

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1988

PROF. DR. SC. D. NEHRING

INSTITUT FÜR MEERESKUNDE ROSTOCK-WARNEMÜNDE

Auf einen erheblich zu warmen Winter folgte 1988 ein annähernd temperaturnormaler Sommer. Dementsprechend verhielten sich die Temperaturen in der Oberflächenschicht der Ostsee.

Seit Beginn der 80er Jahre hat der Salzgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee nahezu kontinuierlich um 0,8 bis 1,1 ‰ abgenommen und entspricht gegenwärtig den in den 30er Jahren gemessenen Werten. In der Oberflächenschicht ist die Salzgehaltsabnahme deutlich geringer.

Der Einstrom salzreichen Wassers in die Ostsee, der im September/Oktober 1988 beobachtet wurde, erreichte nicht das Ausmaß eines Salzwassereintruchs. Seine Auswirkungen im Bornholmbecken waren jedoch stärker als die in jedem Herbst beobachteten Intrusionen. Mit der Erneuerung des Tiefenwassers in diesem Becken war neben der Zunahme des Salzgehalts um 0,7 bis 1,1 ‰ ein Temperaturanstieg um bis zu 2,8 K verbunden, während der Sauerstoffgehalt des eingeströmten Wassers nicht zur vollständigen Oxydation des vorhandenen Schwefelwasserstoffs ausreichte.

In der winterlichen Oberflächenschicht aller untersuchten Ostseeregionen waren die Phosphat- und Salzkonzentrationen 1988 deutlich niedriger als im Zeitraum 1980–1987, während der Nitratgehalt regional zugenommen hatte. Im Gegensatz zu den küstenfernen Ostseeregionen nahm die Eutrophierung im Gebiet der Oderbank stark zu und läßt ungünstige Auswirkungen auch für die Laichgründe des Rügenherings erwarten.

После чересчур теплой зимы в 1988 году последовало лето с более или менее нормальными температурами. Соответственно были температуры в поверхностном слое воды Балтийского моря.

Поступление в Балтийское море соленой воды, которое наблюдалось в сентябре/октябре 1988 года, не достигло масштабов прорыва соленой воды. Однако, его последствия в Борнхольмском бассейне были сильнее, чем среднеосенние интрузии. С обновлением глубинных вод в этом бассейне, наряду с ростом солености на 0,7 ... 1,1 ‰ был связан также рост температуры на макс. 2,8 K, в то время как содержание кислорода поступившей воды не было достаточно высоким для полного окисления существующего сероводорода.

В зимнем поверхностном слое всех исследованных частей Балтийского моря концентрации фосфатов и солей в 1988 году были значительно ниже, чем в 1980–1987 гг., а концентрация нитратов возрос в региональном масштабе. В отличие от дальних от побережья регионов Балтийского моря эвтрофикация сильно возросла в районе банка Одры и предвещает отрицательные последствия также и для нерестилищ Рюгенской сельни.

1. Einleitung

In Fortsetzung früherer Untersuchungen wurden auch 1988 vom Institut für Meereskunde, Rostock-Warnemünde, ozeanologische Messungen in der westlichen und zentralen Ostsee durchgeführt, deren Ergebnisse ein Beitrag zur Qualifizierung der Fischereiprognozen sowie zum Ostseeüberwachungsprogramm der HELCOM sind*). Entsprechend dem seit 1969 praktizierten Standardprogramm erfolgten 5 Meßfahrten, die im Januar–Februar, im März–April und im August die Seegebiete zwischen Fehmarnbelt (Stat. 010) und Gotlandtief (Station 15 A) umfaßten, wobei auf der ersten Reise die Arbeiten wegen schlechten Wetters bereits auf Station 11 B abgebrochen werden mußten. Im Mai und im Oktober–November erstreckten sich die Meßfahrten bis zum Finnischen Meerbusen (Stat. 22 A bzw. 24 B). Auf der letzten Reise fanden darüber hinaus ozeanologische Untersuchungen im südlichen Kattegat statt. Alle Meßfahrten wurden mit dem Forschungsschiff „Prof. Albrecht Penck“ durchgeführt.

Zur Verfolgung des Einstroms salzreichen Wassers in die Beltsee und ins Arkonabecken wurden im September und Anfang Oktober 1988 zusätzliche hydrographische Untersuchungen im Rahmen anderer Forschungsprogramme durchgeführt. Abbildung 1 zeigt die Lage der nationalen und internationalen Standardstationen, die für die nachfolgende Einschätzung der hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee sowie im südlichen Kattegat verwendet wurden.

Auf allen Meßfahrten des Jahres 1988 wurde die Tiefsee-sonde OM 75 /8/ für die Gewinnung der Temperaturwerte und der Wasserproben eingesetzt. Als Standardparameter wurden in den Wasserproben der Salzgehalt, die Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie die Nährstoffe Phosphat, Nitrat, Nitrit und Ammonium gemäß /22/ analysiert. Darüber hinaus wurden einige Proben auf ihren Gehalt an Gesamtphosphor und -stickstoff sowie Harnstoff untersucht. Das Meßprogramm wurde durch meteorologische Beobachtungen ergänzt. Über die Ergebnisse der in der produktiven Jahreszeit durchgeführten

meeresbiologischen Untersuchungen wird an anderer Stelle berichtet.

Zwischen dem Meer und der Atmosphäre bestehen enge Wechselwirkungen. Deshalb wird zunächst ein Überblick über die 1988 im Ostseeraum beobachteten meteorologischen Bedingungen gegeben.

2. Die meteorologischen Bedingungen

Auf drei strenge Winter folgte 1987/88 ein milder Winter. Gemäß Tab. 1, die Angaben über ausgewählte meteorologische Größen im Jahre 1988 enthält, waren der Januar und der Februar, die eigentlichen Wintermonate, erheblich zu warm und sonnenscheinarm. Ihr Witterungscharakter wurde durch Tiefausläufer und die Zufuhr milder Meeresluft bestimmt. Im März dominierte besonders zu Monatsbeginn der Zustrom von Meereskaltluft, und im küstennahen Bereich herrschte strahlungsreiches Wetter vor.

Die Kältesumme von Warnemünde, die durch Addition aller negativen Tagesmitteltemperaturen der Luft berechnet wird /19/, betrug für den Winter 1987/88 nur 21,1 K /23/. Davon entfallen 20,5 K allein auf den Dezember 1987, der besonders zu Monatsbeginn sehr kalt, am Monatsende jedoch extrem mild war. In den Monaten Januar und Februar traten an dieser Station überhaupt keine negativen Tagesmitteltemperaturen der Luft auf. In bezug auf die westliche und zentrale Ostsee gestattet die Kältesumme von 21,1 K die Einordnung des Winters 1987/88 als eisarm /2, 19/.

Unter Hochdruckeinfluß herrschte im April und im Mai sonnenscheinreiches Wetter vor, wobei die Zufuhr von trockener Festlandluft oder Polarluft überwog und vor allem im Mai überdurchschnittlich hohe Temperaturen auftraten. Den ganzen Sommer über dominierten wechselhafte und sonnenscheinarme Witterungsperioden. Die Lufttemperaturen entsprachen daher den mittleren Bedingungen oder lagen etwas darüber. Größere Abweichungen, sowohl positiv als auch negativ, waren jedoch in den nördlichen Teilgebieten der Ostsee zu verzeichnen.

Wie die im allgemeinen geringen Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen von den Normalwerten zeigen,

*) Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden fortlaufend in der Zeitschrift Fischerei-Forschung, Rostock, publiziert.

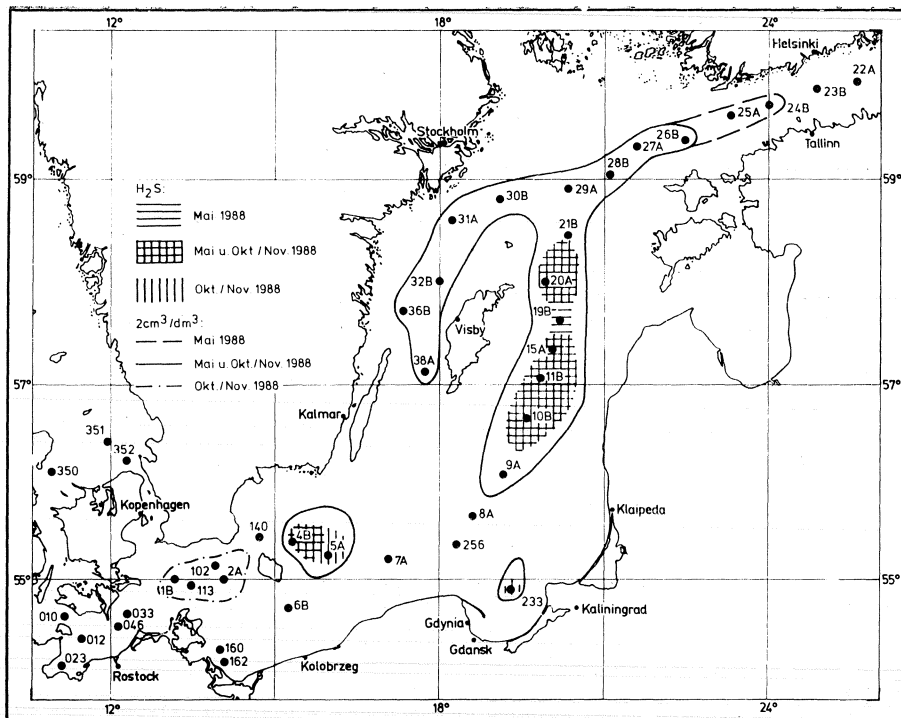


Abb. 1
Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der Ostsee

Tabelle 1

Abweichungen der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft (ΔT_L in K) sowie Anteil der monatlichen Sonnendauer (SS in %) bezogen auf die Normalwerte (Küstenstation Arkona 1951–1980, Ostseeregionen 1931–1960)

Monat	ΔT_L (K)	SS %	ΔT_L (K)	ΔT_L (K)	ΔT_L (K)
	Küstenstat. Arkona /26/	Küstenstat. Arkona /26/	Belt-, Arkona-, Bornholmsee /27/	südliche Gotlandsee /27/	nördl. Gotlandsee Finn. Meerbusen /27/
Dez. 1987	0,9	125	0	0	-1 bis -2
Jan. 1988	3,1	50	3 bis 4	2 bis 4	4
Feb. 1988	2,6	72	3	3	2 bis 3
März 1988	0,2	121	0	0	0 bis -1
April 1988	0,3	106	0	0 bis -1	0 bis -1
Mai 1988	1,1	128	1 bis 2	0 bis 1	1 bis 2
Juni 1988	0,7	74	0 bis 1	0 bis 1	1 bis 2
Juli 1988	0,9	84	0 bis 1	0 bis 1	1 bis 2
Aug. 1988	-0,1	91	0 bis -1	0 bis -1	-1 bis -2
Sep. 1988	0,2	79	0	0	0 bis 1
Okt. 1988	-0,5	107	0	0 bis -1	0 bis -1
Nov. 1988	-1,5	131	-1 bis -2	-2 bis -3	-3
Dez. 1988	1,4	103	1 bis 2	-1	-2

kann der Sommer 1988 als normal warm bezeichnet werden. Die gleiche Aussage trifft für die westliche und zentrale Ostsee zu, wenn man die 1988 für Warnemünde berechnete Wärmesumme von 113,5 K zugrunde legt /23/, die aus den Differenzen der über 16 °C liegenden Tagesmitteltemperaturen resultiert /19/.

Während der Oktober, ebenso wie die Vormonate, wechselhaft war, überwogen im November sonnenscheinreiche Hochdruckwetterlagen, die besonders in der ersten und dritten Dekade durch zu niedrige Temperaturen gekennzeichnet waren. Der negative Trend der Lufttemperaturen dauerte im November und Dezember an (Tab. 1). Tiefausläufer führten jedoch im Dezember maritime Warmluft in das Gebiet der Belt- und Arkonasee, so daß hier bei zu geringer Sonnenscheindauer die Temperaturen über dem langjährigen Erwartungswert lagen.

Das Niederschlagsgeschehen im Küstengebiet der DDR /26/ war 1988 dadurch gekennzeichnet, daß die Monate Januar bis März überwiegend sehr niederschlagsreich waren. Die Monate April, August und Oktober waren dagegen verbreitet zu trocken, der Mai sogar sehr trocken. In den restlichen Monaten entsprachen die Niederschlagsmengen annähernd den Normalwerten.

3. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

In den Abb. 2–6 sind die Feldverteilungen der hydrographisch-chemischen Parameter als Vertikalschnitte, die dem Talweg durch die Ostsee folgen, dargestellt. Dies geschah unter der Voraussetzung, daß die jahreszeitlichen und zwischenjährlichen Veränderungen der untersuchten Parameter größer sind als die Abweichungen, die durch zeitliche Unterschiede in der Bearbeitung der Stationen verursacht werden, oder die aus thermisch, dynamisch und chemisch-biologisch bedingten Variabilitäten und Inhomogenitäten resultieren.

3.1. Die Wassertemperaturen

Der milde Winter 1987/88 spiegelt sich auch in der geringeren Abkühlung der Ostsee wider. In der westlichen Ostsee, dem Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwellen, lagen die Temperaturen Ende Januar 1988 in der oberflächennahen Schicht zwischen 3,9 und 4,2 °C, während im grundnahen Bereich 4,6 bis 5,5 °C gemessen wurden. Bezogen auf die 30jährigen Mittelwerte der Feuerschiffsbeobachtungen im Fehmarnbelt /21/ und am Gedser Rev

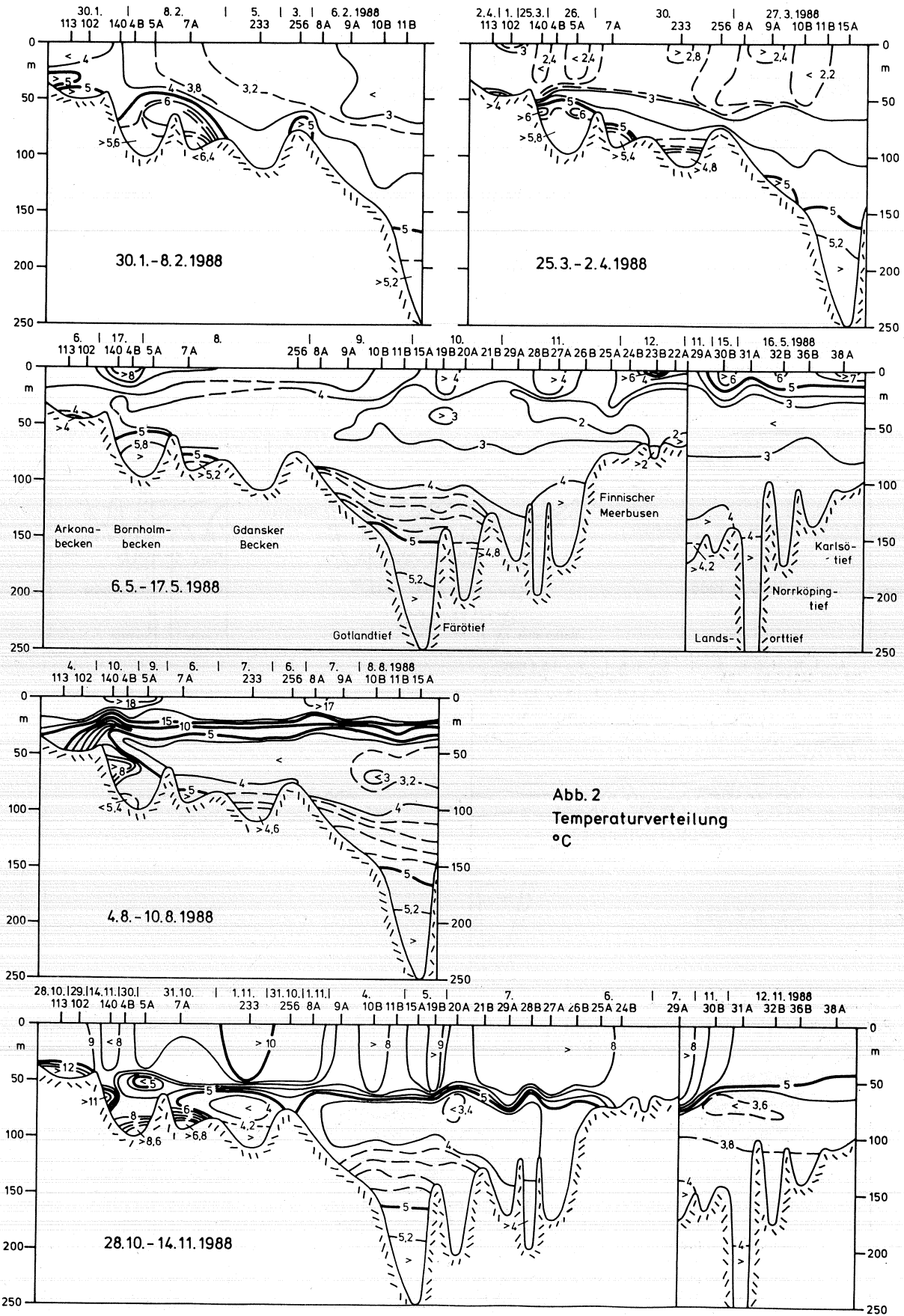


Abb. 2
Temperaturverteilung
°C

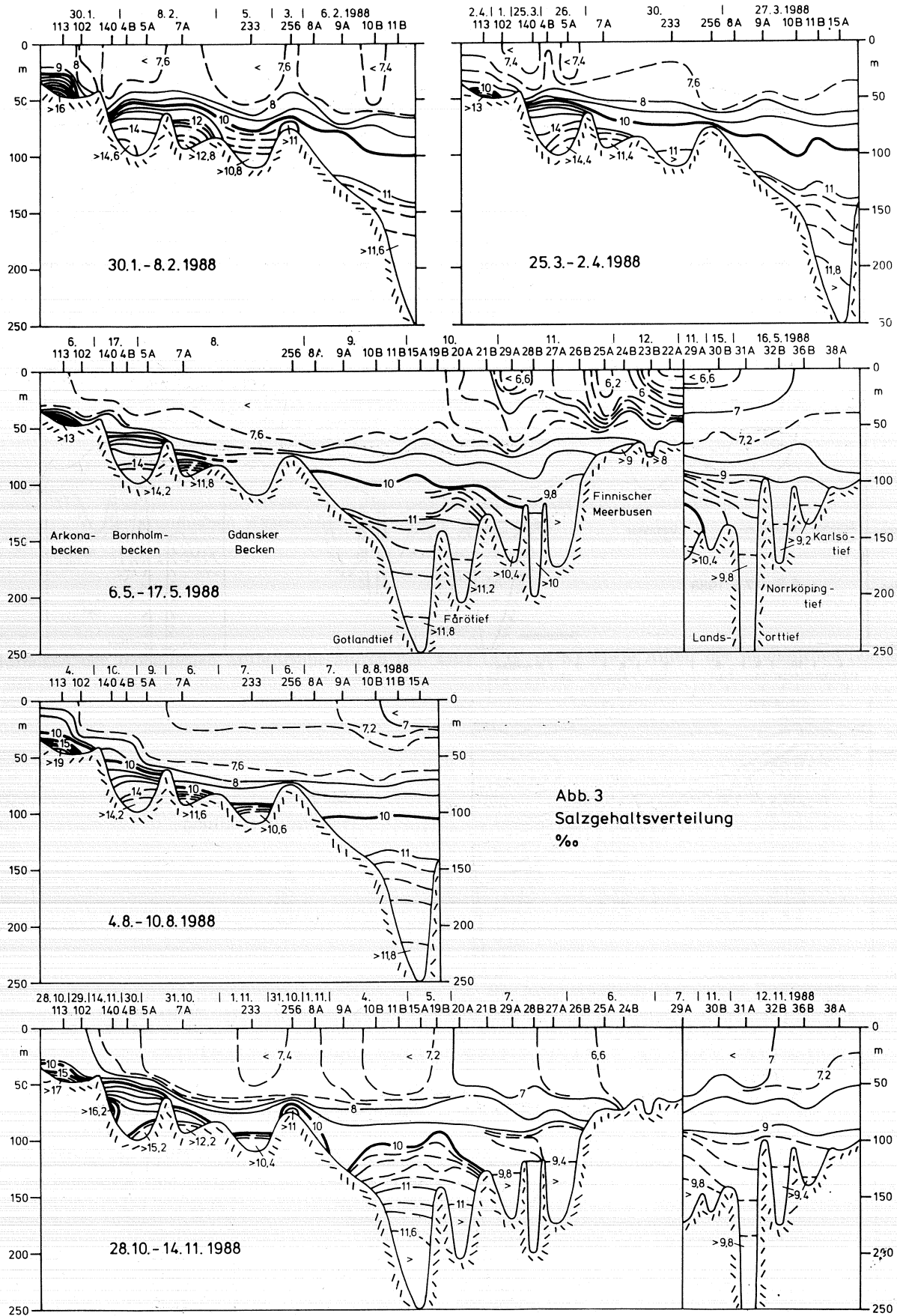


Abb. 3
Salzgehaltsverteilung
‰

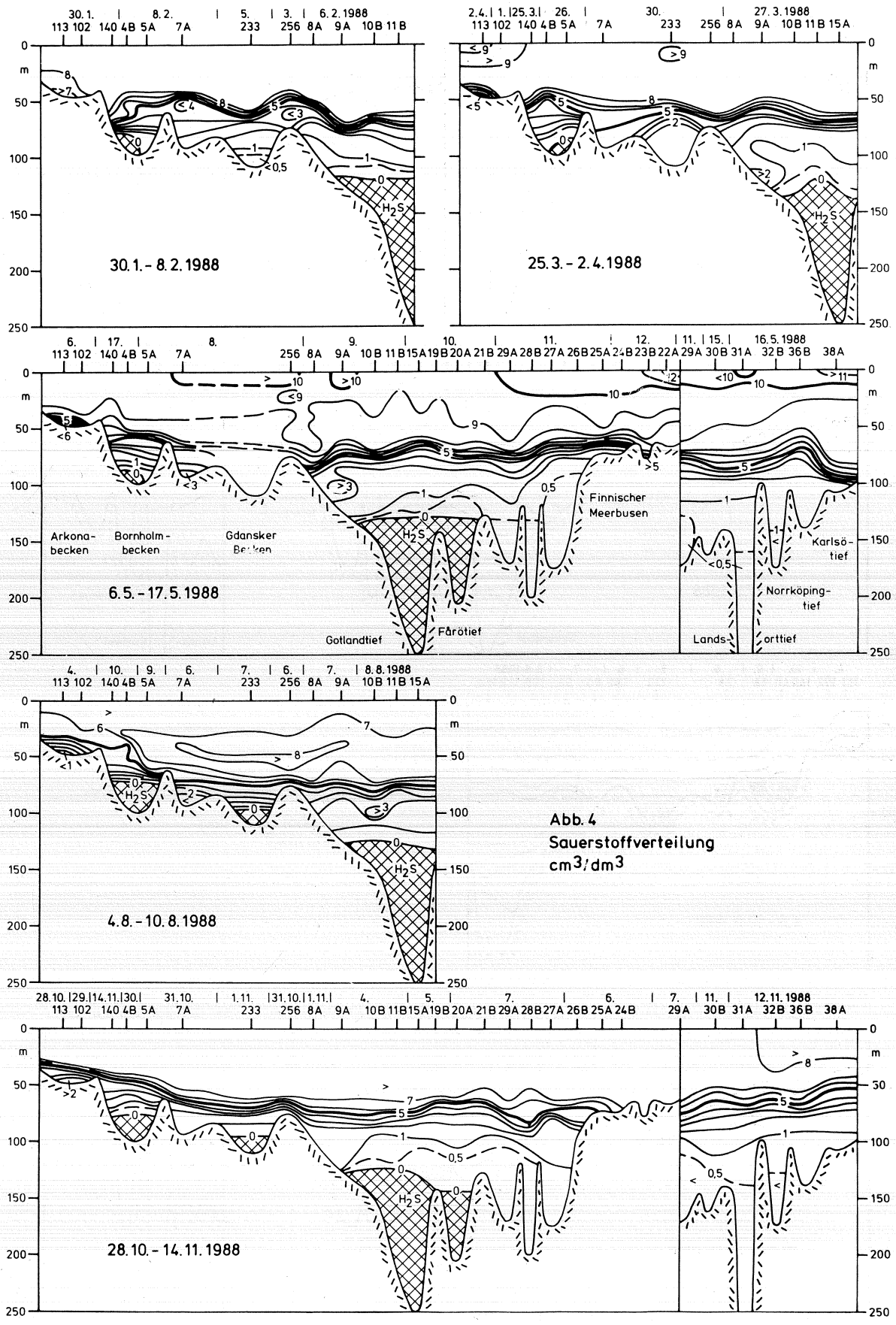


Abb. 4
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3

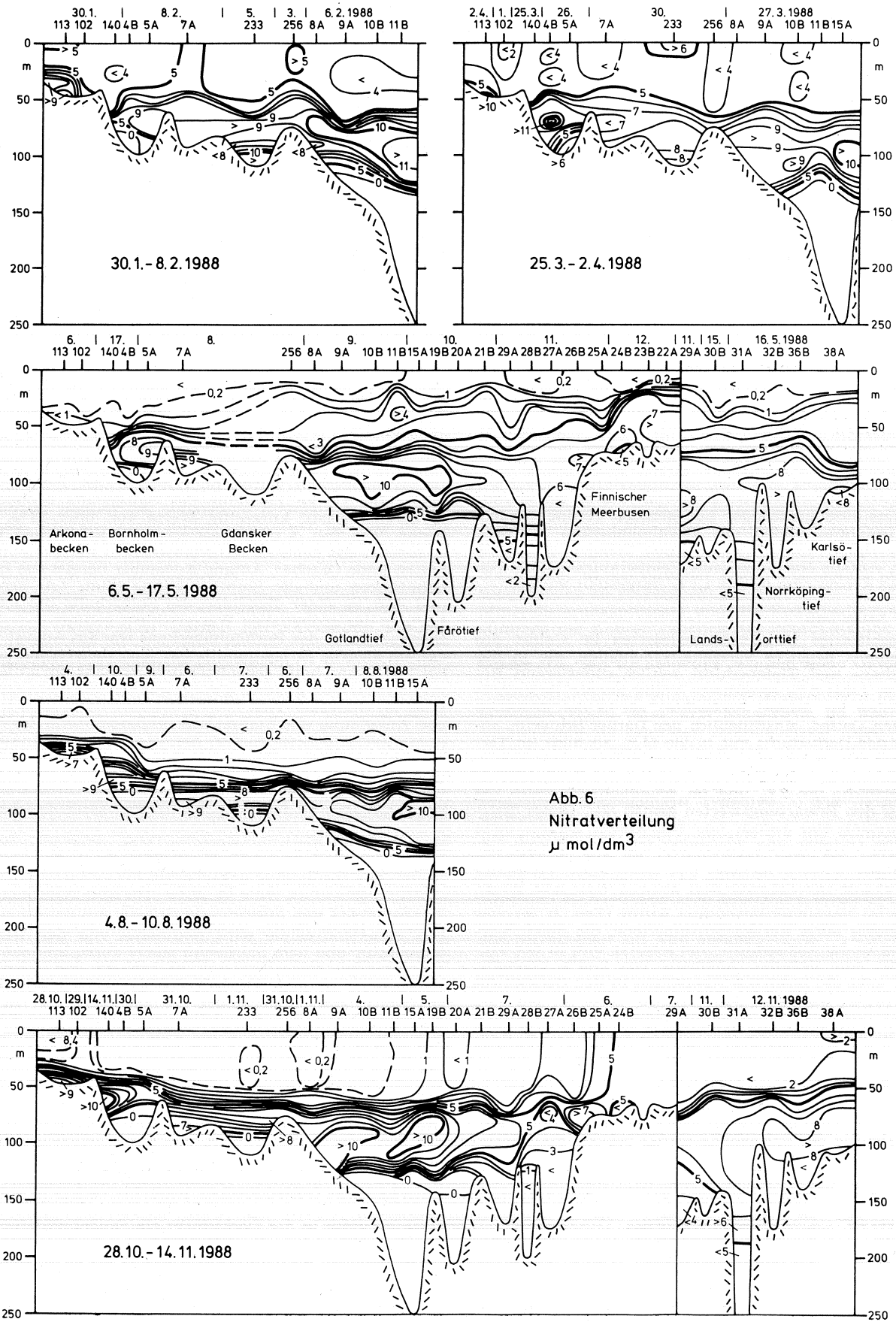


Abb.6
Nitratverteilung
 $\mu\text{ mol/dm}^3$

/24/ resultiert daraus eine positive Abweichung von 2 bis 2,5 K in der gesamten Wassersäule. Der Kälteeinbruch Anfang März 1988 und die darauffolgende temperaturnormale Periode bis Ende April führten zu einer Verringerung der positiven Temperaturanomalie in der Ostsee. Mit 2,5 bis 2,8 °C in der Oberflächenschicht und 2,7 bis 3,5 °C im grundnahen Bereich wurden daher Ende März Temperaturen in der westlichen Ostsee gemessen, die nur noch geringfügig über den Normalwerten lagen.

Die Temperaturverteilung in den anderen Teilgebieten der Ostsee ist aus Abb. 2 zu ersehen. Verglichen mit den jahreszeitlichen Mittelwerten /4/ waren die Temperaturen Ende Januar, Anfang Februar in der Oberflächenschicht der Arkonasee, der Bornholmsee und der östlichen Gotlandsee um 1,8 K zu hoch. Ende März, Anfang April betrugen die Abweichungen in diesen Seegebieten nur noch 0,9 K, 0,3 K und 0,8 K.

Während die Augusttemperaturen in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee (17–17,5 °) und der südöstlichen Gotlandsee fast den Erwartungswerten entsprachen, traten in der Arkonasee und in der Bornholmsee positive Abweichungen von 1 bis 1,5 K auf. Im Oktober–November wurden keine nennenswerten Temperaturanomalien in der Oberflächenschicht der Ostsee beobachtet.

Im baltischen Zwischenwasser der südöstlichen Gotlandsee betrug die positive Temperaturanomalie 0,4 K. Im Bornholmbecken waren in dieser Schicht praktisch keine Abweichungen von den mittleren Temperaturbedingungen /19/ vorhanden.

Die Temperaturverteilung im Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens war durch den bekannten Jahresgang /3, 21, 24/ gekennzeichnet. In den anderen Ostseebecken zeigten die Temperaturen im Verlauf des Jahres 1988 keine oder nur geringe Veränderungen. Eine Ausnahme bilden das Bornholmbecken und die Slupsker Rinne (Stat. 7 A), in deren Tiefenwasser Ende Oktober, Anfang November eine Temperaturzunahme von 1,4 bis 2,8 K bzw. von 0,9 bis 1,1 K festgestellt wurde.

3.2. Der Salzgehalt

Bis einschließlich Mai 1988 dominierten im Gebiet des Fehmarnbells negative Salzgehaltsanomalien, die in der Oberflächen- und Tiefenschicht zeitlich differierend Beträge von 1 bis 5 ‰ erreichten. Völlig andere Bedingungen wurden im August beobachtet, als in der gesamten westlichen Ostsee, einschließlich der Darßer Schwelle, sowohl in der Deckschicht mit 10 bis 14 ‰ als auch im Tiefenwasser mit 25 bis 29 ‰ sehr hohe Salzkonzentrationen gemessen wurden. Im Fehmarnbelt lag der Salzgehalt an der Oberfläche um 2 ‰ und im grundnahen Bereich um 3 ‰ über den Erwartungswerten gemäß /21/. Dieser Salzgehaltsanstieg war jedoch nur von kurzer Dauer; denn bereits im Oktober und November traten in diesem Gebiet teils in der Deckschicht, teils im Tiefenwasser erneut negative Salzgehaltsanomalien auf. Bemerkenswert ist die nahezu homogene Verteilung des Salzgehalts im Fehmarnbelt, die im November beobachtet wurde (Tab. 2). Sie war das Ergebnis einer kurzen Sturmperiode, die durch Vermischung in der Deckschicht eine positive und in der Tiefenschicht eine negative Anomalie von 2–3 ‰ erzeugte. Ähnlich sind die positiven Anomalien in der Deckschicht des südlichen Kattegats zu bewerten (Tab. 2). Sie sind ebenfalls die Folge einer windbedingten Durchmischung und nicht auf die Advektion besonders salzreicher Wassermassen zurückzuführen.

Tabelle 2

Aktuelle Salzgehaltskonzentrationen (in ‰) auf Stationen im südlichen Kattegat und im Fehmarnbelt sowie Novembermittelwerte des Salzgehalts (in ‰) bei den Feuerschiffen „Kattegat SW“ (1931–1960) und „Fehmarnbelt“ (1949–1978)

Tiefe m	„Katte- gat SW“ /24/	350	351	352	010	„Feh- marn- belt“ /21/
		18.–19. November 1988				
0–1	19,7	23,0	22,8	23,6	17,2	15,2
5	20,3	23,0	22,8	23,6	17,2	15,5
10	22,1	23,0	22,8	23,7	17,2	16,5
15	26,5	23,3	22,8	24,1	17,2	17,7
20	29,3	28,4	23,3	30,3	17,3	19,0
25	—	—	29,1	—	17,5	20,5
G *)	31,0 (30 m)	29,4 (24 m)	33,2 (31 m)	32,0 (24 m)	17,5 (27 m)	20,8 (28 m)

*) Grundnähe

In der östlichen Gotlandsee wurden 1988 generell niedrige Salzkonzentrationen gemessen, die im August sogar unter 7 ‰ lagen (Abb. 3). Bezogen auf die jahreszeitlichen Erwartungswerte /5/ wurden negative Anomalien von 0,1 bis 0,3 ‰ ermittelt. In den anderen Teilgebieten der Ostsee wurden ebenfalls relativ niedrige Salzkonzentrationen in der Deckschicht gemessen (vgl. auch Tab. 4), deren Anomalien jedoch weniger deutlich ausgeprägt waren.

Im Tiefenwasser des Gdansker Beckens wurde im März vorübergehend eine geringe Zunahme des Salzgehalts registriert. Im Südteil des östlichen Gotlandbeckens wurde in dieser Jahreszeit ebenfalls der Einstrom salzreicherer Wassermassen beobachtet, die auch im Mai noch nachgewiesen werden konnten. Infolge seiner geringen Dichte konnte das einströmende Wasser jedoch nicht in die grundnahe Wasserschicht des Gotlandtiefs vordringen, sondern schichtete sich in mittleren Tiefen ein.

Tabelle 3

Vertikale Salzgehaltsverteilung (in ‰) auf Stat. 113 im Arkonabecken im Zeitraum August bis Oktober 1988

Tiefe m	4. Aug.	18. Sep.	28. Sep.	1. Okt.	3. Okt.	12. Okt.
0	7,8	7,8	8,2	8,4	8,3	8,1
10	8,2	7,8	8,2	8,4	8,3	8,1
20	9,1	7,8	8,3	8,4	8,3	8,1
30	9,5	8,7	10,4	8,6	10,7	8,1
35	13,3	11,0	16,1	16,0	13,3	9,2
40	16,6	15,6	20,9	20,5	18,5	14,9
G *)	19,5	18,3	23,4	23,4	23,4	20,8

*) Grundnähe 45–47 m

Im Arkonabecken wurde Ende September, Anfang Oktober eine starke Zunahme des Salzgehalts beobachtet, in deren Verlauf kurzzeitig Werte von über 23 ‰ auftraten. Wie Tab. 3 zeigt, passierten die salzreichen Wassermassen das zentrale Arkonabecken in kurzer Zeit. Sie hatten Ende Oktober, Anfang November bereits das Bornholmbecken und die Slupsker Rinne (Stat. 7 A) erreicht und dort zu einer Zunahme des Salzgehalts um 0,6 bis 1,1 ‰ in der grundnahen Wasserschicht geführt.

Der Salzgehalt des Bornholmbeckens war im August noch extrem niedrig. Er lag unmittelbar über dem Grund (88 m) bei 14,2 ‰ und hatte gegenüber dem Vorjahr um 0,7 ‰ abgenommen. Von gleicher Größe war der Salzgehaltsrückgang im Gdansker Tief.

Die Aussüßung des Tiefenwassers dauerte auch im östlichen Gotlandbecken an. Im Gotlandtief wurden Anfang November in 200 m Tiefe nur 11,66 ‰ und in Grundnähe (238 m Tiefe) nur noch 11,78 ‰ gemessen. Aber auch im westlichen Gotlandbecken ist eine deutliche Abnahme des Salzgehalts zu verzeichnen. Im Tiefenwasser des Landsorttiefs wurden 1988 nicht mehr 10 ‰ erreicht und im Karlsötief blieben die Werte im Mai unter 9 ‰, waren jedoch infolge jahreszeitlicher Fluktuationen im November wieder geringfügig angestiegen.

3.3. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Das Sauerstoffregime wird nachhaltig von der Wassertemperatur und dem Salzgehalt sowie durch biochemische Umsetzungen beeinflusst /17/. Es schließt den Schwefelwasserstoff, der nach $S^{2-} + \frac{1}{2}O_2 = SO_4^{2-}$ in negative Sauerstoffäquivalente umgerechnet werden kann, ein. In Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Phytoplanktonentwicklung zeigt die Sauerstoffverteilung in der Deckschicht jahreszeitliche Fluktuationen. Im Tiefenwasser wird sie durch Zehrungsprozesse und lateralen Wasseraustausch bestimmt.

Gemäß Abb. 4 wurden die höchsten Sauerstoffkonzentrationen in der Deckschicht im Mai beobachtet. Infolge der Erwärmung des Wassers und der Massententwicklung des Phytoplanktons traten dabei Sauerstoffsättigungswerte von 110–120 ‰, im Finnischen Meerbusen sowie im westlichen Gotlandbecken sogar bis zu 140 ‰ auf. Die herbstliche Abkühlung sowie biochemische Abbauprozesse erzeugen in der Deckschicht ein Sauerstoffdefizit. Im Oktober–November dominierten daher in den zentralen Ostseeregionen Sättigungswerte von 94 bis 96 ‰, während sie in der westlichen Ostsee und in der Arkonasee zu meist bei 97 bis 99 ‰ lagen und damit für die Jahreszeit relativ hoch waren.

In Übereinstimmung mit der geringen Temperaturanomalie zeigte der Sauerstoffgehalt im baltischen Zwischenwasser keine nennenswerten Abweichungen vom Erwartungswert.

Die Sauerstoffverteilung im Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens zeigte die bekannten jahreszeitlichen Veränderungen /3/. Die Advektion salzreicheren Wassers, die im August 1988 beobachtet wurde, war mit Sauerstoffkonzentrationen von 0,6 bis 1,5 cm³/dm³ im Bodenwasser der Lübecker und Mecklenburger Bucht korreliert. Ende Oktober wurden hier bereits wieder Werte von 2,5 bis 3,5 cm³/dm³ ermittelt.

Das salzreiche Tiefenwasser, das Ende September, Anfang Oktober 1988 im Arkonabecken festgestellt wurde und später in die zentralen Ostseebecken abfloß, enthielt nur etwa 1,5 cm³/dm³ Sauerstoff. Die Erneuerung des Tiefenwassers im Bornholmbecken führte daher nicht auf allen Stationen zu einer vollständigen Oxydation des Schwefelwasserstoffs. Auf den Stationen 4B und 5A, die in den Standarddarstellungen verwendet werden (Abb. 4), sank der Schwefelwasserstoffgehalt, ausgedrückt in negativen Sauerstoffäquivalenten, von -2,2 cm³/dm³ im August auf -0,4 cm³/dm³ im Oktober–November ab. Auf anderen Stationen wurden jedoch auch oxische Bedingungen (0,2 bis 0,6 cm³ O₂/dm³) bis zum Grund (91 m Tiefe) festgestellt. Im Gegensatz dazu hatte sich die anoxische Tiefenschicht (-0,5 bis -0,7 cm³ O₂/dm³) im Nordteil des Beckens auf 70 m Tiefe ausgedehnt.

Die Ende März 1988 im Gdansker Tief beobachtete Advektion salzreicherer Wassermassen führte auch zu einem Anstieg des Sauerstoffgehalts. Aber bereits im August herrschten im Tiefenwasser dieser Station erneut anoxische Bedingungen.

Die Sauerstoffverteilung im März und Mai läßt den Einstrom sauerstoffreicherer Wassermassen im Südteil des östlichen Gotlandbeckens erkennen. Der Verlauf der Isopten zeigt, daß sich diese Wassermassen in mittleren Tiefen einschichteten. Unterhalb 125 m Tiefe bestanden in diesem Becken die anoxischen Bedingungen fort. Die höchste Schwefelwasserstoffkonzentration, die 1988 in der grundnahen Wassersicht (237 m Tiefe) des Gotlandtiefs gemessen wurde, betrug 4,02 mg/dm³ (-5,3 cm³ O₂/dm³). Sie wurde im August beobachtet.

Im nördlichen und westlichen Gotlandbecken war 1988 kein Schwefelwasserstoff vorhanden. Insbesondere im Karlsötief (Stat. 38 A) wurden mit 1,4 cm³/dm³ im Mai und 0,6 cm³/dm³ im November relativ günstige Sauerstoffbedingungen in Grundnähe angetroffen.

3.4. Die anorganischen Nährstoffe

Die Feldverteilungen der wichtigen Algennährstoffe Phosphat und Nitrat sind in den Abb. 5 und 6 für die zentralen Ostseeregionen dargestellt. Sie zeigen die Akkumulation dieser Nährstoffe in der Oberflächenschicht während des Winters sowie deren Verarmung im Verlauf der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons. Im August sinkt ihre Konzentration bis an die Grenze der analytischen Nachweisbarkeit ab. Biochemische Abbauprozesse und vertikaler Austausch führen im Oktober–November, wenn die Phytoplanktonentwicklung durch die Verringerung des Lichtangebots begrenzt wird, zu einer allmählichen Nährstoffanreicherung in der Deckschicht. Als Zwischenglieder der Stickstoffmineralisierung erfolgt dabei vorübergehend auch eine Anreicherung von Nitrit- und Ammoniumstickstoff, die im Bereich der thermohalinen Sprungschicht ihr Maximum erreicht.

Wie Tab. 4 zeigt, war die Phosphatakkumulation, die im Winter und Frühjahr 1988 vor Beginn der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons beobachtet wurde, in allen untersuchten Teilgebieten der Ostsee relativ gering und lag deutlich unter dem Mittel der Jahre 1980–1987. Die

Nitratakkumulation erreichte dagegen in der Arkonasee und in der Bornholmsee etwas höhere Werte. Den relativ geringen Nährstoffkonzentrationen standen niedrige Salzkonzentrationen gegenüber. Auffällig waren die großen Konzentrationsschwankungen in der Mecklenburger Bucht, die beim Phosphat zwischen 0,37 und 0,64 μmol/dm³, beim Nitrat zwischen 5,38 und 10,51 μmol/dm³ und beim Salzgehalt zwischen 9,25 und 14,88 ‰ lagen.

Im Oktober–November 1988 war erst eine geringe Phosphat- und Nitratanreicherung in der Deckschicht eingetreten (Abb. 5 und 6). Nitrit und Ammonium zeigten nur in den nördlichen Teilgebieten der Ostsee deutlich erhöhte Konzentrationen (0,1 bis 0,3 μmol NO₂⁻ und 0,7 bis 1,3 μmol NH₄⁺), während in den südlichen Teilgebieten noch keine Anreicherung erfolgt war.

Abweichend von den Bedingungen in der offenen Ostsee wurden 1988 vor allem auf der Oderbank, teilweise aber auch in der Lübecker Bucht sehr hohe Nährstoffkonzentrationen beobachtet, die nicht nur auf die Wintersituation begrenzt waren. Auf der Oderbank (Stat. 162) wurden Anfang April unmittelbar an der Oberfläche Nitratkonzentrationen von 51 μmol/dm³ und Phosphatkonzentrationen von 1,3 μmol/dm³ gemessen. Im August betrug der Phosphatgehalt auf dieser Station 2,0 μmol in der gesamten Wassersäule. Gleichzeitig wurden mit 5 bis 6 μmol sehr hohe Ammoniumkonzentrationen angetroffen, während der Nitratgehalt mit 0,7 μmol nur geringfügig erhöht war. Auch zu den anderen Meßterminen wurden auf der Oderbank sehr hohe Nährstoffkonzentrationen beobachtet, die teilweise bis in die Seegebiete vor dem Greifswalder Bodden und östlich von Rügen reichten. Im Oberflächenwasser der Lübecker Bucht (Stat. 022 und 023) wurde Ende Januar mit 10 bis 14 μmol Nitrat und 0,6 bis 0,7 μmol Phosphat eine hohe Nährstoffakkumulation festgestellt, deren Auswirkungen teilweise bis in die Mecklenburger Bucht reichten (vgl. Tab. 4). Relativ hohe Nitratkonzentrationen waren auch noch Ende März in der Lübecker Bucht vorhanden. In den anderen Jahreszeiten waren hier hinsichtlich der Nährstoffsituation keine Besonderheiten zu verzeichnen.

Mineralisierungsprozesse und die Redoxbedingungen bestimmen die Konzentrationen des Phosphats und der anorganischen Stickstoffverbindungen im Tiefenwasser der Ostsee /13/. Mit 5,8 μmol/dm³ wurden Ende Oktober 1988 trotz oxischer Bedingungen sehr hohe Ammoniumkonzentrationen in der grundnahen Wassersicht der Mecklenburger Bucht (Stat. 012) festgestellt, im Mai wurden 3,1 μmol/dm³ im zentralen Arkonabecken (Stat. 113) gemessen. Im oxischen Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken lagen die Konzentrationen dieser Stickstoffverbindung häufig bei 0,1 bis 0,2 μmol/dm³, während sie unter anoxischen Bedingungen zwischen 7 und 17 μmol/dm³ schwankten.

Der Einfluß des Redoxpotentials auf die Phosphat- und Nitratverteilung im Tiefenwasser wird am Beispiel des Gdansker Tiefs (Stat. 233) deutlich (Abb. 5 und 6). Zwischen Mai und August 1988 erfolgte auf dieser Station der Übergang zu anoxischen Bedingungen. Im Zusammenhang damit nahm der Phosphatgehalt stark zu, während der Nitratgehalt auf Null absank.

Im anoxischen Tiefenwasser des Gotlandtiefs lagen die Phosphatkonzentrationen zwischen 6 und 7,5 μmol/dm³. Im Tiefenbereich zwischen 90 und 110 m wurden unter oxischen Bedingungen Phosphatwerte von 2,5 bis 3 μmol/dm³ und Nitratwerte zwischen 10 und 11 μmol/dm³ gemessen. Das entspricht etwa den mittleren Bedingungen der letzten 10 Jahre.

Tabelle 4

Mittlere Phosphat-, Nitrat- und Salzkonzentrationen sowie die Nitrat-Phosphat-Verhältnisse in der winterlichen Oberflächenschicht ausgewählter Ostseeregionen und die Mittel für den Zeitraum 1980–1987 (in Klammern Anzahl der Messungen)

Gebiet	Jahr	PO ₄ ³⁻ μmol/dm ³	NO ₃ ⁻ μmol/dm ³	NO ₃ ⁻ : PO ₄ ³⁻	S. ‰
Meckl. Bucht	1988	0,52 ± 0,13 (4)	7,8 ± 2,7 (4)	15,0	11,49 ± 2,66 (4)
Jan.-Feb.	1980–1987	0,78 ± 0,16 (28)	8,2 ± 1,5 (28)	10,5	12,80 ± 1,28 (28)
Arkonasee	1988	0,52 ± 0,04 (8)	4,9 ± 0,4 (8)	9,4	7,88 ± 0,21 (8)
Jan.-Feb. (März)	1980–1987	0,66 ± 0,12 (79)	4,2 ± 0,3 (75)	6,4	8,30 ± 0,41 (79)
Bornholmsee	1988	0,56 ± 0,04 (6)	4,5 ± 0,3 (6)	8,0	7,57 ± 0,14 (6)
Feb. (März)	1980–1987	0,69 ± 0,11 (60)	4,0 ± 0,3 (53)	5,8	7,95 ± 0,33 (59)
SO-Gotlandsee	1988	0,56 ± 0,05 (11)	4,3 ± 0,3 (11)	7,7	7,50 ± 0,05 (11)
Feb.-März (April)	1980–1987	0,64 ± 0,07 (99)	4,3 ± 0,2 (93)	6,7	7,80 ± 0,11 (99)

Der Einstrom im Südteil des östlichen Gotlandbeckens, der im März und im Mai beobachtet wurde, zeichnete sich auch durch niedrigere Phosphatkonzentrationen ab. Im Bornholmbecken war mit dem Austausch des Tiefenwassers im Oktober ebenfalls ein Phosphatrückgang verbunden.

4. Diskussion

Auf einen sehr milden Winter folgte 1988 ein annähernd temperaturnormaler Sommer. Der April und besonders der Mai waren sehr sonnenscheinreich. In den Monaten Januar bis März fielen überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen.

In Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen lagen die Temperaturen in der winterlichen Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee erheblich über den Normalwerten. Daher kam es zu keiner Eisbildung. Bei annähernd normalen Lufttemperaturen im März und April verringerte sich die positive Temperaturanomale in der Oberflächenschicht der Ostsee. Der sehr strahlungsreiche und gebietsweise zu warme Mai führte zu einer raschen thermischen Stabilisierung der Deckschicht. Da der Sommer 1988 überwiegend temperaturnormal war, entsprachen die Temperaturen, die im August in dieser Schicht gemessen wurden, annähernd den Erwartungswerten. Vereinzelt auftretende positive Anomalien hatten nur regionale Bedeutung und wurden unmittelbar an der Meeresoberfläche gemessen. Im Oktober–November entsprachen die Temperaturen ebenfalls den Normalwerten.

Die Strenge des vorangegangenen Winters bestimmt die Temperaturen im baltischen Zwischenwasser. Infolge des milden Winters 1987/88 wurde im August eine signifikante, aber nur relativ geringe positive Temperaturabweichung in dieser Schicht festgestellt, die überdies auf die südöstliche Gotlandsee beschränkt war. Offensichtlich sind es nicht nur die Temperaturen während des Hochwinters, sondern auch zu Beginn des Frühjahres, die die Anomalien im baltischen Zwischenwasser bestimmen. Der Verlauf der thermischen Stabilisierung der Deckschicht im Frühjahr ist in diesem Zusammenhang ebenfalls von Bedeutung.

Im Winter 1987/88 kam es zu keinem Salzwassereinbruch *) in die Ostsee. Auch der kurzfristige Einstrom salzreichen Wassers, das offensichtlich nach einem Weststurm am 14.–15. September 1988 die Darßer Schwelle passiert hat, erreichte nicht das Ausmaß eines derartigen Ereignisses. Bemerkenswert ist der frühe Zeitpunkt dieses Einstroms. Die statistische Analyse der Salzwassereinbrüche im Zeitraum 1897 bis 1976 weist nur 6 derartige Ereignisse im September aus, von denen keines zu den 10 intensivsten gehörte und nur 2 unter die 20 intensivsten eingeordnet werden können /1/. Auf 4 der 6 im September beobachteten Salzwassereinbrüche folgten weitere intensive Einstromperioden. Dies scheint 1988 nicht der Fall gewesen zu sein. Die Mitte November im Fehmarnbelt und im südlichen Kattegat durchgeführten Untersuchungen ließen keine Rückschlüsse auf einen unmittelbar bevorstehenden Salzwassereinbruch zu.

Obgleich der im September 1988 erfolgte Einstrom salzreichen Wassers nicht das Ausmaß eines Salzwassereinbruchs erreichte, waren seine Auswirkungen auf das Bornholmbecken stärker als die hier in jedem Herbst beobachteten Intrusionen aus dem Arkonabecken /9/. Infolge seines relativ hohen Salzgehalts konnte das ins Bornholmbecken einströmende Wasser bis zum Grund vordringen. Die damit verbundene Umschichtung wurde durch die starke Aussüßung des Tiefenwassers begünstigt. Neben dem Anstieg des Salzgehalts bewirkte sie in Übereinstimmung mit dem jahreszeitlich frühen Termin des Einstroms eine starke Temperaturzunahme.

Wie die Untersuchungen in der westlichen Ostsee und im Arkonabecken zeigten, war der Sauerstoffgehalt des eingeströmten salzreichen Wassers relativ gering und reichte nicht aus, um den Schwefelwasserstoff, der im Tiefenwasser des Bornholmbeckens in relativ hohen Konzentrationen vorlag, vollständig zu oxydieren. Auf einigen Stationen blieben daher anoxische Bedingungen, wenn auch mit geringen Schwefelwasserstoffkonzentrationen, erhalten, während sich auf anderen Stationen oxische Bedingungen bis

*) Abweichend von FRANCK u. a. /2/ versteht der Autor unter einem Salzwassereinbruch den Einstrom salzreicher Wassermassen, die in Abhängigkeit von ihrer Menge und Dichte die Grundnahe Wasserschicht im östlichen Gotlandbecken, dem größten Becken der zentralen Ostsee, erneuern können. Dabei ist es gleichgültig, ob der Einstrom, der während einer Saison erfolgt, schubweise oder als einmaliges Ereignis stattfindet.

auf den Grund durchsetzten. Die Verteilung des Sauerstoffs und Schwefelwasserstoffs ließ erkennen, daß der Einstrom des salzreichen Wassers unter der Wirkung der Corioliskraft im Südteil des Bornholmbeckens erfolgte. Dabei wurde anoxisches Tiefenwasser auf den Nordhang des Beckens gedrückt.

Ende Oktober wurden auch in der Slupsker Rinne hydrographisch-chemische Veränderungen im Tiefenwasser festgestellt, die mit dem im September beobachteten Einstrom zusammenhängen. Seine Auswirkungen werden daher auch das östliche Gotlandbecken erfassen. Die zu erwartenden Veränderungen betreffen die Erhöhung des Salzgehalts und vor allem die Zunahme der Temperaturen im Tiefenwasser.

Ein Einstrom mit sehr ähnlichem Verlauf wurde Ende November 1982 im Arkonabecken beobachtet, jedoch mit dem Unterschied, daß das salzreiche Wasser wesentlich stärker mit Sauerstoff angereichert war /15/. Seine Auswirkungen auf das Sauerstoffregime beschränkten sich jedoch auf das Bornholm- und Gdanskter Becken /16/, während im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens anoxische Bedingungen erhalten blieben.

Tabelle 5

Salzgehaltskonzentrationen (in ‰) in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostsee im Mai

Jahr	Stat. 5A Born- holm- tief 88–91 m	Stat. 15A Got- land- tief 235–248 m	Stat. 29A Nord- tief 164–168 m	Stat. 31A Lands- ort- tief 400 m	Stat. 38A Karlsö- tief 104–110 m
1980	16,21	12,69	11,61	11,03	10,11
1984	16,20	12,51	10,91	10,35	9,12
1988	14,25	11,38	10,43	9,99	8,98

Die Salzkonzentrationen in der Oberflächenschicht (Tab. 4) sowie im grundnahen Bereich (Tab. 5) sind seit Beginn der 80er Jahre deutlich rückläufig. Bei stärkeren zwischenjährlichen Fluktuationen ist die Abnahme in der Oberflächenschicht geringer als im Tiefenwasser. Im Zeitraum 1980 bis 1988 betrug sie etwa 0,4 ‰ in der Oberflächenschicht der südöstlichen Gotlandsee. Im gleichen Zeitraum nahm der Salzgehalt in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostseebeckens nahezu kontinuierlich um 0,8 bis 1,1 ‰ ab. Die Salzgehaltsabnahme war im westlichen Gotlandbecken größer als im östlichen. Durch den häufigeren Einstrom salzreicheren Wassers werden im Bornholmbecken erhebliche zwischenjährliche Variationen beobachtet. Die Salzkonzentrationen im Bodenwasser der zentralen Ostseebeckens entsprechen gegenwärtig denen, die in den 30er Jahren gemessen wurden /6/. Der starke Salzgehaltsrückgang hängt damit zusammen, daß seit 1976 kein Salzwassereinbruch in die Ostsee erfolgt ist. Intensive Einstromperioden besaßen nur lokale Bedeutung. Ihre Auswirkungen blieben auf das Bornholm- und Gdanskter Becken sowie auf den Südteil des östlichen Gotlandbeckens beschränkt. Durch die weitere Salzgehaltsabnahme und damit der Dichte haben sich die Voraussetzungen für die Erneuerung des Tiefenwassers in den zentralen Ostseebeckens verbessert.

Die Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens zeigten gegenüber 1987 keine nennenswerten Veränderungen. Im Bornholmbecken dominierte ganzjährig Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht, wenngleich im Oktober–November durch den Einstrom salzreicheren Wassers sich auf einigen Stationen oxische Bedingungen bis zum Meeresgrund durchsetzten. Nachhaltige Auswirkungen auf das Sauerstoffregime werden von dieser Wassererneuerung jedoch nicht erwartet.

Nach anfänglich günstigen Sauerstoffbedingungen trat in der 2. Jahreshälfte erneut Schwefelwasserstoff im Gdanskter Tief auf. Im östlichen Gotlandbecken dauerte die Stagnationsperiode mit sehr hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen im Tiefenwasser an. Durch den vorübergehenden Einstrom sauerstoffreicherer Wassermassen, die infolge ihrer zu geringen Dichte nicht in die bodennahe Wasserschicht des Gotlandtiefs vordringen konnten, wurde jedoch eine vertikale Ausdehnung der anoxischen Tiefenschicht in diesem Becken verhindert.

Relativ günstige Sauerstoffbedingungen herrschten 1988 ganzjährig im westlichen Gotlandbecken, einschließlich dem Landsorttief. Ebenso wie im Vorjahr /18/ war in diesem Becken bis in den grundnahen Bereich Sauerstoff,

wenn auch in geringen Konzentrationen, vorhanden. Die zunehmende Aussüßung im Tiefenwasser dieses Beckens ist offensichtlich die Ursache für einen verstärkten advektiven Austausch durch sauerstoffreichere Wassermassen, die das östliche Gotlandbecken in mittleren Tiefen passiert haben.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Gebiete mit ungünstigen Sauerstoffbedingungen und Schwefelwasserstoff in der bodennahen Wasserschicht der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1988. Die Abweichungen gegenüber dem Vorjahr /18/ sind gering.

In den westlichen Teilgebieten der Ostsee wurde 1988 eine sehr intensive Herbstblüte des Phytoplanktons, vorrangig von Diatomeen, beobachtet /14/. Diese Blüte ist die Ursache für das relativ geringe Sauerstoffdefizit, das im Oktober–November in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee und der Arkonasee ermittelt wurde.

Die Phosphatkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht aller untersuchten Ostseeregionen lagen 1988 deutlich unter denen der Vorjahre (vgl. auch /18/). Es bleibt abzuwarten, ob es sich dabei um zwischenjährliche Variationen, wie sie auch Ende der 70er Jahre auftraten /12/, oder aber um eine Trendumkehr handelt. Die gleichzeitig beobachtete Abnahme des Salzgehalts läßt hydrographische Ursachen, die den Vertikalaustausch beeinflussen (vgl. auch /11/), vermuten.

Im Gegensatz zum Phosphat waren die winterlichen Nitratkonzentrationen in der Arkona- und Bornholmsee höher als in den Vorjahren /18/. Dies zeigt, daß bei den anorganischen Stickstoffverbindungen, zumindest gebietsweise, anthropogene Einflüsse dominieren. In der südöstlichen Gotlandsee wurden keine nennenswerten Abweichungen in der winterlichen Nitratanreicherung im Vergleich zum Zeitraum 1980–1987 festgestellt. Infolge starker regionaler Variationen, die auch in der Höhe der Standardabweichungen zum Ausdruck kommen (Tab. 4), ist die Nährstoffsituation im Oberflächenwasser der Mecklenburger Bucht unübersichtlich.

Durch die Veränderungen des Nährstoffangebots in der winterlichen Oberflächenschicht hat das produktionsbiologisch wichtige Verhältnis von Phosphor zu Stickstoff, das in der Ostsee unter dem des Phyto- und Zooplanktons /20/ liegt, zugenommen. Es betrug 1988 in der eigentlichen Ostsee 8 bis 9 : 1 (Tab. 4) und war damit deutlich höher als bei früheren Untersuchungen (vgl. auch /10/), hat jedoch das ozeanische Verhältnis von 16 : 1 /20/ noch nicht erreicht. Das für die Mecklenburger Bucht berechnete Verhältnis von 15 : 1 entspricht dagegen bereits den ozeanischen Bedingungen.

Abweichend von den küstenfernen Ostseeregionen wurde im Gebiet der Oderbank eine starke Zunahme der Eutrophierung beobachtet. Nach dem hier bereits 1987 gelegentlich sehr hohe Nitratkonzentrationen gemessen wurden /18/, traten 1988 noch erheblich höhere Werte auf. Die im

April 1988 gemessenen Werte waren fast doppelt so hoch wie die im ozeanischen Tiefenwasser. Besorgniserregend sind ferner die relativ hohen Konzentrationen an Phosphat und anorganischen Stickstoffverbindungen, die im August ermittelt wurden. Sie zeigen, daß sogar während des Sommers in diesem Gebiet nicht mehr das Nährstoffangebot, sondern das Licht die limitierende Größe für die Phytoplanktonentwicklung darstellte. Als wichtigste Ursache für die rasante Eutrophierung im Gebiet der Oderbank ist die wachsende Nährstofffracht der Oder sowie des Peenestroms anzusehen.

Die Phosphat- und Nitratkonzentrationen im oxischen Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken zeigten keine augenfälligen Abweichungen zu denen, die in den letzten 10 Jahren gemessen wurden. In den grundnahen Wasserschichten bestimmten die Redoxbedingungen die Verteilung des Phosphats sowie des Nitrat- und Ammoniumstickstoffs.

Im Hinblick auf die Fischerei herrschten 1988 günstige thermische Bedingungen in der Ostsee. Infolge des milden Winters traten keine Behinderungen durch Eisbildung auf. Die sonnenscheinreichen Frühjahrsmonate März, April und Mai sowie der annähernd temperaturnormale Sommer förderten zusammen mit dem Nährstoffangebot die Entwicklung von Fischnahrung. Die positive Temperaturanomalie im baltischen Zwischenwasser schuf günstige Voraussetzungen für die Entwicklung der Sprottbestände in der Gotlandsee.

Die Fortpflanzung des Dorschbestandes im Bornholmbecken wurde durch die ungünstigen Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser beeinträchtigt. Günstigere Bedingungen herrschten zeitweise im Tiefenwasser des Gdansk Beckens sowie im Südtel des östlichen Gotlandbeckens. Hier kann sich jedoch der inzwischen sehr niedrige Salzgehalt nachteilig auf die Entwicklung des Laichs auswirken.

Das vor allem in bezug auf Phosphat rückläufige Nährstoffpotential in der Ostsee läßt den Schluß zu, daß 1988 weniger Biomasse in der euphotischen Schicht produziert wurde als in früheren Jahren. Dadurch verringerte sich auch die Belastung des Sauerstoffregimes im Tiefenwasser, weil weniger mineralisierbare organische Substanz anfiel.

Sehr bedenklich ist jedoch die rasante Eutrophierung im Gebiet der Oderbank, die nachhaltige Auswirkungen auch auf die Laichgründe des Rügenherings befürchten läßt. Durch die vermehrte Phytoplanktonentwicklung ist, neben der verstärkten Belastung des Sauerstoffregimes, eine Abnahme der Sichttiefe als Maß für die euphotische Schicht zu erwarten. Die Verringerung der Lichteindringtiefe kann in Flachwassergebieten zu einem Rückgang des Phytobenthos führen, das als Laichsubstrat und Schutz für Fischlarven und Jungfische dient.

Literatur

- FRANCK, H.; MATTHÄUS, W.; SAMMLER, R.: Major inflows of saline water into the Baltic Sea during the present century. Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 76 (1987), S. 517–531.
- HUPFER, P.: Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen. Leipzig 1978, S. 1–152.
- MATTHÄUS, W.: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY 2A auf 55° N, 14° E. Beitr. Meereskunde, Berlin 36 (1975), S. 5–27.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 40 (1977), S. 117–155.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehalts der Ostsee. Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 87 (1978), S. 369–376.
- MATTHÄUS, W.: Langzeitvariationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 42 (1979), S. 41–93.
- MATTHÄUS, W.: Die Veränderungen des ozeanologischen Regimes im Tiefenwasser des Gotlandtiefs während der gegenwärtigen Stagnationsperiode. Fisch.-Forsch., Rostock 25 (1987), S. 17–22.
- MÖCKEL, F.: Die ozeanologische Meßkette OM 75 – eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. Beitr. Meereskunde, Berlin 43 (1980), S. 5–14.
- NEHRING, D.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee 1939 bis 1978. II. Die chemischen Bedingungen und ihre Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 35 (1981), S. 39–220.
- NEHRING, D.: Relationen der Phosphor- und Stickstoffverbindungen untereinander und zu anderen chemischen Größen der Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 47 (1982), S. 51–60.
- NEHRING, D.: Langzeitrends des Phosphat- und Nitratgehalts in der Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 47 (1982), S. 61–85.
- NEHRING, D.: Langzeitveränderungen essentieller Nährstoffe in der zentralen Ostsee. Acta hydrochim. hydrobiol. 13 (1985), S. 591–609.
- NEHRING, D.: Temporal variations of phosphate and inorganic nitrogen compounds in central Baltic deep waters. Limnol. Oceanogr. 32 (1987), S. 494–499.
- NEHRING, D.: Cruise-Report No. 68 (1988), S. 1–8.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1982. Fisch.-Forsch., Rostock 21 (1983) 4, S. 56–65.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der Ostsee im Jahre 1983. Fisch.-Forsch., Rostock 23 (1985) 4, S. 7–17.