

# Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1978

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

Die Temperaturen in der Oberflächenschicht, in der kalten Zwischenschicht sowie im Tiefenwasser der Ostsee wichen im allgemeinen nur wenig von den mittleren Bedingungen ab. Im Winter 1977/78 kam es zu keinem Salzeinbruch. Dadurch dauerte 1978 die Stagnationsperiode im Tiefenwasser an, so daß im östlichen und westlichen Gotlandbecken verbreitet anoxische Bedingungen entstanden.

Im Februar und März 1978 waren in der winterlich durchmischten Oberflächenschicht der Ostsee relativ hohe Nährstoffkonzentrationen und damit gute Voraussetzungen für eine hohe Bioproduktivität vorhanden. Der Anstieg des Phosphat- und Nitratgehalts steht im Einklang mit einer allgemeinen Eutrophierung in dieser Schicht, die seit einigen Jahren beobachtet wird. Die parallel dazu erfolgte Salzgehaltzunahme läßt darauf schließen, daß diese Eutrophierung eng mit hydrographischen Prozessen zusammenhängt. Die Verteilung der anorganischen Stickstoffverbindungen in Abhängigkeit von den physikalischen und chemisch-biologischen Bedingungen wurde 1978 in speziellen Untersuchungen ausgewertet.

## 1. Einleitung

Das Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR führt seit 1957 in den westlichen Teilgebieten und seit 1969 auch in den zentralen Regionen der Ostsee systematische ozeanologische Observatoriumsprogramme durch, die physikalische, chemische und biologische Messungen beinhalten. Diese Untersuchungen geben Aufschluß über mittel- und langfristige natürliche und anthropogene Veränderungen sowie über den chemisch-biologischen Stoffkreislauf und stellen eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung von Fischereiprososen dar.

Im Jahre 1978 wurden 5 Meßfahrten mit dem Forschungsschiff „Prof. Albrecht Penck“ durchgeführt. Sie erstreckten sich im Februar, im März/April und im August bis ins östliche Gotlandbecken. Im Mai und im Oktober/November wurden darüber hinaus auch das nördliche und westliche Gotlandbecken sowie der Finnische Meerbusen bearbeitet. Die Messungen erfolgten vorrangig auf den Standardstationen, die anlässlich des Internationalen Ostseejahres 1969/1970 (22) festgelegt wurden und der Kategorie I\*) des ICODS – Ostsee\*\*) angehören (Abb. 1). In der westlichen Ostsee, im Arkona- und Bornholmbecken, im Gdanker Tief sowie im Südtel des östlichen Gotlandbeckens wurden zusätzliche Stationen untersucht, die in den Abb. 1–6 jedoch nur Berücksichtigung fanden, wenn ihre Meßwerte für die Charakterisierung der ozeanologischen Bedingungen von besonderer Bedeutung waren. Im August, September und November 1978 wurden auch im Südtel des Kattegats ozeanologische Messungen durchgeführt, um festzustellen, ob aufgrund extrem hoher Salzgehalte eine wichtige ozeanologische Voraussetzung für einen erneuten Salzeinbruch in die Ostsee erfüllt war.

Das hydrographisch-chemische Standardmeßprogramm auf den Ostseeterminalfahrten umfaßt die Bestimmung der Wassertemperatur, des Salzgehalts, der Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie der Mikronährstoffe ( $PO_4\text{-P}$ ,  $NO_3\text{-N}$ ,  $NO_2\text{-N}$ ,  $NH_4\text{-N}$ ). Die Temperaturmessung und die Entnahme der Wasserproben erfolgte mittels einer Tiefseesonde, der OM 75 (15), die vom Institut für Meereskunde in Rostock-Warnemünde entwickelt wurde. Neben den hydrographisch-chemischen Messungen werden ferner meteorologische Beobachtungen durchgeführt.

## 2. Hydrographisch-chemische Veränderungen

Zur Charakterisierung der hydrographisch-chemischen Veränderungen wurde die Verteilung einiger Parameter wie Temperatur (Abb. 2), Salz (Abb. 3), Sauerstoff (Abb. 4) und Phosphat (Abb. 5 und 6) wiederum in Form ozeanologischer Längsschnitte durch die tiefen Becken und Mulden der Ostsee dargestellt.

Diese Form der Auswertung, die seit 1969 verwendet wird, ist übersichtlich und erleichtert den Vergleich mit früheren

Jahren. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß aus technischen Gründen Abweichungen im Verlauf der saisonalen Meßfahrten auftraten und die ozeanologischen Untersuchungen auf den einzelnen Stationen häufig zu unterschiedlichen Terminen erfolgten. Zur Diskussion spezieller Fragestellungen wurde auch die Verteilung der anorganischen Stickstoffverbindungen herangezogen.

In Abb. 2 ist die Temperaturverteilung im Jahre 1978 dargestellt. Im Oberflächenwasser der Ostsee wurden im Februar 2,4–2,9 °C gemessen. Diese Temperaturen liegen um etwa 0,5 °C über den langjährigen Mittelwerten (10, 11, 13, 14); im weiteren Verlauf des Winters erfolgte jedoch eine stärkere Abkühlung, so daß sie sich Ende März mit 1,4–2,1 °C den mittleren Verhältnissen angeglichen hatten. Mit 17–17,5 °C wurde das mittlere sommerliche Temperaturmaximum von 16,6–17 °C in der Oberflächenschicht der westlichen Ostseeregionen etwas übertroffen, während es in der zentralen Ostsee mit 15,3–15,7 °C darunter blieb. Die Temperaturen in der kalten Zwischenwasserschicht, die sich im Mai auszubilden beginnt und im August und im Oktober/November deutlich ausgeprägt ist (Abb. 2), stiegen in Abhängigkeit vom Jahrgang allmählich an, wobei die Abweichungen von den mittleren Verhältnissen (14) gering waren.

Durch den Einstrom relativ warmer Wassermassen aus dem Arkonabecken kam es im Verlauf des Sommers zu einem allmählichen Temperaturanstieg in den grundnahen Schichten des Bornholmbeckens, der jedoch dem mittleren Jahres-

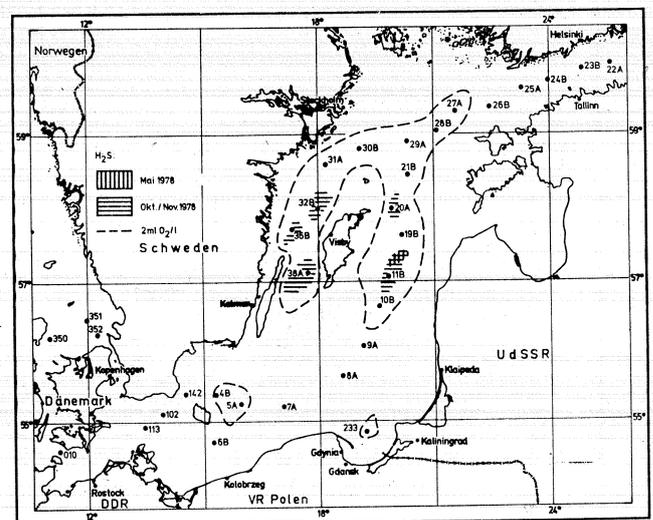


Abb. 1

Stationskarte und Gebiete ungünstiger Sauerstoffverhältnisse in der grundnahen Schicht der Ostsee

\*) Von der Konferenz der Ostseeozeanographen festgelegte Stationen in internationalen Gewässern

\*\*) ICODS = International Catalogue of Ocean Data Stations

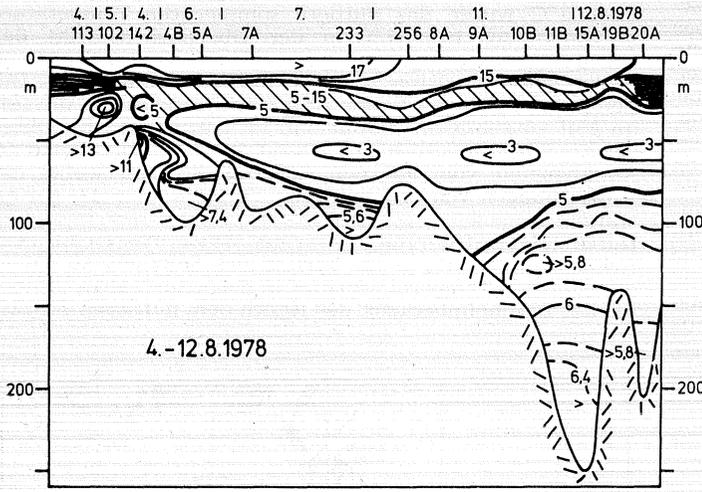
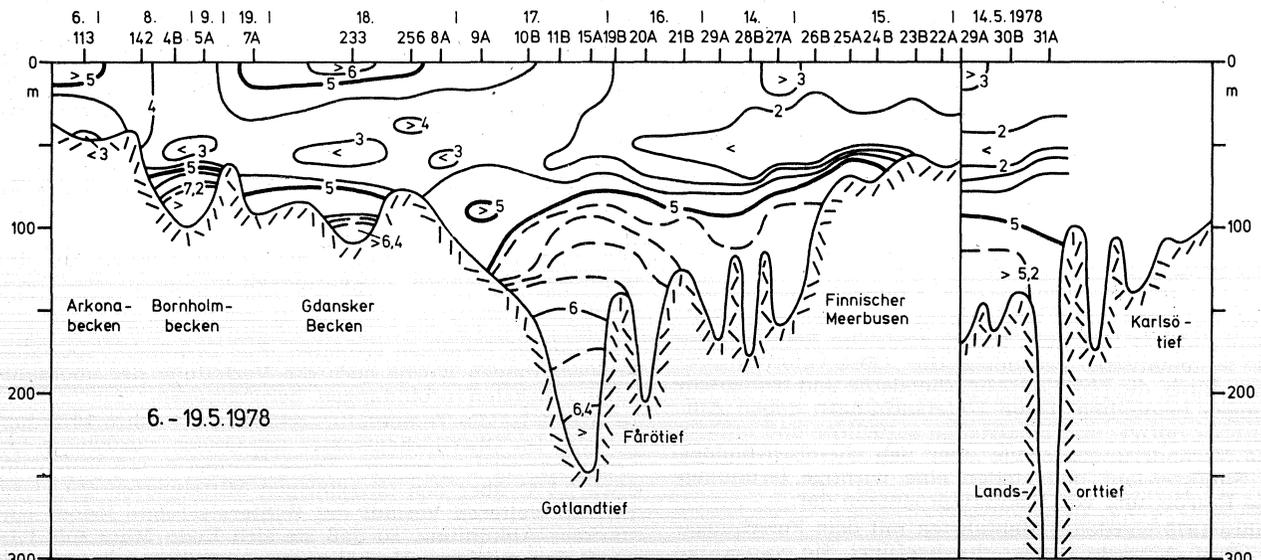
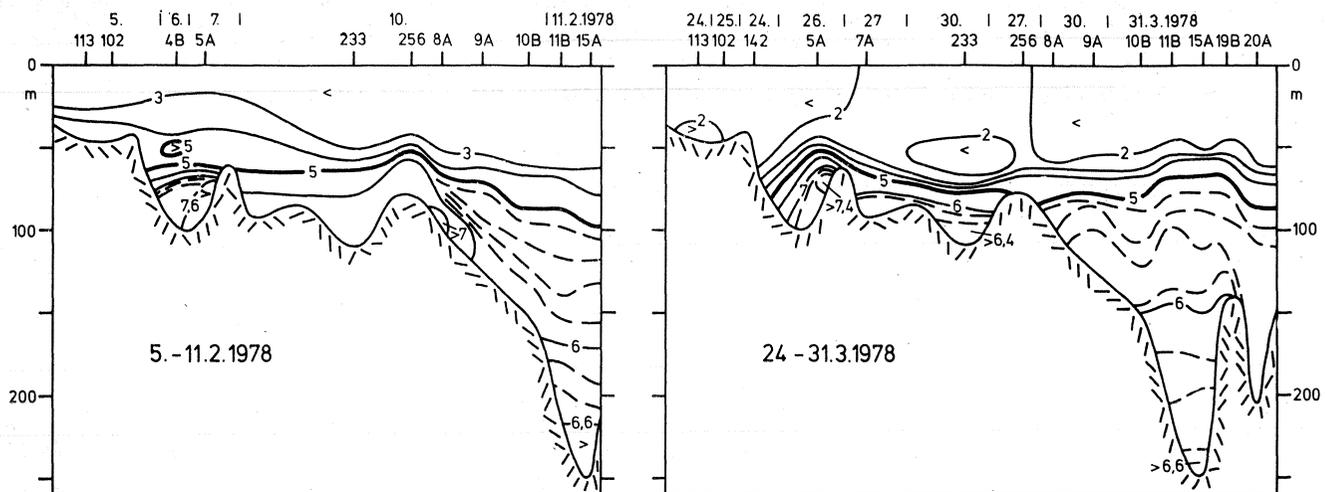
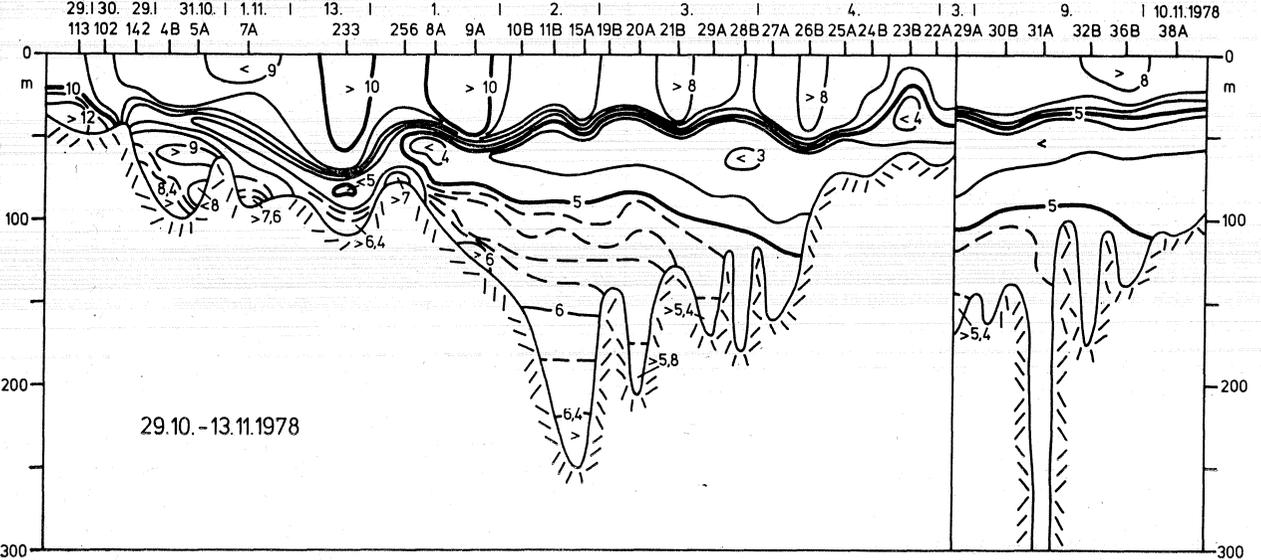


Abb.2  
Temperaturverteilung  
°C



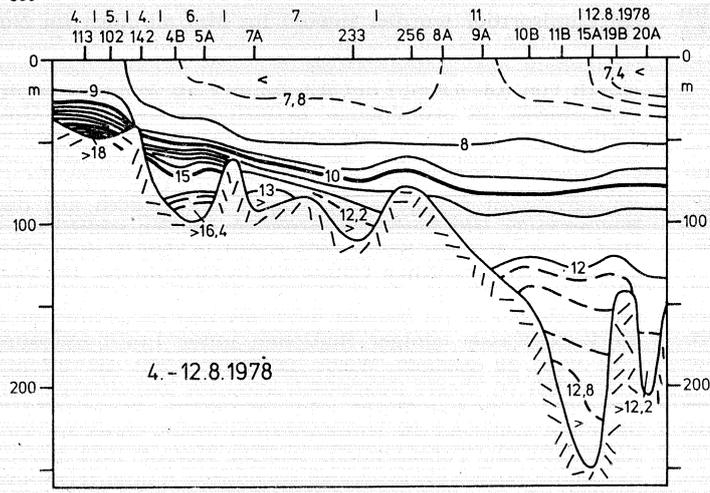
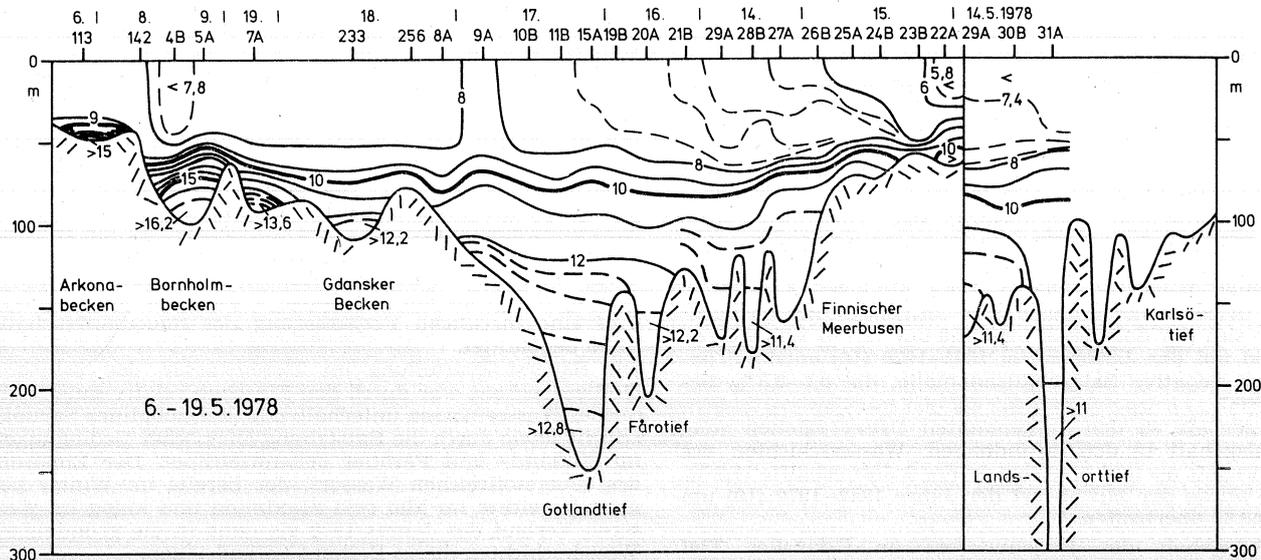
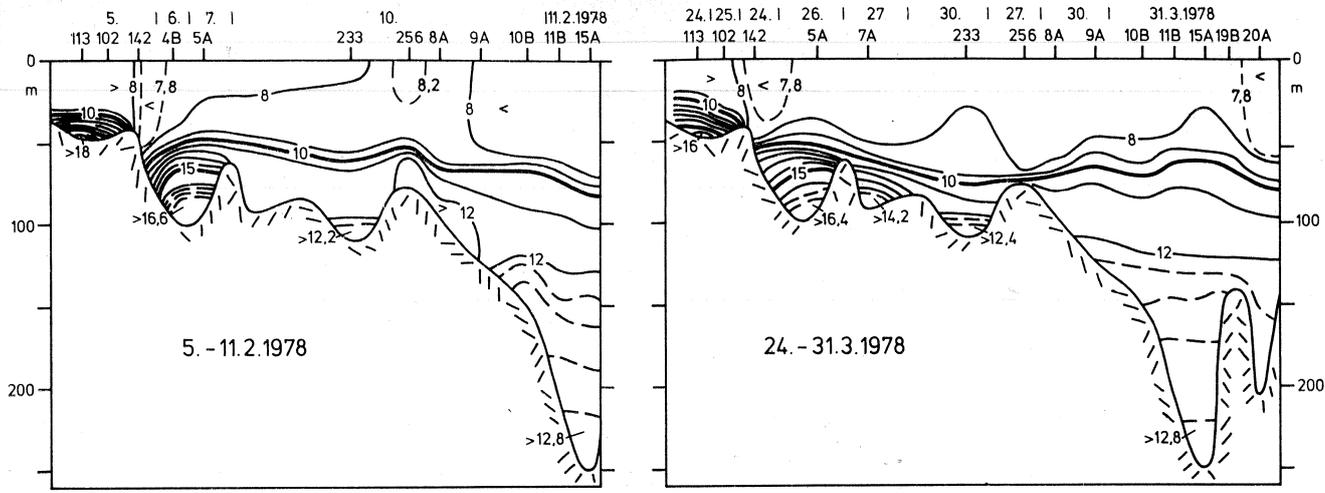
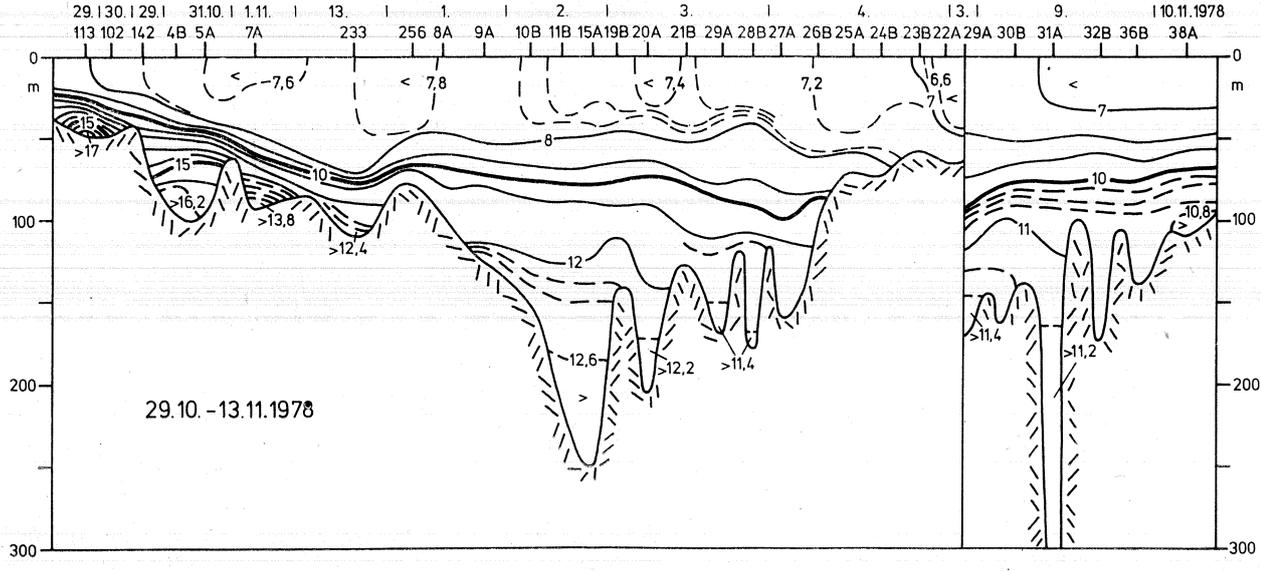


Abb. 3  
Salzgehaltsverteilung  
‰



gang (14) entsprach. Auch im Tiefenwasser des Gdansker Beckens wurden keine extremen Temperaturverhältnisse beobachtet. Im Arkonabecken reicht der Jahresgang der Temperatur bis in Grundnähe (8, 13). Die 1978 von diesem Jahresgang beobachteten Abweichungen waren ebenfalls nur gering.

Die Temperaturen in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs waren gegenüber dem Vorjahr, wo extrem hohe Werte gemessen wurden (6, 19), weiter abgesunken. Mit 6–6,7 °C lagen sie aber immer noch um 0,5–1,0 °C über dem Temperaturmittel des Zeitraums 1952–1970 (10). Im Tiefenwasser des Landsorttiefs wurde eine schwach positive Temperaturanomale von 0,2–0,3 °C ermittelt.

In Abb. 3 ist die Verteilung des Salzgehalts in der Ostsee dargestellt, wie sie auf den verschiedenen Meßfahrten des Jahres 1978 angetroffen wurde. Der Salzgehalt im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee erreichte im Gebiet des Gotlandtiefs Werte von 7,6–7,9 ‰ und übertraf damit den Mittelwert des Zeitraums 1952–1970 (10) um 0,3–0,6 ‰. Im Gebiet des Landsorttiefs, wo 6,9–7,1 ‰ gemessen wurden, betrug die positive Anomalie, bezogen auf den gleichen Zeitraum, 0,2–0,4 ‰. Für die anderen Ostseeregionen liegen keine Mittelwerte vor. Die Monatskarten des Salzgehalts (1) zeigen jedoch, daß 1978 im Oberflächenwasser der Arkona- und Bornholmsee sowie des Gdansker Beckens keine extremen Abweichungen von den mittleren Verhältnissen auftraten.

In der grundnahen Wasserschicht des Bornholmbeckens nahm der Salzgehalt in Übereinstimmung mit der Tendenz des Vorjahres (19) weiter ab und erreichte Ende Oktober 1978 einen Wert von 16,3 ‰. Eine ähnliche Aussüßung wurde in der 2. Jahreshälfte auch im Gotlandtief beobachtet, wo sich der Salzgehalt von 12,9 auf 12,7 ‰ verringerte. Bezogen auf das Jahresmittel 1952–1970 (10) entstand damit eine negative Salzgehaltsanomalie, die 0,1–0,3 ‰ betrug.

Im Gegensatz zu den vorgenannten Ostseeregionen stieg der Salzgehalt in den grundnahen Wasserschichten des Landsorttiefs an und erreichte in der 2. Jahreshälfte 11,2 ‰. Damit wurde der Mittelwert der Jahre 1952–1970 (10) um rund 0,2 ‰ übertroffen.

Der Salzgehalt des Bodenwassers im Gdansker Tief schwankte wiederholt zwischen 12,2 und 12,4 ‰. Auch im Tiefenwasser des Arkonabeckens wurden diskontinuierliche Veränderungen beobachtet, ohne jedoch zu extremen Abweichungen von den mittleren Bedingungen (1) zu führen. Die in der 2. Hälfte des Jahres 1978 im südlichen Kattegat durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß der Salzgehalt im Oberflächenwasser dieses Gebietes besonders im November relativ hoch war. Er lag um 2–4 ‰ über den Monatsmittelwerten (Tab. 1), die auf den langjährigen Messungen des Feuerschiffs „Kattegat SW“ basieren (23). Im Tiefenwasser wurden die Mittelwerte dagegen nicht erreicht.

Untersuchungen, die im Oktober und November 1978 im Fehmarnbelt (Station 010) durchgeführt wurden, zeigten eine deutliche Salzgehaltszunahme während dieses Zeitraums (Tab. 2). Im November 1978 stieg der Salzgehalt innerhalb von 2 Tagen um 0,5 ‰ im Oberflächenwasser und um 0,2 ‰ in der Tiefe an. Da im Oberflächenwasser des südlichen Kattegats 23,6–24,6 ‰ gemessen wurden und nach visuellen Beobachtungen Einstrom herrschte, hatte die Salzgehaltszunahme zu diesem Zeitpunkt offenbar noch nicht ihr Maximum erreicht.

Sauerstoff und Schwefelwasserstoff stehen in enger Beziehung zueinander. Die Verteilung dieser beiden Gase ist daher gemeinsam in den Abb. 1 und 4, die als Grundlage für die folgenden Erläuterungen dienen, dargestellt. Dabei interessieren vorrangig die Sauerstoffverhältnisse im Tie-

Tab. 2

Vertikale Verteilung des Salzgehalts auf Station 010 (54°34,2'N 11°20,0'E) im Fehmarnbelt im Okt./Nov. 1978

Tiefe (m)	Datum		
	26. 10. 1978	20. 11. 1978	22. 11. 1978
1	17,4	20,3	20,8
5	17,5	20,3	20,8
10	17,5	20,3	20,8
15	18,6	20,5	20,9
20	18,7	20,7	20,9
G *)	18,7 (27 m)	20,8 (23 m)	21,0 (26 m)

\*) Grundnähe

fenwasser, die nachhaltig durch die episodisch erfolgenden Salzeinbrüche beeinflusst werden. Der Sauerstoffgehalt im oberflächennahen Bereich zeigt dagegen einen typischen Jahresgang, der von der Wassertemperatur und der Phytoplanktonentwicklung bestimmt wird und im allgemeinen nur geringe Abweichungen von den mittleren Bedingungen (12, 13) aufweist.

Im Winter 1977/78 kam es im Tiefenwasser des Bornholmbeckens und des Gdansker Tiefs zu einer Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse, wobei der Sauerstoffgehalt jedoch nur auf Werte von 1–2 ml/l anstieg. Im weiteren Jahresverlauf nahm die Konzentration dieses Gases zunächst erneut ab, wobei auf einer Station des Bornholmbeckens sogar vorübergehend anoxische Bedingungen auftraten. Die Schwefelwasserstoffverbindung war jedoch auf die Wasserschicht unmittelbar über dem Boden beschränkt. Ende Oktober 1978 war im Bornholmbecken kein Schwefelwasserstoff mehr vorhanden. Im Herbst wurde auch im Gdansker Tief eine merkliche Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse beobachtet.

Die Sauerstoffverteilung im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens war durch den Einschub relativ sauerstoffreicher Wassermassen unterhalb der thermohalinen Sprungschicht sowie durch die Entstehung anoxischer Bedingungen im Gotland- und Färötief gekennzeichnet. Der Einstrom des sauerstoffreichen Wassers, der bereits im Winter begann, erreichte im Mai sein Maximum und klang im weiteren Verlauf des Jahres 1978 ab, ohne in die grundnahen Wasserschichten dieses Beckens vorzudringen.

Im Landsorttief wurden sowohl im Mai als auch im November 1978 oxische Bedingungen beobachtet. Der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers sank in diesem Zeitraum jedoch von 0,6–0,9 ml/l auf 0,3–0,4 ml/l ab. Die Sauerstoffverhältnisse im grundnahen Bereich des westlichen Gotlandbeckens waren im November durch anoxische Bedingungen gekennzeichnet. Der geringe Sauerstoffgehalt, der auf Station 36 B unterhalb schwefelwasserstoffhaltiger Wassermassen nachgewiesen wurde, läßt jedoch auf den Beginn einer Umschichtung in diesem Becken schließen. Der Jahresgang des Sauerstoffs reicht in den flachen Teilgebieten der westlichen Ostsee bis in Grundnähe. Im Vergleich zu den mittleren Bedingungen (13) wurden im Arkonabecken nur im August 1978, als der Sauerstoffgehalt im Bodenwasser einiger Stationen unter 1 ml/l abgesunken war, zu geringe Werte gemessen. Mit 0,5–0,8 ml/l herrschten in dieser Jahreszeit auch im grundnahen Bereich der Lübecker Bucht sehr ungünstige Sauerstoffverhältnisse, während die Konzentration dieses Gases im Tiefenwasser des Fehmarnbelt, wo im Herbst 1972 bereits kurzzeitig Schwefelwasserstoff beobachtet wurde (17), nicht unter 2 ml/l zurückging.

Die Verteilung des Phosphatgehalts ist in den Abb. 5 und 6 dargestellt. In der winterlich homogenen Deckschicht aller untersuchten Ostseeregionen wurden 1978 mit 0,6 bis 0,9 µg-at./l überdurchschnittlich hohe Phosphatkonzentrationen gemessen. Im Tiefenwasser stieg der Phosphatgehalt

Tab. 1

Monatsmittelwerte 1931–1960 beim Feuerschiff „Kattegat SW“ (56°05,0'N, 11°08,8'E) sowie vertikale Verteilung des Salzgehalts im südlichen Kattegat

Tiefe (m)	Monatsmittel				Stationen								
	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	350 (56°09,6'N 11°02,0'E)			351 (56°24,5'N 11°56,7'E)			352 (56°12,9'N 12°18,5'E)		
					23. 8. 78	13. 9. 78	20. 11. 78	24. 8. 78	12. 9. 78	21. 11. 78	24. 8. 78	12. 9. 78	21. 11. 78
0	17,3	18,4	19,7	19,8	18,3	24,8	23,6	18,3	17,7	24,6	18,1	19,6	22,8
5	18,0	18,8	20,3	20,3	18,3	24,8	23,6	18,3	17,7	24,6	18,1	21,2	22,8
10	20,5	21,0	22,1	22,5	18,6	27,0	23,6	18,3	21,1	24,6	18,1	22,7	22,8
15	28,3	27,2	25,5	26,4	30,9	27,0	25,4	24,2	31,0	24,8	30,0	23,0	24,5
20	31,2	30,3	29,3	29,2	32,4	30,7	29,6	31,1	32,2	26,4	33,2	31,9	28,9
30	31,9	31,3	31,0	30,6				33,3	33,1	30,6			
37	32,2	31,5	31,2	30,9									

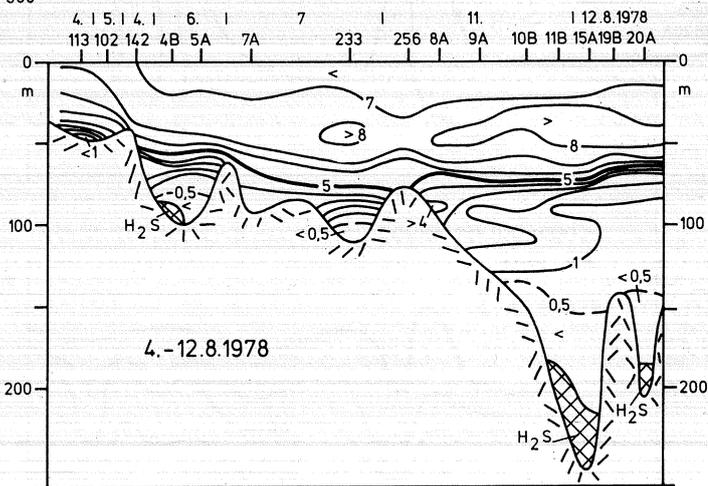
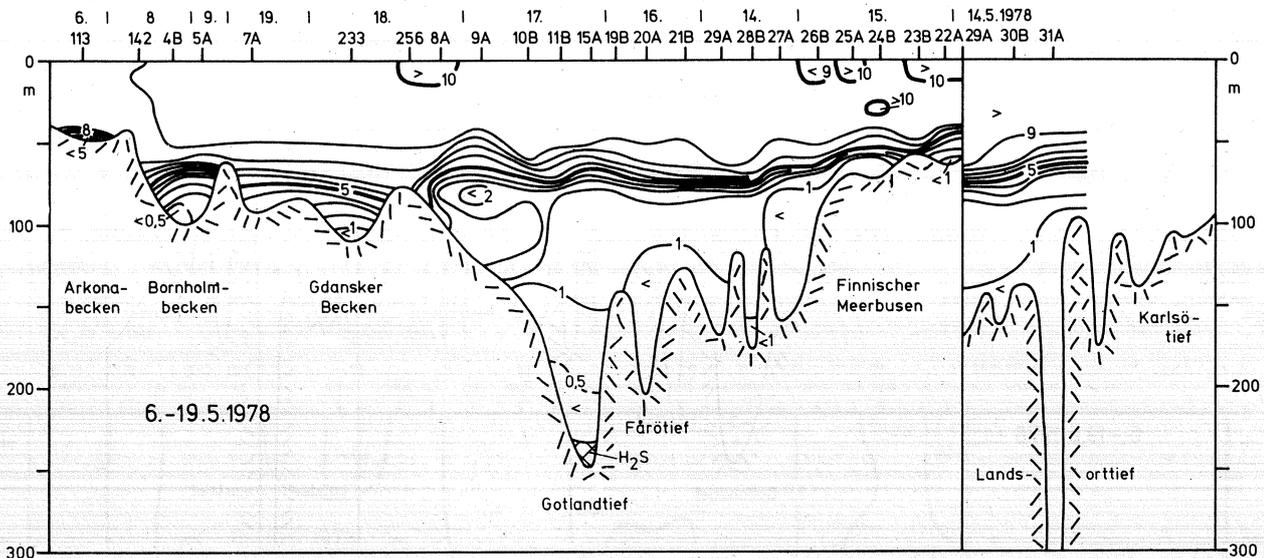
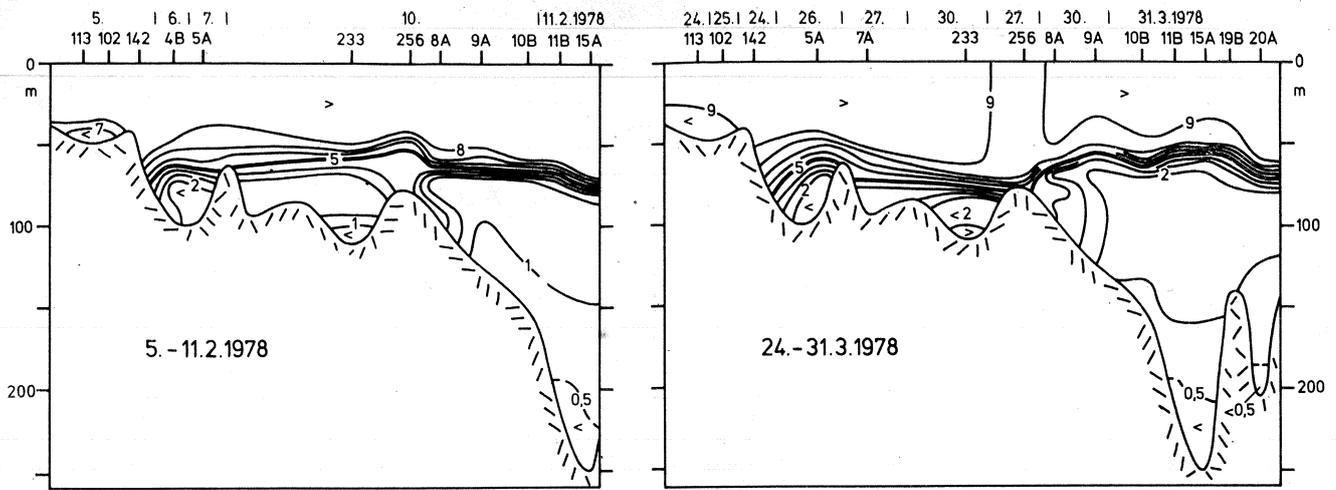
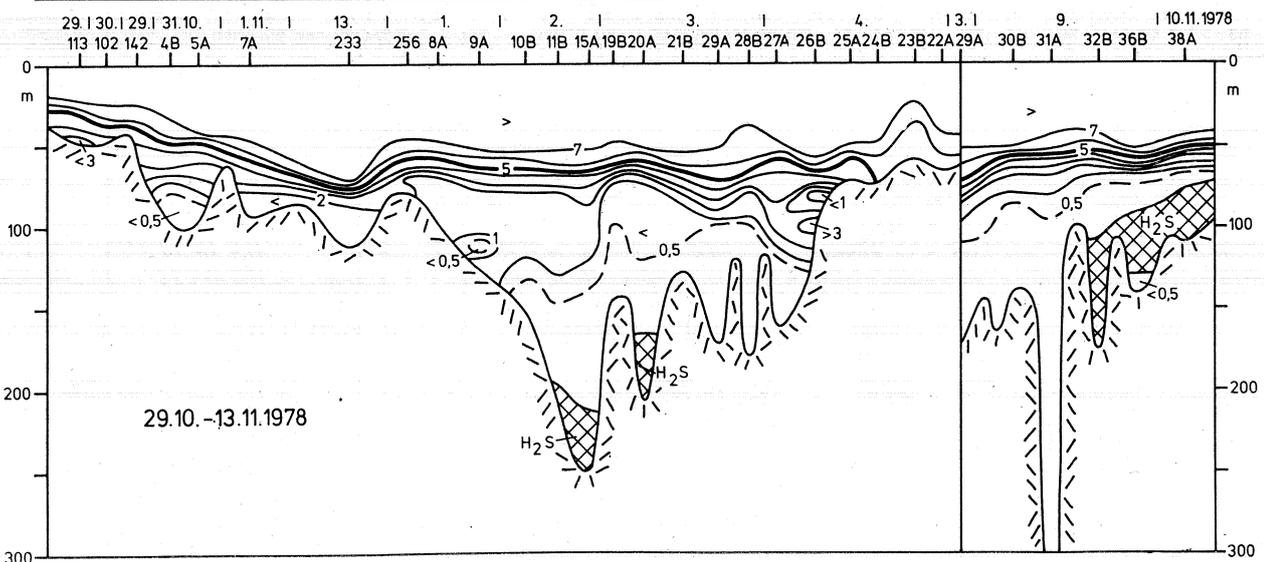


Abb. 4  
Sauerstoffverteilung  
ml/l



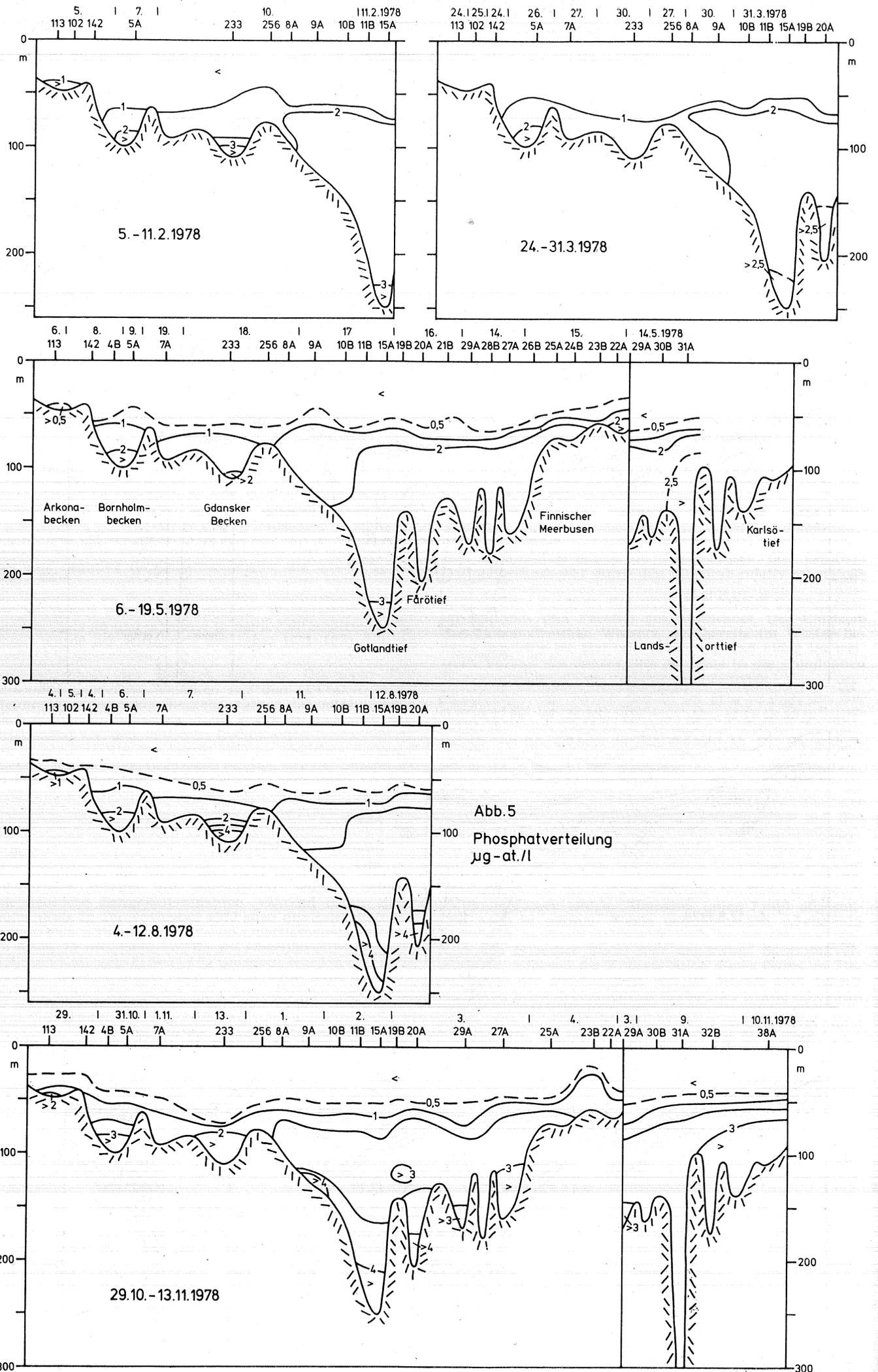


Abb.5  
Phosphatverteilung  
 $\mu\text{g-at./l}$

in dem Maße an, wie sich die Sauerstoffverhältnisse verschlechterten und anoxische Bedingungen entstanden. Am augenfälligsten war diese Entwicklung im Gotlandtief, wo der Anstieg im Zeitraum März bis November rund  $2 \mu\text{g-at./l}$  betrug. Die hohen Phosphatwerte im Gdanskner Tief, die im August gemessen wurden, sind ebenfalls eine Folge ungünstiger Sauerstoffverhältnisse, wobei jedoch kein Schwefelwasserstoff auftrat. Der Einstrom des relativ sauerstoffreichen und nährstoffarmen Wassers, der im östlichen Gotlandbecken unterhalb der thermohalinen Sprungschicht beobachtet wurde, spiegelt sich auch in der Phosphatverteilung wider.

Die Phosphat- und Nitratkonzentrationen ändern sich unter oxischen Bedingungen gleichsinnig. Im anoxischen Milieu

werden dagegen Phosphat und Ammonium angereichert, während Nitrat ebenso wie Nitrit unbeständig sind. Die Wechselwirkung zwischen diesen Verbindungen und den Sauerstoffverhältnissen wurde bereits in früheren Publikationen (8, 16) diskutiert.

Als Zwischenprodukte des chemisch-biologischen Stoffkreislaufs zeigen Ammonium- und Nitritstickstoff eine von den anderen Mikronährstoffen abweichende Vertikalverteilung. Sie werden im Verlauf der Vegetationsperiode zunächst unmittelbar über der thermohalinen Sprungschicht angereichert, breiten sich dann im kalten Zwischenwasser aus und erreichen schließlich im Spätherbst und Winter auch im oberflächennahen Bereich relativ hohe Konzentrationen (Abb. 7). Die niedrigsten Werte werden im Mai ge-

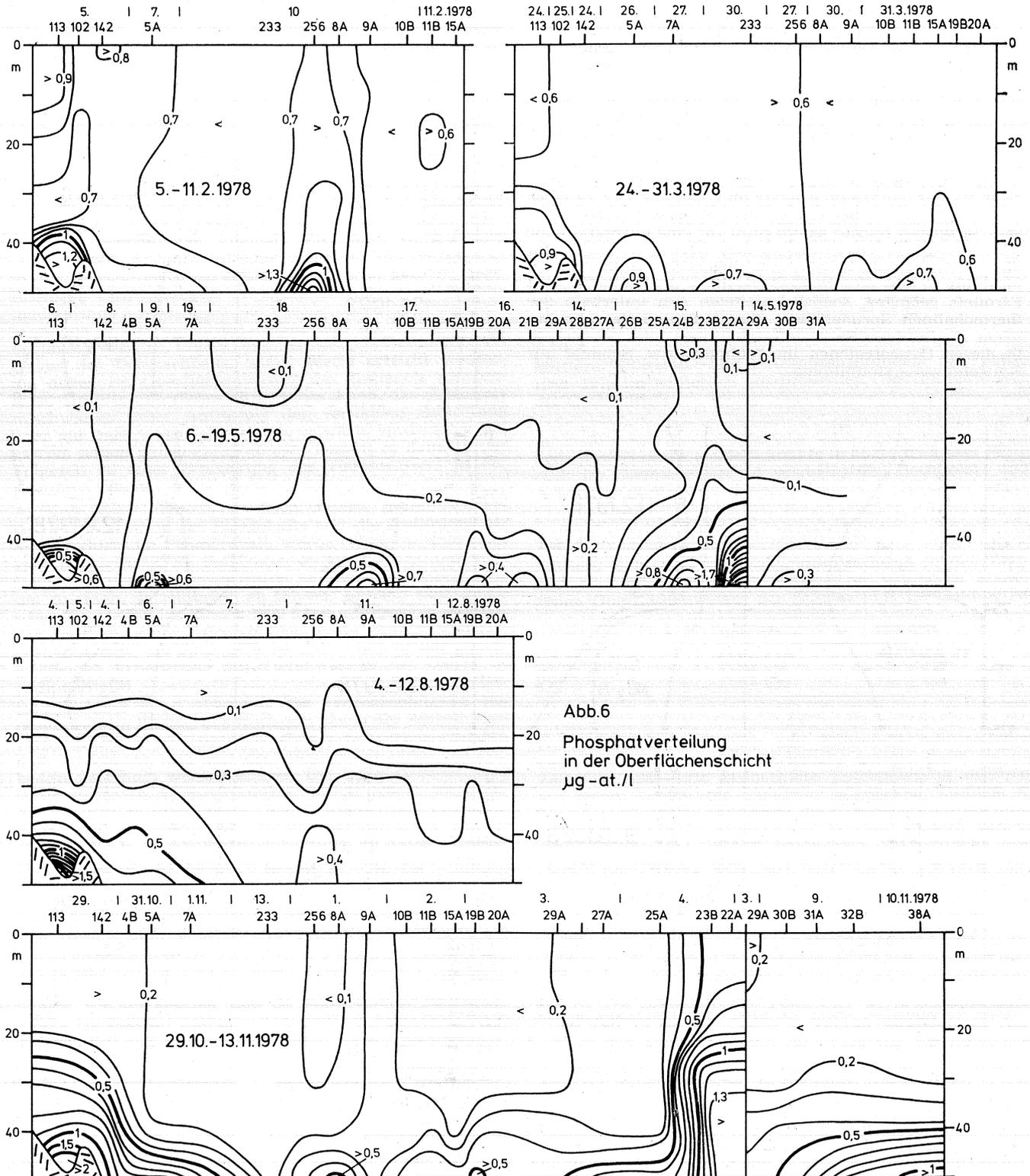


Abb. 6  
Phosphatverteilung  
in der Oberflächenschicht  
 $\mu\text{g-at./l}$

messungen. Unterhalb der thermohalinen Sprungschicht sind unter oxischen Bedingungen im allgemeinen nur geringe Ammonium- und Nitritkonzentrationen vorhanden.

Die am Beispiel des Gotlandtiefs erläuterte Vertikalverteilung des Ammonium- und Nitritstickstoffs in Abhängigkeit von der Jahreszeit wurde auch in anderen Ostseeregionen (7, 20) angetroffen. Abweichungen im Vergleich mit früheren Jahren treten besonders im Spätherbst auf, wo die Maxima beider Substanzen zumeist schwächer ausgebildet sind oder ganz fehlen, sowie im Februar, wo häufig niedrigere Ammoniumkonzentrationen beobachtet werden. Die ausgeprägten Maxima im August scheinen dagegen für den Spätsommer und den Beginn des Herbstes charakteristisch zu sein. Sie wurden auch im September (7, 20) nachgewiesen.

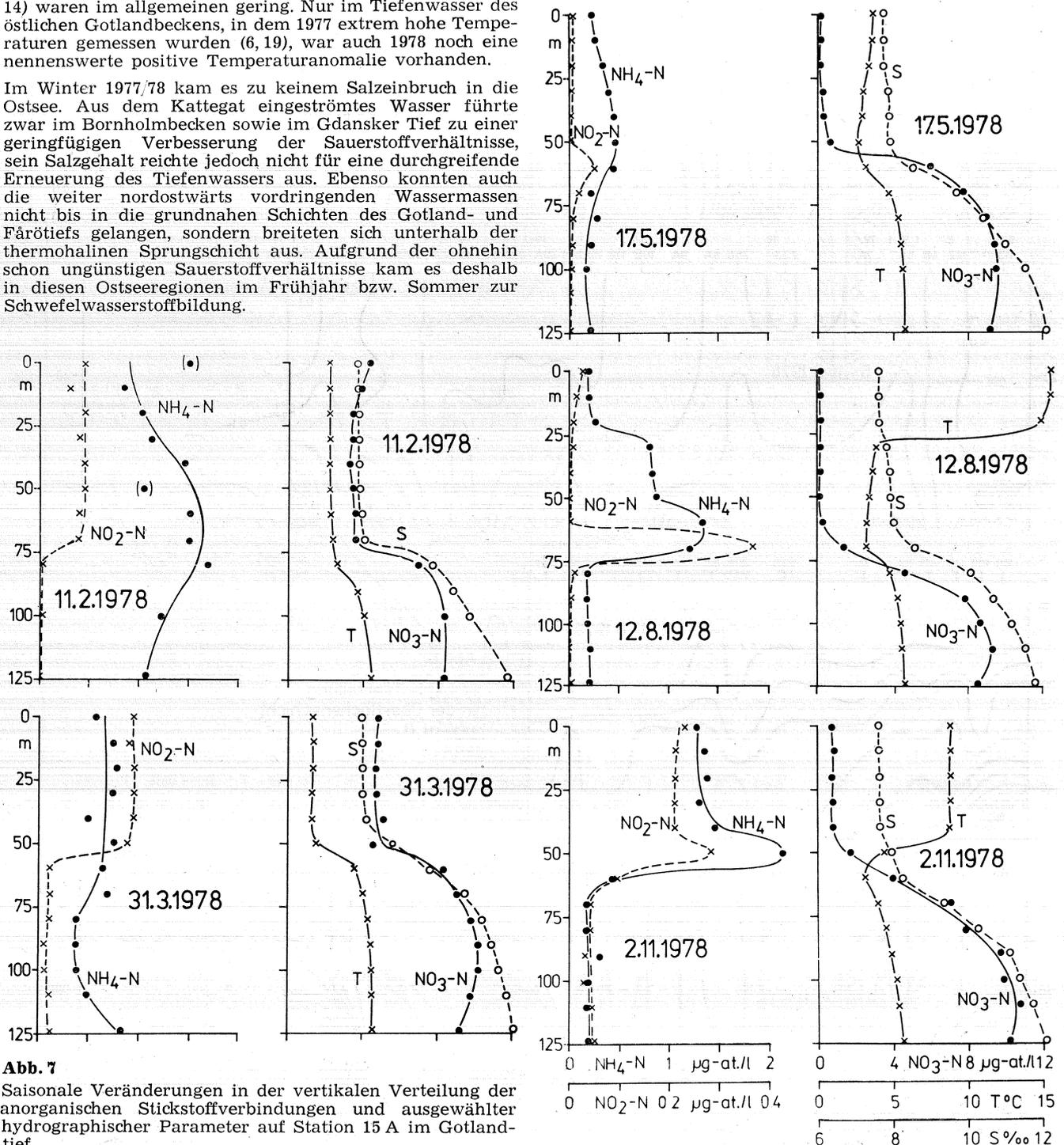
### 3. Diskussion der Ergebnisse

In bezug auf die Temperaturverhältnisse der Ostsee kann das Jahr 1978 als Durchschnittsjahr bezeichnet werden. Die Abweichungen von den mittleren Bedingungen (10, 11, 13, 14) waren im allgemeinen gering. Nur im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens, in dem 1977 extrem hohe Temperaturen gemessen wurden (6, 19), war auch 1978 noch eine nennenswerte positive Temperaturanomalie vorhanden.

Im Winter 1977/78 kam es zu keinem Salzeinbruch in die Ostsee. Aus dem Kattegat eingeströmtes Wasser führte zwar im Bornholmbecken sowie im Gdansker Tief zu einer geringfügigen Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse, sein Salzgehalt reichte jedoch nicht für eine durchgreifende Erneuerung des Tiefenwassers aus. Ebenso konnten auch die weiter nordostwärts vordringenden Wassermassen nicht bis in die grundnahen Schichten des Gotland- und Färötiefs gelangen, sondern breiteten sich unterhalb der thermohalinen Sprungschicht aus. Aufgrund der ohnehin schon ungünstigen Sauerstoffverhältnisse kam es deshalb in diesen Ostseeregionen im Frühjahr bzw. Sommer zur Schwefelwasserstoffbildung.

Anoxische Bedingungen wurden in der 2. Jahreshälfte auch im westlichen Gotlandbecken angetroffen. Aufgrund der Unterschichtung des schwefelwasserstoffhaltigen Tiefenwassers durch sauerstoffhaltiges kann man schließen, daß in diesem Becken eine advective Wassererneuerung begonnen hatte. Die Wassermassen, die zu dieser Umschichtung führten, hatten wahrscheinlich das östliche Gotlandbecken in mittleren Tiefen passiert und waren die Ursache dafür, daß es im Landsorttief 1978 nur zu einer geringen Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse, aber zu keiner Schwefelwasserstoffbildung kam.

Im Bornholmbecken und im Gdansker Tief entwickelten sich die Sauerstoffverhältnisse nicht ganz so ungünstig, wie aufgrund der Messungen im August 1978 vermutet werden mußte. Der nach diesen Untersuchungen erfolgte Zustrom von Tiefenwasser führte dazu, daß im Herbst kein Schwefelwasserstoff mehr im Bornholmbecken vorhanden war, während sich die Sauerstoffverhältnisse im grundnahen Bereich des Gdansker Tiefs sogar erheblich verbessert hatten.



**Abb. 7**  
Saisonale Veränderungen in der vertikalen Verteilung der anorganischen Stickstoffverbindungen und ausgewählter hydrographischer Parameter auf Station 15 A im Gotlandtief

Im Tiefenwasser der westlichen Ostseeregionen einschließlich der Arkonasee, wo die niedrigsten Sauerstoffkonzentrationen im Spätsommer auftreten (8, 13, 17), wurden keine extrem ungünstigen Sauerstoffverhältnisse beobachtet. Die Verteilung von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff in den grundnahen Wasserschichten aller untersuchten Ostseegebiete ist in Abb. 1 dargestellt.

Die allmähliche Abnahme des Salzgehalts und der Dichte im Tiefenwasser der zentralen Ostseeregionen, die im Verlauf des Jahres 1978 beobachtet wurde, hat zu einer Verringerung der Schichtungsstabilität geführt. Durch diese Aussüßung haben sich die Voraussetzungen für eine Erneuerung der grundnahen Wasserschichten der Ostsee verbessert.

Für die Erneuerung des Tiefenwassers der Ostsee sind ferner die hydrographischen Bedingungen im Südteil des Kattegats von Bedeutung (9, 21). Wenn im Herbst in diesem Seegebiet überdurchschnittlich hohe Salzkonzentrationen vorliegen, ist damit eine wichtige ozeanologische Voraussetzung für einen Salzeinbruch erfüllt. Wie besonders die Untersuchungen im November 1978 zeigten, lag der Salzgehalt im Oberflächenwasser des südlichen Kattegats über dem langjährigen Monatsmittel, während er im Tiefenwasser niedriger war. Diese Untersuchungen wurden in einer Periode starker bis stürmischer Winde aus westlichen bis südwestlichen Richtungen durchgeführt. Unsere bisherigen Erfahrungen reichen nicht aus, um entscheiden zu können, ob die beobachtete Salzgehaltsverteilung eine Folge der windbedingten Durchmischung und damit der örtlichen meteorologischen Bedingungen war, oder ob großräumige anomale Zirkulationsverhältnisse über dem Nordatlantik zu einer Erhöhung des Salzgehalts in den nordeuropäischen Schelfmeeren (2, 3) geführt hatte. Intensive Einstromlagen, deren Entstehung durch anhaltende Winde aus West bis Nord sowie durch niedrige Wasserstände in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken begünstigt werden, führen zu einer Salzgehaltszunahme im Gebiet des Fehmarnbells, wobei Werte erreicht werden, die denen im Oberflächenwasser des Kattegats entsprechen. Im Verlauf dieses Einstromes kann das Kattegatmischwasser unter Auflösung der vertikalen Schichtung über die Darßer Schwelle hinaus ostwärts vordringen. Bei extrem hohen Salzkonzentrationen kommt es dann in der Folgezeit zu einer Erneuerung des Tiefenwassers in der gesamten Ostsee.

Anfänge einer derartigen Einstromlage, gekennzeichnet durch den Anstieg des Salzgehalts und die Auflösung der Sprungschicht im Fehmarnbelt, wurden auch im November 1978 beobachtet. Die Salzkonzentrationen, die in diesem Gebiet gemessen wurden, waren jedoch nicht ausreichend, um zu einem Salzeinbruch zu führen. Anhand ozeanologischer Messungen im Januar 1979 kann eingeschätzt werden, daß sie auch in der Folgezeit nicht mehr nennenswert angestiegen sind. Im Jahr 1979 ist daher mit keiner durchgreifenden Erneuerung des Tiefenwassers der Ostsee zu rechnen.

Rückblickend kann aufgrund der hydrographischen Bedingungen im Südteil des Kattegats sowie der Schichtungsverhältnisse in der zentralen Ostsee festgestellt werden, daß im Herbst 1978 mit der Möglichkeit eines Salzeinbruchs gerechnet werden konnte. Die dafür erforderlichen ozeanologischen Voraussetzungen waren jedoch ungünstiger als 1975/76 und 1976/77, wo im Gebiet des Fehmarnbells noch salzreichere Wassermassen beobachtet wurden (18, 19), die in der Folgezeit tatsächlich zu Salzeinbrüchen führten. Durch die häufigen Ostwetterlagen im Dezember 1978 und zu Beginn des Jahres 1979 scheinen außerdem die meteorologischen Bedingungen für den Einstrom größerer Mengen Kattegatwassers ungünstig gewesen zu sein. Seit einigen Jahren ist die Tendenz zu verzeichnen, daß der Nährstoffgehalt im winterrlich homogenen Oberflächenwasser der Ostsee ansteigt (5, 18). Diese Tendenz wird auch durch die relativ hohen Phosphat- und Nitratkonzentrationen, die im Februar und im März 1978 in der homogenen Deckschicht nachgewiesen wurden, unterstrichen. In Abb. 8 sind die mittleren Nährstoff- und Salzkonzentrationen dieser Schicht in den Jahren 1969–1978 dargestellt, wobei die Untersuchungen im Gotlandtief als Beispiel dienen. Die über die Zeiträume 1969–1973 und 1974–1978 gemittelten Werte sind in Tab. 3 zusammengefaßt. Ebenso wie die Abb. 8 zeigen auch diese Werte, daß während der 70iger Jahre in zunehmendem Maße Nährstoffe in die winterrlich homogene Deckschicht der Ostsee gelangt sind. Diese Eutrophierung war nicht auf das östliche Gotland-

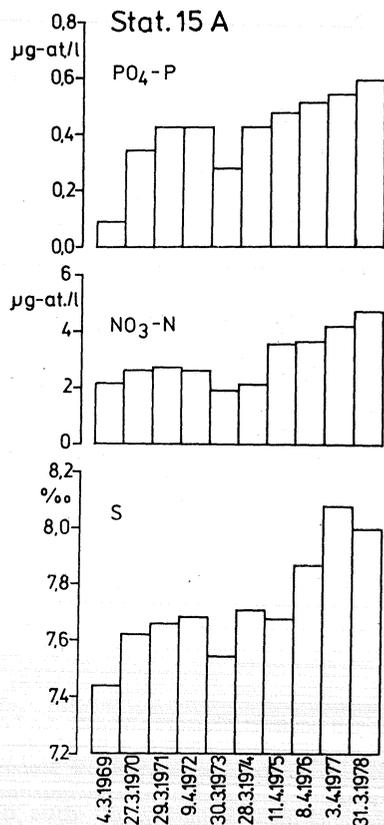


Abb. 8

Mittlere Nährstoff- und Salzkonzentrationen der Jahre 1969–1978 im winterrlich durchmischten Oberflächenwasser des Gotlandtiefs

becken beschränkt, sondern konnte in abgeschwächter Form auch im Gdansk-Becken sowie in der Bornholm- und Arkonasee nachgewiesen werden.

Tab. 3

Mittlere Nährstoff- und Salzkonzentrationen in den Zeiträumen 1969–1973 und 1974–1978 im winterrlich homogenen Oberflächenwasser der Station 15 A im Gotlandtief

	1969–1973	1974–1978
PO <sub>4</sub> -P µg-at./l	0,34 ± 0,14	0,52 ± 0,07
NO <sub>3</sub> -N µg-at./l	2,40 ± 0,36	3,63 ± 0,98
S ‰	7,59 ± 0,10	7,87 ± 0,18

Da parallel zum Anstieg der Nährstoffkonzentrationen auch eine Zunahme des Salzgehalts eintrat, steht die im Zeitraum 1969–1978 beobachtete Eutrophierung offenbar mit einem verstärkten Einstrom salzreichen Wassers im Zusammenhang. Salzeinbrüche, die zu einer durchgreifenden Umschichtung des Tiefenwassers führten, wurden 1968/69 1972, 1975/76 und 1976/77 beobachtet. Sie verteilen sich relativ gleichmäßig über den untersuchten Zeitraum und können damit nicht als alleinige Ursache für die verstärkte Nährstoffzufuhr in die oberflächenschicht der Ostsee angesehen werden.

Neben den Salzeinbrüchen mit ihren augenfälligen hydrographisch-chemischen Veränderungen im Tiefenwasser muß in zunehmendem Maße Wasser in die mittleren Schichten der Ostsee eingeströmt sein. Diese Wassermassen passieren das Bornholmbecken, ohne zu einer durchgreifenden Erneuerung des Bodenwassers zu führen. Im östlichen Gotlandbecken breiten sie sich unterhalb der thermohalinen Sprungschicht aus, wobei sie 1978 besonders an ihrem höheren Sauerstoffgehalt zu erkennen waren (Abb. 4). Dieser Einstrom in die mittleren Wasserschichten bewirkt ebenso wie die Salzeinbrüche einen aufwärts gerichteten Massentransport, der die Ursache der verstärkten Nährstoff- und Salzzufuhr in die oberflächenschicht der Ostsee ist.

Wie die Zunahme des Salzgehalts zeigt, hängt die Eutrophierung, die im Zeitraum 1969–1978 in der winterlich homogenen Deckschicht der Ostsee beobachtet wurde, eng mit hydrographischen Prozessen zusammen. Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, daß in den letzten Jahrzehnten auch eine starke Nährstoffanreicherung im Tiefenwasser der Ostsee eingetreten ist (4), die im Falle des Phosphats vor allem anthropogene Ursachen hat. Das Tiefenwasser, das durch dynamische Prozesse in die Oberflächenschicht gelangt, enthält deshalb im Mittel zunehmende Phosphat- und Nitratkonzentrationen.

Ammonium- und Nitritstickstoff sind Zwischenprodukte der Mineralisierung und Nitrifikation. Im Verlauf der Vegetationsperiode und der thermischen Stabilisierung werden sie in der kalten Zwischenschicht, in der die Wintertemperaturen „konserviert“ sind, angereichert, wobei ihre Maxima mit dem intermediären Temperaturminimum zusammenfallen (Abb. 7). Diese Verteilung wird durch biochemische Abbauprozesse sowie durch das Lichtangebot bestimmt. Während in der lichtdurchfluteten Oberflächenschicht die sofortige photosynthetische Umsetzung des remineralisierten Ammonium- und Nitritstickstoffs erfolgt,

können diese beiden Stickstoffverbindungen in der kalten Zwischenschicht wegen des herrschenden Lichtmangels nicht mehr oder nur noch unvollständig durch das Phytoplankton verwertet werden. Außerdem erschwert die stabile Temperatursprungschicht ihre Rückkehr in die euphotische Zone. Die im Bereich des Temperaturminimums, unmittelbar oberhalb der thermohalinen Sprungschicht, beobachteten Ammonium- und Nitritmaxima stehen vermutlich mit einer Anreicherung von organischem Detritus und Zooplankton, verbunden mit einer verstärkten Destruktion und Exkretion, im Zusammenhang.

Infolge Verringerung der Lichtintensität und der Photosynthese steigt der Ammonium- und Nitritgehalt im Herbst auch im oberflächennahen Bereich der Ostsee an. Die Konzentrationsabnahme beider Stickstoffverbindungen im winterlich homogenen Oberflächenwasser hängt mit der weiteren Nitrifikation zusammen, bei der Nitratstickstoff als stabiles Endprodukt der biochemischen Stickstoffoxydation angereichert wird. Der Kreis schließt sich mit der Massentwicklung des Phytoplanktons im Frühjahr, die zu einer allgemeinen Nährstoffverarmung in der euphotischen Schicht der Ostsee führt.

## Literatur

1. BOCK, K.-H.: Monatskarten des Salzgehalts der Ostsee dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte  
Dt. Hydrogr. Zeitsch., Erg. H., R. B., Nr. 12 (1971), 1–147
2. DICKSON, R. R.: A recurrent and persistent pressure-anomaly pattern as the principal cause of intermediate-scale hydrographic variation in European shelf seas  
Dt. Hydrogr. Zeitsch. 24 (1971), 97–119
3. DICKSON, R. R.: The predication of major Baltic inflow  
Dt. Hydrogr. Zeitsch. 24 (1973), 97–104
4. FONSELIUS, K. H.: Hydrography of the Baltic deep basins  
Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. 23 (1969), 1–97
5. FONSELIUS, S. H.: On phosphorus in Baltic surface water  
III. Meddelande Havsfiskelab. Lysekil 206 (1976), 1–3
6. FONSELIUS, S. H.: An inflow of unusually warm water into the Baltic deep basins  
Meddelande Havsfiskelab. Lysekil 229 (1977), 1–15
7. GRUNDERSEN, K., RÖNNER, U., ENOKSSON, V., SÖRENSSON, F., RUDEN, L.: Distribution of various forms of nitrogen and their biological transformation in the Baltic Sea, September 1977  
Proc. XI Conf. Baltic Oceanographers 1978, paper no 13, 234–248
8. FRANCKE, E., NEHRING, D., ROHDE, K.-H.: Zur Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee  
Beitr. Meeresk. 39 (1977), 25–35
9. KÄNDLER, R.: Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee  
Dt. Hydrogr. Zeitsch. 4 (1951), 150–160
10. MATTHÄUS, W.: Zur Hydrographie der Gotlandsee I. Säkulare Variationen von Salzgehalt und Temperatur  
Beitr. Meeresk. 29 (1972), 35–51
11. MATTHÄUS, W.: Zur Hydrographie der Gotlandsee II. Der mittlere Jahresgang der Temperatur in Oberflächennähe.  
Beitr. Meeresk. 32 (1973), 109–114
12. MATTHÄUS, W.: Zur Hydrographie der Gotlandsee IV. zum mittleren Jahresgang des Sauerstoffgehalts im Oberflächenbereich des Gotlandtiefs  
Beitr. Meeresk. 33 (1974), 141–151
13. MATTHÄUS, W.: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY 2 A auf 55° N, 14° E  
Beitr. Meeresk. 36 (1975), 5–27
14. MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee  
Beitr. Meeresk. 40 (1977), 117–155
15. MÖCKEL, F.: Die ozeanologische Meßkette OM 75 – eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe  
Beitr. Meeresk. 43 (1979), im Druck
16. NEHRING, D.: Untersuchungen zum Problem der Denitrifikation und Stickstoffentbindung im Tiefenwasser der Ostsee  
Beitr. Meeresk. 33 (1974), 135–139
17. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1972 unter besonderer Berücksichtigung des Salzwasser-eintruchs im März/April 1972  
Fischerei-Forsch. 12 (1974), 23–33
18. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Die Erneuerung des Tiefenwassers und andere hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1976  
Fischerei-Forsch. 16 (1978), 15–24
19. NEHRING, D., FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1977  
Fischerei-Forsch. 19 (1979), im Druck
20. NEHRING, D., BROSI, H.-J., SCHULZ, S.: Space-temporal variations of some oceanological factors in the BOSEX 77 area  
Proc. XI Conf. Baltic Oceanographers 1978, paper no. 11, 212–219
21. WYRTKI, K.: Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951  
Kieler Meeresforsch. 10 (1954), 19–25
22. ———: The Baltic Year 1969/70. Program manual  
Göteborg 1968
23. ———: Oceanografiske Observationer fra Danske Fyrskibe og Kyststationer 1970  
Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund 1971