

Meereswissenschaftliche Berichte

MARINE SCIENTIFIC REPORTS

No. 2

**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**

by

Dietwart Nehring

**Aktuelle Trends hydrographischer und chemischer
Parameter in der Ostsee, 1958 - 1989**

**Topical Trends of Hydrographic and Chemical
Parameters in the Baltic Sea, 1958 - 1989**

by

Dietwart Nehring and Wolfgang Matthäus

**Institut für Meereskunde
Warnemünde
1990**

DIE HYDROGRAPHISCH-CHEMISCHEN BEDINGUNGEN IN DER
WESTLICHEN UND ZENTRALEN OSTSEE VON 1979 - 1988
- EIN VERGLEICH

Von Dietwart Nehring
Institut für Meereskunde, Warnemünde

<u>I n h a l t</u>	Seite
1. Zusammenfassung	3
2. Summary	3
3. Einleitung	4
4. Die Lufttemperaturen	5
5. Die Wassertemperaturen	7
6. Der Salzgehalt	9
7. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff	11
8. Phosphat und Nitrat	13
9. Literaturverzeichnis	16
10. Abbildungsanhang	18
10.1 Stationskarten und Horizontalverteilung von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht	19
10.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur	21
10.3 Vertikalverteilung des Salzgehalts	26
10.4 Vertikalverteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts	31
10.5 Vertikalverteilung der Phosphatkonzentration	36
10.6 Vertikalverteilung der Nitratkonzentration	41

1. Zusammenfassung

Die Verteilung der Wassertemperatur (Abb. 2.11 - 2.20), des Salzgehalts (Abb. 3.11 - 3.20), der Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentration (Abb. 4.11 - 4.20) sowie des Phosphat- (Abb. 5.11 - 5.20) und Nitratgehalts (Abb. 6.11 - 6.20) wird in Vertikalschnitten, die dem Talweg durch die eigentliche Ostsee folgen und den Zeitraum 1979 - 1988 umfassen, untersucht.

Die meteorologischen Bedingungen während des Untersuchungszeitraumes waren durch 5 strenge und 2 sehr milde Winter sowie 2 sehr warme Sommer gekennzeichnet. Sie verursachten thermische Anomalien in der Oberflächenschicht und im baltischen Zwischenwasser.

Zwischen 1979 und 1988 wurde kein Salzwassereinbruch in die Ostsee beobachtet. Die Folgen des Einstroms salzreicheren Wassers, die 1980, 1983 und 1986 nachgewiesen wurden, blieben auf die westlichen Teilgebiete der Ostsee, einschließlich dem Bornholm- und Gdasker Becken beschränkt. Im stagnierenden Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens dominierten unterhalb 125 - 150 m Tiefe anoxische Bedingungen mit zunehmenden Schwefelwasserstoffkonzentrationen. Der verringerte Eintrag von Salz führte zu einer signifikanten Salzgehaltsabnahme, die im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken um den Faktor 3 - 4 größer war als in der Oberflächenschicht.

Die winterliche Nährstoffakkumulation in der Oberflächenschicht zeigte im Zeitraum 1979 - 1988 keine signifikante Zunahme. Die Phosphatverteilung war durch größere zwischenzeitliche Schwankungen gekennzeichnet. Im Tiefenwasser bestimmten die Redox-Bedingungen die Phosphat- und Nitratkonzentrationen. Die Freisetzung von Phosphat aus den Sedimenten durch die zunehmenden Schwefelwasserstoffkonzentrationen war die wichtigste Ursache für die ansteigenden Phosphatkonzentrationen im anoxischen Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken.

2. Summary

The distributions of the water temperature (Figs. 2.11 to 2.20), the salinity (Fig. 3.11 - 3.20), the oxygen and hydrogen sulphide concentrations (Figs. 4.11 - 4.20), as well as the phosphate (Figs. 5.11 - 5.20) and nitrate concentrations (Figs. 6.11 - 6.20) were studied in vertical sections following the pathway of the deep water through the Baltic proper. The investigations covered the period 1979 - 1988.

The meteorological conditions during the period under investigation were characterized by 5 severe and 2 very mild winters and 2 very warm summers causing anomalies in the temperatures of the surface layer and the Baltic intermediate water.

No major salt inflow into the Baltic Sea was observed between 1979 and 1988. Consequences of the inflow of water with a higher salinity, identified in 1980, 1983, and 1986, were restricted to the western sub-regions of the Baltic Sea including the Bornholm and Gdansk Basins. Anoxic conditions prevailed below 125 - 150 m depth in the stagnant deep water of the eastern Gotland Basin characterized by increasing hydrogen sulphide concentrations. The reduced input

of salt caused a significant decrease in the salinity which was higher by the factor 3 - 4 in the deep water of the central Baltic basins as in the surface layer.

The winterly nutrient accumulation in the surface layer showed no significant increase in the period 1979 - 1988. The phosphate rather than the nitrate distribution under these conditions, was characterized by greater intertemporarily variations. The redox conditions strongly influenced the phosphate and nitrate distributions in the deep water. The liberation of phosphate from the sediments caused by the increasing hydrogen sulphide concentrations in the course of the long stagnation period was the main reason for the increasing phosphate concentrations under anoxic conditions in the central Baltic basins.

3. Einleitung

Einer Empfehlung der 1. Konferenz der Ostseeozeanographen folgend (CBO, 1957), werden vom Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde, der Akademie der Wissenschaften der DDR seit 1957 Terminbeobachtungen in der Ostsee durchgeführt (Francke und Reichel, 1983), die sich zunächst auf die westlichen Teilgebiete bis zur Bornholmsee erstreckten, ab 1969 aber auch auf ihre zentralen Teile bis zum Finnischen Meerbusen ausgedehnt wurden. Gleichzeitig damit erfuhr das ozeanologische Meßprogramm, das zunächst auf die Bestimmung der Wassertemperatur sowie des Salz- und Sauerstoffgehalts beschränkt war, durch Untersuchungen über die Verteilung wichtiger Algennährstoffe und biologischer Größen eine wesentliche Erweiterung.

Kontinuierliche Untersuchungen über Abweichungen von den mittleren jahreszeitlichen Bedingungen, über Veränderungen im Tiefenwasser sowie über zwischenjährliche Unterschiede der ozeanologischen Bedingungen in der Ostsee sind ein Beitrag zur Qualifizierung der Fangprognosen für die Ostseefischerei. Sie sind darüber hinaus Bestandteil des Baltic Monitoring Programme (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes. Die bei diesen Untersuchungen gewonnenen ozeanologischen Datensätze sind die Basis für Trendanalysen sowie für die in 5jährigem Abstand erfolgenden Zustandseinschätzungen in der Ostsee durch die HELCOM.

Seit 1969 werden mit den Forschungsschiffen "Professor Albrecht Penck" und "A.v.Humboldt" des Instituts für Meereskunde, Rostock-Warnemünde, regelmäßig im März-April (25.3. - 5.4.), im Mai (5. - 25.5.), im August (1. - 15.8.) und im Oktober-November (20.10. - 20.11.) ozeanologische Messungen durchgeführt, die die westliche Ostsee, d.h. das Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwelle sowie die eigentliche oder zentrale Ostsee, d.h. das Seegebiet zwischen Darßer Schwelle und Finnischem bzw. Bottnischem Meerbusen, umfassen. Einschränkungen oder Änderungen dieses Programms erfolgten nur aus technischen Gründen oder wetterbedingten Einflüssen. In Abhängigkeit vom unterschiedlichen Fahrtablauf traten darüber hinaus für die einzelnen Stationen zwischenjährliche Verschiebungen der Beobachtungstermine bis zu 14 Tagen auf. Seit 1971 erfolgen auch im Winter (5.-20.2.) Terminuntersuchungen.

Als hydrographisch-chemische Standardparameter wurden die Wassertemperatur, der Salzgehalt, die Sauerstoff- bzw. Schwefelwasserstoffkonzentration sowie der Phosphat-, Nitrat- und Nitritgehalt bestimmt. In speziellen Untersuchungen wurde auch der Gehalt der Wasserproben an Ammoniumstickstoff sowie Gesamtphosphor und -stickstoff analysiert. Die verwendeten Analysenverfahren sind von Rohde und Nehring (1979) zusammengefaßt.

Die Feldverteilungen der hydrographisch-chemischen Standardparameter mit Ausnahme des Nitrits sind als Vertikalschnitte, die dem Talweg durch die zentrale Ostsee folgen, dargestellt. Dabei wird vorausgesetzt, daß die jahreszeitlichen und zwischenjährlichen Veränderungen der untersuchten Parameter größer sind als die Abweichungen, die durch zeitliche Unterschiede in der Bearbeitung der Stationen verursacht werden oder die aus thermisch, dynamisch und chemisch-biologisch bedingten Variabilitäten und Inhomogenitäten resultieren.

Der vorliegende Beitrag, der die hydrographisch-chemischen Bedingungen der Jahre 1979 - 1988 in der westlichen und zentralen Ostsee zusammenfassend behandelt, schließt sich eng an frühere Untersuchungen an, die den Zeitraum 1969 - 1978 umfassen (Nehring, Francke, 1981a). Dies gilt auch für die in den Abbildungsnumerierungen verwendete Dezimalnomenklatur.

Grundlage des Vergleichs sind die jährlichen Zustandseinschätzungen von Nehring und Francke (1981b, 1982, 1983a,b, 1985a,b, 1987a,b, 1988b) sowie von Nehring (1990). Die Karten mit den wichtigsten Stationen, die für diese Zustandseinschätzungen verwendet wurden, nebst Horizontalverteilungen von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht, sind in einem Abbildungsanhang zusammengefaßt (Abb. 1.1 - 1.20). Dies gilt auch für die Vertikalschnitte der hydrographisch-chemischen Parameter, die die Wassertemperatur (Abb. 2.11 - 2.20), den Salzgehalt (Abb. 3.11 - 3.20), die Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentration (Abb. 4.11 - 4.20) sowie die Phosphat- (Abb. 5.11 - 5.20) und Nitratverteilung (Abb. 6.11 - 6.20) beinhalten.

4. Lufttemperaturen

Die meteorologischen Bedingungen bestimmen die Temperaturen in der Oberflächenschicht des Meeres. Die aus den Lufttemperaturen resultierenden Temperatursummen sind wichtige meteorologische Kennziffern zur Charakterisierung von Wintern und Sommern. Die Kälte- und Wärmesummen¹⁾ der meteorologischen Station Rostock-Warnemünde sind eng mit den Temperaturen in der homothermen Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee korreliert (Nehring, Tiesel und Francke, 1990), die Kältesummen erlauben darüber hinaus Aussagen über die Eisbedeckung (Hupfer, 1978) und gestatten die Vorhersage der im baltischen Zwischenwasser "konservierten" Wintertemperaturen (Nehring, Tiesel und Francke, 1990).

Detailliertere Angaben über den Verlauf der Winter und Sommer sind durch die monatlichen Temperatursummen, die ebenso wie die jährlichen Temperatursummen im Amt für Meteorologie Rostock vorliegen (Tiesel, unveröff.), möglich. Zur Charakterisierung der Anomalien der Lufttemperaturen wurden die monatlichen Witterungsberichte für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik (Anon., 1979 - 1988) sowie die Angaben über die Großwetterlagen Europas (Anon., 1979 - 1988) verwendet.

1) Die Kältesumme resultiert aus den negativen Tagesmitteltemperaturen eines Winters (Hellmann, zit. nach Knoch, 1957). Analog dazu wurden im vorliegenden Fall die Wärmesummen aus der Differenz aller über 17 °C liegenden Tagesmitteltemperaturen eines Jahres berechnet (Nehring, Tiesel und Francke, 1990).

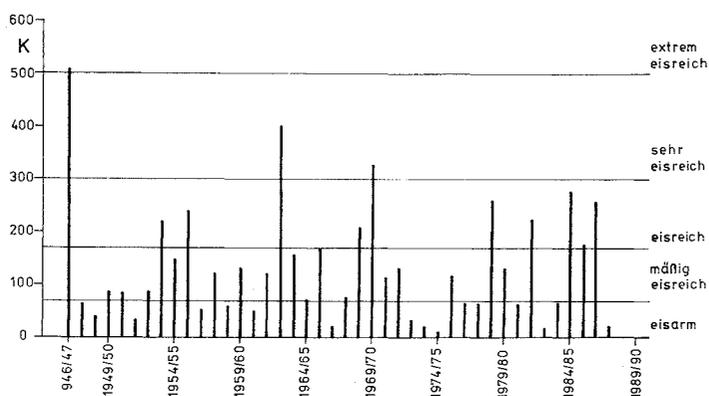


Abb. 0.1

Kältesummen von Warnemünde und Klassifizierung der Winter

Abb. 0.1 zeigt die Kältesummen von Rostock-Warnemünde. Im Untersuchungszeitraum stehen demnach 5 strengen und damit eisreichen Wintern, davon 3 in Folge, 4 milde eisarme sowie 1 mäßig strenger und mäßig eisreicher Winter gegenüber. Tab. 1 enthält die Beiträge der einzelnen Wintermonate an den Kältesummen.

Tab.1 Monatliche Kältesummen und Kältesummen der Winter 1978/79 bis 1987/88 der meteorologischen Station Rostock-Warnemünde (nach Tiesel, Amt für Meteorologie Rostock, unveröff.)

Winter	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	Apr.	Summe
1978/79	0,0	53,4	108,3	85,3	10,7	0,0	257,7
1979/80	0,0	7,1	102,8	14,6	7,8	0,0	132,3
1980/81	2,2	12,8	30,0	13,0	2,1	0,0	60,1
1981/82	0,0	79,0	106,1	35,0	0,1	0,0	220,2
1982/83	0,0	4,5	0,0	11,5	0,0	0,0	16,0
1983/84	0,0	33,4	10,4	19,4	2,8	0,0	66,0
1984/85	4,9	18,1	142,5	106,6	6,8	0,0	278,9
1985/86	13,6	16,4	35,9	117,4	20,9	0,3	204,5
1986/87	0,0	7,7	158,8	30,4	60,6	0,0	257,5
1987/88	0,0	20,5	0,0	0,0	0,6	0,0	21,1

In den strengen Wintern waren die Lufttemperaturen über der Ostsee durch Abweichungen gekennzeichnet, die im Mittel um 3 - 10 K unter den Normalwerten lagen. Die positiven Anomalien der Lufttemperaturen betragen in den milden Wintern 2 - 4 K.

Nach den in Abb. 0.2 dargestellten Wärmesummen dominierten von 1979 - 1988 die mäßig warmen Sommer mit einer Anzahl von 5, während 3 Sommer als normal und 2 als sehr warm klassifiziert werden können. Tab. 2 enthält die aus den einzelnen Monaten resultierenden Anteile der Wärmesummen.

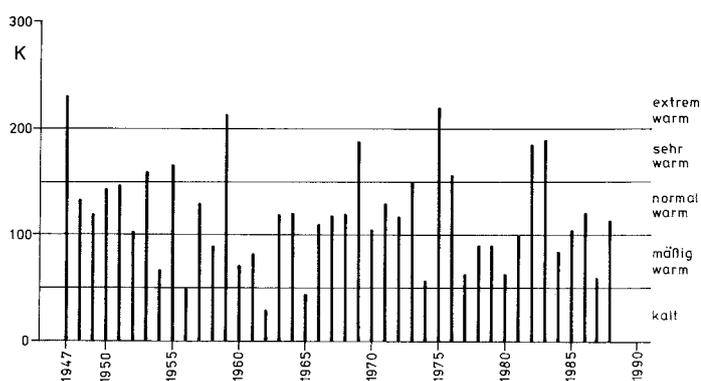


Abb. 0.2

Wärmesummen von Warnemünde
und Klassifizierung der
Sommer

Tab. 2 Monatliche Wärmesummen und Wärmesummen der Sommer 1979 bis 1988 der meteorologischen Station Rostock-Warnemünde (nach Tiesel, Amt für Meteorologie Rostock, unveröff.)

Sommer	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Summe
1979	0,0	24,2	33,4	4,3	17,4	8,5	0,0	87,8
1980	0,0	0,0	14,0	18,9	27,5	3,9	0,0	64,3
1981	0,0	19,7	14,6	30,0	31,3	3,3	0,0	98,9
1982	0,0	10,0	25,0	68,9	68,0	13,1	0,0	185,0
1983	0,0	1,7	18,4	87,6	64,7	13,9	2,4	188,7
1984	0,0	1,5	9,6	29,6	42,1	3,9	0,0	86,7
1985	0,0	11,8	5,4	48,7	26,3	2,4	5,9	100,5
1986	0,0	8,2	27,9	56,2	27,9	0,0	0,0	120,2
1987	1,5	0,0	11,4	24,4	19,3	4,2	0,0	60,8
1988	0,0	15,9	11,0	52,6	29,9	4,4	0,0	113,5

In den beiden sehr warmen Sommern 1982 und 1983 lagen die Lufttemperaturen über der Ostsee im Mittel um 1 - 2 K über dem langjährigen Erwartungswert. In dem kühlsten der mäßig warmen Sommer, der 1987 beobachtet wurde, betrug die negative Temperaturanomale der Luft im Mittel 1 - 2 K. Die im Vergleich zu den Wintern niedrigeren Temperaturanomalen im Sommer spiegeln sich auch in der geringeren Schwankungsbreite der Wärmesummen wider.

5. Die Wassertemperaturen

Die Vertikalverteilung der Wassertemperatur ist in den Abb. 2.11 - 2.20 dargestellt. Die Angaben über die Temperaturanomalen basieren auf den Untersuchungen von Matthäus (1975a, 1977), der die mittleren Jahrgänge in den verschiedenen Teilgebieten der zentralen Ostsee bestimmte, sowie auf den langjährigen monatlichen Mittelwerten an den Feuerschiffen "Fehmarnbelt" (Reichel, 1980) und "Gedser Rev" (Anon., 1982).

In Übereinstimmung mit der Strenge der Winter waren die Temperaturen in der Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee zu Beginn der Jahre 1979, 1982 sowie 1985 - 1987 durch negative Anomalen gekennzeichnet, die im baltischen Zwischenwasser bis zum Sommer und Herbst erhalten blieben. Das Ausmaß der negativen Temperaturanomalen wird durch den Gefrierpunkt des Ostseewassers, der mit abnehmendem Salzgehalt ansteigt, begrenzt. Bei einem Salzgehalt von 10 ‰ setzt die Eisbildung bei $-0,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ein. Im salzreicheren Oberflächenwasser der westlichen Ostsee wurden in den strengen Wintern $-0,5$ bis $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen. In

den zentralen Ostseebecken sind dagegen höchstens $-0,2$ bis $-0,4$ °C zu erwarten, die jedoch zumeist nur im Arkona- und Bornholmbecken erreicht wurden (Abb. 2.17 - 2.19), weil das östliche Gotlandbecken sehr selten zufriert.

Die negativen Temperaturanomalien, die in den strengen Wintern in der Oberflächenschicht beobachtet wurden, betragen in der westlichen Ostsee $1,6 - 2,1$ K, 1979 sogar $2,5 - 3$ K, in der Arkona- und Bornholmsee $1 - 2$ K und im östlichen Gotlandbecken $0,3 - 1$ K. In den milden Wintern 1982/83 und 1987/88 lagen die Wassertemperaturen in der westlichen Ostsee um $2 - 2,5$ K und in der zentralen Ostsee um $1,5 - 2$ K über dem langjährigen Erwartungswert.

Das baltische Zwischenwasser, das nur in der warmen Jahreszeit und nur in den zentralen Ostseebecken regelmäßig vorhanden ist, wird gegenüber der Deckschicht durch die Temperatursprungschicht und gegenüber dem Tiefenwasser durch die thermohaline Sprungschicht abgegrenzt. Beide beeinträchtigen als Dichtesprungschichten den vertikalen Energie- und Stoffaustausch. Während die Temperatursprungschicht mit der Erwärmung im Frühjahr entsteht und mit der winterlichen Abkühlung verschwindet, ist die thermohaline Sprungschicht ganzjährig vorhanden.

Die Strenge des vorangegangenen Winters sowie die Erwärmung und Ausbildung der Temperatursprungschicht im Frühjahr bestimmen die Temperaturen im baltischen Zwischenwasser. Nach den strengen Wintern wurden in dieser Schicht negative Temperaturanomalien erhalten, die im östlichen Gotlandbecken 1 bis $1,6$ K betragen. Lediglich 1982 (Abb. 2.14) waren die Abweichungen offensichtlich im Zusammenhang mit der starken sommerlichen Erwärmung geringer.

Nach dem milden Winter 1981/82 wurde eine positive Temperaturanomalie von $0,5 - 1$ K im baltischen Zwischenwasser ermittelt. Nach dem ebenfalls milden Winter 1987/88 betrug die positive Temperaturanomalie in dieser Schicht nur $0 - 0,4$ K. Als Ursache muß die verzögerte Erwärmung des Wassers im Frühjahr angesehen werden.

In den beiden sehr warmen und strahlungsreichen Sommern wurden in der Deckschicht Temperaturen gemessen, die 1982 zwischen 20 und 22 °C (Abb. 2.14) und 1983 zwischen 17 und 20 °C (Abb. 2.15) lagen. Daraus resultieren positive Temperaturanomalien von $2,5 - 4$ K. Im kühlestem der mäßig warmen Sommer, der 1987 beobachtet wurde, betragen die Deckschichttemperaturen nur $12 - 14$ °C (Abb. 2.19). Diesen Werten entspricht eine negative Temperaturanomalie von $2 - 4$ K.

Im Tiefenwasser unterhalb der permanenten thermohalinen Sprungschicht werden die Temperaturen durch advective Prozesse bestimmt. Sie sind in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken (vgl. auch Matthäus, 1975b) durch einen Jahresgang gekennzeichnet. Wegen des raschen Wechsels von Ein- und Ausstromlagen ist es jedoch wenig sinnvoll, aufgrund einzelner Terminfahrtbeobachtungen Angaben über Abweichungen von den mittleren Bedingungen zu machen.

Der Einstrom wärmeren Wassers, der teilweise bereits im Sommer beginnt, wird regelmäßig im Westteil des Bornholmbeckens beobachtet. Diese Wassermassen, die aus dem Arkonabecken stammen, schichten sich entsprechend ihrer Dichte im Bereich der Salzgehaltssprungschicht ein und zeichnen sich als intermediäres Temperaturmaximum ab. Sie sind durch Temperaturen

von 10 - 12 °C gekennzeichnet. Ausnahmen bildeten das Jahr 1979, in dem kein nennenswerter Einstrom erfolgte (Abb. 2.11) sowie 1984 und 1987, in denen im Herbst nur relativ niedrige Temperaturen beobachtet wurden (Abb. 2.16 und 2.19). Im Jahre 1982 traten dagegen Temperaturen über 13 °C (Abb. 2.14) im Bereich der Salzgehaltssprungschicht auf.

In Abhängigkeit von der Intensität der advektiven Prozesse und von der Dauer der Stagnationsperiode, in der eine Aussüßung erfolgt, kann auch die grundnahe Wasserschicht im Bornholmbecken ausgetauscht werden. Im Herbst, wenn das einströmende Wasser noch relativ hohe Temperaturen aufweist, ist mit dieser Erneuerung ein Temperaturanstieg zu verzeichnen (Abb. 2.14, 2.20), im Winter und Frühjahr sinkt die Temperatur dagegen ab (Abb. 2.12, 2.18). Im Südteil des östlichen Gotlandbeckens waren Advektionen, die sich in die Zwischenschicht dieses Beckens einlagerten oder auch in die grundnahe Wasserschicht des Gotlandtiefs vordrangen, sowohl von einer Temperaturabnahme (Abb. 2.12) als auch von einem Temperaturanstieg (Abb. 2.15) begleitet.

Das Tiefenwasser im östlichen Gotlandbecken wird nur bei großen Salzwassereinbrüchen in die Ostsee erneuert. Im Januar 1977 wurde dabei eine Temperatur von 7,43 °C in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs registriert (Fonselius, 1977, vgl. auch Nehring, Francke, 1981a), die alle bisher gemessenen Werte übertrifft. In der sich anschließenden Stagnationsperiode erfolgte eine allmähliche Abnahme, die 1983 jedoch durch einen zwischenzeitlichen Anstieg auf über 6 °C unterbrochen wurde (Abb. 2.15). Gegenwärtig liegen die Temperaturen in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs bei 5,2 °C (Abb. 2.20). Trenduntersuchungen von Matthäus (1990) ergaben für den Zeitraum 1977 - 1988 einen mittleren Temperaturrückgang um 1,2 - 1,6 K im Tiefenwasser dieser Region, während im Arkona- und Bornholmbecken keine signifikanten Langzeitveränderungen nachgewiesen werden konnten.

Im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens ist im Untersuchungszeitraum ebenfalls eine Temperaturabnahme zu verzeichnen. Im grundnahen Bereich des Landsorttiefs sank die Wassertemperatur beispielsweise von 5,2 °C im Jahre 1979 (Abb. 2.11) auf rund 4 °C im Jahre 1988 (Abb. 2.20) ab.

6. Der Salzgehalt

Die Abb. 3.11 - 3.20 zeigen die Vertikalverteilung des Salzgehalts in der zentralen Ostsee. In Abhängigkeit vom Abflußgeschehen zeigt diese Größe in der Oberflächenschicht der Ostsee einen charakteristischen Jahresgang, dessen mittlere Veränderungen von Matthäus (1975a) näher untersucht wurden. Diesem Jahresgang, der durch etwas höhere Salzgehalte im Winter und niedrigere im Sommer gekennzeichnet ist, sind Langzeitvariationen überlagert. Nach Trendabschätzungen von Nehring und Matthäus (vgl. dieses Heft) betrug die mittlere Abnahme des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht 0,3 - 0,4 ‰ im Zeitraum 1978 - 1988. Sehr hohe Werte zeichneten sich für die Jahre 1983 und 1984 ab. Sie kommen auch in den Vertikalverteilungen (Abb. 3.15 und 3.16) zum Ausdruck. Unter Berücksichtigung des mittleren Jahresganges beträgt die positive Anomalie dieser zwischenjährlichen Variationen 0,4 - 0,6 ‰. Als Folge des negativen Trends treten am Ende des Untersuchungszeitraumes negative Salzgehaltsanomalien von 0,1 - 0,2 ‰ auf.

Im Tiefenwasser wird die Verteilung des Salzgehalts durch advective Prozesse, die mit einem Anstieg dieser Größe verbunden sind, sowie durch Stagnationsperioden, in deren Verlauf Diffusionsprozesse zu einer Aussüßung führen, bestimmt. Jahreszeitliche Veränderungen sind auf die westliche Ostsee beschränkt und stehen mit der Verlagerung der Skagerrak- und Beltseefront in Zusammenhang.

Der letzte große Salzwassereinbruch in die Ostsee erfolgte im Winter 1976/77 (vgl. u.a. Nehring und Francke, 1981a). Seitdem dominieren stagnierende Bedingungen im grundnahen Bereich der zentralen Ostseebecken. Daraus resultiert ein signifikant negativer Salzgehaltstrend (vgl. Nehring und Matthäus, dieses Heft). Die Abnahme des Salzgehalts betrug 0,9 - 1,3 ‰ im Zeitraum 1979 - 1988. Im Gotlandtief wurden im Herbst 1988 nur noch 11,78 ‰ (vgl. auch Abb. 3.20) gegenüber 13,28 ‰ im Januar 1977 (Fonselius, 1977) in Grundnähe gemessen. Ähnlich niedrige Werte sind aus den 30er Jahren bekannt (Matthäus, 1979).

Eine Abnahme um rund 1,2 ‰ im Untersuchungszeitraum ergibt sich auch aus den Vertikalverteilungen des Salzgehalts im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens.

Im Vergleich zur Deckschicht ist die Abnahme des Salzgehalts im Tiefenwasser um den Faktor 3 - 4 größer. Dadurch verringert sich die Schichtungsstabilität, so daß der vertikale Austausch erleichtert wird (Matthäus, 1983 a,b). Während in der Oberflächenschicht große zwischenjährliche Fluktuationen auftraten, verlief die Salzgehaltsabnahme im grundnahen Bereich der zentralen Ostseebecken nahezu kontinuierlich.

Von regionaler Bedeutung für die ozeanologischen Bedingungen im Tiefenwasser waren intensive Einstromlagen, deren Folgen im Herbst 1982 und 1988 sowie im Frühjahr 1980 und 1986 beobachtet wurden, die jedoch nicht das Ausmaß von Salzwassereinbrüchen erreichten. Sie führten aber zumindest zu einer teilweisen Erneuerung des Tiefenwassers im Bornholm- und Gdanker Becken, verbunden mit einer Zunahme des Salzgehalts (Abb. 3.12, 3.15, 3.18). Auswirkungen dieser Ereignisse wurden zum Teil auch noch im Südteil des östlichen Gotlandbeckens beobachtet. Das einströmende Wasser konnte jedoch infolge seiner zu geringen Dichte nicht bis in den grundnahen Bereich des Gotlandtiefs vordringen, sondern passierte dieses Becken in 80 - 125 m Tiefe, d.h. unmittelbar unter der thermohalinen Sprungschicht. Eine Ausnahme bildete der im Herbst 1982 beobachtete Einstrom, dessen Auswirkungen im Mai des Folgejahres kurzzeitig zu einem Salzgehaltsanstieg im Bodenwasser des Gotlandtiefs führte (Abb. 3.15).

Die relativ starke Aussüßung ist die Ursache dafür, daß das Tiefenwasser im westlichen und nördlichen Gotlandbecken zunehmend durch advektiv zugeführte Wassermassen erneuert wird, die das östliche Gotlandbecken in der Zwischenschicht passiert haben. Trotz signifikanter Abnahme des Salzgehalts auch in dieser Schicht (Nehring und Matthäus, dieses Heft) reicht ihre Dichte aus, um das stagnierende Tiefenwasser im nördlichen und westlichen Gotlandbecken zu verdrängen. Beispiele hierfür sind die Jahre 1987 (Abb. 3.19) und 1988 (Abb. 3.20). Die mit der Erneuerung des Tiefenwassers verbundene Zunahme des Salzgehalts ist nur schwach ausgeprägt.

7. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Sauerstoff und Schwefelwasserstoff kommen nur kurzzeitig nebeneinander vor. Angaben über Halbwertzeiten schwanken zwischen 0,5 und 2 Stunden (Millero, 1986). Unter natürlichen Bedingungen kann daher das gleichzeitige Auftreten beider Gase praktisch ausgeschlossen werden. Wird trotzdem Sauerstoff neben Schwefelwasserstoff nachgewiesen, so ist eine Kontamination der Proben wahrscheinlich. Da Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im allgemeinen nicht nebeneinander existent sind, ist ihre Vertikalverteilung in den Abb. 4.11 - 4.20 gemeinsam dargestellt. Angaben über ihre Horizontalverteilung in der grundnahen Wasserschlacht sind in den Abb. 1.11 - 1.20 enthalten.

Der Sauerstoffgehalt in der Oberflächenschicht wird durch die Jahresgänge der Temperatur, des Salzgehalts und der Phytoplanktonentwicklung sowie von Zehrungsprozessen beim biochemischen Abbau von organischer Substanz bestimmt. Er steht darüber hinaus mit der Luft im Gleichgewicht. Da sich der Austausch mit der Atmosphäre relativ langsam vollzieht, kommt es im Frühjahr mit der Erwärmung des Wassers und der Massenentwicklung des Phytoplanktons regelmäßig zu einer Übersättigung mit Sauerstoff, die im Mai - Juni ihr Maximum erreicht (Matthäus, 1975b, 1978). Bei Absolutwerten von $10 - 12 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ können die in der Deckschlacht bei ruhigen Wetterlagen ermittelten Sättigungswerte $110 - 140 \%$ betragen (vgl. Abb. 4.13 und 4.20, Mai).

Während der Abkühlungsphase im Herbst und Winter tritt dagegen ein deutliches Sauerstoffdefizit auf, das durch Zehrungsprozesse verstärkt wird. Unter diesen Bedingungen gehen die Sättigungswerte auf $95 - 98 \%$ zurück.

Der Jahresgang des Sauerstoffgehalts ist im Frühjahr durch regionale Unterschiede gekennzeichnet. So erreicht er in Abhängigkeit vom unterschiedlichen Beginn der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons (Kaiser und Schulz, 1976) in der westlichen Ostsee und in der Arkonasee bereits Ende März bis Anfang April sein Maximum, während es in der Gotlandsee erst einen Monat später beobachtet wird. Durch die Erwärmung der Deckschlacht und die damit verbundene Abnahme der Löslichkeit fallen die mittleren Maxima der Sauerstoffkonzentration und der Sauerstoffsättigung nicht immer zusammen (Matthäus, 1975b, 1978). Die niedrigsten Sauerstoffkonzentrationen treten im Spätsommer auf, wenn die Wassertemperaturen ihr Maximum erreichen und das pelagische System sich in einem relativ stabilen Gleichgewichtszustand befindet.

Das kalte baltische Zwischenwasser zeichnet sich in den zentralen Ostseebecken als sauerstoffreiche Schlacht ab, die besonders im August als intermediäres Maximum in Erscheinung tritt. Der Sauerstoffgehalt in dieser Schlacht ist eng mit der Strenge des vorangegangenen Winters korreliert (Nehring und Francke, 1988a, Nehring u.a., 1990). Die sauerstoffreiche Zwischenschlacht war daher nach den 3 strengen Wintern 1985 - 1987 wesentlich stärker ausgeprägt (Abb. 4.17 - 4.19) als in den Sommern 1983 und 1988 (Abb. 4.15 und 4.20), denen ein sehr milder Winter vorausging. Die Sauerstoffanomalien in dieser Schlacht können im östlichen Gotlandbecken $0,3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ betragen. Sie werden nicht nur durch die Strenge des vorangegangenen Winters bestimmt, sondern hängen ebenso wie die Wassertemperaturen auch vom Verlauf der Erwärmung und der Ausbildung der Temperatursprungschlacht im Frühjahr ab.

Im Tiefenwasser sind die jahreszeitlichen Veränderungen des Sauerstoffgehalts auf die westliche Ostsee und das Arkonabecken (Matthäus, 1975b) beschränkt. Sie hängen mit advektiven Prozessen zusammen, die nicht nur eine Zunahme des Salzgehalts, sondern auch eine Sauerstoffversorgung bewirken. Der im Tiefenwasser während der kalten Jahreszeit angereicherte Sauerstoff wird im Verlauf des Sommers durch Zehrungsvorgänge beim biochemischen Abbau von organischer Substanz verbraucht. Anoxische Bedingungen wurden im Untersuchungszeitraum jedoch nur im Spätsommer 1981, 1986 und 1988 nach lang anhaltenden windarmen Hochdruckwetterlagen in der Lübecker und Mecklenburger Bucht beobachtet.

Das Bornholmbecken ist das westlichste Becken der Ostsee, in dem die Erneuerung des Tiefenwassers unregelmäßig, jedoch noch relativ häufig erfolgt. Die Umwandlung anoxischer Bedingungen in oxische wurde 1980 (Abb. 4.12), 1983 (Abb. 4.15) sowie 1986 (Abb. 4.18) beobachtet. Ein häufiger Wechsel von oxischen und anoxischen Bedingungen trat im Untersuchungszeitraum auch im Gdańsker Tief auf.

In der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs wurden nur im August 1980 (Abb. 4.12) sowie im April 1983 (Abb. 4.15) oxische Bedingungen festgestellt. Während der übrigen Zeit war im gesamten östlichen Gotlandbecken unterhalb 125 bis 150 m Tiefe Schwefelwasserstoff vorhanden, dessen Konzentration gegen Ende des Untersuchungszeitraumes stark zunahm (vgl. Nehring und Matthäus, dieses Heft). Für seine Oxydation sind inzwischen erhebliche Sauerstoffmengen erforderlich.

Der Einstrom sauerstoffreicherer Wassers in die Zwischenschicht des östlichen Gotlandbeckens, der sich nur teilweise in den anderen Parametern widerspiegelt, wurde vor allem 1980 (Abb. 4.11) sowie 1983 - 1985 (Abb. 4.15 - 4.17) beobachtet. In den Folgejahren war er nur schwach ausgeprägt. Insgesamt zeichnet sich in dieser Schicht jedoch eine positive Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse ab. Im Gotlandtief ist diese Entwicklung im Tiefenbereich von 80 - 90 m durch eine signifikante Zunahme des Sauerstoffgehalts im Zeitraum 1964 - 1987 gekennzeichnet (Fonselius, 1988). In 100 m Tiefe wurde von 1977 - 1988 ebenfalls eine Zunahme ermittelt (Nehring und Matthäus, dieses Heft), die statistisch jedoch nicht signifikant war.

Besonders ungünstige Sauerstoffbedingungen herrschten zu Beginn des Untersuchungszeitraumes im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens. Im Spätherbst der Jahre 1980 - 1982 reichte die schwefelwasserstoffhaltige Schicht teilweise bis in 80 m Tiefe (Abb. 4.12 - 4.14). Nach 1984 wurde im Landsorttief kein Schwefelwasserstoff mehr nachgewiesen, im Karlsötief nur noch im Herbst 1985 und 1986 (Abb. 5.17 und 5.18). Die günstige Entwicklung der Sauerstoffbedingungen in diesen Becken hängt offensichtlich mit der Aussüßung des Tiefenwassers zusammen. Die advektiv zugeführten Wassermassen, die das östliche Gotlandbecken in der Zwischenschicht passiert haben, können trotz Abnahme ihres Salzgehalts nunmehr in die grundnahen Wasserschichten des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens vordringen und zu einer begrenzten Sauerstoffversorgung beitragen.

Die sehr ungünstigen Sauerstoffbedingungen, die 1980 bis 1982 im östlichen, nördlichen und westlichen Gotlandbecken beobachtet wurden, zeichnen sich auch in den Horizontalverteilungen des Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalts in der grundnahen Wasserschicht ab (Abb. 1.12 - 1.14). Seit 1985 traten dagegen im nördlichen und westlichen Becken nur

noch gelegentlich anoxische Bedingungen in dieser Schicht auf (Abb. 1.16 - 1.20). Im Bornholmbecken verteilen sich die oxischen und anoxischen Bedingungen relativ gleichmäßig über den gesamten Untersuchungszeitraum.

8. Phosphat und Nitrat

Phosphat und Nitrat sind Endprodukte der biochemischen Mineralisierung von organischer Substanz unter oxischen Bedingungen. Im anoxischen Milieu geht die Stickstoffmineralisierung nicht über die Stufe des Ammoniumstickstoffs hinaus. Die Vertikalverteilungen des Phosphats sind in den Abb. 5.11 bis 5.20, die des Nitrats in den Abb. 6.11 - 6.20 dargestellt.

Phosphat und die anorganischen Stickstoffverbindungen sind die wichtigsten Nährstoffe, die die Phytoplanktonentwicklung in der euphotischen Schicht der Ostsee begrenzen. In Abhängigkeit von der Primärproduktion unterliegen sie einem charakteristischen Jahresgang. Solange das Licht limitierend wirkt, sind die Phosphat- und Nitratkonzentrationen, die in der Oberflächenschicht auftreten, relativ hoch. Während der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons, die in Abhängigkeit von der Stabilisierung der Wassersäule in den westlichen Teilgebieten der Ostsee früher einsetzt als in ihren zentralen und nördlichen (Kaiser und Schulz, 1976), erfolgt im Verlauf von 3 - 4 Wochen eine weitgehende Nährstoffverarmung, von der die Wassersäule bis zur thermohalinen Sprungschicht erfaßt wird. Im Sommer ist der Phosphat- und Nitratgehalt in der homothermen Deckschicht häufig bis an die Grenze der analytischen Nachweisbarkeit abgesunken. Im Spätherbst, mit dem Nachlassen der Primärproduktion infolge des sich verringernden Lichtangebots, setzt die Nährstoffakkumulation in der Deckschicht ein, wobei als Zwischenstufe der Stickstoffmineralisierung erhöhte Ammonium- und Nitratkonzentrationen auftreten (vgl. auch Nehring, 1981).

Nach dem starken Anstieg in den Jahren 1969-1978 (Nehring, 1985) liegen die winterlichen Phosphat- und Nitratkonzentrationen gegenwärtig zwischen 0,5 - 0,8 bzw. 4 - 5 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Die angegebenen Konzentrationsbereiche zeigen, daß der Phosphatgehalt größeren zwischenzeitlichen Schwankungen unterworfen ist als der Nitratgehalt. Die höchsten Phosphatwerte in der winterlichen Oberflächenschicht der zentralen Ostsee wurden in den Jahren 1983 - 1985 gemessen (Abb. 5.15 - 5.17). Für den Zeitraum 1978 - 1988 konnten in dieser Schicht keine signifikanten Nährstofftrends ermittelt werden (Nehring und Matthäus, dieses Heft).

Für die Phosphat- und Nitratverteilung unterhalb der thermohalinen Sprungschicht sind die Sauerstoffbedingungen von entscheidender Bedeutung. Im oxischen Tiefenwasser werden Phosphat und Nitrat durch biochemische Mineralisierung von organischer Substanz, die in partikulärer Form die thermohaline Sprungschicht passiert hat, freigesetzt. Wenn auch die Sprungschicht den vertikalen Austausch erschwert, werden sie im Verlauf des Winters teilweise in die Oberflächenschicht zurückgeführt. Advektive Prozesse bewirken darüber hinaus eine Modifikation der Phosphat- und Nitratverteilung.

Bei abnehmendem Redoxpotential unterliegt Nitrat der biochemischen Denitrifikation. Unter anoxischen Bedingungen ist diese Stickstoffverbindung unbeständig. An ihre Stelle tritt Ammoniumstickstoff, der nur teilweise aus Remineralisierungsprozessen stammt, zum überwiegenden Teil aber aus den Sedimenten freigesetzt wird. Gleiches gilt für den Phosphatgehalt. Phosphat ist in oxischen Sedimenten an 3wertige Eisenoxidhydrate gebunden (Balzer,

1984). Unter anoxischen Bedingungen wird das 3wertige Eisen in 2wertiges reduziert und kann dadurch zusammen mit Phosphat in Lösung gehen. Umgekehrt bewirkt die advective Zufuhr sauerstoffhaltiger Wassermassen die Oxydation des 2wertigen Eisens und damit die teilweise Ausfällung des Phosphats. Eine ausführliche Diskussion dieser Zusammenhänge liegt von Nehring (1987) vor.

Im Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens sind schwach ausgeprägte jahreszeitliche Veränderungen vorhanden, die bei beiden Nährstoffen unterschiedlich sind. Während die Phosphatverteilung durch etwas niedrigere Werte im Winter und Frühjahr gekennzeichnet ist, weist die Nitratkonzentration häufig im Mai ein Minimum auf. Diesen jahreszeitlichen Variationen sind in Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt der advektiv zugeführten Wassermassen größere zwischenjährliche Unterschiede überlagert. Signifikante Nährstofftrends waren im Tiefenwasser dieser Gebiete bisher nicht nachweisbar.

In der grundnahen Wasserschicht des Bornholmbeckens wurde die Verteilung des Phosphats und der anorganischen Stickstoffverbindungen durch den Wechsel von oxischen und anoxischen Bedingungen bestimmt. Beispiele hierfür sind die Jahre 1981 (Abb. 5.13 und 6.19), 1984 (Abb. 5.16 und 6.16) und 1987 (Abb. 5.19 und 6.19), in denen der Phosphatgehalt mit dem Auftreten von Schwefelwasserstoff sprunghaft ansteigt, während Nitrat unter diesen Bedingungen unbeständig ist und durch Ammoniumstickstoff ersetzt wird. Daß im Tiefenwasser des Bornholmbeckens auch eine Nährstoffakkumulation im Zusammenhang mit der Eutrophierung der Ostsee erfolgt, zeigen die positiven Phosphat- und Nitratrends (Nehring und Matthäus, dieses Heft). Ähnliche Nährstoffvariationen wie im Bornholmbecken traten auch im Tiefenwasser des Gdańsker Beckens auf.

Das östliche Gotlandbecken wurde im Untersuchungszeitraum von keiner durchgreifenden Wassererneuerung erfaßt. Unterhalb von 125 - 150 m Tiefe dominierten von 1972 - 1988 anoxische Bedingungen und bestimmten die Verteilung des Phosphats und der anorganischen Stickstoffverbindungen. Der 1980 und 1983 im östlichen Gotlandbecken beobachtete Einstrom sauerstoffreicherer Wassers ist auch an der Verteilung dieser Größen zu erkennen (Abb. 5.12, 5.15, 6.12 und 6.15).

Während im anoxischen Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens kein Nitrat vorhanden war, zeigte die Phosphatkonzentration eine allmähliche Zunahme, die sich von 1977 - 1988 in einem signifikanten Trend widerspiegelt (Nehring und Matthäus, dieses Heft). Diese Zunahme resultierte vornehmlich aus der Phosphatfreisetzung aus den Sedimenten infolge abnehmenden Redoxpotentials. Da die ungünstigen Sauerstoffbedingungen im östlichen Gotlandbecken eng mit dem Ausbleiben von Salzwassereinbrüchen zusammenhängen, hat die beobachtete Phosphatakkumulation weniger anthropogene als vielmehr natürliche Ursachen.

Die in der oxischen Zwischenschicht (80 - 125 m Tiefe) des östlichen Gotlandbeckens gemessenen Phosphat- und Nitratkonzentrationen schwankten zwischen 1 und 3 bzw. 6 und 10 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, wobei vor allem am Ende des Untersuchungszeitraumes höhere Nitratwerte auftraten als zu Beginn. In Übereinstimmung damit wurde für den Zeitraum 1977 - 1988 eine signifikante Zunahme des Nitratgehalts im 100 m - Horizont des Gotlandtiefs ermittelt

(Nehring und Matthäus, dieses Heft). Im Gegensatz dazu wies der Phosphatgehalt keinen eindeutigen Trend auf.

Im nördlichen und westlichen Gotlandbecken waren die Phosphat- und Nitratkonzentrationen unterhalb der thermohalinen Sprungschicht generell niedriger als im östlichen Gotlandbecken. Das Trendverhalten dieser beiden Größen im Tiefenwasser des Landsorttiefs ähnelte jedoch dem im Gotlandtief.

9. Literatur

- ANON., 1982: Mittelwerte der Temperatur und des Salzgehalts, Gedser Rev (1931 - 1960). Inst. für Meereskunde, unveröff.
- ANON., 1979 - 1988: Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. - Hrsg. Meteorol. Dienst der DDR, HA für Meteorologie, Potsdam, 33 - 42.
- ANON., 1979 - 1988: Die Großwetterlagen Europas. - Amtsblatt des Dtsch. Wetterdienstes, Offenbach (Main), 32 - 41.
- BALZER, W., 1984: Organic matter degradation and biogenic element cycling in a nearshore sediment (Kiel Bight). - *Limnol. Oceanogr.* 29, 1231 - 1246.
- CBO, 1957: Recommendations of the 1st Conference of the Baltic Oceanographers. - Helsinki 1957.
- FONSELIUS, S., 1977: An inflow of unusually warm water into the Baltic deep basins. - *Medd. Havsfiskelab. Lysekil* 229, 1 - 3.
- FONSELIUS, S., 1988: Long-term trends of dissolved oxygen, pH and alkalinity in the Baltic deep basins. - *ICES 1988 C.M./C:23*: 1 - 10.
- FRANCKE, E. und REICHEL, U., 1983: Historische Entwicklung und aktuelle Bedeutung des Ostseeobservatoriumsprogramms. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 48, 73 - 88.
- HUPFER, P., 1978: Die Ostsee - kleines Meer mit großen Problemen. - B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1 - 152.
- KAISER, W. und SCHULZ, S., 1976: Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. - *Fischerei-Forsch.*, Rostock, 14 (2), 77 - 81.
- KNOCH, K., 1957: Eine Chronik der Winterstrenge seit 1766 in Norddeutschland. - *Peterm. Geogr. Mitt.* 101, 27 - 30.
- MATTHAUS, W., 1975a: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächen-salzgehalts der Ostsee. - *Gerlands Beitr. Geophys.* 87, 369 - 376.
- MATTHAUS, W., 1975b: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY2A auf 55° N, 14° E. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 36, 5 - 27.
- MATTHAUS, W., 1977: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 40, 117 - 155.
- MATTHAUS, W., 1978: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 41, 61 - 94.
- MATTHAUS, W., 1979: Langzeitvariationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 42, 41 - 93.
- MATTHAUS, W., 1983a: Langzeittrends der Dichte im Gotlandbecken. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 48, 47 - 56.
- MATTHAUS, W., 1983b: Zur Variation der vertikalen Stabilität der thermohalinen Schichtung im Gotlandtief. - *Beitr. zur Meereskunde H.* 48, 57 - 71.
- MATTHAUS, W., 1990: Langzeittrends und Veränderungen ozeanologischer Parameter während der gegenwärtigen Stagnationsperiode im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. - *Fischerei-Forsch.*, Rostock, 28 (im Druck).
- MILLERO, F.J., 1986: The thermodynamics and kinetics of H₂S. - *Proceed. of the Chemical and Physical Oceanography of the Black Sea*, Göteborg, Sweden, June 2 - 4, 1986
- NEHRING, D., 1981: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee und ihre Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. - *Geod. Geoph. Veröff. R. IV*, H. 35, 39 - 137.
- NEHRING, D., 1985: Langzeitveränderungen essentieller Nährstoffe in der zentralen Ostsee. - *Acta hydrochim. hydrobiol.* 13, 591 - 609.
- NEHRING, D., 1987: Temporal variations of phosphate and inorganic nitrogen compounds in central Baltic deep waters. - *Limnol. Oceanogr.* 32, 494 - 499.

- NEHRING, D., 1990: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1988. - Fischerei-Forsch., Rostock, 28 (im Druck).
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1981a: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee 1969 - 1978. I. Die hydrographischen Bedingungen und ihre Veränderungen. - Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 35, 5 - 38.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1981b: Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee nach dem extremen Eiswinter 1978/79. - Fischerei-Forsch., Rostock, 19 (1), 7 - 14.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1982: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1980. - Fischerei-Forsch., Rostock, 20 (2), 69 - 77.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1983a: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1981. - Fischerei-Forsch., Rostock, 21 (4), 45 - 55.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1983b: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1982. - Fischerei-Forsch., Rostock, 21 (4), 56 - 65.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1985a: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1983. - Fischerei-Forsch., Rostock, 23 (4), 7 - 17.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1985b: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1984. - Fischerei-Forsch., Rostock, 23 (4), 18 - 27.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1987a: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1985. - Fischerei-Forsch., Rostock, 25 (2), 7 - 16.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1987b: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1986. - Fischerei-Forsch., Rostock, 25 (4), 68 - 79.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1988a: Untersuchungen über die mittelfristige Vorhersage einiger fischereirelevanter ozeanologischer Größen in der Ostsee. - Fischerei-Forsch., Rostock, 26 (3), 7 - 13.
- NEHRING, D. und FRANCKE, E., 1988b: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1987. - Fischerei-Forsch., Rostock, 26 (2), 43 - 52.
- NEHRING, D., TIESEL, R. und FRANCKE, E., 1990: Beziehungen zwischen einigen ozeanologischen Größen der Ostsee und den Lufttemperaturen an der DDR-Küste. - Beitr. zur Meereskunde (im Druck).
- REICHEL, U., 1980: Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelts. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffbeobachtungen 1949 bis 1978. - Inst. für Meeresk., Warnemünde, unveröff.
- ROHDE, K.-H. und NEHRING, D., 1979: Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. - Geod. Geoph. Veröff., R. IV, H. 27, 1 - 68.

10. ABBILDUNGSANHANG

- 10.1 Stationskarten und Horizontalverteilung von Sauerstoff
und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht
Abb. 1.11 - 1.20
- 10.2 Vertikalverteilung der Wassertemperatur
Abb. 2.11 - 2.20
- 10.3 Vertikalverteilung des Salzgehalts
Abb. 3.11 - 3.20
- 10.4 Vertikalverteilung des Sauerstoff- und Schwefelwasser-
stoffgehalts
Abb. 4.11 - 4.20
- 10.5 Vertikalverteilung der Phosphatkonzentration
Abb. 5.11 - 5.20
- 10.6 Vertikalverteilung der Nitratkonzentration
Abb. 6.11 - 6.20

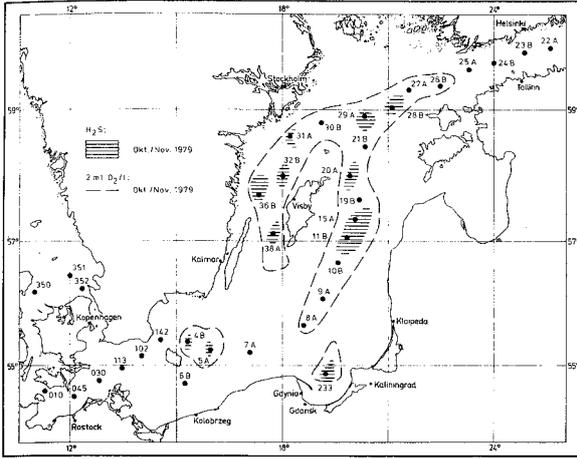


Abb. 1.11

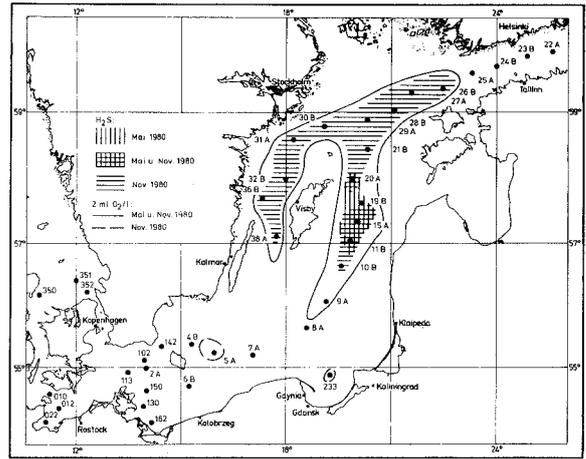


Abb. 1.12

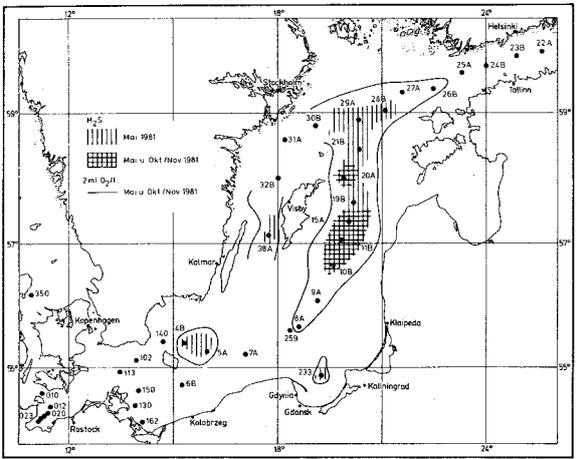


Abb. 1.13

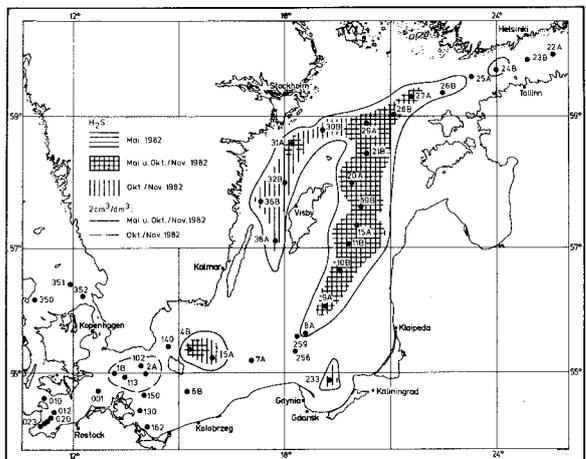


Abb. 1.14

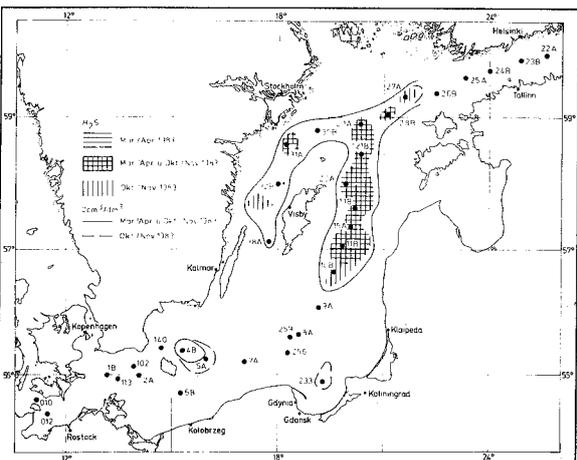


Abb. 1.15

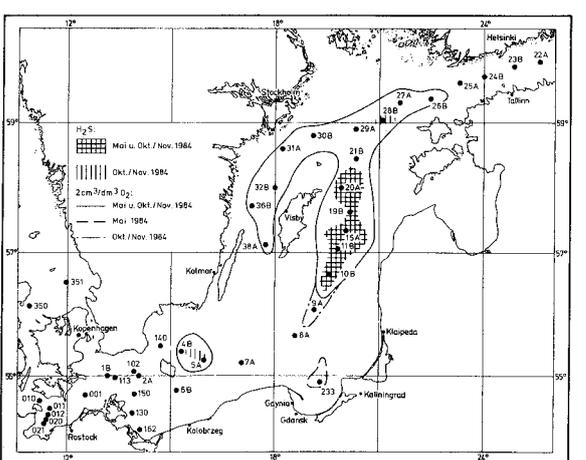


Abb. 1.16

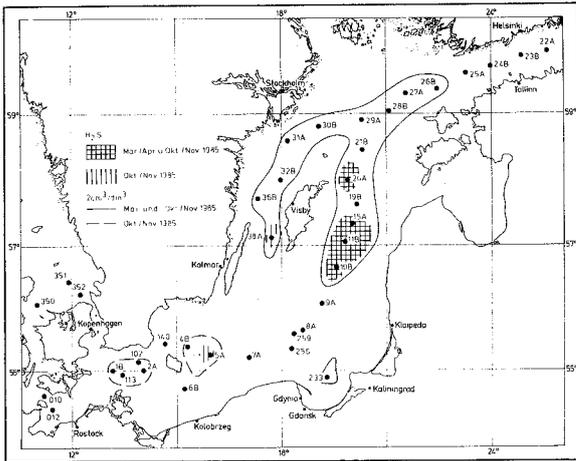


Abb. 1.17

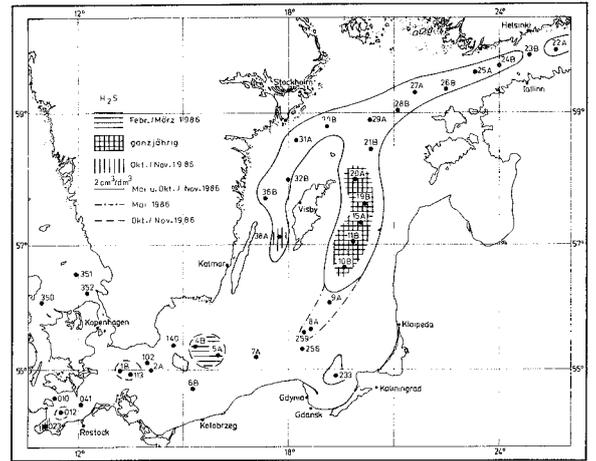


Abb. 1.18

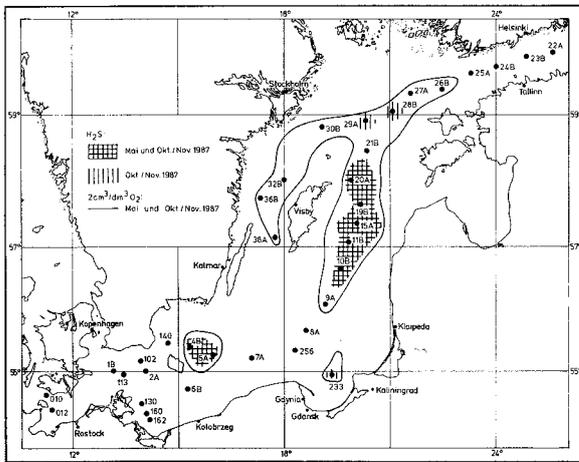


Abb. 1.19

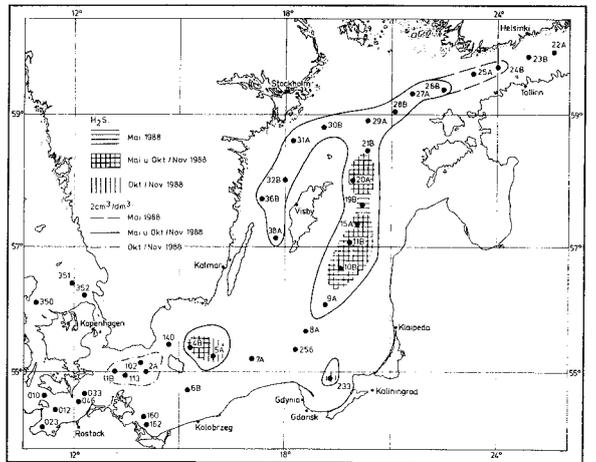
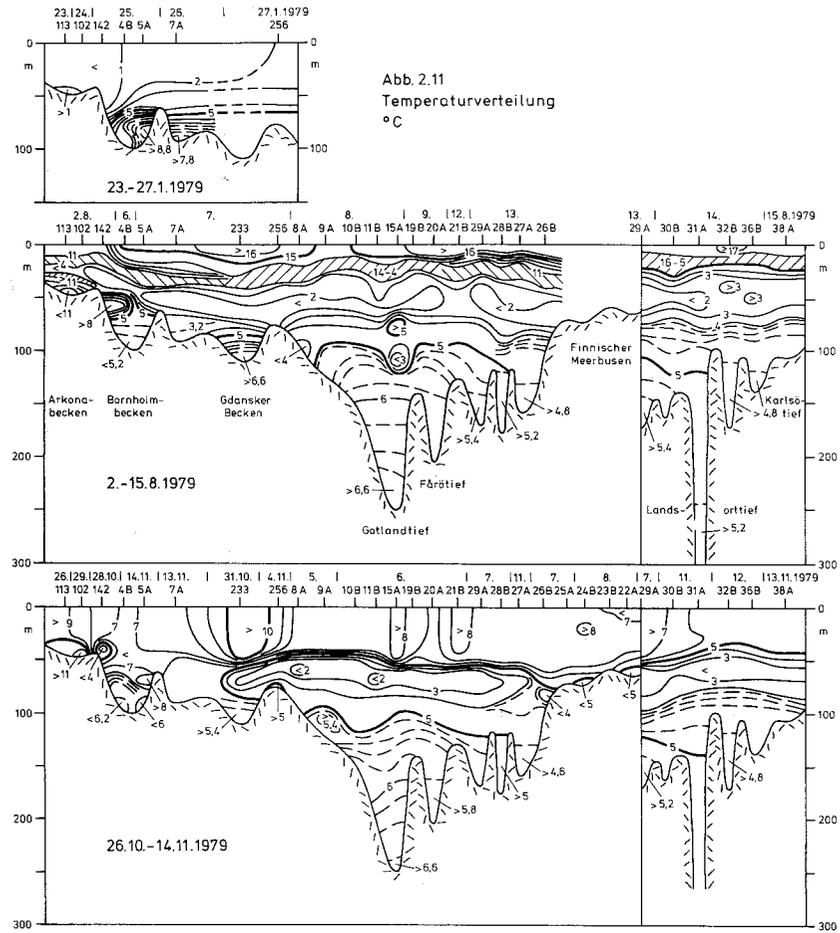
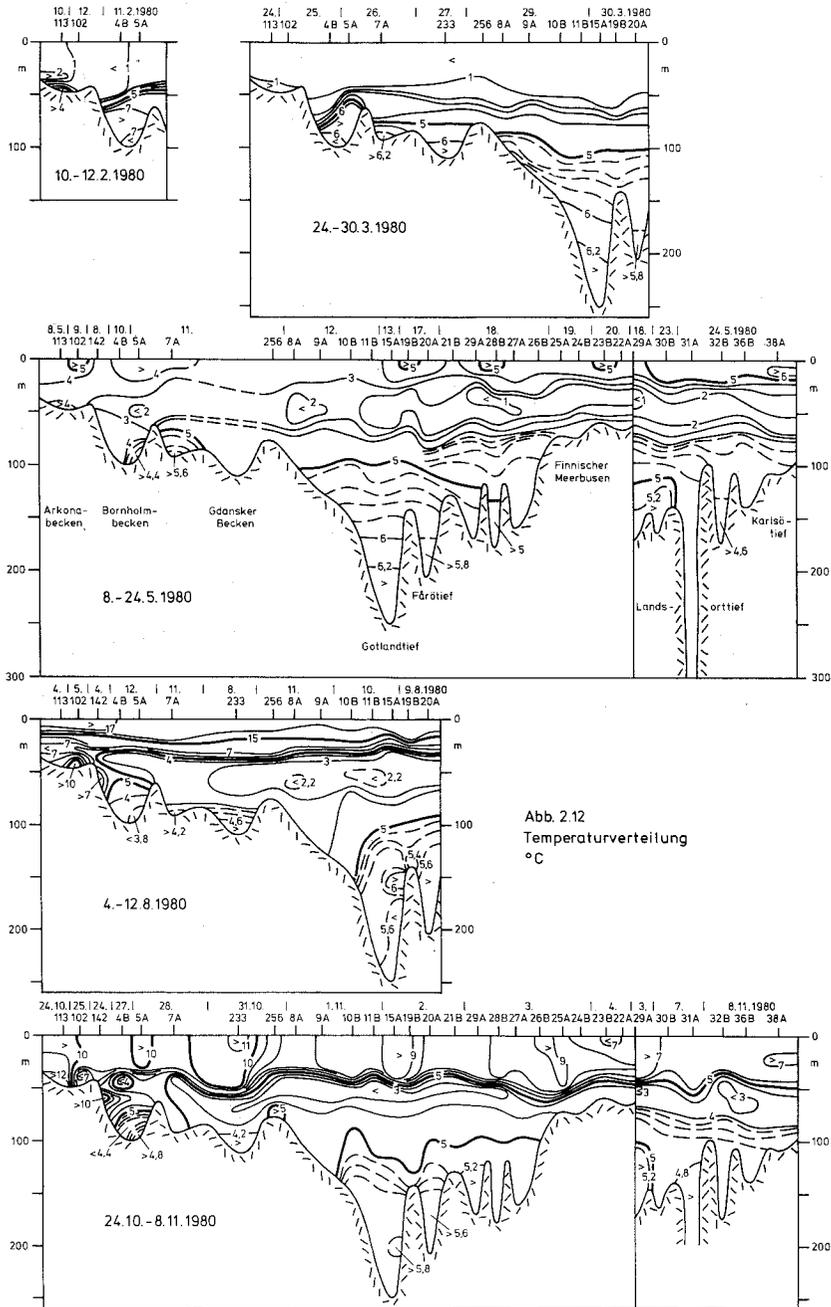


Abb. 1.20



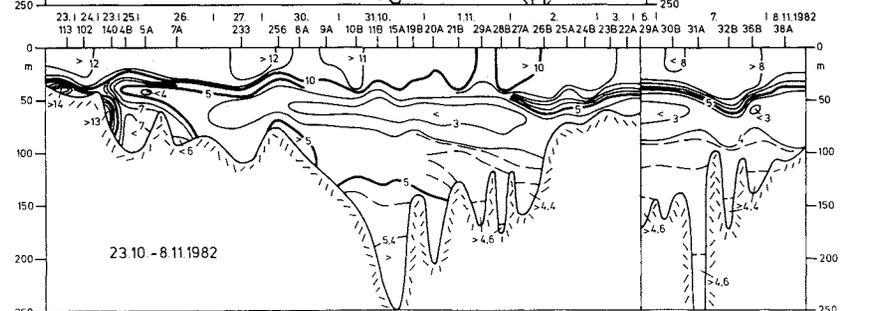
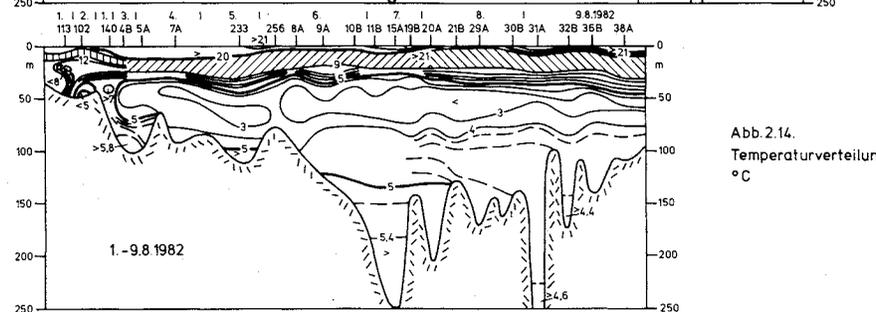
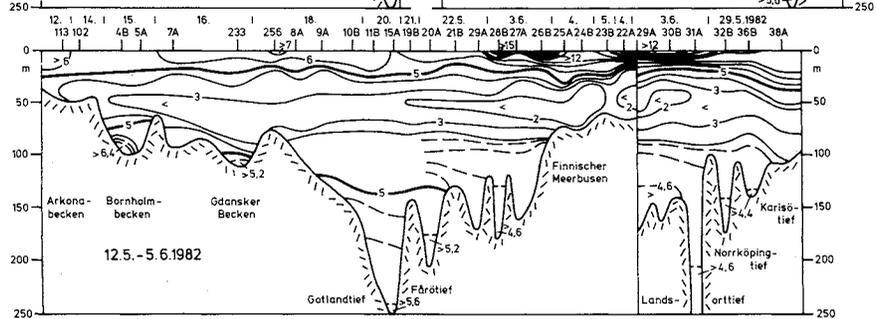
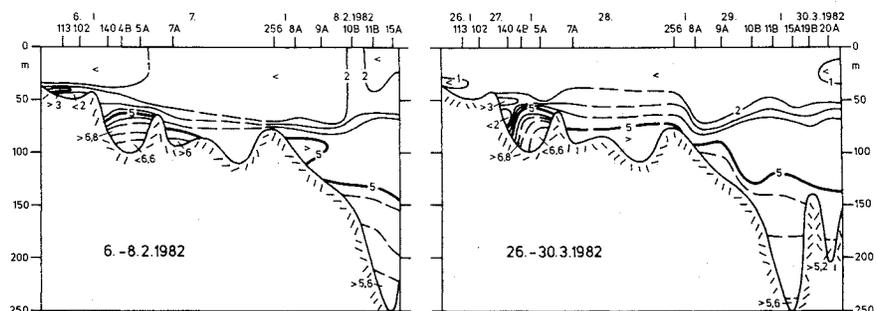


Abb. 2.14.
Temperaturverteilung
°C

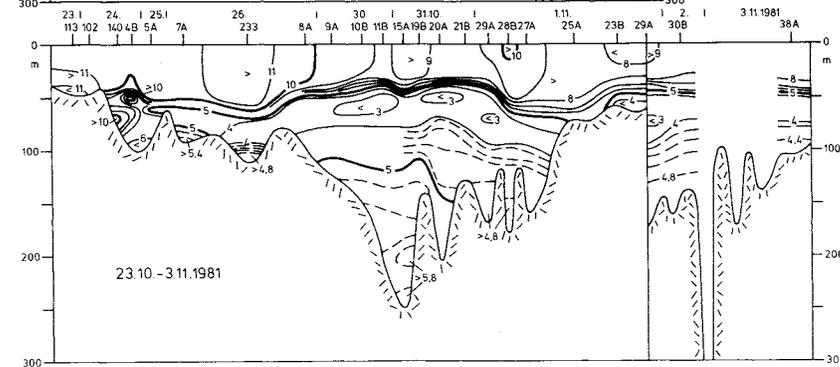
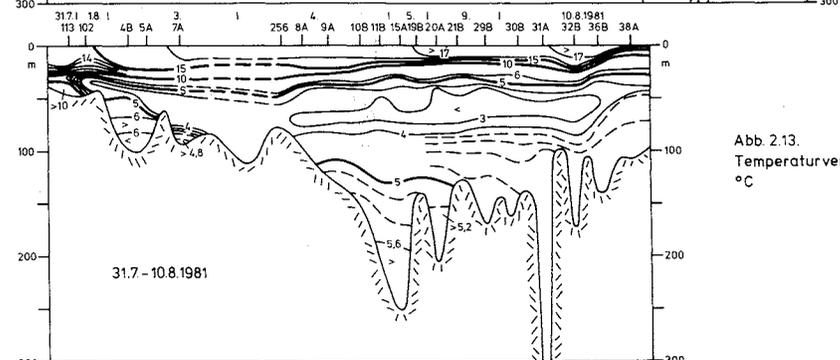
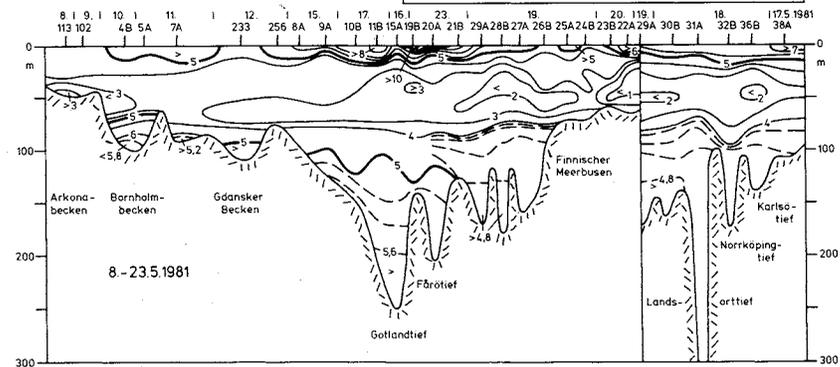
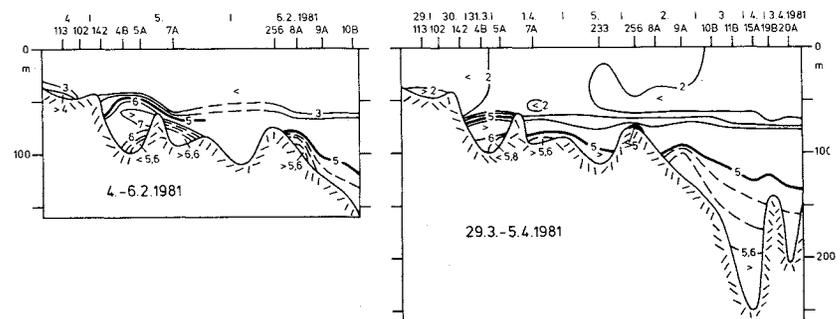


Abb. 2.13.
Temperaturverteilung
°C

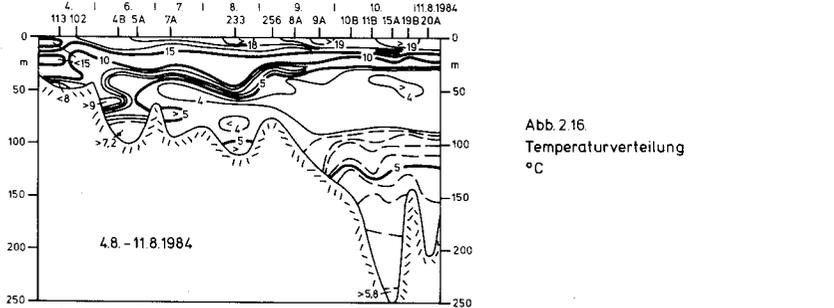
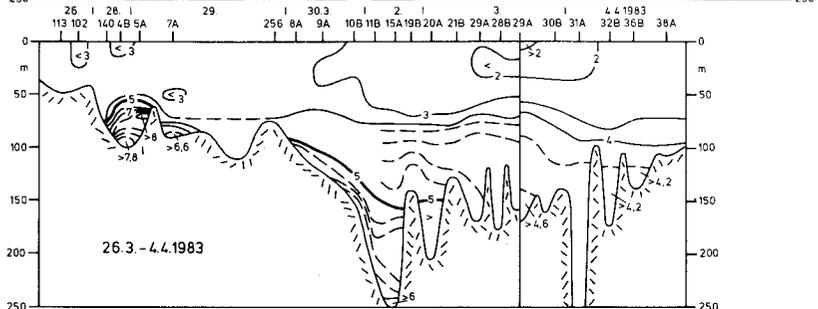
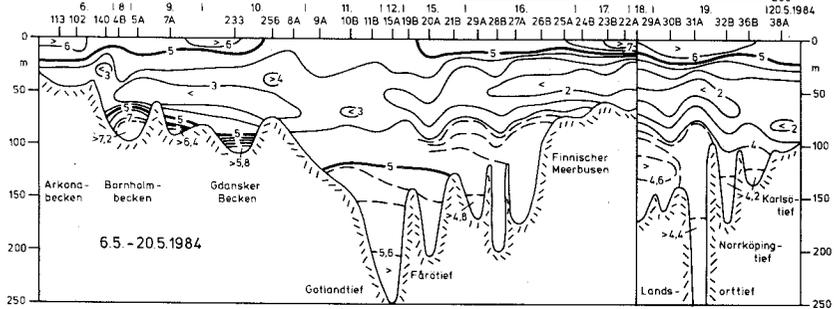
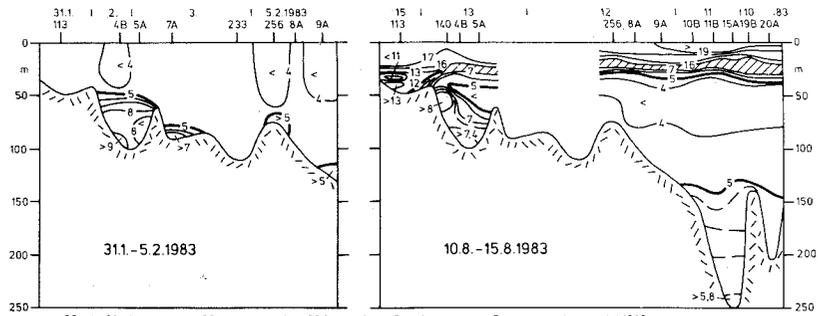
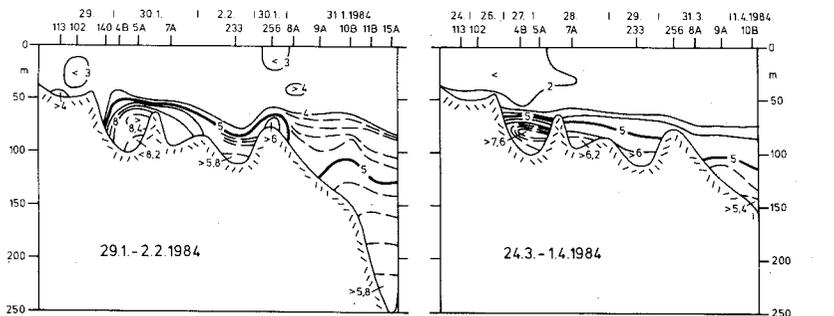


Abb. 2.16
Temperaturverteilung
°C

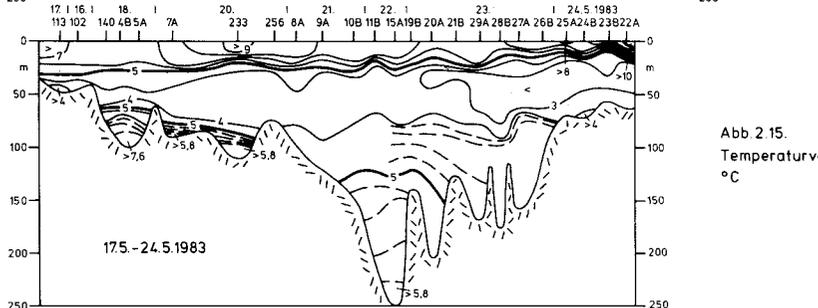
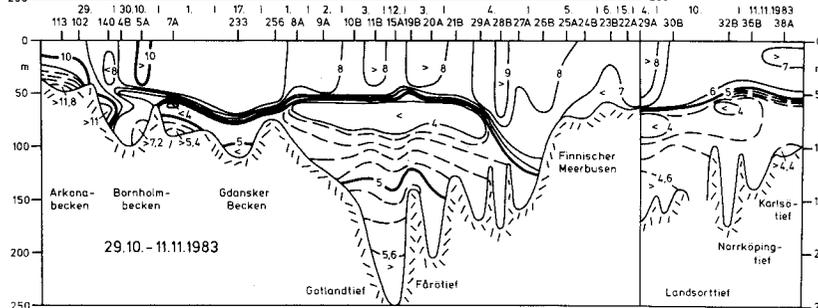
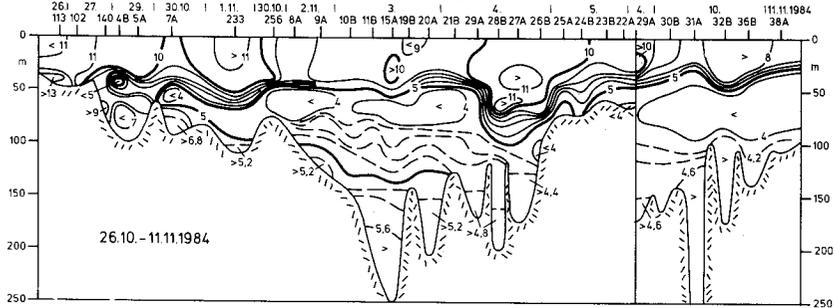


Abb. 2.15.
Temperaturverteilung
°C



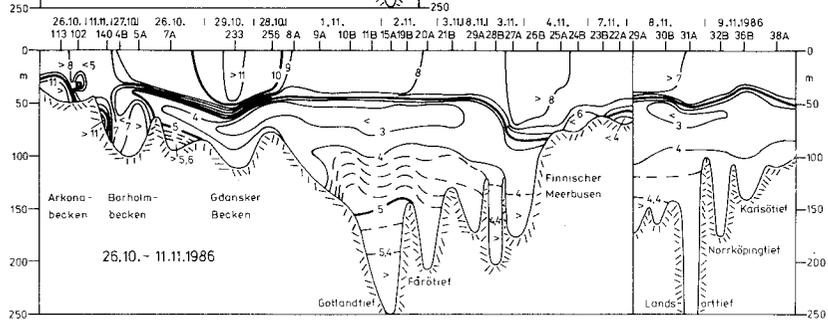
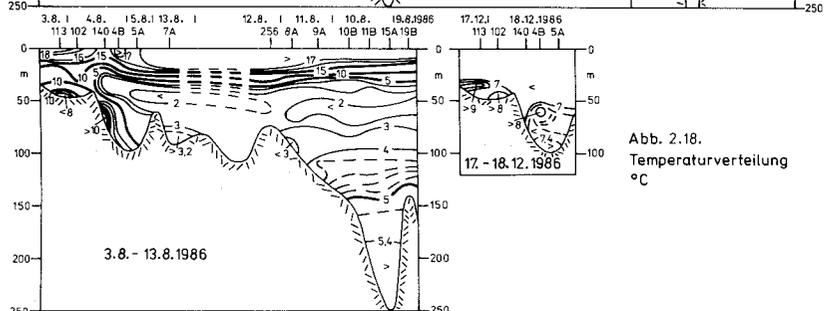
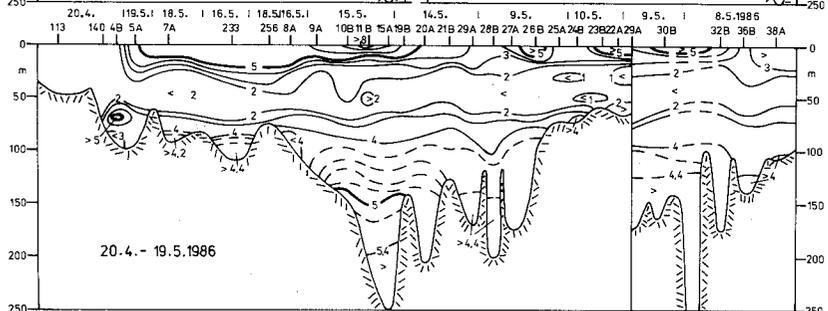
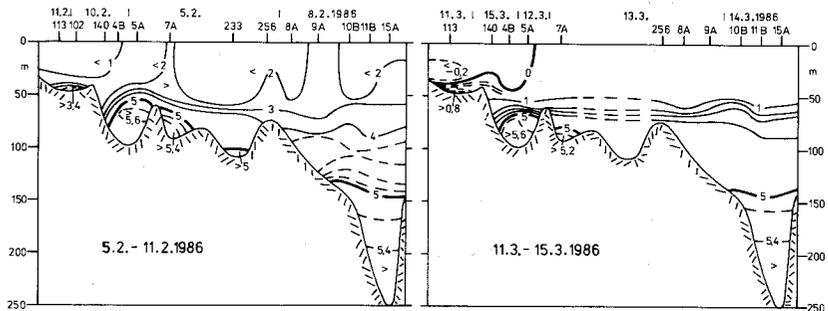
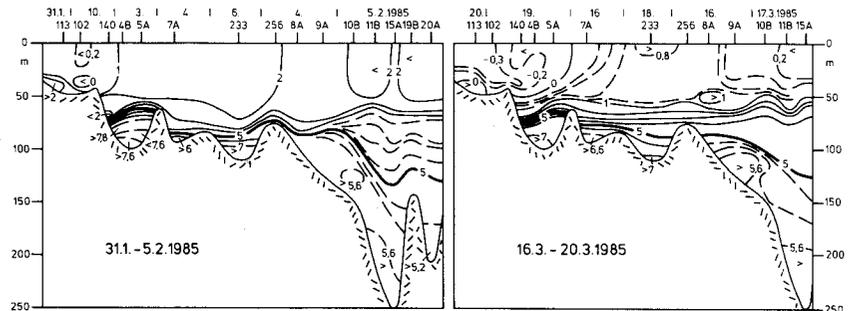


Abb. 2.18.
Temperaturverteilung
°C



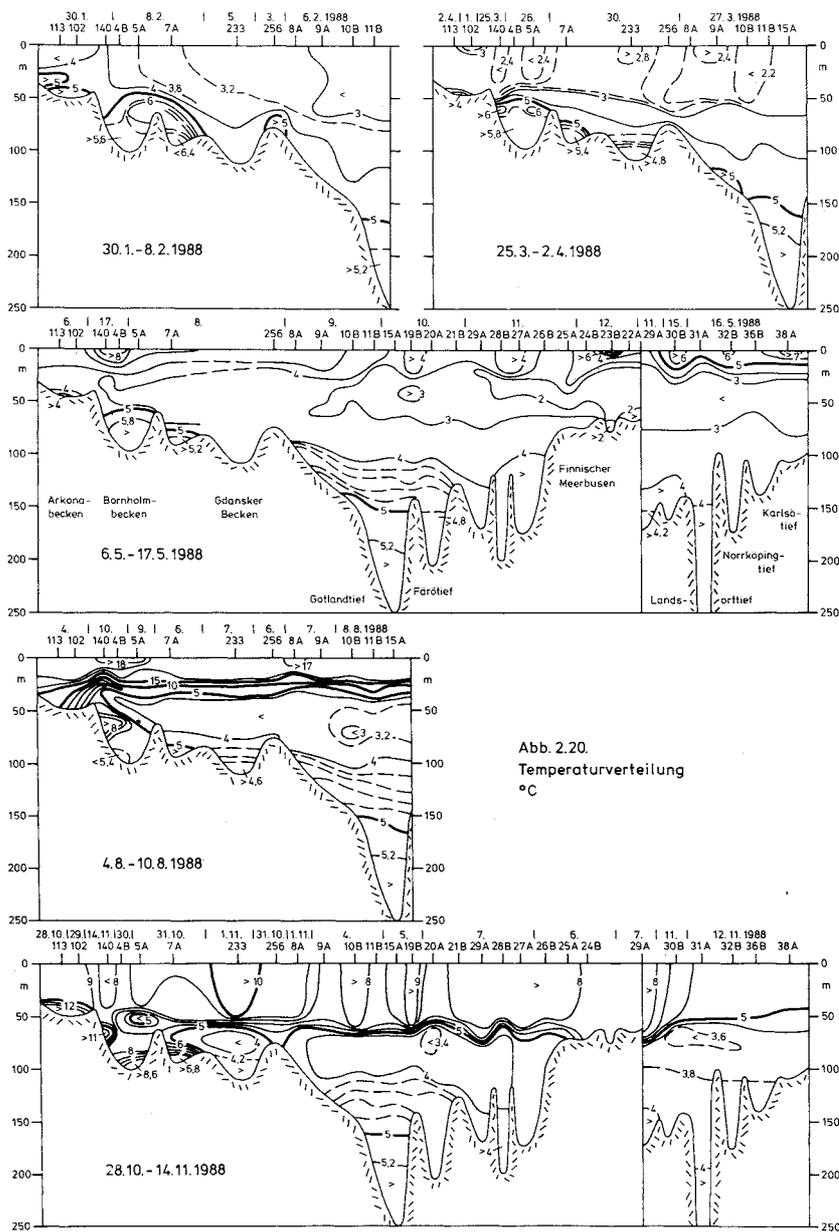


Abb. 2.20. Temperaturverteilung °C

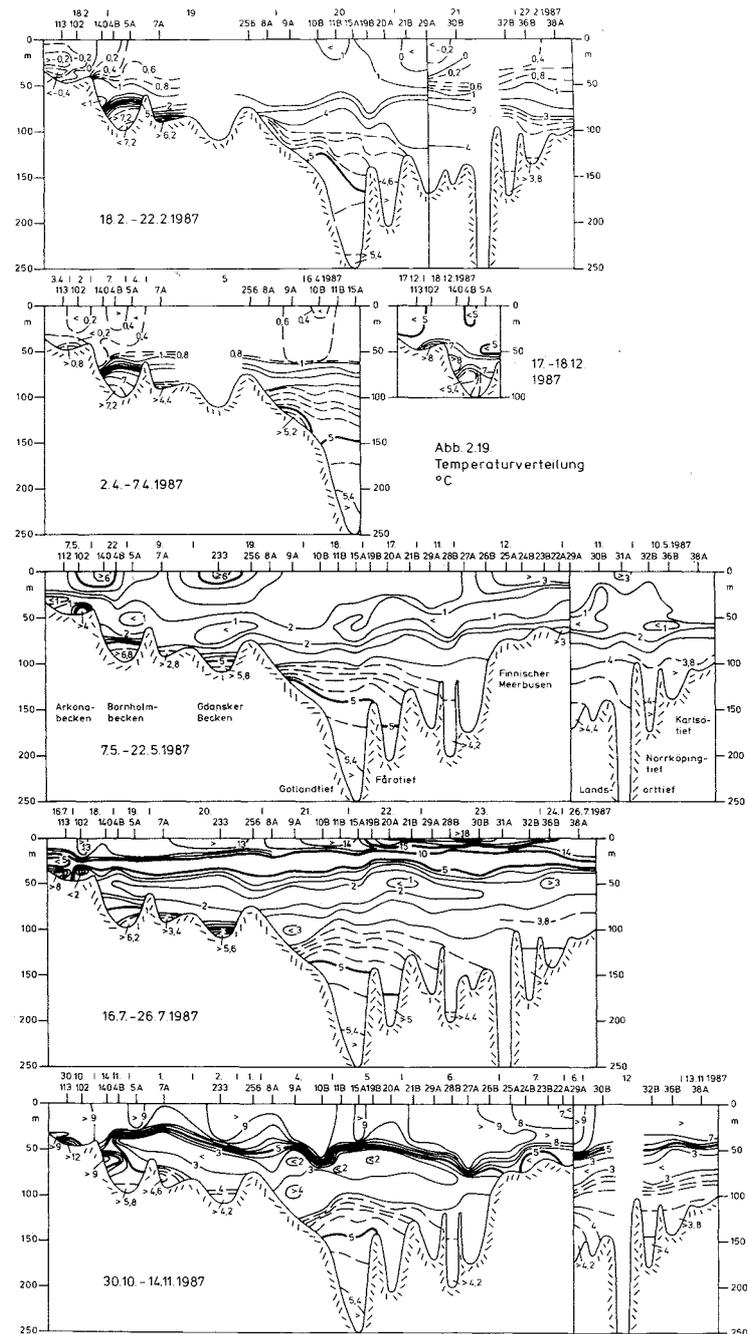


Abb. 2.19. Temperaturverteilung °C

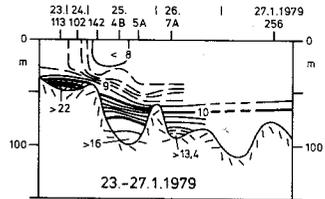
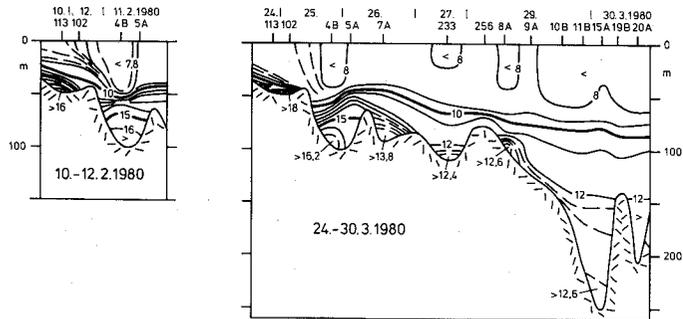


Abb. 3.11
Salzgehaltsverteilung
‰

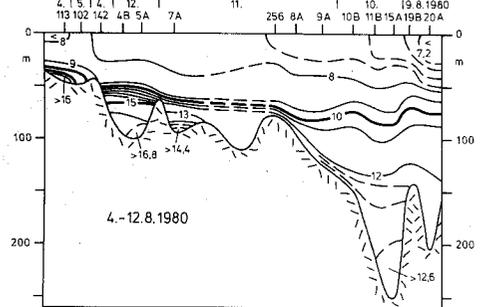
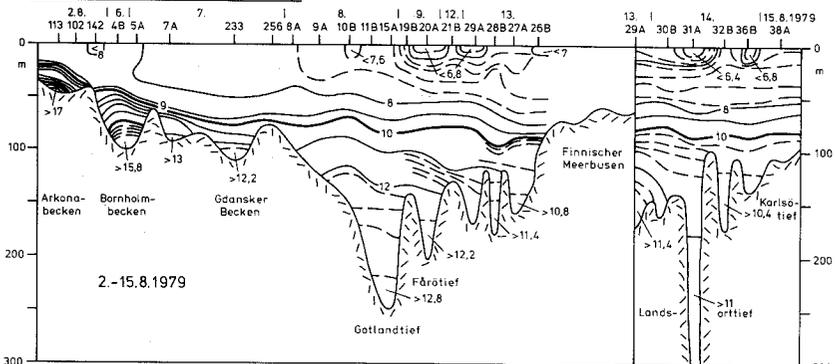
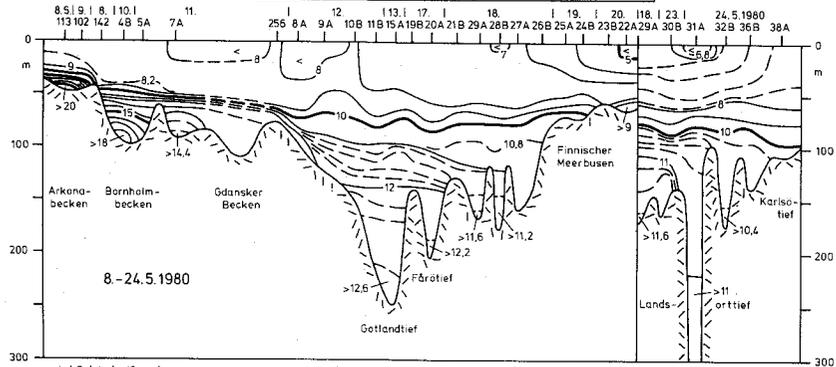
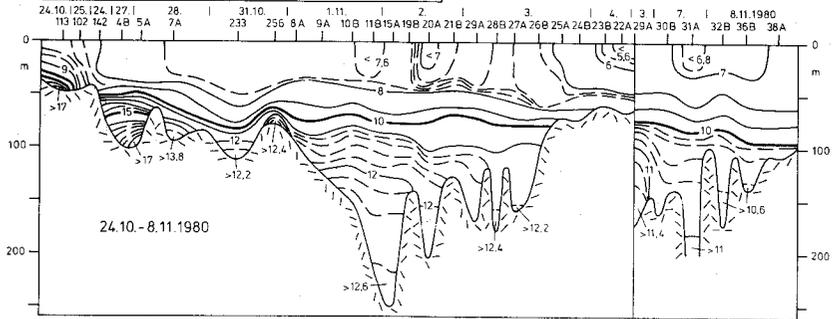
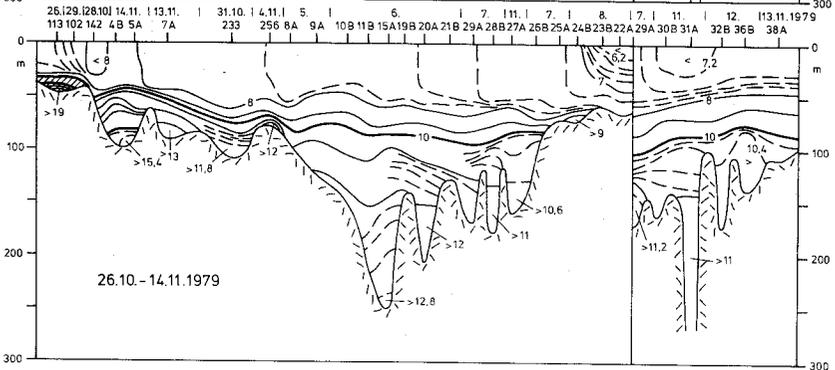


Abb. 3.12
Salzgehaltsverteilung
‰



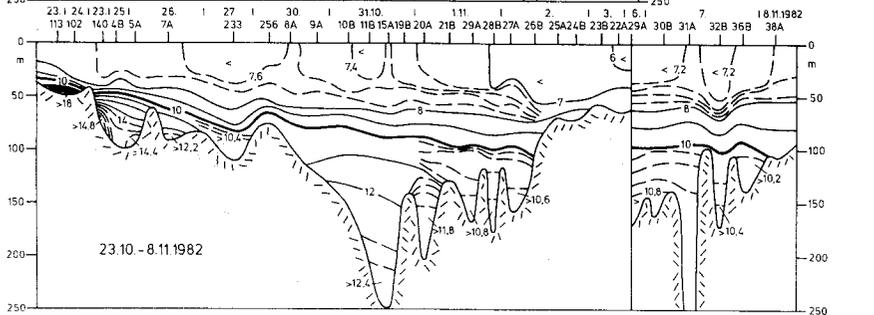
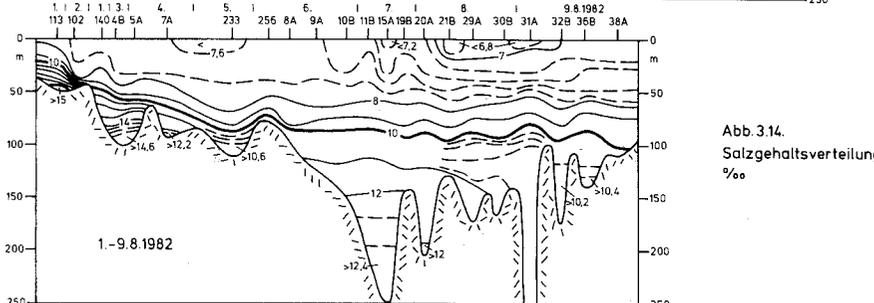
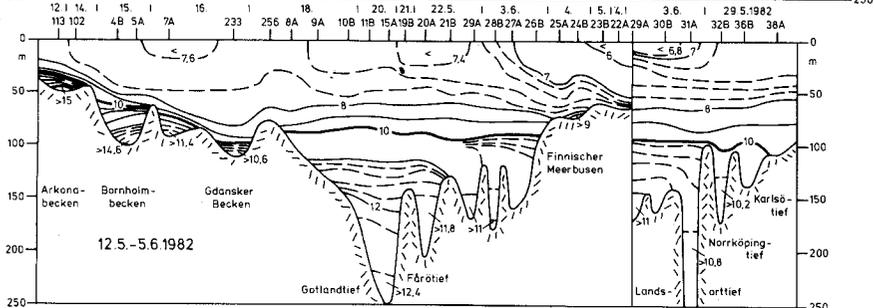
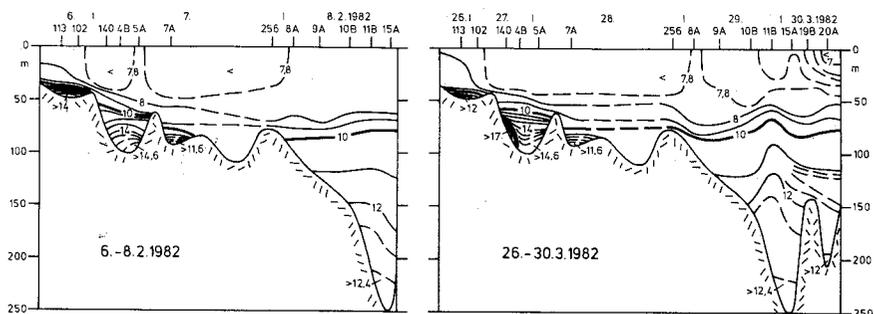


Abb. 3.14.
Salzgehaltverteilung
‰

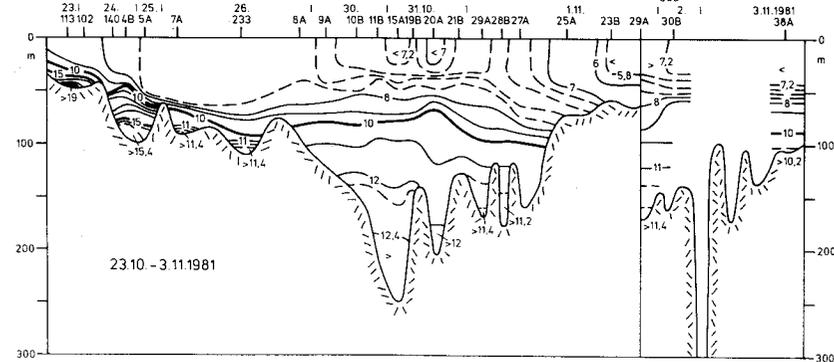
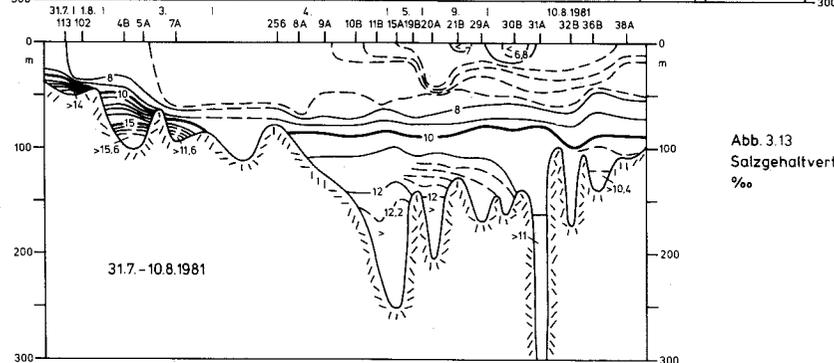
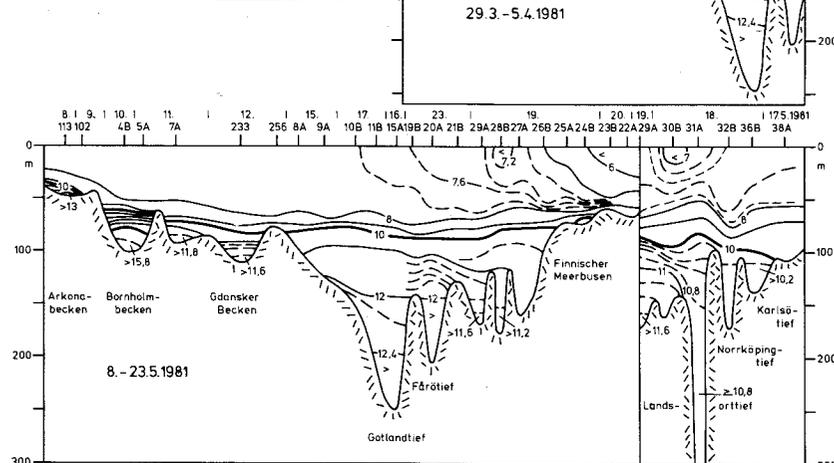
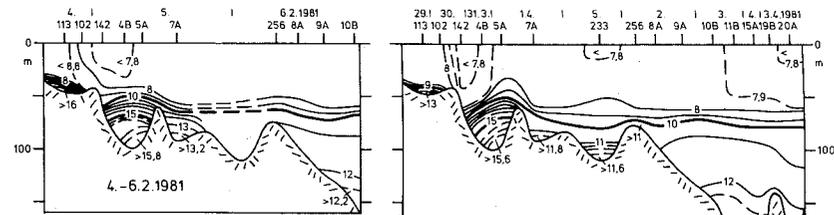


Abb. 3.13
Salzgehaltverteilung
‰

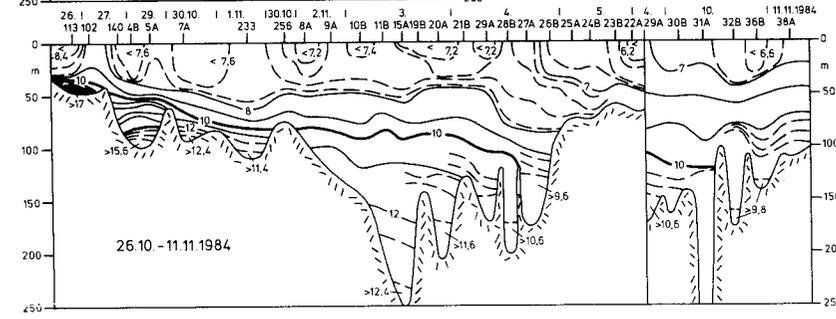
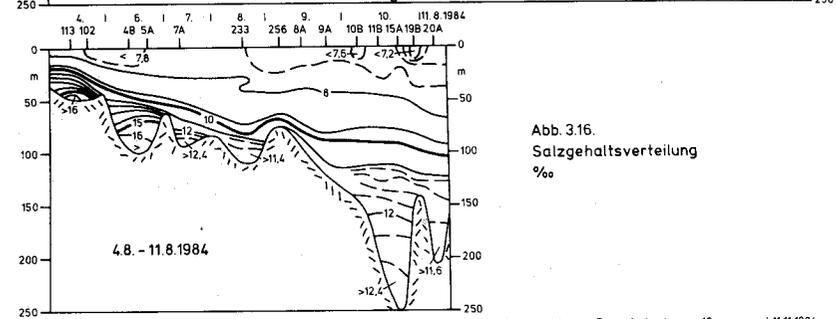
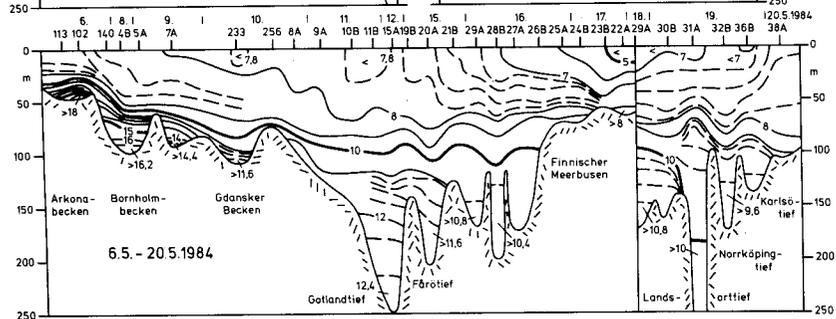
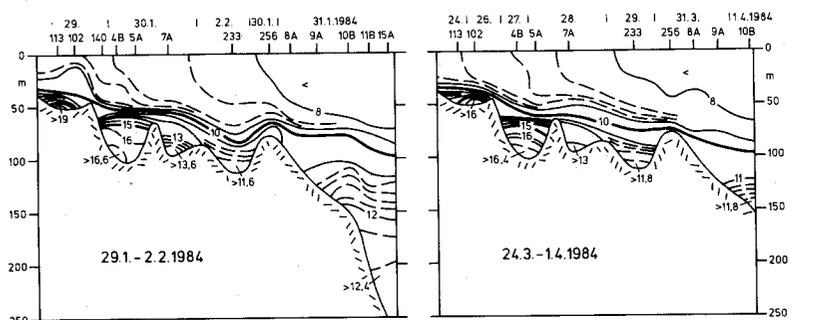


Abb. 316.
Salzgehaltsverteilung
‰

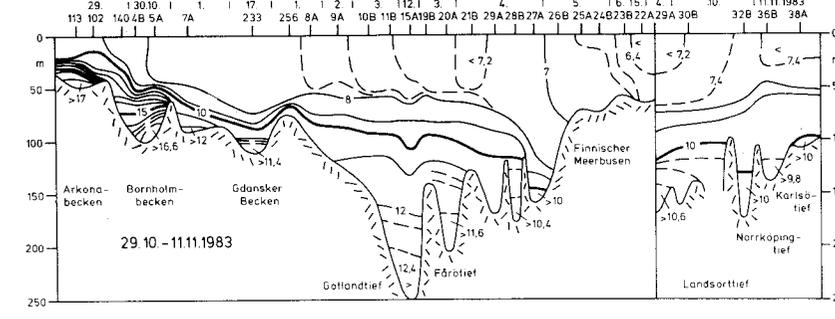
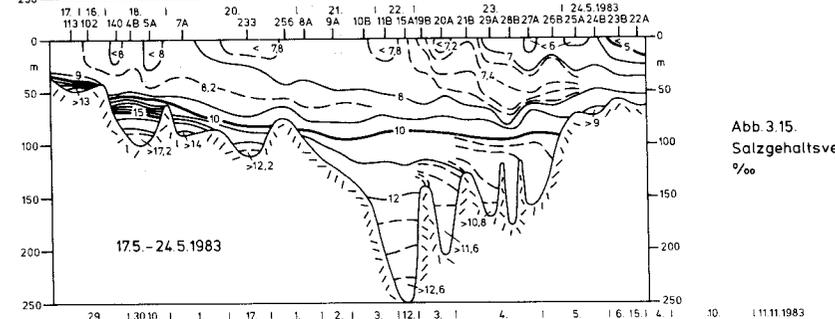
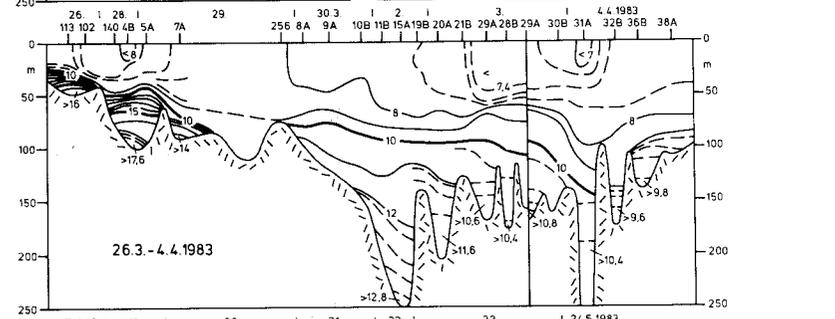
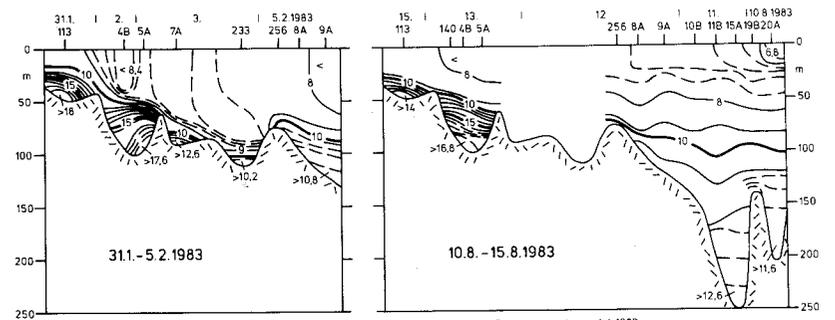


Abb. 315.
Salzgehaltsverteilung
‰

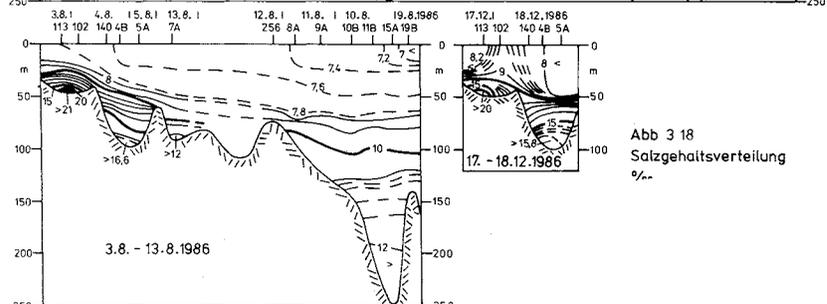
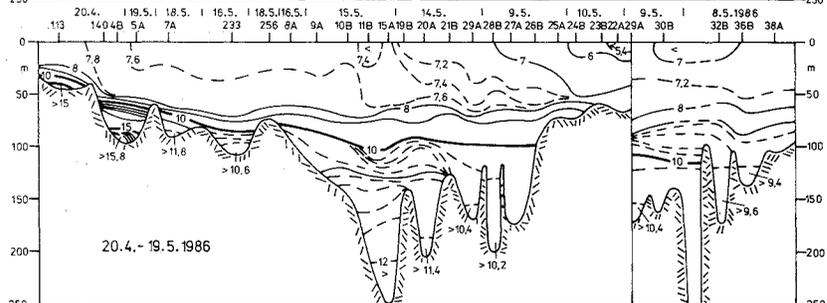
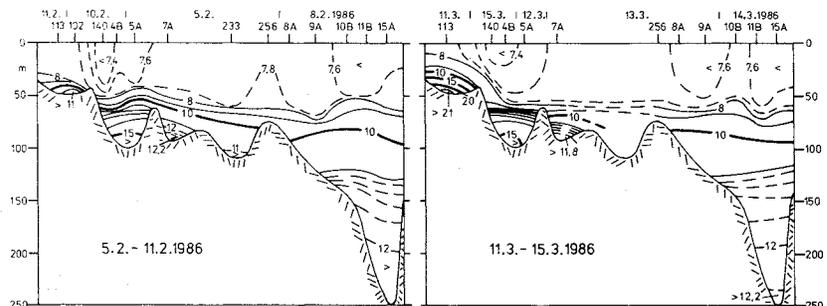


Abb 3.18
Salzgehaltsverteilung
‰

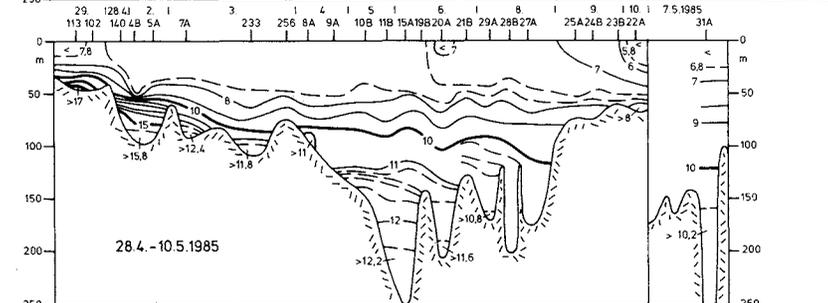
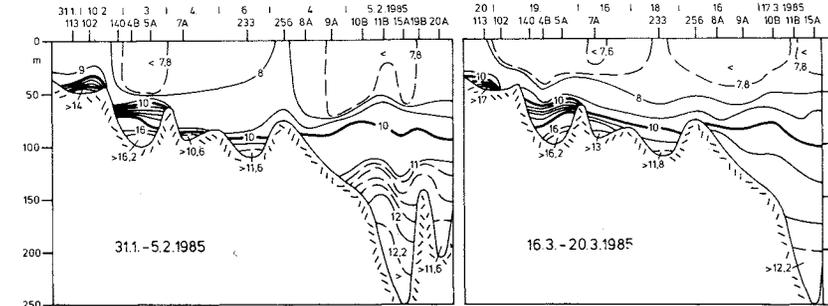
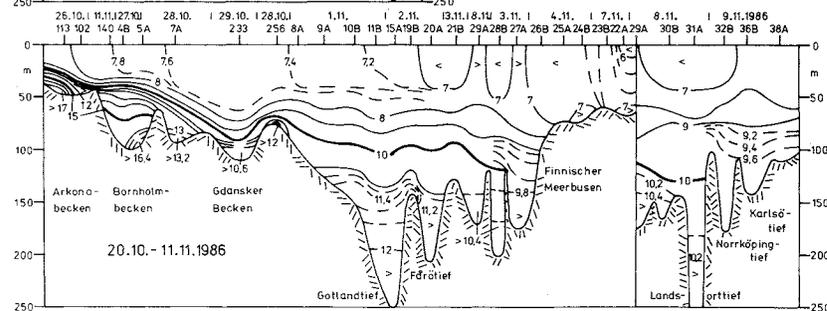
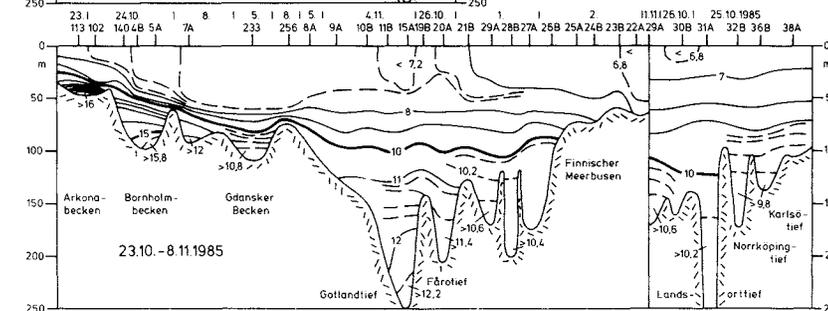
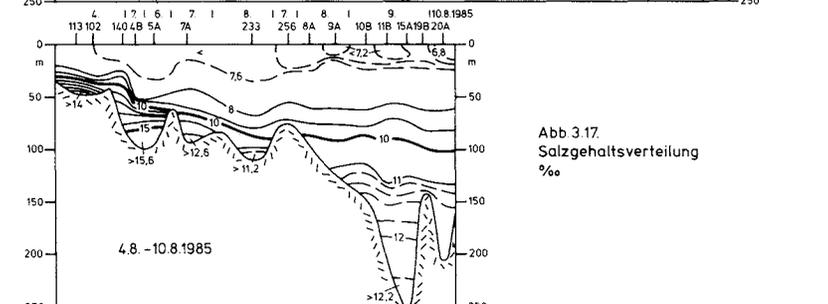
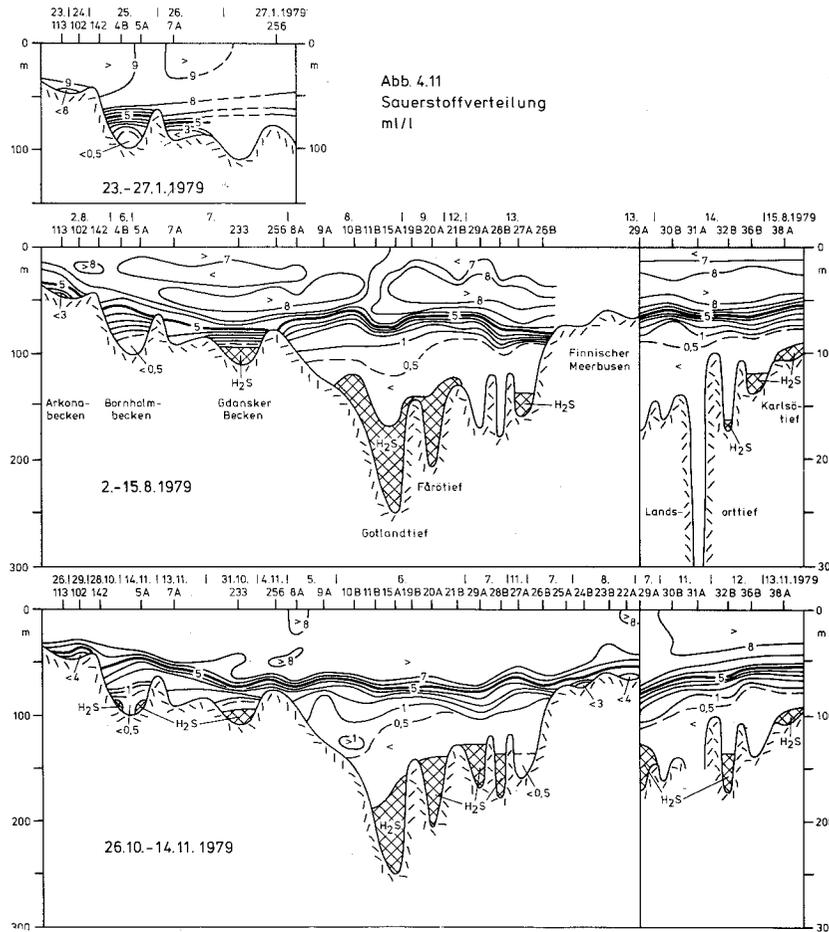
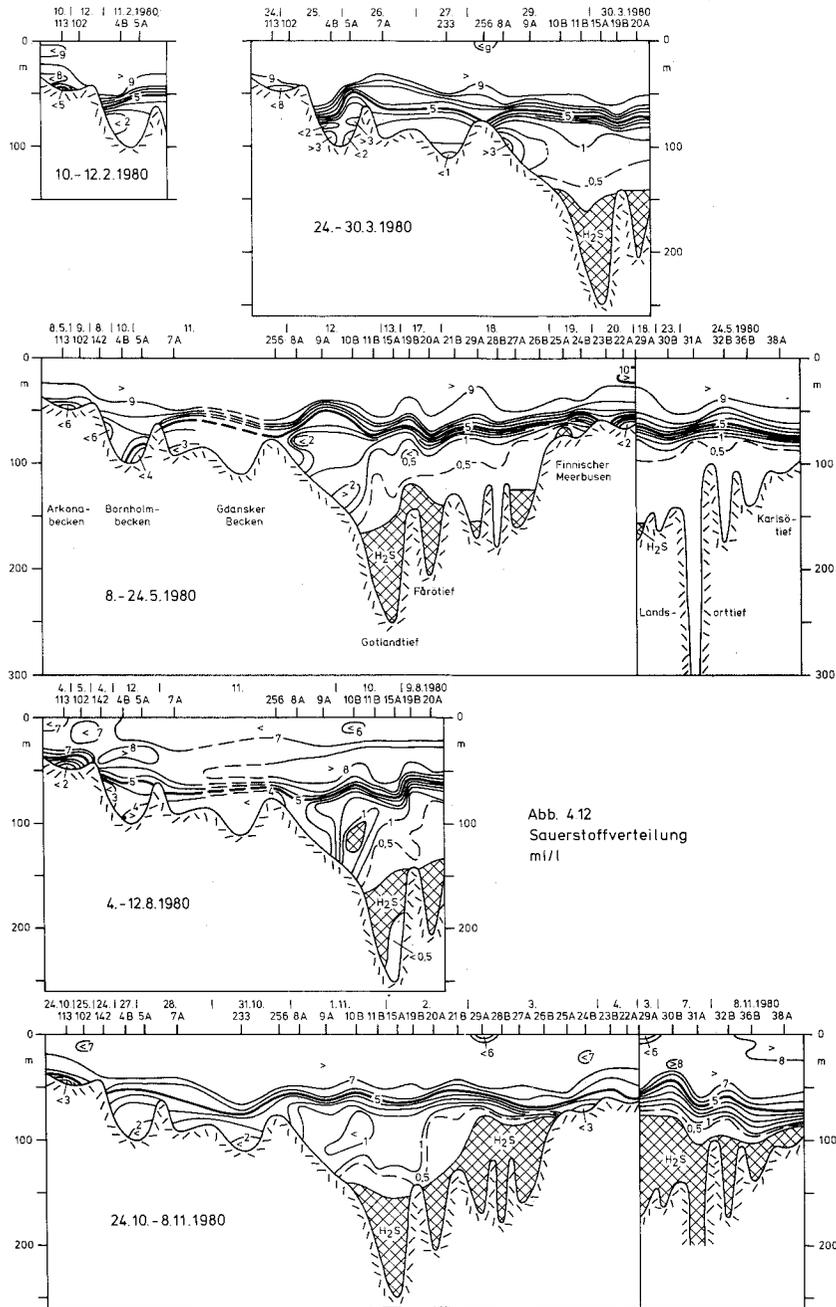


Abb 3.17
Salzgehaltsverteilung
‰



130



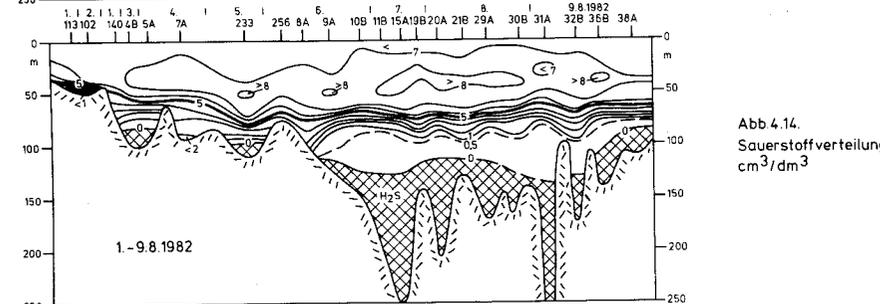
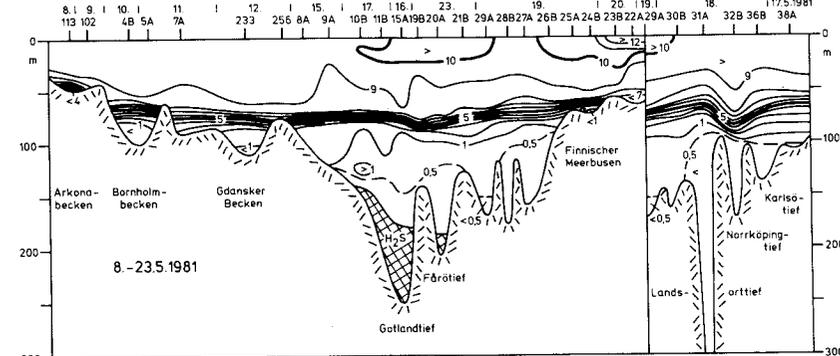
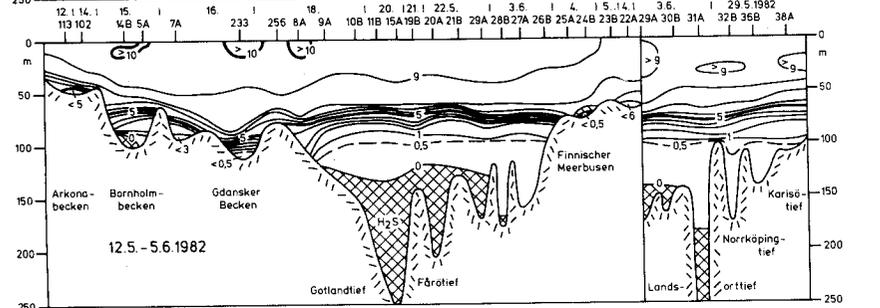
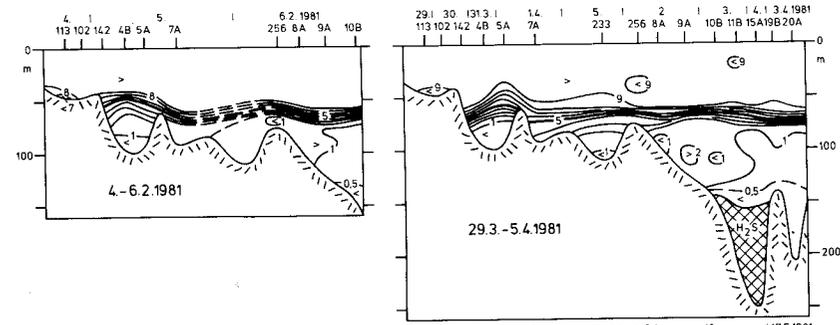
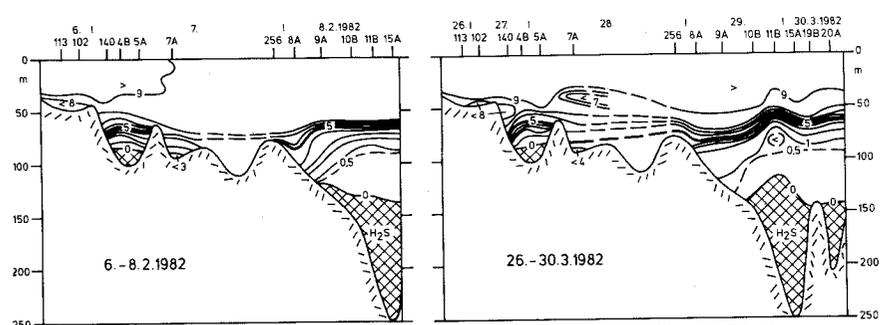


Abb. 4.14. Sauerstoffverteilung cm^3/dm^3

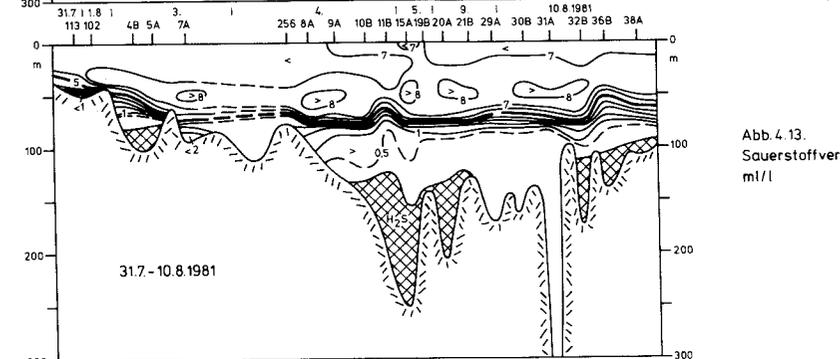
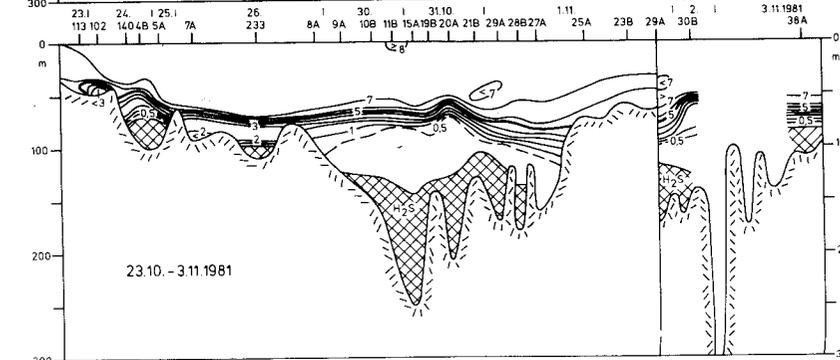
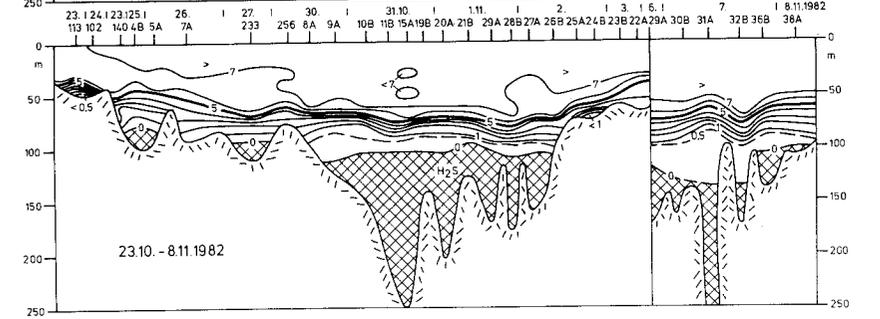


Abb. 4.13. Sauerstoffverteilung ml/l



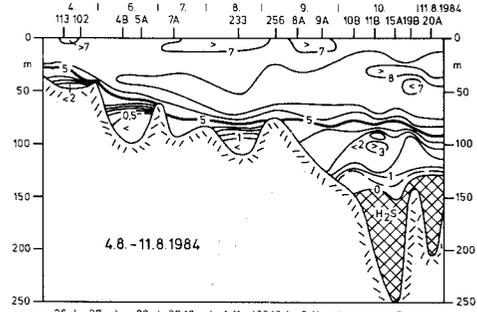
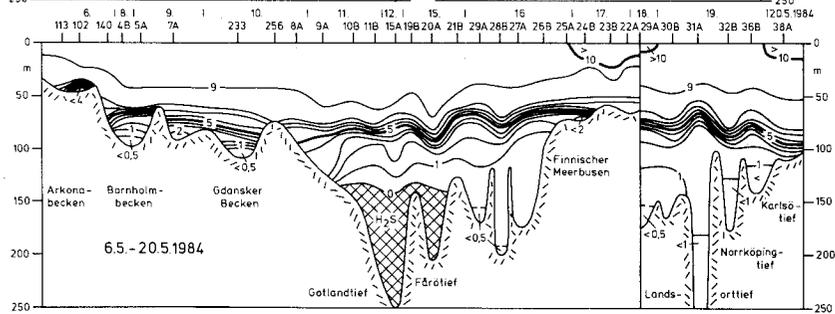
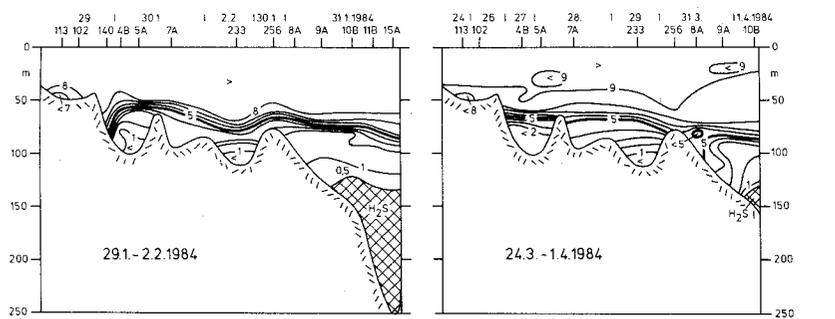


Abb 4.16.
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3

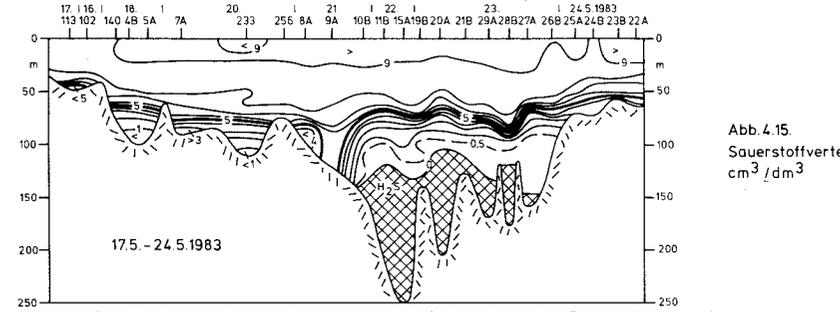
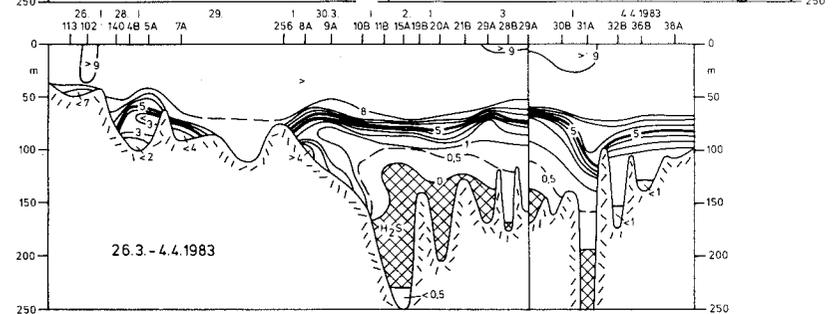
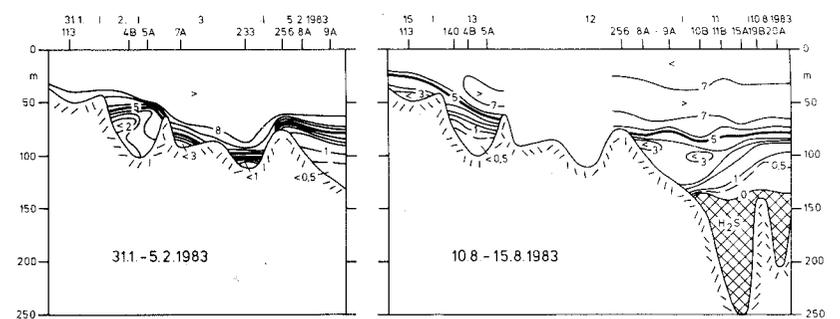
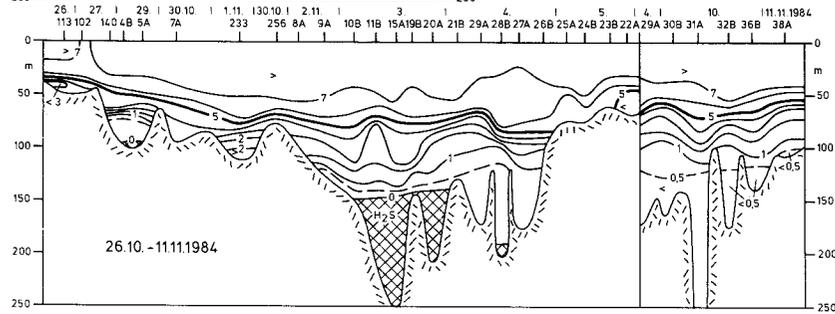
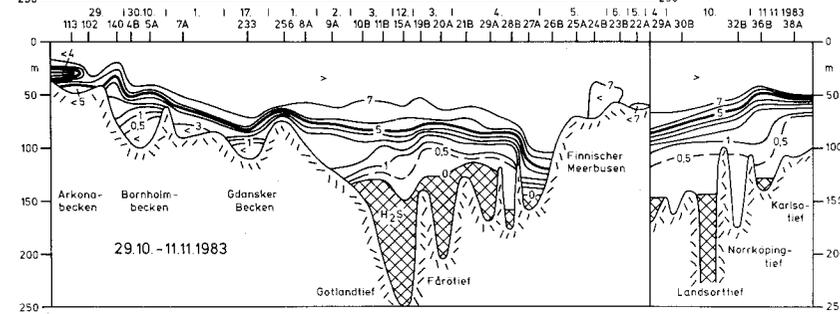


Abb 4.15.
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3



1
2
3

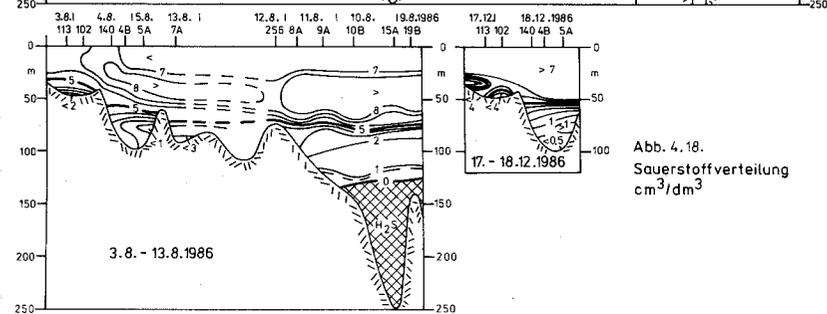
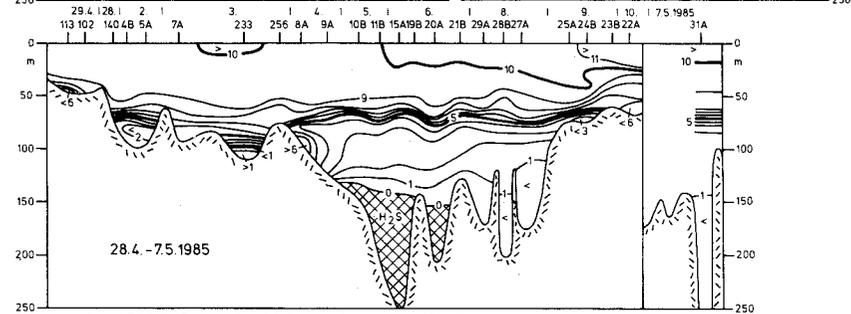
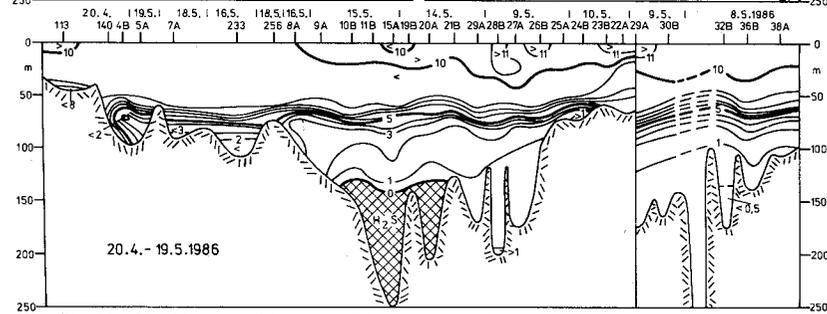
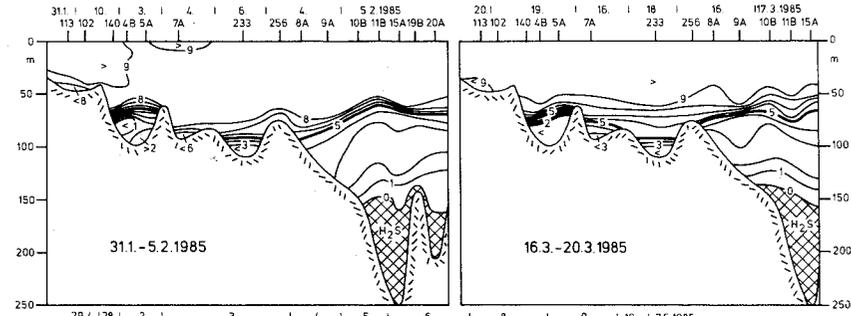
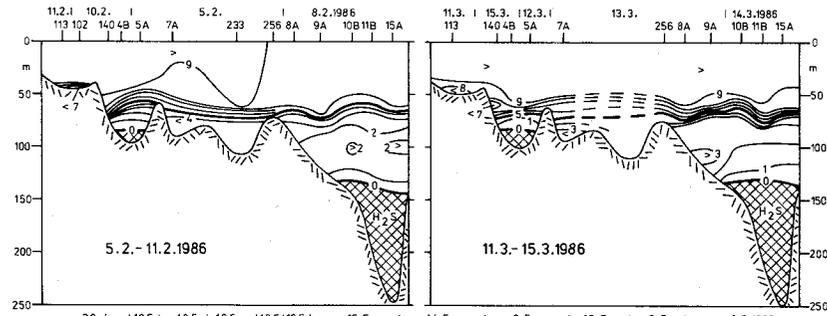


Abb. 4.18.
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3

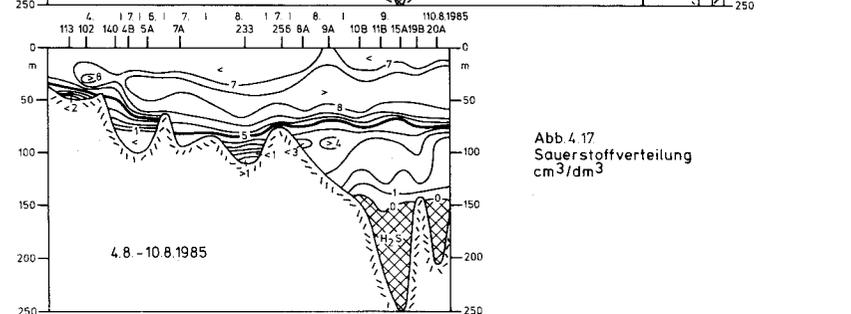
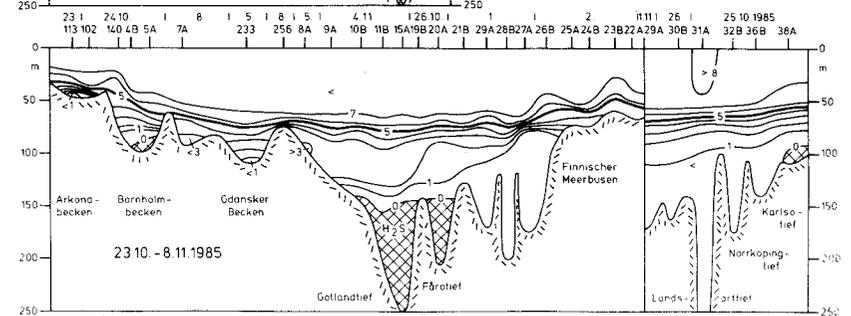
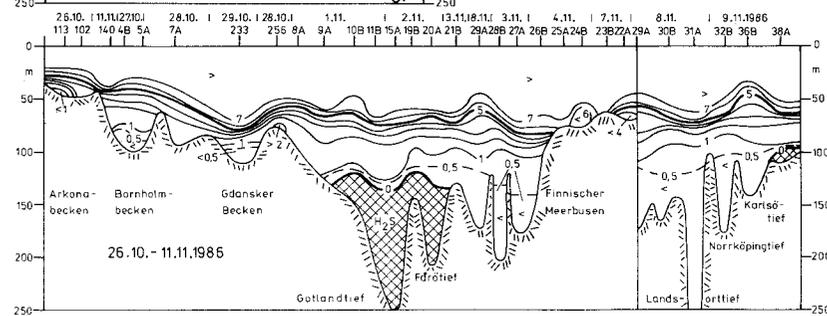


Abb. 4.17
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3



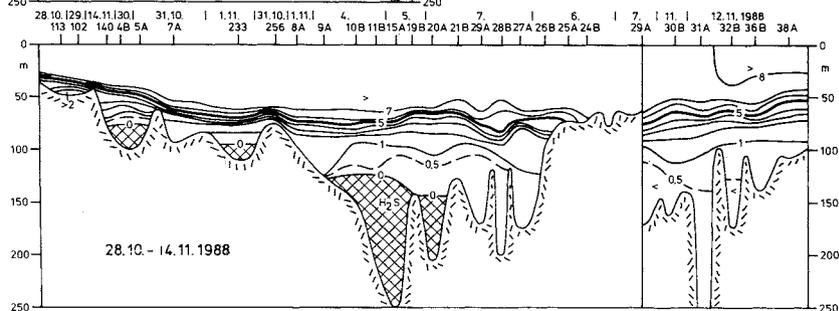
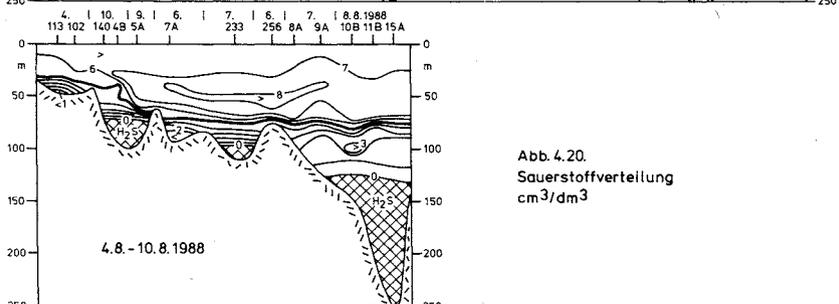
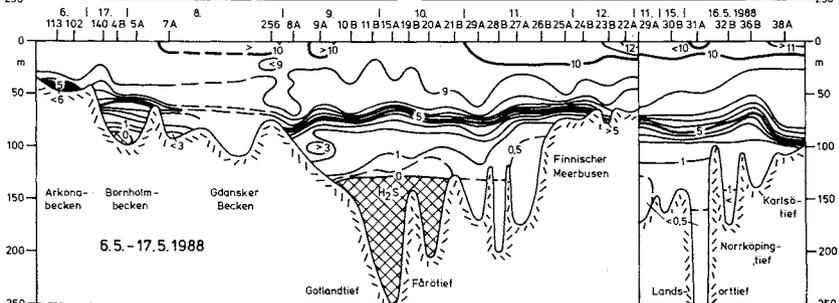
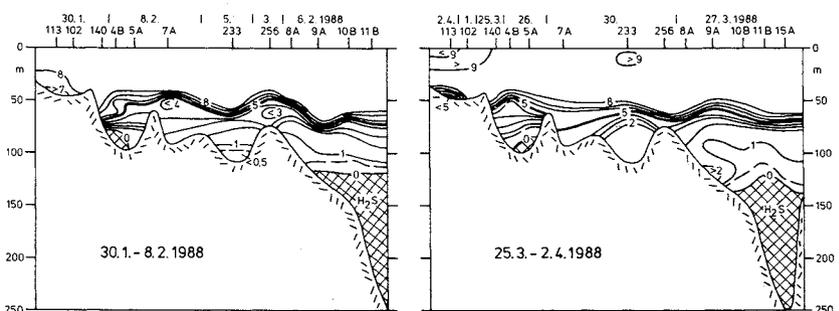


Abb. 4.20.
Sauerstoffverteilung
cm³/dm³

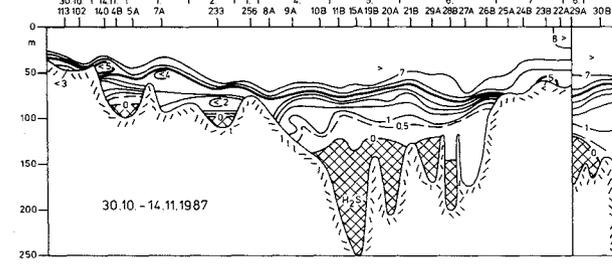
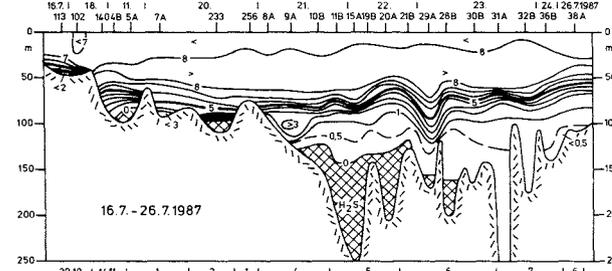
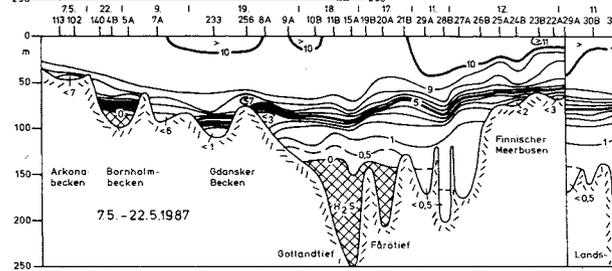
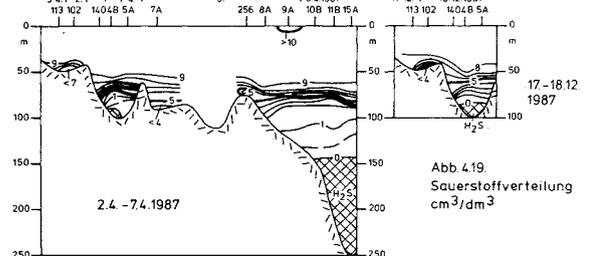
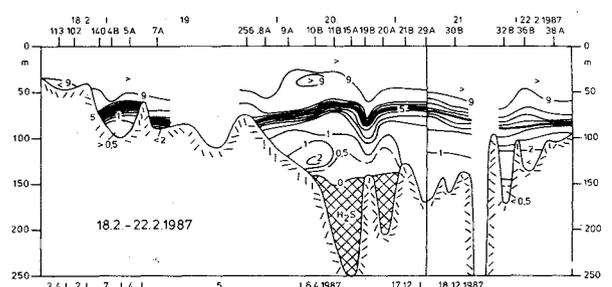
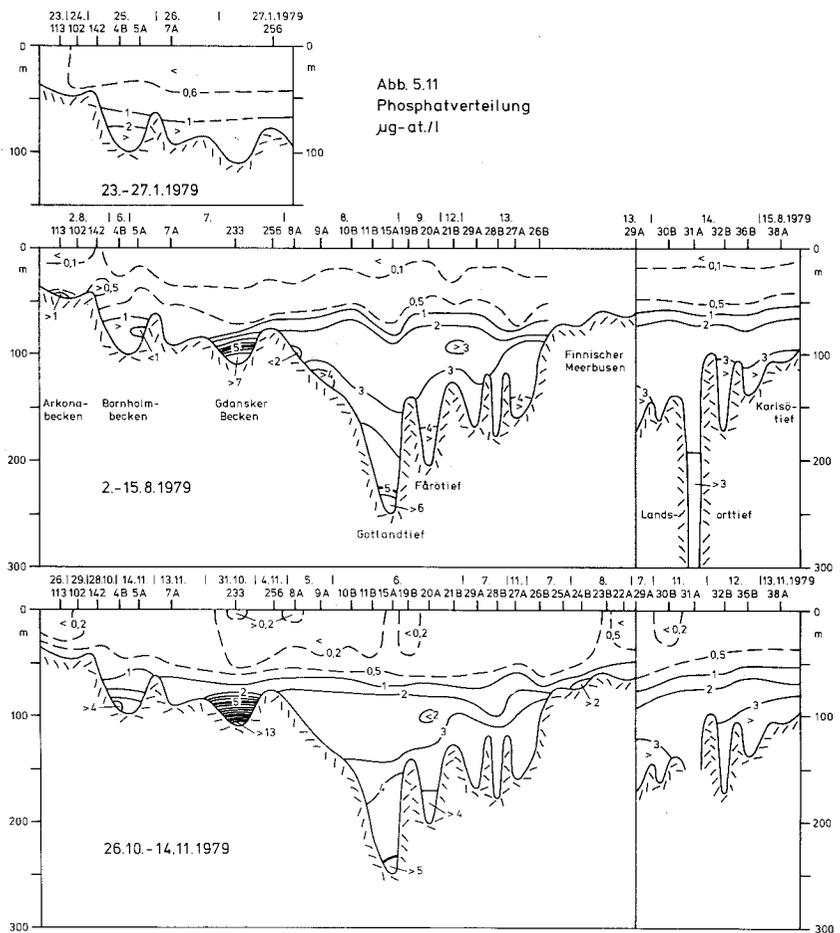
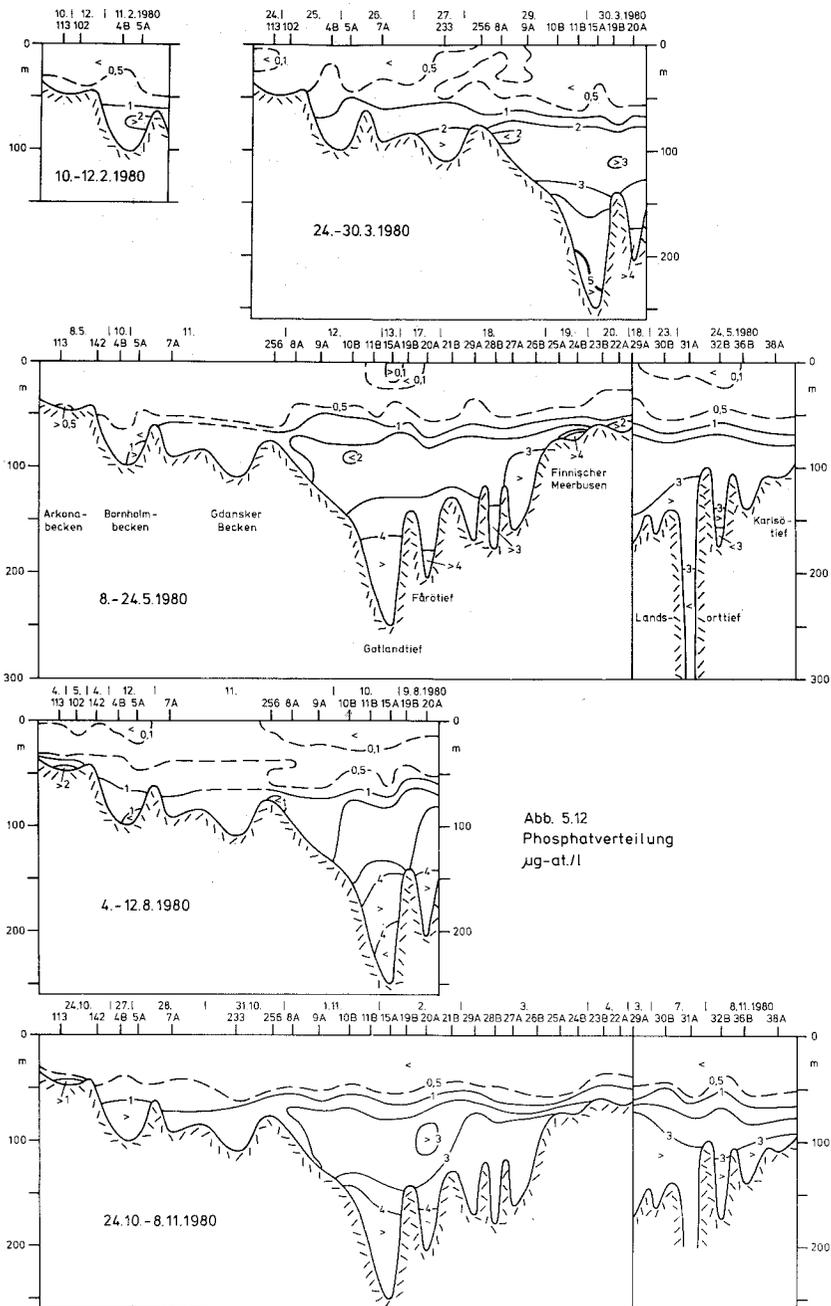


Abb. 4.19.
Sauerstoffverteilung
cm³/dm³

1
2
3
4



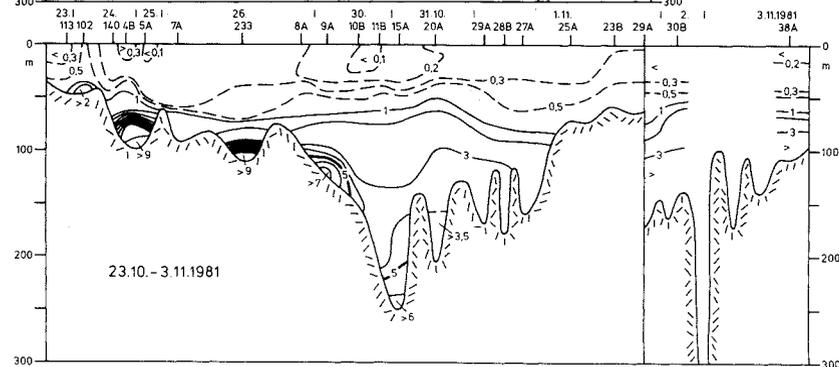
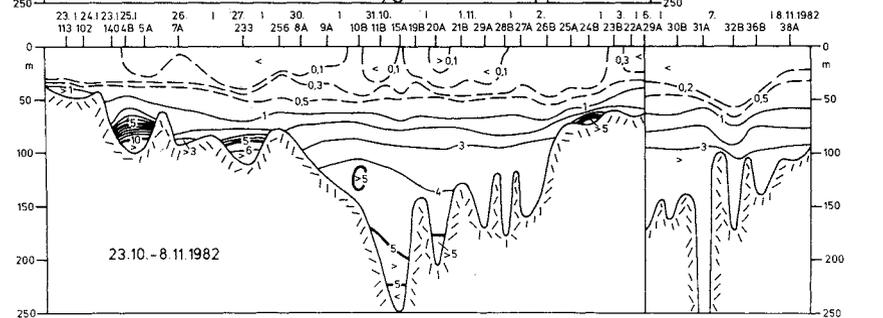
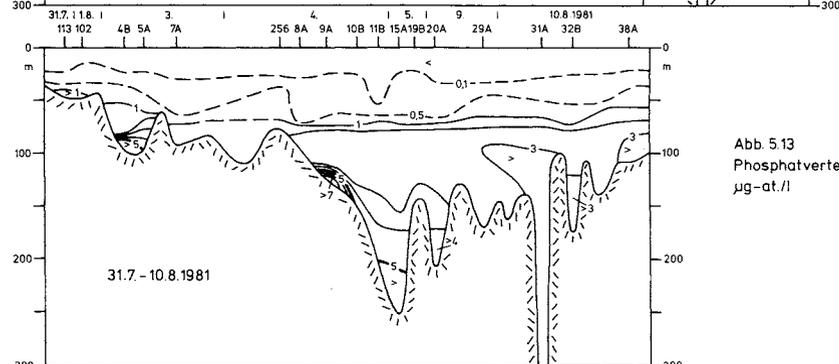
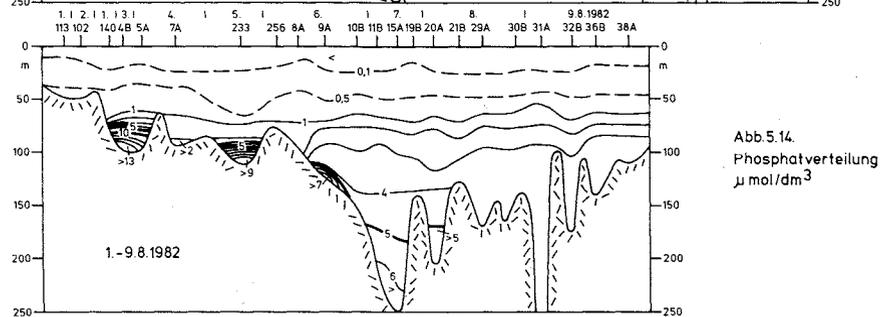
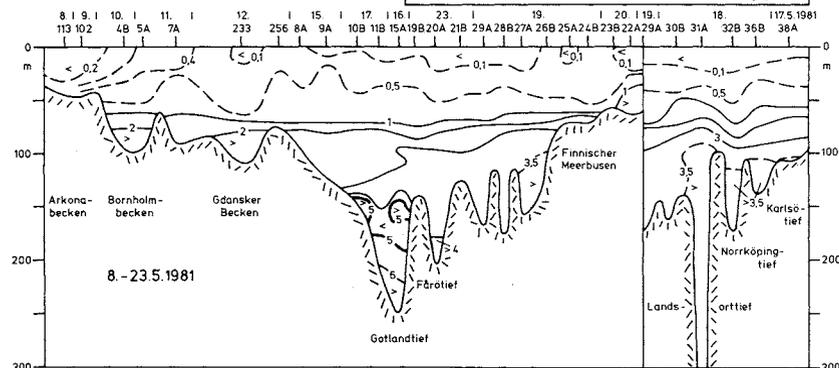
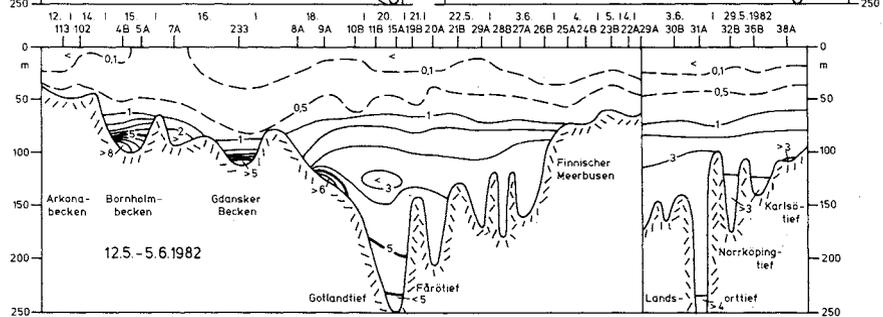
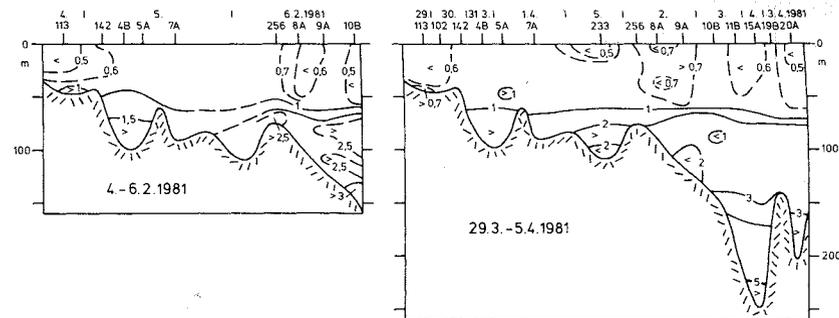
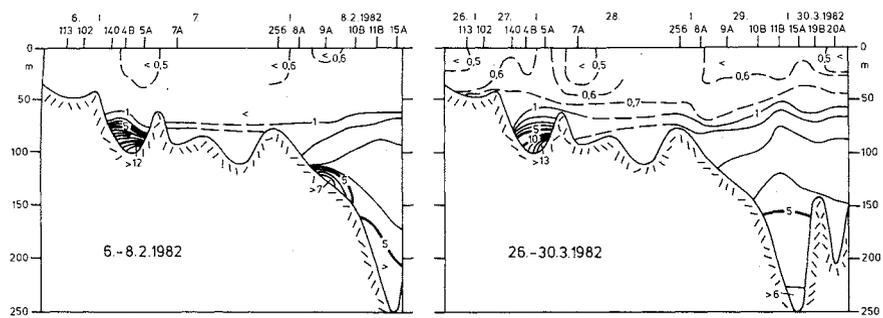


Abb.5.14.
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

Abb.5.13
Phosphatverteilung
 $\mu\text{g-at./l}$

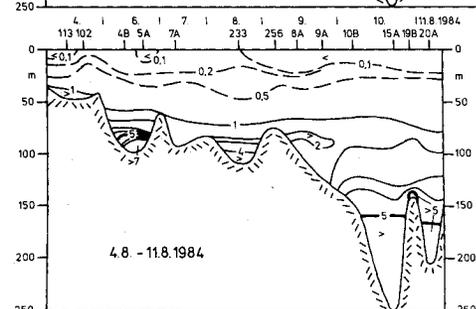
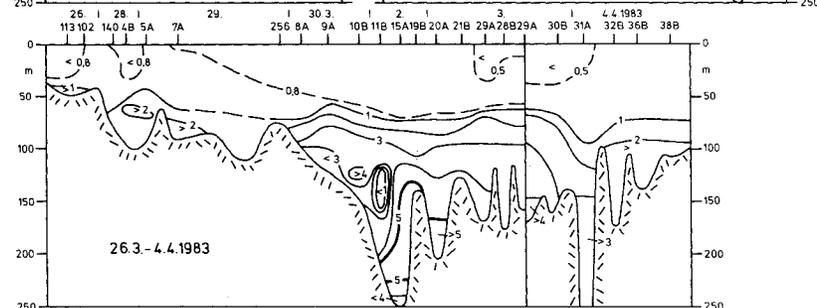
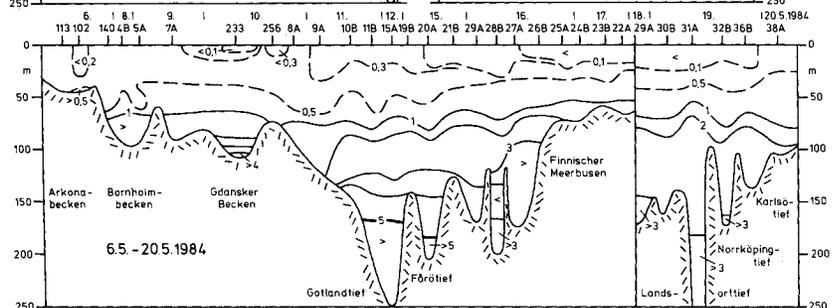
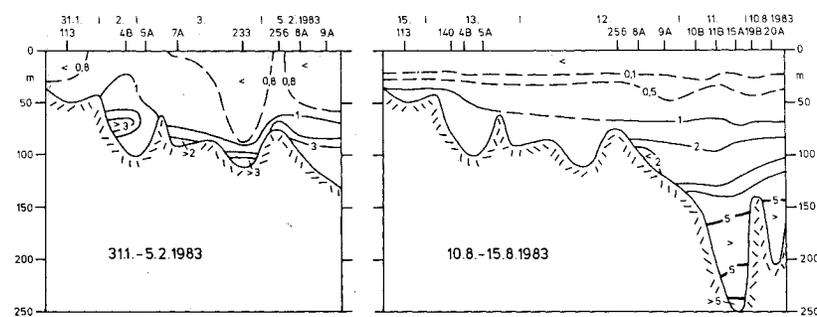
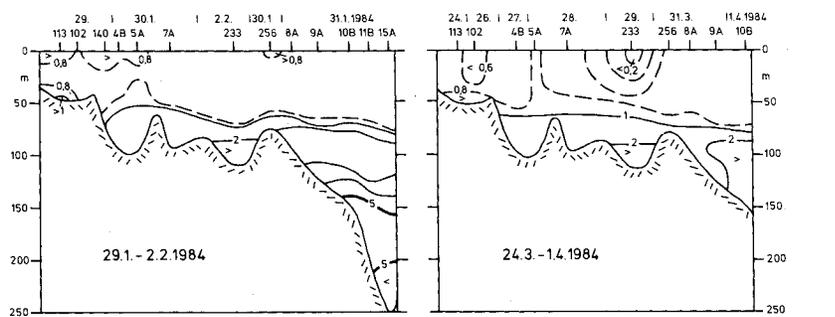


Abb 5.16.
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

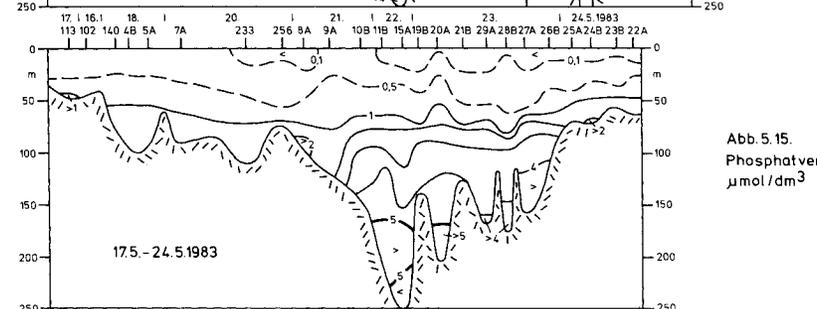
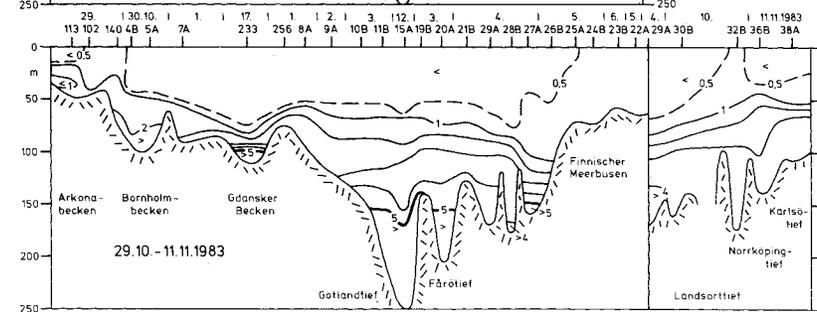
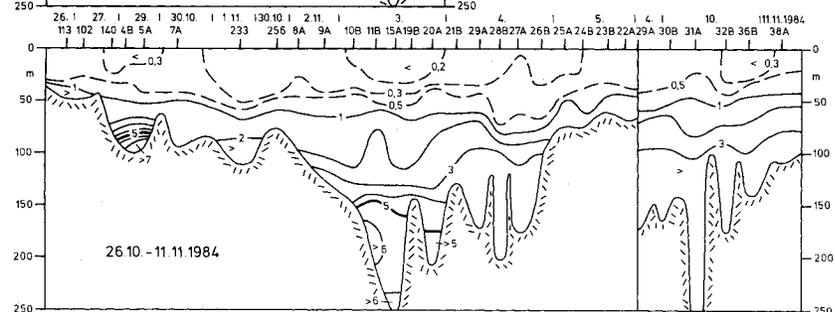


Abb 5.15.
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$



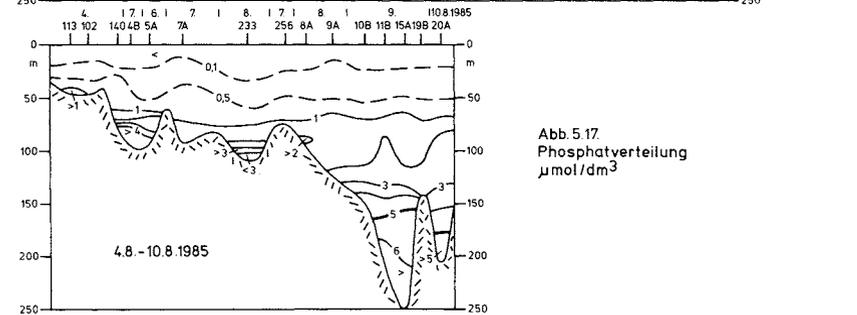
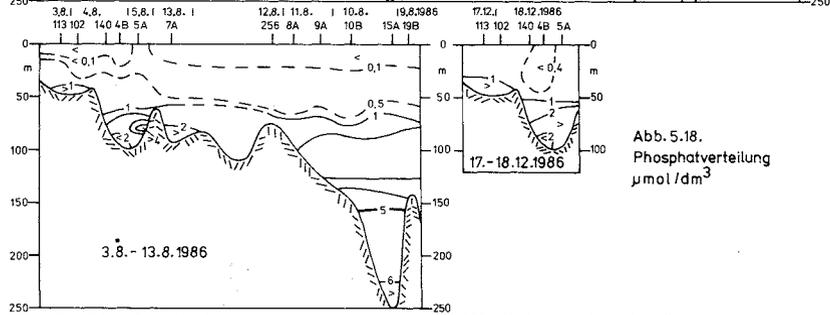
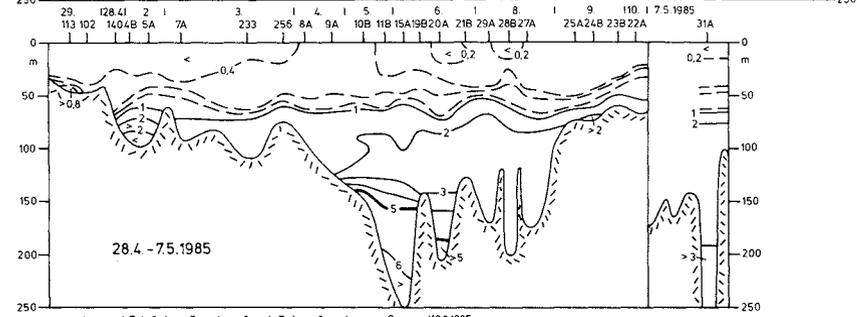
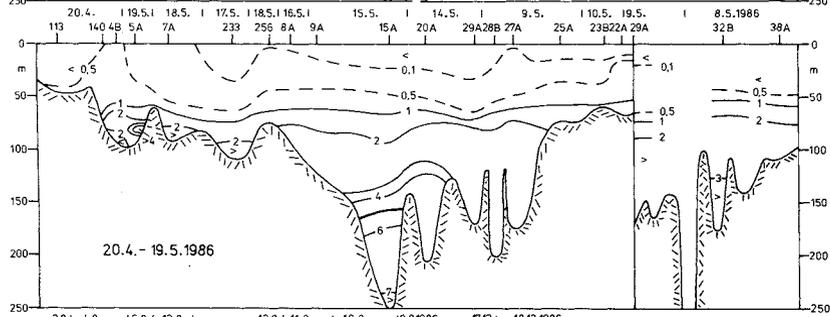
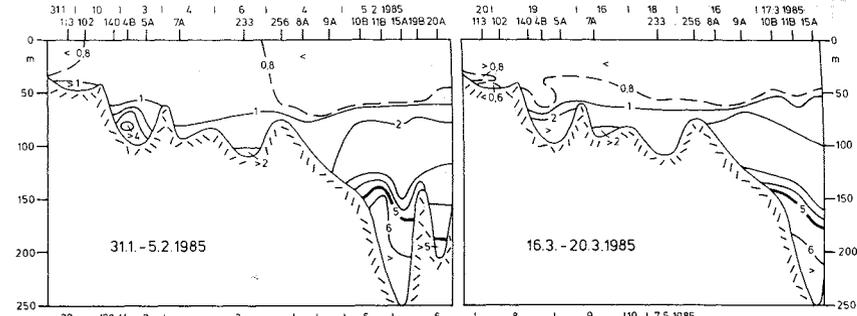
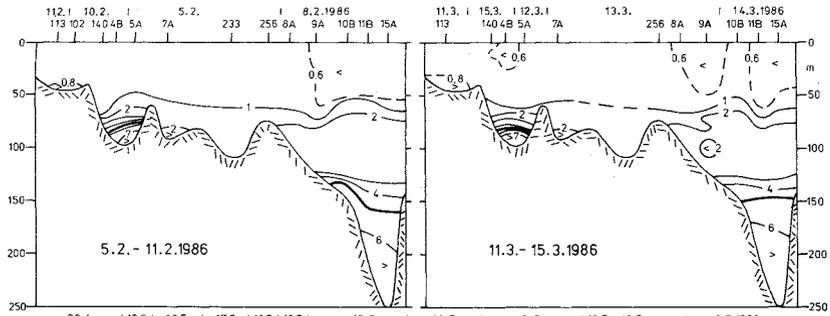
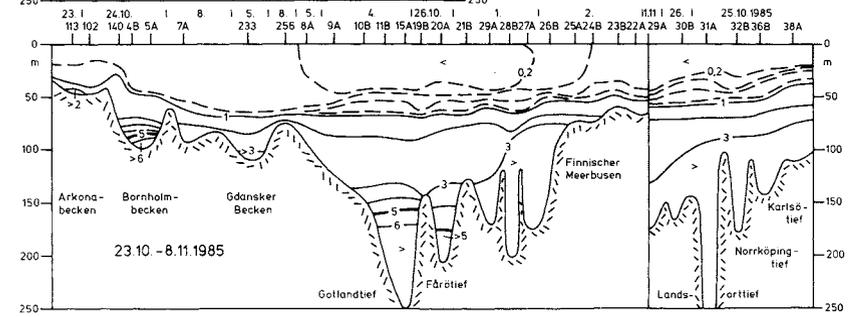
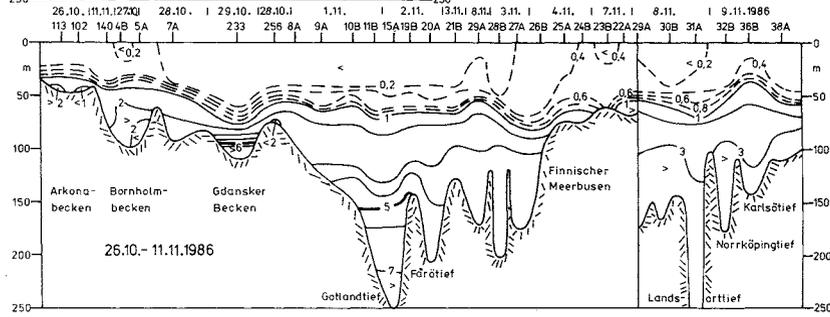


Abb. 5.18. Phosphatverteilung $\mu\text{mol/dm}^3$

Abb. 5.17. Phosphatverteilung $\mu\text{mol/dm}^3$



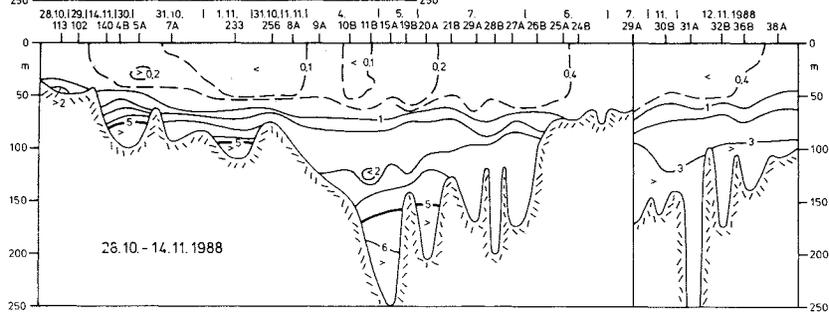
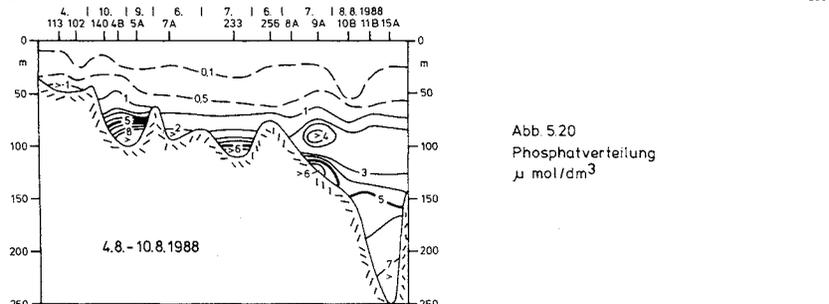
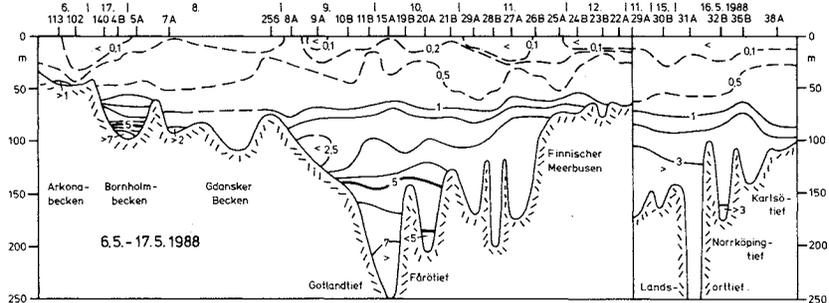
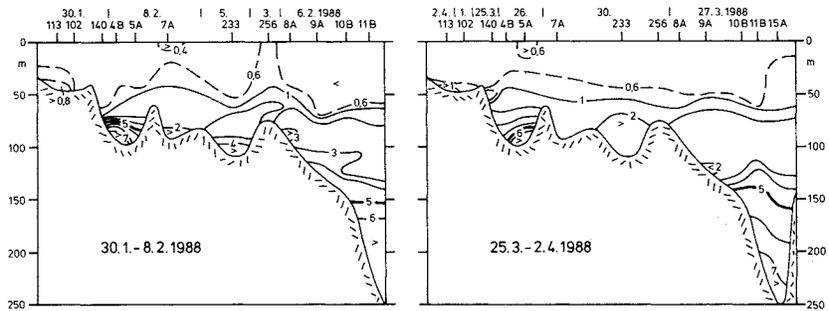


Abb 520
Phosphatverteilung
 $\mu \text{ mol/dm}^3$

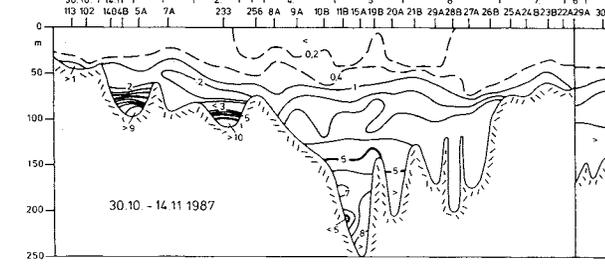
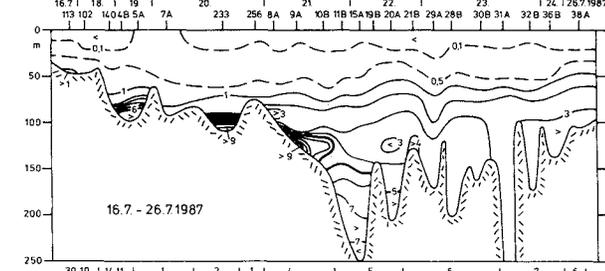
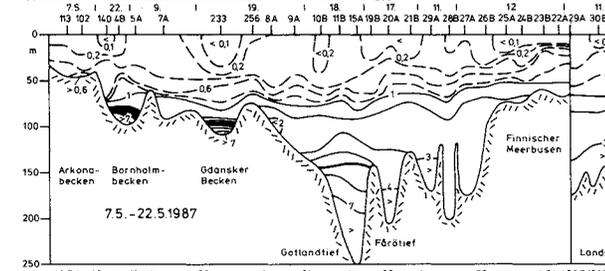
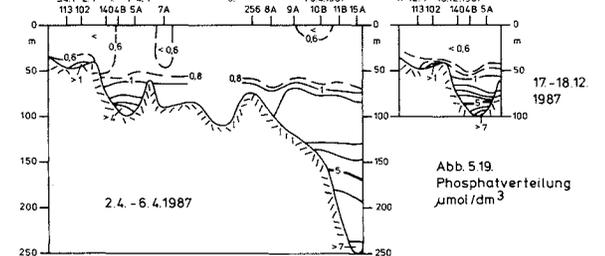
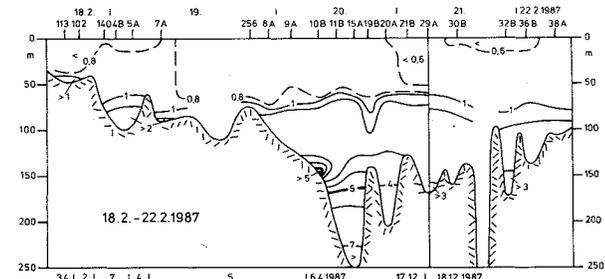


Abb 519
Phosphatverteilung
 $\mu \text{ mol/dm}^3$

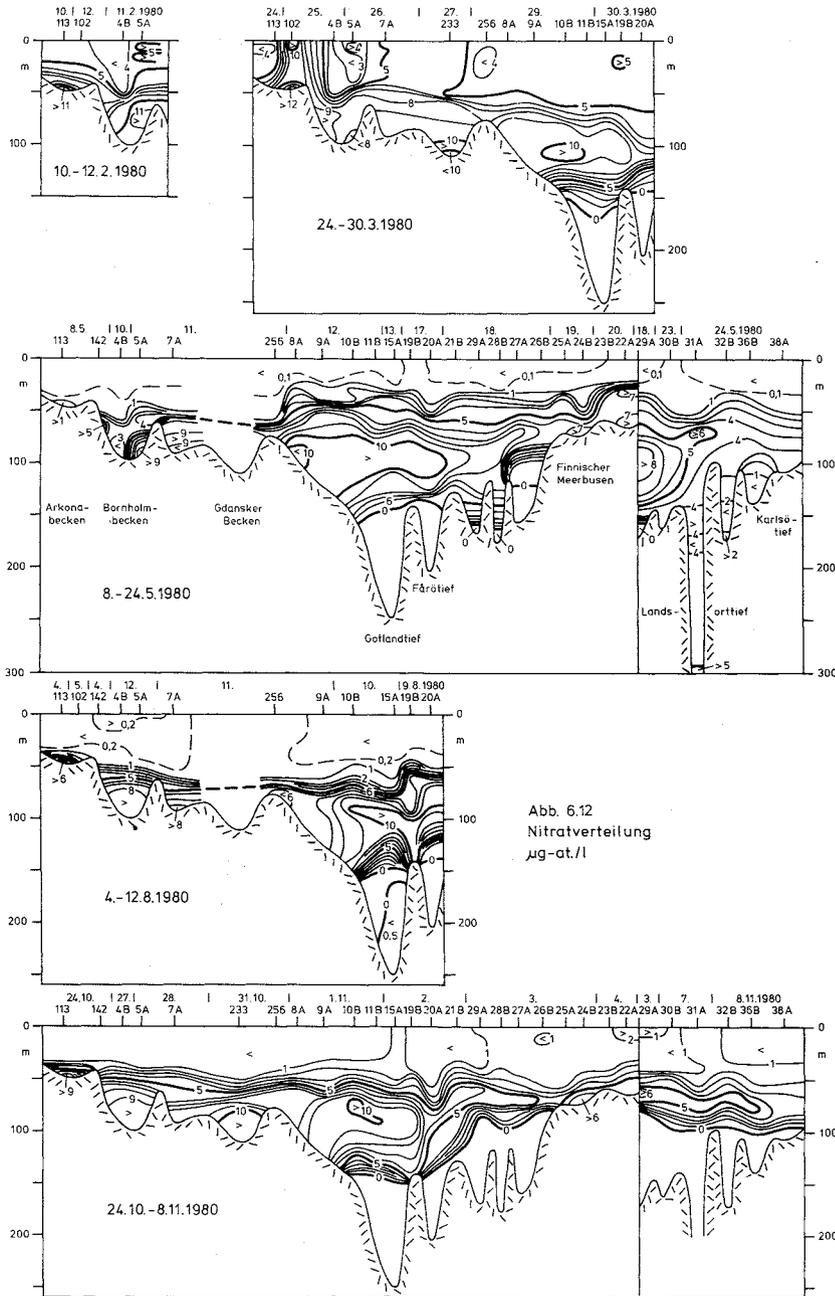


Abb. 6.12
Nitratverteilung
µg-at./l

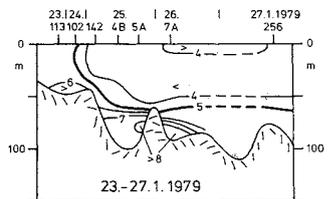
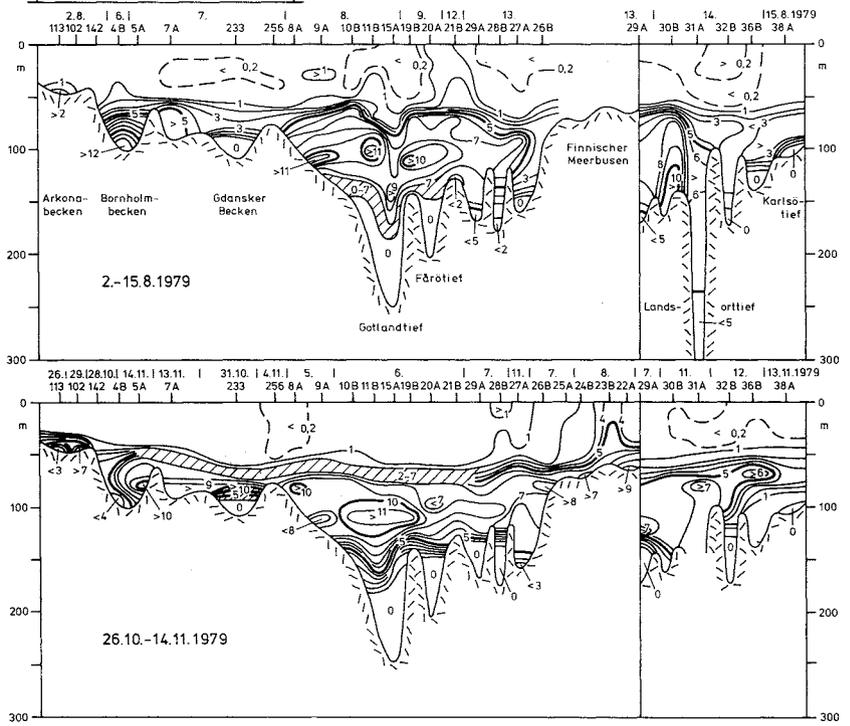


Abb. 6.11
Nitratverteilung
µg-at./l



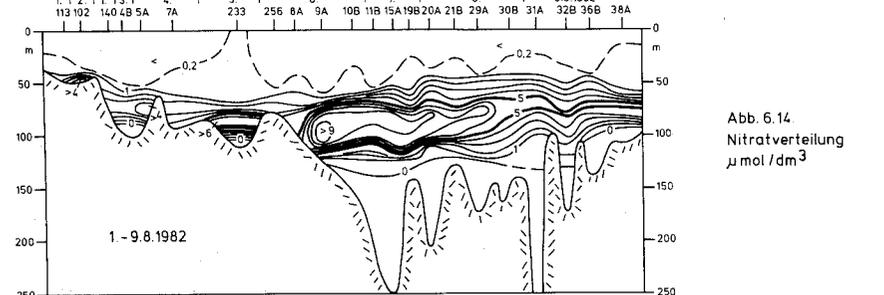
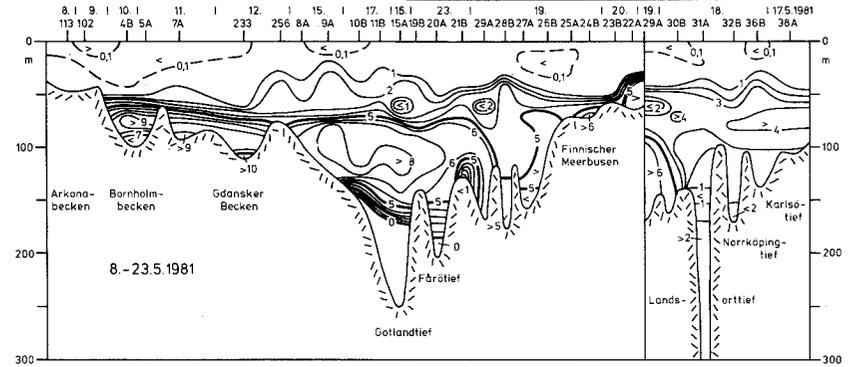
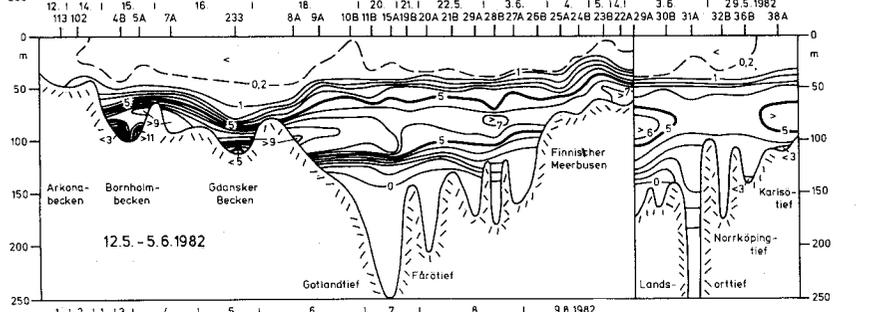
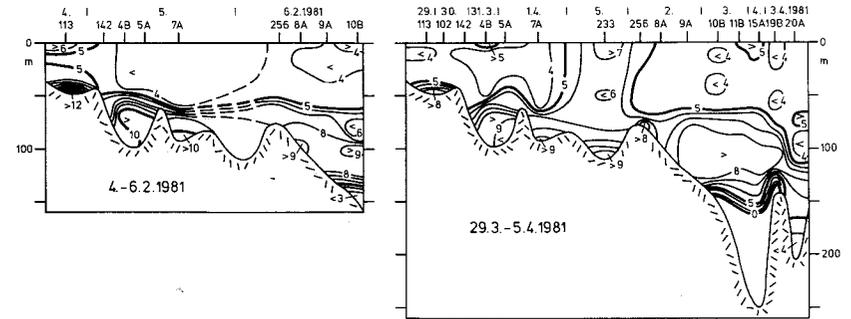
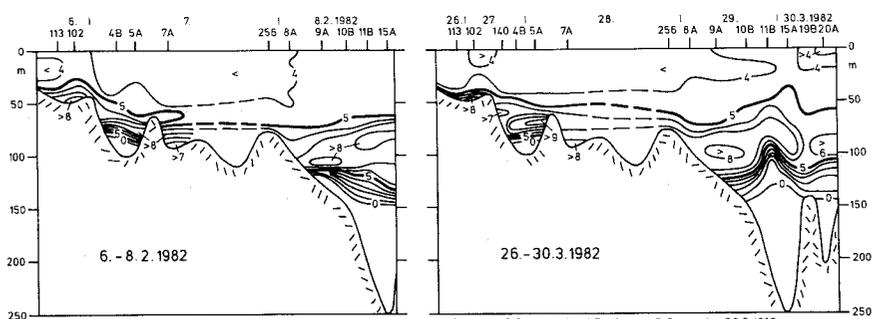


Abb. 6.14
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

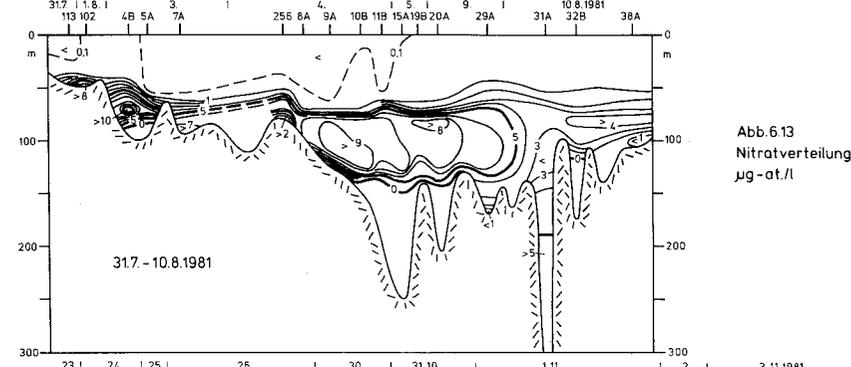
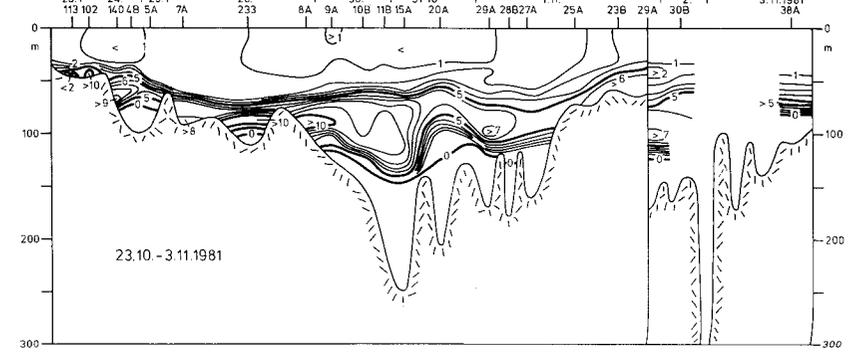
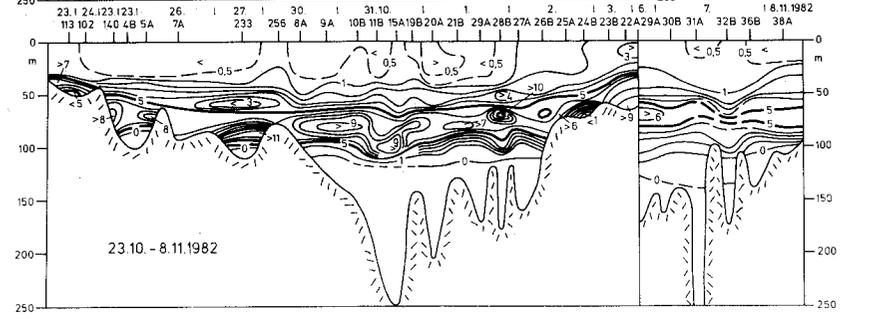


Abb. 6.13
Nitratverteilung
 $\mu\text{g-at./l}$



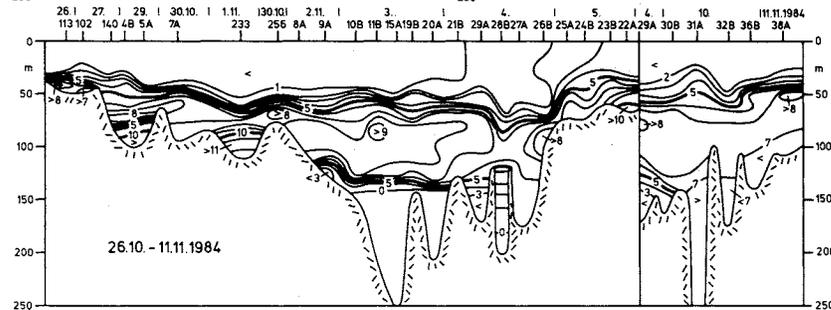
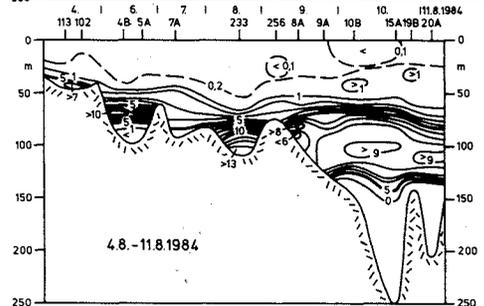
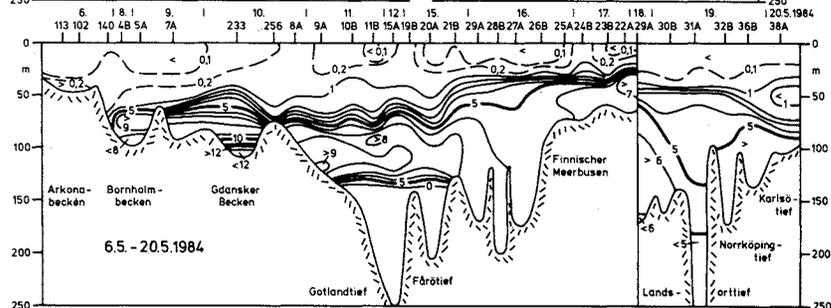
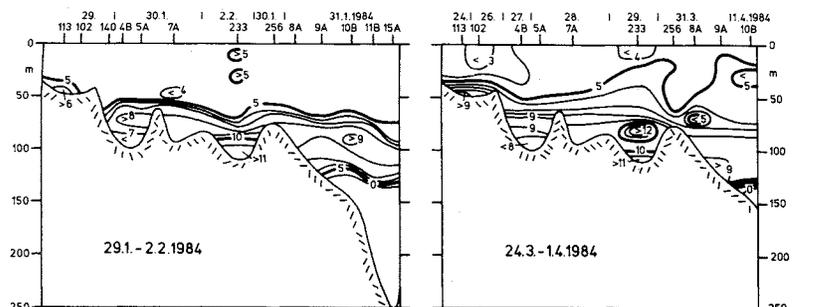


Abb. 6.16.
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

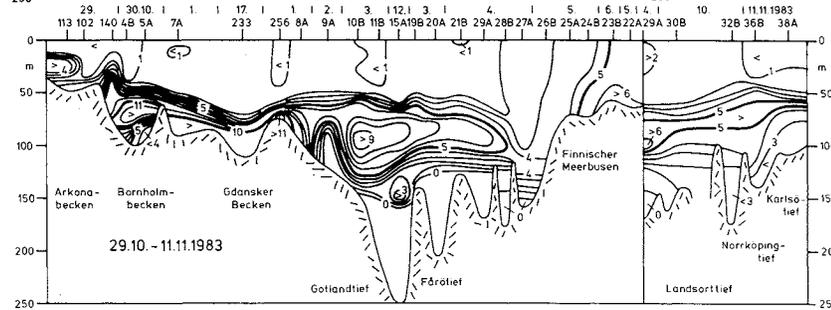
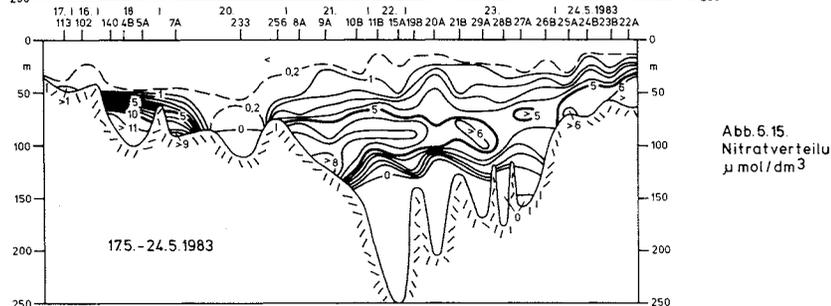
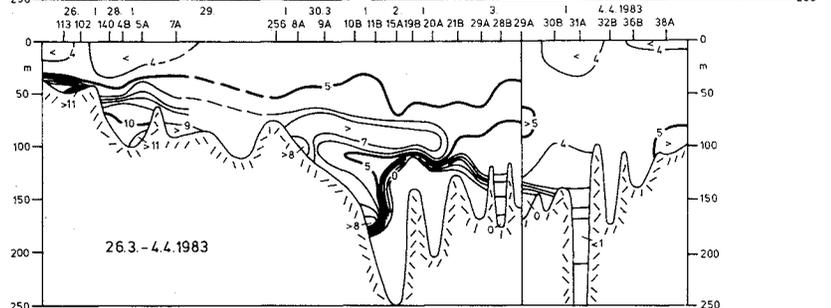
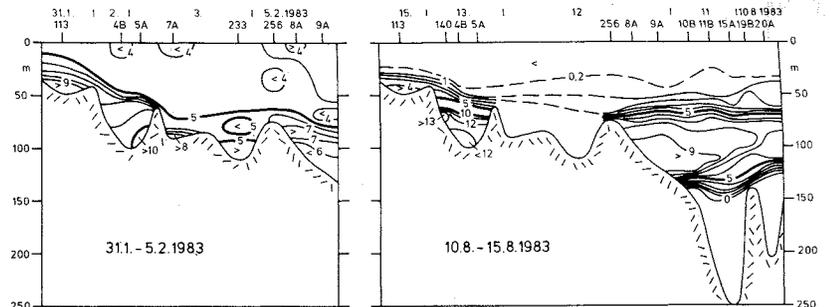


Abb. 6.15.
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

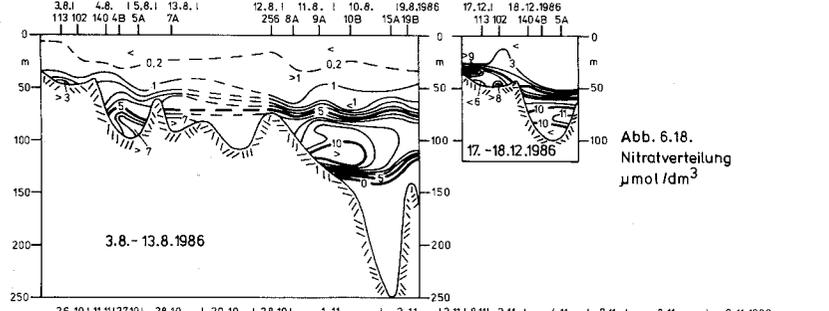
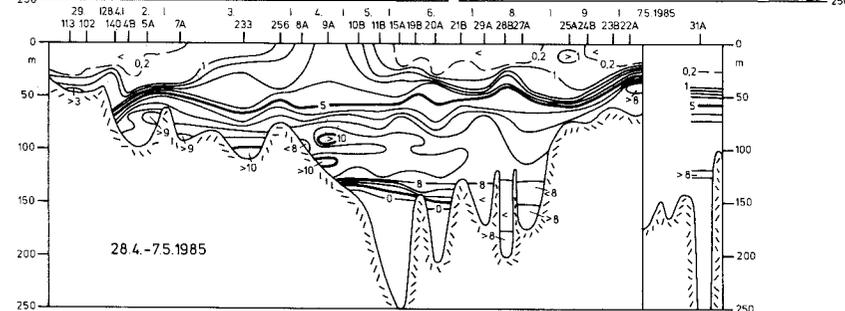
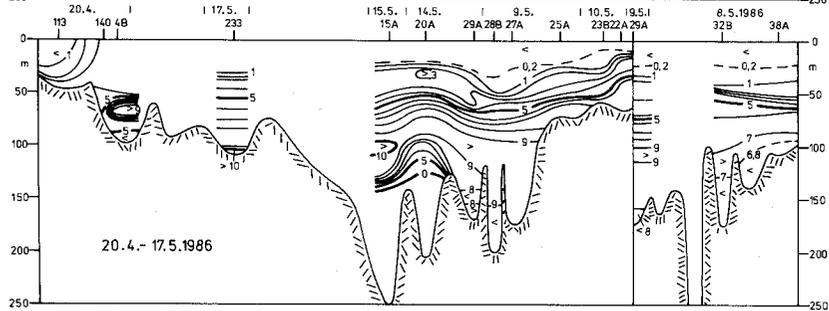
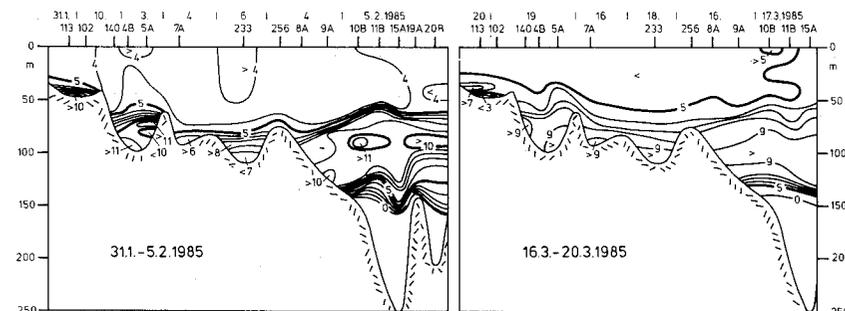
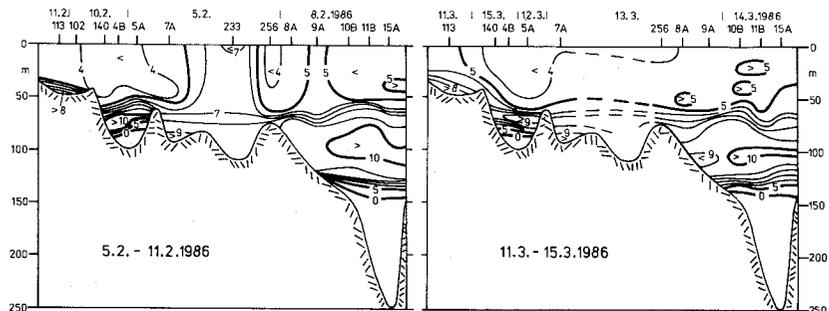


Abb. 6.18.
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

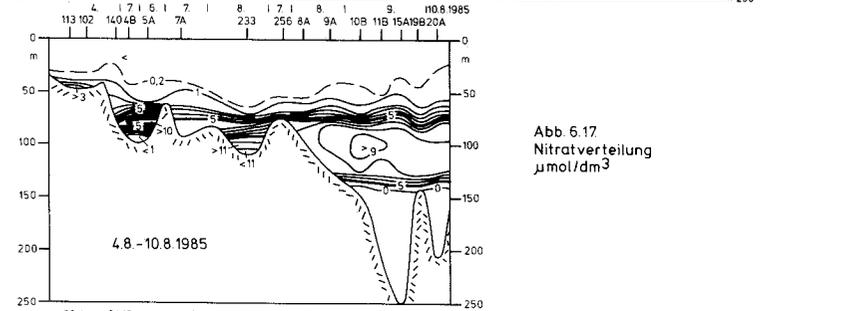
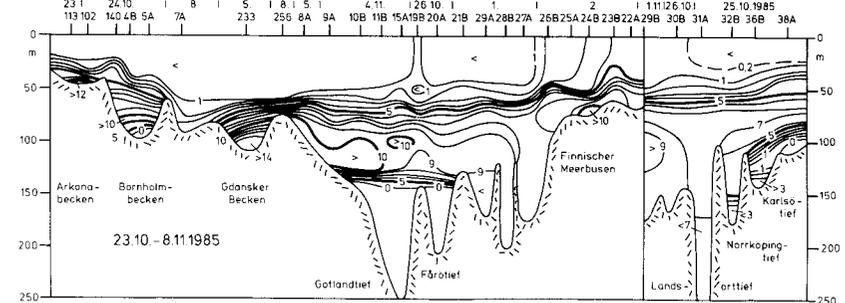
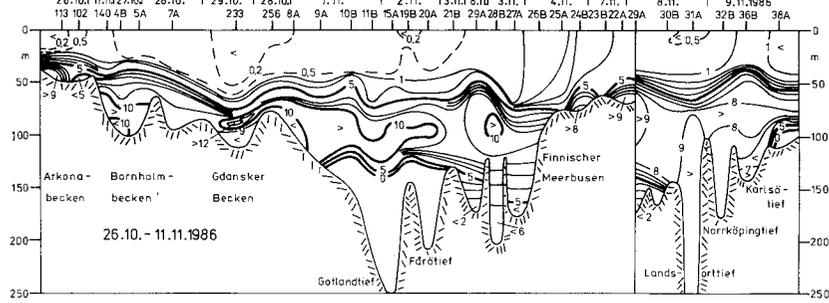


Abb. 6.17
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$



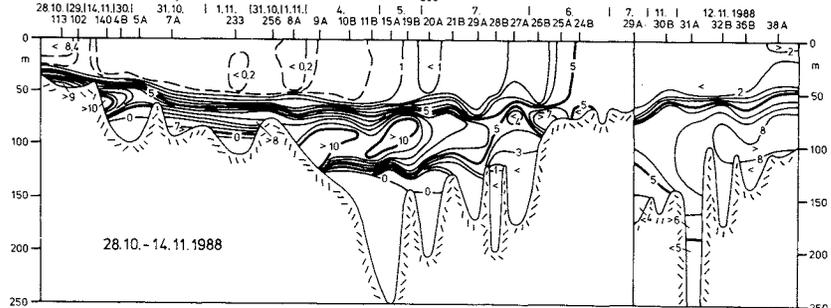
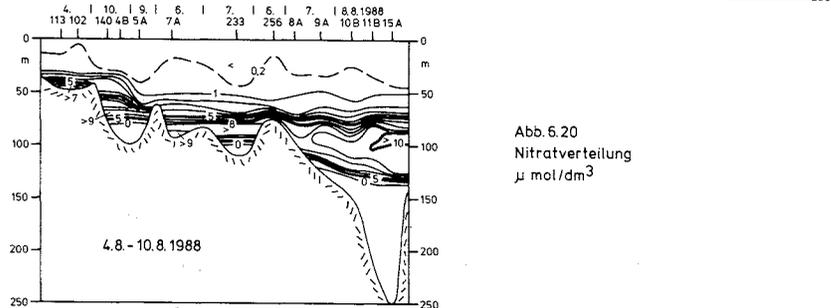
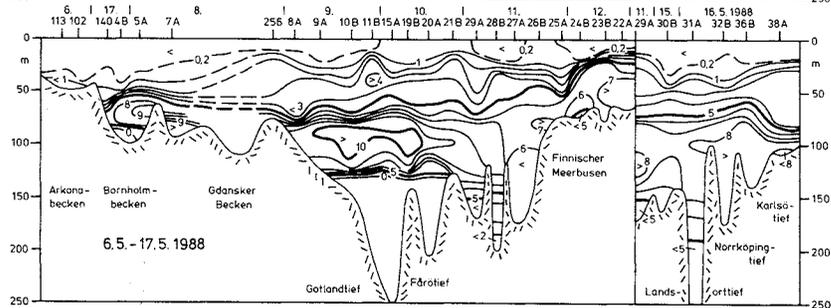
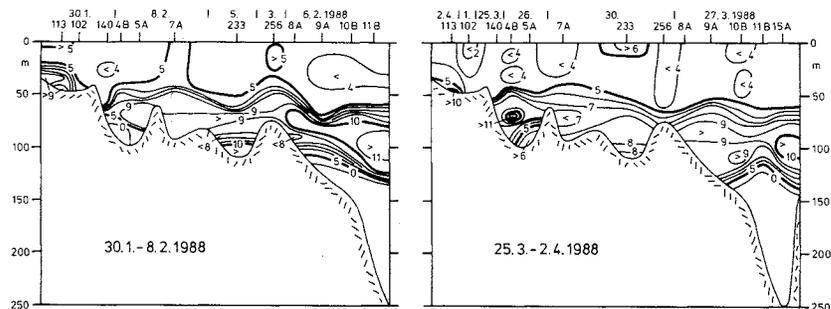
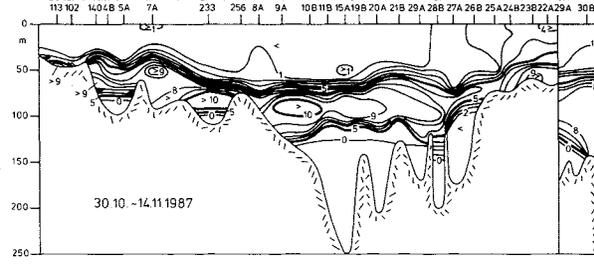
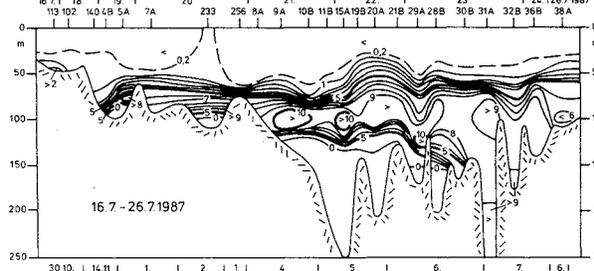
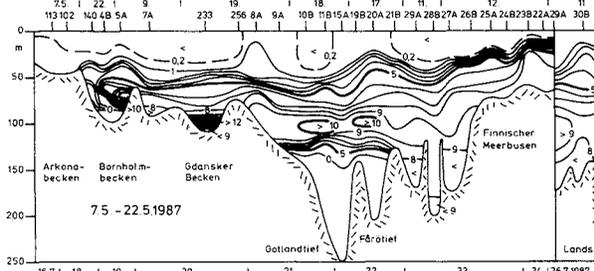
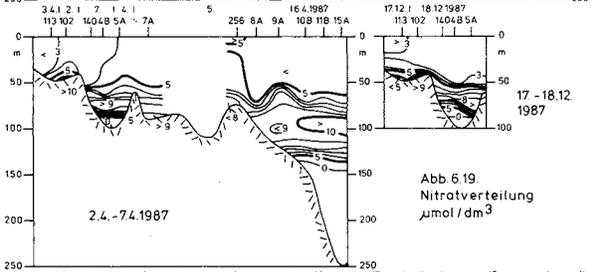
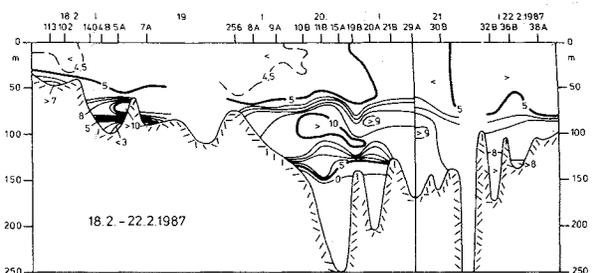


Abb. 6.20
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$



AKTUELLE TRENDS HYDROGRAPHISCHER UND CHEMISCHER
PARAMETER IN DER OSTSEE, 1958 - 1989

Von Dietwart Nehring und Wolfgang Matthäus
Institut für Meereskunde, Warnemünde

<u>I n h a l t</u>	Seite
1. Zusammenfassung	47
2. Summary	47
3. Einleitung	48
4. Methoden und Daten	50
5. Trends in der Oberflächenschicht	51
6. Trends im Tiefenwasser	53
7. Diskussion	55
8. Literatur	61
9. Herkunft der Daten	61
10. Abbildungsanhang	61
11. Tabellenanhang	73

1. Zusammenfassung

Trenduntersuchungen, die an den wichtigen Algennährstoffen Phosphat und Nitrat in der winterlichen Oberflächenschicht der Ostsee durchgeführt wurden und den Zeitraum 1958 - 1989 umfassen, ergaben positive Gesamttrends, obgleich seit 1978 im Mittel keine nennenswerte Zunahme mehr zu verzeichnen ist. Im oxischen Tiefenwasser unterhalb der permanenten Salzgehaltssprungschicht ist die Langzeitakkumulation dieser Nährstoffe ebenfalls seit 1977 geringer geworden. Unter anoxischen Bedingungen zeigt der Phosphatgehalt gegenwärtig einen ausgeprägten positiven Trend, der mit der Phosphatremobilisierung aus den Sedimenten zusammenhängt.

In der Oberflächenschicht, vor allem aber unterhalb der Salzgehaltssprungschicht ist in der zentralen Ostsee seit Mitte der 70er Jahre eine nahezu kontinuierliche Abnahme des Salzgehalts erfolgt. Gleichzeitig damit haben sich die Sauerstoffbedingungen in der grundnahen Wasserschicht signifikant verschlechtert, wie in der starken Zunahme der Schwefelwasserstoffkonzentration zum Ausdruck kommt.

Die Abnahme des Salzgehalts, die Verschlechterung der Sauerstoffbedingungen und die Zunahme der Phosphatkonzentration in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostseebecken fallen mit dem Ausbleiben von Salzwassereinbrüchen zusammen. Die in dieser Schicht beobachteten Veränderungen haben daher weniger anthropogene als vielmehr natürliche Ursachen. Die Bedeutung der beobachteten Langzeitvariationen für die Entwicklung wichtiger Fischbestände in der Ostsee wird diskutiert.

2. Summary

Analysis of phosphate and nitrate data recorded in the winter surface layer of the Baltic Sea from 1958 to 1989 indicate positive overall trends, although the rate of accumulation has decreased since 1978. The long term accumulation of these algal nutrients in the oxic deep water below the halocline has also decreased since 1977. Under anoxic conditions, however, the trend shown by the phosphate concentration is distinctly positive in recent times owing to phosphate remobilization from the sediment.

The salinity has decreased in the surface water and even more rapidly below the halocline in the central Baltic basins during the period marked by the absence of major salt inflows since 1977. The oxygen conditions have also deteriorated in the near-bottom water layer during this time as shown by the considerable rise in the hydrogen sulphide concentrations. These changes, including the recent phosphate accumulation under anoxic conditions, can thus be considered natural rather than anthropogenic.

The impact of long term variations in nutrients and hydrographic parameters is discussed with respect to the development of Baltic fish stocks.

3. Einleitung

Die Untersuchung von Langzeitvariationen ozeanologischer Größen dient der Charakterisierung mariner Ökosysteme. Während die Wassertemperatur und der Salzgehalt von großräumigen klimatologischen Veränderungen beeinflusst werden, können anthropogene Aktivitäten zu Veränderungen im chemisch-biologischen Stoffkreislauf beitragen. Hiervon sind besonders die flachen Rand- und Nebenmeere betroffen, in denen beispielsweise der Nährstoffeintrag durch Festlandsabflüsse und über die Atmosphäre zu einer Eutrophierung führt.

Die Ostsee ist ein Brackwassermeer und reagiert aufgrund ihres begrenzten horizontalen und vertikalen Wasseraustausches sehr empfindlich gegenüber anthropogenen Einflüssen. Sie erfordert daher unseren besonderen Schutz. Diese Aufgabe wird durch die Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes koordiniert, die auf der Grundlage eines Monitoring-Programms in 5jährigem Abstand periodische Zustandseinschätzungen der Meeresumwelt der Ostsee durchführt und daraus Empfehlungen für Schutzmaßnahmen ableitet.

Trendabschätzungen hydrographischer und chemischer Parameter können auch zu einer Qualifizierung der Prognosen über die Entwicklung der Fischbestände in der Ostsee beitragen. Die in diesem Zusammenhang wichtigsten hydrographischen Umweltfaktoren sind der Salzgehalt und die Sauerstoffkonzentration (BERNER u.a., 1988a,b, MÜLLER u.a., 1988). Diese Größen sind von entscheidender Bedeutung für das Laichverhalten, das Larvenaufkommen und die Wanderungsaktivität der Fische.

Die Beeinflussung durch die Eutrophierung erfolgt dagegen indirekt. Dieser Prozeß ist durch die Langzeit-Akkumulation von Nährstoffen gekennzeichnet und begünstigt über die marine Nahrungskette die Entwicklung von Fischnahrung. Zu den wichtigsten Nährstoffen, die die Algenentwicklung begrenzen, gehören die anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen, insbesondere Phosphat und Nitrat, während reaktives Silikat infolge seiner relativ hohen Konzentrationen in der Ostsee von untergeordneter Bedeutung ist.

Die aus der euphotischen Schicht sedimentierende Biomasse wird nach ihrem Absterben bakteriell unter Sauerstoffverbrauch abgebaut. Die Eutrophierung fördert somit nicht nur die Entwicklung von Fischnahrung. Sie führt auch zu einer verstärkten Belastung des Sauerstoffregimes im stagnierenden Tiefenwasser. Im Verlauf dieses Prozesses treten in zunehmendem Maße anoxische Bedingungen auf, die den Lebensraum der Grundfische und Benthosorganismen einschränken (ZMUDZIŃSKI, 1977, HELCOM, 1987a). Als weitere Folge eines verstärkten Nährstoffeintrags können Massenentwicklungen von Algen entstehen. Im Mai 1988 wurde eine toxische Blüte von *Chrysochromolina polylepis* beobachtet (vgl. z.B. LINDAHL, 1988, HORSTMANN, JOCHEM, 1988, DAHL u.a., 1989).

Für die meisten Teilgebiete der Ostsee liegen bereits statistisch gesicherte Angaben über Langzeitvariationen im Tiefenwasser vor. Nach MATTHAUS (1979, 1983a, 1985) ist seit Beginn dieses Jahrhunderts ein von der Tiefe abhängiger, regional unterschiedlicher Anstieg der Wassertemperatur und des Salzgehalts sowie eine Abnahme der Sauerstoffkonzen-

tration eingetreten. Diesen säkularen Trends sind Variationen mit kürzeren Perioden überlagert, wobei für den Zeitraum 1952 bis 1969 sowohl in der Temperatur als auch im Salzgehalt ein signifikanter Rückgang festgestellt wurde, während beim Sauerstoff eine erhebliche Verstärkung des negativen Trends gegenüber dem Gesamttrend erfolgte.

Bei im Mittel zunehmender Dichte, beispielsweise in allen Tiefenhorizonten des Gotlandtiefs (Stat. BY 15) im Verlaufe dieses Jahrhunderts, zeigt sich seit 1952 ein signifikanter Rückgang dieser Größe im Tiefenwasser (MATTHÄUS, 1983b). Auch die Stabilität der Schichtung weist seit 1952 eine signifikante Abnahme auf (MATTHÄUS, 1983c), so daß der Austausch zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser im Mittel erleichtert wurde (MATTHÄUS, 1983d).

Unter Verwendung des seit 1958 bzw. seit 1968 vorliegenden Datenmaterials analysierten NEHRING (1981, 1984, 1985) sowie NEHRING und FRANCKE (1985) die Veränderungen des Phosphat- und Nitratgehalts in der westlichen und zentralen Ostsee und konnten für beide Nährstoffe eine signifikante Zunahme sowohl in der winterlichen Oberflächenschicht als auch im Tiefenwasser nachweisen. Diesen Trends waren Perioden mit gleichbleibender oder abnehmender Tendenz überlagert. Dabei verliefen die Langzeitvariationen der Nährstoffe in der winterlichen Oberflächenschicht analog zu denen des Salzgehalts. Inzwischen liegen für alle Ostseeregionen statistisch gesicherte positive Nährstoffrends vor (HELCOM, 1987a), wobei in den küstenfernen Gebieten nur in Ausnahmefällen zwischen natürlichen und anthropogenen Ursachen unterschieden werden kann.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden unter dem Aspekt der Eutrophierung durchgeführt und dienen vorrangig der Aktualisierung der Phosphat- und Nitrattrends in der westlichen und zentralen Ostsee. Bei der Frage nach den Ursachen und den Folgeerscheinungen dieses Prozesses kommt man jedoch nicht ohne Kenntnisse über das Trendverhalten des Salz- und Sauerstoffgehalts aus. Hinzu kommt, daß die Langzeitveränderungen dieser Größen die Ostseefischerei nachhaltig beeinflussen. Sie wurden daher in die Untersuchungen einbezogen, wobei nur der Zeitraum berücksichtigt wurde, für den auch systematische und vergleichbare Nährstoffanalysen vorhanden sind.

Auf eine Bearbeitung der Wassertemperatur wurde an dieser Stelle verzichtet, weil die Auswirkungen der Langzeitvariationen dieser Größe auf die Fischbestände der Ostsee gering sind im Vergleich zum Einfluß der jahreszeitlichen und zwischenjährlichen Unterschiede (vgl. auch NEHRING, FRANCKE, 1988). Untersuchungen über Langzeitveränderungen der Temperatur, die von MATTHÄUS durchgeführt wurden (1990b), ergaben im Zeitraum 1977 - 1988 eine mittlere Abnahme von 1,2 - 1,6 K im Tiefenwasser des Gotlandbeckens (Stat. BY 15), während im Arkona- und Bornholmbecken keine signifikanten Trends nachgewiesen werden konnten.

4. Methoden und Daten

Die für die Bestimmung der hydrographischen und chemischen Größen verwendeten Analyseverfahren nebst Fehlerabschätzungen sind bei GRASSHOFF (1976) zusammengefaßt. Sie gelangten teilweise in geringfügig modifizierter Form zur Anwendung (ROHDE, NEHRING, 1979). In der Ostsee beginnt die Meßreihe des Sauerstoffgehalts bereits Ende des 19. Jahrhunderts. Für seine Bestimmung wird auch gegenwärtig noch die Winkler-Methode verwendet. Schwefelwasserstoff, der für Trenduntersuchungen gemäß $S^{2-} + 2O_2 = SO_4^{2-}$ in negative Sauerstoffäquivalente umgerechnet werden kann, wird erst seit Anfang der 60er Jahre quantitativ nach der Metylenblaumethode analysiert.

Der Datensatz für den Salzgehalt reicht bis zum Ende des vergangenen Jahrhunderts zurück. Diese wichtige Grundgröße der physikalischen Ozeanographie, die zusammen mit der Wassertemperatur die Dichte bestimmt, wurde zunächst argentometrisch nach der Mohr-Knudsen-Methode, ab Ende der 60er Jahre jedoch durch die Messung des elektrischen Leitwerts ermittelt.

Phosphat und Nitrat sind die Endprodukte der bakteriellen Nährstoffremineralisierung unter oxischen Bedingungen und daher besonders gut für Trenduntersuchungen geeignet. Systematische und vergleichbare Messungen dieser Nährstoffe liegen aus der Ostsee für Phosphat seit 1958 und für Nitrat seit 1968 vor.

Die Bestimmung des Phosphatgehalts erfolgte nach der Molybdänblaumethode unter Verwendung von Ascorbinsäure (anfangs Zinn-II-chlorid) als Reduktionsmittel. Nitrat wurde nach Reduktion zu Nitrit (Cu-Cd-Späne) zu einem Diazofarbstoff umgesetzt.

Die zur Verfügung stehenden Datensätze stammen vorrangig von den saisonalen Terminfahrten des Instituts für Meereskunde, Rostock-Warnemünde. Diese Fahrten umfassen seit 1969 die westlichen und zentralen Teilgebiete der Ostsee. Zu diesem Zeitpunkt wurde auch das Standard-Meßprogramm, das zunächst auf die Bestimmung der Wassertemperatur sowie des Salz- und Sauerstoffgehalts beschränkt war, durch die Einbeziehung der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen erweitert.

Als weitere Datenquellen standen die von Schweden und der UdSSR publizierten Meßwerte von Terminfahrten sowie der Datensatz des Internationalen Ostseejahres 1969/70 zur Verfügung. Dadurch konnten insbesondere die Langzeitvariationen des Phosphatgehalts bis 1958 zurückverfolgt werden. Die Quellen der verwendeten Daten sind im Abschnitt 9 zusammengefaßt.

Unter Verwendung einer im Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde, entwickelten Software wurden die Meßwerte einer linearen Regressionsanalyse unterworfen. Die Signifikanz der Korrelationskoeffizienten wurde nach dem Student's t-Test von GOSSET geprüft.

Werte, die offensichtlich als Fehlmessungen interpretiert werden müssen, blieben bei den Trendberechnungen unberücksichtigt. Sie sind in den Abbildungen in Klammern gesetzt. Dies gilt auch für den Wert 0 bei Sauerstoffmessungen, wenn Schwefelwasserstoff am Geruch identifiziert wurde.

Neben dem Gesamttrend wurden auch Teiltrends berechnet. Dabei wurde vorrangig unter-

chieden zwischen dem Zeitraum vor und nach den letzten großen Salzwassereintrüben, die in den Wintern 1975/76 und 1976/77 erfolgten. Die mit der Entfernung von den Ostseezugängen zusammenhängende zeitliche Verschiebung der Wassererneuerung, die mehr als 1 Jahr betragen kann, wurde bei der Berechnung der Teiltrends in den einzelnen Tiefenbecken berücksichtigt.

Abb. 1 *) enthält die Stationen, die für die Trenduntersuchungen verwendet wurden. Dabei handelt es sich um Stationen, von denen im Rahmen nationaler und internationaler Überwachungsprogramme langjährige Nährstoffuntersuchungen vorliegen.

5. Trends in der Oberflächenschicht

Durch Einbeziehung in den chemisch-biologischen Stoffkreislauf sind die Nährstoffkonzentrationen in der Oberflächenschicht jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Trenduntersuchungen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sind daher nur im Winter und zeitigen Frühjahr zweckmäßig, wenn einerseits die geringe Lichtintensität die limitierende Größe für die Phytoplanktonproduktion darstellt und andererseits die Nährstoffremineralisierung und -rückführung in die Deckschicht abgeschlossen ist. Da die Entwicklung des Phytoplanktons in den westlichen Teilgebieten der Ostsee früher beginnt als in ihren zentralen und nördlichen (KAISER, SCHULZ, 1978), ist der Umfang des für diese Untersuchungen zur Verfügung stehenden Datenmaterials unterschiedlich. Während für die Mecklenburger Bucht nur die bis Mitte März gemessenen Werte geeignet sind, können für die südöstliche Gotlandsee noch die bis Mitte April durchgeführten Messungen verwendet werden. Für die Arkona- und Bornholmsee wurde in Abhängigkeit von den zwischenjährlichen Variationen entschieden, ob die auf der März/April-Terminfahrt ermittelten Nährstoffkonzentrationen noch den Winterwerten entsprachen oder ob bereits eine Verringerung durch die Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons eingetreten war.

Die regionalen Unterschiede der winterlichen Nährstoffanreicherung in der Oberflächenschicht der küstenfernen Ostseeregionen sind im allgemeinen gering. Ähnlich wie bei früheren Untersuchungen (NEHRING, 1985) konnten daher die Meßwerte von Stationen ein und desselben Seegebietes als einheitliches Datenkollektiv behandelt werden (vgl. auch Abb. 2 - 5). Eine regionale Differenzierung wurde jedoch zwischen der Mecklenburger Bucht, der Arkona- und Bornholmsee sowie der südöstlichen Gotlandsee vorgenommen.

Für die Trendberechnungen in der winterlichen Oberflächenschicht wurden generell die mittleren Nährstoff- und Salzkonzentrationen der homogen durchmischten Deckschicht verwendet. Die Mächtigkeit dieser Schicht schwankt zwischen 5 und 10 m in den flachen westlichen Teilgebieten sowie 50 und 60 m in der zentralen Ostsee. Sie hängt darüber hinaus von den aktuellen hydrographischen Bedingungen ab. Für die 1958 - 1966 durchgeführten Untersuchungen liegen teilweise nur Einzelwerte aus der Deckschicht vor.

*) Die Abb. und Tab. sind am Ende des Beitrages zusammengefaßt.

Die Abb. 2 - 5 zeigen charakteristische Teiltrends und die Gesamttrends der Nährstoffe Phosphat und Nitrat sowie des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht, der Arkona- und Bornholmsee sowie der südöstlichen Gotlandsee. Die Tab. 1 - 3 enthalten u.a. Angaben über die mittleren jährlichen Veränderungen, die in den Trendkoeffizienten (Spalte b) zum Ausdruck kommen.

In der winterlichen Oberflächenschicht der untersuchten Teilgebiete der Ostsee wurden positive Gesamttrends des Phosphat- und Nitratgehalts ermittelt, die nach dem t-Test signifikant waren (Tab. 1 und 2). Sowohl die Gesamttrends als auch die Teiltrends zeigten zumeist nur geringe regionale Differenzen (vgl. auch WULFF, RAHM, 1989). Die Intensität der Nährstoffzunahme war jedoch durch stark unterschiedliche Teiltrends gekennzeichnet. Auf den starken Anstieg im Zeitraum 1969 - 1978 folgte in allen untersuchten Seegebieten eine Periode mit im Mittel deutlich geringerer Nährstoffakkumulation, die häufig statistisch nicht signifikant war und sich durch verstärkte kurzfristige Schwankungen auszeichnete (Abb. 2 - 5). In der Arkonasee zeigte der Nitratgehalt sogar eine schwach abnehmende Tendenz. Die positiven Gesamttrends der Nährstoffe in der winterlichen Oberflächenschicht, die den Zeitraum 1958 - 1989 bzw. 1968 - 1989 umfassen, resultieren daher vornehmlich aus dem starken Anstieg von 1969 - 1978. Auch in der winterlichen Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht, in der wegen des zu geringen Datenmaterials keine Teiltrends bestimmt wurden, verringerte sich der Trendkoeffizient im Vergleich zu früheren Untersuchungen (NEHRING, FRANCKE, 1985) infolge abnehmender Nährstoffakkumulation.

Im Zeitraum 1978 - 1989 war der Trend des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der Arkona- und Bornholmsee sowie der südöstlichen Gotlandsee signifikant negativ (Abb. 3 - 5, Tab. 3). Ähnliche Langzeitveränderungen ergaben sich für diesen Zeitraum, wenn alle verfügbaren Salzgehaltswerte verwendet wurden (MATTHÄUS, 1990b). Dadurch wurde die von 1969 - 1978 beobachtete, relativ starke Zunahme des Salzgehalts ganz oder teilweise kompensiert. Die resultierenden Gesamttrends des Zeitraumes 1958 - 1989 sind daher durch geringe positive Trendkoeffizienten gekennzeichnet und nur noch in der Bornholmsee und in der südöstlichen Gotlandsee statistisch gesichert (Tab. 3). In der winterlichen Oberflächenschicht der Arkonasee und der Mecklenburger Bucht konnten für den Gesamtzeitraum keine signifikanten Salzgehaltstrends identifiziert werden.

Eutrophierungsprobleme gewinnen in den Küstengewässern zunehmende Bedeutung. Abb. 6 zeigt das Verhalten der Nährstoffe und des Salzgehaltes auf der flachen Oderbank (Stat. 162). Die Ergebnisse basieren auf den wenigen Messungen unserer Terminfahrten.

Die Maxima der Nährstoffkonzentrationen in der Oderbucht, die in Oberflächennähe gemessen wurden, werden größer. Im Falle des Phosphats und Nitrats übertreffen sie gelegentlich bei weitem die Konzentrationen im ozeanischen Tiefenwasser. Die hohen Nährstoffkonzentrationen waren nicht auf die Jahreszeiten geringer biologischer Produktivität beschränkt, sondern wurden auch im Mai und August beobachtet. Sie waren häufig mit einem verringerten Salzgehalt kombiniert. Umgekehrt wurden in niederschlagsarmen Jahren, wie 1989, keine überdurchschnittlichen Nährstoffakkumulationen beobachtet. Diese Beziehung läßt den Einfluß der Flußwasserzufuhr durch Oder und Peene erkennen. Andererseits zeigen die im Vergleich zur zentralen Arkonasee geringen Abweichungen im Salzgehalt die Dominanz des Ostseewassers.

6. Trends im Tiefenwasser

In den Wassermassen der zentralen Ostseebecken herrschen unterhalb der permanenten Salzgehaltssprungschicht stagnierende Bedingungen vor. In Abhängigkeit von der Tiefe und von Wassererneuerungen dominieren oxische oder anoxische Bedingungen.

Anoxische Bedingungen üben einen nachhaltigen Einfluß auf die Verteilung der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus. Bei Abnahme des Redoxpotentials unterliegt Nitrat der Denitrifikation. Im Tiefenwasser mit zeitweise anoxischen Bedingungen sind daher Trendabschätzungen dieser Größe nicht oder nur mit Einschränkungen möglich. Bei negativem Redoxpotential werden darüber hinaus große Mengen an Phosphat aus den Sedimenten remobilisiert, so daß dessen Konzentration mit der Bildung von Schwefelwasserstoff stark ansteigt. Unter anoxischen Bedingungen tritt außerdem Ammonium als Endprodukt der Stickstoffmineralisierung auf. Eine ausführliche Diskussion dieser Beziehungen liegt von NEHRING (1981, 1987, 1989a) vor, der auch Angaben über charakteristische Veränderungen der untersuchten Parameter im Verlauf diskreter Stagnationsperioden macht. Charakteristische hydrographische Eigenschaften von Stagnationsperioden im Tiefenwasser der Ostsee enthält eine Untersuchung von MATTHAUS (1986).

Das Bornholmbecken ist das westlichste Teilgebiet der Ostsee mit stagnierendem Tiefenwasser, das nicht in jedem Jahr erneuert wird. Die Mächtigkeit dieser Wassermasse ist hier noch gering und durch das gelegentliche Auftreten von Schwefelwasserstoff gekennzeichnet.

Bei der Berechnung der Phosphat- und Nitratrends im Tiefenwasser dieses Beckens wurde unterschieden zwischen Werten, die deutlich durch anoxische Bedingungen beeinflußt waren und solchen, die keinen oder nur einen geringen Einfluß erkennen lassen. Beim Phosphat wurde die Konzentration $3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ als Grenze gewählt. Darüber hinaus wurde auch der Trend unter Verwendung aller Werte berechnet. Der Nitratrend basiert dagegen nur auf Werten, die größer als $2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ sind.

Abb. 7 zeigt die Langzeitvariationen der untersuchten Parameter in der grundnahen Wasserschicht des Bornholmtiefs (Stat. BY 5). In der Verteilung des Phosphats und des Nitrats konnten keine Teiltrends identifiziert werden. Die Gesamttrends der beiden Nährstoffe sind positiv und nach dem t-Test signifikant (Tab. 4 und 5). Der Phosphattrend wird vor allem durch die Freisetzung von Phosphat aus den Sedimenten bestimmt ($\text{PO}_4^{3-} > 3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$), die mit dem häufigeren Auftreten anoxischer Bedingungen seit Mitte der 70er Jahre zusammenhängt. Die Phosphatakkumulation, die als direkte Folge einer Eutrophierung angesehen werden kann und durch den Trend der Phosphatwerte $< 3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ charakterisiert wird, ist dagegen wesentlich geringer.

Trotz Überlagerung durch die Veränderungen während der Stagnationsperioden, zeichnen sich in der grundnahen Wasserschicht des Bornholmtiefs sowohl beim Sauerstoff- als auch beim Salzgehalt zwei Perioden mit unterschiedlichem Trendverhalten ab (Abb. 7). Beide Größen weisen im Zeitraum 1958 - 1975 keine eindeutigen Trends auf (Tab. 6 und 7). Von 1977 - 1988 erfolgte dagegen eine signifikante Abnahme, aus der negative Gesamttrends resultieren (vgl. auch MATTHAUS, 1990b).

Im 100 m - Horizont der tiefen Becken in der zentralen Ostsee wurden bisher keine oder nur selten (Stat. BY 31) anoxischen Bedingungen registriert. Mit zunehmender Wassertiefe tritt jedoch immer häufiger Schwefelwasserstoff auf. Die Langzeitvariationen unter überwiegend oxischen bzw. anoxischen Bedingungen sind in den Abb. 8 - 12 für ausgewählte Stationen und Tiefen dargestellt. Die Tab. 4 - 7 enthalten die Trendgrößen dieser Stationen.

Auf allen Stationen konnten bei den untersuchten Parametern zwei Perioden ermittelt werden, die sich deutlich in ihrem Trendverhalten unterscheiden. Bei den einzelnen Parametern treten dabei Unterschiede sowohl in Abhängigkeit vom untersuchten Zeitraum als auch von der Tiefe auf. Während der Phosphat- und Nitratgehalt in 100 m Tiefe zu Beginn der Untersuchungen im Mittel stark ansteigen, ist der Trend in der zweiten Periode, die etwa 1976 - 1978 beginnt, schwächer ausgeprägt (Abb. 8, 9, 10a, 11a und 12a) und nach dem t-Test teilweise nicht mehr signifikant (Tab. 4 und 5). Im Gegensatz dazu zeigt der Salzgehalt in dieser Tiefe zunächst ein indifferentes Verhalten (Stat. BY 9, BY 15, BY 20) oder nur im Ausnahmefall einen signifikanten Anstieg (Stat. BY 31). Seit Mitte der 70er Jahre weist er dagegen generell einen deutlichen Rückgang auf (vgl. auch MATTHAUS, 1990b). Die Gesamttrends des Phosphats und Nitrats in 100 m Tiefe sind positiv, die des Salzgehalts negativ. Vor allem im Landsorttief wichen die Teiltrends der Nährstoffe im Gegensatz zu denen des Salzgehalts nur wenig vom Gesamttrend ab.

Sauerstoff verhielt sich in 100 m Tiefe indifferent (Abb. 9, 10a, 11a und 12a). Die ermittelten Trends waren teils negativ teils positiv und nach dem t-Test nicht immer signifikant (Tab. 6). Bei den Teiltrends des Zeitraumes 1977/78 bis 1988, die im Färö- und Landsorttief signifikant waren, sowie bei den Gesamttrends scheinen in dieser Tiefe positive Tendenzen zu überwiegen. Ein statistisch gesicherter, positiver Gesamttrend des Sauerstoffs wurde jedoch nur für das Färötief erhalten.

In Wassertiefen über 150 m gewinnen Veränderungen, die mit einzelnen Stagnationsperioden im Zusammenhang stehen, zunehmende Bedeutung. Sie sind den Langzeitvariationen überlagert und treten vor allem in der grundnahen Wasserschicht mit wechselnd oxischen und anoxischen Bedingungen in Erscheinung. Trotz dieser Überlagerung konnten hier ebenso wie im Bornholmtief Langzeitvariationen nachgewiesen werden. So zeigte der Phosphatgehalt im Landsorttief sowohl in der ersten als auch in der zweiten Untersuchungsperiode eine im Mittel signifikante Zunahme und daraus resultierend einen positiven Gesamttrend, der, wenn man vom Zeitraum 1958 - 1964 absieht, nur wenig von den Teiltrends abweicht (Abb. 12b,c). Im Gotlandtief (Abb. 10b,c) und im Färötief (Abb. 11b) wurde dagegen zu Beginn der Untersuchungen eine Abnahme beobachtet, die jedoch nach dem t-Test nur im Gotlandtief signifikant war (Tab. 4). Der Zeitraum 1977 bis 1988 war demgegenüber durch einen starken Anstieg des Phosphatgehalts gekennzeichnet. Der Gesamttrend des Phosphatgehalts im grundnahen Bereich war nur im Färötief eindeutig positiv, im Gotlandtief dagegen indifferent.

Auf allen Stationen war der Sauerstoffgehalt im grundnahen Bereich durch einen negativen Trend gekennzeichnet (Abb. 10b,c, 11b und 12b,c), der nach 1977/78 eine wesent-

liche Verstärkung erfuhr (Tab. 6). Im Gotland- und Färötief basiert dieser Trend vorrangig auf der Zunahme des Schwefelwasserstoffs, dessen Konzentration in negative Sauerstoffäquivalente umgerechnet wurde.

Der Salzgehalt zeigte ebenfalls bei allen Teiltrends eine Abnahme, wobei der Rückgang besonders in der zweiten Untersuchungsperiode sehr hohe Beträge erreichte (Abb. 10b,c, 11b und 12b,c, Tab. 7). Eine Ausnahme bildet das Landsorttief, für das von 1958 - 1977 ein positiver Salzgehaltstrend ermittelt wurde. Der Gesamttrend war in der grundnahen Wasserschicht der untersuchten Stationen sowohl beim Sauerstoffgehalt als auch beim Salzgehalt negativ und nach dem t-Test signifikant.

7. Diskussion

Der hohe landseitige (HELCOM, 1987b) und atmosphärische Eintrag von Nährstoffen (vgl. auch HELCOM, 1987a) anthropogenen Ursprungs läßt einen starken Einfluß menschlicher Aktivitäten auf die Eutrophierung der Ostsee vermuten. Andererseits deuten die engen positiven Korrelationen, die zwischen der zunehmenden Nährstoffakkumulation und dem Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht beobachtet wurden (NEHRING, 1984), auf einen verstärkten Vertikalaustausch hin, in dessen Verlauf nährstoff- und salzreiches Tiefenwasser in die Deckschicht gelangt (NEHRING, 1985).

Im Trendverhalten der Nährstoffe Phosphat und Nitrat sowie des Salz- und Sauerstoffgehalts sind seit Mitte der 70er Jahre Veränderungen eingetreten, die sowohl die Oberflächenschicht als auch das Tiefenwasser der Ostsee betreffen. Wie die winterliche Nährstoffakkumulation in der Deckschicht der untersuchten Ostseeregionen zeigt, hat sich der Prozeß der Eutrophierung seit 1978 deutlich verlangsamt und ist offensichtlich durch größere zwischenzeitliche Variationen gekennzeichnet. Obgleich die Eutrophierung zur Zeit langsamer als in früheren Jahren verläuft, ist auch weiterhin eine hohe biologische Produktivität der Ostsee zu erwarten.

Abweichend von der offenen Ostsee nimmt die Eutrophierung in den küstennahen Gebieten vor allem im Bereich von Flußmündungen und Abwassereinleitungen stark zu. Ein Beispiel hierfür ist die Oderbank in der südlichen Arkonasee. Durch die wachsende Nährstofffracht der Oder und des Peenestroms wurden hier 1987 und 1988 Phosphat- und Nitratkonzentrationen im Oberflächenwasser gemessen, die bereits denen des ozeanischen Tiefenwassers entsprachen oder sogar darüber lagen (vgl. auch NEHRING, 1989b). Die starke Nährstoffakkumulation in diesem flachen Seegebiet war nicht auf die Wintersituation beschränkt, sondern wurde auch im späten Frühjahr und Sommer beobachtet, d.h. in Jahreszeiten, in denen die Oberflächenschicht der Ostsee normalerweise durch die Phytoplanktonentwicklung an Phosphat und anorganischen Stickstoffverbindungen verarmt ist. Das bedeutet, daß in diesem Gebiet nicht nur die Nährstoffe, sondern auch das Licht zum begrenzenden Faktor in der biologisch produktiven Jahreszeit werden kann, weil seine Eindringtiefe durch die Schattenwirkung des Phytoplanktons verringert wird.

Da der Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht der küstenfernen Gebiete

gegenwärtig abnimmt, während der Nährstoffgehalt weiterhin geringfügig ansteigt, besteht die früher (NEHRING, 1985, HELCOM, 1987a) in der zentralen Ostsee beobachtete Korrelation zwischen diesen Größen zur Zeit nicht mehr. In diesem Zusammenhang sei jedoch darauf hingewiesen, daß die relativ niedrigen Phosphat- und Nitratkonzentrationen in den Wintern 1987/88 und vor allem 1988/89 mit relativ geringen Salzgehalten kombiniert waren. Bei der Diskussion dieser Problematik muß darüber hinaus auch die Abnahme des Salzgehalts im Tiefenwasser berücksichtigt werden.

In der Zwischenschicht der zentralen Ostsee mit Kern in etwa 100 m Tiefe deutet die in den letzten Jahren etwas günstigere Entwicklung der Sauerstoffbedingungen, die auch von FONSELIUS (1988) beobachtet wurde, auf eine verstärkte advektive Wasserzufuhr hin. In diesem Zusammenhang sei auch auf die verbesserten Austauschbedingungen durch die permanente Sprungschicht (MATTHÄUS, 1990a) hindurch, verbunden mit deren Verlagerung in größeren Tiefen (MATTHÄUS, 1987), hingewiesen. Diese Prozesse, die durch die Abnahme des Salzgehalts begünstigt werden, sind auch die Ursache für die in dieser Zwischenschicht rückläufige Phosphatakkumulation. Die Nitratakkumulation dauert dagegen unvermindert an, ist jedoch durch größere zwischenzeitliche Schwankungen gekennzeichnet. Das unterschiedliche Verhalten der beiden Nährstoffe ist nicht nur die Folge des Eintrags durch Festlandabflüsse und über die Atmosphäre, sondern scheint darüber hinaus auch mit der zunehmenden Stickstoffbelastung des aus der Nordsee und den Übergangsgebieten einströmenden Tiefenwassers, das sich in die Zwischenschicht des östlichen Gotlandbeckens einlagert, zusammenzuhängen.

Die Dichte des in der Zwischenschicht transportierten Wassers reicht trotz Abnahme des Salzgehalts im Zeitraum 1977 - 1988 aus, um das inzwischen an Salz stark verarmte Bodenwasser im nördlichen und westlichen Gotlandbecken zu erneuern (NEHRING, 1989b). Unter diesem Aspekt ist auch die im Vergleich zum Gotland- und Fårötief geringere Verschlechterung der Sauerstoffbedingungen und die langsamer verlaufende Phosphatakkumulation im Bodenwasser des Landsorttiefs zu sehen.

Der starke und nahezu kontinuierliche Rückgang des Salzgehalts, der in der 2. Hälfte der 70er Jahre einsetzte und besonders das Tiefenwasser betraf, fällt mit dem Ausbleiben von Salzwassereinbrüchen zusammen. Die damit verbundene Stagnationsperiode führte vor allem im östlichen Gotlandbecken zu verstärktem Auftreten von Schwefelwasserstoff. Die Abnahme des Redoxpotentials, das unter anoxischen Bedingungen von der Schwefelwasserstoffkonzentration bestimmt wird, fördert die Remobilisierung von Phosphat aus den Sedimenten und ist zusammen mit der Remineralisierung von organischer Substanz, die aus der Deckschicht sedimentiert, die Ursache für die Akkumulation dieses Nährstoffes im anoxischen Tiefenwasser.

Salzwassereinbrüche in die Ostsee hängen ab von der Entstehung einer anomalen atmosphärischen Zirkulation in der nördlichen Hemisphäre (DICKSON, 1971, 1973). Sie sind darüber hinaus gekoppelt mit Variationen der meridionalen Zirkulation über dem Nordatlantik und der zonalen Zirkulation über der Ostsee sowie deren Wasserstand (BÜRNGEN et al., 1990). Die gegenwärtig beobachtete, starke Verschlechterung der Sauerstoffbedingungen

sowie die im Mittel zunehmende Phosphatkonzentration in der Tiefenschicht der zentralen Ostseeregionen sind durch eine extrem lange Stagnationsperiode bedingt und haben daher offenbar weniger anthropogene als vielmehr natürliche Ursachen.

Durch die Differenzierung zwischen oxischen und anoxischen Bedingungen konnte bei früheren Untersuchungen (NEHRING, 1987, 1989a) die Phosphatakkumulation, die aus der Remineralisierung oder der Freisetzung aus dem Sediment resultiert, bestimmt werden. Diese Untersuchungen konnten nicht fortgesetzt werden, da im Bodenwasser des Gotland- und Färötiefs seit 10 Jahren ständig anoxische Bedingungen herrschen und die Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie das Redoxpotential inzwischen extrem hohe Werte erreicht haben. Unter diesen Bedingungen ist der Vorrat an Phosphat, das aus den Sedimenten remobilisiert werden kann, noch nicht erschöpft. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen ist daher in der grundnahen Wasserschicht eine Trendumkehrung eingetreten, und die Phosphatkonzentrationen zeigen im Mittel seit 1977 eine deutliche Zunahme.

Die Abnahme des Salzgehalts im Tiefenwasser der zentralen Ostsee ist im Vergleich zur Deckschicht um den Faktor 2 - 4 größer. Dadurch verringert sich die Schichtungsstabilität (MATTHÄUS, 1983c), so daß der vertikale Austausch begünstigt wird (MATTHÄUS, 1983d, 1990a). Das nährstoffreiche Tiefenwasser, das bei diesem Prozeß in die Deckschicht gelangt, ist inzwischen relativ salzarm, so daß die bei früheren Untersuchungen (NEHRING, 1984) beobachteten engen Beziehungen zwischen dem Phosphat- und Nitratgehalt einerseits sowie dem Salzgehalt andererseits gegenwärtig nicht mehr existieren. In den Jahren 1988 und 1989 waren sie jedoch erneut andeutungsweise vorhanden.

Der bereits sehr niedrige Salzgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken, der dem der 30er Jahre entspricht (MATTHÄUS, 1979, 1987), ist eine wichtige Voraussetzung für die advective Wassererneuerung. Ungünstig ist in diesem Zusammenhang die hohe Schwefelwasserstoffkonzentration, die 3 - 5 Sauerstoffäquivalenten entspricht. Es ist daher fraglich, ob die bei einem einzelnen Salzwassereinbruch zugeführte Sauerstoffmenge zur vollständigen Oxydation des Schwefelwasserstoffs ausreicht und oxische Bedingungen entstehen. Statistische Untersuchungen haben gezeigt, daß Salzwassereinbrüche nur selten als Einzelereignisse, sondern im allgemeinen in Gruppen von bis zu 12 innerhalb 5 aufeinanderfolgender Einstromsaisons (August bis April), auftreten können (vgl. FRANCK et al., 1987; MATTHÄUS, FRANCK, 1988).

Der Einstrom salzreicheren Wassers führte im Bornholmbecken gelegentlich zu einer Erneuerung der grundnahen Wasserschicht. Trotzdem dominiert seit 1975 auch im Tiefenwasser dieses Beckens eine starke Abnahme des Salzgehalts, die der in den zentralen Ostseebecken entspricht. Der Sauerstofftrend läßt im Zusammenhang mit dem häufigeren Auftreten anoxischer Bedingungen ebenfalls eine ungünstige Entwicklung erkennen. Im Gegensatz zu den deutlichen Veränderungen bei den hydrographischen Parametern zeigte der Phosphatgehalt im Tiefenwasser des Bornholmbeckens trotz eines signifikanten Trends nur eine geringe Zunahme, wenn man die hohen Werte, die aus der Phosphatremobilisierung unter anoxischen Bedingungen resultieren, unberücksichtigt läßt.

Im Hinblick auf die Fischerei läßt das Trendverhalten der untersuchten ozeanologischen Größen sowohl positive als auch negative Effekte erwarten. Die Eutrophierung der Ostsee dauert an. Sie ist aber, wie die Nährstofftrends in der winterlichen Oberflächenschicht zeigen, langsamer geworden. Trotzdem sind weiterhin gute Voraussetzungen für eine hohe Phyto- und Zooplanktonproduktion vorhanden. Aufgrund des reichlichen Nahrungsangebots ist daher eine positive Entwicklung der pelagischen Fischarten möglich, vorausgesetzt, daß auch die anderen Umweltbedingungen sowie die Bestandsparameter günstig sind und keine Überfischung erfolgt.

Die Entwicklung der Grundfischbestände in der Ostsee ist schwieriger einzuschätzen. Neben der Verschlechterung der Sauerstoffbedingungen wirkt sich die Abnahme des Salzgehalts nachteilig auf die Ei- und Larvenentwicklung der Dorschbestände aus. Die Umweltfaktoren werden daher für die Rekrutierung dieser Fischart immer ungünstiger, wenn sich die Trends der untersuchten hydrographischen Parameter fortsetzen.

Durch geringe Sauerstoffkonzentrationen und die Ausbreitung von Schwefelwasserstoff wird darüber hinaus der Lebensraum der Grundfische und anderer aerober Organismen eingeschränkt. Das bessere Nahrungsangebot als Folge der Eutrophierung ist jedoch die Ursache für eine Zunahme der Biomasse des Makrozoobenthos in Gebieten, in denen der Sauerstoffgehalt nicht als begrenzender Faktor auftritt (vgl. auch CEDERWALL, ELMGREN, 1980, GOSELCK, 1985). Die hier lebenden Grundfische finden daher günstige Nahrungsbedingungen vor.

Salzwassereinbrüche in die Ostsee können kurzfristig zu nachhaltigen Veränderungen im Salz- und Sauerstoffgehalt führen. Eine grundlegende Umstellung der anoxischen Bedingungen in oxische ist jedoch fraglich, weil der vor allem im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens in hohen Konzentrationen vorliegende Schwefelwasserstoff erst oxydiert werden muß. Eine generelle Verbesserung der Sauerstoffbedingungen für die Dorschrekrutierung ist daher vorerst nicht zu erwarten oder bleibt auf den Tiefenbereich von 80 - 120 m, in dem das Sauerstoffdefizit geringer ist, beschränkt.

Die Eutrophierung begünstigt die Entwicklung ungewöhnlicher Algenblüten, die nach ihrem Absterben und Sedimentieren zu einer verstärkten Belastung des Sauerstoffregimes in der grundnahen Wasserschicht führen. Die im Mai 1988 im Kattegat und in der Nordsee beobachtete Massenentwicklung des Toxine bildenden Flagellaten *Chrysochromolina polylepis* verursachte Fischverluste in Aquakulturen (LINDAHL, 1988, HORSTMANN, JOCHEM, 1988, DAHL u.a., 1989).

Die zunehmende Phytoplanktonbiomasse in stark eutrophierten Küstengewässern reduziert darüber hinaus die Eindringtiefe des Lichtes und bewirkt im Flachwasserbereich einen Rückgang des Phytobenthos. Auf diese Weise geht Laichsubstrat verloren, und die Fischlarven und Jungfische verlieren einen Teil ihrer Schutzgebiete.

8. Literatur

- BERNER, M., MÜLLER, H., NEHRING, D.: Zum Einfluß von Umwelt- und Bestandsparametern auf die Rekrutierung des Dorschbestandes der Arkonasee (SD 24). - Fisch.-Forsch., Rostock, 26 (1988a) 2, 44-49.
- BERNER, M., MÜLLER, H., NEHRING, D., SCHULZ, S.: Zum Einfluß von Umwelt- und Bestandsparametern auf die Rekrutierung des Dorschbestandes östlich Bornholm (SD 25-32). - Fisch.-Forsch., Rostock, 26 (1988b) 2, 37-43.
- BÖRNGEN, M.: On the causes of the strong salt inflows into the Baltic. - Proc. 11th Conf. Baltic Oceanographers, Rostock 1978, Bd. 1 (1978), 305-315.
- BÖRNGEN, M.: Beitrag zur Analyse und Interpretation zeitlicher Änderungen des Salzgehalts im Bereich der Ostsee-Eingänge. - Geod. Geoph. Veröff. R. IV, Nr. 38 (1983), 67-109.
- BÖRNGEN, M., HUFFER, P., OLBERG, M.: Occurrence and absence of strong salt influxes into the Baltic Sea. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 61 (1990) (im Druck).
- CEDERWALL, H., ELMGREN, R.: Biomass increase of benthic macrofauna demonstrates eutrophication of the Baltic Sea. - Ophelia, Suppl. 1 (1980), 287-304.
- DAHL, E., LINDAHL, O., PAASCHE, E., THRONSEN, J.: The Chrysochromulina polylepis bloom in Scandinavian waters during spring 1988. In: E.M. Coper et al. (Ed.): A novel phytoplankton bloom: Causes and impacts of recurrent brown tides. - Springer Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies 1989 (im Druck).
- DICKSON, R.R.: A recurrent and persistent pressure-anomaly pattern as the principal cause of intermediate-scale hydrographic variations in the European shelf seas. - Dtsch. Hydrogr. Z. 24 (1971), 97-119.
- DICKSON, R.R.: The prediction of the major Baltic inflows. - Dtsch. Hydrogr. Z. 26 (1973), 97-105.
- FONSELIUS, S.: Long-term trends of dissolved oxygen, pH and alkalinity in the Baltic deep basins. - ICES 1988 C.M./C:23, 1-10.
- FRANCK, H., MATTHAUS, W., SAMMLER, R.: Major inflows of saline water into the Baltic Sea during the present century. - Gerlands Beitr. Geophys., Leipzig, 96 (1987), 517-531.
- GOSSELCK, F.: Untersuchungen am Makrozoobenthos des Arkonabeckens (südliche Ostsee). - Fisch.-Forsch., Rostock, 24 (1985) 4, 28-32.
- GRASSHOFF, K.: Methods of seawater analysis. - Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1976, 1-137.
- HELCOM: First periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea Area, 1980-1985. Background Document. Chapters Nutrients and Zooplankton. - Baltic Sea Environ. Proc. 17B (1987a), 35-81, 256-321.
- HELCOM: First Baltic Sea pollution load compilation. - Baltic Sea Environ. Proc. 20 (1987b), 1-53.
- HORSTMANN, U., JOCHEM, F.: Report of the activities and first results of the investigations on the Chrysochromulina bloom in the FRG. - Inst. f. Meeresk., Kiel 1988, 1-17, (mineo).
- KAISER, W., SCHULZ, S.: On the causes for the differences in space and time of the commencement of the phytoplankton bloom in the Baltic. - Kieler Meeresforsch., Sonderh. 4 (1978), 161-170.
- LINDAHL, O.: Primary production and sedimentation during the bloom of Chrysochromulina polylepis in the Gullmar Fjord in May 1988. - Symp. Proc. "Toksinproduserende Alger", Nordish forskensamling i Oslo, 20 - 21 October 1988.
- MATTHAUS, W.: Langzeitvariationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 42 (1979), 47-93.
- MATTHAUS, W.: Aktuelle Trends in der Entwicklung des Temperatur-, Salzgehalts- und Sauerstoffregimes im Tiefenwasser der Ostsee. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 49 (1983a), 47-64.
- MATTHAUS, W.: Langzeitrends der Dichte im Gotlandbecken. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 48 (1983b), 47-56.

- MATTHAUS, W.: Zur Variation der vertikalen Stabilität der thermohalinen Schichtung im Gotlandtief. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 48 (1983c), 57-71.
- MATTHAUS, W.: Zum Vertikalaustausch durch die primäre haline Sprungschicht der offenen Ostsee. - Gerlands Beitr. Geophys., Leipzig, 92 (1983d), 20-30.
- MATTHAUS, W.: Mittlere jahreszeitliche und langzeitige Veränderlichkeit des Salzgehalts im Arkonabecken. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 53 (1985), 17-26.
- MATTHAUS, W.: Charakteristische Eigenschaften von Stagnationsperioden im Tiefenwasser der Ostsee. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 55 (1986), 39-53.
- MATTHAUS, W.: Die Veränderungen des ozeanologischen Regimes im Tiefenwasser des Gotlandtiefs während der gegenwärtigen Stagnationsperiode. - Fisch.-Forsch., Rostock, 25 (1987) 2, 17-22.
- MATTHAUS, W.: Mixing across the primary Baltic halocline. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 61 (1990a), 21-31.
- MATTHAUS, W.: Langzeittrends und Veränderungen ozeanologischer Parameter während der gegenwärtigen Stagnationsperiode im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. - Fisch.-Forsch., Rostock, 28 (1990b), (im Druck).
- MATTHAUS, W., FRANCK, H.: The seasonal nature of major Baltic inflows. - Kieler Meeresforsch., Sonderh. 6 (1988), 64-72.
- MÜLLER, H., BERNER, M., NEHRING, D.: Zum Einfluß von Umwelt- und Bestandsparametern auf die Rekrutierung des Dorschbestandes der Beltsee (SD 22). - Fisch.-Forsch., Rostock, 26 (1988) 2, 50-58.
- NEHRING, D.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee von 1969-1978. II. Die chemischen Bedingungen und ihre Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. - Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H 36 (1981), 39-137.
- NEHRING, D.: The further development of the nutrient situation in the Baltic proper. - Ophelia, Suppl. 3 (1984), 167-179.
- NEHRING, D.: Langzeitvariationen essentieller Nährstoffe in der zentralen Ostsee. - Acta hydrochim. hydrobiol. 13 (1985), 581-609.
- NEHRING, D.: Temporal variations of phosphate and inorganic nitrogen compounds in central Baltic deep waters. - Limnol. Oceanogr. 32 (1987), 494-499.
- NEHRING, D.: Phosphate and nitrate trends and the ratio oxygen consumption to phosphate accumulation in central Baltic deep waters with alternating oxic and anoxic conditions. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 59 (1989a), 47-58.
- NEHRING, D.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1988. Fisch.-Forsch., Rostock, 27 (1989b), (im Druck).
- NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1984. - Fisch.-Forsch., Rostock, 23 (1985) 4, 18-27.
- NEHRING, D., FRANCKE, E.: Untersuchungen über die mittelfristige Vorhersage einiger fischereirelevanter ozeanologischer Größen in der Ostsee. - Fisch.-Forsch., Rostock, 26 (1988) 2, 7-13.
- ROHDE, K.-H., NEHRING, D.: Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. - Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 27 (1979), 1-68.
- WULFF, F., RAHM, L.: Optimising the Baltic sampling programme: The effects of using different stations in calculation of total amounts of nutrients. - Beitr. Meeresk., Berlin, H. 60 (1989), 61-66.
- ZMUDZIŃSKI, L.: The Baltic deserts. - Ann. Biol. 32 (1977), 50-51.

9. Herkunft und Daten

1. Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde, Datenarchiv, 1969 bis 1989.
2. Annales Biologique, Copenhague, 1958-1966, Sweden, USSR.
3. ICES Oceanographic Data Lists, No 20 - 23, 1975, International Baltic Year Data: Poland, USSR, FRG.
4. Meddelande från Havsfiskelaboratoriet, Lysekil, Sweden, Hydrogr. Avdel., No 38, 52, 63, 70, 82, 83, 93, 104, 112, 116, 132, 160, 168, Göteborg, 1967 - 1972.
5. National Board of Fisheries, Sweden, Hydrographic Data No 1-13, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 25-28, 30, 32, 34-37, Göteborg, 1973 bis 1984.

10. Abbildungsanhang

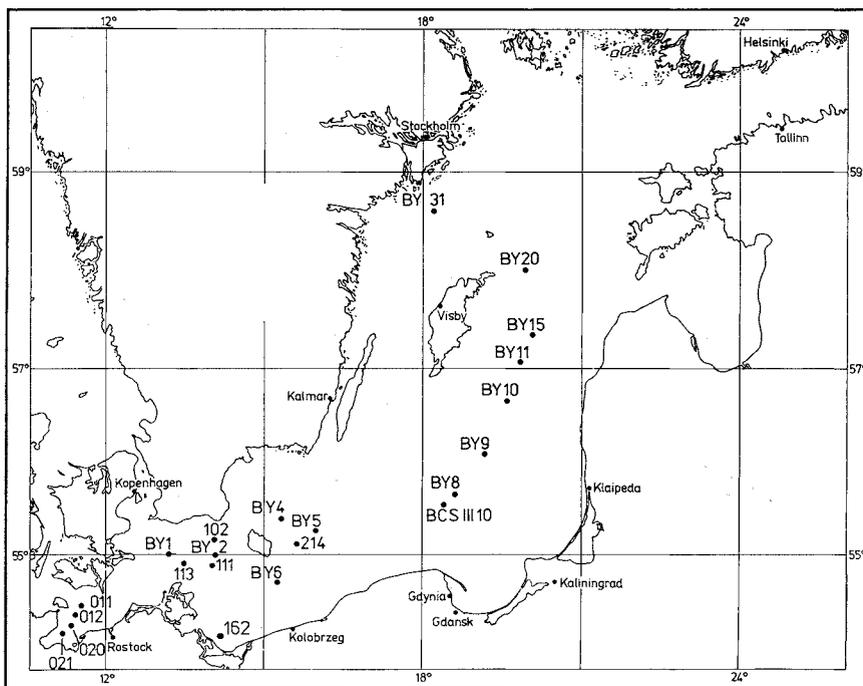


Abb. 1 Stationskarte

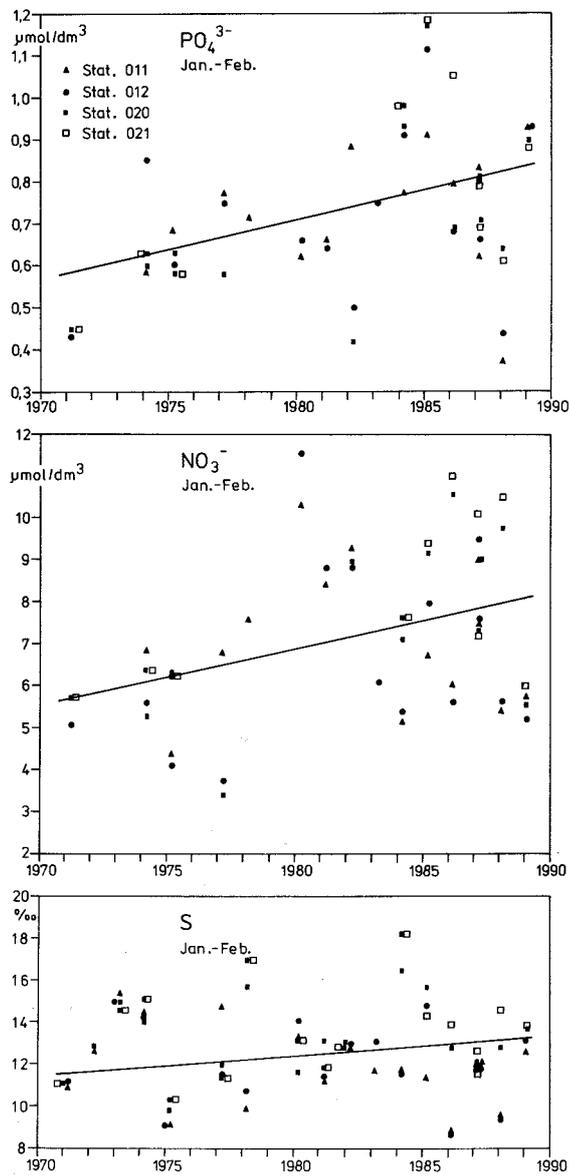


Abb. 2 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht

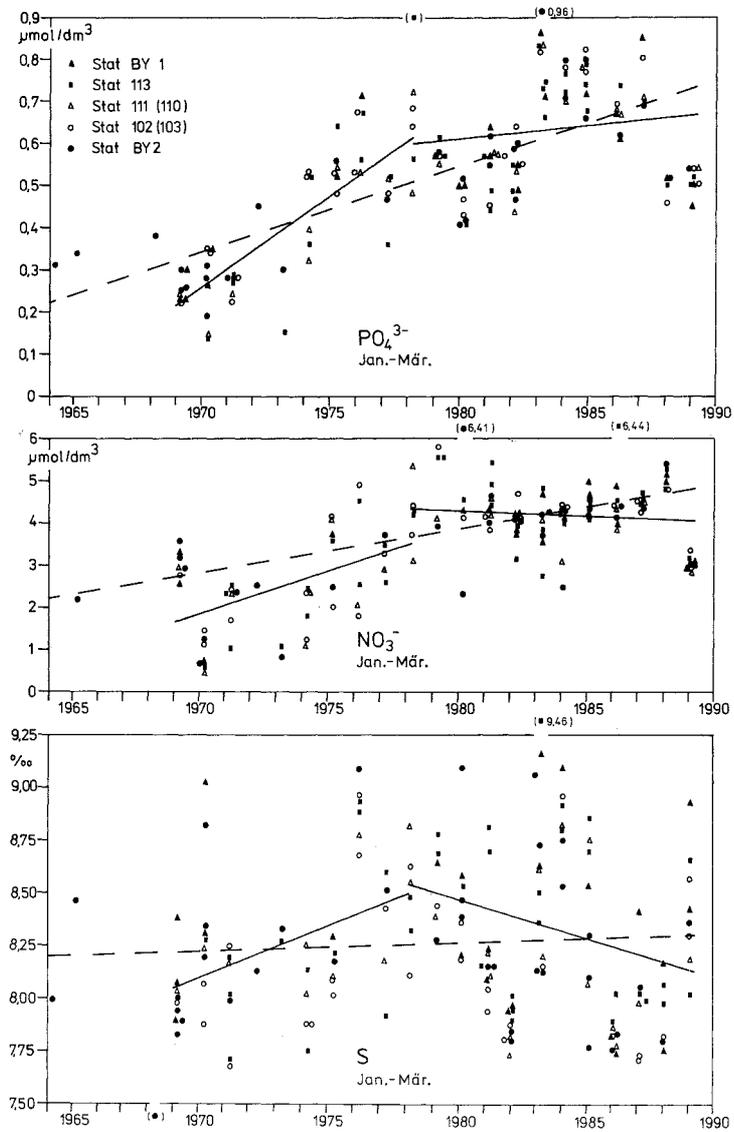


Abb. 3 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der zentralen Arkonasee

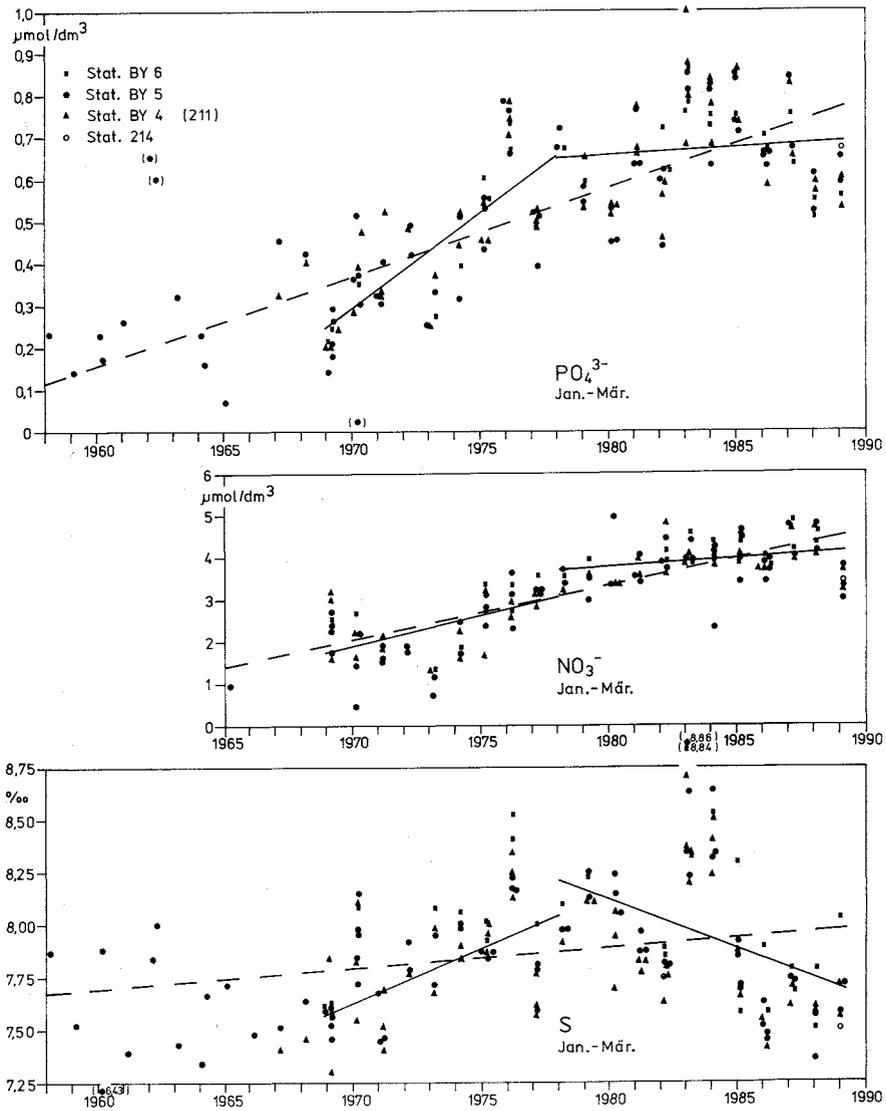


Abb. 4 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der zentralen Bornholmsee

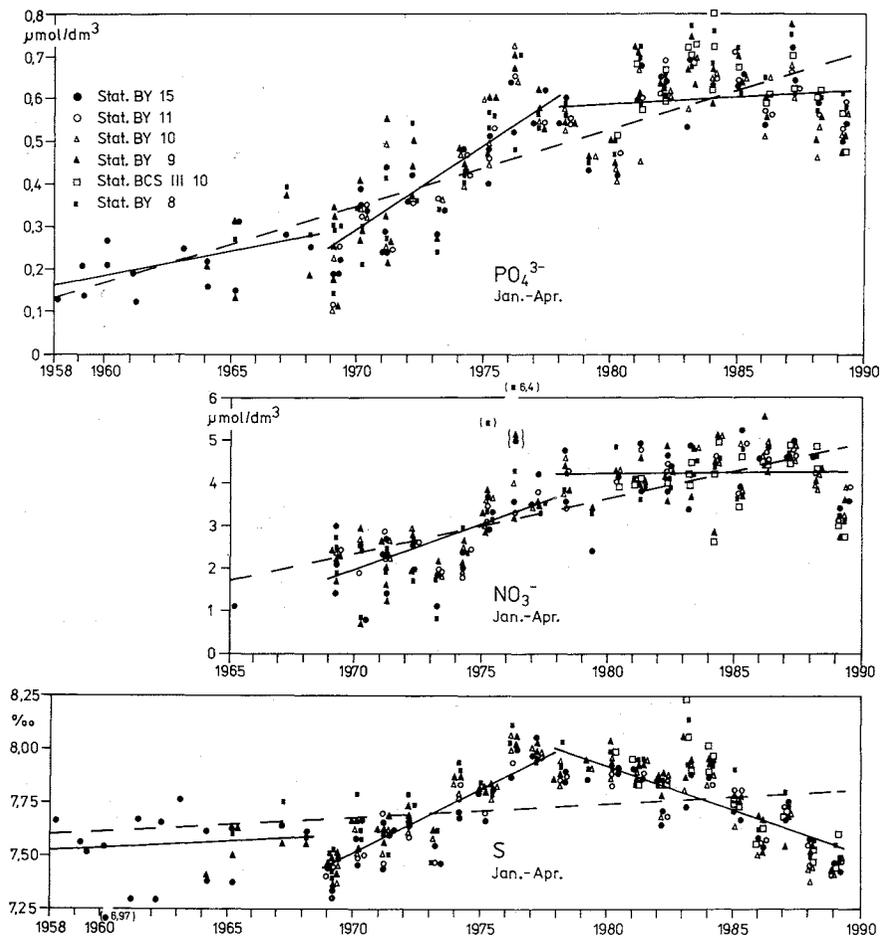


Abb. 5 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der südöstlichen Gotlandsee

Abb. 6 Variationen wichtiger Algennährstoffe sowie des Salzgehalts im Oberflächenwasser der Oderbank

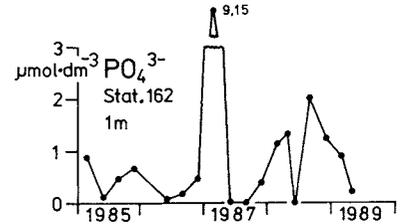
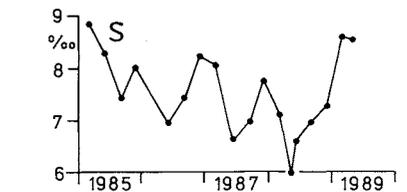
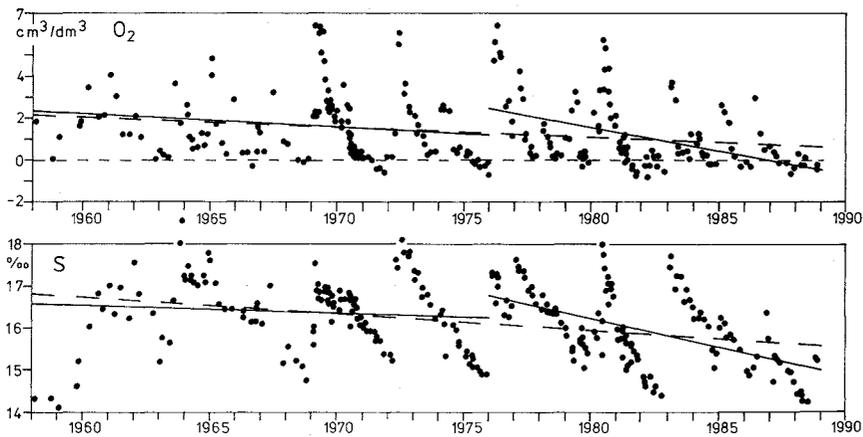
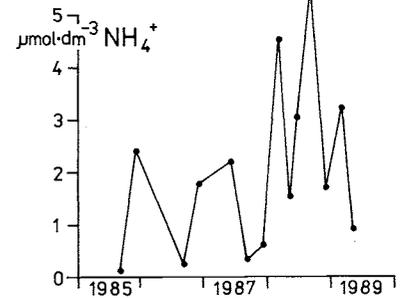
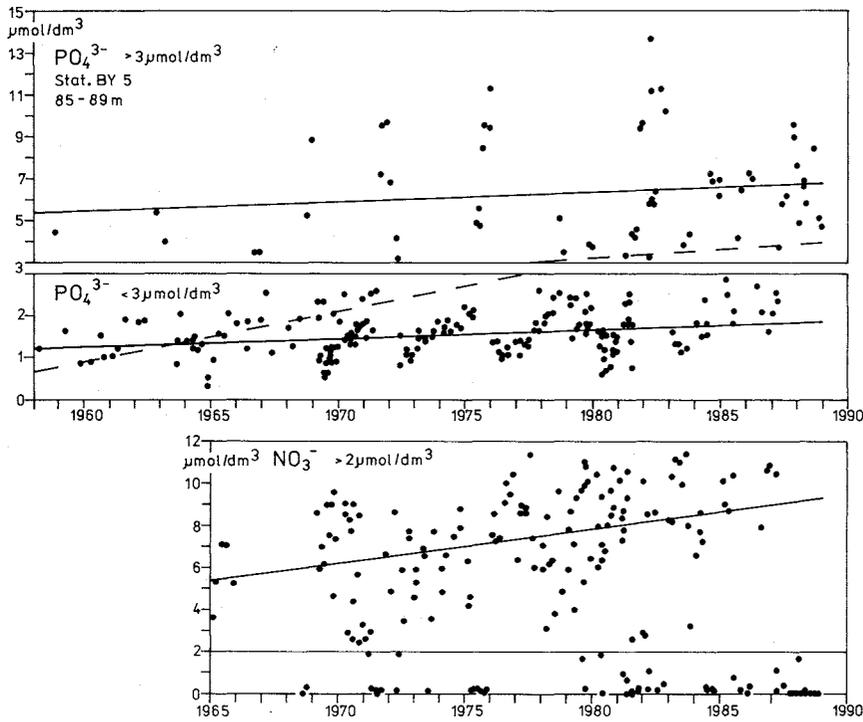
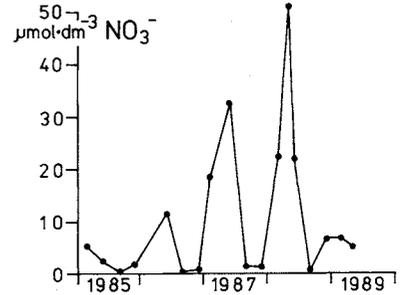


Abb. 7 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Sauerstoff- und Salzgehalts in der grundnahen Wasserschicht des Bornholmtiefs



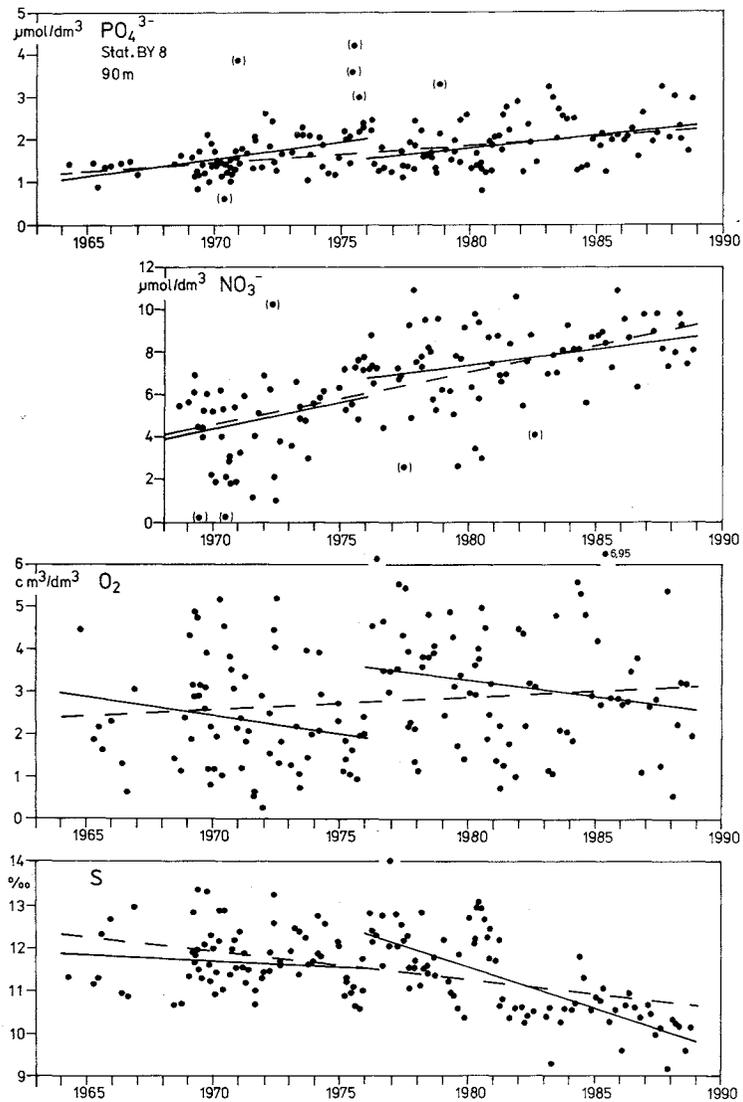


Abb. 8 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Sauerstoff- und Salzgehalts in der grundnahen Wasserschicht von Station BY 8 im südöstlichen Gotlandbecken

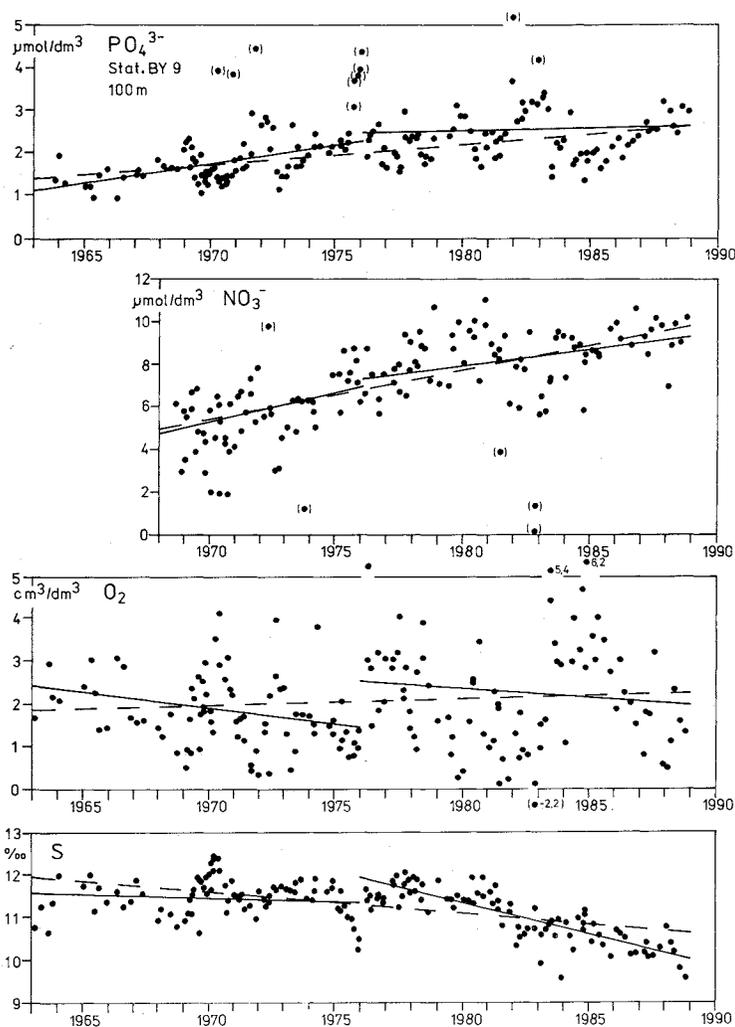


Abb. 9 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Sauerstoff- und Salzgehalts in der grundnahen Wasserschicht von Station BY 9 im südöstlichen Gotlandbecken

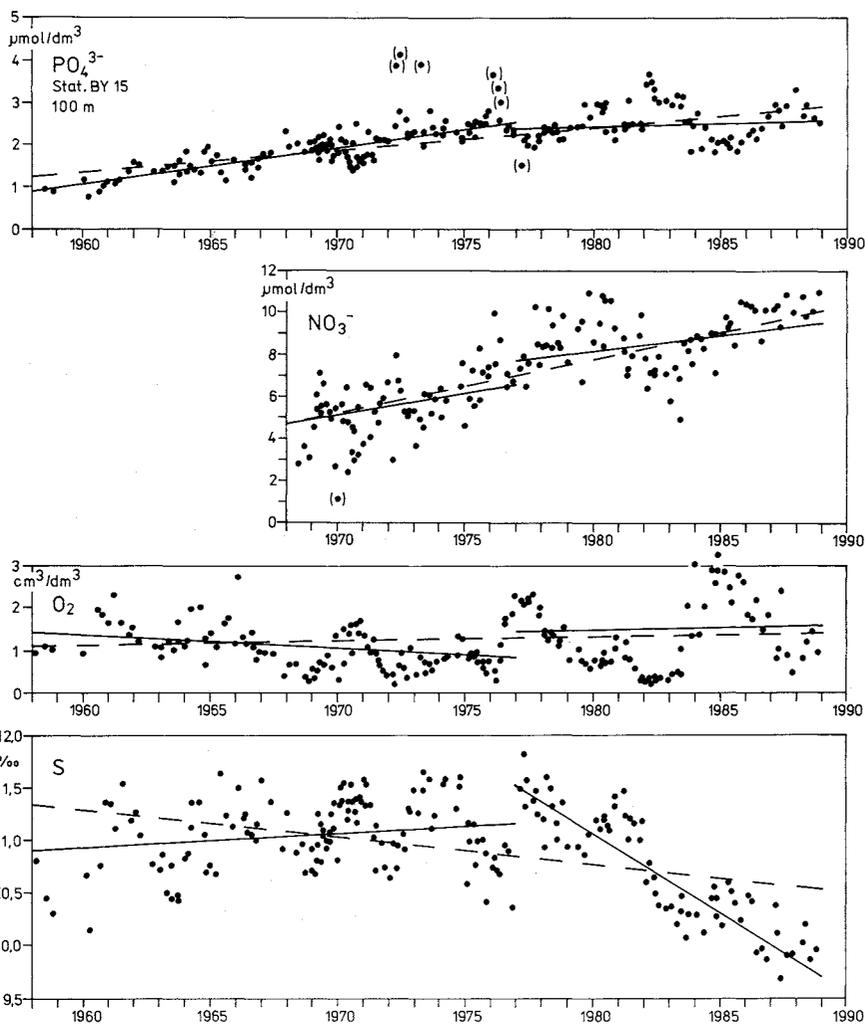


Abb. 10 a

Abb. 10
Langzeitvariationen der
Phosphat- und
Nitratkonzentrationen sowie
des Sauerstoff-
und Salzgehalts
im Tiefenwasser
des Gotlandtiefs
(a in 100 m,
b in 200 m,
c in 230 -
240 m
Tiefe)

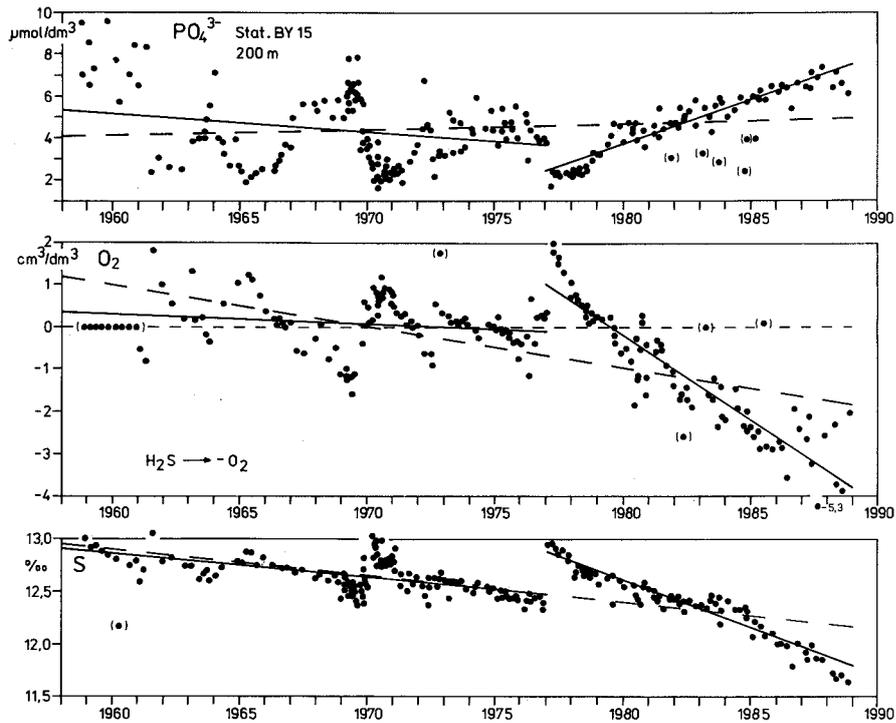


Abb. 10 b

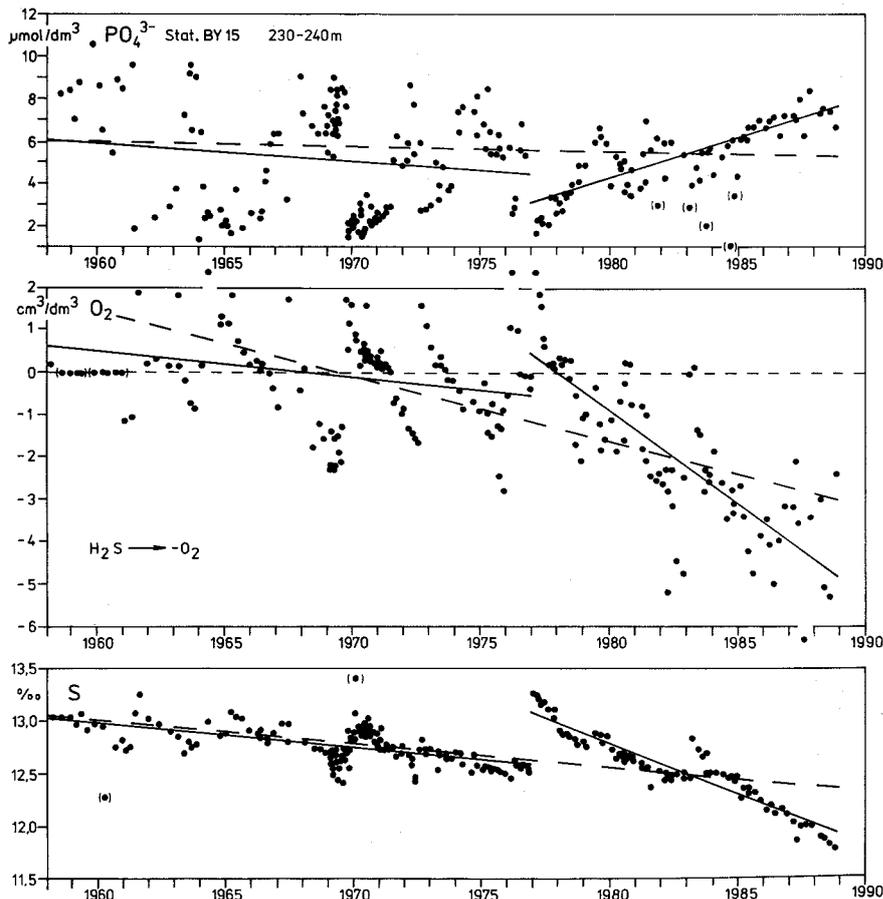


Abb. 10 c

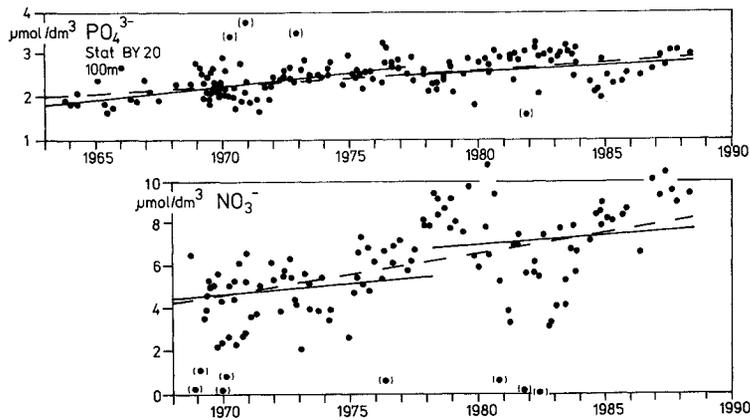


Abb. 11 a

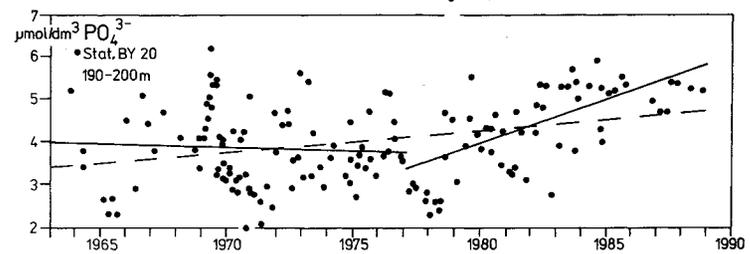
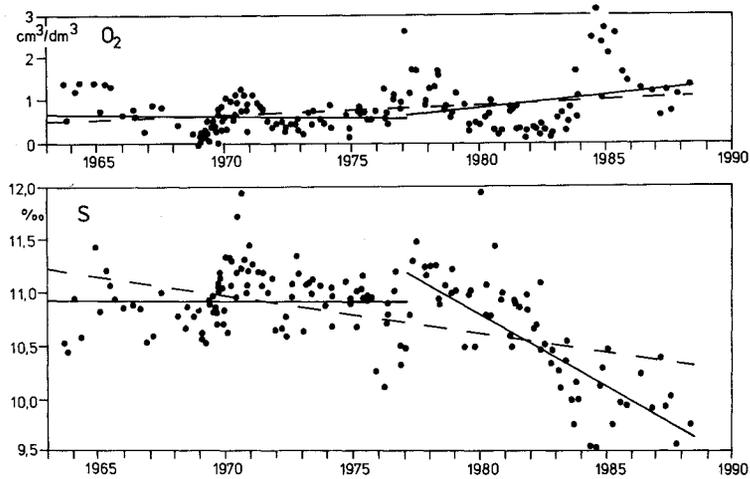


Abb. 11 b

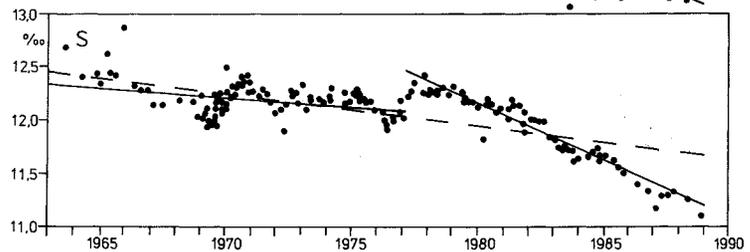
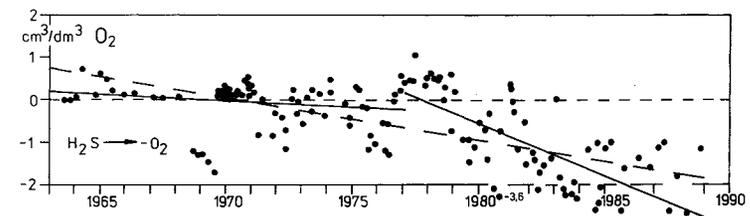


Abb. 11 Langzeitvariationen der Phosphat- und Nitratkonzentrationen sowie des Sauerstoff- und Salzgehalts im Tiefenwasser des Färötiefs (a in 100 m, b in 190 - 200 m Tiefe)

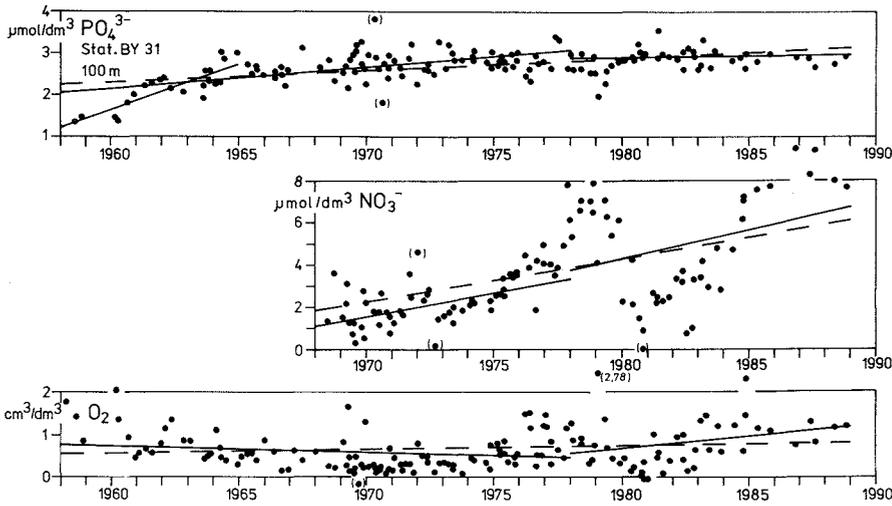


Abb. 12
Langzeitvariationen
der Phosphat- und
Nitratkonzentrationen
sowie des Sauerstoff-
und Salzgehalts im
Tiefenwasser des
Landsorttiefs
(a in 100 m,
b in 200 m,
c in 400 m
Tiefe)

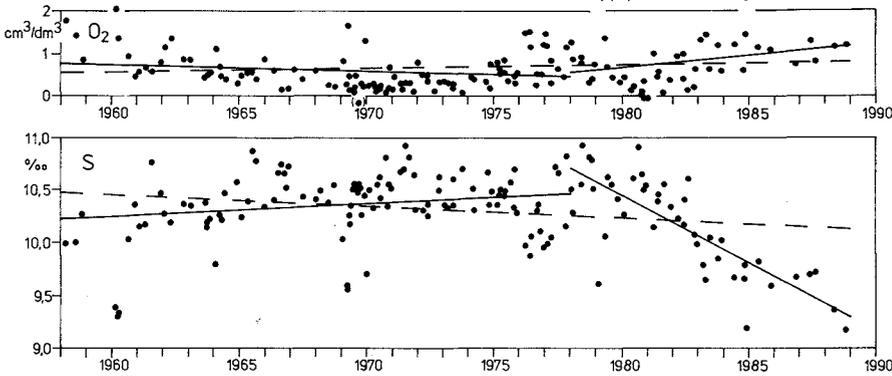


Abb. 12 a

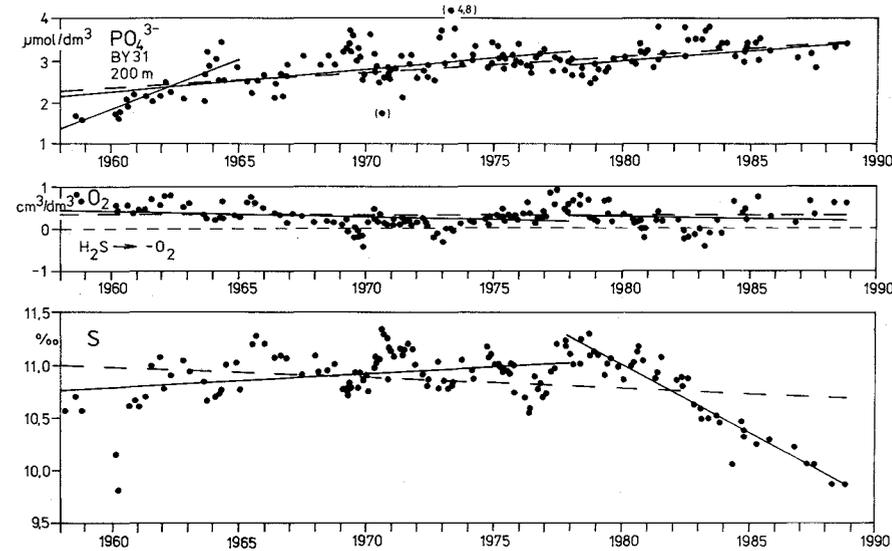


Abb. 12 b

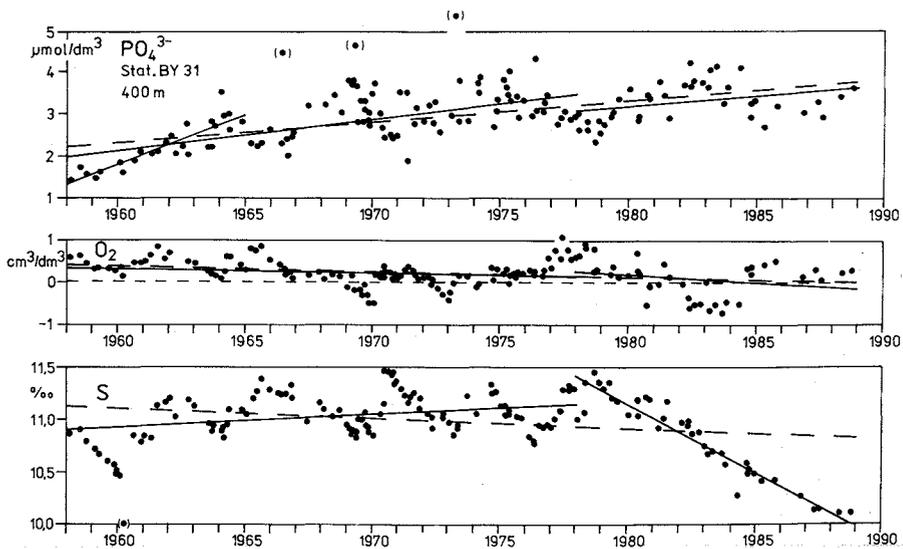


Abb. 12 c

11. TABELLENANHANG

Tabelle 1

Trendgrößen des Phosphatgehalts ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) in der winterlichen Oberflächenschicht verschiedener Ostseeregionen

($y = a+bx$, b = mittlere jährliche Veränderung bzw. Trendkoeffizient,

x = Jahr-1900, r = Korrelationskoeffizient, t-Test nach Student:

* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$)

Gebiet	Periode	a	b	r
Mecklenburger Bucht (Stat. 011, 012, 020, 021)	1971-1989	-0,421	0,014	0,403***
Zentrale Arkonasee (Stat. BY1, BY2, 102, 103, 110, 111, 113)	1969-1978	-2,766	0,043	0,833***
	1978-1989	0,097	0,006	0,158
	1964-1989	-1,099	0,021	0,716***
Zentrale Bornholmsee (Stat. BY4, BY5, BY6, 214)	1969-1978	-2,908	0,046	0,776***
	1978-1989	0,411	0,003	0,083
	1958-1989	-1,089	0,021	0,771***
Südöstliche Gotlandsee (Stat. BY8, BY9, BY10, BY11, BY15, BCS III 10)	1958-1968	-0,566	0,012	0,516*
	1969-1978	-2,583	0,041	0,837***
	1978-1989	0,296	0,004	0,139
	1958-1989	-0,911	0,018	0,802***

Tabelle 2

Trendgrößen des Nitratgehalts ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) in der winterlichen Oberflächenschicht verschiedener Ostseeregionen (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Gebiet	Periode	a	b	r
Mecklenburger Bucht (Stat. 011, 012, 020, 021)	1971-1989	-3,691	0,132	0,353*
Zentrale Arkonasee (Stat. BY1, BY2, 102, 103, 110, 111, 113)	1969-1978	-12,599	0,207	0,534***
	1978-1989	6,103	-0,022	-0,100
	1965-1989	-6,722	0,129	0,648***
Zentrale Bornholmsee (Stat. BY4, BY5, BY6, 214)	1969-1978	-8,477	0,148	0,563***
	1978-1989	0,692	0,039	0,242
	1965-1989	-7,045	0,130	0,798***
Südöstliche Gotlandsee (Stat. BY8, BY9, BY10, BY11, BY15, BCS III 10)	1969-1978	-13,761	0,225	0,732***
	1978-1989	3,821	0,005	0,139
	1965-1989	- 6,737	0,129	0,767***

Tabelle 3

Trendgrößen des Salzgehalts (‰) in der winterlichen Oberflächenschicht
verschiedener Ostseeregionen (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Gebiet	Periode	a	b	r
Mecklenburger Bucht (Stat. 011, 012, 020, 021)	1971-1989	7,946	0,004	0,065
Zentrale Arkonasee (Stat. BY1, BY2, 102, 103, 110, 111, 113)	1969-1978	4,691	0,049	0,439***
	1978-1989	10,607	-0,028	-0,229*
	1964-1989	9,946	0,004	0,065
Zentrale Bornholmsee (Stat.BY4, BY5, BY6, 214)	1969-1978	4,726	0,043	0,505***
	1978-1989	11,876	-0,047	-0,435***
	1958-1989	7,139	0,009	0,217*
Südöstliche Gotlandsee (Stat. BY8, BY9, BY10, BY11, BY15, BCS III 10)	1958-1968	7,178	0,006	0,138
	1969-1978	3,360	0,060	0,875***
	1978-1989	11,329	-0,042	-0,773***
	1958-1989	7,188	0,007	0,262**

Tabelle 4

Trendgrößen des Phosphatgehalts ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) im Tiefenwasser ausgewählter Stationen in der zentralen Ostsee (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Station	Tiefe/m	Periode	a	b	r
BY 5	85-89 (< 3 μmol)	1958-1988	-0,004	0,021	0,297***
Bornholmtief	85-89 (> 3 μmol)	1958-1988	2,738	0,046	0,137
	85-89 (\leq 3 μmol)	1958-1988	-6,295	0,120	0,361***
BY 9	100	1963-1975	-4,465	0,088	0,535***
	100	1976-1988	-1,821	0,049	0,345***
	100	1963-1988	-1,596	0,047	0,546***
BY 15 Gotlandtief	100	1958-1976	-4,120	0,086	0,847***
	100	1977-1988	0,808	0,021	0,131
	100	1958-1988	-1,924	0,054	0,732***
	200	1958-1976	10,295	-0,086	-0,229*
	200	1977-1988	-29,417	0,414	0,935***
	200	1958-1988	2,386	0,028	0,130
BY 20 Färötief	100	1963-1976	-2,252	0,064	0,622***
	100	1977-1988	0,541	0,026	0,221*
	100	1963-1988	-0,401	0,038	0,601***
	190-200	1963-1976	5,031	-0,017	-0,063
	190-200	1977-1988	-12,463	0,205	0,581***
	190-200	1963-1988	0,130	0,052	0,321***
BY 31 Landsorttief	100	1958-1964	-11,008	0,211	0,828***
	100	1958-1977	-9,87	0,052	0,655***
	100	1978-1988	1,269	0,019	0,208*
	100	1958-1988	0,455	0,030	0,580***
	400	1958-1964	-12,000	0,230	0,592***
	400	1958-1977	-2,455	0,076	0,665***
	400	1978-1988	-1,298	0,056	0,345**
	400	1958-1988	-0,823	0,052	0,638***

Tabelle 5

Trendgrößen des Nitratgehalts ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) im Tiefenwasser ausgewählter Stationen
in der zentralen Ostsee (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Station	Tiefe/m	Periode	a	b	r
BY 5 Bornholmtief	85-89 ($> 2\mu\text{mol}$)	1965-1988	-5,490	0,167	0,199*
BY 9	100	1968-1975	-14,122	0,277	0,456***
	100	1976-1988	-4,227	0,152	0,409***
	100	1968-1988	-10,740	0,231	0,714***
BY 15 Gotlandtief	100	1968-1976	-9,588	0,211	0,409***
	100	1977-1988	-3,662	0,149	0,294**
	100	1968-1988	-12,930	0,259	0,732***
BY 20 Färötief	100	1968-1976	- 2,985	0,109	0,243*
	100	1977-1988	0,143	0,087	0,130
	100	1968-1988	-9,037	0,196	0,560***
BY 31 Landsorttief	100	1968-1977	-5,339	0,111	0,246*
	100	1978-1988	-18,227	0,281	0,335**
	100	1968-1988	-12,064	0,205	0,538***

Tabelle 6

Trendgrößen des Sauerstoffgehalts (cm^3/dm^3) im Tiefenwasser ausgewählter Stationen in der zentralen Ostsee (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Station	Tiefe/m	Periode	a	b	r
BY 5	85-89	1958-1975	5,386	-0,055	-0,152
Bornholmtief	85-89	1976-1988	19,191	-0,221	-0,469***
	85-89	1958-1988	5,688	-0,057	-0,267**
BY 9	100	1963-1975	7,272	-0,078	-0,232*
	100	1976-1988	5,613	-0,041	-0,121
	100	1963-1988	0,758	0,017	0,092
BY 15	100	1958-1976	3,347	-0,033	-0,314***
Gotlandtief	100	1977-1988	1,132	0,004	0,012
	100	1958-1988	0,245	0,013	0,123
	200	1958-1976	1,471	-0,020	-0,122
	200	1977-1988	31,642	-0,398	-0,904***
	200	1958-1988	6,905	-0,098	-0,600***
	200	1958-1988	6,905	-0,098	-0,600***
BY 20	100	1963-1976	0,823	-0,002	-0,017
Färötief	100	1977-1988	-3,666	0,057	0,249*
	100	1963-1988	-1,063	0,025	0,288**
	190-200	1963-1976	2,259	-0,033	-0,212*
	190-200	1977-1988	18,949	-0,244	-0,671***
	190-200	1963-1988	7,077	-0,100	-0,642***
BY 31	100	1958-1977	1,631	-0,015	-0,192
Landsorttief	100	1978-1988	-3,647	0,054	0,270**
	100	1958-1988	0,180	0,006	0,099
	400	1958-1977	1,141	-0,013	-0,242*
	400	1978-1988	2,974	-0,035	-0,236*
	400	1958-1988	1,138	-0,013	-0,285**

Tabelle 7

Trendgrößen des Salzgehalts (‰) im Tiefenwasser ausgewählter Stationen
in der zentralen Ostsee (Erläuterungen vgl. Tab. 1)

Station	Tiefe/m	Periode	a	b	r
BY 5	85-89	1958-1975	17,583	-0,018	-0,092
Bornholmtief	85-89	1976-1988	27,079	-0,136	-0,534***
	85-89	1958-1988	19,126	-0,039	-0,336**
BY 9	100	1963-1975	12,340	-0,013	-0,100
	100	1976-1988	23,090	-0,147	-0,836***
	100	1963-1988	14,947	-0,049	-0,548***
BY 15	100	1958-1976	10,157	0,013	0,185
Gotlandtief	100	1977-1988	23,209	-0,152	-0,853***
	100	1958-1988	12,901	-0,027	-0,435***
	200	1958-1976	14,248	-0,023	-0,639***
	200	1977-1988	19,731	-0,089	-0,936***
	200	1958-1988	14,415	-0,025	-0,724***
BY 20	100	1963-1976	11,099	-0,003	-0,030
Färötief	100	1977-1988	22,875	-0,150	-0,824***
	100	1963-1988	13,449	-0,035	-0,506***
	190-200	1963-1976	13,408	-0,017	-0,354***
	190-200	1977-1988	20,493	-0,104	-0,954***
	190-200	1963-1988	14,360	-0,030	-0,683***
BY 31	100	1958-1977	9,544	0,012	0,214*
Landsorttief	100	1978-1988	20,236	-0,126	-0,785***
	100	1958-1988	11,156	-0,012	-0,236*
	400	1958-1977	10,234	0,012	0,315**
	400	1978-1988	21,636	-0,131	-0,952***
	400	1958-1988	11,719	-0,010	-0,268**

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENTIFIC REPORTS

Verzeichnis der veröffentlichten Arbeiten
(List of Published Contributions)

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)