

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1990

PROF. DR. D. NEHRING
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE, ROSTOCK-WARNEMÜNDE

Der sehr milde Winter und das zu warme Frühjahr führten 1990 in der Oberflächenschicht der Ostsee und im baltischen Zwischenwasser zu hohen Temperaturanomalien. Im Sommer und Herbst zeigten die Wassertemperaturen dagegen nur geringe Abweichungen von den mittleren Bedingungen.

Die kontinuierliche Abnahme des Salzgehalts ist die Ursache dafür, daß die grundnahe Wasserschicht in den zentralen Ostseebecken zunehmend durch advektive Prozesse und vertikale Vermischung beeinflusst wird, auch wenn kein Salzwassereinbruch stattgefunden hat.

Im Februar 1990 wurden relativ hohe Phosphat- und niedrige Nitratkonzentrationen in der Oberflächenschicht der Ostsee gemessen. Die unvollständige Nitrifikation, die durch hohe Ammonium- und Nitritkonzentrationen gekennzeichnet ist, deutete in der westlichen Ostsee und in der Arkonasee auf eine starke organische Belastung hin. Die durch das Niederschlagsdefizit verringerte Flußwasserzufuhr war die Ursache dafür, daß die Oderbucht und die Gewässer östlich von Rügen 1990 keiner extremen Nährstoffbelastung und ungewöhnlichen Algenentwicklung ausgesetzt waren.

Ungünstige Sauerstoffbedingungen und abnehmender Salzgehalt beeinträchtigten auch 1990 alle wichtigen Dorschlaichplätze der Ostsee. In bezug auf die ozeanologischen Größen waren die Laichbedingungen für Sprott und Rügenhering dagegen gut.

Мягкая зима и слишком теплая весна привели в 1990 г. к высоким аномалиям температуры в поверхностном слое Балтийского моря и в промежуточной балтийской воде. Однако, летом и осенью температуры воды показали только небольшие отклонения от средних условий.

Постоянное снижение солёности является причиной для того, что близко к грунту слой воды в центральном бассейне в возрастающей мере оказывается под влиянием адвективных процессов и вертикального смешивания, хотя и никакого притока солёной воды не произошёл.

В феврале 1990 г. относительно высокие концентрации фосфора и низкие концентрации нитрита были измерены в поверхностном слое Балтийского моря. Неполная нитрификация, которая характеризуется высокими концентрациями аммония и нитрита, указывала на сильную органическую нагрузку в западной части Балтийского моря и в Арконском бассейне. Сниженный дефицитом осадок приток речной воды являлось причиной для того, что бухта Одера и воды восточнее о. Рюген в 1990 г. не оказались под никаким крайним влиянием нагрузки питательными веществами и необыкновенным развитием водорослей.

Неблагоприятные кислородные условия и снижение солёности и в 1990 мешали всем важным нерестилищами Балтийского моря. Однако, относительно океанологических величин условия для нереста шпрота и рюгенской сельди были хорошие.

1. Einleitung

Mit fünf Meßfahrten wurde das Ostseeüberwachungsprogramm des Instituts für Meereskunde in Warnemünde (IfM-W) 1990 planmäßig fortgesetzt. Dieses Programm, das seit 1969 im gegenwärtigen Umfang durchgeführt wird, dient der Untersuchung jahreszeitlicher und zwischenjährlicher Anomalien sowie von Langzeitveränderungen ozeanologischer Größen.

Als ozeanologischer Beitrag zur Qualifizierung der Prognosen für die Ostseefischerei erfolgten diese Untersuchungen im Auftrage des Instituts für Hochseefischerei und Fischverarbeitung, Rostock-Marienehe²⁾. Sie bildeten darüber hinaus die Grundlage für den nationalen Beitrag der ehemaligen DDR zum Ostseeüberwachungsprogramm (BMP) der Helsinki-Kommission (HELCOM) zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes.

Die hydrographisch-chemischen Messungen gemäß dem Terminfahrprogramm des IfM-W wurden im Februar, März – April, Mai, Juli – August und Oktober – November 1990 mit dem Forschungsschiff „Prof. Albrecht Penck“ oder „A. v. Humboldt“ durchgeführt. Sie erfaßten vorrangig die Seegebiete zwischen Fehmarnbelt (Stat. 010) und Gotlandtief (Stat. 15 A). Im Mai und Oktober – November wurden sie bis in den

Finnischen Meerbusen (Stat. 22 A), im Oktober – November darüber hinaus bis ins südliche Kattegat (Stat. 351) ausgedehnt. Die Positionen der nationalen und internationalen Standardstationen, die für die nachfolgende Einschätzung der hydrographisch-chemischen Bedingungen verwendet werden, sind der Stationskarte in Abb. 1 zu entnehmen. Sie schließen alle Stationen des HELCOM-BMP /1/ in den beprobten Seegebieten ein.

Die Messung der Wassertemperaturen und die Gewinnung der Wasserproben für die hydrographisch-chemischen Untersuchungen erfolgte mit der ozeanologischen Meßkette OM 87 (vgl. auch 11). In separaten Wasserproben wurden der Salzgehalt, die Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie der Phosphat-, Nitrat- und Nitritgehalt gemäß Rohde und Nehring /18/ bzw. HELCOM-BMP /1/ bestimmt. Auf ausgewählten Stationen wurde auch die Verteilung von Silikat, Ammonium und Harnstoff sowie von Gesamtphosphor und -stickstoff untersucht. Ergänzend zu den hydrographisch-chemischen Messungen wurden meteorologische Beobachtungen durchgeführt.

Viele ozeanologische Größen werden direkt durch die meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Der hydrographisch-chemischen Zustandseinschätzung ist deshalb ein kurzer Rückblick auf den Witterungsverlauf im Jahre 1990 vorangestellt.

²⁾ Die Ergebnisse früherer Untersuchungen wurden fortlaufend in der Zeitschrift-Fischerei-Forschung, Rostock, publiziert.

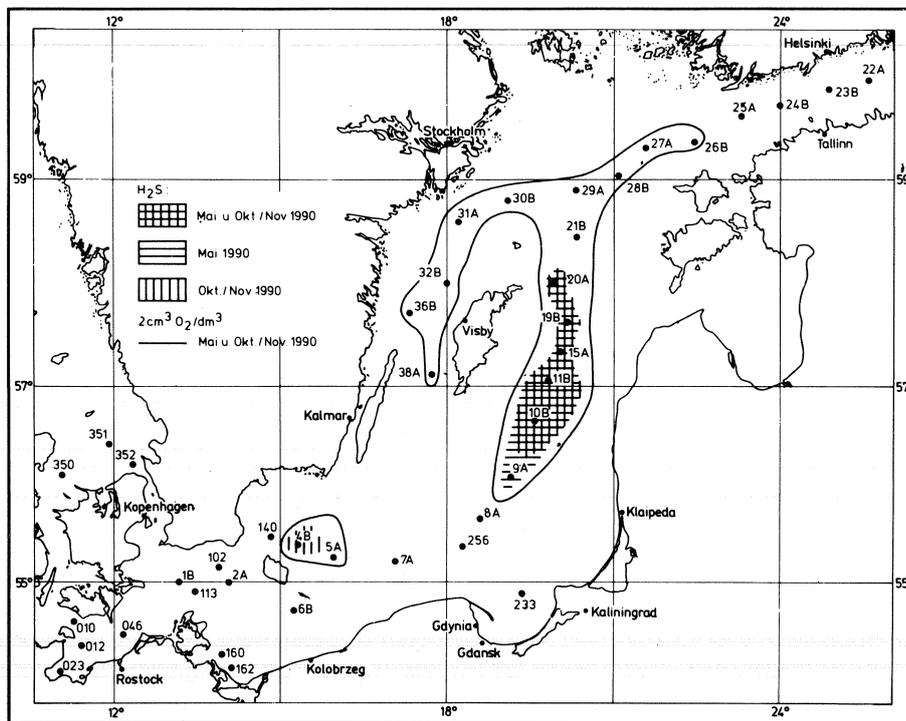


Abb. 1
 Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der westlichen und zentralen Ostsee

2. Die meteorologischen Bedingungen

Zur Charakterisierung der Winter und Sommer haben sich die Kälte- und Wärmesummen der Lufttemperaturen bewährt /16/. Tabelle 1 enthält Angaben über die Temperatursummen der meteorologischen Station Warnemünde im Winter 1989/90 und im Sommer 1990.

Tabelle 1

Temperatursummen 1989/90 (in K) an der meteorologischen Station Warnemünde /19/

Kältesummen ^{*)}		K	Wärmesummen ^{**)}		K
Nov.	1989	2,6	Mai	1990	5,9
Dez.	1989	10,2	Jun.	1990	20,9
Jan.	1990	0,6	Jul.	1990	30,2
Feb.	1990	-	Aug.	1990	69,8
Mär.	1990	-	Sep.	1990	1,4
Apr.	1990	-	Okt.	1990	0,6
Summe 1989/90		13,4	Summe 1990		128,8

^{*)} Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen

^{**)} Summe des über 16°C liegenden Betrages der Tagesmitteltemperaturen

Mit einer Kältesumme von nur 13,4 K, die vorrangig aus den negativen Tagesmitteltemperaturen im Dezember resultiert, herrschte 1989/90 ein milder Winter. Der Sommer 1990 kann dagegen auf Grund seiner Wärmesumme von 128,8 K als normal warm bezeichnet werden, wobei der August überdurchschnittlich warm, die Monate Juli und September jedoch zu kühl waren.

Die in Tabelle 2 enthaltenen Angaben über einige ausgewählte meteorologische Größen an der Station Arkona gelten streng genommen nur für das unmittelbare Küstengebiet. Frühere Untersuchungen /11/ haben jedoch gezeigt, daß die Angaben für Arkona zumindest in der Tendenz auch für größere Teile der Ostsee und ihres Einzugsgebietes zutreffen.

Der sehr milde Winter 1989/90, der bereits durch die niedrige Kältesumme dokumentiert wurde, spiegelt sich auch in den stark positiven Anomalien der Monatsmitteltemperaturen der Luft an der meteorologischen Station Arkona wider. Eine deutliche Verringerung dieser Anomalien trat erst im Juni ein, wobei sich der September als einziger Monat im Jahre 1990 durch eine negative Abweichung der mittleren Lufttemperatur auszeichnete. Die im August ermittelte positive Anomalie war nicht so groß, wie es aufgrund der Wärmesumme von Warnemünde zu erwarten gewesen wäre.

Nach den Messungen an der meteorologischen Station Arkona war das Jahr 1990 überwiegend sonnenscheinreich. Es war darüber hinaus zu trocken, wobei sich der August durch ein besonders großes Niederschlagsdefizit auszeichnete. Niederschlagsreich waren nur der September und der November.

Tabelle 2

Abweichungen der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft (ΔT_L in K) sowie Anteil der monatlichen Sonnenscheindauer (SS in %) und Niederschlagshöhe (NH in %) an der meteorologischen Station Arkona im Jahre 1990 bezogen auf die Normalwerte (1951 - 1980)/22/

Monat	ΔT_L (K)	SS (%)	NH (%)
Januar	3,5	56	75
Februar	6,0	137	96
März	4,8	110	87
April	2,4	138	66
Mai	3,0	124	68
Juni	1,3	66	80
Juli	0,3	103	55
August ^{*)}	1 - 2	-	25 - 50
September	-0,9	77	170
Oktober	1,2	108	77
November	0,7	91	194
Dezember	0,5	115	56

^{*)} Wetterdienst Offenbach /23/

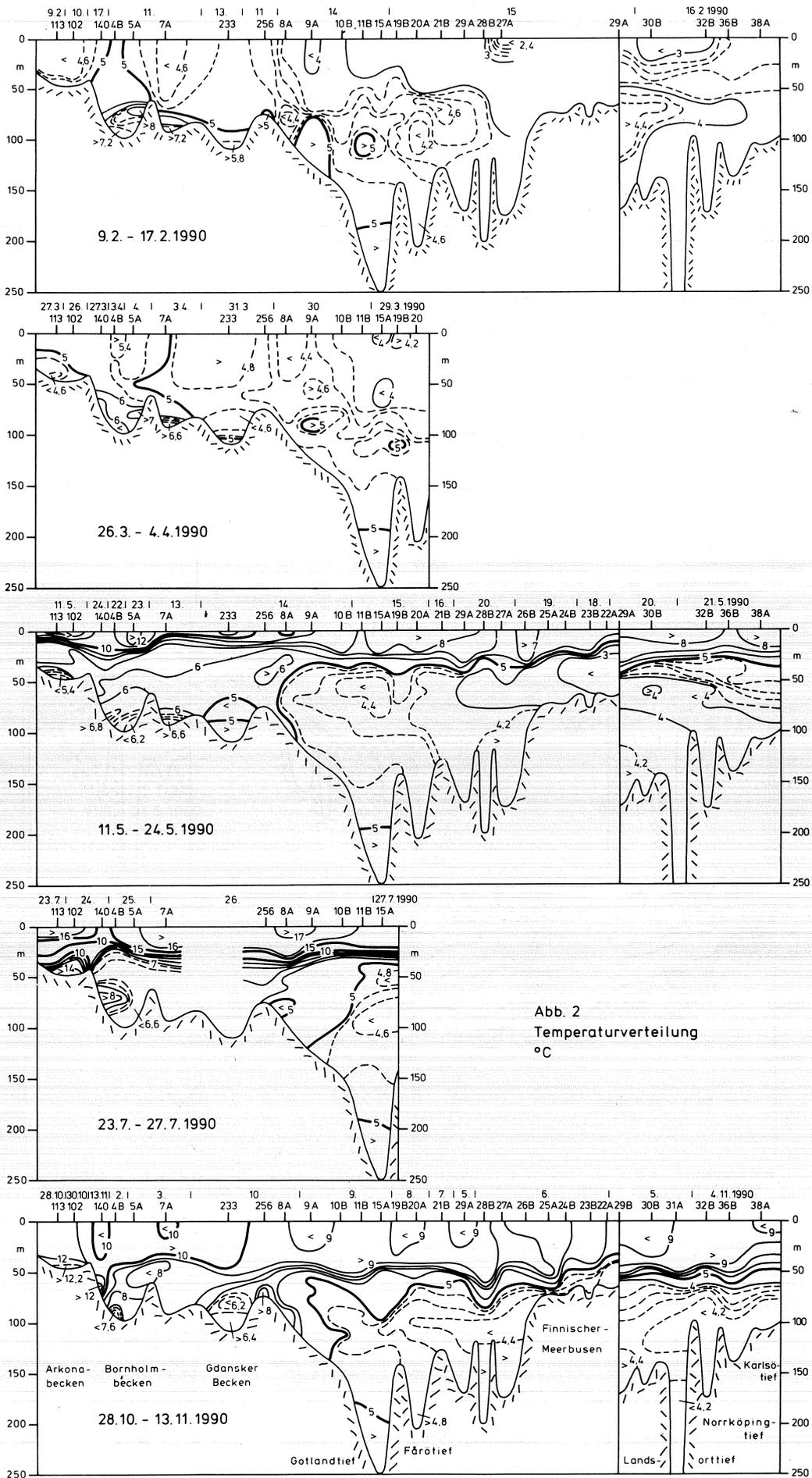


Abb. 2
Temperaturverteilung
°C

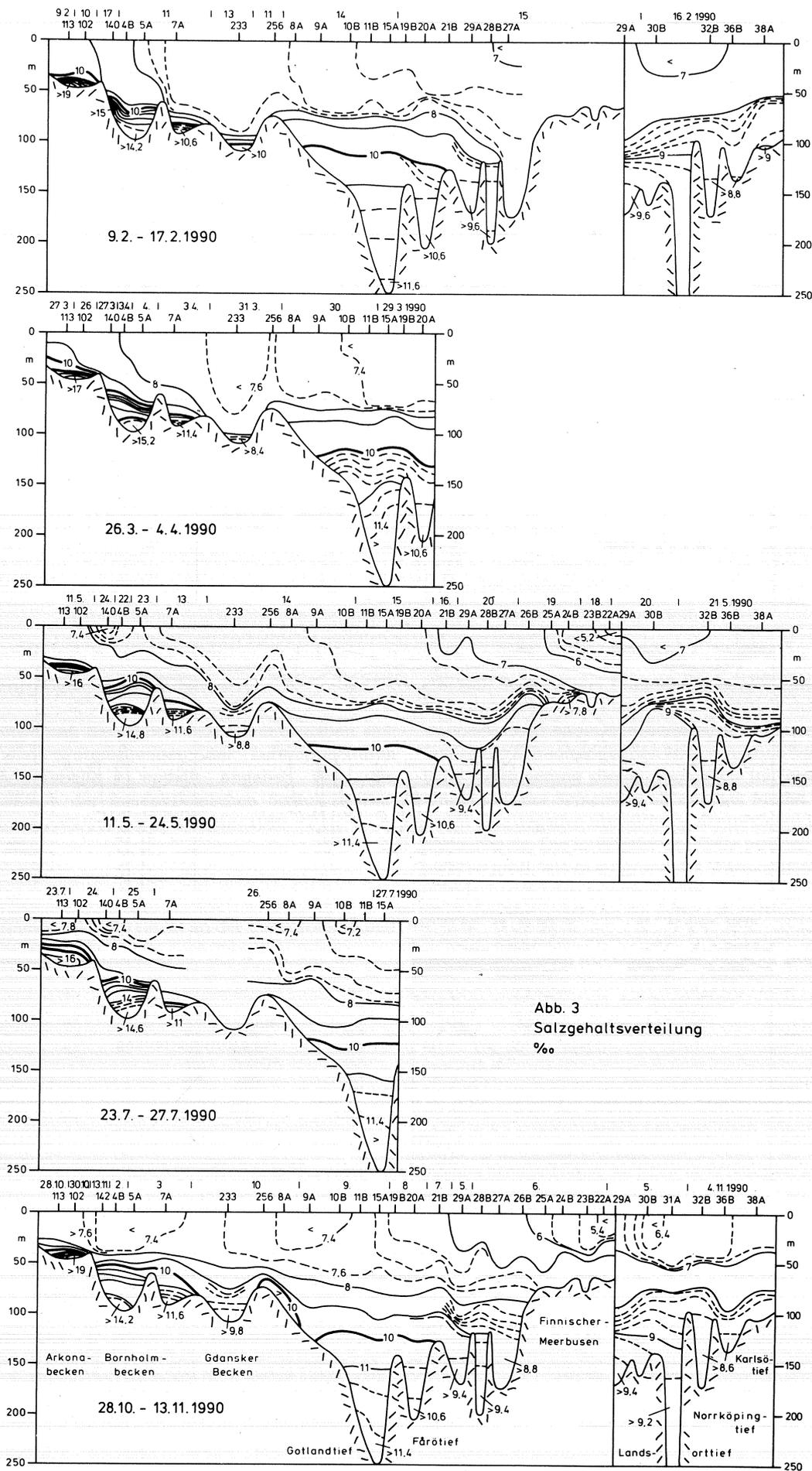
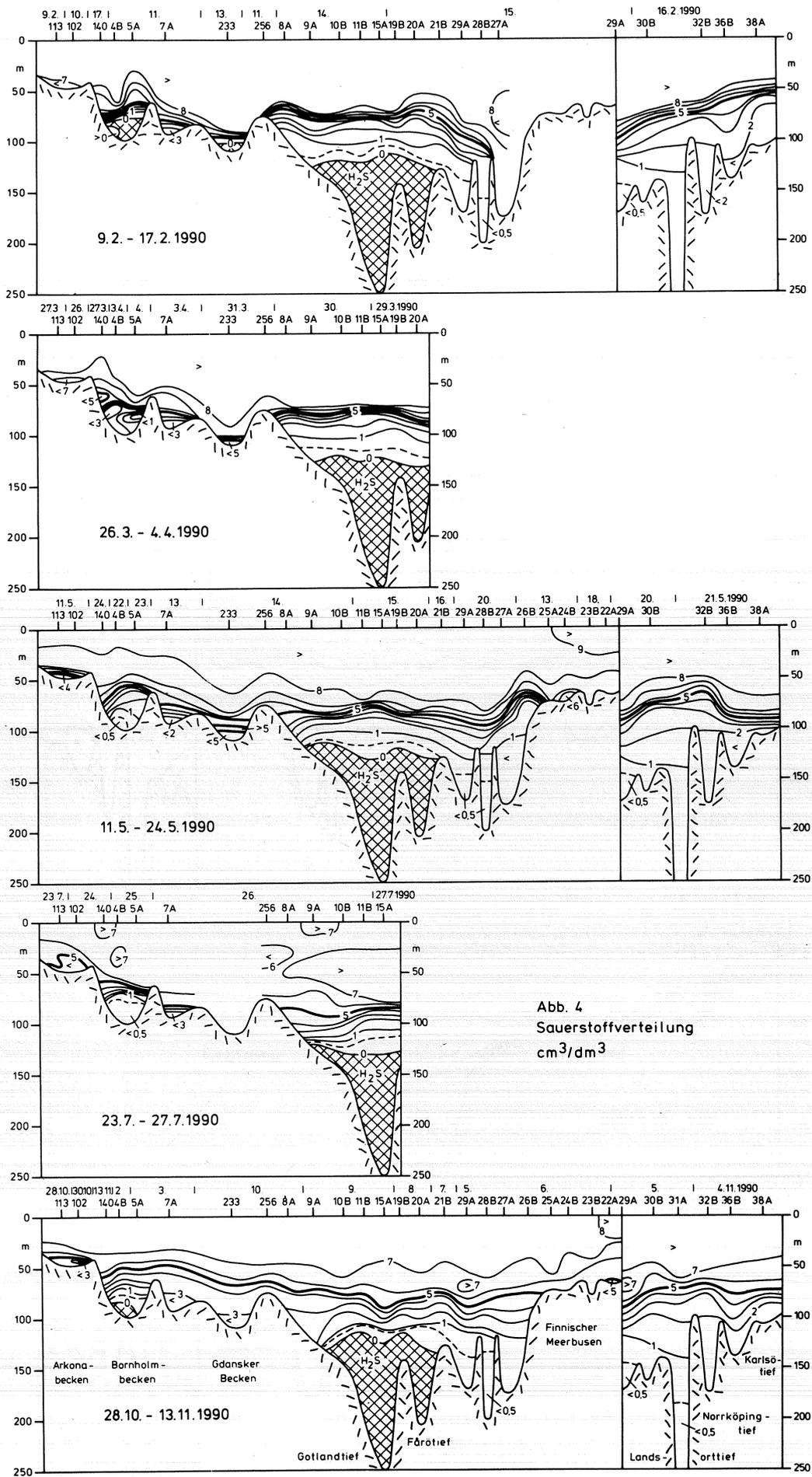


Abb. 3
Salzgehaltsverteilung
‰



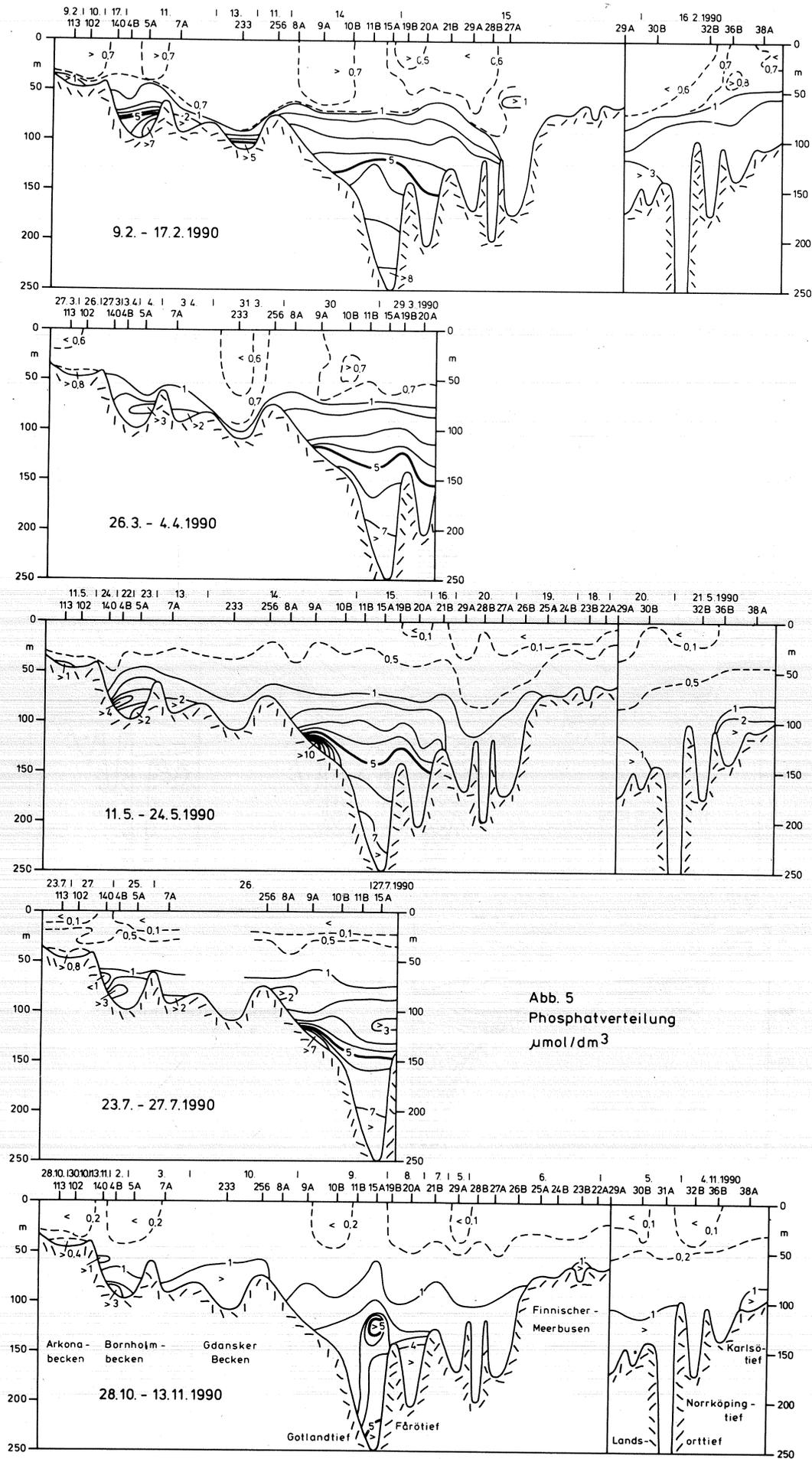


Abb. 5
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol/dm}^3$

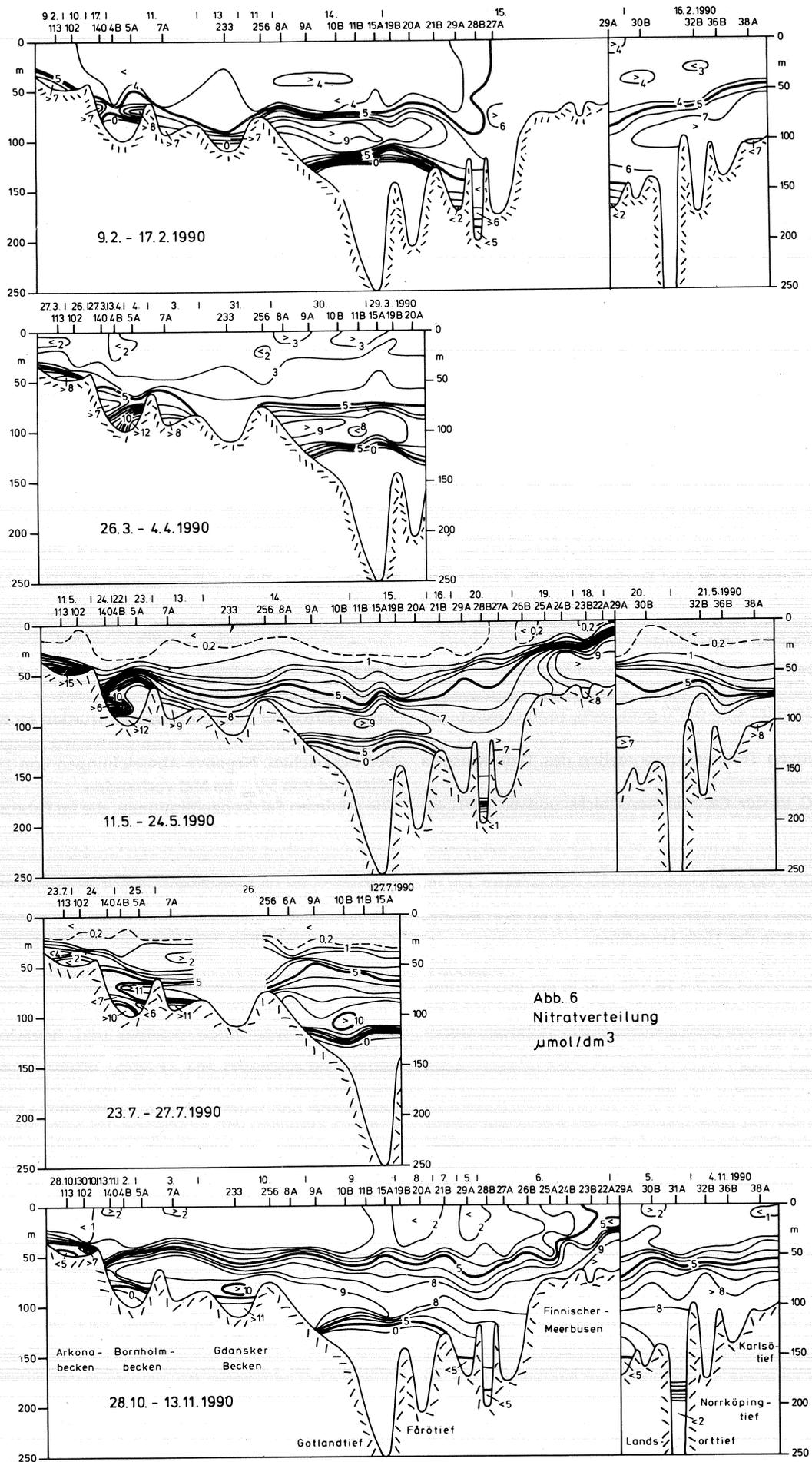


Abb. 6
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

3. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

Die hydrographisch-chemischen Feldverteilungen der Wassertemperatur, des Salz- und Sauerstoffgehalts sowie der Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der eigentlichen Ostsee sind in den Abb. 2 – 6 dargestellt. Die Vertikalschnitte folgen dem Talweg durch die Arkona-, Bornholm- und Gotlandsee. Darüber hinaus wurden die Feldverteilungen dieser Größen in der westlichen Ostsee, dem Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwellen, untersucht.

Da mit einem Schiff keine synoptischen Beobachtungen möglich sind, gelten die aus den Untersuchungen abgeleiteten Schlußfolgerungen nur solange, wie die jahreszeitlichen und zwischenjährlichen Veränderungen größer sind als die Unterschiede, die sich aus der zeitlichen Differenz in der Bearbeitung der Stationen ergeben und ihre Ursache in kurzfristigen raum-zeitlichen Variabilitäten haben.

3.1 Die Wassertemperaturen

Ähnlich wie in den beiden vorangegangenen Jahren /10, 11/ kühlte sich die Ostsee infolge des milden Winters verhältnismäßig wenig ab. Die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee sanken im Februar, dem Monat mit dem niedrigsten Mitteltemperaturen im Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwellen, nicht unter 4 – 4,2°C ab und waren Ende März 1990 bereits wieder auf 5 – 6°C angestiegen. Bezogen auf die mittleren Bedingungen an den Feuerschiffen „Fehmarnbelt“ /17/ und „Gedser Rev“ /21/ betragen die positiven Anomalien im Februar 2,5 – 3 K. In der grundnahen Wasserschicht wurden im Februar 4,1 – 4,4°C und Ende März 4,9 – 5,5°C gemessen, Temperaturen, die sich nur wenig von denen der Oberflächenschicht unterscheiden. Die positiven Temperaturanomalien des Tiefenwassers lagen im Februar zwischen 2 – 2,5 K.

Mit 13 – 15°C in der Oberflächenschicht und 6 – 7°C im grundnahen Bereich war im Mai 1990 bereits eine deutliche thermische Differenzierung der Wassersäule zu erkennen. Lediglich im Gebiet der Darßer Schwellen verharrten die Temperaturen bei etwa 9°C. Es herrschten weiterhin positive Temperaturanomalien, die im Fehmarnbelt 3 – 4 K an der Oberfläche und etwa 1 K in der Tiefe erreichten.

Im Juli wurden in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee Temperaturen von 16,5 – 18,5°C und in der grundnahen Wasserschicht von 9 – 15°C gemessen, wobei die höheren Temperaturen jeweils in der Lübecker Bucht auftraten. Generell entsprachen die Temperaturen etwa den jahreszeitlichen Erwartungswerten.

Mit Temperaturen von 10 – 11,5°C an der Oberfläche und 11 – 12,5°C in der Tiefe war Ende Oktober in der westlichen Ostsee keine thermische Differenzierung der Wassersäule vorhanden. Die beobachteten Temperaturen zeigten keine nennenswerten Anomalien.

Die Temperaturverteilung für die eigentliche Ostsee ist in Abb. 2 dargestellt. In Abhängigkeit von dem milden Winter 1989/90 war sie in der Oberflächenschicht zunächst durch positive Anomalien gekennzeichnet, im Sommer und Herbst entsprachen die Temperaturen dagegen den jahreszeitlichen Erwartungswerten. Im Vergleich zu den von Matthäus /5, 6/ für das Arkona-, Bornholm- und Gotlandtief untersuchten mittleren Jahrgängen betrug die positive Anomalie im 1. Halbjahr 1990 2 – 4 K mit den höheren Beträgen im Frühjahr.

Durch die geringe winterliche Abkühlung war das baltische Zwischenwasser in den zentralen Ostseebecken nur schwach ausgebildet und durch positive Anomalien von 1,5 – 2 K gekennzeichnet. Im Bornholmbecken fehlte es im Juli voll-

ständig. Dafür zeichnete sich der Einstrom warmen Wassers aus dem Arkonabecken ab, der sich im Herbst weiter verstärkt hatte und an einem intermediären Temperaturmaximum am Westhang des Beckens kenntlich ist.

Die Temperaturen im Tiefenwasser des Arkonabeckens sind durch einen Jahresgang gekennzeichnet /5/. Sie waren im Winter und im zeitigen Frühjahr 1989 durch positive Anomalien von etwa 3 K geprägt und entsprachen ab Mai annähernd den Normalwerten.

Ende März wurde im Tiefenwasser des Bornholmbeckens eine vorübergehende Temperaturabnahme um 1,3 K und im Gdansker Becken von 0,9 K festgestellt. Nach kälterem Wasser (<5°C) im Winter und Frühjahr zeichnete sich im November relativ warmes Wasser (7,8 – 8,2°C) im Westteil des östlichen Gotlandbeckens ab. Die Temperaturschwankungen, die 1990 in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs (>175 m Tiefe) auftraten, waren kleiner als 0,05 K und damit äußerst gering. Mit etwas niedrigeren Werten im Winter und höheren im Herbst entsprachen die Temperaturveränderungen im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens denen des Vorjahres /11/.

3.2 Der Salzgehalt

Im Vergleich zu den langjährigen Feuerschiffbeobachtungen /17/ traten im Fehmarnbelt nur im Februar und im Juli 1990 positive Salzgehaltsanomalien von 2,5‰ bzw. 1‰ in der Oberflächenschicht auf. Während der anderen Meßfahrten wurden negative Abweichungen von den jahreszeitlichen Erwartungswerten festgestellt, die im März und Mai 1‰ und im Oktober 5 – 6‰ erreichten.

Im Tiefenwasser des Fehmarnbelts wurden im Februar sowie im Juli und Oktober keine nennenswerten Salzgehaltsanomalien beobachtet. Negative Abweichungen von 1‰ waren im März und von 5‰ im Mai vorhanden.

Die mittleren Salzkonzentrationen, die im Februar 1990 in der Oberflächenschicht der Ostsee gemessen wurden, sind in Tabelle 4 enthalten. Sie liegen in der Mecklenburger Bucht sowie in der Arkona- und Bornholmsee deutlich über denen der Vorjahre, im südöstlichen Gotlandbecken jedoch darunter /15/ Mit 7,7 – 8,3‰, im März sogar von 9,6‰, wurden 1990 in der Oderbucht zu allen Meßterminen relativ hohe Salzgehalte ermittelt.

Abb. 3 zeigt die Verteilung des Salzgehalts in der eigentlichen Ostsee im Jahre 1990. Der Jahresgang in der Oberflächenschicht /7/ war durch positive und negative Anomalien gekennzeichnet. Im Gotlandtief waren zu Jahresbeginn negative Anomalien von 0,2 – 0,4‰ und im Herbst positive Anomalien von 0,2 – 0,3‰ vorhanden, die durch ihr inverses Verhalten den Jahresgang des Salzgehalts weitgehend kompensierten. Im westlichen Gotlandbecken dominierten dagegen negative Abweichungen vom jahreszeitlichen Erwartungswert, die im Karlsötief zwischen 0,1 und 0,2‰ lagen.

Die Veränderungen des Salzgehalts im Tiefenwasser des Arkonabeckens wurden durch den Jahresgang geprägt mit niedrigeren Werten im Sommer und höheren im Herbst und Winter /13/. In der grundnahen Wasserschicht des Bornholmbeckens wurde Ende März 1990 eine Zunahme des Salzgehalts um 1‰ beobachtet, während zum gleichen Zeitpunkt im Gdansker Becken eine Abnahme um 1,7‰ erfolgt war. Auch im weiteren Jahresverlauf verhielt sich der Salzgehalt in beiden Becken unterschiedlich. Während er im Tiefenwasser des Bornholmbeckens abnahm, zeigte er im Gdansker Becken einen deutlichen Anstieg. Die relativ warme Wassermasse, die im November 1990 im Westteil

des östlichen Gotlandbeckens festgestellt wurde, war durch einen deutlich höheren Salzgehalt gekennzeichnet.

Generell nahm der Salzgehalt im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens jedoch 1990 weiter ab. Mit $0,6\text{‰}$ war diese Abnahme im 100 m-Horizont des Gotlandtiefs wesentlich stärker ausgeprägt als in 200 m Tiefe mit $0,17\text{‰}$. Im November 1990 wurde in dieser Tiefe nur noch ein Salzgehalt von $11,31\text{‰}$ und in Grundnähe (232 m) von $11,48\text{‰}$ gemessen.

Ein weiterer Rückgang des Salzgehalts ist auch im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens zu verzeichnen. Er betrug im Jahresverlauf $0,3 - 0,4\text{‰}$ und war die Ursache dafür, daß die 9‰ -Isohaline im westlichen Gotlandbecken nur noch zu Jahresbeginn beobachtet wurde.

Im Südtteil des Kattegats wurden nur im November 1990 ozeanologische Messungen durchgeführt. Die vertikale Verteilung des dabei gemessenen Salzgehalts ist in Tabelle 3 zusammengefaßt.

Tabelle 3

Aktuelle Salzkonzentrationen (in ‰) auf den Stationen im südlichen Kattegat sowie Novembermittelwerte des Salzgehalts am Feuerschiff „Kattegat SW“ (1949 – 1978)

Tiefe m	350	351	351	„Kattegat SW“
	15. November 1990			Nov. /20/
0 – 1	18,9	20,3	18,4	19,8
5	19,1	20,4	19,0	20,3
10	20,2	20,5	20,8	22,5
15	24,6	24,5	32,0	26,4
20	32,0	32,8	32,9	29,2
30	–	–	–	30,6
G ^{a)}	–	33,2 (32 m)	33,1 (22 m)	30,9 (37 m)

^{a)} Grundnähe

Der Vergleich mit den Novembermittelwerten am Feuerschiff „Kattegat SW“ zeigt, daß in der Oberflächenschicht keine nennenswerte Salzgehaltsanomalie vorhanden war. Im Tiefenwasser wurden positive Abweichungen von $2 - 3\text{‰}$ beobachtet.

3.3 Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die höhere Sättigungskonzentration bei niedrigen Wassertemperaturen sowie die Massenentwicklung des Phytoplanktons sind die Ursachen der höheren Sauerstoffkonzentrationen im Winter und Frühjahr (Abb. 4). Die Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons, die in den westlichen Teilgebieten der Ostsee früher beginnt als in ihren zentralen und nördlichen Teilen /3/, führte 1990 zu Sättigungswerten von $110 - 115\%$, die niedriger als in anderen Jahren waren und auf günstige Austauschbedingungen mit der Atmosphäre hindeuten.

Obgleich das baltische Zwischenwasser in der Temperaturverteilung nur schwach ausgeprägt war (Abb. 2), trat es mit seinem intermediären Sauerstoffmaximum im Juli deutlich in Erscheinung (Abb. 4). Durch die geringe winterliche Abkühlung, in Verbindung mit niedrigerer Sauerstofflöslichkeit, wies dieser Wasserkörper jedoch negative Abweichungen vom Erwartungswert /14/ auf, die im östlichen Gotlandbecken etwa $0,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ betragen.

In der grundnahen Wasserschicht der westlichen Ostsee wurden Ende Juli 1990 Sauerstoffkonzentrationen von $1 - 2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ beobachtet. In den anderen Jahreszeiten lagen sie deutlich höher und entsprachen im Winter und zeitigen Frühjahr annähernd 90% des von Temperatur und Salzgehalt abhängigen Sättigungswertes.

Die Verteilung des Sauerstoffs und des Schwefelwasserstoffs, die 1990 im Tiefenwasser der eigentlichen Ostsee beobachtet wurde, ist der Abb. 4 zu entnehmen. Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Arkonabeckens waren durch hohe Werte im Winter und Frühjahr und niedrige im Sommer und Herbst gekennzeichnet. Insgesamt waren die Sauerstoffbedingungen, die 1990 im Tiefenwasser dieses Beckens beobachtet wurden, relativ günstig.

Im Tiefenwasser des Bornholm- und Gdanker Beckens wurde Ende März 1990 eine deutliche Zunahme des Sauerstoffgehalts festgestellt. Während jedoch im Bornholmbecken im November erneut anoxische Bedingungen auftraten, herrschten im Tiefenwasser des Gdanker Beckens weiterhin relativ günstige Sauerstoffverhältnisse.

Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens waren die Sauerstoffbedingungen auch 1990 ungünstig. Die Redoxsprungschicht verlagerte sich jedoch im Verlauf des Jahres etwas abwärts und befand sich ab Mai teilweise unterhalb der 125 m Meßtiefe. Im anoxischen Tiefenwasser dieses Beckens traten im Verlauf des Jahres deutliche Veränderungen in der Schwefelwasserstoffverteilung auf. So waren die Konzentrationen, die im Zeitraum März bis August im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs gemessen wurden, wesentlich niedriger ($1,9 \text{ mg}/\text{dm}^3$) als die im Februar ($3,1 \text{ mg}/\text{dm}^3$) und im November ($2,9 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Diese Veränderungen spiegelten sich nicht in der Verteilung der Temperatur und des Salzgehalts wider.

Mit $1 - 2 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{dm}^3$ herrschten im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens ganzjährig relativ günstige Sauerstoffbedingungen, während im nördlichen Becken nur $0,1 - 0,5 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{dm}^3$ gemessen wurden. Anoxische Bedingungen wurden jedoch nicht beobachtet.

3.4 Die anorganischen Nährstoffe

Die Vertikalverteilung des Phosphats und Nitrats in der eigentlichen Ostsee ist in den Abb. 5 und 6 dargestellt. Tabelle 4 enthält Angaben über die Konzentrationen dieser Nährstoffe in der winterlichen Oberflächenschicht der untersuchten Ostseeregionen. Sie sind beim Phosphat durch relativ hohe und beim Nitrat durch niedrige Werte geprägt.

Tabelle 4

Mittlere Nährstoff- und Salzkonzentrationen in der Oberflächenschicht (0 – 10 m) im Februar 1990

Gebiet	PO_4^{3-}	NO_3^-	S
	$\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	$\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	‰
Mecklenburger Bucht	1,07 ($\pm 0,05$)	6,62 ($\pm 0,11$)	17,12 ($\pm 0,87$)
Arkonasee	0,72 ($\pm 0,01$)	4,10 ($\pm 0,20$)	9,17 ($\pm 0,27$)
Bornholmsee	0,69 ($\pm 0,03$)	3,21 ($\pm 0,06$)	8,06 ($\pm 0,16$)
Südöstliche Gotlandsee	0,67 ($\pm 0,05$)	3,53 ($\pm 0,22$)	7,24 ($\pm 0,13$)

Die Phytoplanktonentwicklung bestimmt den Jahresgang der Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der euphotischen Schicht und führt im Frühjahr und im Sommer zu einer Nährstoffverarmung bis an die Grenze der analytischen Nachweisbarkeit. Die mit dem Abklingen der Primärproduktion einsetzende Nährstoffakkumulation war im Herbst 1990 durch relativ hohe Nitratkonzentrationen vor allem in den zentralen Becken der Ostsee und im Finnischen Meerbusen gekennzeichnet.

Obgleich die Nitrifikation, in deren Verlauf Ammoniumstickstoff biochemisch über Nitrit zu Nitrat oxydiert wird, bereits abgeschlossen sein sollte, wurden im Februar 1990, ähnlich

wie im Vorjahr /11/, hohe Konzentrationen aller drei Stickstoffverbindungen in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee und z. T. auch der Arkonasee beobachtet. In der Mecklenburger Bucht wurden neben den in Tabelle 4 angegebenen Nitratmittelwerten Nitritkonzentrationen von 0,8 bis 1,2 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und Ammoniumkonzentrationen von 1,5 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ gemessen. Die Oberflächenschicht der zentralen Ostseebecken enthielt dagegen nur noch geringe Mengen dieser beiden Stickstoffverbindungen. Dies zeigt, daß die Nitrifikation hier weitgehend abgeschlossen war.

Nitritkonzentrationen von 0,3 – 0,4 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, die der für die Jahreszeit üblichen Anreicherung entsprachen, wurden im Herbst 1990 in der Oberflächenschicht der zentralen Ostsee gemessen. Die Ammoniumkonzentrationen von 0,1 – 0,2 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen dagegen unter dem jahreszeitlichen Erwartungswert. Sowohl beim Nitrit als auch beim Ammonium fehlten die intermediären Maxima, die im Herbst häufig im unteren Bereich der Temperatursprungschicht auftraten /12/. Sie waren jedoch im Juli vorhanden, wo sie im Gotlandtief (Stat. 15A, 40 m) durch Nitritkonzentrationen von 0,5 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ und Ammoniumkonzentrationen von 1,5 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ gekennzeichnet waren.

Die Nährstoffkonzentrationen in der Oderbucht wichen zu meist nicht nennenswert von denen der Arkonasee ab. Nur im Februar 1990 wurden mit 1,1 – 1,5 $\mu\text{mol Po}_4^{3-}/\text{dm}^3$, 5 – 9 $\mu\text{mol NO}_3^-/\text{dm}^3$ und 3,3 – 4 $\mu\text{mol NH}_4^+/\text{dm}^3$ etwas höhere Werte, die denen der Mecklenburger Bucht entsprachen (vgl. Tabelle 4), ermittelt.

In der grundnahen Wasserschicht der westlichen Ostsee wurden vor allem im März hohe Nitratkonzentrationen, die zwischen 8 und 10 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen, gemessen, während der Phosphatgehalt 0,6 – 0,9 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ erreichte. Die niedrigsten Nährstoffkonzentrationen wurden im Oktober beobachtet. Die Abb. 5 und 6 zeigen einen ähnlichen Jahresgang für das Tiefenwasser des Arkonabeckens.

Im Tiefenwasser des Bornholmbeckens wurde im März 1990 eine starke Abnahme des Phosphatgehalts festgestellt, während der Nitratgehalt zugenommen hatte. In dem Maße, wie sich die Sauerstoffbedingungen erneut verschlechterten, wurde Phosphat durch Freisetzung aus den Sedimenten und durch Remineralisierungsprozesse angereichert. Parallel zur Entstehung anoxischer Bedingungen führten Denitrifikationsprozesse im Herbst 1990 zum Verschwinden des Nitrats.

Drastische Veränderungen in der Nährstoffverteilung wurden Ende März 1990 auch im Tiefenwasser des Gdansker Beckens beobachtet. Der starke Anstieg des Salz- und Sauerstoffgehalts wurde begleitet von einer Abnahme des Phosphatgehalts und einer Zunahme des Nitratgehalts.

Während der Nitratgehalt im oxischen Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens keine nennenswerten Abweichungen im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren zeigt /15/, gilt diese Aussage für den Phosphatgehalt nicht. Gegenüber 1989 /11/ ist in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs eine deutliche Phosphatabnahme zu verzeichnen. Besonders nachhaltige Veränderungen, die auch den 100 m-Horizont einschließen, wurden im November 1990 beobachtet. Dabei steht die starke Abnahme des Phosphatgehalts im Widerspruch zum Anstieg der Schwefelwasserstoffkonzentration (vgl. Abschnitt 3.3). Die hohen Phosphatkonzentrationen, die im Mai und im Juli am Westhang des östlichen Gotlandbeckens gemessen wurden, stehen dagegen im Einklang mit dem vorübergehenden Auftreten anoxischer Bedingungen und der daraus resultierenden Phosphatfreisetzung aus den Sedimenten.

Auch im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens erfolgte eine deutliche Abnahme des Phosphatgehalts im Verlauf des Jahres 1990. Der Nitratgehalt zeigte dagegen eine geringe

Zunahme. Unter ungünstigen Sauerstoffbedingungen, wie sie zeitweilig im nördlichen Gotlandbecken sowie im Landsorttief herrschten, war es dagegen zu einer Denitrifikation und damit zu einem starken Rückgang der Nitratkonzentration in der grundnahen Wasserschicht gekommen.

Im oxischen Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken waren unterhalb der Salzgehaltssprungschicht nur sehr geringe Nitrit- (0,05 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) und Ammoniumkonzentrationen (<0,1 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) vorhanden. Beim Auftreten von Schwefelwasserstoff wird Ammonium akkumuliert. Die 1990 in der grundnahen Wasserschicht (230 – 235 m) des Gotlandtiefs gemessenen Konzentrationen schwankten zwischen 22 und 36 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ mit niedrigeren Werten im Februar und höheren im Mai und Juli. Im Mittel liegen diese Konzentrationen deutlich über denen des Vorjahres /11/.

Diskussion

Der Winter 1989/90 war der 3. milde Winter in Folge und aufgrund seiner Kältesumme der zweitmildeste in der seit 1946/47 für die meteorologische Station Warnemünde vorliegenden Beobachtungsreihe /19/. Im insgesamt temperaturnormalen Sommer 1990 war jedoch der August überdurchschnittlich warm und liegt an 3. Stelle der seit 1946 geführten Reihe. Die geringe Abkühlung im Winter und die schnelle Erwärmung im Frühjahr 1990 führten zu stark positiven Temperaturanomalien in der Oberflächenschicht der Ostsee. Das kalte baltische Zwischenwasser, in dem die Wintertemperaturen „konserviert“ sind, zeigte ebenfalls positive Abweichungen vom Erwartungswert. Es war im östlichen Gotlandbecken nur schwach ausgebildet und fehlte im Bornholmbecken. In Übereinstimmung mit den im Mittel normalen Lufttemperaturen im 2. Halbjahr, traten im Sommer und Herbst 1990 keine nennenswerten Temperaturanomalien im Oberflächenwasser der westlichen und zentralen Ostsee auf.

Das Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens ist durch jahreszeitliche Temperaturveränderungen charakterisiert /6, 17/. Infolge des milden Winters 1989/90 wies es daher zunächst positive Temperaturanomalien auf, die sich im weiteren Jahresverlauf stark verringerten.

Die vorübergehende Temperaturabnahme, die im März 1990 in der grundnahen Wasserschicht des Bornholmbeckens beobachtet wurde, ist dagegen auf eine episodische Wassererneuerung zurückzuführen und wurde von einer Zunahme des Salz- und Sauerstoffgehalts begleitet. Als Folge dieses Prozesses traten auch charakteristische Veränderungen in der Phosphat- und Nitratverteilung ein.

Im Gegensatz zum Bornholmbecken war die Temperaturabnahme im Tiefenwasser des Gdansker Beckens mit einem deutlichen Rückgang des Salzgehalts verbunden. Diese ebenfalls im März beobachteten Veränderungen können daher nicht auf eine advective Wassererneuerung zurückgeführt werden. Sie hingen offenbar mit einer tiefreichenden vertikalen Vermischung, die vom Wind induziert wurde, zusammen und spiegeln sich auch in einer deutlichen Sauerstoffzunahme sowie in der Phosphat- und Nitratverteilung wider. Eine geringere Isolation des Tiefenwassers von der Oberflächenschicht /1/ sowie eine Unterbrechung der Stagnationsperioden durch langanhaltende Winde aus nördlichen Richtungen /4/ wurde bereits im Zusammenhang mit früheren Untersuchungen diskutiert. Im Vergleich mit den übrigen zentralen Ostseebecken nimmt das Gdansker Becken damit eine gewisse Sonderstellung ein.

Während die Temperaturen in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs 1990 praktisch konstant blieben, zeichnen

sich im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens in zunehmendem Maße (vgl. auch 11) geringe jahreszeitliche Temperaturveränderungen ab.

Auch im Jahre 1990 erfolgte kein Salzwassereinbruch in die Ostsee. Im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken dauerte damit die Stagnationsperiode, die bereits 1977 begonnen hat, an. Untersuchungen über die Verteilung des Salzgehalts im Südteil des Kattegats, die im November 1990 durchgeführt wurden, ergaben keinen Hinweis auf einen bevorstehenden Salzwassereinbruch.

Im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken hielt die seit 1977 nahezu kontinuierlich erfolgende Abnahme des Salzgehalts /15/ auch im Jahre 1990 an. Ähnlich niedrige Salzkonzentrationen, wie sie gegenwärtig im Gotlandtiefl gemessen werden, traten in der etwa 100jährigen Beobachtungsreihe nur noch Ende des vorigen Jahrhunderts sowie in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts auf /8/. Bei Fortdauer der Stagnationsperiode wird das bisherige Salzgehaltsminimum von 11,16‰, das am 8. November 1889 in 200 m Tiefe gemessen wurde, Ende des Jahres 1991 erreicht bzw. unterschritten werden. Infolge seines niedrigen Salzgehalts wird das Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken zunehmend durch advective Prozesse und vertikale Vermischung beeinflusst, ohne daß ein Salzwassereinbruch stattgefunden hat.

Neben den beprobten Stationen sind in Abb. 1 die Gebiete mit Sauerstoffmangel und anoxischen Bedingungen in der grundnahen Wasserschicht ausgewiesen. In den relativ flachen westlichen Teilgebieten der Ostsee, wie dem Gdänsker Becken und dem westlichen Gotlandbecken, herrschten 1990 relativ günstige Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser. Die Wassererneuerung im Bornholmbecken führte nur zu einem kurzzeitigen Anstieg des Sauerstoffgehalts.

Wie die Schwankungen in der Schwefelwasserstoffkonzentration zeigen, beeinflussen advective Prozesse, die durch die Salzgehaltsabnahme begünstigt werden, in zunehmendem Maße die anoxischen Bedingungen im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens. Sie waren auch die Ursache für das Absinken der Redoxsprungschicht.

In allen untersuchten Ostseegebieten lagen die Phosphatkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht über denen der Vorjahre /10, 11/. Sie entsprachen denen, die Mitte der 80er Jahre gemessen wurden, und ordnen sich ein in die positiven Gesamttrends, die in den verschiedenen Ostseeregionen für den Zeitraum 1958 – 1989 ermittelt wurden /15/. Beim Nitrat lassen dagegen die relativ niedrigen Winterkonzentrationen, die nicht nur 1990, sondern auch 1989 /11/ ermittelt wurden, eine weitere Abschwächung der für 1969 bis 1989 vorliegenden positiven Gesamttrends erwarten.

Während die Nitrifikation in der winterlichen Oberflächenschicht der Bornholm- und Gotlandsee abgeschlossen war,

zeigten die relativ hohen Nitrit- und Ammoniumkonzentrationen im Februar 1990, daß dieser Prozeß in der westlichen Ostsee und in der Arkonasee noch andauerte. Eine ähnliche Situation wurde auch 1989 angetroffen /11/. Die unvollständige Nitrifikation in diesen Seegebieten muß als Hinweis auf eine relativ starke Belastung mit organischem Material gewertet werden, dessen Remineralisierung sich bis in den Winter hinein erstreckte.

Auf die Beziehungen zwischen Flußwasserzufuhr, Salzgehalt und Nährstoffverteilung in der Oderbucht wurde bereits in früheren Untersuchungen hingewiesen /11/. Die relativ niedrigen Nährstoffkonzentrationen, die nur wenig über denen der zentralen Arkonasee lagen, sowie der relativ hohe Salzgehalt stehen im Einklang mit dem Niederschlagsdefizit des Jahres 1990 und lassen auf einen verringerten Flußwassereintrag schließen.

Die Nährstoffverteilung im Tiefenwasser der Ostsee wird durch turbulente Vermischung und advective Vorgänge, den biochemischen Abbau von organischer Substanz und die Redoxbedingungen bestimmt /9/. Zwischen diesen Prozessen bestehen enge Beziehungen.

Der Wechsel des Redoxpotentials als Folge einer advectiven Wassererneuerung oder vertikalen Vermischung bewirkte 1990 im Tiefenwasser des Bornholm- und Gdänsker Beckens nachhaltige Veränderungen in der Verteilung der anorganischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Advective Prozesse, die durch die Abnahme des Salzgehalts begünstigt wurden, waren die Ursache für die Verringerung der Phosphatkonzentrationen im Tiefenwasser der anderen zentralen Ostseebecken. Im westlichen Gotlandbecken führten sie darüber hinaus zu einer geringen Zunahme des Nitratgehalts.

Da sich die hydrographisch-chemischen Bedingungen, die 1990 in der westlichen und zentralen Ostsee angetroffen wurden, nur wenig von denen des Vorjahres unterschieden, gelten in Bezug auf die Fischerei ähnliche Schlußfolgerungen /11/. Sauerstoffmangel und anoxische Bedingungen sowie der weiter abnehmende Salzgehalt beeinträchtigten auch 1990 die wichtigsten Dorschlaichplätze und damit die Rekrutierung dieser Fischart. Die relativ hohen Temperaturen im baltischen Zwischenwasser begünstigten dagegen die Laichbedingungen des Sprotts und lassen einen guten 90er Jahrgang erwarten. Infolge des Niederschlagsdefizits und der dadurch verringerten Flußwasserzufuhr waren die Oderbucht und die Gewässer östlich von Rügen 1990 keiner extremen Nährstoffbelastung ausgesetzt. Für diesen wichtigen Heringslaichplatz bestand somit nicht die Gefahr ungewöhnlicher Algenmassenentwicklungen, die das Sauerstoffregime im grundnahen Bereich stark belasten und die benthischen Makrophyten, die ein wichtiges Laichsubstrat darstellen, schädigen können.

Literatur

1. ANTONOV, E. A.; RUDNEVA, O. S.:
Einige Aspekte des hydrochemischen Regimes im südlichen Teil der Ostsee (in Russ.). In: Chemische Prozesse in Meeren und Ozeanen, ANSSSR, Okeanogr. Kom., Moskau 1966, S. 83 – 88.
2. BALTIC MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMISSION-HELSINKI COMMISSION:
Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage. Balt. Sea Environ. Proc. No 27A (1988), Part A, Introductory chapters, S. 1 – 49; No 27B (1988), Part B, Physical and chemical determinands in sea water, S. 1 – 60.
3. KAISER, W.; SCHULZ, S.:
On the causes for the differences in space and time of the commencement of the phytoplankton bloom in the Baltic. Kieler Meeresforsch., Sonderheft 4 (1978), S. 161 – 170.
4. MANKOWSKI, W.:
Hydrological conditions in the southern Baltic in 1946 – 1956. Acta Geophy. Pol. 5 (1956) 3, S. 176 – 191.
5. 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.
6. MATTHÄUS, W.:
Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur in der Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 40 (1977), S. 117 – 155.