

# Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1982

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

Mit negativen Wassertemperaturen und kurzzeitiger Eisbildung herrschte 1982 in den westlichen Teilgebieten der Ostsee ein Eiswinter. Ihm folgte ein strahlungsreicher Sommer, der teilweise zu einer extremen Erwärmung (20–22°C) der Ostsee führte. Hiervon wurde jedoch nur eine flache Deckschicht (8–15 m) betroffen. Da im Winter und Frühjahr 1982 kein Salzwassereinbruch eintrat, dauerte die Stagnationsperiode zunächst noch an, wobei im Oktober/November unterhalb 80–120 m Tiefe Schwefelwasserstoff vorhanden war. Im Herbst 1982 passierten jedoch größere Mengen (ca. 33 km<sup>3</sup>) salz- und sauerstoffreichen Wassers, das relativ warm war, die Darßer Schwelle, so daß 1983 mit einer Verbesserung der Sauerstoffbedingungen und einem Anstieg des Salzgehalts sowie einer Temperaturzunahme in den grundnahen Wasserschichten der zentralen Ostseebecken zu rechnen ist. Weitere Untersuchungen über die Nährstoffsituation der Ostsee zeigten, daß auch 1979–1982 hohe Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht vorhanden waren. Der von 1969–1978 beobachtete starke Anstieg setzte sich jedoch nicht fort.

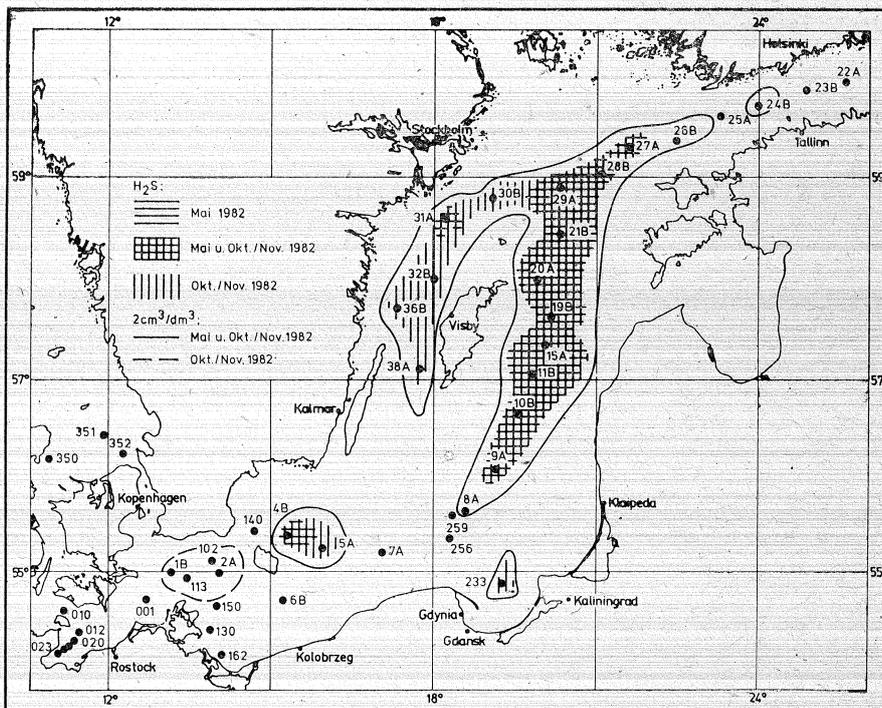


Abb. 1  
Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostsee

## 1. Einleitung

Auch 1982 wurden vom Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR 5 Terminfahrten in der Ostsee durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über die ozeanologischen Bedingungen fanden Berücksichtigung bei der Erarbeitung der Fangprojekte und Fangprognosen der Ostseefischerei unseres Landes.

Die Untersuchungen umfaßten im Mai und Oktober/November die Ostseeregionen zwischen Fehmarnbelt (Stat. 010) und Finnischem Meerbusen (Stat. 22A). Im Februar und März/April erstreckten sie sich bis zum Gotland (Stat. 15A) bzw. Färötief (Stat. 20A), während im August darüber hinaus auch das westliche Gotlandbecken einschließlich Landsort- (Stat. 31A) und Karlsötief (Stat. 38A) bearbeitet wurde.

Hydrographisch-chemische Messungen erfolgten Anfang November auch im südlichen Kattegat. Zusätzliche Informationen wurden ferner Ende November und Anfang Dezember in der westlichen Ostsee und im Arkonabekken sowie durch Strömungsmessungen auf der perma-

nenten Bojenstation „Darßer Schwelle“ (Stat. 001) gewonnen. Die Stationskarte (Abb. 1) enthält nur die nationalen und internationalen Standardstationen, die in den Schnittdarstellungen verwendet wurden oder im Zusammenhang mit weiteren Auswertungen von Interesse sind.

## 2. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

Auf den Stationen wurden die üblichen ozeanologischen und meteorologischen Standardmessungen (16) durchgeführt. Die Ergebnisse der hydrographisch-chemischen Untersuchungen sind wiederum in Form von Profilen (Abb. 2–6) längs des Talweges der Ostsee dargestellt.

### 2.1. Die Wassertemperatur

Im Winter 1982 kühlte sich das Oberflächenwasser im Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwelle bis zur Eisbildung ab. Dabei traten Anfang Februar negative Temperaturen von  $-0,3$  bis  $-0,7^\circ\text{C}$  auf. Im Ver-

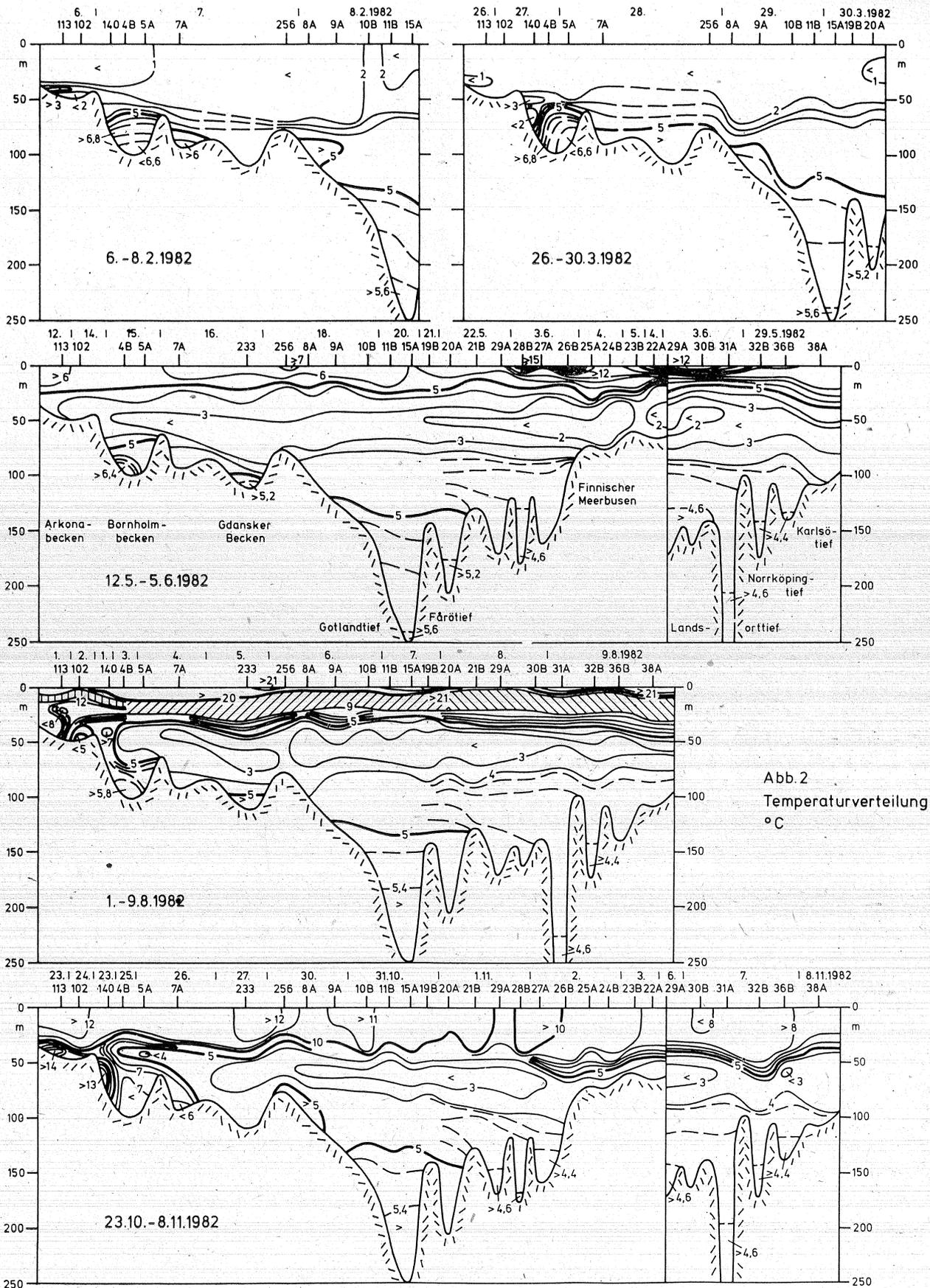


Abb. 2  
Temperaturverteilung  
°C

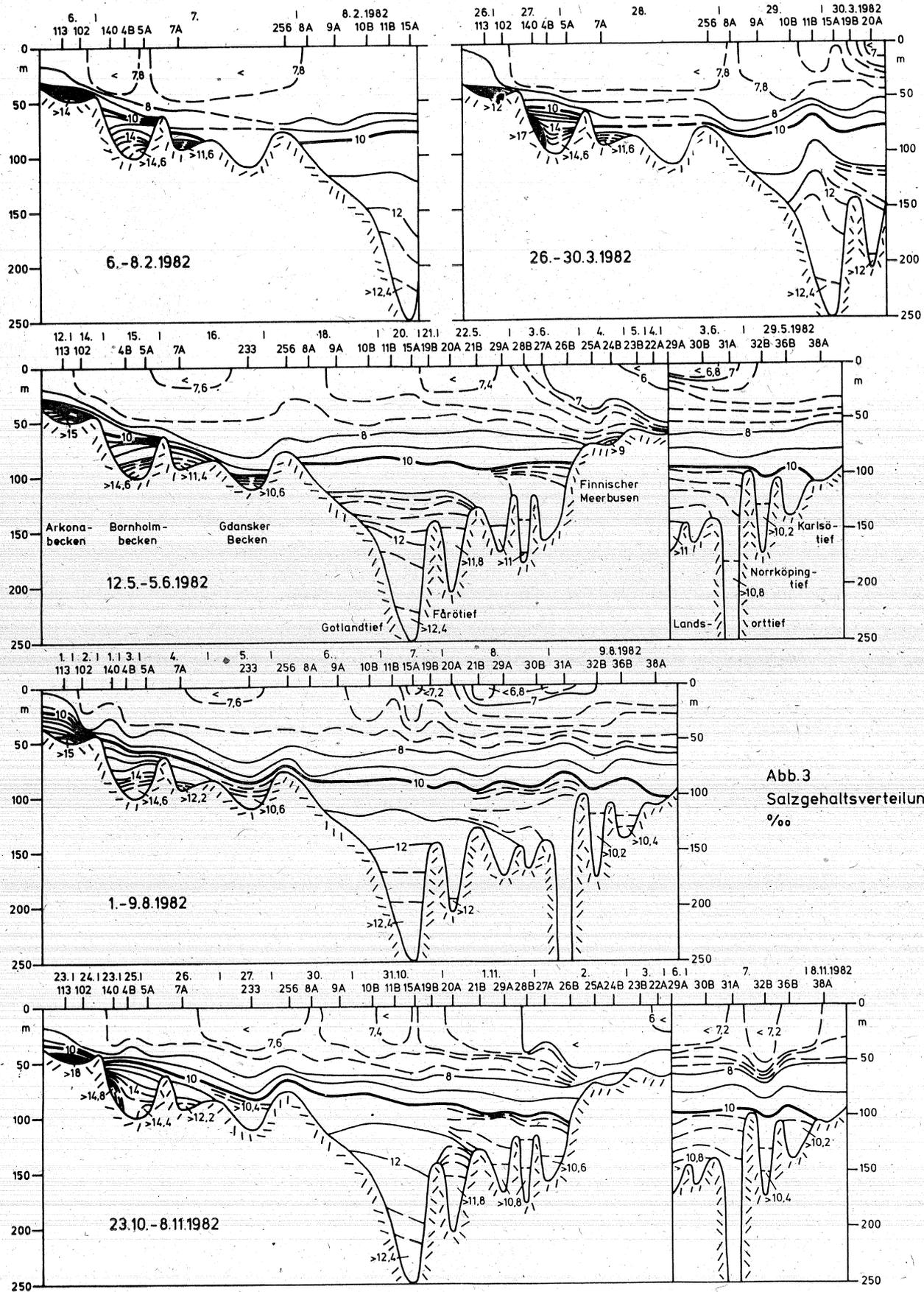


Abb. 3  
Salzgehaltsverteilung  
‰

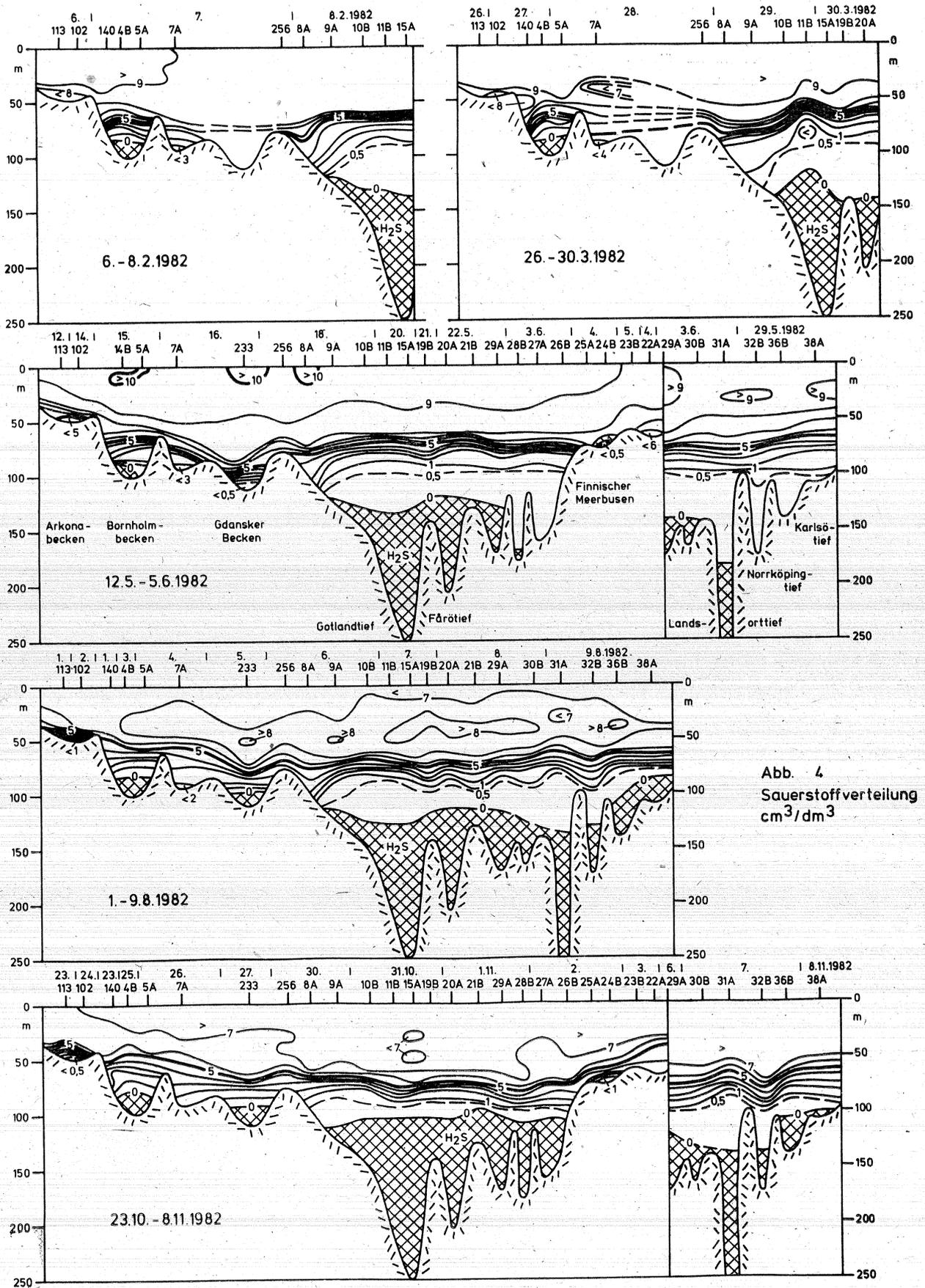


Abb. 4  
Sauerstoffverteilung  
cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>

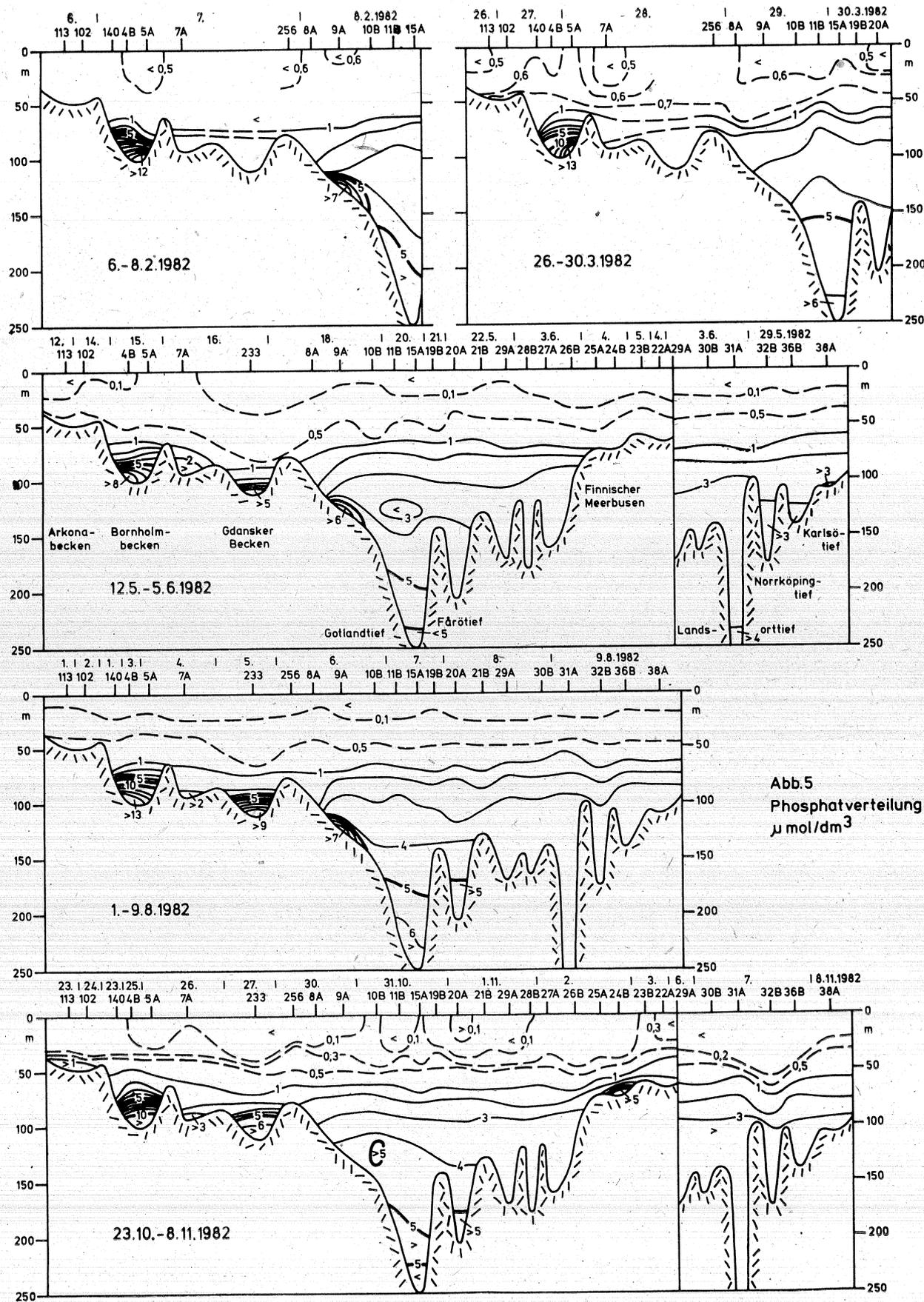


Abb.5  
Phosphatverteilung  
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

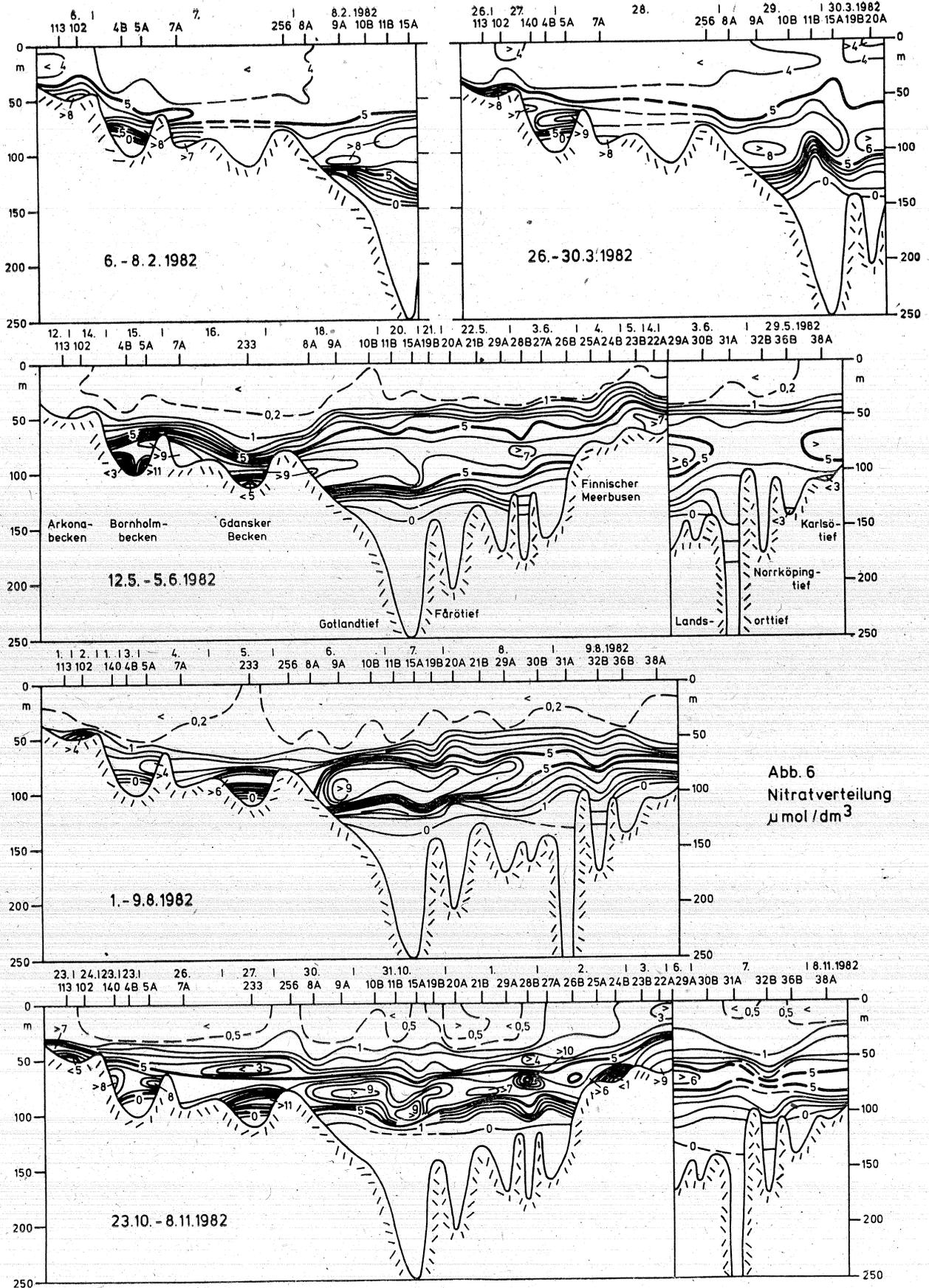


Abb. 6  
Nitratverteilung  
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

gleich zum langjährigen Mittelwert (18) erreichte die negative Temperaturanomalie im Gebiet des Fehmarnbells 2,1 K. Die Monatsmittel für März und April betragen 2,0 bzw. 4,5 °C. Die Temperatur von 2,5 °C, die am 23. 3. 1982 auf Station 010 gemessen wurde, scheint daher bereits wieder den mittleren Bedingungen zu entsprechen.

Wie Abb. 2 erkennen läßt, lagen die Temperaturen in der Oberflächenschicht der Arkona- und Bornholmsee im Februar 1982 unter 1 °C. Die negativen Abweichungen zu den mittleren Bedingungen (5, 7) betragen 1–1,5 K. Im östlichen Gotlandbecken wurden 1,6–2,0 °C gemessen, Temperaturen, die kaum noch von den für Februar geltenden Mittelwerten abweichen.

Die thermische Differenzierung der Wassersäule infolge zunehmender Erwärmung der Deckschicht wurde mit Beiträgen von 0,5–1 K Ende März 1982 in der Lübecker und Mecklenburger Bucht beobachtet und begann Anfang April auch in der Arkonasee. Damit traten kaum Abweichungen gegenüber den mittleren Bedingungen (7) auf. Im Mai/Juni 1982 war in allen untersuchten Teilgebieten der Ostsee bereits eine deutlich entwickelte Sprungschicht vorhanden (Abb. 2), die die erwärmte Deckschicht von einer kalten Zwischenschicht trennte. Das intermediäre Temperaturminimum betrug 1,6–2,5 °C.

Die Oberflächentemperaturen von 11–15 °C, die Anfang Juni 1982 in den nördlichen Teilgebieten der zentralen Ostsee und im Finnischen Meerbusen festgestellt wurden, waren für die Jahreszeit bereits extrem hoch (vgl. 3). Wegen des sehr warmen Sommers, der 1982 über weiten Teilen Nordeuropas herrschte, erreichten sie in der zentralen Ostsee im August verbreitet Beträge zwischen 20,5 und 21,6 °C (Abb. 2) mit einem Extremwert von 22,01 °C in der südlichen Gotlandsee. Diese Temperaturen liegen teilweise noch über denen des ebenfalls extremen Sommers 1975 (11). Die sehr warme Deckschicht hatte nur eine Mächtigkeit von 8–15 m und wurde durch eine scharf ausgeprägte Temperatursprungschicht von der kalten Zwischenschicht abgegrenzt, in der winterliche Temperaturen von 2,1–2,4 °C herrschten. Im Oktober/November 1982 hatte sich die Deckschicht zwar abgekühlt, die thermische Konvektion reichte jedoch noch nicht aus, um die kalte Zwischenschicht mit Temperaturen von 2,4–2,7 °C aufzulösen.

Advektive Prozesse sind die Ursache eines charakteristischen Jahresganges der Temperatur im Bodenwasser des Arkonabeckens mit einem Temperaturmaximum im Oktober (6). Am 23. 10. 1982 wurden auf Station 113 in 40 m Tiefe 14,1 °C gemessen. Diese Temperatur liegt nur wenig über dem bisherigen Maximum von 14,6 °C, das am 23. 10. 1975 auf dieser Station in 44 m Tiefe ermittelt wurde (15). Über dem warmen Bodenwasser befand sich ein ausgeprägtes Minimum, in dem die Temperatur auf 7 °C absank (Abb. 7). Derartige Inversionen zeichnen sich in dieser Jahreszeit auch im mittleren Jahresgang ab (7), sind im allgemeinen jedoch schwächer ausgebildet. Am 8. 12. 1982 auf Station 113 durchgeführte Messungen ergaben Temperaturen von 6,5 °C in der Oberflächenschicht und 8,1 °C im Bodenwasser.

Der Temperaturrückgang um 0,6 K im Tiefenwasser des Bornholmbeckens, der im August 1982 festgestellt wurde (Abb. 2), ist auf advektive Prozesse zurückzuführen. Warmwasserintrusionen aus der Arkonasee, die im Herbst nahezu regelmäßig auftreten (7, 15) und auch 1982 beobachtet wurden, bewirkten jedoch im Oktober einen erneuten Temperaturanstieg.

Die Temperaturen im Bodenwasser der anderen Ostseeregionen zeigten im Verlauf des Jahres 1982 kaum Veränderungen (Abb. 2). Während sie in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs noch eine schwach abnehmende Tendenz aufwiesen, waren sie im Landsorttief nahezu gleichbleibend.

## 2.2. Der Salzgehalt

Die Veränderungen des Salzgehaltes in der zentralen Ostsee während des Jahres 1982 sind in Abb. 3 dargestellt. Im Einklang mit dem mittleren Jahresgang (1, 8) wurden die höchsten Konzentrationen in der Oberflächenschicht im Februar beobachtet. Sie lagen in der südlichen Gotlandsee, in der die regionalen Unterschiede geringer als in den sich westlich und nördlich anschließenden Teilgebieten sind, bei 7,6–7,9 ‰. Im März wurden 7,6–7,8 ‰, im Mai 7,5–7,7 ‰ und im August 7,5–7,6 ‰ registriert. Abweichend von den mittleren Bedingungen traten Ende Oktober mit 7,4–7,5 ‰ geringfügig niedrigere Werte als im August auf. Insgesamt entsprach die Jahresschwankung des Oberflächensalzgehaltes, die im Bornholmbecken 0,2 ‰ beträgt und in der nördlichen Gotlandsee auf über 0,6 ‰ ansteigt (8), dem langjährigen Mittel, die Absolutwerte lagen geringfügig darüber.

Mit Ausnahme des Arkonabeckens wurden im Bodenwasser aller im Februar untersuchten Ostseeregionen bereits sehr niedrige Salzkonzentrationen gemessen, die im Verlauf des Jahres vor allem im Bornholmbecken weiter abnahmen. Während hier der Rückgang 0,4 ‰ ausmachte, wurden in den anderen Becken nur Beträge von knapp 0,1 ‰ erreicht. Mit 14,43 ‰ wurden im Bornholmtief die bisher niedrigsten Salzkonzentrationen im Bodenwasser (89 m) seit 1969 beobachtet (vgl. auch 15). In der grundnahen Wasserschicht des Gdanskertiefs (108 m) wurden mit 10,58 ‰ ebenfalls extrem niedrige Werte festgestellt. Die Salzgehalte im Bodenwasser des Gotland-, Landsort- und Karlsötiefs lagen in der Nähe der Minimalkonzentrationen.

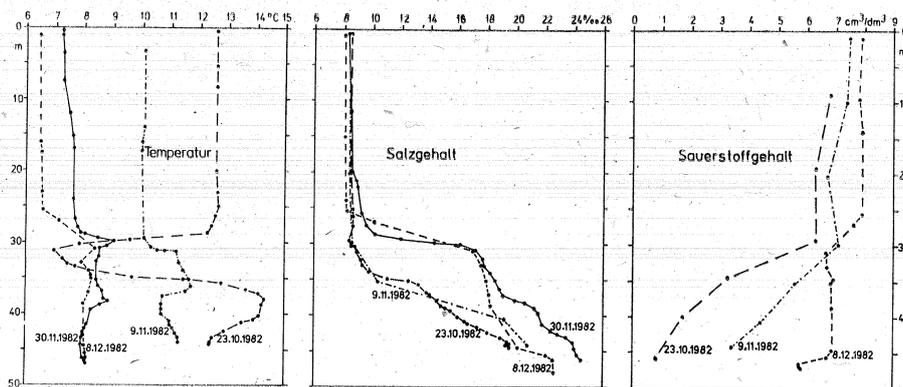
Die Salzkonzentrationen, die im November 1982 auf den Kattegatstationen gemessen wurden, sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Im Vergleich zu den langjährigen Novembermittelwerten des ehemaligen Feuerschiffes „Kattegat SW“ ist eine deutlich positive Anomalie vorhanden. In der Oberflächenschicht der Station 350, die direkt mit den Feuerschiffswerten vergleichbar ist, beträgt sie 4,9 ‰ und verringert sich unterhalb der Salzgehaltssprungschicht auf 3 ‰. Die beiden anderen Stationen liegen zu weit von der Feuerschiffposition entfernt, so daß ein unmittelbarer Vergleich nicht mehr zulässig ist.

**Tabelle 1**

Novembermittelwerte (1931–1960) beim Feuerschiff „Kattegat SW“ (56° 05,0' N, 11° 08,8' E) und aktuelle Salzkonzentrationen (‰) im südlichen Kattegat

Tiefe m	„Kattegat SW“ (20)	Stat. 350	Stat. 351 10. 11. 1982	Stat. 352
1	19,8	24,70	20,73	—
5	—	24,68	20,72	21,67
10	22,5	24,68	20,73	21,71
15	—	25,23	20,82	21,82
20	29,2	32,17	23,34	33,98
G *)	30,6 (30 m)	32,62 (24 m)	33,82 (32 m)	34,33 (24 m)

\*) Grundnähe



**Abb. 7**

Veränderungen ausgewählter ozeanologischer Größen auf Station 113 in der zentralen Arkonasee im Herbst 1982

Im Zusammenhang mit den hohen Salzkonzentrationen am Eingang zum Großen Belt sind die Veränderungen, die von Ende Oktober bis Anfang Dezember 1982 im zentralen Arkonabecken eintraten, von besonderer Bedeutung. Wie Abb. 7 zeigt, nahm der Salzgehalt im Tiefenwasser der Station 113 in diesem Zeitraum stark zu, wobei Ende November Werte bis 24,5 ‰ gemessen wurden. Mit dem Anstieg des Salzgehaltes im Bodenwasser um etwa 6 ‰ war gleichzeitig eine Anhebung der Sprungschicht um 8 m, von 35–36 m auf 27–28 m, verbunden. Da sich der Salzgehalt in der Oberflächenschicht nicht nennenswert änderte, stabilisierte sich die Schichtung. Anfang Dezember 1982 war ein Teil des salzreichen Bodenwassers bereits ostwärts abgeflossen. Die Zunahme des Salzgehaltes war nicht auf das Arkonabecken beschränkt, sondern wurde auch in der westlichen Ostsee und in den DDR-Küstengewässern beobachtet (2).

### 2.3. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die Sauerstoffverteilung in den oberflächennahen Wasserschichten, die vorrangig durch die Temperatur und die Frühjahrsmassenentwicklung des Phytoplanktons bestimmt wird, zeigte die bekannten jahreszeitlichen Variationen mit hohem Sauerstoffkonzentrationen in der kalten und niedrigen Konzentrationen in der warmen Jahreszeit (Abb. 4). Im August war die kalte Zwischenschicht in Abhängigkeit von den höheren Sättigungswerten durch ein deutliches Sauerstoffmaximum gekennzeichnet.

Im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken herrschten 1982 verbreitet anoxische Bedingungen (Abb. 1 und 4). Intrusionen aus dem Arkonabecken, die sich Ende März durch ihre höheren Sauerstoff- und Salzgehaltswerte (Abb. 3) und durch niedrigere Temperaturen (Abb. 2) abzeichneten, führten im Mai zu einer vorübergehenden Abnahme des Gehalts an Schwefelwasserstoff im Bodenwasser des Bornholmbeckens. In dieser Jahreszeit waren das Gdanske Tief und das westliche Gotlandbecken noch frei von diesem Gas.

In der zweiten Jahreshälfte wurde in allen zentralen Becken unterhalb 80 bis 120 m Tiefe Schwefelwasserstoff festgestellt. Dieses Gas erreichte im Bodenwasser des Gotlandtiefs (239 m) mit 3,6 mg/dm<sup>3</sup> am 31. 10. 1982 die bisher höchste durch einen Meßwert belegte Konzentration (vgl. auch 15). Im Tiefenbereich zwischen 100 und 150 m scheinen sich in dieser Region jedoch sauerstoffhaltige Wassermassen eingeschoben zu haben, wodurch die Redoxsprungschicht zurückgedrängt wurde.

Entsprechend dem Jahresgang enthielt das Bodenwasser der Lübecker Bucht und des zentralen Arkonabeckens im Oktober 1982 mit 0,2–0,8 cm<sup>2</sup>/dm<sup>3</sup> nur geringe Sauerstoffmengen. Schwefelwasserstoff wurde in den westlichen Teilgebieten der Ostsee jedoch nicht beobachtet. Wie Abb. 7 zeigt, nahm mit dem Ansteigen des Salzgehaltes auch die Sauerstoffkonzentration stark zu.

### 2.4. Essentielle Nährstoffe

Orthosphosphat und Nitrat sind die wichtigsten Nährstoffe, die die Phytoplanktonproduktion der Ostsee begrenzen. Ihre Verteilung zu den verschiedenen Meßterminen des Jahres 1982 ist in den Abb. 5 und 6 dargestellt. Geringe Nitratkonzentrationen in Gegenwart von Schwefelwasserstoff wurden auf analytische Unzulänglichkeiten zurückgeführt und in den Darstellungen der Verteilung dieser Stickstoffverbindung nicht berücksichtigt. Ammonium und Nitrit traten als Zwischenstufen des oxischen Stickstoffkreislaufes kaum in Erscheinung (13). Eine Ausnahme bildet die starke Ammoniumanreicherung unter anoxischen Bedingungen, wenn eine Oxidation wegen des fehlenden Sauerstoffs nicht möglich ist.

Die sommerliche Nährstoffverarmung hielt 1982 im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee bis weit in den Herbst hinein an. So wurden bei den Untersuchungen im Oktober/November noch verbreitet sommerlich niedrige Phosphat- und Nitratwerte gemessen.

Im anoxischen Tiefenwasser dominierten Anreicherungen von Phosphat und Ammoniumstickstoff, während Nitrat unter diesen Bedingungen unbeständig ist. Vor allem zu Jahresbeginn wurden im Bornholmbecken sehr hohe Phosphatkonzentrationen registriert. In den anderen Ostseeregionen hielt sich die Anreicherung dieses Nährstoffes trotz hoher Schwefelwasserstoffkonzentrationen in Grenzen. Die Intrusionen aus dem Arkonabecken, die sich im Mai

1982 vor allem in der Sauerstoff-Schwefelwasserstoff-Verteilung abzeichneten, führten vorübergehend auch zu einer starken Zunahme des Nitratgehalts im Tiefenwasser des Bornholmbeckens. Dabei lag diese Stickstoffverbindung offenbar kurzzeitig neben Schwefelwasserstoff vor. Diese Situation bildete jedoch eine Ausnahme. Bei allen anderen Untersuchungen waren im anoxischen Tiefenwasser anstelle des Nitratstickstoffs hohe Ammoniumkonzentrationen vorhanden. Im Bodenwasser des Gotlandtiefs (239 m) wurde mit 17,0 µmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> ein neuer Höchstwert ermittelt, der mit dem erwähnten Schwefelwasserstoffmaximum zusammenfiel.

Für die Untersuchung der Eutrophierungsproblematik in der Ostsee ist die winterliche Phosphat- und Nitratanreicherung in der Oberflächenschicht von Bedeutung. In Tab. 2 wurden deshalb die mittleren Konzentrationen dieser Nährstoffe für die Jahre 1978–1982 zusammengestellt.

Diese Untersuchungen schließen sich an frühere Trendabschätzungen an (14). Die Werte für das Jahr 1978 wurden aus den dabei ermittelten Regressionsgleichungen errechnet.

Die verwendeten Messungen der Jahre 1980 bis 1982 stammen vorrangig aus den Monaten Februar und März, in denen die biologische Aktivität gering ist und die Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons noch nicht begonnen hat. Wegen des späteren Beginns dieser Blüte konnten aus der südlichen Gotlandsee auch Messungen aus der ersten Aprilhälfte verwendet werden. Die Werte des Jahres 1979 wurden in der zweiten Januarhälfte gewonnen, weil später kein Schiff zur Verfügung stand. Aus der Arkonasee konnten im März 1980 nicht alle Meßwerte benutzt werden, da auf einigen Stationen die Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons bereits zu einer Nährstoffverarmung geführt hatte. Andererseits traten einige extrem hohe Nitratwerte (10,0 bis 12,3 µmol/dm<sup>3</sup>, vgl. auch 16) auf, die ebenfalls keine Berücksichtigung fanden.

Der Umfang der Datenkollektive, die für die verschiedenen Ostseeregionen und Jahre zur Verfügung standen, ist sehr unterschiedlich. Er schwankt für die Arkonasee zwischen 4 und 10 Werten, die Bornholmsee zwischen 3 und 4 Werten und die südliche Gotlandsee zwischen 6 und 12 Werten. Die Messungen erfolgten in der Arkonasee auf den Stationen 1B, 2A, 102, 111 und 113, in der Bornholmsee auf den Stationen 4B, 5A und 6B und in der südlichen Gotlandsee auf den Stationen BCS III 10, 8A, A9, 10B, 11B und 15A.

Die mittleren Nährstoffkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht zeigten gemäß Tab. 2 im allgemeinen nur geringe zwischenjährliche und regionale Unterschiede. Eine Ausnahme scheinen die Phosphatkonzentrationen im Jahre 1980 zu bilden, die in allen drei Seegebieten etwas niedriger als in den anderen Jahren waren. In der Bornholmsee scheint außerdem der Nitratgehalt etwas geringer gewesen zu sein. Im Gegensatz zu den Nährstoffen zeigt der Salzgehalt seit Beginn der 80er Jahre eine abnehmende Tendenz.

**Tabelle 2**

Mittlere Salz- und Nährstoffkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht ausgewählter Ostseeregionen (n = Anzahl der zur Mittelbildung verwendeten Werte)

	S ‰	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> µ mol/dm <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µ mol/dm <sup>3</sup>	n
<b>Arkonasee</b>				
1978 *)	8,38	0,64	3,6	—
1979	8,57	0,58	5,1	4
1980 **)	8,45	0,44	4,9	4
1981	8,24	0,53	4,5	9
1982	7,87	0,54	4,0	10
<b>Bornholmsee</b>				
1978 *)	8,12	0,68	3,5	—
1979	8,15	0,61	3,7	3
1980	7,96	0,48	3,7	4
1981	7,87	0,65	3,8	4
1982	7,75	0,53	4,1	4
<b>Südliche Gotlandsee</b>				
1978 *)	8,03	0,63	4,0	—
1979	—	—	—	—
1980	7,94	0,47	4,3	6
1981	7,90	0,62	4,3	10
1982	7,81	0,63	4,3	12

\*) Werte wurden gemäß (14), Tab. 1 und 2, berechnet

\*\*) Nicht alle Messungen wurden verwertet (vgl. Text)

### 3. Diskussion

Negative Wassertemperaturen und kurzzeitige Eisbildung kennzeichneten zu Jahresbeginn 1982 die Temperaturverhältnisse in den Seegebieten westlich der Darßer Schwelle. Auf Grund der Kältesummen (Abb. 8) ist der Winter 1981/82 für die westliche Ostsee als eisreich zu klassifizieren. Östlich davon verringerten sich die negativen Anomalien, so daß die Oberflächentemperaturen in der südlichen Gotlandsee kaum noch von den langjährigen Mittelwerten abwichen.

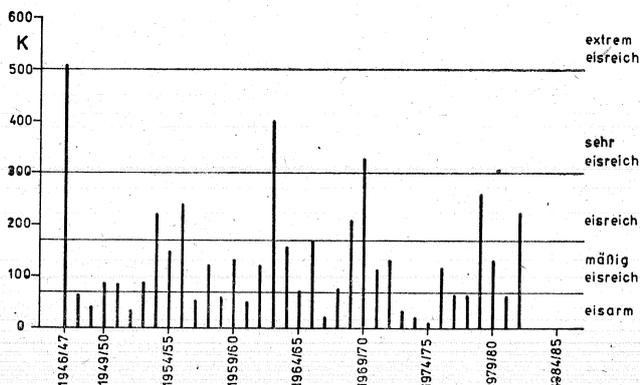


Abb. 8

Kältesummen nach Messungen der Seewetterdienststelle Warnemünde (Tiesel, pers. Mitteilung) und Klassifizierung der Winter in der westlichen Ostsee nach Hupfer (4)

Der Sommer 1982 war strahlungsreich und führte teilweise zu einer extremen Erwärmung der Ostsee. Zwischen Fehmarnbelt und nördlichem Gotlandbecken lagen die Augusttemperaturen in der Oberflächenschicht zwischen 20 und 22 °C, wobei auch nördlich von Gotland noch über 21 °C gemessen wurden. Gemäß Abb. 9 sind diese Temperaturen um 3,3–4,8 K höher als das langjährige Mittel. Besonders in der Gotlandsee (Stat. 15A) waren sie auf eine extrem flache Deckschicht begrenzt. Für die-

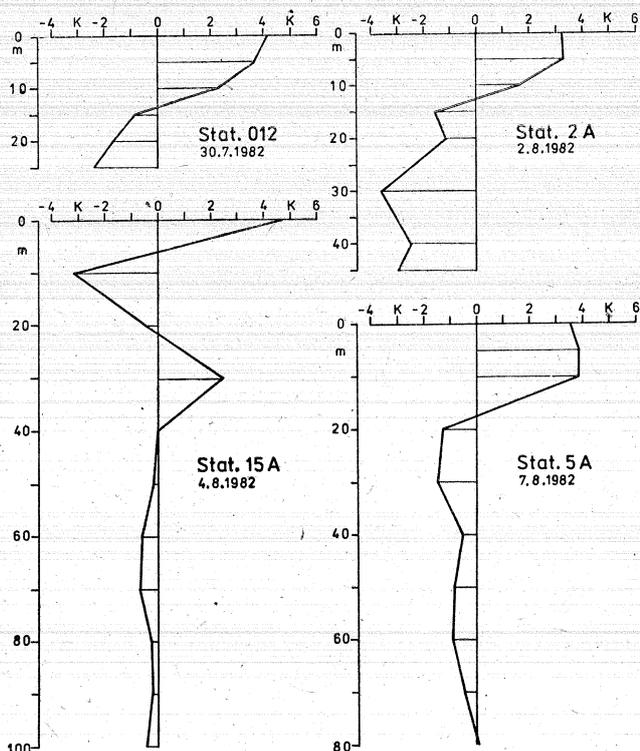


Abb. 9

Abweichungen der Wassertemperatur von den mittleren Bedingungen in ausgewählten Ostseeregionen im Sommer 1982 nach Francke und Matthäus (in Vorbereitung)

ses Gebiet sind es die höchsten Temperaturen, die bisher von uns durch Meßwerte belegt wurden. In der Arkona- und Bornholmsee wurden dagegen schon höhere Temperaturen registriert (11, 15).

Die stark erwärmte Deckschicht mit einer Mächtigkeit von 8–15 m war durch eine scharf ausgeprägte Sprungschicht von kaltem Zwischenwasser, in dem die Wintertemperaturen nahezu unverändert erhalten bleiben, getrennt. Im Gotlandtief (Abb. 9, Stat. 15A) traten im Bereich der Sprungschicht sowohl negative als auch positive Temperatur-anomalien auf. Die Temperaturen in der kalten Zwischenschicht wichen jedoch kaum von den mittleren Bedingungen ab. Dies kann als weiterer Hinweis darauf gewertet werden, daß der Winter 1981/82 in der Gotlandsee einen normalen Verlauf genommen hatte. Das Tiefenwasser in den westlichen Teilgebieten der Ostsee (Stat. 012 und 2A) läßt dagegen eine deutlich negative Anomalie als Folge des Eiswinters erkennen.

Nicht nur der Sommer, sondern auch der Herbst 1982 war strahlungsreich. Dadurch blieben eine ausgeprägte thermische Differenzierung der Wassersäule und die Nährstoffverarmung der Deckschicht bis in den November hinein erhalten.

Im Winter 1981/82 kam es nicht zum Einstrom überdurchschnittlich großer Mengen salzreichen Wassers in die Ostsee. Der letzte Salzwassereinbruch erfolgte im Frühjahr 1980 (16) und war relativ schwach. Seine Auswirkungen reichten nur bis zum Gotlandtief und führten lediglich zu einer geringen Erhöhung des Salzgehalts im Bodenwasser. Die Fortdauer der Stagnationsperiode führte dazu, daß 1982 in der zweiten Jahreshälfte in allen zentralen Ostseebecken unterhalb 80–120 m Tiefe anoxische Bedingungen herrschten (Abb. 1), wobei im Gotlandtief extrem hohe Schwefelwasserstoffkonzentrationen auftraten. In den nördlichen Teilgebieten hatte das anoxische Tiefenwasser, das im Oktober/November 1982 ab etwa 100 m begann, jedoch eine geringere Mächtigkeit als 1981 (17) und vor allem 1980 (16).

Mit der Fortdauer der stagnierenden Bedingungen war auch eine weitere Abnahme des Salzgehaltes im Bodenwasser verbunden, wobei im Bornholmbecken und im Gdanskertief die niedrigsten Konzentrationen seit Beginn unserer Untersuchungen auftraten. In allen Tiefenbecken der zentralen Ostsee herrschten daher sehr gute Voraussetzungen für die Erneuerung der grundnahen Wasserschichten.

Bei den Untersuchungen, die im November 1982 im südlichen Kattegat erfolgten, wurden Salzkonzentrationen gemessen, die teilweise erheblich über den langjährigen Mittelwerten lagen. Damit war eine der wichtigsten Voraussetzungen für einen Salzwassereinbruch in die Ostsee erfüllt.

Nach Strömungsmessungen an der DDR-Bojenstation „Darßer Schwelle“ (Stat. 001) wurden von Mitte September bis Anfang Dezember 1982 mehrere extreme Einstromlagen, die sich über einen längeren Zeitraum erstreckten, festgestellt. Einstromperioden, die die ganze Wassersäule erfaßten, herrschten vom 20.–28. Oktober sowie vom 1.–6. und vom 10.–25. November 1982 mit einer Gesamtdauer von rund 28 Tagen. Unterhalb der Sprungschicht hielt bereits seit dem 8. 10. 1982 starker Einstrom in die Ostsee an, der zeitweilig auch die oberen Wasserschichten erfaßte. Wie der erhebliche Anstieg des Salzgehalts in den Seegebieten vor der DDR-Küste sowie im Tiefenwasser des zentralen Arkonabeckens und der westlichen Ostsee zeigen, haben im Verlauf dieser Einstromperiode große Mengen salzreichen Wassers die Darßer Schwelle passiert (2). Die am 23. 10. 1982 an der Station 113 im Arkonabecken gemessenen hohen Temperaturen des Bodenwassers bei nur mäßig erhöhtem Salzgehalt (Abb. 7) zeigen jedoch, daß während der ersten Einstromphasen im südlichen Kattegat noch keine überdurchschnittlich hohen Salzkonzentrationen vorhanden waren. Offensichtlich wurden hier erst im Verlauf des Einstroms hinreichend hohe Konzentrationen als wichtige Vorbedingung für einen Salzwassereinbruch erreicht, wie das auch 1975/76 der Fall war (3).

Aus der Anhebung der Salzgehaltssprungschicht um 8 m wurde die eingeflossene Wassermenge grobquantitativ abgeschätzt. Danach befanden sich Ende November 1982, als der Einstrom praktisch beendet war, rund 33 km<sup>3</sup> Wasser mit einem überdurchschnittlich hohen Salzgehalt von

17,5–24 ‰ im Arkonabecken. Ähnliche Mengen wurden auch bei früheren Salzwassereinbrüchen beobachtet (15). Nur bei dem großen Salzwassereinbruch 1951 gelangten mit 200 km<sup>3</sup> (19) erheblich größere Mengen salzreichen Wassers in die Ostsee. Da die salzreichen Wassermassen nahezu vollständig aus dem Arkonabecken abfließen, ist 1983 mit einer Verbesserung der Sauerstoffbedingungen und einem Anstieg des Salzgehalts im Bodenwasser der zentralen Ostseebeckens zu rechnen. Weil der Einbruch aus dem Kattegat bereits im Herbst erfolgte, als das einfließende Wasser noch relativ warm war, ist ferner ein Temperaturanstieg in den grundnahen Wasserschichten zu erwarten.

Untersuchungen über die Phosphat- und Nitratanreicherung in der winterlichen Oberflächenschicht zeigten, daß dem Phytoplankton 1979–1982 ein hohes Nährstoffpotential zu Beginn seiner Frühjahrsentwicklung zur Verfügung stand. Der starke Anstieg der Phosphat- und Nitratkonzentrationen, der von 1969–1978 beobachtet wurde (14), setzte sich jedoch nicht fort. Der Salzgehalt, der in diesem Zeitraum ebenfalls signifikant zugenommen hat, wies seit Beginn der 80er Jahre sogar eine abnehmende Tendenz auf. Als Folge der Erneuerung des Tiefenwassers muß jedoch 1983 mit einer verstärkten Nährstoff- und Salzzufuhr in die Oberflächenschicht gerechnet werden.

## Literatur

1. BOCK, K.-H.: Monatskarten des Salzgehalts der Ostsee. Dt. Hydrogr. Z., Erg. H. 1971, Reihe B, Nr. 12, 1–147
2. FRANCKE, E.: Erste Einschätzung der Einstromlage vom Herbst 1982. Rostock-Warnemünde, Dez. 1982, unveröff. Bericht
3. FRANCKE, E., HUPFER, P.: Ein Beitrag zur Untersuchung des Salzwassereinbruchs im Winter 1975/76 in die Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 44/45 (1980), 15–26
4. HUPFER, P.: Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen. Leipzig 1978, 1–152
5. LENZ, W.: Monatskarten der Temperatur der Ostsee, dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte. Dt. Hydrogr. Z., Erg. H. 1971, Reihe B, Nr. 11, 1–148
6. MATTHÄUS, W.: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY 2A auf 55° N, 14° E. Beitr. Meeresk. H. 36 (1975), 5–27
7. MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 40 (1977), 117–155
8. MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehaltes der Ostsee. Gerlands Beitr. Geophysik 87 (1978), 369–376
9. MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderung im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 41 (1978), 61–94
10. MATTHÄUS, W.: Langzeitvariationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 42 (1979), 41–93
11. MATTHÄUS, W., STURM, M., FRANCKE, E.: Einige Aspekte des thermischen Regimes der Ostsee im Sommer 1975 am Beispiel der Bornholmsee. Z. Meteorol. H. 26 (1976), 360–372
12. MELVASALO, T., PAWLAK, J., GRASSHOFF, K., THORELL, L., TSIBAN, A. (Eds.): Assessment of the effects of pollution on the natural resources of the Baltic Sea, 1980. Baltic Sea Environment Proceedings No. 5B (1981), 1–426
13. 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. 35 (1981), 39–137
14. NEHRING, D.: Langzeitrends des Phosphat- und Nitratgehalts in der Ostsee. Beitr. Meeresk. H. 47 (1982), 61–86
15. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee von 1969–1978. I. Die hydrographischen Bedingungen und ihre Veränderungen. Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 35 (1981), 5–38
16. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1980. Fischerei-Forsch. 20 (1982), 69–77
17. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1980. Fischerei-Forsch., 21 (1983), 45–55
18. REICHEL, U.: Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelt. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffbeobachtungen 1949–1978. Inst. Meeresk., unveröff., 1980
19. WYRTKI, K.: Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. Kieler Meeresforsch. 10 (1954), 19–25
20. Oceanografiske Observationer fra Danske Fyrskibe og Kyststationer 1970. Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund 1971