

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1989

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

Die Temperaturen in der Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee waren 1989 im Winter, Frühjahr und Herbst durch positive Anomalien gekennzeichnet, im Sommer entsprachen sie etwa den Normalwerten. Das baltische Zwischenwasser wies ebenfalls positive Temperaturanomalien auf.

Auswirkungen des salzreichen Wassers, das im Herbst 1988 die Darßer Schwelle passiert hat, wurden in stark abgeschwächter Form im Bornholm- und Gdanskener Becken beobachtet. Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens waren ganzjährig anoxische Bedingungen vorhanden. In den zentralen Ostseebecken nimmt der Salzgehalt unterhalb der Sprungschicht nahezu kontinuierlich ab.

In der winterlichen Oberflächenschicht der zentralen Ostsee war die Nährstoffakkumulation 1989 geringer als bei früheren Untersuchungen. Verhältnismäßig niedrige Nährstoffkonzentrationen wurden auch im Gebiet der Oderbank nachgewiesen, wobei Zusammenhänge zwischen dem erheblichen Niederschlagsdefizit im Jahre 1989 und der dadurch verminderten Flußwasserzufuhr bestehen. Die Ergebnisse der hydrographisch-chemischen Untersuchungen werden in bezug auf die Ostseefischerei diskutiert.

1. Einleitung

Seit 1969 werden vom Institut für Meereskunde in Warnemünde ozeanologische Zustandseinschätzungen der westlichen Ostsee, d. h. dem Seegebiet zwischen Fehmarnbelt und Darßer Schwelle, und der zentralen Ostsee, zu der die Arkona- und Bornholmsee sowie die Gotlandsee als zentraler Teil des baltischen Meeres gehören, durchgeführt. Die Ergebnisse der hydrographisch-chemischen Untersuchungen sind ein Beitrag zur Qualifizierung der Fischereiprososen und werden fortlaufend in der Zeitschrift „Fischerei-Forschung“, Rostock, publiziert.

Die Zustandseinschätzung für das Jahr 1989 basiert wiederum auf 5 Terminfahrten, die zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden und in unterschiedlichem Umfang die Seegebiete zwischen südlichem Kattegat und Finnischem Meerbusen umfaßten. Abb. 1 zeigt die Lage der nationalen und internationalen Standardstationen, die für die nachfolgende Einschätzung der hydrographisch-chemischen Bedingungen verwendet werden.

Die meisten Terminfahrten im Jahre 1989 wurden mit dem Forschungsschiff „Prof. Albrecht Penck“ durchgeführt. Nur die Winterreise erfolgte mit dem Forschungsschiff „A. v. Humboldt“. Auf beiden Schiffen kam erstmals eine Tiefseesonde der neuen Generation, die OM 87, zum Einsatz, die mit einem leistungsstärkeren Rechner kombiniert ist und hinsichtlich ihrer Peripherie einen wesentlich höheren Anwenderkomfort bietet als die ältere OM 75.

Auch die Unterwassereinheit der OM 87 ist im Routineeinsatz bestückt mit Sensoren zur quasikontinuierlichen Registrierung des Druckes (Tiefe), der Wassertemperatur und der Schallgeschwindigkeit sowie der Leitfähigkeit und des Sauerstoffgehalts. Die Verteilung der gemessenen Größen kann während des Registriervorgangs auf einem Monitor verfolgt werden.

Die OM 87 ist darüber hinaus mit Sensoren zur Messung meteorologischer Parameter ausgerüstet. Sie besitzt ferner einen Rosettenwasserschöpfer, der die Gewinnung von 12 Proben gestattet. Als Standardparameter wurden in den Wasserproben der Salzgehalt, die Sauerstoff- und Schwe-

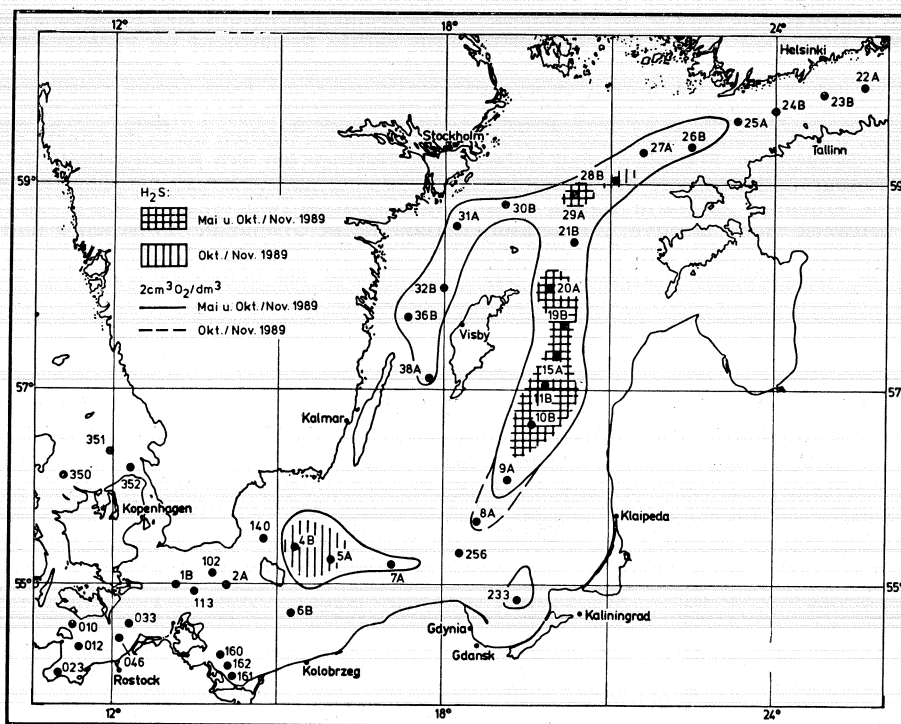


Abb. 1 Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der westlichen und zentralen Ostsee

felwasserstoffkonzentrationen sowie die Nährstoffe Phosphat, Nitrat und Nitrit gemäß Rohde und Nehring /17/ analysiert. Auf ausgewählten Stationen wurde auch die Verteilung von Ammonium, Silikat und Harnstoff sowie von Gesamtphosphor und -stickstoff untersucht. Die ozeanologischen Messungen wurden durch meteorologische Beobachtungen ergänzt. Über die Ergebnisse der biologischen Untersuchungen, die während der Terminfahrten durchgeführt wurden, wird an anderer Stelle berichtet. Die Atmosphäre beeinflusst maßgeblich die ozeanologischen Bedingungen im Meer. Der hydrographisch-chemischen Zustandseinschätzung wird deshalb ein kurzer Überblick über das Verhalten ausgewählter meteorologischer Größen im Jahre 1989 vorangestellt.

2. Die meteorologischen Bedingungen

Zwischen den Temperatursummen der meteorologischen Station Warnemünde und den Temperaturen in der Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee bestehen enge Beziehungen /14/. Tab.1 enthält Angaben über die Kälte- und Wärmesummen dieser Station im Winter 1988/89 und im Sommer 1989.

Tabelle 1

Temperatursummen 1988/89 (in K) der meteorologischen Station Warnemünde /18/

Kältesummen *)		Wärmesummen **)	
Nov. 1988	7,0	April 1989	—
Dez. 1988	9,0	Mai 1989	5,0
Jan. 1989	1,8	Juni 1989	20,0
Febr. 1989	—	Juli 1989	48,0
März 1989	—	Aug. 1989	34,7
April 1989	—	Sep. 1989	12,7
		Okt. 1989	—
Summe 1988/89	17,8	Summe 1989	120,4

*) Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen.

**) Summe des über 17 °C liegenden Betrages der Tagesmitteltemperaturen

Der Winter 1988/89 kann aufgrund seiner Kältesumme als mild und eisarm /3/ eingestuft werden. Die Kältesumme von 17,8 K rangiert an 3. Stelle der seit 1946 geführten Reihe /18/ und ist sogar noch etwas niedriger als die des vorangegangenen Winters mit 21,1 K. Sie resultiert fast ausschließlich aus den Beiträgen der Monate November und Dezember 1988.

Die Wärmesumme ergibt eine Einordnung des Sommers 1989 als normal warm (vgl. 14). Mit 120,4 K lag sie nur geringfügig über der des Vorjahres, dessen Wärmesumme 113,5 K betrug.

Die in Tab.2 zusammengefaßten Abweichungen der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft bestätigen die auf den Temperatursummen von Warnemünde basierende Aussage für den gesamten Ostseeraum. Sie zeigen, daß insbesondere die Monate Januar und Februar, die den Hochwinter charakterisieren, erheblich zu warm waren. Auch im Frühjahr traten teilweise hohe positive Temperaturanomalien bei den Lufttemperaturen auf. Im weiteren Jahresverlauf waren die Abweichungen geringer. Sie bleiben jedoch positiv.

Tabelle 2

Abweichungen der monatlichen Mitteltemperaturen der Luft (ΔT_L in K) sowie der Anteil der monatlichen Sonnenscheindauer (SS in %) und Niederschlagshöhe (NH in %) bezogen auf die Normalwerte der Küstenstation Arkona (1951–1980) /22/ und anderer Ostseeregionen (1931–1960) /23/

Monat	ΔT_L (K)	SS (%)	NH (%)	ΔT_L (K)	ΔT_L (K)	ΔT_L (K)
	Arkona			Arkona	Arkona	südliche Gotlandsee
Dez. 1988	1,4	103	74	1 bis 2	-1	-2
Jan. 1989	3,8	95	28	4 bis 5	4	5 bis 6
Febr. 1989	4,5	107	61	5	5	6 bis 8
März 1989	3,9	98	113			
April 1989	1,6	110	66	0 bis 2	1 bis 3	3 bis 4
Mai 1989	2,5	138	24	2	1 bis 2	2 bis 3
Juni 1989	1,5	113	73	0 bis 1	0 bis 1	1 bis 3
Juli 1989	1,4	115	83	0 bis 1	0 bis 1	0
Aug. 1989	0,2	96	142	0	-1 bis 0	-1 bis 0
Sep. 1989	1,7	122	28	1 bis 2	0 bis 1	1 bis 2
Okt. 1989	1,7	86	115	1 bis 2	0 bis 1	0 bis 1
Nov. 1989	0,1	207	61	0 bis -1	0 bis -1	0 bis -2
Dez. 1989	1,2	125	191	0 bis 1	0 bis 1	1 bis 2

Die Angaben zur Sonnenscheindauer und Niederschlagshöhe der Küstenstation Arkona (Tab.2) besitzen für die Einschätzung der Bedingungen in der gesamten Ostsee und ihrem Flußwassereinzugsgebiet nur orientierenden Charakter. Sie können daher lediglich andeuten, daß das Jahr 1989 hinsichtlich seiner Sonnenscheindauer annähernd normal verlief. Hervorzuheben ist jedoch die Sonnenscheindauer im Mai, die 72 % der möglichen erreichte und darüber hinaus in die strahlungsreiche Jahreszeit fällt. Demgegenüber ist die sehr hohe positive Anomalie im November nur von untergeordneter Bedeutung, weil sie mit geringer Strahlungsintensität gepaart ist und nur 40 % der möglichen Monatssumme erreichte.

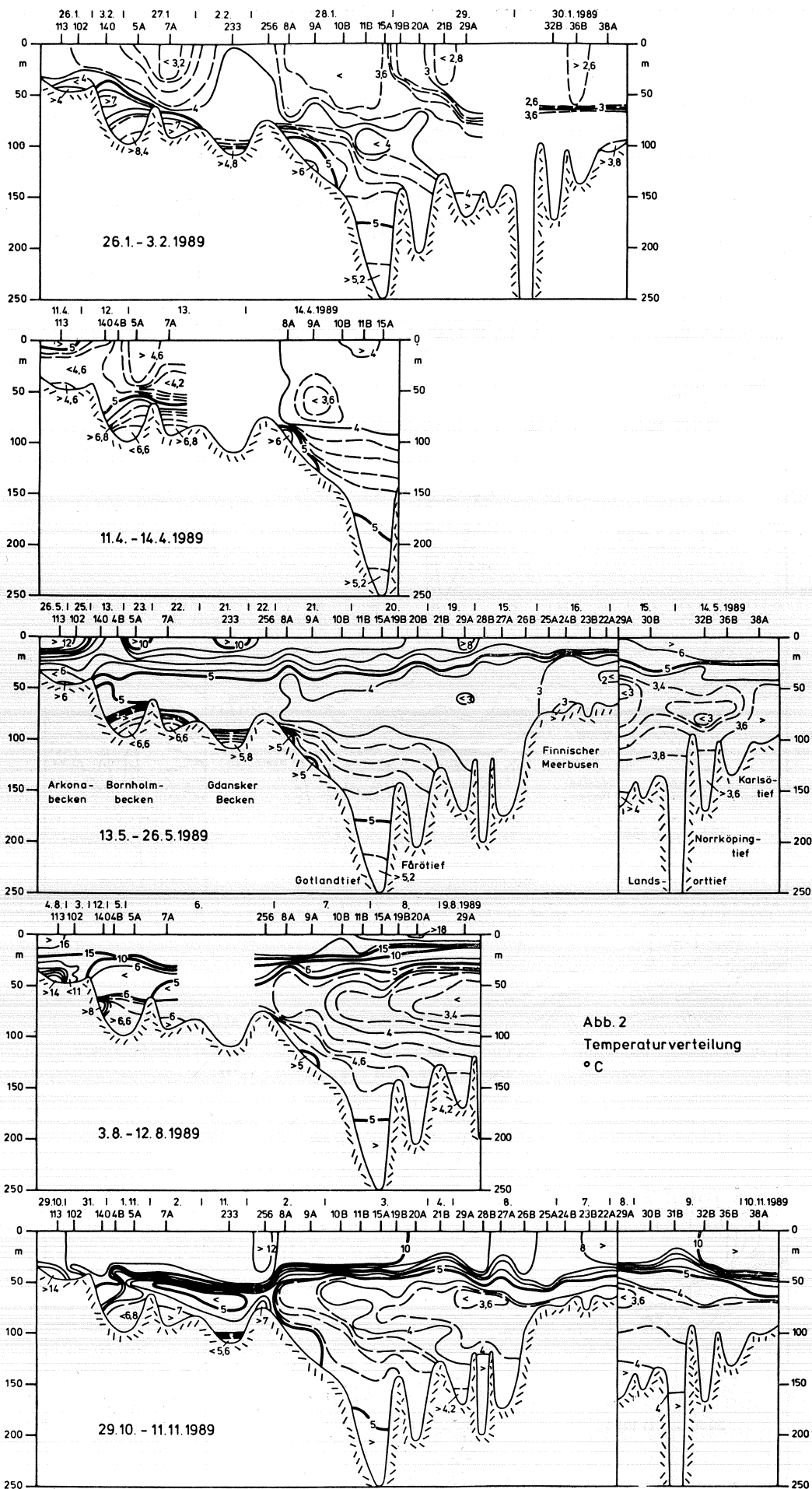
Die Niederschlagshöhe von Arkona blieb 1989 erheblich unter dem Normalwert. Im Vergleich zum sehr niederschlagsreichen Winter des Vorjahres /21/ ist besonders die geringe Niederschlagshöhe im Winter 1988/89 bemerkenswert. Extrem niederschlagsarm waren auch der Mai und der September. Die stark positive Abweichung in der Niederschlagshöhe, die im August ermittelt wurde, war auf das Küstengebiet beschränkt. Niederschlagsreich war vor allem der Dezember. Die in den „Großwetterlagen Europas“ enthaltenen Angaben zur Niederschlagshöhe /23/ zeigen, daß 1989 die Schlußfolgerungen für Arkona zumindest in der Tendenz auch für das gesamte Ostseegebiet zutrafen.

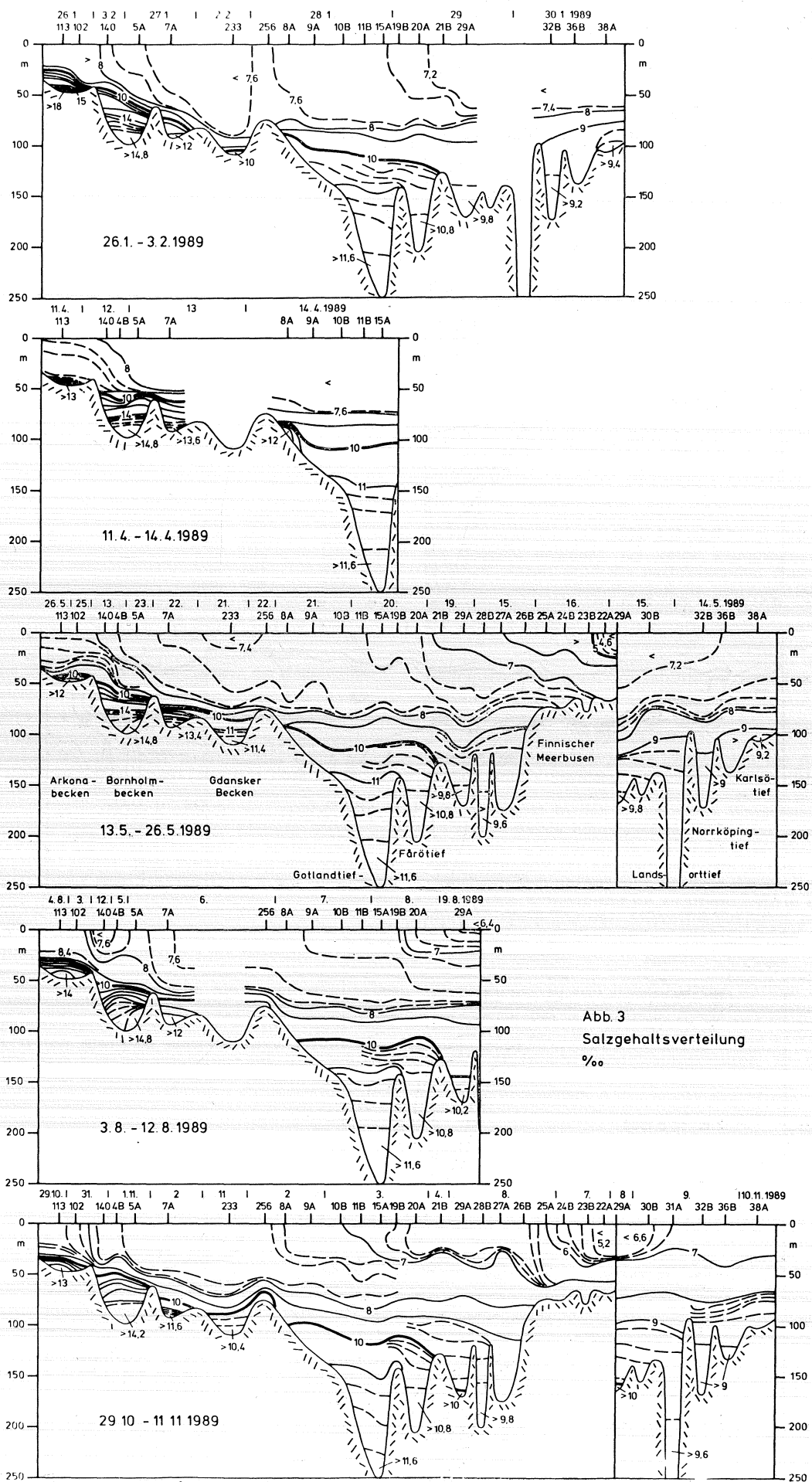
3. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

Zur Charakterisierung der hydrographisch-chemischen Feldverteilungen haben sich die in Abb.2–6 dargestellten Vertikalschnitte, die dem Talweg durch die zentrale Ostsee folgen, bewährt. Da keine synoptischen Messungen möglich waren, sind die nachfolgenden Aussagen von der Voraussetzung abhängig, 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

Infolge des milden Winters 1988/89 war die Abkühlung der Ostsee relativ gering. In der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee verharrten die Wintertemperaturen bei 3,7–4 °C, während in der grundnahen Wasserschicht mit 4,1–4,4 °C nur wenig höhere Werte gemessen wurden. Im Vergleich zu den 30jährigen Mittelwerten der Feuerschiffbeobachtungen im Fehmarnbelt /16/ und am Gedser Rev /20/ ergibt sich daraus eine positive Anomalie von 1,5–2 K. Die zeitige Erwärmung im Frühjahr führte Ende März zu einer Verstärkung der Anomalie auf 2,5 K bei gleichzeitigem Beginn der thermischen Stabilisierung. Die positiven Temperaturanomalien in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee blieben bis in den Spätherbst hinein erhalten. Sie verringerten sich jedoch bereits im Mai auf 0,5–1,5 K. Mitte August wurden in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee Temperaturen von 17–18,5 °C gemessen, während sie in Grundnähe zwischen 9 und 15 °C schwankten, wobei die niedrigeren Temperaturen in der Lübecker Bucht und die höheren im Gebiet der Darßer Schwellen beobachtet wurden.





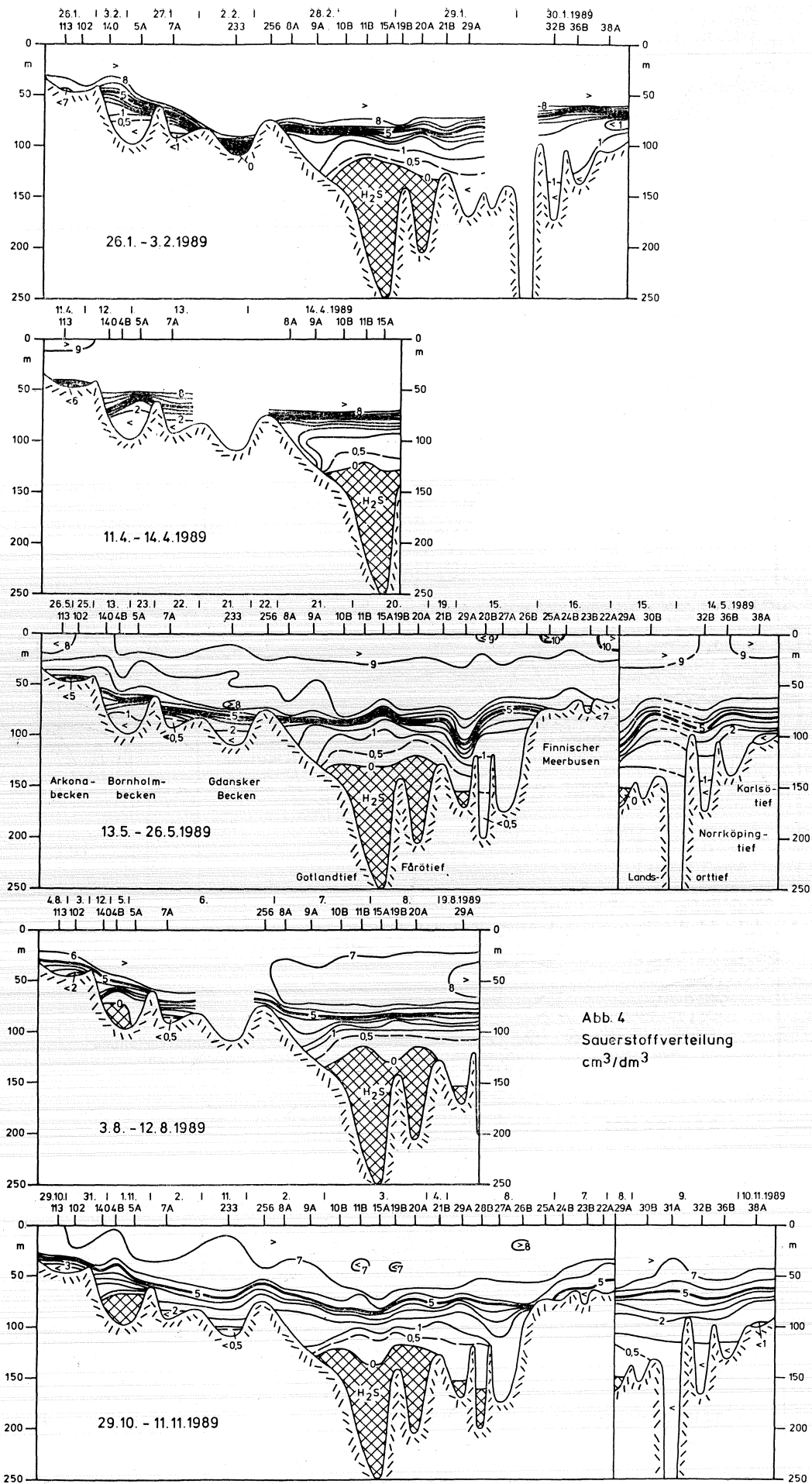


Abb. 4
Sauerstoffverteilung
 cm^3/dm^3

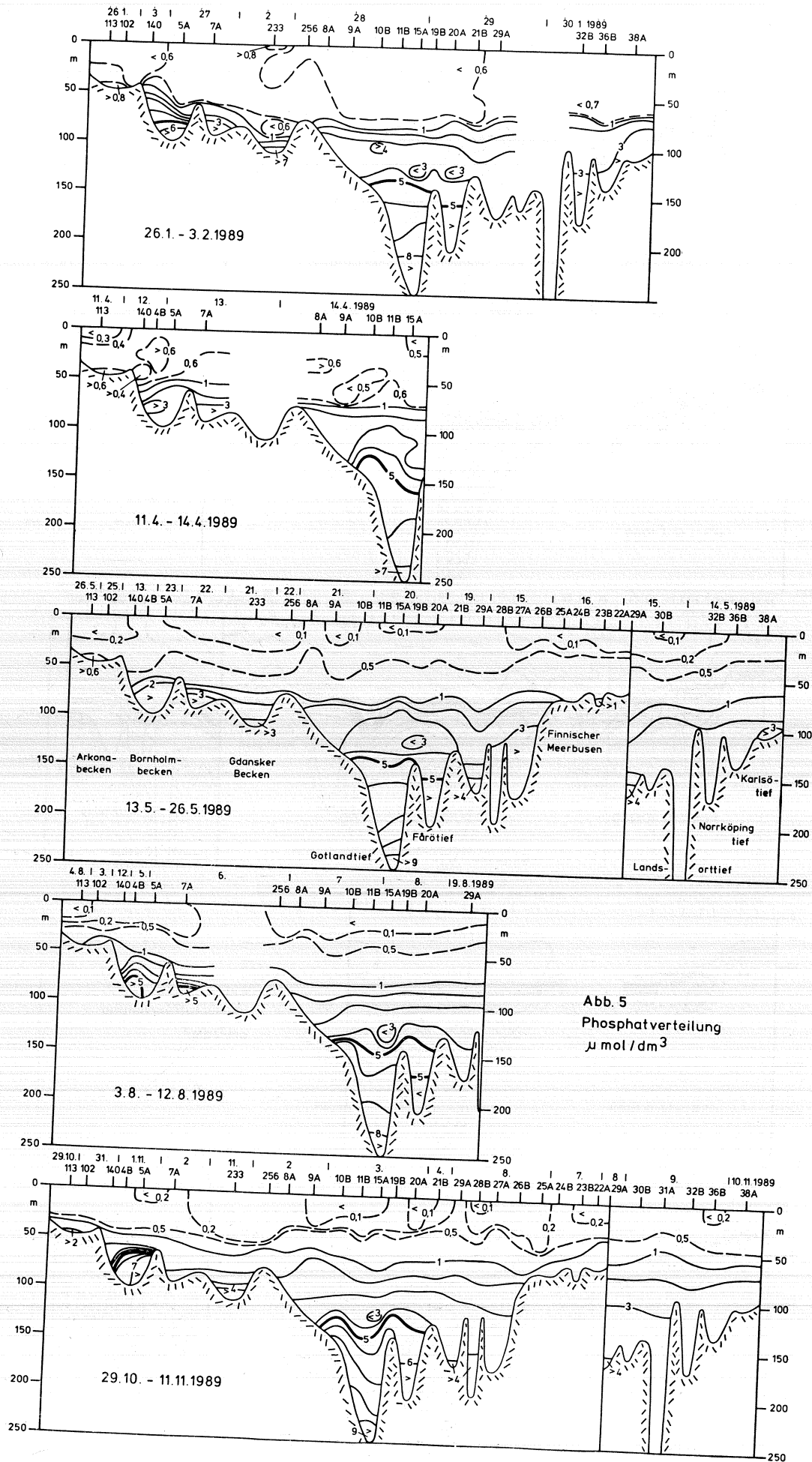
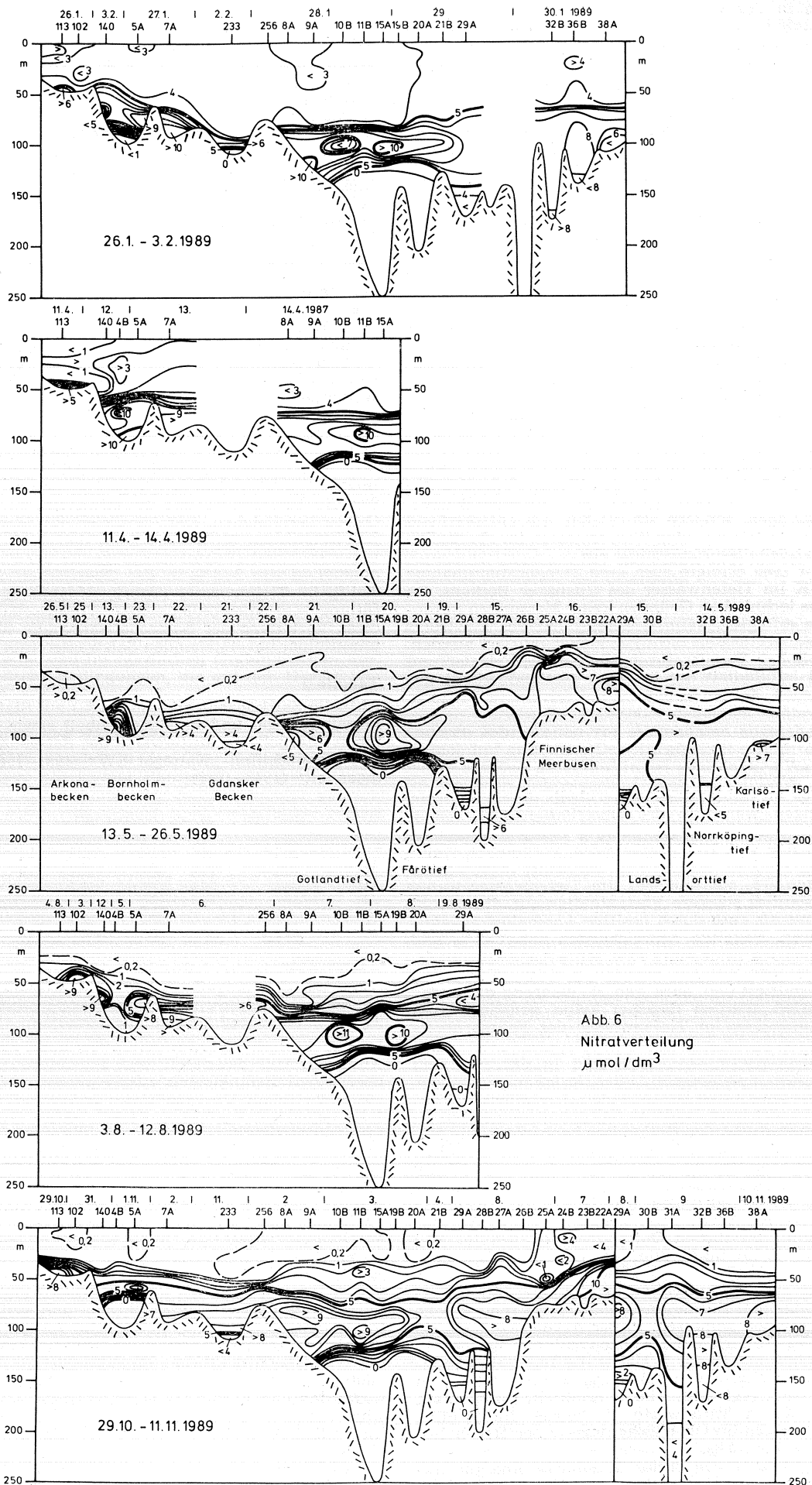


Abb. 5
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol/dm}^3$



Ebenso wie in der westlichen Ostsee wurden 1989 auch in der zentralen Ostsee relativ hohe Temperaturen in der Oberflächenschicht gemessen (Abb. 2). Eine Ausnahme bildete jedoch der August, in dem die Wassertemperaturen annähernd den Normalwerten entsprachen oder sogar etwas darunter lagen. Bezogen auf die von Matthäus /5, 6/ angegebenen jahreszeitlichen Mittelwerte betrug die positive Temperaturanomalie in den anderen Jahreszeiten 1–2 K. Sie erreichte ihre höchsten Werte im Frühjahr und Herbst und spiegelt sich auch in der frühzeitig beginnenden und lang andauernden thermischen Stabilisierung der Wassersäule wider. Im baltischen Zwischenwasser, das bereits im Mai deutlich ausgeprägt war, wurden im August positive Anomalien von 0,8–1,1 K, die die geringe winterliche Abkühlung widerspiegeln, ermittelt.

Im Tiefenwasser der zentralen Ostsee wurden 1989 nachhaltige Veränderungen im thermischen Regime nur im Arkona-, Bornholm- und Gdanker Becken sowie schwächer ausgeprägt auch im Südteil des östlichen Gotlandbeckens beobachtet (Abb. 2). In der grundnahen Wasserschicht des Arkonabeckens, deren Temperaturen einen ausgeprägten Jahresgang aufweisen /5/, traten ganzjährig positive Anomalien von 1–2 K auf.

Im Bornholmbecken, dessen Tiefenwasser nach dem im Herbst 1988 beobachteten Einstrom /11/ zu Jahresbeginn relativ warm war, erfolgte sehr rasch ein Temperaturrückgang um 1,9 K. Die im weiteren Verlauf des Jahres einsetzenden Advektionen wärmeren Wassers aus dem Arkonabecken konnten nicht bis in die grundnahe Wasserschicht vordringen, sondern schichteten sich entsprechend der Dichte der einströmenden Wassermassen im oberen Bereich der Salzgehaltssprungschicht ein.

Im Frühjahr 1989 erfolgte auch eine Temperaturzunahme um rund 1 K im Tiefenwasser des Gdanker Beckens. Da im April aus technischen Gründen keine Messungen in diesem Becken erfolgten, kann der Zeitpunkt des Einstroms wärmerer Wassermassen nicht genauer lokalisiert werden. Die relativ hohen Temperaturen, die Anfang Februar und Mitte April im Südteil des östlichen Gotlandbeckens gemessen wurden, deuten ebenfalls auf advektive Prozesse hin.

3.2. Der Salzgehalt

Bei allen 1989 im Gebiet des Fehmarnbells durchgeführten Untersuchungen waren in der Oberflächenschicht keine oder nur schwach ausgeprägte positive Salzgehaltsanomalien, die Beträge von 1–2 ‰ erreichten, vorhanden, wenn man die monatlichen Mittelwerte 30jähriger Feuerschiffbeobachtungen /16/ zugrundelegt. Im Tiefenwasser traten dagegen wesentlich stärkere Variabilitäten auf, die sowohl durch negative als auch durch positive Anomalien gekennzeichnet waren. Negative Abweichungen von 1–2 ‰ und von 6–7 ‰ wurden Ende März bzw. Mitte August beobachtet. Ende Oktober wurden dagegen positive Anomalien von 2–3 ‰ ermittelt (vgl. auch Tab. 3). Während der anderen Meßfahrten wurden dagegen keine nennenswerten Salzgehaltsanomalien im Tiefenwasser des Fehmarnbells festgestellt.

Die Vertikalverteilung des Salzgehalts in der zentralen Ostsee ist in Abb. 3 dargestellt. Unter Berücksichtigung der mittleren jahreszeitlichen Bedingungen /7/ wurden 1989 sowohl negative als auch positive Salzgehaltsanomalien in der Oberflächenschicht der Gotlandsee beobachtet. Die Beträge schwankten regional und jahreszeitlich zwischen –0,4 und +0,3 ‰. Besonders im November war relativ salzarmes Oberflächenwasser in der östlichen Gotlandsee weit nach Süden vorgedrungen, während in der westlichen Gotlandsee positive Anomalien auftraten. Positive Anomalien wurden im westlichen Gotlandbecken auch im Mai (0,1–0,3 ‰) sowie im Gotlandtief im August (0,2 ‰) beobachtet.

Im Gegensatz zur Gotlandsee wurden im Oberflächenwasser der Arkona- und Bornholmsee ganzjährig relativ hohe Salzkonzentrationen gemessen. In der Arkonasee lagen sie weit über 8 ‰. Ähnlich hohe Konzentrationen wurden in diesem Seegebiet nur in der 2. Hälfte der 70er Jahre beobachtet /12/. Salzgehalte von 7,8–8,6 ‰ wurden 1989 auch auf der Oderbank (vgl. auch Abb. 7) ermittelt. Bezogen auf die jahreszeitlichen Mittelwerte /7/ betrug die positive Salzgehaltsanomalie im Oberflächenwasser der Bornholmsee ganzjährig 0,1–0,3 ‰.

Im November 1989 wurde in der Gotlandsee eine gut entwickelte sekundäre Salzgehaltssprungschicht beobachtet, die unterhalb der homothermen Deckschicht in 20–30 m

Tiefe begann und durch eine Salzgehaltszunahme von 0,5–0,8 ‰ gekennzeichnet war. Die 8 ‰-Isohaline, die als obere Begrenzung der primären Salzgehaltssprungschicht angesehen wird, befand sich in 70–80 m Tiefe.

Der Salzgehalt im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken war auch 1989 rückläufig. Besonders niedrige Werte wurden im Arkonabecken gemessen. Nach dem im Spätherbst 1988 beobachteten Einstrom salzreicheren Wassers /11/ wurde 1989 im Tiefenwasser des Bornholmbeckens eine erneute Salzgehaltsabnahme registriert. Mit diesem Einstrom hängt auch die vorübergehende Zunahme des Salzgehalts zusammen, die im Mai 1989 im Gdanker Tief festgestellt wurde.

In der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs (235 m) hat der Salzgehalt gegenüber 1988 im Mittel um 0,1 ‰ abgenommen. Er folgte damit dem gegenwärtigen Trend /13/. Ein ähnliches Verhalten des Salzgehalts scheint auch im Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens vorhanden zu sein. Wie der Vergleich mit dem Vorjahr zeigt /11/, sind diesem Trend jedoch größere zwischenjährliche Schwankungen überlagert, die sich zu Beginn des Jahres 1989 in deutlich höheren Salzkonzentrationen dokumentieren. Die weiteren Veränderungen im Jahresverlauf waren durch eine Abnahme um 0,2 ‰ im Norrköpingtief und um 0,5 ‰ im Karlsöteef gekennzeichnet.

Die hydrographischen Messungen, die im Herbst im südlichen Kattegat durchgeführt werden, dienen der Feststellung, ob an den Ostseezugängen salzreiche Wassermassen für die Erneuerung des Tiefenwassers in der zentralen Ostsee bereitstehen. Der Vergleich mit den langjährigen jahreszeitlichen Mittelwerten an den Feuerschiffen „Kattegat SW“ und „Fehmarnbelt“ zeigte positive Salzgehaltsanomalien von 2–3 ‰ in der Oberflächenschicht und von 0–1 ‰ im Tiefenwasser (Tab. 3). Unabhängig von der Erfüllung der meteorologischen Voraussetzungen deutete diese Verteilung der Salzgehaltsanomalie nicht auf einen unmittelbar bevorstehenden Salzwassereintrich hin.

Tabelle 3

Aktuelle Salzkonzentrationen (in ‰) auf Stationen im südlichen Kattegat und im Fehmarnbelt sowie für Ende Oktober interpolierte Mittelwerte des Salzgehalts (in ‰) bei den Feuerschiffen „Kattegat SW“ (1931–1960) und „Fehmarnbelt“ (1949–1978)

Tiefe	„Kattegat SW“ /19/	350 26.–27. Oktober 1989	351	352	010	„Fehmarnbelt“ /16/
0–1	19,7	22,1	22,3	20,4	17,3	14,8
5	20,3	22,1	22,4	21,3	17,5	15,2
10	22,3	22,5	22,5	22,3	19,6	16,4
15	26,5	29,5	22,6	33,5	—	17,3
20	29,3	32,0	30,9	33,5	21,0	19,4
25	—	—	32,8	—	21,2	21,1
G*)	31,1 (37 m)	32,0 (23 m)	32,9 (31 m)	33,5 (24 m)	21,2 (27 m)	21,4 (28 m)

* Grundnähe

3.3. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Infolge geringer Halbwertzeiten /15/ kann das gleichzeitige Auftreten von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff unter natürlichen Bedingungen ausgeschlossen werden oder ist auf eine schmale Übergangzone beschränkt. In Abb. 1 und 4 ist daher die Verteilung dieser beiden Größen gemeinsam dargestellt.

In Abhängigkeit von der Phytoplanktonentwicklung, die neben der Wassertemperatur und dem Salzgehalt die Sauerstoffkonzentration in der Oberflächenschicht bestimmt, treten die höchsten Sauerstoffsättigungswerte im Frühjahr auf. Sättigungswerte bis 130 ‰ wurden Ende März in der westlichen Ostsee und Mitte Mai in den zentralen Ostseebecken ermittelt.

Relativ hohe Sauerstoffsättigungswerte, die zwischen 97 und 99 ‰ lagen, wurden im Oktober–November verbreitet in der Deckschicht der westlichen und zentralen Ostsee festgestellt, obgleich die herbstliche Abkühlung und biochemische Abbauprozesse in dieser Jahreszeit normalerweise zu einem deutlichen Sauerstoffdefizit führen. Etwas niedrigere Sättigungswerte, 96–97 ‰, wurden jedoch im westlichen und nördlichen Gotlandbecken sowie im Finnischen Meerbusen erhalten.

Im baltischen Zwischenwasser, das die winterlichen Bedingungen widerspiegelt und nur in den zentralen Ostseebecken regelmäßig vorhanden ist, traten 1989 negative Sauerstoffanomalien auf. Bezogen auf die langjährigen Mittelwerte /14/ betrugen sie im August rund 1 cm³/dm³

im Bornholmbecken und $0,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ im östlichen Gotlandbecken. Ursache ist die geringe winterliche Abkühlung, die die Löslichkeit der Gase vermindert.

Jahreszeitliche Veränderungen mit hohen Konzentrationen im Winter und Frühjahr sowie niedrigen im Spätsommer und Herbst bestimmen die Sauerstoffverteilung im Tiefenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens /5, 12/. Im August 1989 waren die Sauerstoffkonzentrationen in der grundnahen Wasserschicht der Mecklenburger Bucht vereinzelt auf $0,8 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, im Inneren der Lübecker Bucht (Stat. 023) sogar auf $0,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ abgesunken. In den anderen Jahreszeiten wurden Sättigungswerte von 60–90 % erreicht. Die Sauerstoffkonzentrationen sanken 1989 im Tiefenwasser des Arkonabeckens nicht unter $1,7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ ab, zumeist wurden deutlich höhere Werte gemessen.

Das Bornholmbecken ist das westlichste Becken der Ostsee, dessen stagnierendes Tiefenwasser nur episodisch erneuert wird. Nach dem Einstrom im Herbst 1988 /11/ herrschten in diesem Becken bis Mai 1989 oxische Bedingungen, wobei der Sauerstoffgehalt in der grundnahen Wasserschicht vorübergehend auf $1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ anstieg. Danach kam es erneut zur Schwefelwasserstoffbildung, von der im Herbst das gesamte Tiefenwasser unterhalb 70 m Tiefe erfaßt wurde.

Wie die anoxischen Bedingungen zeigen, war zu Jahresbeginn noch keine Erneuerung des Tiefenwassers im Gdansk Becken erfolgt. Erst im Mai wurden im Gdansk Tief Sauerstoffkonzentrationen von $1,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ in Bodennähe gemessen, die jedoch im November bereits wieder auf $0,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ abgenommen hatten.

Im April und Mai zeichnete sich der Einstrom sauerstoffreicherer Wassermassen ins östliche Gotlandbecken ab, ohne daß sich im weiteren Jahresverlauf oxische Bedingungen in der grundnahen Wasserschicht seines zentralen Teiles einstellten. Die Schwefelwasserstoffkonzentration sank jedoch von anfänglich $2\text{--}3 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ auf $1\text{--}1,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ in der 2. Jahreshälfte ab. Im westlichen Gotlandbecken wurden 1989 keine und im nördlichen Gotlandbecken nur vereinzelt anoxische Bedingungen, die auf den Herbst beschränkt waren, angetroffen.

3.4. Die anorganischen Nährstoffe

Ende Januar 1989 wurden in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee $0,9\text{--}1 \mu\text{mol}$ Phosphat, $5\text{--}6 \mu\text{mol}$ Nitrat und $2,5\text{--}3 \mu\text{mol}$ Ammonium pro Kubikdezimeter gemessen. Bis Ende März war bereits eine weitgehende Nährstoffverarmung eingetreten. Eine Ausnahme bildete das Ammonium, das zunächst noch in Konzentrationen von $0,8$ bis $1,3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ vorlag. Ende Oktober war bereits eine Phosphatakkumulation auf $0,6\text{--}0,8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in der Oberflächenschicht der westlichen Ostsee erfolgt, während die Stickstoffverbindungen noch auf $0,2\text{--}0,7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ verharrten.

Die Abb. 5 und 6 zeigen die Vertikalverteilungen des Phosphats und Nitrats in den zentralen Ostsee. In der winterlichen Oberflächenschicht dieser Region wurden 1989 relativ einheitliche Phosphat- und Nitratkonzentrationen, die zwischen $0,5$ und $0,6$ bzw. 3 und $4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen, gemessen. Im Mai war in dieser Schicht bereits eine weitgehende Nährstoffverarmung eingetreten, die teilweise bis in den November hinein vorhielt. Lediglich in der Arkona- und Bornholmsee sowie im Finnischen Meerbusen lagen in dieser Jahreszeit bereits wieder Phosphatkonzentrationen von $0,2$ bis $0,3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in der Oberflächenschicht vor, während höhere Nitratkonzentrationen, $3\text{--}4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, auf den Finnischen Meerbusen beschränkt waren.

Im Gebiet der Oderbank wurden bei früheren Untersuchungen zeitweise sehr hohe Nährstoffkonzentrationen nachgewiesen, die nicht nur in der Jahreszeit geringer biologischer Aktivität, sondern auch im Frühjahr und Sommer auftraten /11, 13/. Sie waren häufig mit relativ niedrigen Salzkonzentrationen kombiniert. In Abb. 7 sind die Phosphat-, Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen zusammen mit dem Salzgehalt im Oberflächenwasser dieser Region dargestellt. Die Untersuchungen umfassen den Zeitraum 1975–1989. Die einzelnen Jahre sind nicht streng miteinander vergleichbar, weil die Anzahl der Messungen und damit der erfaßten Jahreszeiten unterschiedlich ist. Darüber hinaus mußte die Meßposition wegen der Erweiterung der polnischen Territorialgewässer um rund 7 Seemeilen nach Norden verlegt werden, wodurch sich bei annähernd gleichbleibender Wassertiefe (11–12 m) die Entfernung von der Odermündung vergrößerte.

Abgesehen von den Ammoniumkonzentrationen zu Jahresbeginn zeigten die Nährstoffkonzentrationen 1989 keine un-

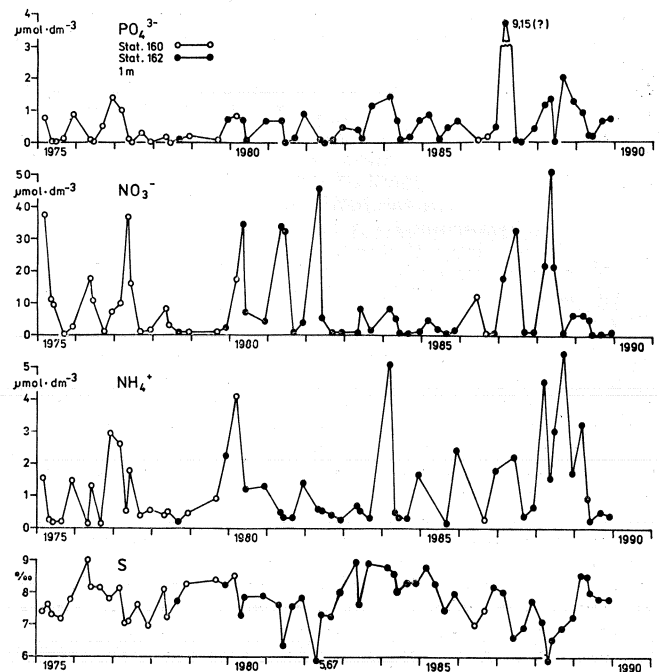


Abb. 7

Zeitreihen ausgewählter Nährstoffe und des Salzgehalts im Oberflächenwasser der Oderbank

gewöhnlich hohen Werte. Im Gegensatz dazu war der Salzgehalt durch relativ hohe Werte gekennzeichnet.

Im Tiefenwasser der westlichen Ostsee dominierten jahreszeitliche Veränderungen in der Nährstoffverteilung. Die höchsten Phosphatkonzentrationen, die $1\text{--}4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ betragen, wurden Ende Oktober gemessen, während in den anderen Jahreszeiten von Ausnahmen abgesehen nur $0,5\text{--}1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ auftraten. Der Nitratgehalt erreichte im Winter Werte von $6\text{--}7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in der grundnahen Wasserschicht. Im weiteren Jahresverlauf sank er teilweise auf $0,2\text{--}0,4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ab, bis dann Ende Oktober ein erneuter Anstieg auf $2\text{--}4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ erfolgte. Ammoniumkonzentrationen, die zwischen 2 und $3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen, wurden im Januar und im April in der grundnahen Wasserschicht der westlichen Ostsee gemessen. Sie waren im August auf $0,1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ abgesunken. Werte von $5\text{--}7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ traten Ende Oktober im Inneren der Lübecker Bucht auf.

Jahreszeitliche Veränderungen bestimmten auch die Phosphat- und Nitratverteilung in der grundnahen Wasserschicht des Arkonabeckens (Abb. 5 und 6). Im stagnierenden Tiefenwasser des Bornholmbeckens war die Entstehung anoxischer Bedingungen, die im Sommer 1989 beobachtet wurde, mit einer starken Zunahme des Phosphatgehalts und dem Verschwinden des Nitratstickstoffs verbunden. Umgekehrt führte die advective Wassererneuerung im Frühjahr 1989 zu einem Anstieg der Nitratkonzentration und zu einer Abnahme des Phosphatgehalts in der grundnahen Wasserschicht des Gdansk Tiefs.

Die oxische Zwischenschicht im östlichen Gotlandbecken war durch hohe Phosphat- und Nitratkonzentrationen gekennzeichnet. Der im Frühjahr beobachtete Einstrom in diese Schicht führte im Südteil des Beckens auch zu Veränderungen in der Verteilung beider Parameter.

Während im anoxischen Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens kein Nitrat vorhanden war, wurden Ammoniumkonzentrationen von 20 bis $30 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ gemessen. Der Phosphatgehalt erreichte unter diesen Bedingungen Höchstwerte von rund $9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Nur im April wurden etwas niedrigere Konzentrationen gemessen.

Der Phosphatgehalt im oxischen Tiefenwasser des westlichen Gotlandbeckens entsprach dem des östlichen Beckens. Die Nitratkonzentrationen waren dagegen generell niedriger.

4. Diskussion

Der milde Winter, die frühzeitig erfolgende Erwärmung im Frühjahr und die langsam verlaufende Abkühlung im Herbst prägten 1989 die Temperaturverteilung in der Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee durch hohe positive Anomalien. In Übereinstimmung mit den

Lufttemperaturen, die nur wenig über den jahreszeitlichen Erwartungswerten lagen, wurden dagegen im Sommer nur geringe Abweichungen von den Normalwerten beobachtet. Nach milden Wintern werden im baltischen Zwischenwasser hohe Temperaturen gemessen. In Übereinstimmung damit war diese Schicht im Sommer 1989 durch deutlich positive Temperaturanomalien gekennzeichnet. Sie unterschied sich damit gegenüber den Bedingungen im Jahre 1988 /11/, als nach einem ebenfalls milden Winter nur eine allmähliche Erwärmung im Frühjahr erfolgte und daher geringe Anomalien auftraten.

Die Temperaturveränderungen im Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken können als Indikator für die Ausbreitung des salzreichen Wassers dienen, das im Herbst 1988 die Darßer Schwelle passiert hat und durch relativ hohe Temperaturen gekennzeichnet war /11/. Sie zeigten, daß nach dem Bornholmbecken auch das Tiefenwasser des Gdansk Beckens erneuert wurde. Die Zunahme des Salzgehalts und die Verbesserung der Sauerstoffbedingungen waren in beiden Becken jedoch nur gering. Im Bornholmbecken wurden im August 1989 erneut anoxische Bedingungen registriert.

Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens war 1989 ganzjährig Schwefelwasserstoff vorhanden. Die Abnahme seiner Konzentration in der zweiten Jahreshälfte kann ebenfalls eine Folge des oben erwähnten Einstroms sein. Signifikante Veränderungen in der Temperatur- und Salzgehaltsverteilung waren damit jedoch nicht verbunden.

Im westlichen Gotlandbecken traten 1989 keine anoxischen Bedingungen auf, im nördlichen Becken wurden sie vereinzelt beobachtet und waren auf den Herbst beschränkt. Abb. 1 enthält Angaben über die Verteilung von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der untersuchten Ostseeregionen.

Das relativ geringe Sauerstoffdefizit, das im Herbst verbreitet in der oberflächennahen Schicht der untersuchten Ostseeregionen vorhanden war, hängt mit der Herbstblüte des Phytoplanktons zusammen, die 1989 schwächer als im Vorjahr, jedoch flächendeckender auftrat und durch den Assimilationsprozeß zur Sauerstoffversorgung beitrug.

Die Salzgehaltsverteilung in der oberflächennahen Schicht der westlichen und zentralen Ostsee war 1989 durch negative und positive Anomalien gekennzeichnet. Trotz vorübergehenden Anstiegs in einigen Becken tendiert der Salzgehalt im Tiefenwasser zu einer weiteren Abnahme. Die in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs gemessenen Werte ordnen sich in den seit 1977 beobachteten negativen Trend ein /13/.

In der Gotlandsee war im November 1989 eine sekundäre Salzgehaltssprungschicht vorhanden, die unterhalb der Temperatursprungschicht begann und stärker als in anderen Jahren entwickelt war. Sie entsteht offensichtlich im Verlauf des Sommers infolge des durch die Temperatursprungschicht begrenzten vertikalen Austausches und verschwindet mit deren Abbau.

Im Südteil des Kattgats wurden Ende Oktober keine extrem hohen Salzkonzentrationen, die auf einen unmittelbar bevorstehenden Salzwassereintrich hindeuteten, beobachtet. In diesem Zusammenhang muß auch berücksichtigt werden, daß positive Salzgehaltsanomalien zumindest im Tiefenwasser des Kattgats keine entscheidende Voraussetzung für ein derartiges Ereignis sind /8/. Da auch der

Füllungsgrad der Ostsee von untergeordneter Bedeutung ist /9/, reduzieren sich die Voraussetzungen für einen Salzwassereintrich auf das lokale Windfeld und die daraus resultierenden hydrographischen Folgeerscheinungen (vgl. auch 4).

In der winterlichen oberflächennahen Schicht der untersuchten Ostseeregionen entsprachen die Phosphatkonzentrationen denen des Vorjahres, während die Nitratkonzentrationen deutlich darunter lagen /11, 13/. Damit hat die Trendumkehrung, die beim Phosphat bereits 1988 begann, jetzt auch den anderen wichtigen Algennährstoff erfaßt. Zukünftige Untersuchungen werden darüber entscheiden, ob die Eutrophierung der Ostsee ihren Höhepunkt überschritten hat, oder ob es sich um zwischenzeitliche Fluktuationen, wie sie bereits früher beobachtet wurden /10/, handelt.

Relativ niedrige Nährstoffkonzentrationen wurden 1989 auch im Gebiet der Oderbank gemessen. Ihre Kombination mit verhältnismäßig hohen Salzkonzentrationen deutet auf eine verringerte Flußwasserzufuhr hin, was im Einklang mit der stark negativen Anomalie im Niederschlagsgeschehen des Jahres 1989 /22/ steht. Das Windfeld als dominierende Größe kann in diesem Zusammenhang ausgeschlossen werden, weil Messungen auch bei Windrichtungen aus dem Sektor Nord bis Ost, d. h. bei Bedingungen, unter denen sich das Oderwasser im Untersuchungsgebiet staut, durchgeführt wurden.

In der oxischen Zwischenschicht des Gotlandtiefs, die durch den 100-m-Horizont charakterisiert wird, ordnen sich die 1989 gemessenen Phosphatkonzentrationen in den schwach positiven Trend des Zeitraums 1977–1988 /13/ ein, die Nitratkonzentrationen lagen dagegen deutlich unter den mittleren Bedingungen dieses Zeitraumes.

Die Phosphatkonzentrationen in der grundnahen Wasserschicht dieser Station waren im allgemeinen größer als die des Jahres 1988. Sie folgen damit dem stark positiven Trend /13/, der seit 1977, dem Beginn der gegenwärtigen Stagnationsperiode im östlichen Gotlandbecken, beobachtet wird.

Aus den durchgeführten hydrographisch-chemischen Untersuchungen lassen sich Schlußfolgerungen für die Entwicklung der Fischbestände und die Fischerei in der Ostsee ableiten. Infolge des sehr milden Winters 1988/89 wurde die Fischerei in der westlichen und zentralen Ostsee nicht durch Eis behindert. Die positiven Temperaturanomalien, die im Sommer 1989 im baltischen Zwischenwasser der Gotlandsee auftraten, begünstigen die Sprottrekrutierung (vgl. 1). Sauerstoffmangel und weiter abnehmender Salzgehalt beeinträchtigen zunehmend die Dorschrekrutierung in der zentralen Ostsee (vgl. 2). Günstige Auswirkungen auf die Laichplätze des Rügenschers Frühjahrsheerlings läßt die relativ geringe Nährstoffbelastung (vgl. 11, 13) erwarten, die 1989 im Gebiet der Oderbank beobachtet wurde. Darüber hinaus wirkt sich ein milder Winter positiv auf das Wachstum, das Wanderungsverhalten und die Befischung dieses Bestandes aus.

Die vorliegenden Schlußfolgerungen gelten nur mit Einschränkungen. Neben den hydrographisch-chemischen Bedingungen sind andere Parameter von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Fischbestände. Hierzu gehören beispielsweise die Bestandsnutzung (Überfischung), die Laicherbiomasse, Krankheiten und Schadstoffe.

Literatur

- ANTONOV, A. E.: Ozeanologische Grundlagen zur fischwirtschaftlichen Prognose im südlichen Teil der Ostsee. Atlant-NIIRCH, Kaliningrad 1964, S. 1–118 (in russ.).
- BERNER, M.; MÜLLER, H.; NEHRING, D.; SCHULZ, S.: Zum Einfluß von Umwelts- und Bestandsparametern auf die Rekrutierung des Dorschbestandes östlich Bornholms (SD 25–32). Fisch.-Forsch., Rostock 26 (1988) 2, S. 37–43.
- HUPFER, P.: Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen. Leipzig 1978, S. 1–152.
- LASS, H. U.: A theoretical study of the barotropic water exchange between the North Sea and the Baltic and the sea level variations of the Baltic. Beitr. Meereskunde, Berlin 58 (1988) S. 19–33.
- 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 oberflächennahen Salzgehalts der Ostsee. Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 87 (1978), S. 369–376.
- MATTHÄUS, W.; FRANCK, H.: Is the positive salinity anomaly in the Kattgat deep water a necessary precondition for major Baltic inflows? Gerlands Beitr. Geophysik 98 (1989), S. 332–343.
- MATTHÄUS, W.; FRANCK, H.: The water volume penetrating into the Baltic Sea in connection with major Baltic inflows. Gerlands Beitr. Geophysik, im Druck.
- NEHRING, D.: Langzeitveränderungen essentieller Nährstoffe in der zentralen Ostsee. Acta hydrochim. hydrobiol. 13 (1985), S. 591–609.
- NEHRING, D.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1988. Fisch.-Forsch., Rostock 28 (1990) 2, S. 7–18.
- NEHRING, R.; FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee 1969–1978. I. Die hydrographischen Bedingungen und ihre Veränderungen. Geod. Geoph. Veröff. R IV, H. 35 (1981), S. 5–38.

13. NEHRING, D.; MATTHÄUS, W.:
Current trends in hydrographic and chemical parameters and eutrophication in the Baltic Sea.
Int. Rev. gesamten Hydrobiol., Berlin, im Druck.
14. NEHRING, D.; TIESEL, R.; FRANCKE, E.:
Beziehungen zwischen einigen ozeanologischen Größen der Ostsee und den Lufttemperaturen an der DDR-Küste.
Beitr. Meereskunde, Berlin 61 (1990), S. 79-92.
15. MILLERO, F. J.:
The thermodynamics and kinetics of H₂S.
Symposium of the Chemical and Physical Oceanography of the Black Sea, Göteborg, Sweden, June 2-4, 1986, paper.
16. REICHEL, U.:
Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelts.
Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffsbeobachtungen 1949-1978.
Inst. für Meeresk. Warnemünde 1980, unveröff.
17. ROHDE, K.-H.; NEHRING, D.:
Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser.
Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 24 (1979), S. 1-68.
18. TIESEL, R.:
Kälte- und Wärmesummen an der meteorologischen Beobachtungsstation Rostock-Warnemünde.
Amt für Meteorologie Rostock, unveröff.
19. ---:
Oceanografiske Observationer fra Dranske Fyrskibe og Kyststationer 1979.
Danske Meteorol. Inst. Charlottenlund 1971.
20. ---:
Mittelwerte der Temperatur und des Salzgehalts, Feuerschiff „Gedser Rev“ (1931-1960).
Inst. für Meeresk. Warnemünde 1982, unveröff.
21. ---:
Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik.
Hrsg. Meteorol. Dienst der DDR, HA für Klimatologie Potsdam, 12 (1988).
22. ---:
Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik.
Hrsg. Meteorol. Dienst der DDR, HA für Klimatologie Potsdam, 13 (1989).
23. ---:
Die Großwetterlage Europas.
Amtsblatt des Dtsch. Wetterdienstes Offenbach (Main), 42 (1989).