

Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee nach dem extremen Eiswinter 1978/79

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

Der extreme Eiswinter 1978/79 verursachte im Oberflächenwasser der Ostsee eine negative Temperaturanomalie, die besonders in der Belt- und Arkonasee stark ausgeprägt war und in östlicher Richtung abnahm. Im Winter und Frühjahr 1979 erfolgte kein Salzwassereinbruch in die Ostsee. Der Einstrom in die Zwischenschicht des Östlichen Gotlandbeckens bewirkte jedoch, daß die vertikale Ausdehnung der anoxischen Tiefenschicht abnahm. Im Verlauf des Sommers dehnte sich das schwefelwasserstoffhaltige Tiefenwasser in kurzer Zeit erneut aus. Die Voraussetzungen für die Erneuerung des Bodenwassers in den zentralen Becken der Ostsee verbesserten sich im Verlauf des Jahres 1979, weil der Salzgehalt der Tiefenschicht infolge horizontaler und vertikaler Austauschprozesse abnahm. Der Beginn einer Wasserumschichtung wurde jedoch erst im Frühjahr 1980 beobachtet.

1. Einleitung

Zur Untersuchung der ozeanologischen Veränderungen in der Ostsee werden seit mehr als 2 Jahrzehnten vom Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR in Rostock-Warnemünde saisonale Terminfahrten durchgeführt. Im Jahre 1979 konnten nur im Januar, im August und im Oktober/November hydrographisch-chemische Messungen erfolgen, während die März/April- sowie die Mai-Terminfahrt aus technischen Gründen ausfallen mußte. Infolge ungünstiger Eisverhältnisse waren die Untersuchungen im Januar auf die Seegebiete zwischen Fehmarnbelt und Slupsker Rinne beschränkt. Im August erstreckten sie sich bis in die nördliche Gotlandsee und im Oktober/November bis zum Finnischen Meerbusen. Mitte November 1979 wurden auch im südlichen Kattegat Untersuchungen durchgeführt.

Die ozeanologischen Messungen erfolgten vorrangig auf den Standardstationen und -profilen, die anlässlich des Internationalen Ostseejahres 1969/70 (23) festgelegt wurden oder Bestandteil des Monitoring-Programms der Konvention zum Schutz der marinen Umwelt der Ostsee vom 22.3.1974 sind (Abb. 1). Diese Stationen gehören zur Kategorie I*) des ICODS-Ostsee**). Darüber hinaus wurden in der westlichen Ostsee, im Arkona- und Bornholmbecken, im Gdanskertief sowie im Südtteil des Östlichen Gotlandbeckens zusätzliche Untersuchungen durchgeführt, die jedoch in der folgenden Auswertung nur berücksichtigt werden, wenn dies für die Charakterisierung der ozeanologischen Bedingungen von Bedeutung ist.

Das hydrographisch-chemische Standardmeßprogramm für die Ostsee umfaßt die Wassertemperatur, die quantitative Bestimmung des Salzgehalts, des Sauerstoffs und Schwefelwasserstoffs sowie der wichtigsten Mikronährstoffe ($PO_4\text{-P}$, $NO_3\text{-N}$, $NO_2\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$). Daneben wurden auf ausgewählten Stationen der Gehalt an organisch gebundenem Phosphor und Stickstoff, an organisch gebundenem Kohlenstoff sowie an Harnstoff und Kohlenhydraten ermittelt und der pH-Wert gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in anderem Zusammenhang ausgewertet.

Die Wassertemperatur sowie der Salz- und Sauerstoffgehalt wurden quasikontinuierlich mittels der vom Institut für Meereskunde in Warnemünde entwickelten Tiefsee-sonde OM 75 (15), die auch die Entnahme von 12 Wasserproben gestattet, registriert. Die in den Schnittdarstellungen benutzten Salzgehalts- und Sauerstoffwerte wurden jedoch in Einzelproben bestimmt. Die Analysemethoden, die für die hydrographisch-chemischen Messungen verwendet wurden, sind von ROHDE und NEHRING (22) zusammengefaßt. Neben diesen Messungen wurden ferner meteorologische Beobachtungen durchgeführt.

*) Von der Konferenz der Ostseeozeanographen festgelegte Stationen in internationalen Gewässern
**) ICODS = International Catalogue of Ocean Data Stations

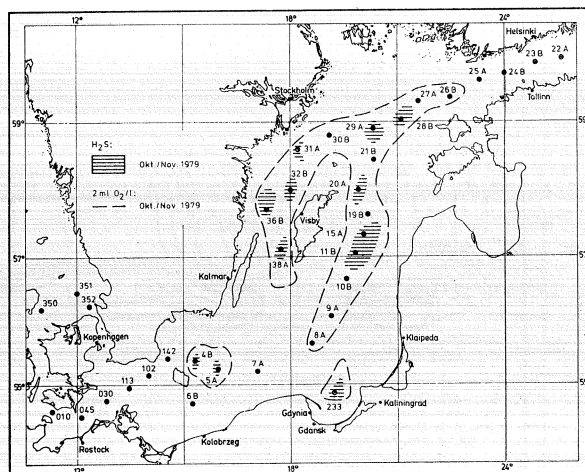


Abb. 1
Stationskarte und Gebiete ungünstiger Sauerstoffverhältnisse in der grundnahen Wasserschicht der Ostsee

2. Hydrographisch-chemische Veränderungen

Zur Charakterisierung der saisonalen hydrographisch-chemischen Veränderungen wurde die Verteilung ausgewählter Parameter wie Temperatur (Abb. 2), Salz (Abb. 3), Sauerstoff (Abb. 4) sowie Phosphat (Abb. 5) wiederum in Form ozeanologischer Längsschnitte durch die tiefen Becken und Mulden der Ostsee dargestellt. Diese Darstellungsform wird bereits seit 1969 verwendet. Sie hat sich bewährt und erleichtert den Vergleich mit früheren Jahren. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß aus technischen Gründen sowie in Abhängigkeit vom Wetter Abweichungen im Verlauf der saisonalen Meßfahrten auftreten und die Untersuchungen auf den einzelnen Stationen häufig nicht zum gleichen Termin erfolgen können.

Für 1979 wurde erstmals auch die Nitratverteilung dargestellt (Abb. 6). Außerdem wurden bei der Salzgehalts- und Phosphatverteilung zusätzliche Isolines eingezeichnet, die ergänzende Informationen über die Bedingungen in der Oberflächenschicht vermitteln. Dafür entfällt die spezielle Darstellung des Phosphatgehalts in dieser Schicht.

2.1. Temperaturverteilung

In der letzten Januardekade 1979 wurden in der Oberflächenschicht der westlichen Ostseeregionen sehr niedrige Temperaturen gemessen. Da die Darstellung der Iso-

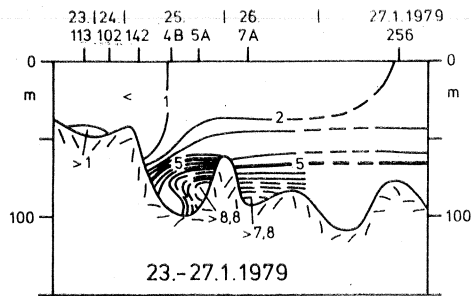
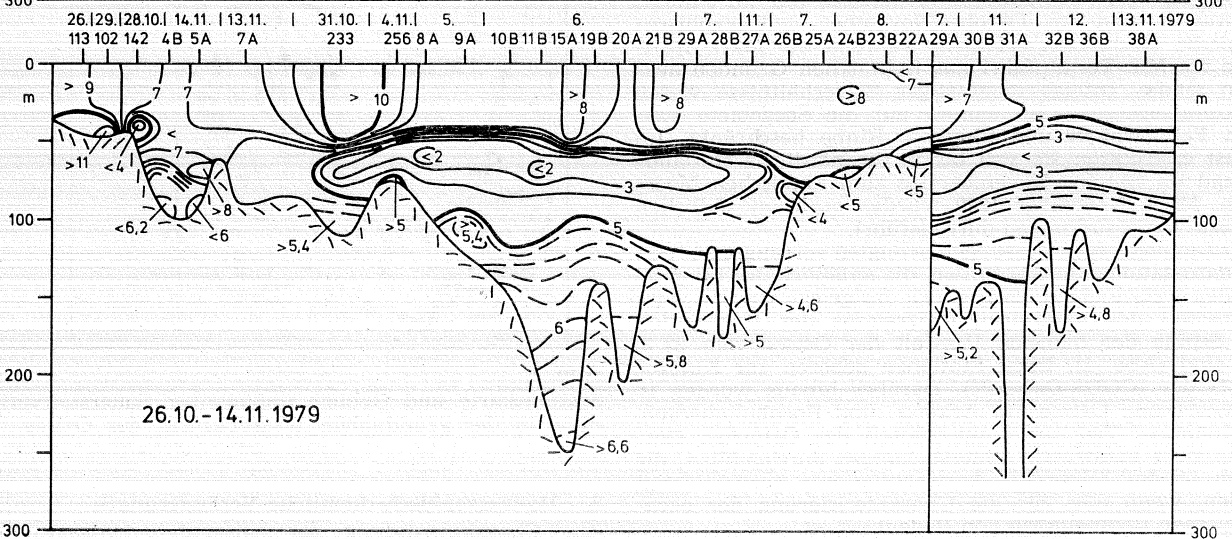
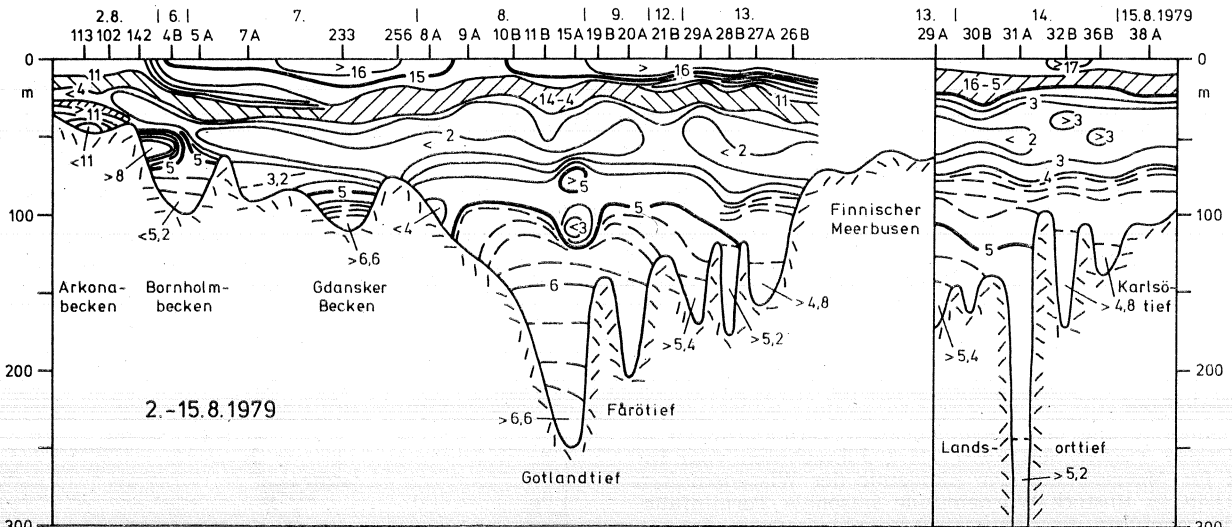


Abb. 2
Temperaturverteilung
°C



linien (Abb. 2) die Temperaturverhältnisse nur grob wiedergibt, sind in Tab. 1 die Wassertemperaturen an der Oberfläche ausgewählter Stationen in den westlichen und südlichen Teilgebieten der Ostsee zusammengestellt. Sie zeigen von Ost nach West einen sehr kräftigen Rückgang. Unter Bezugnahme auf die mittleren monatlichen Wassertemperaturen 1949–1978 am Feuerschiff „Fehmarnbelt“ (20) sowie auf die von LENZ (9) bzw. von MATT-HÄUS (11) dargestellten mittleren Bedingungen waren die Temperaturen in der Beltsee (Stat. 010, 045) um 2,5–3 °C und im westlichen Arkonabecken (Stat. 030, 113) um

Tabelle 1

Wassertemperaturen an der Oberfläche in den westlichen und südlichen Teilgebieten der Ostsee im Januar 1979

Stat.	°C	Datum	Stat.	°C	Datum
010	-0,52	22. 1. 1979	142	0,78	25. 1. 1979
045	-0,44	23. 1. 1979	4B	1,00	25. 1. 1979
030	0,00	23. 1. 1979	5A	1,78	25. 1. 1979
113	0,00	23. 1. 1979	7A	1,47	26. 1. 1979
102	0,64	24. 1. 1979	256	2,04	27. 1. 1979

1,5–2 °C zu niedrig. Ähnlich hoch wie in dem letzten Becken war auch die negative Temperaturabweichung in der Bornholmsee (Stat. 4B, 5A), während sie in der Gotlandsee (Stat. 256) auf etwa 1 °C zurückging. Die maximalen sommerlichen Mitteltemperaturen wurden nur in der warmen Deckschicht der zentralen Ostseeregionen sowie der Beltsee erreicht. Im Arkonabecken blieb die Erwärmung um 3–4 °C, in der Bornholmsee um 1–1,5 °C darunter. Das kalte baltische Zwischenwasser war überdurchschnittlich scharf ausgeprägt und wies mit 1,5–2 °C sehr niedrige Temperaturen auf, die um 1–1,5 °C unter den mittleren Bedingungen lagen. In der grundnahen Wasserschicht der Beltsee und des Arkonabeckens, die ebenso wie die oberflächennahen durch einen ausgeprägten Jahresgang gekennzeichnet ist (5, 10), lagen die Temperaturen im Januar sogar um 3–4 °C unter den mittleren Bedingungen. Im Tiefenwasser des Bornholmbekens, in dem die Jahresschwankung nur noch gering ist (11), waren keine nennenswerten Abweichungen mehr vorhanden. Im Westteil dieses Beckens zeichneten sich jedoch im Januar Intrusionen kälteren Wassers aus dem Arkonabecken ab, die im August zu einem Temperaturrück-

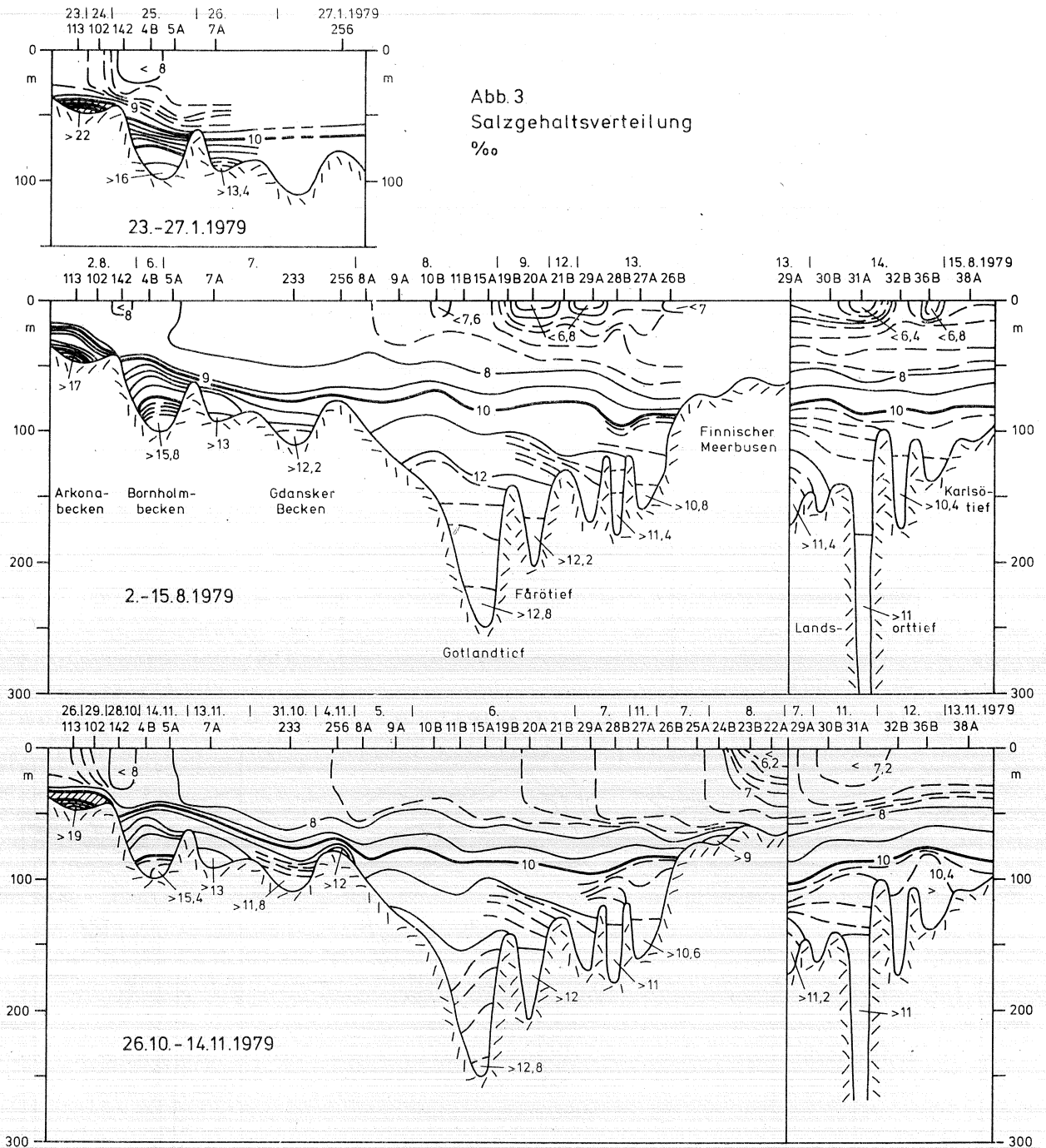


Abb. 3
Salzgehaltsverteilung
‰

gang um 2–3 °C geführt hatten (Abb. 2). Der Zustrom wärmeren Wassers bewirkte in der Folgezeit einen Temperaturanstieg, der etwa 1 °C betrug. Ins Gdansker Tief strömte in der 2. Jahreshälfte kälteres Tiefenwasser ein und verursachte eine Temperaturabnahme um etwa 1,2 °C. In den grundnahen Wasserschichten der anderen zentralen Becken der Ostsee wurden keine oder nur geringe Temperaturänderungen beobachtet.

2.2. Salzgehaltsverteilung

Die saisonalen Veränderungen in der Verteilung des Salzgehaltes werden für die zentralen Teilgebiete der Ostsee anhand der Abb. 3 erläutert. Der Tendenz der Vorjahre folgend (16, 19), wurden auch 1979 Salzkonzentrationen an der Oberfläche gemessen, die während des sommerlichen Minimums im Bornholmtief um 0,5 ‰ und im Gotlandtief um 0,6–0,7 ‰ über den jahreszeitlichen Mittelwerten von 1902–1976 (12) lagen. Berücksichtigt man den seit Beginn dieses Jahrhunderts im Mittel ansteigenden Trend des Salzgehaltes (14), sind die Abweichungen geringer, aber immer noch deutlich ausgeprägt. Im Ober-

flächenwasser des Färö- und Landsorttiefs wurden im August keine Abweichungen von den jahreszeitlichen Mittelwerten festgestellt, während im Westlichen Gotlandbecken wiederum eine schwach positive Salzgehaltsanomalie von 0,2–0,3 ‰ vorhanden war.

Ebenso wie im Vorjahr (19) wurde auch 1979 ein weiterer Rückgang des Salzgehalts in der grundnahen Wasserschicht des Bornholmbeckens beobachtet. Innerhalb eines Jahres betrug die Abnahme rund 0,8 ‰. Der Mitte November 1979 in 88–89 m Tiefe gemessene Salzgehalt von 15,4 ‰ lag damit nur noch um 0,5 ‰ über dem Minimum der Jahre 1969–1978.

Im Gdansker Tief wurde in der 2. Jahreshälfte eine starke Abnahme des Salzgehalts festgestellt, die mit 0,4 ‰ dem im gleichen Zeitraum beobachteten Rückgang im Bornholmbecken entsprach. Eine ähnliche Ausübung des Tiefenwassers trat auch im Nördlichen Gotlandbecken ein. In den grundnahen Wasserschichten des Gotland- und Färötiefs, des Landsorttiefs sowie des Karlsö- und Norrköpingtiefs (Stat. 32B) hatte der Salzgehalt im Vergleich zum Vorjahr (19) dagegen nur um 0,1–0,2 ‰ abgenommen.

Die wichtigste ozeanologische Voraussetzung für einen Salzwassereinbruch in die Ostsee sind überdurchschnittlich hohe Salzkonzentrationen im südlichen Kattegat (7, 24) bzw. eine stark positive Salzgehaltsanomalie im Tiefenwasser des Fehmarnbells (23). Deshalb wurde der vertikalen Verteilung des Salzgehalts in diesen Gebieten besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die entsprechenden Salzgehaltswerte sind in Tab. 2 zusammengefasst. Bei den Untersuchungen im südlichen Kattegat wurde vor allem im Tiefenwasser eine positive Salzgehaltsanomalie ermittelt, die 1–3 ‰ betrug. In der Oberflächenschicht waren die Abweichungen geringer und erreichten nur 1–2 ‰. Verglichen mit früheren Jahren (z.B. 17, 18, 19), war der Salzgehalt, der im Oktober/November 1979 im Fehmarnbell gemessen wurde, relativ niedrig. An der Oberfläche wurde der Monatsmittelwert des Zeitraumes 1949–1978 (20) nur knapp erreicht, während er im Bodenwasser sogar um etwa 4 ‰ darunter lag. Während der Untersuchungen im Kattegat und im Fehmarnbell herrschten Ausstromlagen. Außerdem verursachten südliche Winde der Stärke 7–8 der Beaufort-Skala eine kräftige vertikale Vermischung, was sich besonders in der Salzgehaltsverteilung der relativ landfernen Station 351 (Tab. 2) widerspiegelt.

2.3. Sauerstoffverteilung
 Als alternierende Größen, die sich im allgemeinen gegenseitig ausschließen, kann die Verteilung des Sauerstoffs und des Schwefelwasserstoffs in den gleichen Abbildungen dargestellt werden. Grundlage für die nachfolgenden Erörterungen sind die Abb. 1 und 4.
 Der Sauerstoffgehalt in der Oberflächenschicht der Ostsee weist jahreszeitliche Unterschiede auf, die vor allem durch den Jahresgang der Temperatur und die Massenentwicklung des Phytoplanktons im Frühjahr bestimmt werden. Geringe Abweichungen vom mittleren Jahresgang (13) hängen von der unterschiedlichen Abkühlung und Erwärmung des Wassers sowie von der Intensität der Phytoplankton-Massenentwicklung ab. Im Sommer, besonders im August, zeichnet sich das baltische Zwischenwasser nicht nur durch niedrige Temperaturen, sondern auch durch ein intermediäres Sauerstoffmaximum aus.

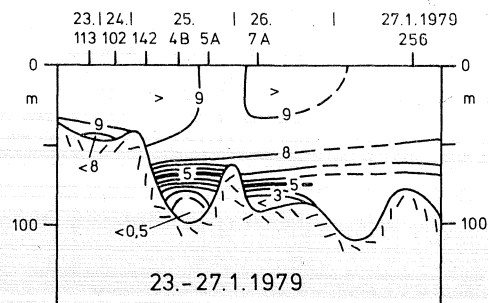


Abb. 4
 Sauerstoffverteilung
 ml/l

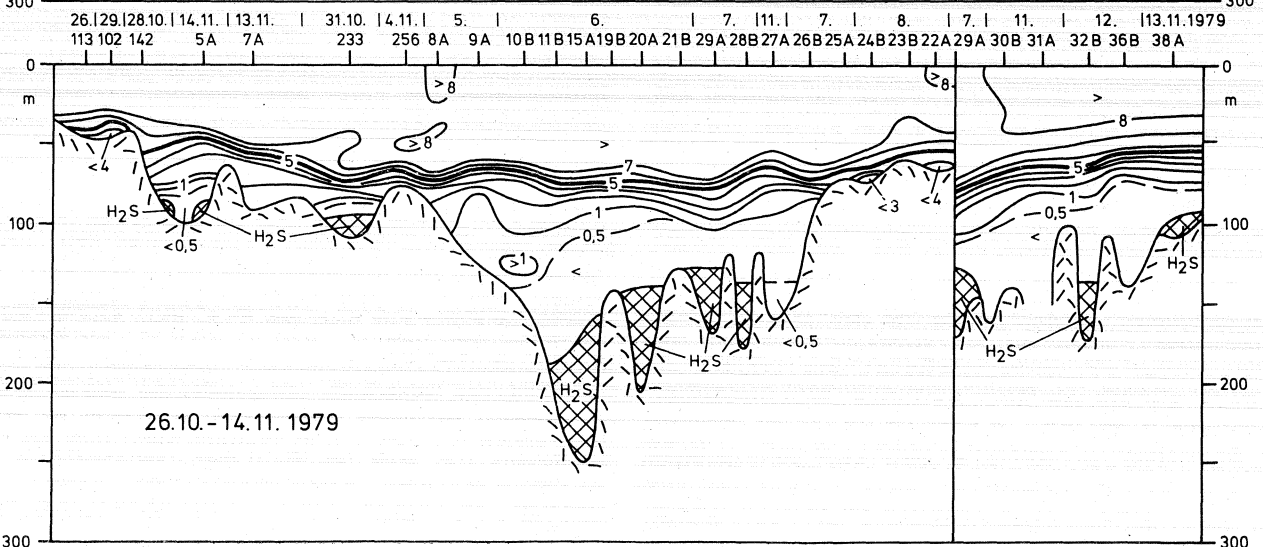
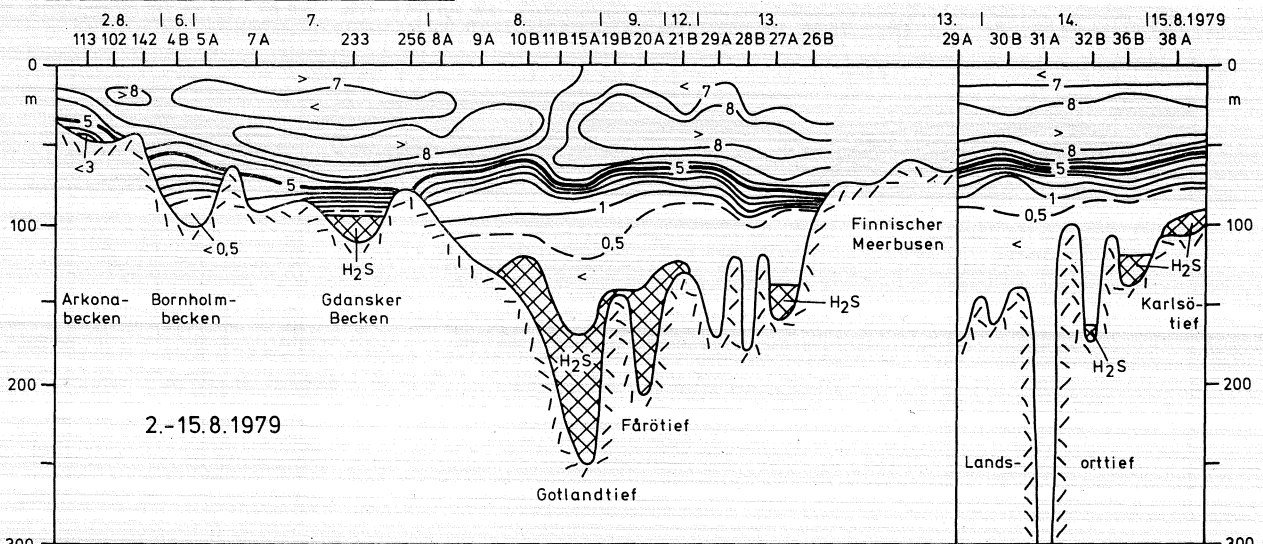


Tabelle 2

Novemberrmittelwerte des Salzgehaltes 1931–1960 beim Feuerschiff „Kattegat SW“ (56°05,0'N, 11°08,8'E) sowie Salzkonzentrationen im südlichen Kattegat (Stat. 350, 351, 352) und im Fehmarnbelt (Stat. 010) im Oktober/November 1979

Tiefe (m)	„Kattegat SW“ (24) 1931–1960	350 18. 11.	351 17. 11.	352 18. 11.	010 24. 10.	010 16. 11.	010 19. 11.
0–1	19,8	21,77	21,71	19,78	13,03	16,58	15,13
5	20,3	21,77	21,72	19,21	13,03	16,58	15,20
10	22,5	21,90	22,58	23,35	13,05	16,58	15,44
15	26,4	30,89	25,62	32,62	13,15	16,62	15,69
20	29,2	31,63 (18 m)	26,97	33,62	13,30	17,71	16,04
30	30,6		33,86		15,79 (25 m)	20,95 (25 m)	16,68 (25 m)
37	30,9		33,88 (33 m)				

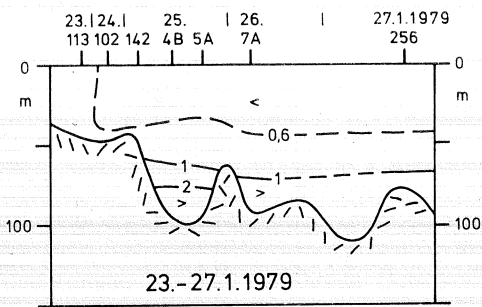
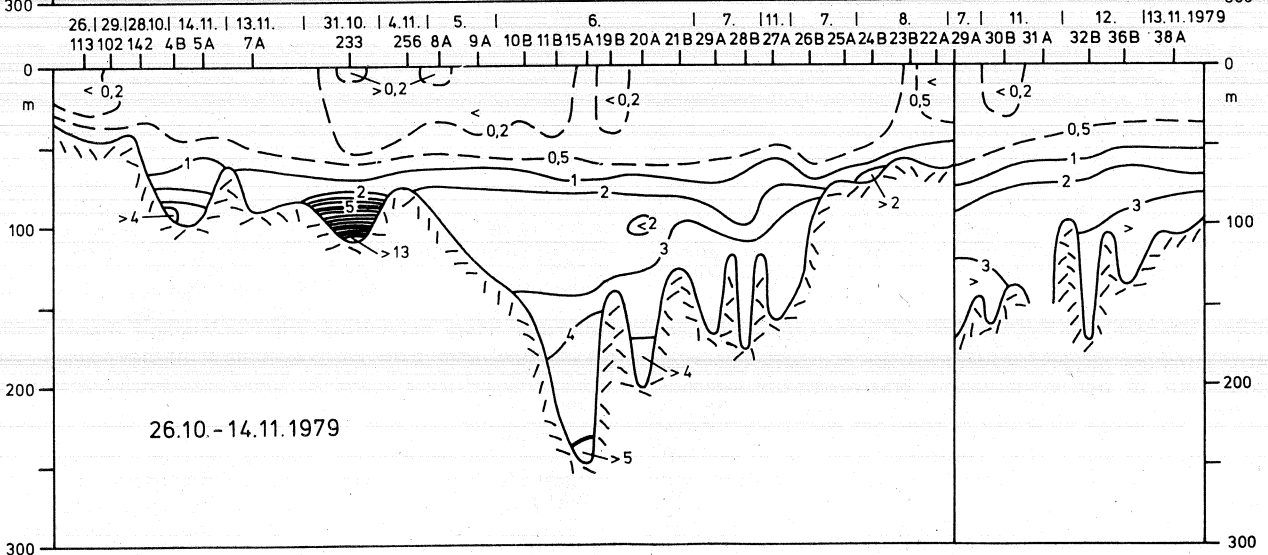
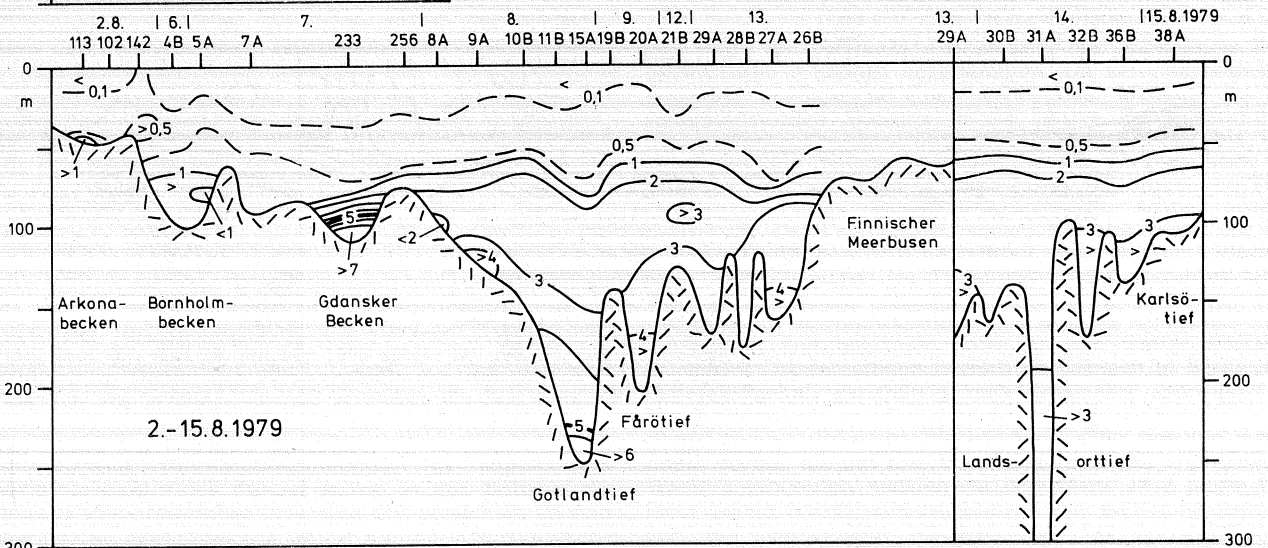


Abb. 5
Phosphatverteilung
µg-at./l



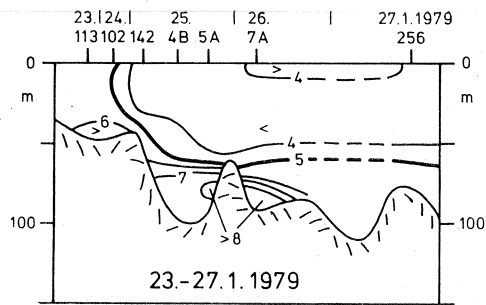
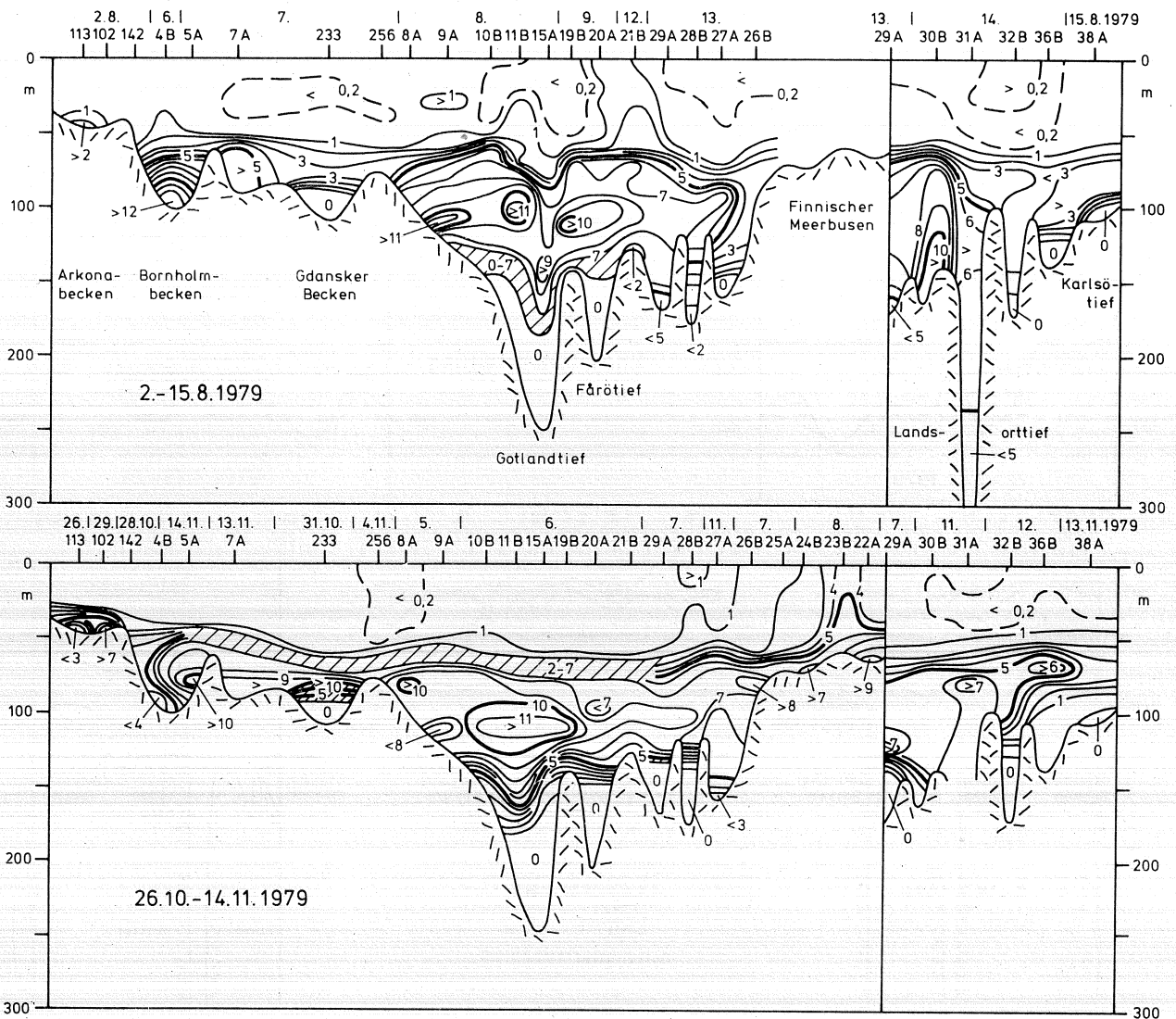


Abb. 6
Nitratverteilung
 $\mu\text{g-at./l}$



Wichtiger als die Bedingungen in den oberflächennahen Wasserschichten sind die Sauerstoffverhältnisse unterhalb der Halokline. Sie werden vorrangig durch horizontale Austauschvorgänge sowie durch biochemische Abbauprozesse, bei denen Sauerstoff verbraucht wird, beeinflusst. Der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser weist nur in der Beltsee (5) und im Arkonabecken (10, 13) einen ausgeprägten Jahresgang auf. In den grundnahen Wasserschichten der zentralen Ostseebecken wird er durch die episodischen Salzwassereinbrüche bestimmt.

Im Tiefenwasser der westlichen Ostsee herrschten 1979 relativ günstige Sauerstoffverhältnisse. So sank der Sauerstoffgehalt in der grundnahen Wasserschicht des Fehmarnbelds auch im August nicht unter 3 ml/l ab. Nur in der Lübecker Bucht wurden in dieser Jahreszeit Werte unter 1 ml/l gemessen. Die Veränderungen des Sauerstoffgehalts im Arkonabecken entsprachen dem mittleren Jahresgang (10, 13).

Im Winter verschlechterten sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Bornholmbeckens zunächst nicht

weiter. Schwefelwasserstoff wurde in diesem Becken spurenweise erst im November 1979 festgestellt. Dabei war dieses Gas nicht überall im Bodenwasser vorhanden. Messungen auf hier nicht dargestellten Stationen ergaben, daß in den zentralen Teilen des Bornholmbeckens zwar kaum noch Sauerstoff, aber auch kein Schwefelwasserstoff in Grundnähe vorlag.

Während im November 1978 noch relativ günstige Sauerstoffverhältnisse in den grundnahen Wasserschichten des Gdansker Tiefs herrschten (19), wurde auf dieser Station im August 1979 Schwefelwasserstoff nachgewiesen. Auch Ende Oktober wurde dieses Gas hier am Geruch identifiziert.

Im Sommer und Herbst 1979 wurde im Tiefenwasser der zentralen Ostseeregionen verbreitet Schwefelwasserstoff festgestellt, der die Wasserschicht zwischen Boden und $120\text{--}150 \text{ m}$ Tiefe einnahm. Die höchste Konzentration dieses Gases wurde im August im Gotlandtief gemessen. Sie betrug $1,58 \text{ mg/l}$ in 238 m Tiefe.

Obleich im Landsorttief im August noch kein Schwefelwasserstoff vorhanden war, zeigte der Sensor der Sonde unterhalb 230 m keinen Sauerstoff mehr an. Eine ähnliche Situation wurde auch auf den Stationen 26B und 28B festgestellt. Ob im November Schwefelwasserstoff im Landsorttief vorlag, kann nicht entschieden werden, da wegen eines Defektes an der Sonde keine Proben aus dem Tiefenwasser entnommen werden konnten. Der Sauerstoffsensor zeigt jedoch bereits ab etwa 140 m Tiefe Null an.

2.4. Nährstoffverteilung

Die Verteilung der beiden wichtigsten Nährstoffe Phosphat und Nitrat ist in Abb. 5 und 6 dargestellt. In Gegenwart von Schwefelwasserstoff ist Nitratstickstoff unbeständig. Geringe Nitratkonzentrationen, die gelegentlich unter anoxischen Bedingungen auftraten, wurden auf Unzulänglichkeiten in der Analytik zurückgeführt und in den Darstellungen nicht berücksichtigt.

Ende Januar 1979 wurden in der winterlich durchmischten Oberflächenschicht Phosphatkonzentrationen von rund $0,6 \mu\text{g-at./l}$ gemessen, während der Nitratgehalt zwischen $3,5\text{--}5 \mu\text{g-at./l}$ lag. Im Sommer wurden für beide Nährstoffe erwartungsgemäß nur geringe Konzentrationen ermittelt. Im November zeichnete sich vor allem beim Phosphat bereits wieder eine allmähliche Anreicherung in der Oberflächenschicht ab.

In Abhängigkeit von der Entstehung anoxischer Bedingungen wurden die stärksten Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Gdanskener Tiefs beobachtet. Im November erreichte hier der Phosphatgehalt in 104 m Tiefe Werte von $13,1 \mu\text{g-at./l}$, nachdem seine Konzentration zur gleichen Zeit des Vorjahres noch bei $2\text{--}3 \mu\text{g-at./l}$ lag (19). Mit dem starken Rückgang des Nitratgehalts im Bodenwasser dieser Station stieg der Gehalt an Ammoniumstickstoff auf über $13 \mu\text{g-at./l}$ an. Nennenswerte Veränderungen wurden bei diesen Substanzen auch im Tiefenwasser des Bornholmbeckens festgestellt.

In den zentralen Becken der Ostsee waren die Veränderungen des Phosphat- und Nitratgehalts in den grundnahen Wasserschichten viel geringer. Im Zusammenhang mit der Nitratverteilung im Tiefenwasser sei ferner auf das intermediäre Maximum hingewiesen, das in den zentralen Becken besonders deutlich in Erscheinung tritt und durch Extremwerte von $10\text{--}11 \mu\text{g-at./l}$ gekennzeichnet ist.

3. Diskussion der Ergebnisse

RODEWALD (21) untersuchte die Vorbereitung und Erscheinungsweise des Winters 1978/79, der zu den historisch großen Ereignissen der Witterungsgeschichte Norddeutschlands gezählt werden muß. Die Mitteltemperatur dieses Winters lag im Küstengebiet um etwa 3°C unter dem Normalwert (8). Am 20. Januar 1979 setzte bei $-0,8^\circ\text{C}$ die Eisbildung im Gebiet des Fehmarnbells ein, die vom 20. bis 25. Februar ihr größtes Ausmaß erreichte (8). Seit Beginn der Beobachtungsreihe im Jahre 1896 waren in der westlichen Ostsee nur 7 Winter eisreicher.

Die negativen Temperaturanomalien im winterlichen Oberflächenwasser der Ostsee waren in der Beltsee, wo sie bereits Ende Dezember 1978 rund 1°C erreichten (8) und in der letzten Januardekade weiter auf $2,5\text{--}3^\circ\text{C}$ zugenommen hatten, besonders ausgeprägt. In Richtung Osten wurden sie geringer, was zeigt, daß vor allem die westliche Ostsee von den Auswirkungen des extremen Winters 1978/79 erfaßt wurde. Aber auch die sommerliche Erwärmung in der Arkonasee lag mit negativen Anomalien von $3\text{--}4^\circ\text{C}$ weit unter dem langjährigen Mittelwert.

Untersuchungen über den Phosphat- und Nitratgehalt in der winterlich durchmischten Oberflächenschicht der Ostsee liegen aus der letzten Januardekade 1979 vor. Da diese Untersuchungen zu einem relativ frühen Zeitpunkt und nur zu einem Termin erfolgten, kann nicht entschieden werden, ob die winterliche Nährstoffanreicherung bereits ihr Maximum erreicht hatte und der früher beobachtete Trend zu immer höheren Konzentrationen anhält (2, 16, 19).

Die Phosphat- und Nitratverteilung im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken steht in enger Beziehung zu den Sauerstoffverhältnissen. Im Einklang mit den vorliegenden Befunden wird Phosphat in den stagnierenden Tiefenschichten angereichert. Unter anoxischen Bedingungen wird es aus Sedimenten freigesetzt, wobei die Reduktion von Eisenphosphat, der pH-Wert, die Sedimentzusammensetzung sowie die Tiefe, in der die Sedimente lagern, eine wichtige Rolle spielen (6). Demgegenüber ist die Remine-

ralisierung von Phosphat beim biochemischen Abbau organischer Substanz von viel geringerer Bedeutung. Sie ist jedoch der dominierende Prozeß unter oxischen Bedingungen.

Nitrat unterliegt bereits bei niedrigem Sauerstoffgehalt der Denitrifikation und ist unter anoxischen Bedingungen unbeständig. Experimentelle Untersuchungen, bei denen schwefelwasserstoffhaltiges Wasser mit definierten Nitratmengen versetzt wurde, haben gezeigt, daß der Nitratgehalt unter Reduktion des Schwefelwasserstoffs in kurzer Zeit stark abnimmt (NEHRING, unveröffentlicht). Da weder die Ammonium- noch die Nitritkonzentration nennenswert anstiegen, entstand bei dieser Reaktion offenbar elementarer Stickstoff oder Distickstoffmonoxid.

In Übereinstimmung mit diesen Ausführungen war im anoxischen Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken kein Nitratstickstoff vorhanden. An seine Stelle trat Ammoniumstickstoff, der unter diesen Bedingungen beständig ist und akkumuliert wird. Unter oxischen Bedingungen wird diese Stickstoffverbindung oxydiert, wobei es zu einer Nitratanreicherung in den grundnahen Wasserschichten kommt.

Im Winter 1978/79 erfolgte kein Salzwassereinbruch. Die Menge und der Salzgehalt des in die Ostsee einströmenden Tiefenwassers reichten nicht aus, um die grundnahen Wasserschichten in den zentralen Becken zu erneuern.

Die Intrusionen kalten Wassers aus der Arkonasee führten im Winter 1978/79 zu keinem nennenswerten Anstieg des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser des Bornholmbeckens. Sie verhinderten jedoch zunächst die Entstehung anoxischer Bedingungen.

Schwedische Untersuchungen zeigten (1), daß im Januar 1979 gegenüber den Bedingungen im Oktober/November 1978 (19) eine erhebliche Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der zentralen Ostseeregionen eingetreten war. So wurde in den grundnahen Wasserschichten des Nördlichen und Westlichen Gotlandbeckens — das Norrköpingtief (Stat. 32 B) ausgenommen — kein Schwefelwasserstoff festgestellt. Im Östlichen Gotlandbecken hatte die vertikale Ausdehnung der anoxischen Tiefenschichten erheblich abgenommen. Da kein Salzwassereinbruch erfolgte, scheinen erhebliche Mengen relativ sauerstoffreichen Wassers in die aktive Zwischenschicht dieses Beckens eingeströmt und möglicherweise bis ins Nördliche und Westliche Gotlandbecken vorgedrungen zu sein. Im Sommer 1979 hat sich offenbar die anoxische Tiefenschicht innerhalb weniger Wochen sehr schnell ausgebreitet (3). Die ungünstigen Sauerstoffverhältnisse, die im Oktober/November 1979 herrschten, sind in Abb. 1 dargestellt. Danach waren im Tiefenwasser der gesamten Gotlandsee verbreitet anoxische Bedingungen vorhanden, während im Bornholmbecken die Bildung von Schwefelwasserstoff erst begonnen hatte. In den weiter westlich gelegenen Ostseeregionen herrschten dagegen in bezug auf Sauerstoffgehalt ganzjährig verhältnismäßig günstige Lebensbedingungen in den grundnahen Wasserschichten.

Obleich vor allem im Tiefenwasser eine positive Anomalie vorlag, die auf den Vorstoß salzreichen atlantischen Wassers hindeutet, wurden im November 1979 keine extrem hohen Salzgehalte im Südtel des Kattegats gemessen. Im Fehmarnbelt wurden sogar für die Jahreszeit ausgesprochen salzarme Wassermassen festgestellt. Dabei muß der Tatsache Rechnung getragen werden, daß die Untersuchungen sowohl im Kattegat als auch im Fehmarnbelt durchgeführt wurden, als intensiver Ausstrom herrschte.

Trotz dieser für einen Salzwassereinbruch ungünstig erscheinenden Bedingungen verbesserten sich die Voraussetzungen für eine Erneuerung des Tiefenwassers in den zentralen Becken der Ostsee. So hatte der Salzgehalt in der Bodenschicht des Bornholmbeckens im Verlauf eines Jahres um $0,8\text{‰}$ abgenommen und lag nur noch wenig über dem niedrigsten Wert des Zeitraumes 1969—1978.

Ein merklicher Salzgehaltsrückgang (bis $0,4\text{‰}$) wurde auch im Bodenwasser des Gdanskener Beckens und des Nördlichen Gotlandbeckens registriert. In den anderen Ostseeregionen betrug er nur $0,1\text{--}0,2\text{‰}$. Infolge der Salzgehaltsabnahme in den grundnahen Wasserschichten können bereits relativ salzarme Wassermassen, die bei einer extremen Einstromlage die Darßer Schwelle passieren, zu einer Umschichtung in den zentralen Becken führen. Im Frühjahr 1980 begann tatsächlich eine Erneuerung des Tiefenwassers der Ostsee (4). Ob die Menge des eingeströmten salzreichen Wassers zu einer vollständigen Umschichtung ausreicht, muß abgewartet werden.

Literatur

1. ENGSTRÖM, S. G.:
Report from hydrographic expedition with R/V „Argos“ January 15th-31th, 1979.
National Board of Fisheries Sweden 1979, 1-7
2. FONSELIUS, S. H.:
On phosphorus in Baltic surface waters.
Meddelande Havsfiskelab. Lysekil 206 (1976), 1-3
3. FRANCKE, E.:
Cruise-Report (expedition with r/v „Professor Albrecht Penck“, 31 July to 17 August 1979).
Institut für Meereskunde der Akad. der Wiss. der DDR 1979, 1-5
4. FRANCKE, E., NEHRING, D.:
The beginning of the renewal of the deep water in the central basins of the Baltic in 1980.
ICES C. M. 1980/C: 18, 1-7
5. FRANCKE, E., NEHRING, D., ROHDE, K.-H.:
Zur Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee.
Beitr. Meeresk. 39 (1977), 25-35
6. HOLM, N. G.:
Phosphorus exchange through the sediment - water interface. Mechanism studies of dynamic processes in the Baltic Sea. Contr. in Microbial Geochem., Dep. of Geol., Univ. Stockholm, No 3 (1978), 1-149
7. KÄNDLER, R.:
Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee.
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 4 (1951), 150-160
8. KOSLOWSKI, G.:
Der ungewöhnliche Eiswinter 1978/79 im norddeutschen Küstengebiet.
Seewart 40 (1979), 149-156
9. LENZ, W.:
Monatskarten der Temperatur der Ostsee, dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte.
Dt. Hydrogr. Zeitschr., Erg. Heft, Reihe B, Nr. 11 (1971) 1-148
10. 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
11. MATTHÄUS, W.:
Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der offenen Ostsee.
Beitr. Meeresk. 40 (1977), 117-155
12. MATTHÄUS, W.:
Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächen-salzgehalts der Ostsee.
Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 87 (1978), 369-376
13. MATTHÄUS, W.:
Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee.
Beitr. Meeresk. 41 (1978), 61-94
14. MATTHÄUS, W.:
Langzeitvariationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee.
Beitr. Meeresk. 42 (1979), 41-93
15. MÖCKEL, F.:
Die ozeanologische Meßkette OM75 - eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe.
Beitr. Meeresk. 43 (1980), 5-14
16. NEHRING, D.:
Relationships between salinity and increasing nutrient concentrations in the mixed winter surface layer of the Baltic from 1969 to 1978. ICES C. M. 1979/C:24, 1-8
17. 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
18. NEHRING, D., FRANCKE, E.:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1977.
Fischerei-Forsch. 18 (1980), 51-59
19. NEHRING, D., FRANCKE, E.:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1978.
Fischerei-Forsch. 18 (1980), 61-70
20. REICHEL, U.:
Mittlere monatliche Wassertemperaturen im Gebiet des Fehmarnbelts. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffbeobachtungen 1949-1978.
Institut für Meereskunde Rostock-Warnemünde 1980 (unveröffentlicht).
21. RODEWALD, M.:
Vorbereitung und Erscheinungsweise des großen Eiswinters 1979.
Seewart 40 (1979), 78-96
22. ROHDE, K.-H., NEHRING, D.:
Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser.
Geod. Geoph. Veröff. R. IV, 27 (1979), 1-68
23. WOLF, G.:
Salzwassereinbrüche im Gebiet der westlichen Ostsee.
Beitr. Meeresk. 29 (1972), 67-77
24. WYRTKI, K.:
Der große Salzwassereinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951.
Kieler Meeresforsch. 10 (1954), 19-25
25. —: The Baltic Year 1969/70. Program manual.
Göteborg 1968
26. —: Oceanografiske Observationer fra Danske Fyrskibe og Kyststationer 1970.
Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund 1971