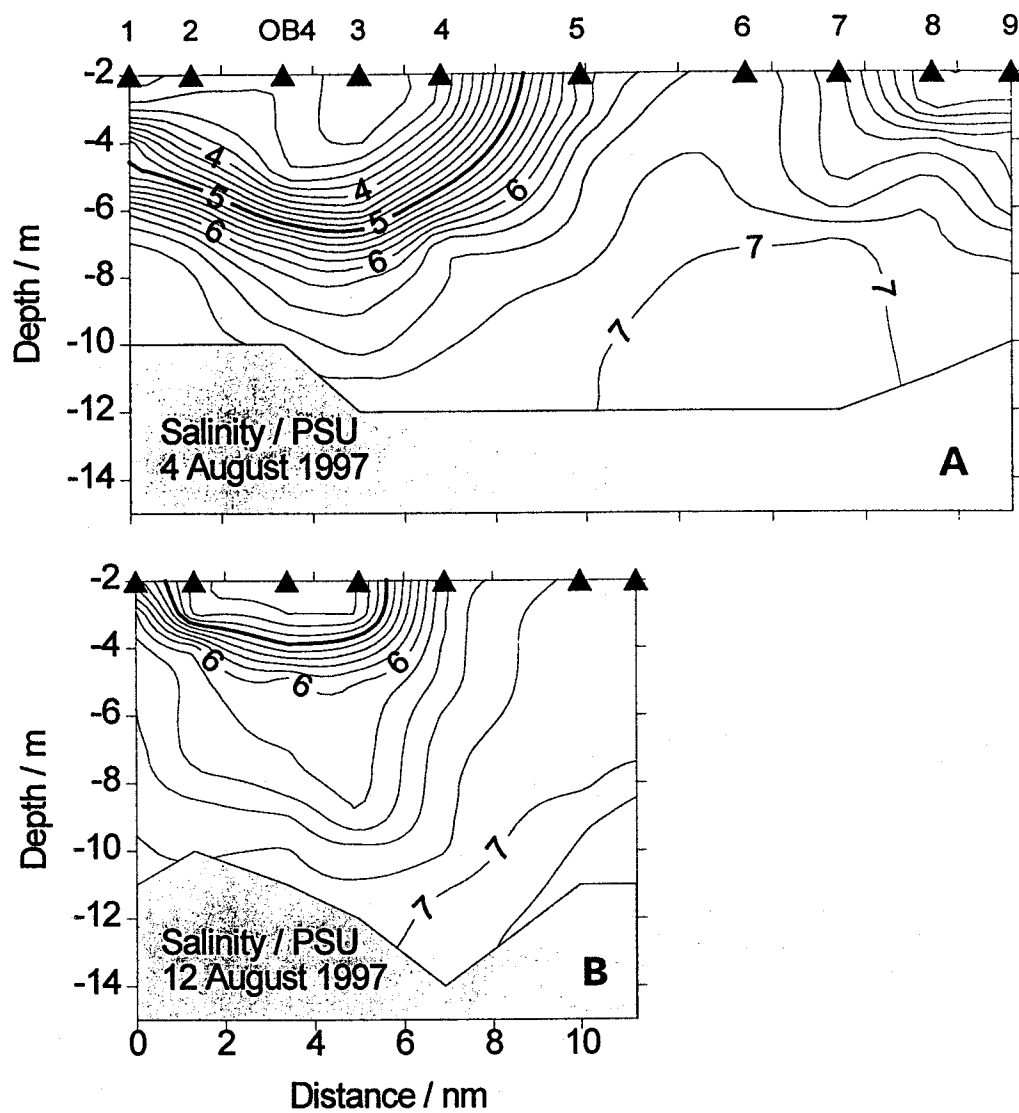


Abb. 20

Salzgehaltsverteilungen auf dem südlichen Querschnitt durch die Ausstromfahne der Oder im August 1997

Sie wurde den gesamten August hindurch zusätzlich verstärkt durch die außergewöhnliche Erwärmung des Oberflächenwassers (vgl. Abb. 9 und 10) infolge der hohen Sonneneinstrahlung (vgl. Tabelle 2). Die starke Schichtung im Bereich der Ausstromfahne bestand bis Anfang September, als die ersten Herbststürme (vgl. Abschnitt 2) zu ihrer Auflösung führten.

Die Breite der Ausstromfahne, gekennzeichnet durch Salzgehalte  $< 6$  PSU, lag zwischen 2 km (28. Juli) und mehr als 10 km (12. August) auf dem südlichen (Abb. 20) und zwischen 8 und 15 km auf dem nördlichen Schnitt (vgl. Abb. 19).

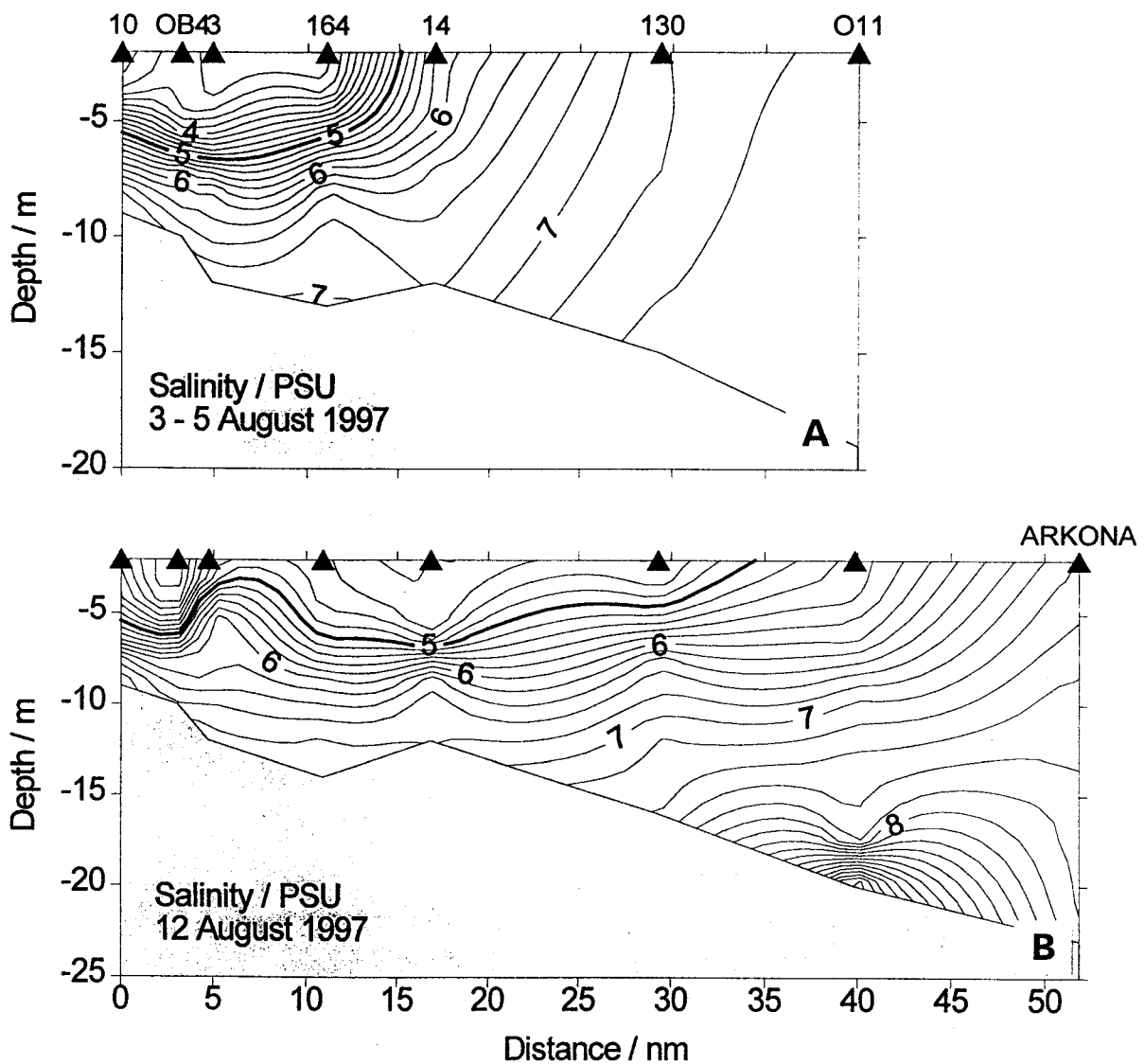


Abb. 21  
Salzgehaltsverteilungen längs der Ausstromfahne der Oder im August 1997

Der infolge der starken Schichtung im Bereich der Ausstromfahne weitgehend unterbundene vertikale Austausch führte zu Sauerstoffmangel und ab 17. August zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten, so daß es in größeren Gebieten vor Usedom zu einer starken Schädigung der benthischen Lebensgemeinschaft kam (LAUN, 1997a,b). Leider konnte keine flächendeckende Beprobung durchgeführt werden, um das Ausmaß des durch Sauerstoffarmut betroffenen Areals festzustellen. Eine ähnliche Situation wurde bereits im Sommer 1994 beobachtet (NEHRING et al., 1995b; KUBE, POWILLEIT, 1997). Auf Grund einer dreiwöchigen Ruhigwetterperiode, einer daraus resultierenden temporären Schichtung und starkem Sauerstoffdefizit im Bodenwasser wurde auch 1994 die benthische Fauna großflächig geschädigt. Daher kann die im August 1997 beobachtete Situation nicht ausschließlich in

Verbindung mit dem Oderhochwasser gesehen werden, sondern muß auch unter dem Aspekt ungünstiger meteorologische Bedingungen betrachtet werden. Mit der starken Schichtung blieb auch das Sauerstoffdefizit bis Anfang September erhalten.

## 5.2 Nährstoffsituation

Die Situation der anorganischen Nährstoffen in der Pommerschen Bucht ist im August normalerweise durch sehr niedrige Konzentrationen gekennzeichnet, wie am Beispiel des Nitrats gezeigt werden kann (Abb. 22). Erhöhte Konzentrationen werden nur gelegentlich im küstennahen Bereich beobachtet (v. BODUNGEN et al., 1995; NAUSCH et al., 1998).

Die ersten Nährstoffsignale des ausströmenden Oderwassers wurden Ende Juli registriert. In Tabelle 9 sind die höchsten gemessenen Werte der vier durchgeführten Meßperioden zusammengefaßt und mit den Konzentrationen verglichen, die normalerweise im späten Winter/zeitigen Frühjahr in Verbindung mit dem Frühjahrshochwasser gemessen werden. Die während des Oderhochwassers 1997 gemessenen Phosphatkonzentrationen liegen in der gleichen Größenordnung, während die Silikatkonzentrationen auf Grund des „direkten“ Flußwasser-eintrages deutlich höher sind. Die Nitratkonzentrationen sind dagegen geringer als während des

**Tabelle 9** Maximale Nährstoffkonzentrationen ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ) in der Pommerschen Bucht in den Jahren 1993–1996 und während des Oderhochwassers 1997 (alle Stationen liegen nahe der Swinamündung, vgl. Abb. 18; Stat. 165  $\approx$  OB 4)

	Station	Nitrat	Phosphat	Silikat
Winterwerte 1993/1996	165	49,1	1,98	49,5
28.07.1997	10	23,3	2,76	72,5
31.07.1997	10	29,0	2,70	95,5
04.08.1997	10	20,6	2,56	118,5
12.08.1997	165	8,6	2,07	91,6

Frühjahrshochwassers. Es scheint, daß der gelöste anorganische Stickstoff nicht in gleicher Weise wie im Frühjahr zur Verfügung steht, da einerseits durch das extreme Hochwasser eine starke Verdünnung erfolgt und andererseits bereits eine weitergehende Stickstoffixierung auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen im Einzugsgebiet erfolgt ist.

Auch der Vergleich mit Abb. 22 zeigt, daß die Meßwerte im typischen Winter/Frühjahrsbereich liegen. Die nahe der Swinamündung gelegene Station 165 zeigt dabei naturgemäß die Maximalwerte, während der Jahresgang an den weiter entfernten Stationen 133 und 131 weniger stark ausgeprägt ist. Im Gegensatz zur Frühjahrsituation, wo die eingetragenen Nährstoffe nur durch physikalische Prozesse verdünnt und direkt in die offene Ostsee transportiert werden

(NAUSCH et al., 1998), werden die Nährstoffe im Sommer durch eine aktive Planktongemeinschaft in Biomasse transformiert und in dieser Form transportiert bzw. sedimentiert.

Auch auf der Basis der Nährstoffverteilungsmuster (Abb. 19C-F) kann die Ausbreitung des ausströmenden Wassers entlang der Küste von Usedom verfolgt werden (vgl. SIEGEL et al., 1998a). Bemerkenswert ist, daß Silikat und zu einem gewissen Grad auch Phosphat konservativ vermischt werden, während die Nitratkonzentrationen bereits in unmittelbarer Nähe der Swinamündung stark abnehmen. Dieses Verhalten wird besonders am 11./12. August deutlich. In großen Teilen der Pommerschen Bucht liegen die Nitratwerte bereits wieder nahe der Nachweisgrenze (Abb. 19D), während diese Bereiche durch deutlich erhöhte Phosphat- und besonders Silikatkonzentrationen (Abb. 19F) gekennzeichnet sind. Dies kann auch durch einen Längsschnitt entlang der Ausstromfahne belegt werden (Abb. 23). Leicht erhöhte Nitratkonzentrationen finden sich nur bis zur Station 133 an der Nordspitze Usedoms. Phosphat und vor allem Silikat zeigen dagegen nur einen langsamen, nahezu linearen Abfall. Erst an der Station Arkona werden ostsee- und jahreszeittypische Konzentrationen gemessen. Das führt zu der Schlußfolgerung, daß weite Bereiche der Pommerschen Bucht nitratlimitiert sind, folglich das Phosphat- und Silikatangebot nicht effektiv genutzt werden kann (vgl. HUMBORG et al., 1998). In weiten Teilen der offenen Ostsee wurde im August eine der intensivsten Blaualgenblüten (*Nodularia spumigena*) der letzten Jahre beobachtet. Diese stickstofffixierenden Algen sind häufig phosphatlimitiert (GRANELI et al., 1990). Möglicherweise wurde die Blüte im Arkonabecken neben der extrem ruhigen Wetterlage auch durch die Phosphateinträge aus der Oder unterstützt (HUMBORG et al., 1998). Direkte Untersuchungen liegen dazu jedoch nicht vor.

Anfang September lagen die Nährstoffkonzentrationen bereits wieder im für die Jahreszeit typischen Niveau, lediglich Phosphat- und Silikatgehalt waren noch leicht erhöht.

Während des Oderhochwassers wurden an ausgewählten Stationen an 4 Tagen (28. und 31. Juli; 4. und 12. August) auch Proben zur Untersuchung organischer Nährstoffe genommen. Belegt durch eine Reihe zusätzlicher Messungen kann man davon ausgehen, daß die an der Station 10 (vgl. Abb. 18) in der oberflächennahen Schicht gemessenen Werte für die Inhaltsstoffe der Oderfahne repräsentativ waren. Die Ergebnisse zeigen, daß die Konzentrationen der organischen Verbindungen etwa doppelt so hoch waren wie sonst zu dieser Jahreszeit üblich. Auffallend ist, daß die maximalen Konzentrationen für die einzelnen untersuchten Verbindungsklassen nicht alle zum gleichen Zeitpunkt auftreten (Abb. 24). Während die unterschiedlichen Bilder für den Verlauf der Konzentrationen von partikulär gebundenem organischen Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) sowie gelöster Stickstoffverbindungen (DN) wahrscheinlich auf Prozesse im Seegebiet unmittelbar vor der Mündung der Swina zurückgeführt werden können (z.B. Entwicklung des Phytoplanktons), kann der relativ konstante Gehalt an gelöstem organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC) als Indiz dafür gewertet werden, daß es sich praktisch ausschließlich um gelöstes organisches Material terrigenen Ursprungs handelt. Aus der Dauer und Menge des Oderabflusses läßt sich abschätzen, daß durch das Sommerhochwasser 1997

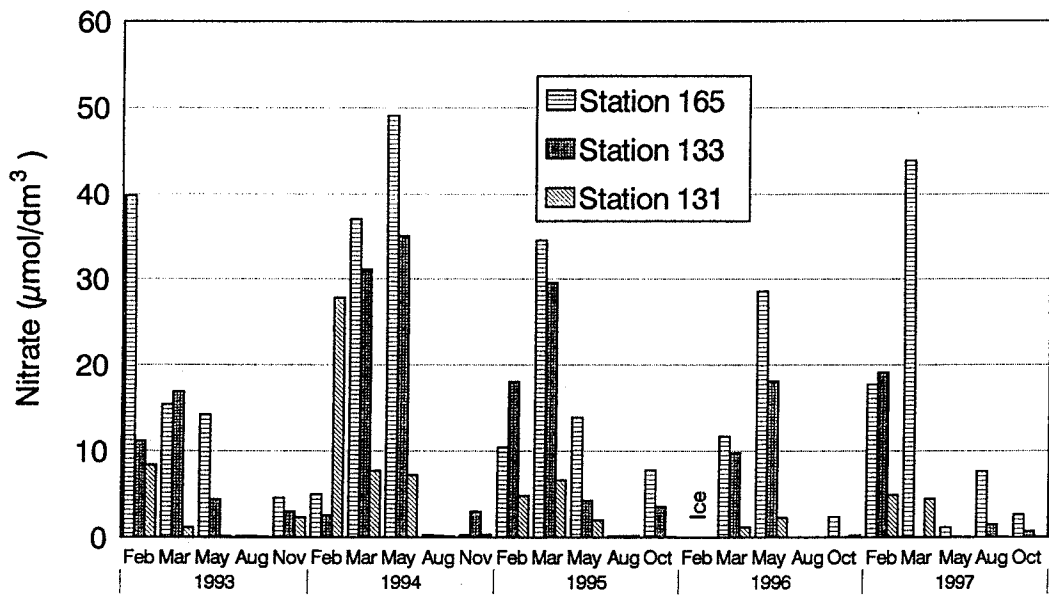


Abb. 22  
 Jahreszeitliche Verteilungen der Nitratkonzentration für die Jahr 1993–1997 an drei Stationen in der Pommerschen Bucht (vgl. Abb. 18; Stat. 165 ≈ OB 4)

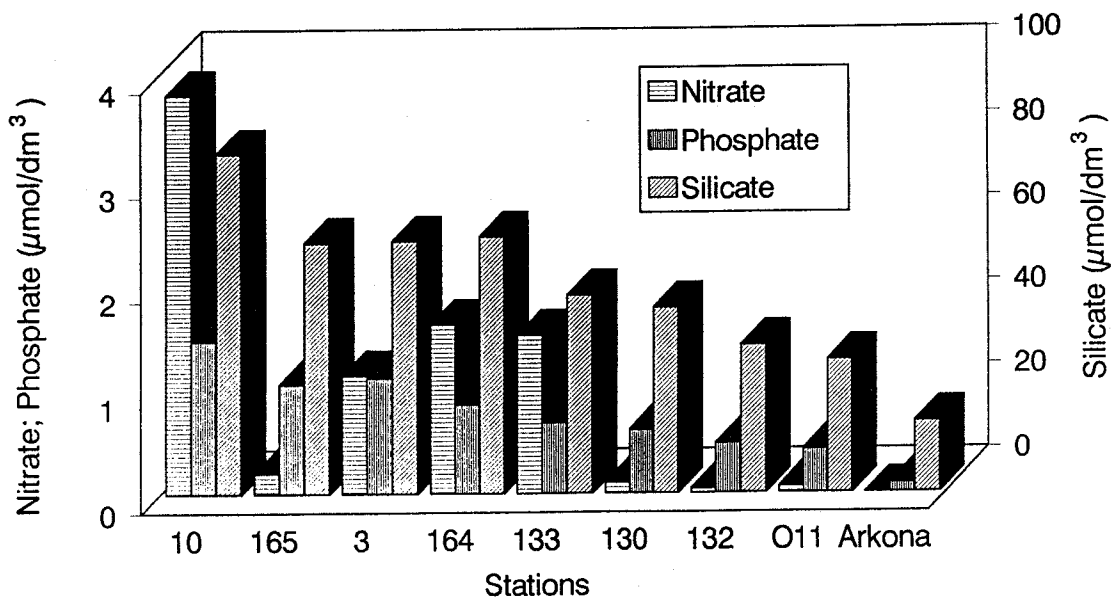


Abb. 23  
 Nährstoffkonzentrationen längs der Ausstromfahne der Oder am 12. August 1997 (vgl. Abb. 18; Stat. 165 ≈ OB 4)

mehrere tausend Tonnen organischen Materials zusätzlich in die Pommersche Bucht eingetragen wurden. Über die chemische Zusammensetzung dieses organischen Materials liegen bisher keine Erkenntnisse vor. Auch ist bisher nicht bekannt, welchen Modifikations- und Abbauprozessen die eingetragenen Stoffe unterliegen. Ein Effekt auf die zentralen Teile der Ostsee, insbesondere auf die Arkonasee und die Bornholmsee, läßt sich anhand der vorliegenden Daten jedoch nicht erkennen (Abb. 17 und 24).

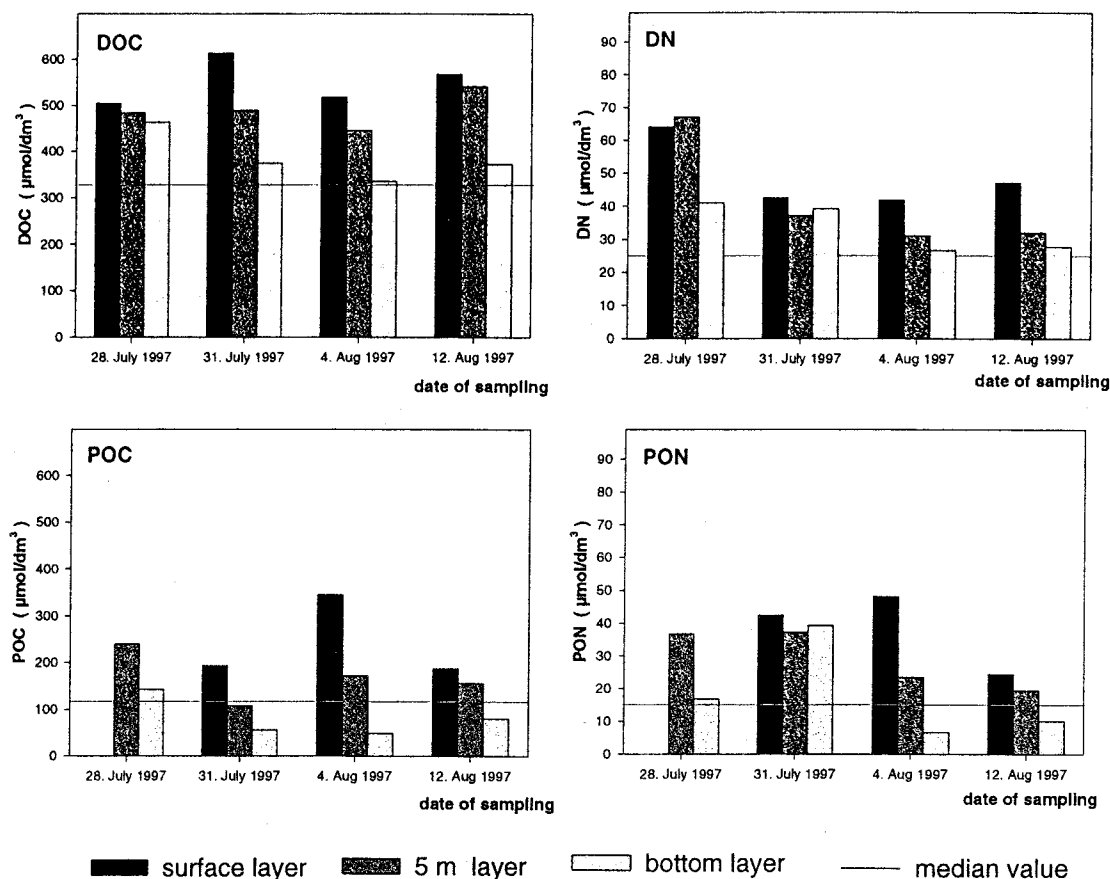


Abb. 24

Konzentrationen gelöster (DOC) und partikulärer organischer Kohlenstoffverbindungen (POC) sowie von gelöstem Gesamtstickstoff (DN) und des partikulären organischen Stickstoffs (PON) während des Sommerhochwassers der Oder an der Stat. 10 (vgl. Abb. 18)

### 5.3 Schlußfolgerungen

Signifikante Auswirkungen des Oderhochwassers auf die Ostsee waren im wesentlichen nur lokal in der Pommerschen Bucht zu beobachten. Die gemessenen Konzentrationen der meisten anorganischen Nährstoffe waren in der gleichen Größenordnung wie sie bei früheren Untersuchungen zu Zeiten verstärkten Oderausstroms im Frühjahr zu beobachten waren. Signifikant erhöhte Konzentrationen wurden aber für Silikat sowie für organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen gefunden. Auf Grund der starken vertikalen Schichtung und der

langen Ruhigwetterperiode kam es im Bereich der Ausstromfahne der Oder ab Mitte August zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten, die vor Usedom zu einer starken Schädigung der benthischen Lebensgemeinschaft führte. Langzeiteffekte der während des Hochwassers eingetragenen Nährstoffmengen auf das Ökosystem sind weder für die Pommersche Bucht noch für die Ostsee zu erwarten.

## 6. Diskussion

Während der Winter 1996/97 in der westlichen und zentralen Ostsee als mäßig charakterisiert werden muß (STRÜBING, 1996) - was auch durch die fast exakt dem langjährigen Mittelwert entsprechende Kältesumme von 124,6 K für Warnemünde zum Ausdruck kommt -, kann der Winter im Bottnischen, Finnischen und Rigaer Meerbusen (vgl. Abb. 9) nur als schwach eingestuft werden (STRÜBING, 1996; LUNDQVIST, ASP, 1997).

Der Sommer 1997 war dagegen außergewöhnlich warm. Im Juni begann ein Witterungsabschnitt, der an der Wetterstation Warnemünde zu monatlichen Wärmesummen führte, die erheblich über dem langjährigen Erwartungswert lagen. Durch die extreme Wärmeperiode im August, der mit einer Wärmesumme von 173 K mehr als das Vierfache des langjährigen Mittelwertes erreichte (vgl. Tabelle 1), muß der Sommer 1997 als wärmster Sommer seit 1890 charakterisiert werden (R. TIESEL, pers. Mitt.). Der August 1997 wurde als heißester Sommermonat seit wenigstens 1947 registriert und lag an der meteorologischen Station Arkona 4,7 K über dem langjährigen Monatsmittel. Er übertraf in der Wärmesumme den Monat Juli 1994 erheblich, die Monate August 1975 und 1995 sogar um etwa das 1,5fache (vgl. Tabelle 3). Der Herbst war zu kühl im Vergleich zum langjährigen Mittel. Im Jahresmittel 1997 war die Abweichung vom langjährigen Erwartungswert mit 0,8 K aber nur gering.

Der Ablauf des Sommers 1997 kann mit dem des Sommers 1975 verglichen werden, wobei die Erwärmung 1975 erst im Juli einsetzte. Vergleicht man die Wärmesummen, dann wurden in den letzten fünf Jahren die vier wärmsten Sommer seit wenigstens 1947 beobachtet (vgl. Tabelle 3).

Diese außergewöhnlich hohen Lufttemperaturen verbunden mit windschwachen Wetterlagen und intensiver Sonneneinstrahlung führten in der westlichen und zentralen Ostsee im August zu Temperaturen von teilweise mehr als 23 °C an der Oberfläche (vgl. Abb. 6A, 9 und 10) und von > 15 °C in einer 20–25 m mächtigen Schicht (vgl. Abb. 12). In einer 10 m mächtigen Deckschicht traten positive Anomalien bis zu 6 K im Arkonabecken, von 5 bis 6 K im Bornholmbecken und von etwa 4 K im gesamten Gotlandbecken auf, wenn man die langjährigen von MATTHÄUS (1977) berechneten Mittelwerte zugrunde legt. Damit haben die Wassertemperaturen im August 1997 die Werte des „Jahrhundertssommers“ 1975 noch übertroffen (MATTHÄUS et al., 1976). In diesem Tiefenbereich, in dem die Algen ausreichend mit Licht versorgt waren, wurden im August Sauerstoff-Sättigungswerte um 110 % gemessen.

Im Jahre 1997 erfolgte kein Salzwassereinbruch. Die Auswirkungen des sehr intensiven Einstroms Anfang November 1996 auf die bodennahen Wasserschichten des östlichen Gotlandbeckens blieben nur gering, da das salz- und sauerstoffreiche Wasser zum größten Teil



im Bornholmbecken blieb. Auch markante Einstromereignisse Ende März bis Mitte April trugen im wesentlichen nur zur Erneuerung des Tiefenwassers im Bornholmbecken bei.

Insgesamt war das Jahr 1997 im Bereich der Darßer Schwelle ganzjährig durch eine ausgeprägte ästuarine Zirkulation gekennzeichnet, die lediglich durch zwei lang anhaltende barotrope Ausstromereignisse im Mai und November unterbrochen wurde (vgl. Abb. 8).

Seit Beginn der kontinuierlichen Messungen im Jahre 1992 war die thermische Schichtung an der Darßer Schwelle im Mittel im Jahre 1997 am stärksten ausgeprägt. Auch eine ausgeprägte mittlere Schichtung des Salzgehaltes wurde beobachtet, die auf einen intensiven baroklinen Anteil des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee hinweist. Der Salzgehalt in der bodennahen Schicht lag von Januar bis Anfang November häufig über 15 PSU (vgl. Abb. 6B). In der bodennahen Schicht herrschte von Ende Mai bis Anfang November anhaltender Einstrom (Abb. 8), der durch pulsformige Salzwassereinschübe noch verstärkt wurde.

Im Zusammenhang mit der langen schwachwindigen Wetterperiode im Juli/August war der Kompensationsstrom über die Schwellen besonders kräftig ausgeprägt, der salzreiches aber sauerstoffarmes Wasser in die Ostsee transportiert hat (vgl. auch Abb. 6B und 7). Mit den ersten Herbststürmen im September und Anfang Oktober 1997 ist weiteres warmes und salzreiches Wasser in die Ostsee gedrückt worden (vgl. Abb. 6A,B), das Ende Oktober mit Temperaturen  $> 14,5$  °C und Salzgehalten  $> 18,5$  PSU im Arkonabecken und Temperaturen von  $11,5 - 13$  °C und Salzgehalten bis 18 PSU im Bornholmbecken beobachtet wurde. Dadurch füllte sich das Bornholmbecken zunehmend mit salzreichem Wasser und erreichte Ende Oktober im gesamten Becken mit Tiefen  $> 60$  m Salzgehalte  $> 15$  PSU (vgl. Abb. 13). Die Ende Oktober gemessenen Temperaturen lagen im Tiefenwasser des Arkonabeckens um etwa 2 K (MATTHÄUS, 1975, 1977) und im Bornholmbecken um etwa 3 bis 4 K (MATTHÄUS, 1977; FRANCK, 1985) über den langjährigen Mittelwerten, was auf die extreme Erwärmung im August zurückzuführen ist. Derartig hohe Temperaturen wurden im Tiefenwasser des Bornholmbeckens in diesem Jahrhundert nur selten erreicht (vgl. BERGSTRÖM, MATTHÄUS, 1996).

Zwischen Kattegat und zentraler Ostsee erfolgt entsprechend der Beckenanordnung eine kaskadenförmige Transformation des einströmenden Tiefenwassers, das zwischen Bornholmbecken und östlichen Gotlandbecken seine stärkste Modifikation erfährt (KÖUTS, OMSTEDT, 1993). Ende Oktober 1997 war das Bornholmbecken so weit mit salzreichem Wasser aufgefüllt, daß Wasser mit Salzgehalten von 14 bis 15 PSU, Temperaturen  $> 10$  °C und Sauerstoffgehalten von bis zu  $2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  über die Stolper Schwelle in die zentrale Ostsee abfließen konnte (vgl. Abb. 12-14). Das Überströmen kann durch günstige Windbedingungen (KRAUSS, BRÜGGE, 1991) sowie Seiches und interne Wellen (JAKOBSEN, 1996) noch verstärkt werden, so daß im östlichen Gotlandbecken im Jahre 1998 ein Anstieg der Temperaturen im Tiefenwasser und der Abbau des Schwefelwasserstoffs bis hin zu oxischen Bedingungen bei nur geringen Veränderungen im Salzgehalt des Tiefenwassers zu erwarten war, was Untersuchungen im Februar und März 1998 bereits gezeigt haben. Ähnliche Verhältnisse wurden im Herbst 1993/Frühjahr 1994 beobachtet (vgl. NEHRING et al., 1995b). Bei derartigen Bedingungen spielt sicher das über die Drogden Schwelle in die Ostsee gelangende Wasser eine große Rolle (vgl. LINTRUP, JAKOBSEN, 1998), weil so auf kurzem Weg salz- und sauerstoffreiches Wasser schnell vom Kattegat über das Tiefenwasser des Bornholmbeckens hinweg in die zentrale Ostsee vordringen kann.

Der Ende 1996 im Tiefenwasser des Bornholmbeckens beobachtete Schwefelwasserstoff war im Januar 1997 oxidiert. Wiederholte Einstromereignisse geringerer Intensität führten zu variierenden Sauerstoffgehalten (Abb. 14), die im 80 m Horizont zwischen  $2,6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im Mai und  $0,14 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im September schwankten. Seit 1996 ist ein starker Anstieg im Jahresmittelwert des Sauerstoffgehalts zu beobachten (vgl. Tabelle 6), was für einen verstärkten Einstrom von Tiefenwasser spricht. Der Sauerstoffgehalt, der im Herbst 1997 in Grundnähe teilweise nochmals Werte  $> 2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  erreichte (vgl. Abb. 14), ging gegen Jahresende aber wieder auf Werte deutlich unter  $1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  zurück, jedoch herrschten das ganze Jahr hindurch im Tiefenwasser des Bornholmbeckens oxische Verhältnisse (vgl. Abb. 1).

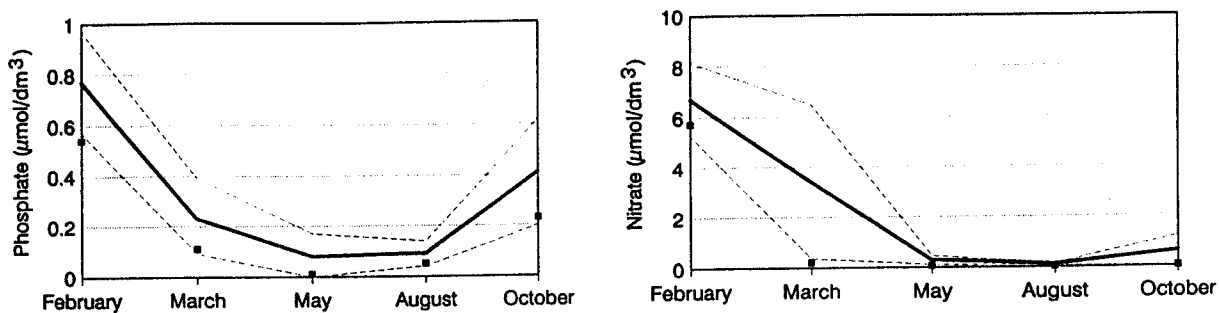
In mittleren Tiefen breitete sich das im Jahre 1997 eingeflossene Wasser entsprechend seiner Dichte bis in die zentrale Ostsee aus und erreichte über das Färö- und Landsorttief auch das Karlsötief, wo es zu einem Anstieg im Salzgehalt führte. Die Stagnationsperiode, die im Jahre 1995 begann, führte bereits im August und November 1996 zu einer 30–40 m mächtigen Schwefelwasserstoffschicht im Tiefenwasser des Gotland- und Färötiefs. Die schwefelwasserstoffhaltige Schicht dehnte sich bis Ende 1996 auf den gesamten Tiefenbereich unterhalb 175 m aus. Diese Entwicklung wurde von Februar bis Mai 1997 kurzzeitig durch Einstromprozesse unterbrochen. Jedoch bereits ab August 1997 hatte sich in den Tiefenbereichen des östlichen Gotlandbeckens unterhalb von etwa 150 m wieder Schwefelwasserstoff gebildet (vgl. Abb. 14). Wie in den Vorjahren wurde auch 1997 im westlichen Gotlandbecken kein Schwefelwasserstoff gemessen (Abb. 1).

Die Winterkonzentrationen der anorganischen Nährstoffe zeigen das bereits für 1995 und 1996 beschriebene Verhalten. Während sich beim Phosphat die abnehmende Tendenz in allen untersuchten Seegebieten fortsetzt, bleiben die Nitratkonzentrationen noch hoch, was auf unterschiedliche Quellen dieser Nährstoffe schließen läßt. Mit der im Frühjahr einsetzenden Phytoplanktonentwicklung sanken die Nährstoffkonzentrationen und erreichten im Sommer Werte, die an der analytischen Nachweisgrenze lagen. Ähnlich wie in den vorangegangenen Jahren setzte die herbstliche Nitratakkumulation recht spät ein, während die Phosphatzunahme dem langjährigen Mittel entsprach.

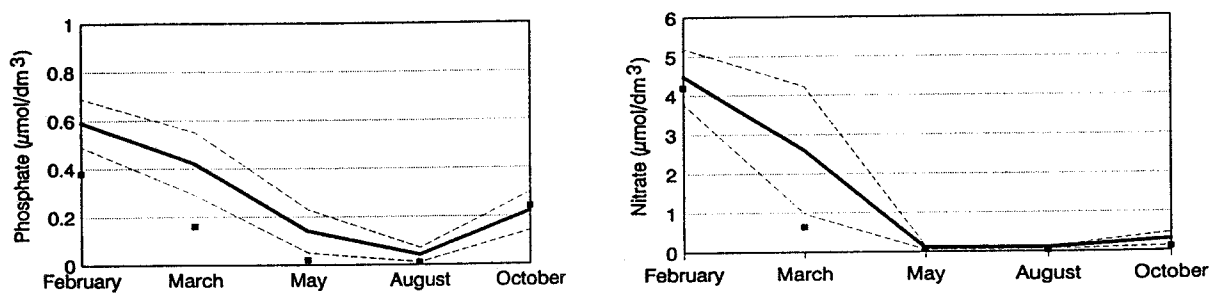
Besonders deutlich werden die Veränderungen des Nährstoffgehaltes im Jahre 1997 bei einem Vergleich mit dem 10jährigen Mittel 1987–1996 (Abb. 25). In allen untersuchten Seegebieten liegen die Phosphatwerte klar unter dem Mittelwert, häufig sogar an der unteren Grenze der Standardabweichung des langjährigen Mittels. Besonders wichtig sind diese Befunde für die winterliche durchmischte Deckschicht (vgl. Tabelle 7). Auch beim Nitrat sind für 1997 erste Anzeichen eines leichten Rückganges zu beobachten, wenngleich diese Tendenz noch nicht so ausgeprägt wie beim Phosphat ist.

Die Variabilität der Nährstoffkonzentrationen im Tiefenwasser ist sehr stark an die herrschenden Redoxbedingungen geknüpft (NAUSCH, NEHRING, 1994; NEHRING et al., 1995c). In Gegenwart von Sauerstoff liegen die anorganischen Stickstoffverbindungen nahezu ausschließlich als Nitrat vor. Beim Auftreten von Schwefelwasserstoff verschwindet das Nitrat (Denitrifikation), die Mineralisation organischer Substanz führt zur Anreicherung von Ammonium, das auf Grund des fehlenden Sauerstoffs nicht nitrifiziert werden kann. Mineralisation und Remobilisierung aus den

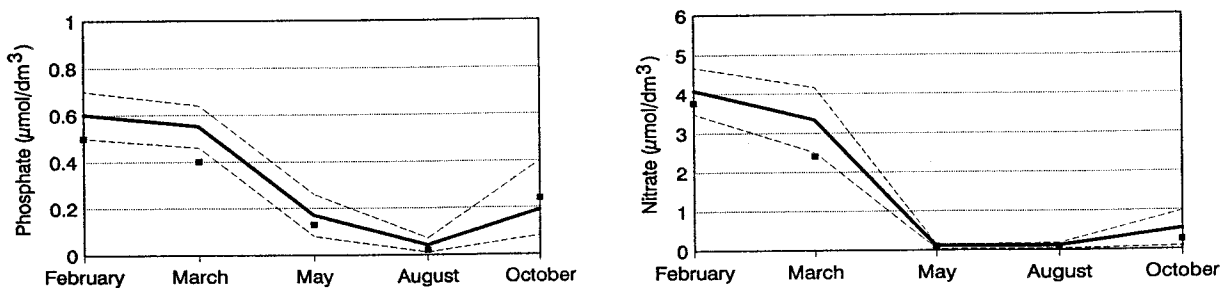
## Mecklenburg Bight



## Arkona Basin



## Bornholm Basin



## Eastern Gotland Basin

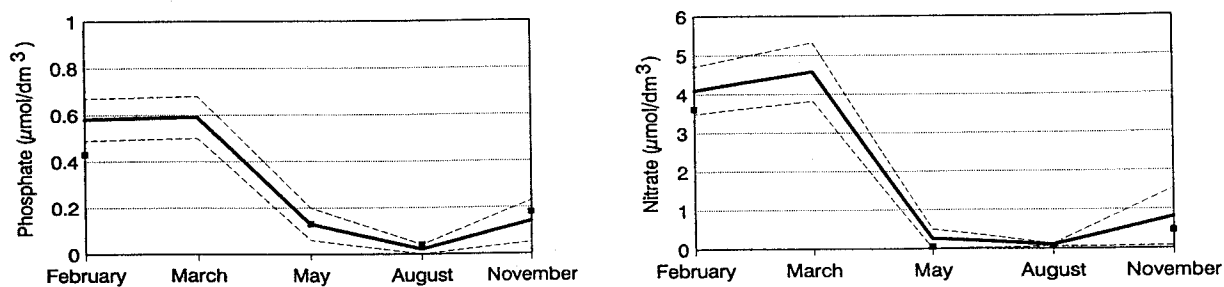


Abb. 25

Vergleich der für das Jahr 1997 (■) über die verschiedenen Seegebiete gemittelten Phosphat- und Nitratkonzentrationen im Oberflächenwasser (0-10 m Tiefe) mit dem zehnjährigen Mittel 1987-1996

Sedimenten führt unter anoxischen Bedingungen zur Erhöhung des Phosphatgehaltes, unter oxischen Bedingungen kommt es zu einer teilweisen Bindung des Phosphates und anschließender Ausfällung und Sedimentation. Diese Veränderungen erfolgen sowohl auf langfristigeren Zeitskalen (NEHRING et al., 1995c), können aber auch im Zusammenspiel mit advektiven Wasseraustauschprozessen innerhalb weniger Stunden beobachtet werden (NAUSCH, NEHRING, 1994).

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Betrachtung der Repräsentanz der gewonnenen Meßwerte. In Tabelle 10 ist ein Vergleich der vom IOW auf ausgewählten Stationen gemessenen Nährstoffkonzentrationen im Tiefenwasser mit schwedischen Daten zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen eine weitgehende Übereinstimmung. Lediglich im Bereich des Gotlantiefs, das 1997 durch hohe Variabilitäten gekennzeichnet war (vgl. Abschnitte 4.3 und 4.4) sind die Differenzen etwas größer.

Anhand der Beobachtungen der letzten 4 Jahre lassen sich für partikulär gebundenen Kohlenstoff (POC) und Stickstoff (PON) deutliche saisonale Zyklen erkennen, die durch zwischenjährliche Schwankungen überlagert werden (vgl. Abb. 17). Im küstennahen Bereich werden diese Variabilitäten durch hydrodynamische Einflüsse verstärkt. In den zentralen Teilen der Ostsee sind in den Sommermonaten um  $50 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  POC bzw.  $5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  PON zu erwarten, während die Werte im Winter auf unter  $5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  POC bzw.  $0,5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  PON zurückgehen. Demgegenüber unterliegt die Konzentration gelöster organischer Kohlenstoffverbindungen (DOC) relativ geringen saisonalen und zwischenjährlichen Schwankungen. Die mittlere Konzentration in den zentralen Teilen der Ostsee beträgt um  $300 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ .

**Tabelle 10** Vergleich der 1997 vom IOW auf ausgewählten Stationen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee gemessenen mittleren Nährstoffkonzentrationen mit den Jahresmittelwerten 1997 aus schwedischen Messungen (SMHI) (Angaben in  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ; in Klammern Anzahl der Meßwerte)

Station	Tiefe/m		Phosphat	Nitrat	Ammonium
213 (Bornholmtief)	80	IOW	$2,66 \pm 0,97$ ( 5)	$10,2 \pm 1,9$ ( 5)	$0,2 \pm 0,1$ ( 5)
		SMHI	$2,74 \pm 0,82$ (11)	$9,9 \pm 0,8$ (11)	$0,2 \pm 0,2$ ( 8)
271 (Gotlantief)	200	IOW	$4,47 \pm 0,54$ ( 4)	$0,5 \pm 0,9$ ( 4)	$3,5 \pm 1,4$ ( 4)
		SMHI	$4,00 \pm 0,36$ ( 8)	$0,2 \pm 0,4$ ( 8)	$2,8 \pm 0,8$ ( 4)
286 (Färötief)	150	IOW	$3,40 \pm 0,45$ ( 4)	$2,4 \pm 2,6$ ( 4)	-
		SMHI	$3,23 \pm 0,25$ (10)	$2,5 \pm 2,7$ (10)	-
284 (Landsorttief)	400	IOW	$2,97 \pm 0,44$ ( 4)	$11,2 \pm 1,1$ ( 4)	$0,2 \pm 0,1$ ( 4)
		SMHI	$3,04 \pm 0,10$ ( 8)	$10,7 \pm 0,7$ ( 8)	$0,1 \pm 0,1$ ( 6)
245 (Karlsötief)	100	IOW	$3,23 \pm 0,73$ ( 4)	$10,6 \pm 0,5$ ( 4)	$0,3 \pm 0,1$ ( 4)
		SMHI	$3,19 \pm 0,15$ (10)	$10,7 \pm 0,5$ (10)	$0,1 \pm 0,1$ ( 7)

Signifikante Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf die Ostsee waren nur lokal in der Pommerschen Bucht zu beobachten. Die gemessenen Konzentrationen der meisten anorganischen Nährstoffe waren in der gleichen Größenordnung wie sie bei früheren Untersuchungen zu Zeiten verstärkten Oderaustroms im Frühjahr zu beobachten waren (vgl. Abb. 22). Signifikant erhöhte Konzentrationen wurden aber für Silikat sowie für organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen gefunden, wobei der Gehalt an gelöstem und partikulärem organischen Material etwa doppelt so hoch war wie der bisher in diesem Gebiet beobachtete Wert (vgl. Abb. 24). Die Frage, welchen Veränderungen das organische Material terrigenen Ursprungs unterliegt und welche langfristigen Veränderungen zu erwarten sind, läßt sich bisher nicht beantworten.

Die starke Schichtung im Bereich der Ausstromfahne und die lange sonnenscheinreiche Ruhigwetterperiode verhinderten weitgehend den Vertikalaustausch und führten zur Bildung von Schwefelwasserstoff in den bodennahen Schichten, so daß es in größeren Gebieten vor Usedom zu einer starken Schädigung der benthischen Lebensgemeinschaft kam. Da eine ähnliche Situation bereits im Sommer 1994 während einer dreiwöchigen Ruhigwetterperiode beobachtet wurde (NEHRING et al., 1995b; KUBE, POWILLEIT, 1997), muß die im August 1997 beobachtete Situation auch unter dem Aspekt außergewöhnlicher meteorologischer Bedingungen gesehen werden und kann nicht ausschließlich mit dem Oderhochwasser in Verbindung gebracht werden.

Langzeiteffekte der während des Sommerhochwassers der Oder eingetragenen Nährstoffmengen auf das Ökosystem sind weder für die Pommersche Bucht noch für die Ostsee zu erwarten. Messungen in den angrenzenden Seegebieten der Arkonasee und der Bornholmsee zeigten keine signifikanten Abweichungen von den bisher beobachteten Werten.

### **Danksagung**

Die Autoren danken den am Ostseeüberwachungsprogramm beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde für die Durchführung der Messungen sowie Kapitänen und Besatzungen der Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ und „A. v. Humboldt“ für die Unterstützung und den Einsatz bei den Meßfahrten des Jahres 1997. Herrn GERD SCHENKEL danken wir für die gewissenhafte Vorbereitung und Durchführung der gesamten technisch-organisatorischen Arbeiten der Meßfahrten. Herrn BARRY BROMAN, Schwedisches Meteorologisches und Hydrologisches Institut (SMHI) Norrköping, gilt unser Dank für die Überlassung von Wasserstandsdaten sowie dem Ozeanographischen Labor des SMHI in Göteborg für hydrographisch-chemische Beobachtungsdaten ausgewählter Ostseestationen. Dem SMHI danken wir darüber hinaus für die Genehmigung zur Verwendung von Oberflächentemperaturkarten der Ostsee. Frau GISELA TSCHERSICH, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg, sind wir dankbar für die Bereitstellung von Satellitendaten. Der Deutsche Wetterdienst stellte uns Datenmaterial der Wetterstationen Arkona und Warnemünde zur Verfügung.

### Literaturverzeichnis

- BERGSTRÖM, S., CARLSSON, B., 1994: River runoff to the Baltic Sea: 1950 - 1990. - *Ambio* **23**, 280-287.
- BERGSTRÖM, S., MATTHÄUS, W., 1996: Meteorology, hydrology and hydrography. In: Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; Background Document. - *Baltic Sea Environ. Proc.* **64B**, 9-18.
- V. BODUNGEN, B., GRAEVE, M., KUBE, J., LASS, H. U., MEYER-HARMS, B., MUMM, N., NAGEL, K., POLLEHNE, F., POWILLEIT, M., RECKERMANN, M., SATTLER, C., SIEGEL, H., WODARG, D., 1995: Stoff-Flüsse am Grenzfluß - Transport- und Umsatz-Prozesse im Übergangsbereich zwischen Oderästuar und Pommerscher Bucht (TRUMP). - *Geowiss.* **13**, 479-485.
- DWD, 1997: Monatlicher Witterungsbericht. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, **45**, H. 1-13.
- FRANCK, H., 1985: Zur jahreszeitlichen Variation des thermohalinen Geschehens im westlichen Bornholmbecken. - *Beitr. Meereskunde*, Berlin, **53**, 3-16.
- FUCHS, T., RAPP, J., 1997: Zwei außergewöhnlich starke Regenepisoden als Ursache des Oderhochwassers im Juli 1997. - *Beilage zur Wetterkarte des DWD*, **158/1997**: 1-4.
- GRANELI, E., WALLSTRÖM, K., LARSSON, U., GRANELI, W., ELMGREN, R., 1990: Nutrient limitation of primary production in the Baltic Sea area. - *Ambio* **19**, 142-151.
- 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, 1996: Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; Background Document. - *Baltic Sea Environ. Proc.* **64B**, 1-252.
- HUMBORG, C., NAUSCH, G., NEUMANN, T., POLLEHNE, F., WASMUND, N., 1998: The exceptional Oder flood in summer 1997 - the fate of Oder discharges in the Baltic Sea. - *Dt. Hydrogr. Z.* (in Vorbereitung).
- JAKOBSEN, F., 1996: The dense water exchange of the Bornholm Basin in the Baltic Sea. - *Dt. Hydrogr. Z.* **48**, 161-174.
- KÖUTS, T., OMSTEDT, A., 1993: Deep water exchange in the Baltic Proper. - *Tellus*, **45A**, 311-324.
- KRAUSS, W., BRÜGGE, B., 1991: Wind-produced water exchange between the deep basins of the Baltic Sea. - *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 373-384.
- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., 1996: The IOW - Baltic stations Darss Sill & Oder-Bank - part of the German Marine Monitoring Network - MARUM. Baltic Marine Science Conference, Rønne, Denmark, October 22-26, 1996 (Paper; Publikation in: Symposium Proceedings des ICES, 1997).

- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., KOCH, M., KNUTZ, T., 1998: Autonomous instrumentation carrier (APIC) with acoustic transmission for shallow water profiling. - *Oceanology International 98: The Global Ocean* (im Druck).
- KUBE, J., POWILLEIT, M., 1997: Factors controlling the distribution of *Marenzelleria cf. viridis*, *Pygospio elegans* and *Streblospio shrubsoli* (Polychaeta: Spionidae) in the southern Baltic Sea, with special attention for the response to an event of hypoxia. - *Aquatic Ecology* (im Druck).
- 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*).
- LAUN, 1997a: 3. Bericht zu den Auswirkungen des Oder-Hochwassers auf das Kleine Haff und die Pommersche Bucht (Zeitraum 07. 08.-13. 08. 1997). - Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Stralsund, 15. 8. 1997, 1-9.
- LAUN, 1997b: 4. Bericht zu den Auswirkungen des Oder-Hochwassers auf das Kleine Haff und die Pommersche Bucht (Zeitraum 14. 08.-25. 08. 1997). - Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Stralsund, 29. 8. 1997, 1-8.
- LAUN, 1998: Gewässergütebericht 1996/97 - Oberirdische Gewässer, Küstengewässer und Grundwasser. Hrsg.: Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin (in Vorbereitung).
- LINTRUP, M. J., JAKOBSEN, F., 1998: The importance of major Baltic inflows? - *J. Mar. Systems* (im Druck).
- LENZ, W., 1971: Monatskarten der Temperatur der Ostsee. - *Dt. Hydrogr. Z., Erg.-H. B*, **11**, 1-148.
- LUNDQVIST, J.-E., ASP, I., 1997: A summary of the ice season and icebreaking activities 1996/97. - *SMHI-Sjöfartsverket, Norrköping 1997*, 1-49.
- 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 im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee. - *Beitr. Meereskunde, Berlin*, **41**, 61-94.
- MATTHÄUS, W., STURM, M., FRANCKE, E., 1976: Einige Aspekte des thermischen Regimes der Ostsee im Sommer 1975 am Beispiel der Bornholmsee. - *Z. Meteorol.*, **26**, 360-372.
- MATTHÄUS, W., FRANCK, H., 1992: Characteristics of major Baltic inflows - a statistical analysis. - *Cont. Shelf Res.*, **12**, 1375-1400.
- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1996: The Baltic Sea in 1996 - continuation of stagnation and decreasing phosphate concentrations. - *Dt. Hydrogr. Z.* **48**, 161-174.

- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1997: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1996. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **24**, 1-49.
- MOHRHOLZ, V., LASS, H. U., 1998: Transports between Oderhaff and Pomeranian Bight - a simple barotropic box model. - J. Mar. Syst. (im Druck).
- NAUSCH, G., NEHRING, D., 1994: Nutrient dynamics in the Gotland Deep - reactions to the major salt water inflow in 1993. - Proc. 19th Conf. Baltic Oceanographers, Sopot 1994, **2**, 551-559.
- NAUSCH, G., NEHRING, D., 1996: Baltic proper, Hydrochemistry. In: Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993; Background Document. - Baltic Sea Environ. Proc. **64B**, 80-85.
- NAUSCH, G., NEHRING, D., ÆRTEBERG, G., 1998: Anthropogenic nutrient load of the Baltic Sea. - Limnologica (im Druck).
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., 1991: Current trends in hydrographic and chemical parameters and eutrophication in the Baltic Sea. - Int. Revue ges. Hydrobiol., **76**, 297-316.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., 1991/1992: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1991. - Dt. Hydrogr. Z. **44**, 217-238.
- 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. Hydrogr. Z. **47**, 319-327.
- NEHRING, D., MATTHÄUS, W., LASS, H.-U., NAUSCH, G., NAGEL, K., 1996: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1995. - Meereswiss. Ber., Warnemünde, **16**, 1-43.



- SIEGEL, H., GERTH, M., SCHMIDT, T., 1996: Water exchange in the Pomeranian Bight investigated by satellite data and shipborne measurements. *Cont. Shelf Res.*, **16**, 1793-1817.
- SIEGEL, H., MATTHÄUS, W., BRUHN, R., GERTH, M., NAUSCH, G., NEUMANN, T., POHL, C., 1998a: The exceptional Oder flood in summer 1997 - distribution patterns of the Oder discharge in the Pomeranian Bight. - *Dt. Hydrogr. Z.* (in Vorbereitung).
- SIEGEL, H., GERTH, M., TIESEL, R., TSCHERSICH, G., 1998b: Seasonal and interannual variations in sea surface temperature of the Baltic Sea from 1990 - 1997. - *Dt. Hydrogr. Z.* (in Vorbereitung).
- SMHI, 1997: Ice conditions and sea surface temperatures. Maps No. 1 - 102, Norrköping.
- STRÜBING, K., 1996: The ice winter of 1996/97 on the German coasts between Ems and Oder, with a survey of the entire Baltic area. - *Dt. Hydrogr. Z.* **48**, 185-195.
- TIESEL, R., 1998: Temperatursummen der Lufttemperaturen an der Wetterstation Warnemünde im Jahre 1997. - Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Warnemünde (unveröff.).
- TRUMP, 1998: Transport- und Umsatzprozesse in der Pommerschen Bucht (TRUMP) 1994- 1996. Abschlußbericht, IOW Warnemünde, 1-32 (unveröff.).

# 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 mesoskalier Strom- und Massenfelder im Ozean (On numerical vorticity analysis of mesoscale current and mass fields in the ocean)
- 4 (1992) Lemke, Wolfram; Lange, Dieter; Endler, Rudolf (Eds.):  
Proceedings of the Second Marine Geological Conference - The Baltic, held in Rostock from October 21 to October 26, 1991
- 5 (1993) Endler, Rudolf; Lackschewitz, Klas (Eds.):  
Cruise Report RV "Sonne" Cruise SO82, 1992
- 6 (1993) Kulik, Dmitri A.; Harff, Jan:  
Physicochemical modeling of the Baltic Sea water-sediment column: I. Reference ion association models of normative seawater and of Baltic brackish waters at salinities 1-40 ‰, 1 bar total pressure and 0 to 30°C temperature  
(system Na-Mg-Ca-K-Sr-Li-Rb-Cl-S-C-Br-F-B-N-Si-P-H-O)
- 7 (1994) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans-Ulrich; Nausch, Günther:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1993
- 8 (1995) Hagen, Eberhard; John, Hans-Christian:  
Hydrographische Schnitte im Ostrandstromsystem vor Portugal und Marokko 1991 - 1992
- 9 (1995) Nehring, Dietwart; Matthäus, Wolfgang; Lass, Hans Ulrich; Nausch, Günther; Nagel, Klaus:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1994  
Seifert, Torsten; Kayser, Bernd:  
A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea
- 10 (1995) Schmidt, Martin:  
Analytical theory and numerical experiments to the forcing of flow at isolated topographic features
- 11 (1995) Kaiser, Wolfgang; Nehring, Dietwart; Breuel, Günter; Wasmund, Norbert; Siegel, Herbert; Witt, Gesine; Kerstan, Eberhard; Sadkowiak, Birgit:  
Zeitreihen hydrographischer, chemischer und biologischer Variablen an der Küstenstation Warnemünde (westliche Ostsee)

- Schneider, Bernd; Pohl, Christa:  
Spurenmetallkonzentrationen vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns
- 12 (1996) Schinke, Holger:  
Zu den Ursachen von 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
- 25 (1997) v. Bodungen, Bodo; Hentzsch, Barbara (Herausgeber):  
Neue Forschungslandschaften und Perspektiven der Meeresforschung - Reden und Vorträge zum Festakt und Symposium am 3. März 1997.
- 26 (1997) Lakaschus, Sönke:  
Konzentrationen und Depositionen atmosphärischer Spurenmetalle an der Küstenstation Arkona
- 27 (1997) Löffler, Annetrin:  
Die Bedeutung von Partikeln für die Spurenmetallverteilung in der Ostsee, insbesondere unter dem Einfluß sich ändernder Redoxbedingungen in den zentralen Tiefenbecken
- 28 (1998) Leipe, Thomas; Eidam, Jürgen; Lampe, Reinhard; Meyer, Hinrich; Neumann, Thomas; Osadczuk, Andrzej; Janke, Wolfgang; Puff, Thomas; Blanz, Thomas; Gingele, Franz Xaver; Dannenberger, Dirk; Witt, Gesine:  
Das Oderhaff. Beiträge zur Rekonstruktion der holozänen geologischen Entwicklung und anthropogenen Beeinflussung des Oder-Ästuars.

29 (1998)

Matthäus, Wolfgang; Nausch, Günther; Lass, Hans Ulrich; Nagel, Klaus;  
Siegel, Herbert:  
Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1997