

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1984

PROF. DR. SC. D. NEHRING UND E. FRANCKE
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
ROSTOCK-WARNEMÜNDE

Obgleich im Winter 1983/84 kein Salzwassereintrich erfolgte, verbesserten sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Gdansk Beckens sowie des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens. Die grundnahe Wasserschicht des Bornholmbeckens war nur zu Jahresbeginn ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Die Stagnationsperiode im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens, die 1978 begonnen hat und inzwischen durch hohe Schwefelwasserstoffkonzentrationen gekennzeichnet ist, dauert an.

Im Gotlandtief ist der Salzgehalt in der grundnahen Wasserschicht auf Werte abgesunken, die denen vor dem großen Salzwassereintrich 1951/52 entsprechen. Ähnlich wie in der zentralen Ostsee wurde auch in der Mecklenburger Bucht anhand der zunehmenden Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht eine starke Eutrophierung nachgewiesen.

1. Einleitung

In Fortsetzung früherer Untersuchungen (13) erfolgten auch 1984 5 Terminfahrten mit Forschungsschiffen des Instituts für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR, auf denen ozeanologische Messungen in der westlichen und zentralen Ostsee durchgeführt wurden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über die jahreszeitlichen und zwischenjährlichen ozeanologischen Veränderungen sind eine wichtige Voraussetzung für die ständige Qualifizierung der Fangvorhersage für die Ostseefischerei. Sie sind darüber hinaus ein Beitrag für die periodische Zustandseinschätzung durch die Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes.

Das ozeanologische Meßprogramm, das jeweils in der westlichen Ostsee (Stat. 010 — 012) begann, erstreckte sich im Mai und Oktober/November 1984 bis in den Finnischen Meerbusen (Stat. 22 A), im August bis ins Färötief (Stat. 20 A) und im Februar 1984 bis ins Gotlandtief (Stat. 15 A). Infolge schlechten Wetters mußten die Messungen im März/April in der südöstlichen Gotlandsee (Stat. 10 B) abgebrochen werden.

Ozeanologische Messungen im Rahmen der marinen Schadstoffproblematik wurden Mitte Dezember 1984 im südlichen Kattegat (Stat. 350, 351) und im Fehmarnbelt (Stat. 010) durchgeführt. Das dabei gewonnene hydrographische

Datenmaterial wurde ebenfalls in die Auswertungen einbezogen.

Die Stationskarte in Abb. 1 enthält die Positionen der nationalen und internationalen Standardstationen, die für die nachfolgenden Auswertungen verwendet wurden. Die analysierten hydrographisch-chemischen Standardparameter umfaßten die Wassertemperatur, den Salzgehalt, die Sauerstoff-Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie die essentiellen Nährstoffe Phosphat, Nitrat, Nitrit und Ammonium.

Die Gewinnung der Wasserproben, die gemäß (15) analysiert wurden, erfolgte mittels der Tiefseesonde OM 75 (8), die auch die Temperaturwerte lieferte. Das ozeanologische Meßprogramm wurde durch meteorologische Beobachtungen ergänzt.

2. Die meteorologischen Bedingungen

Die Wassertemperaturen und die thermische Struktur der Deckschicht wurden 1984 regional unterschiedlich durch die meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Kennzeichnend waren der milde Winter 1983/84 und der strahlungsreiche Mai in den zentralen und nördlichen Teilen der Ostsee. Grundlage der nachfolgenden Untersuchungen über die meteorologischen Bedingungen sind die in (17, 18) vorliegenden Angaben.

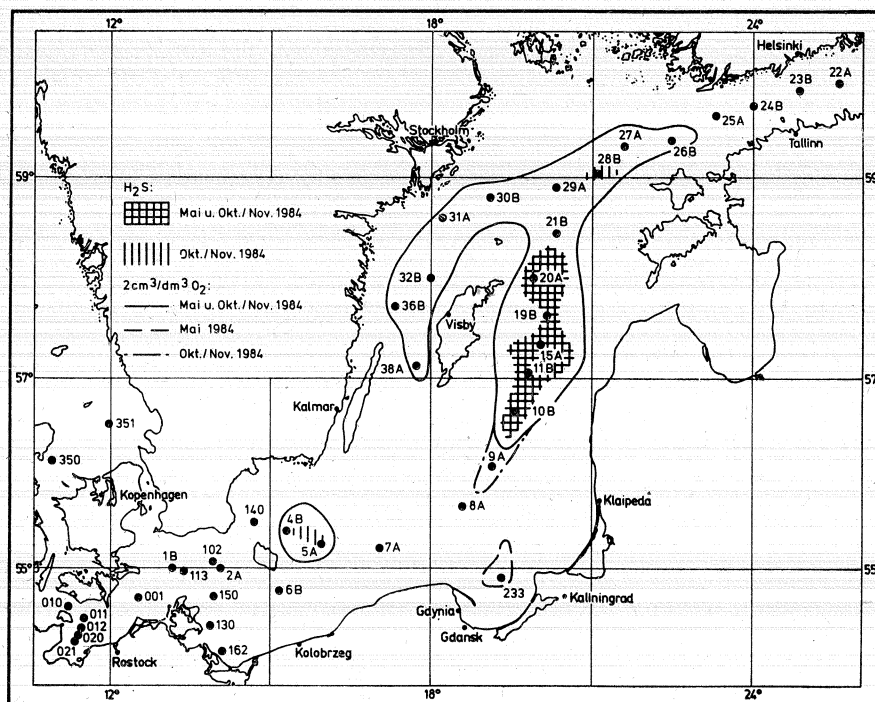


Abb. 1
Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff
in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostsee

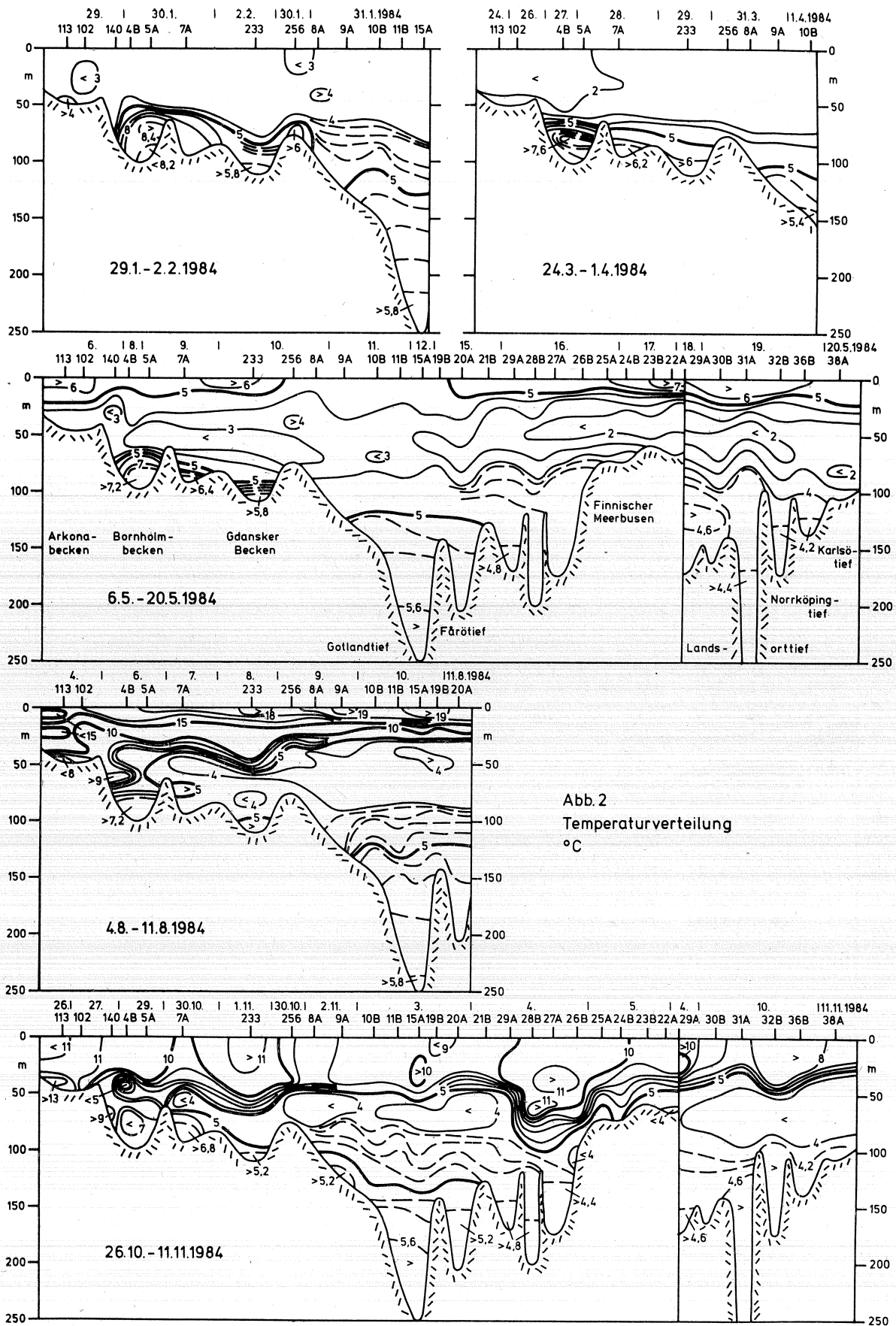


Abb. 2
Temperaturverteilung
°C

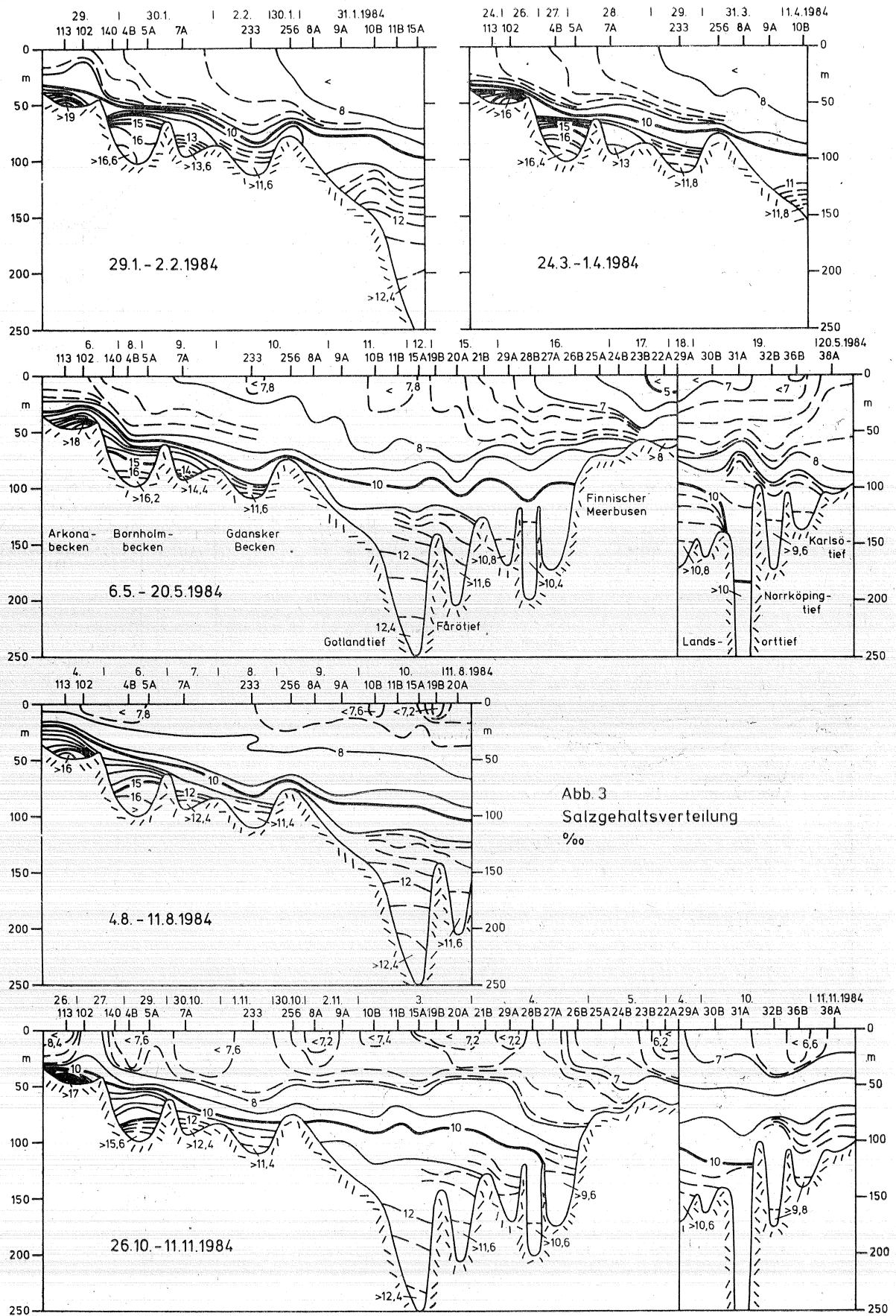


Abb. 3
 Salzgehaltsverteilung
 ‰

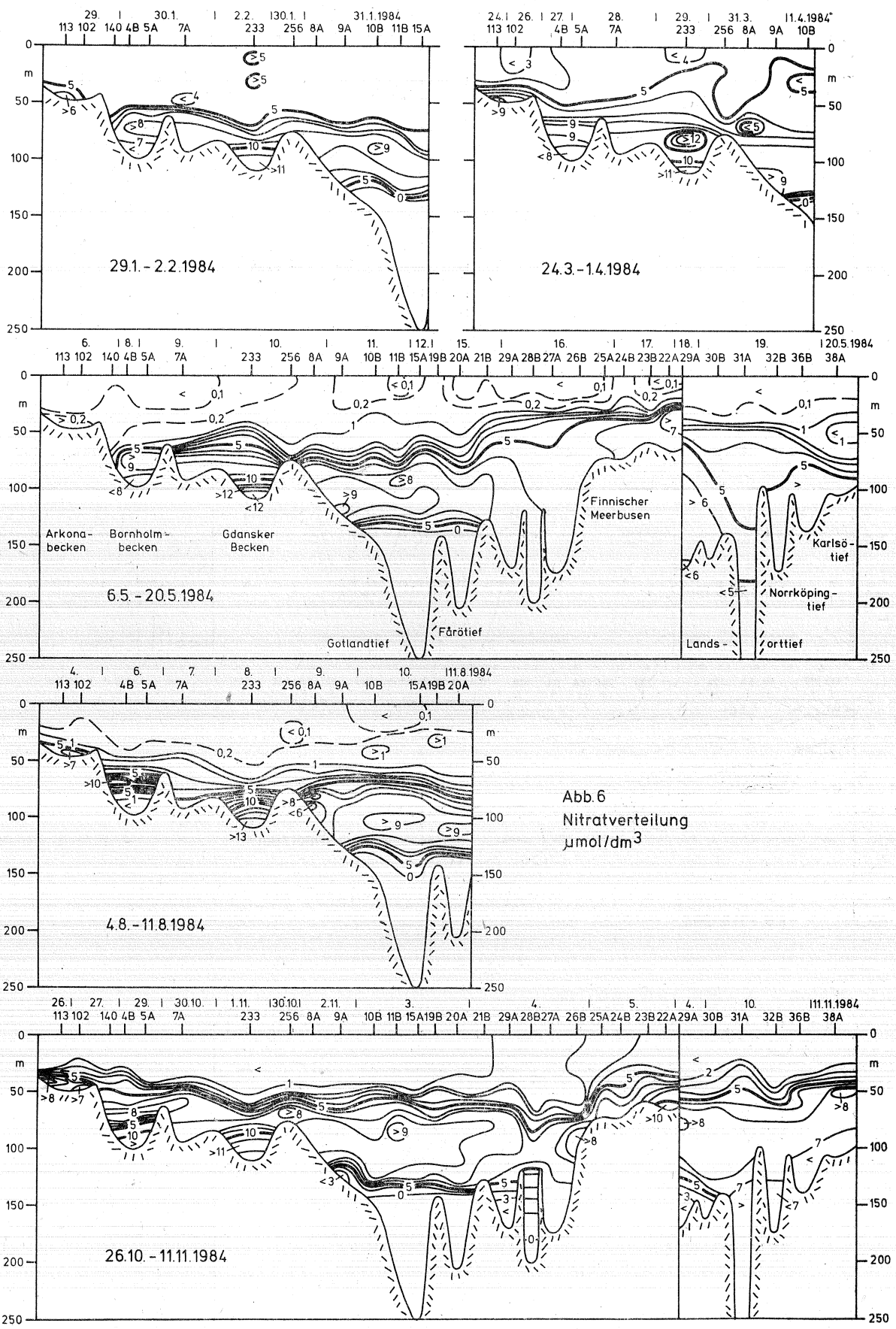


Abb 6
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

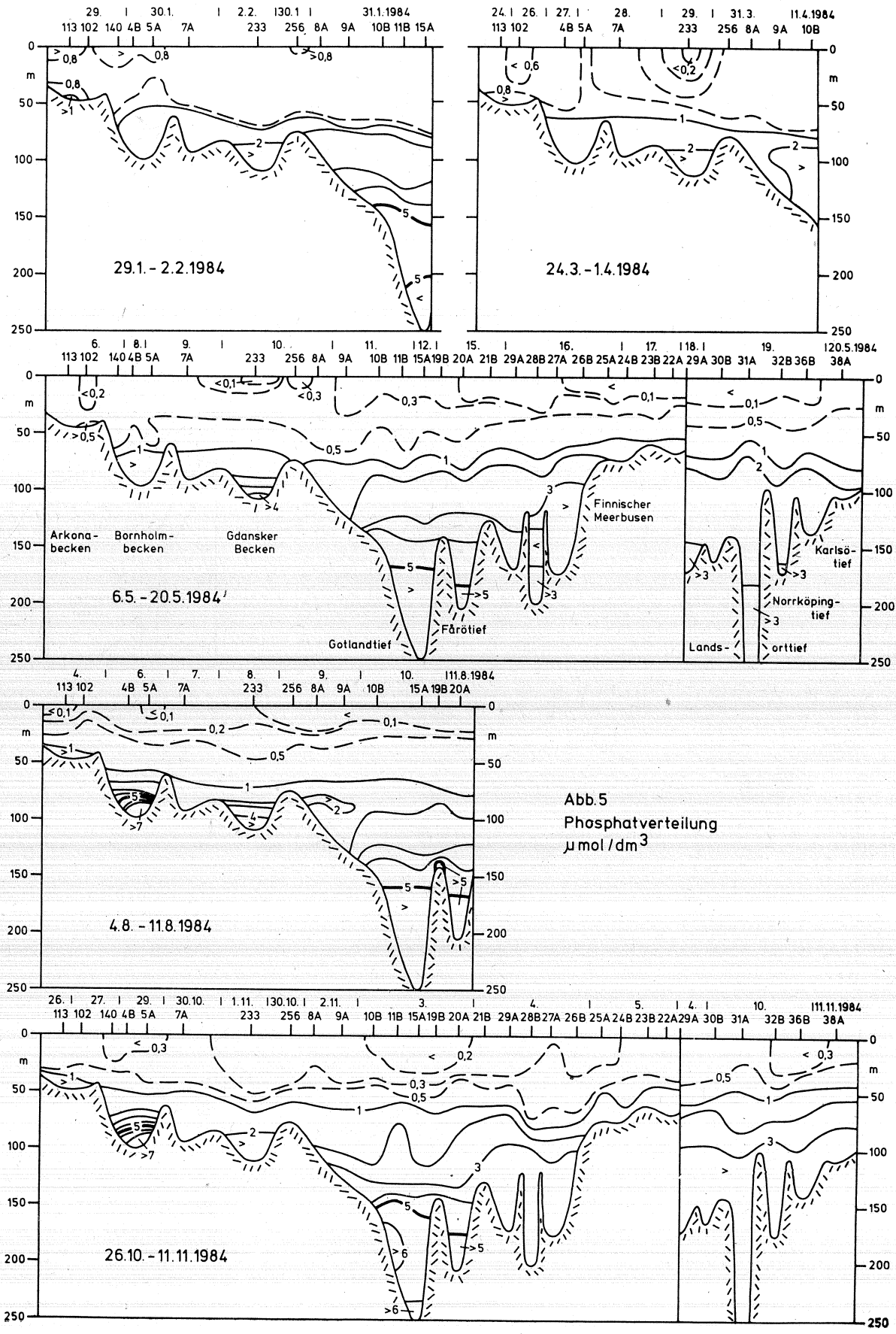


Abb.5
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

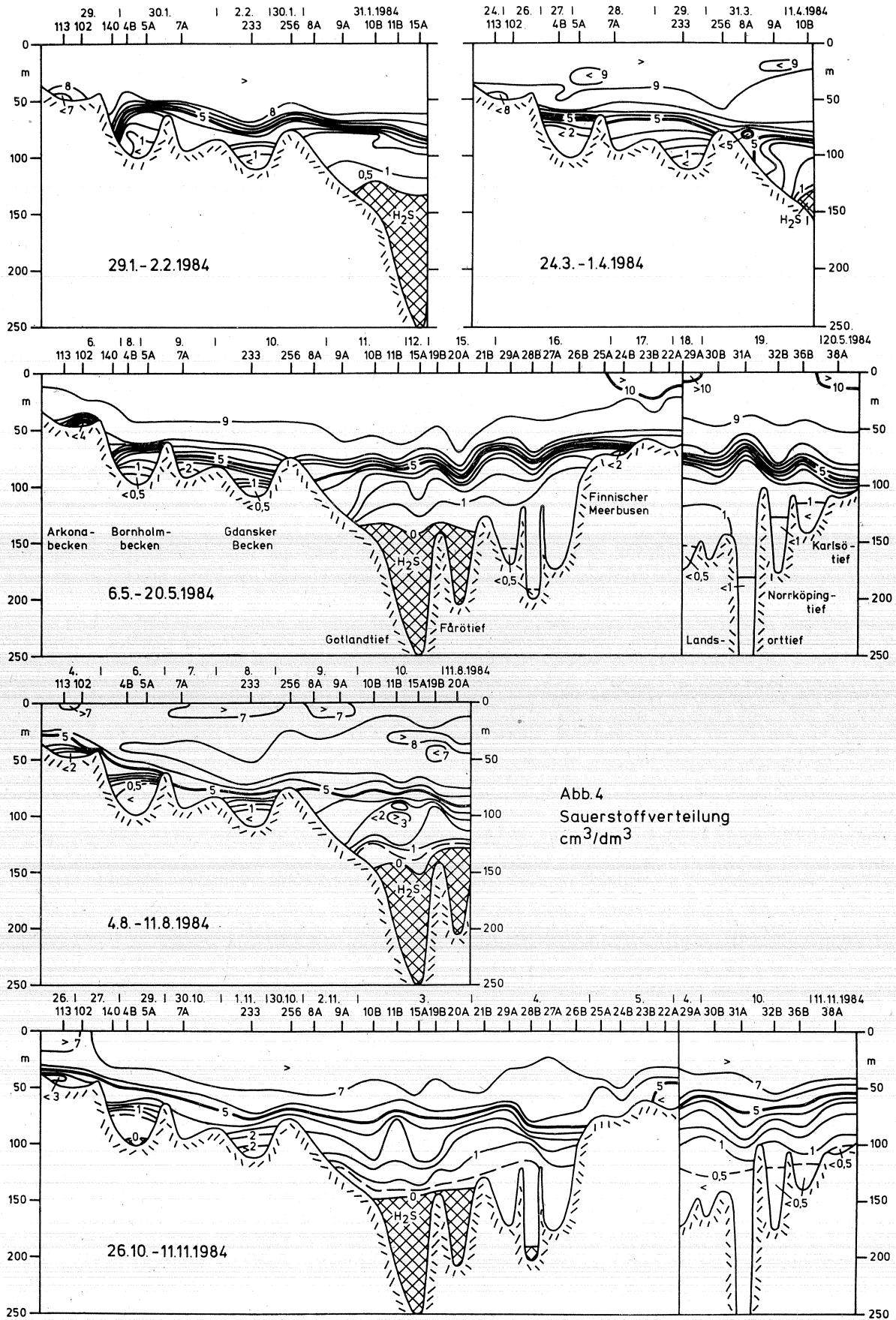


Abb. 4
Sauerstoffverteilung
cm³/dm³

Die mittlere Lufttemperatur über der Gotlandsee und dem Finnischen Meerbusen wies bis zum Februar 1984 positive Anomalien von 1 bis 3 K auf. Im März entsprach sie den mittleren Bedingungen und erreichte im Mai erneut eine positive Anomalie bis zu 4 K. In den südlichen Teilgebieten der Ostsee wurden dagegen in dieser Zeit gar keine oder nur geringe positive Abweichungen von maximal 1 K beobachtet.

Für die sommerlichen Wassertemperaturen sowie für die Mächtigkeit der Deckschicht sind besonders die meteorologischen Bedingungen im Mai/Juni entscheidend. So verursachte der in der zentralen und nördlichen Ostsee sowie im Finnischen Meerbusen herrschende strahlungsreiche Mai mit seinen relativ hohen Lufttemperaturen eine schnelle Erwärmung der Meeresoberfläche und die Ausbildung einer scharfen, flachliegenden Temperatursprungschicht. Dieser Vorgang wurde durch im Mittel geringe Windgeschwindigkeiten in einer vorwiegend antizyklonalen Wetterlage unterstützt.

Das Arkonabecken war dagegen stark zyklonal beeinflusst. Im Juni betrug hier die Abweichungen der Lufttemperaturen vom langjährigen Mittelwert $-0,8$ K. Das Strahlungsangebot an der Küstenstation Arkona erreichte im Juni mit 174 Stunden Sonnenscheindauer nur 71 % des Normalwertes. Entsprechend langsam erfolgte die Frühjahrserwärmung des Wassers, und die Sprungschicht bildete sich, unterstützt durch stärkere Luftbewegung und Seegang, in größerer Tiefe aus.

Nach zu kaltem Juli über der gesamten Ostsee ($1-2$ K unter normal) konnte das Strahlungsdefizit im geringfügig wärmeren August nicht mehr ausgeglichen werden, so daß eine negative Anomalie der Lufttemperatur von $0,5-1,5$ K für die Sommermonate charakteristisch ist.

Im Oktober 1984 wurde eine positive Abweichung der Lufttemperatur registriert. Danach entsprachen die Lufttemperaturen bis zum Jahresende den mittleren Bedingungen.

Der erhöhte Energieeintrag aus der Atmosphäre als Folge der starken zyklonalen Tätigkeit im Oktober führte besonders in der nördlichen Ostsee zu einer verstärkten Durchmischung der oberflächennahen Wassermassen und zu einer Verlagerung der Sprungschicht in größere Tiefen.

3. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

Die Verteilung der hydrographisch-chemischen Parameter ist wiederum in Form von Vertikalschnitten längs des Talweges durch die zentrale Ostsee dargestellt (Abb. 2-6). Da naturgemäß keine synoptische Datengewinnung erfolgte, wird vorausgesetzt, daß die jahreszeitlichen Veränderungen größer sind als die durch dynamische und chemisch-biologische Prozesse verursachten Variabilitäten und Inhomogenitäten dieser Größen.

3.1. Die Wassertemperatur

Die Wassertemperaturen und ihre Veränderungen werden anhand von Abb. 2 erläutert. Sie lagen im März, der Jahreszeit ihres Minimums (4), zwischen $1,8$ und $2,2$ °C. In der Arkona- und Bornholmsee wichen sie damit nur wenig von den langjährigen Mittelwerten (4) ab, während in der südöstlichen Gotlandsee eine positive Abweichung von etwa $0,7$ K beobachtet wurde. Diese Anomalie spiegelte sich später auch im kalten Baltischen Zwischenwasser wider, sowohl was den Betrag als auch das Seegebiet anbelangt.

Das mittlere Temperaturmaximum von $16,5-17$ °C wird im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee Anfang August erreicht (4). Gemessen an diesem Betrag herrschte in der östlichen Gotlandsee Anfang August 1984 eine positive Anomalie von $2-2,5$ K, während in der Arkonasee in Übereinstimmung mit den meteorologischen Bedingungen negative Abweichungen von etwa 1 K auftraten. Die sommerlichen Temperaturen in der Bornholmsee zeigten keine nennenswerten Abweichungen vom mittleren Jahresgang.

In den zentralen Teilen der Ostsee hatte die homotherme Deckschicht im Sommer nur eine Mächtigkeit von 10 m. In den westlichen Regionen verlagerte sie sich in größere Wassertiefen und wurde in der Arkonasee in etwa 20 m angetroffen.

Tiefreichende Vermischungsprozesse hatten Anfang November 1984 zu einer vertikalen Verlagerung der Isothermen in der nordöstlichen Gotlandsee (Stat. 26 B - 28 B) geführt. Eine ähnliche Erscheinung wurde in diesem Seegebiet bereits im Vorjahr (13) beobachtet.

Die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht entsprachen sowohl im Winter als auch im Sommer den von MATTHÄUS (7) berechneten, mittleren jahreszeitlichen Extremwerten.

Das Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens zeigte die bekannten jahreszeitlichen Temperaturveränderungen (7, 14). Am Westhang des Bornholmbeckens wurden wiederum Intrusionen aus dem Arkonabecken beobachtet, die im Winter durch niedrigere, im Sommer und Herbst durch höhere Temperaturen gekennzeichnet sind. Diese Wassermassen schichten sich gemäß ihrer Dichte im oberen Bereich der thermohalinen Sprungschicht ein. Teilweise, besonders im Winter, können sie aber auch in die grundnahen Wasserschichten vordringen.

Im stagnierenden Tiefenwasser des Gotland- und Färötiefs wurden keine Temperaturveränderungen im Jahresverlauf sowie im Vergleich zum Vorjahr (13) festgestellt. In den grundnahen Wasserschichten der anderen zentralen Ostseeregionen veränderten sich die Temperaturen nur geringfügig, wobei im Gdanker Tief eine vorübergehende Temperaturabnahme um $0,8$ K, im Landsorttief und im westlichen Gotlandbecken dagegen ein Anstieg um $0,1-0,3$ K eintrat. In den beiden zuletzt genannten Gebieten war jedoch im Mai 1984 im Vergleich zum Vorjahr ein Rückgang um $0,1-0,2$ K, im Karlsötief sogar um $1-2$ K (Abb. 7), im Tiefenbereich unterhalb der thermohalinen Sprungschicht eingetreten.

3.2. Der Salzgehalt

Die Verteilung des Salzgehalts ist in Abb. 3 dargestellt. Mit $8,7$ ‰ in der Arkonasee und $7,9$ ‰ in der südöstlichen Gotlandsee wurden wie bereits in den Vorjahren (13) relativ hohe Salzkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht gemessen. Sie lagen um $0,5$ bzw. $0,3$ ‰ über den von MATTHÄUS (5) für diese Jahreszeit berechneten mittleren Extremwerten. Mit Ausnahme der Arkonasee, in der ein Rückgang um $0,2$ ‰ eintrat, verstärkte sich im Sommer die positive Salzgehaltsanomalie an der Meeresoberfläche und erreichte bei Berücksichtigung des Jahresganges im Gotlandtief $0,6$ ‰ und im Färötief sogar $0,8$ ‰. Die starke vertikale Vermischung, die Anfang November in der nordöstlichen Gotlandsee beobachtet wurde, spiegelt sich auch in der Salzgehaltsverteilung wider.

Im Bodenwasser des Bornholmbeckens dauerte die kontinuierliche Abnahme des Salzgehalts, die im Vorjahr nach der Erneuerung des Tiefenwassers begonnen hatte (13), auch 1984 an. Insgesamt nahm er um 1 ‰ im Jahresverlauf ab und erreichte mit $15,6$ ‰ Ende Oktober einen relativ niedrigen Wert.

Eine Abnahme des Salzgehalts um etwa $0,7$ ‰ im Jahresverlauf wurde auch im Tiefenwasser des Gdanker Beckens festgestellt, während die Aussüßung im Gotland- und Färötief nur wenige hundertstel Promille betrug.

Ungewöhnlich niedrige Salzgehaltskonzentrationen wurden im Mai 1984 im Landsorttief und im gesamten westlichen Gotlandbecken unterhalb der Salzgehaltssprungschicht gemessen. Sie lagen im allgemeinen um $0,3-0,5$ ‰ unter den Werten des Vorjahres. Im Karlsötief erreichte die Abnahme sogar $1-2$ ‰. Wie Abb. 7 zeigt, war daneben ein Anstieg des Salzgehalts in der Oberflächenschicht um $0,3$ Promille erfolgt. Gleichzeitig hatte sich der Beginn der Salzgehaltssprungschicht von 50 m auf 80 m Tiefe verlagert. Meßfehler können ausgeschlossen werden, da sowohl die konduktometrische Salzgehaltsbestimmung in diskreten Proben als auch die CTD-Sondierungen gut vergleich-

Tabelle 1

Dezembermittelwerte des Salzgehalts bei den Feuerschiffen „Kattegat SW“ (1931-1960) und „Fehmarnbelt“ (1949 bis 1978) sowie aktuelle Salzkonzentrationen im südlichen Kattegat und im Fehmarnbelt (Konzentrationsangaben in ‰)

Tiefe (m)	„Kattegat SW“ (16)	Stat. 350 14. 12. 1984	Stat. 351 14. 12. 1984	Stat. 010 12. 12. 1984	„Fehmarnbelt“ (14)
0-1	21,2	20,2	20,5	17,3	15,8
5	21,6	20,2	20,5	17,3	16,4
10	23,3	20,2	20,5	19,6	17,3
15	26,8	29,1	20,5	20,1	18,4
20	29,3	31,3	29,5	20,5	19,3
G*)	30,6 (30 m)	31,7 (24 m)	32,3 (34 m)	20,9 (28 m)	20,5 (28 m)

*) Grundnähe

bare Ergebnisse lieferten. Obgleich der Salzgehalt des Tiefenwassers im November 1984 deutlich zugenommen hatte, lag er immer noch unter den Werten des Vorjahres.

Der Salzgehalt im Bodenwasser des Arkonabeckens erreichte im Oktober 1984 mit 17–18‰ keine überdurchschnittlich hohen Konzentrationen. Messungen, die Mitte Dezember im Fehmarnbelt sowie im südlichen Kattegat durchgeführt wurden, ergaben gemäß Tabelle 1 nur geringe, teils positive, teils negative Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten.

3.3. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Abbildung 4 enthält sowohl Angaben über die Verteilung des Sauerstoffs als auch des Schwefelwasserstoffs, da beide Größen im allgemeinen nicht gleichzeitig existent sind. Der Sauerstoffgehalt in den oberflächennahen Wasserschichten, der letztendlich vom Austausch mit der Atmosphäre bestimmt wird, zeigte in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Salzgehalt sowie von der Massenentwicklung des Phytoplanktons im Frühjahr die bekannten jahreszeitlichen Veränderungen (6).

Das Sauerstoffregime im Tiefenwasser der zentralen Ostsee wird durch advective Prozesse sowie durch biochemische Zehrungsvorgänge während der Stagnationsperioden bestimmt. So führte die Intrusionen aus dem Arkonabecken im Winter und Frühjahr vorübergehend zu einem geringen Anstieg des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser des Bornholmbeckens, ohne daß damit eine nennenswerte Zunahme des Salzgehalts verbunden war. Ende Oktober wurden bereits wieder geringe Mengen an Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht dieses Beckens nachgewiesen.

Relativ günstige Sauerstoffbedingungen herrschten 1984 im Tiefenwasser des Gdansk Beckens. Nach dem vorübergehenden Absinken der Werte unter $0,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ wurde Anfang November ein Anstieg des Sauerstoffgehalts auf $2,4 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ in der grundnahen Wasserschicht festgestellt. Ähnlich wie im Bornholmbecken nahm dabei der Salzgehalt nicht nennenswert zu.

Ein kräftiger Einstrom sauerstoffreicher Wassermassen ins östliche Gotlandbecken wurde im März 1984 beobachtet. Wie jedoch die Sauerstoffverteilung im August zeigt, konnten diese Wassermassen wegen ihrer zu geringen Dichte nicht bis in die grundnahe Wasserschicht des Gotlandtiefs vordringen, so daß unterhalb 125–150 m Tiefe anoxische Bedingungen erhalten blieben und die Schwefelwasserstoffkonzentration in 230–240 m Tiefe ganzjährig zwischen 2,0 und $2,6 \text{ mg/l}$ lag.

Auch in den nördlichen Teilgebieten der zentralen Ostsee wurden 1984 verhältnismäßig günstige Sauerstoffbedingungen angetroffen. Anoxische Bedingungen waren im Mai 1984 nur im Landsortief unterhalb 300 m Tiefe vorhanden. Mit Konzentrationen um $1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ wurden dagegen oberhalb 150 m Tiefe relativ hohe Sauerstoffwerte gemessen. Im Bodenwasser (109 m) des Karlsötiefs lag der Sauerstoffgehalt sogar bei $1,7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ (vgl. auch Abb. 7). Solche hohen Werte wurden hier seit Beginn unserer Untersuchungen vor 15 Jahren nicht angetroffen.

Trotz Abnahme des Sauerstoffgehalts waren auch im November 1984 noch oxische Bedingungen im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens vorhanden, während im Landsortief sauerstoffhaltige Wassermassen das schwefelwasserstoffhaltige Bodenwasser ersetzt hatten.

3.4. Essentielle Nährstoffe

Die Verteilung der produktionsbegrenzenden Nährstoffe Phosphat und Nitrat ist in Abb. 5 und 6 dargestellt. Geringe Nitratkonzentrationen in Gegenwart von Schwefelwasserstoff wurden auf analytische Unzulänglichkeiten zurückgeführt und blieben unberücksichtigt.

Die winterliche Phosphatakkumulation in der Oberflächenschicht erreichte in der Arkona- und Bornholmsee Beträge von $0,7\text{--}0,9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und in der südöstlichen Gotlandsee von $0,6\text{--}0,7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, während die Nitratwerte zwischen 4 und $5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen. Eine Phosphatverarmung bis an die Grenze der analytischen Nachweisbarkeit wurde nur im August beobachtet. Sehr niedrige Konzentrationen dieses Nährstoffes lagen jedoch auch im Mai im Oberflächenwasser der nördlichen Teilgebiete der zentralen Ostsee vor, während im Oktober/November bereits wieder eine Anreicherung eingetreten war. Ähnliche Feststellungen wie für Phosphat können auch für die Nitratverteilung getroffen werden. Abweichend hiervon erfolgte jedoch im Herbst die Nitratanreicherung in der Arkona- und Bornholmsee sowie in der südöstlichen Gotlandsee langsamer als die Phosphatanreicherung.

Seit 1971 werden auch in der Mecklenburger Bucht systematisch Messungen des Phosphat- und Nitratgehalts durchgeführt. Das inzwischen vorliegende Datenmaterial gestattet die Untersuchung von Langzeitveränderungen dieser Nährstoffe in der winterlichen Oberflächenschicht. Da die Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons in diesem Teilgebiet der Ostsee bereits im März einsetzt (3), wurden nur die im Januar und Februar gewonnenen Meßwerte verwendet. In Abb. 8 sind die Mittelwerte für die homogene Deckschicht, zumeist 0–10 m Tiefe, eingetragen. Sie zeigen eine signifikante Zunahme der winterlichen Phosphat- und Nitratkonzentrationen.

Zusammen mit den Nährstoffen zeigte auch der Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht eine Zunahme (Abb. 8), die sich jedoch statistisch nicht sichern ließ. Untersuchungen über die Korrelationen zwischen den Nährstoffkonzentrationen und dem Salzgehalt ergaben gemäß Abb. 9 nur beim Phosphat eine signifikante Beziehung.

Mit $0,7\text{--}0,8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ wurden bereits Ende Oktober 1984 westlich der Darßer Schwelle Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser ermittelt, die den gegenwärtigen Winterwerten entsprechen (vgl. auch Abb. 8). Die Nitratkonzentrationen erreichten dagegen nur $0,2\text{--}0,5 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und lagen damit erst wenig über den Sommerwerten.

Die höchsten Phosphatkonzentrationen im Tiefenwasser wurden 1984 im Bornholmbecken während und nach der Entstehung anoxischer Bedingungen registriert. Insgesamt erreichte die Phosphatakkumulation im Gotland- und Färötief keine extrem hohen Werte. Diese Tendenz wird bereits seit einigen Jahren beobachtet.

Die engen Beziehungen zwischen der Nitratverteilung und dem Sauerstoffregime im Tiefenwasser der zentralen Ostsee kommen beim Vergleich der Abb. 4 und 6 deutlich zum Ausdruck. Die höchsten Nitratkonzentrationen treten in den Horizonten auf, in denen der Sauerstoffgehalt gerade noch für eine Nitrifikation des Ammoniumstickstoffs ausreicht. Wenn er jedoch kleiner als $0,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ wird, setzen Denitrifikationsprozesse ein, in deren Verlauf Nitrat zu molekularem Stickstoff (N_2) reduziert und dem biogeochemischen Kreislauf entzogen wird.

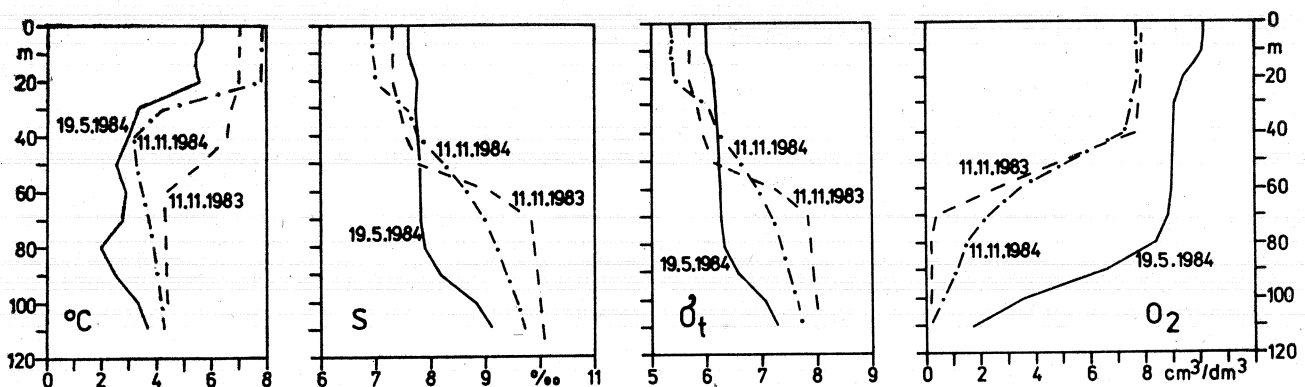


Abb. 7

Vertikalverteilung verschiedener hydrographischer Parameter im Karlsötief (Stat. 38 A)

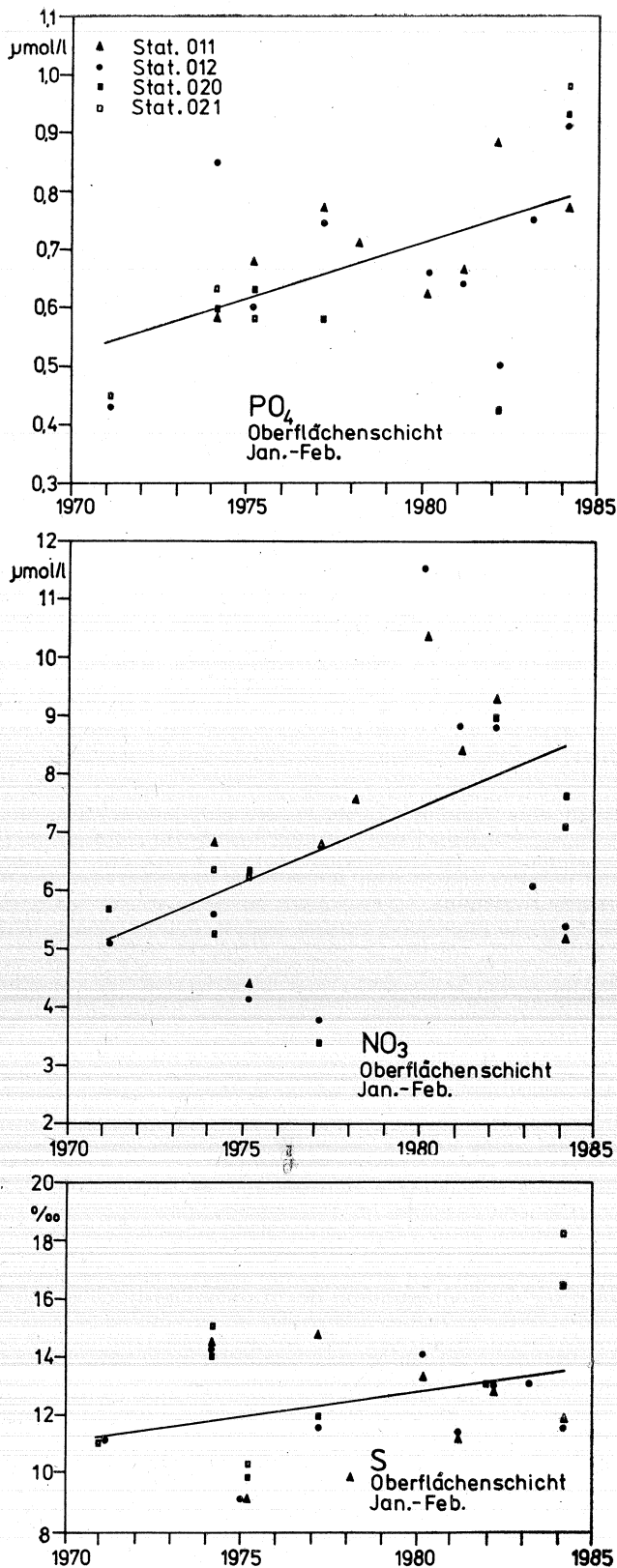


Abb. 8
Langzeitveränderungen der essentiellen Nährstoffe und des Salzgehalts in der winterlichen Oberflächenschicht der Mecklenburger Bucht

Mit rund $7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ wurden im November 1984 die höchsten Nitratkonzentrationen im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens seit Beginn unserer Untersuchungen im Jahre 1969 gemessen (9). Im Landsorttief wurden nur 1978 vergleichbar hohe Werte registriert. Die absolut höchsten Werte traten 1984 jedoch im Bodenwasser des Gdanskertiefs auf. Hohe Nitratkonzentrationen wurden auch oberhalb des anoxischen Tiefenwassers im Bornholmbecken sowie im östlichen Gotlandbecken ermittelt.

4. Diskussion

In Übereinstimmung mit den meteorologischen Bedingungen wichen die Temperaturen in den oberflächennahen Wasserschichten der westlichen und zentralen Ostsee im allgemeinen nur wenig von den jahreszeitlichen Mittelwerten (4) ab. Größere positive Anomalien, die bei 2–2,5 K lagen, wurden nur Anfang August 1984 im Oberflächennahen Wasser der östlichen Gotlandsee beobachtet. Sie waren auf eine relativ flache Deckschicht beschränkt und scheinen nur von regionaler bzw. zeitlich begrenzter Bedeutung gewesen zu sein, da die in diesem Monat über der zentralen Ostsee beobachteten Lufttemperaturen kaum über den langjährigen Mittelwerten lagen.

Im Winter 1984 erfolgte kein Salzwassereintrich. Wenn trotzdem eine Verbesserung der Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser einiger zentraler Ostseebecken eintrat, ist das auf den Einstrom relativ salzärmer Wassermassen zurückzuführen. So war die Zunahme des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser des Bornholm- und Gdanskertiefs von keinem nennenswerten Anstieg des Salzgehalts begleitet. Sie erfolgte darüber hinaus zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Im Bornholmbecken wurde sie zu Jahresbeginn, im Gdanskertief dagegen in der zweiten Jahreshälfte beobachtet.

Gemäß Abb. 1 war nur im Gotland- und Färötief ganzjährig Schwefelwasserstoff vorhanden. Im Bornholmbecken verschlechterten sich die Sauerstoffbedingungen im Jahresverlauf erneut, so daß im November 1984 unmittelbar über dem Grund anoxische Bedingungen herrschten. Die Stagnationsperiode im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens dauert seit 1977 ohne nennenswerte Unterbrechungen an, wobei die Schwefelwasserstoffkonzentrationen um knapp das Doppelte über den im März 1969 gemessenen Werten (1–6 mg/l in 230–240 m Tiefe) liegen. Für die Oxidation dieses Schwefelwasserstoffs sind somit bei einer Wassererneuerung erheblich größere Sauerstoffmengen erforderlich als in früheren Jahren.

Die starke Abnahme des Salzgehalts und der Dichte im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens und des Landsorttiefs, die im Zeitraum November 1983 bis Mai 1984 eintrat (Abb. 7), ist anhand des vorliegenden Materials schwer zu deuten. Tiefreichende vertikale Austauschprozesse, die mit dem Zustrom sehr kalten, salzarmen Wassers aus dem Bottnischen Meerbusen im Winter zusammenhängen, können als mögliche Ursachen hierfür angesehen werden (1). Im Einklang damit stehen auch frühere Beobachtungen (9), daß anoxische Bedingungen, die im Herbst im Tiefenwasser dieser Ostseeregionen herrschten, im Frühjahr des darauffolgenden Jahres nicht mehr vorhanden waren.

Die im November 1984 durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß der Salzgehalt im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens und des Landsorttiefs zugenommen hatte, aber immer noch unter den Werten des Vorjahres lag. Ursache dieses Anstiegs können advektiv zugeführte Wassermassen sein, die bei den intensiven Einstromlagen im Spätherbst 1982 die Darßer Schwelle passierten (12) und infolge zu geringer Dichte das östliche Gotlandbecken in intermediären Schichten durchquerten (13). Trotz der damit verbundenen Verdünnung reichte ihre Dichte aus, um das Tiefenwasser im westlichen Gotlandbecken zu verdrängen. Im Landsorttief hatte dieser Prozeß darüber hinaus zum Abbau der letzten Schwefelwasserstoffreste im grundnahen Bereich geführt. Abgesehen von dieser Wasserschicht war der Sauerstoffgehalt jedoch als Folge biochemischer Zehrungsprozesse geringer als im Mai. Gleichzeitig hatten Nitrifikationsprozesse zu einer starken Zunahme des Nitratgehalts geführt.

Ähnlich wie im Vorjahr (13) wurden auch im November 1984 tiefreichende Vermischungsprozesse in der nordöstlichen Gotlandsee beobachtet. Sie treten offensichtlich häufiger auf als ursprünglich vermutet.

Die Salzgehaltsverteilung in den westlichen Ostseeregionen ließ im Spätherbst 1984 keine Rückschlüsse auf einen unmittelbar bevorstehenden Salzwassereintrich zu. Die weitere Salzgehaltsabnahme im Tiefenwasser des Bornholm- und Gdanskertiefs sowie die niedrigen Salzkonzentrationen im Tiefenwasser des Gotlandtiefs, die denen vor dem großen Salzwassereintrich 1951/52 entsprechen (MATTHÄUS, pers. Mitt.), zeigen jedoch, daß die Voraussetzungen für einen Wasseraustausch in den zentralen Ostseebecken günstig sind.

Die starke Eutrophierung in der zentralen Ostsee, die durch zunehmende Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht gekennzeichnet ist und bereits seit Ende der 60er Jahre beobachtet wird (9,

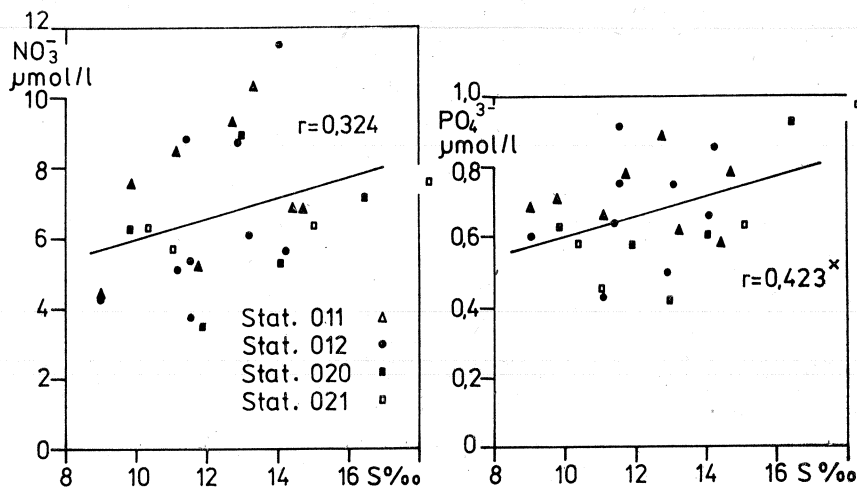


Abb. 9

Korrelationen zwischen den essentiellen Nährstoffen und dem Salzgehalt in der Mecklenburger Bucht (* Irrtumswahrscheinlichkeit des Korrelationskoeffizienten kleiner als 5 %)

11), dauerte auch 1984 an. Wie Untersuchungen in der Mecklenburger Bucht ergaben, ist die westliche Ostsee ebenfalls von dieser Entwicklung erfaßt. Unter Berücksichtigung der größeren Streuung in diesem Übergangsbereich zur Nordsee entsprechen die für die Mecklenburger Bucht ermittelten Trendkoeffizienten¹⁾ denen der anderen zentralen Ostseeregionen (Tabelle 2). Die enge Korrelation, die zwischen der Zunahme des Phosphat- und

Salzgehalts besteht (Abb. 7), zeigt, daß die Eutrophierung der Mecklenburger Bucht nicht nur die Folge anthropogener Einflüsse ist.

Ähnlich wie in der zentralen Ostsee (9) können dabei auch hydrographische Prozesse von Bedeutung sein, die die Zufuhr salz- und nährstoffreichen Tiefenwassers in die winterliche Oberflächenschicht begünstigen.

Seit einigen Jahren werden im Herbst häufig hohe Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser westlich der Darßer Schwelle festgestellt, die bereits den Winterwerten entsprechen, während der Nitratgehalt erst wenig über den niedrigen Sommerwerten liegt. Diese Erscheinung, die in abgeschwächter Form auch in der Arkona- und Bornholmsee sowie in der südöstlichen Gotlandsee beobachtet wird, hängt offensichtlich mit dem Rückgang stickstoffbindender Blaualgen infolge abnehmender Wassertemperatur zusammen, so daß der in bezug auf das ozeanische Stickstoff-Phosphor-Verhältnis bestehende Phosphatüberschuß (10) nicht mehr vollständig verwertet werden kann.

Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens haben sich gegenwärtig trotz ansteigenden Schwefelwasserstoffgehalts relativ stabile Phosphatkonzentrationen eingestellt. Hieraus kann die Vermutung abgeleitet werden, daß sich die Freisetzungsrates verringert hat, weil durch das immer häufigere und längere Auftreten von Schwefelwasserstoff eine Phosphatverarmung der im Austausch mit dem Wasserkörper stehenden Sedimentschicht eingetreten ist.

Tabelle 2

Trendkoeffizienten¹⁾ der Phosphat- und Nitratkonzentration (in µmol/dm³ · a) und des Salzgehalts (in g/kg · a) in der winterlichen Oberflächenschicht einiger Ostseeregionen

	Zeitraum	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	Salz
Mecklenburger Bucht	1971–1984	0,019*	0,215*	0,017
Zentrale Arkonasee	1964–1983 1965–1983	0,026***	0,185***	0,014*
Zentrale Bornholmsee	1958–1983 1965–1983	0,026***	0,174***	0,027***
Südöstliche Gotlandsee	1958–1983 1969–1983	0,024***	0,196***	0,025***

Irrtumswahrscheinlichkeit (t-Test): * < 5 %, ** < 1 %, *** < 0,1 %

Literatur

- FONSELIUS, S. H.: Hydrography of the Baltic deep basins III.
-
- Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. 23 (1969), 1–97.
- KAISER, W., SCHULZ, S.: Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. Fischerei-Forsch. 14 (1976), 77–81.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 40 (1977), 117–155.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehalts der Ostsee. Gerlands Beitr. Geophysik 87 (1978), 369–376.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderung im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 41 (1978), 61–94.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit von Temperatur und Salzgehalt in der Mecklenburger Bucht. Beitr. Meeresk. 50 (1984), 9–23.
- MÖCKEL, F.: Die ozeanologische Meßkette OM 75 – eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. Beitr. Meeresk. 43 (1980), 5–14.
- NEHRING, D.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee von 1969–1978. II. Die chemischen Bedingungen und ihre Verände-

- unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 35 (1981), 39–137.
- NEHRING, D.: Relationen der Phosphor- und Stickstoffverbindungen untereinander und zu anderen chemischen Größen der Ostsee. Beitr. Meeresk. 47 (1982), 51–60.
- NEHRING, D.: Langzeitrends des Phosphat- und Nitratgehalts in der Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 47 (1982), 61–86.
- NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1982. Fischerei-Forsch. 21 (1983), 56–65.
- NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1983. Fischerei-Forsch. 23 (1985), im Druck.
- REICHEL, U.: Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelt. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffbeobachtungen 1949–1978. Inst. Meeresk., 1980, unveröff.
- ROHDE, K.-H., NEHRING, D.: Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 24 (1979), 1–68.
- Oceanografiske Observationer fra Danske Fyrskibe og Kyststationer 1970. Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund 1971.
- Die Großwetterlagen Europas. Amtsblatt des Dtsch. Wetterdienstes Offenbach (Main), 37 (1984).
- Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Hrsg. Meteorol. Dienst der DDR, HA für Klimatologie Potsdam 38/39 (1984/85).

¹⁾ mittlere jährliche Zunahme