

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1985

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

Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee waren 1985 durch eine überwiegend negative Temperaturanomalie in den oberflächennahen Wasserschichten sowie durch den weiter abnehmenden Salzgehalt und die ungünstigen Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser gekennzeichnet. Die Phosphat- und Nitratakkumulation in der winterlichen Oberflächenschicht erreichte in der Mecklenburger Bucht, der Arkona- und Bornholmsee sowie der südöstlichen Gotlandsee hohe Beträge, der mittlere zwischenjährliche Anstieg 1980–1985 dieser Nährstoffe verringerte sich jedoch in Richtung Gotlandsee. Im Hinblick auf die Ostseefischerei sind die hydrographisch-chemischen Bedingungen im Jahre 1985 als ungünstig zu bewerten.

1. Einleitung

Kontinuierliche Untersuchungen über Abweichungen von den mittleren jahreszeitlichen Bedingungen, über Veränderungen im Tiefenwasser sowie über zwischenjährliche Unterschiede in der Ostsee sind ein Beitrag zur Qualifizierung der Fangprognosen für die Ostseefischerei sowie für periodische Zustandseinschätzungen durch die Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes. Diese Untersuchungen, mit denen bereits 1969 durch das Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR begonnen wurde (16, 17), konnten auch 1985 trotz schwieriger Eisbedingungen zu Jahresbeginn planmäßig mit 5 Terminfahrten des Forschungsschiffs „A. v. Humboldt“ fortgesetzt werden. Die ozeanologischen Messungen hatten jeweils den Fehmarnbelt (Stat. 010) als westlichsten Ausgangspunkt und erstreckten sich im Februar und August bis zum Färötief (Stat. 20A), im März 1985 bis zum Gotlandtief (Stat. 15A) sowie im Mai und Oktober/November 1985 bis zum Finnischen Meerbusen (Stat. 22A). Im Mai wurde jedoch das westliche Gotlandbecken nicht mitbearbeitet, während im Oktober/November auch Untersuchungen im südlichen Kattegat erfolgten. Weitere Untersuchungen in diesem Gebiet, deren Auswertung in einem anderen Bericht vor-

gesehen ist, wurden zusammen mit einem Nordseeprogramm im März und August 1985 durchgeführt. Die Stationskarte in Abb. 1 enthält die Positionen der nationalen und internationalen Standardstationen, die für die nachfolgenden Auswertungen verwendet wurden. Die Wasserproben wurden mit der Tiefseesonde OM 75 (11), die auch die Temperaturwerte lieferte, geschöpft. Die gemäß ROHDE und NEHRING (20) analysierten hydrographisch-chemischen Standardparameter umfaßten die Wassertemperatur, den Salzgehalt und die Sauerstoff-Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowie die Nährstoffe Phosphat, Nitrat, Nitrit und Ammonium. Das ozeanologische Meßprogramm wurde durch meteorologische Beobachtungen sowie durch biologische Untersuchungen ergänzt.

2. Die meteorologischen Bedingungen

Nach normalen Temperaturbedingungen im Dezember 1984 folgte ein sehr kalter Hochwinter, der im Januar 1985 mit -4 bis -6 K und im Februar mit -5 bis -7 K für alle Teilgebiete der Ostsee hohe negative Abweichungen der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel erbrachte (26). Die für die Charakterisierung der Seegewässer der DDR günstig gelegene Küstenstation Arkona meldete

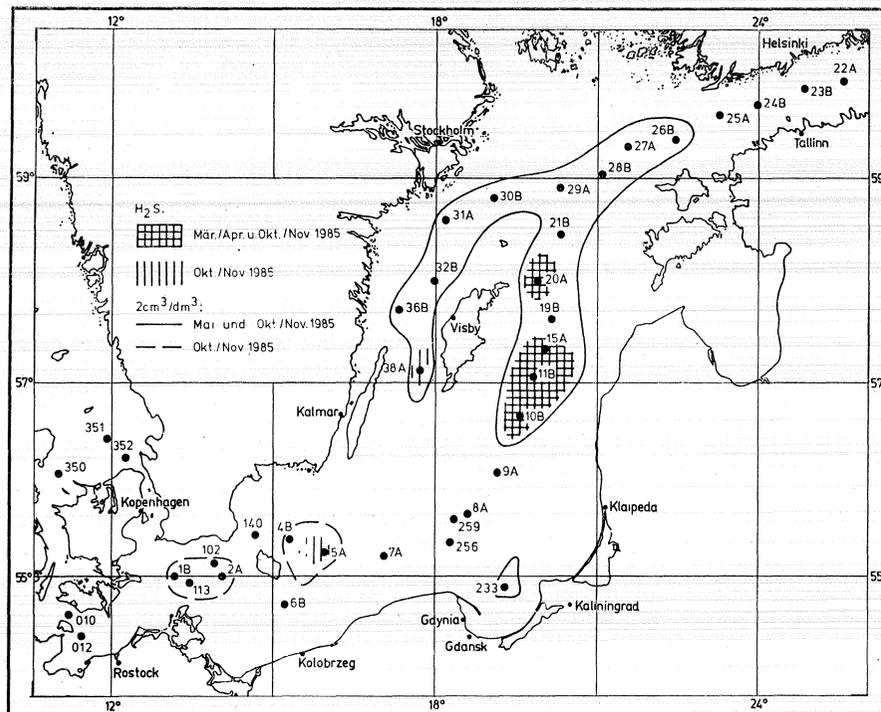


Abb. 1
 Stationskarte und Gebiete mit Sauerstoffmangel und Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht der zentralen Ostsee

Abweichungen von $-3,1$ K im Januar und $-3,6$ K im Februar 1985 (25).

Vom März bis August 1985 lagen die Temperaturanomalien über der Ostsee zwischen 0 und -1 K. Regional begrenzt wurden höhere Abweichungen beobachtet. In Arkona wurden Werte bis zu $-1,6$ K erreicht.

Im September 1985 traten zeitlich begrenzt ebenfalls negative Abweichungen der Lufttemperaturen über der Ostsee auf, die Beträge von -1 bis -2 K aufwiesen. Die Ursache dafür waren größere Luftbewegungen infolge verstärkter zyklonaler Tätigkeit über Nordeuropa, verbunden mit der Zufuhr kühlerer Luftmassen aus dem Gebiet des Nordatlantiks.

Als Folge der im Oktober 1985 dominierenden antizyklonalen Wetterlagen mit ruhigem Herbstwetter wurden positive Abweichungen der Lufttemperaturen von mehr als 1 K über der Ostsee ermittelt. Ab November setzte jedoch durch den frühen Wintereinbruch in Mittel- und Nordeuropa eine schnelle Abkühlung ein, die erneut zu negativen Anomalien von -2 K führte.

In Übereinstimmung mit den überwiegend negativen Abweichungen der Lufttemperaturen steht das relativ geringe Strahlungsangebot in den Frühlings- und Sommermonaten. So lag die mittlere Sonnenscheindauer für Arkona im Jahre 1985 um rund 15 % unter dem langjährigen Mittelwert (25). Das Strahlungsangebot schwankte zwischen 32 % im März und 89 % im Juni. Ausnahmen von der insgesamt negativen Strahlungsbilanz bildeten sich Mai mit 105 % und der Juli mit 123 %, während im August mit 96 % der Normalwert fast erreicht wurde.

3. Die hydrographisch-chemischen Bedingungen

Obleich keine synoptische Datengewinnung vorliegt, wurde die Feldverteilung der hydrographisch-chemischen Parameter wiederum in Form von Vertikalschnitten dargestellt (Abb. 2–6). Diese Art der Auswertung ist gerechtfertigt, weil die jahreszeitlichen Veränderungen der untersuchten Parameter zumeist größer sind als die durch dynamische und chemisch-biologische Prozesse verursachten Variabilitäten und Inhomogenitäten.

3.1. Die Wassertemperaturen

Die Wassertemperaturen der Ostsee wurden 1985 nachhaltig durch den strengen Winter mit seinem Schwerpunkt im Januar und Februar beeinflusst. Bereits Mitte Februar 1985 herrschten in der Mecklenburger Bucht (Stat. 012, 011) Wassertemperaturen von $-0,7$ °C und über der Darßer Schwelle (Stat. 033) von $-0,4$ °C, die bis in Grundnähe reichten. Im Vergleich zu den jahreszeitlichen Mittelwerten beim Feuerschiff „Gedser Rev“ (24) betrug die negative Temperaturanomalie etwa -2 K. Die Lübecker Bucht und der Fehmarnbelt waren infolge Eisbedeckung nicht mehr zugänglich.

Die Temperaturverteilung für die anderen Teilgebiete der Ostsee ist in Abb. 2 dargestellt. Die im Oberflächenwasser der Arkonasee gemessenen Temperaturen waren Anfang Februar ebenfalls niedrig, wiesen jedoch noch keine negativen Werte auf. Bezogen auf die von MATTHÄUS (5, 8) angegebenen mittleren jahreszeitlichen Bedingungen betrug die negative Temperaturanomalie aber bereits $-1,5$ bis -2 K. In östlicher Richtung nahmen die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert ab. Sie erreichten im Oberflächenwasser der zentralen Bornholmsee Beträge von -1 bis $-1,5$ K, während sie im Gebiet des Gotlandtiefs bei $-0,5$ bis $-0,7$ K lagen.

Anfang März, der Jahreszeit des Temperaturminimums in den untersuchten Ostseeregionen, wurden die niedrigsten Temperaturen im Oberflächenwasser der Arkona- und Bornholmsee gemessen, während in der westlichen Ostsee nur noch über der Darßer Schwelle und in der Mecklenburger Bucht negative Temperaturen von rund $-0,1$ °C auftraten. In der Lübecker Bucht und im Fehmarnbelt lagen die Wassertemperaturen nahe 0 °C.

In Abb. 2 ist das Vordringen sehr kalter Wassermassen mit negativen Temperaturen in östliche Richtung und ihre Einlagerung oberhalb der thermohalinen Sprungschicht im Bornholmbecken sehr deutlich zu erkennen. Verglichen mit den Bedingungen im Februar hatte die negative Temperaturanomalie im März im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee und des Arkonabeckens geringfügig abgenommen. Eine Zunahme auf etwa $-1,8$ bzw. $-1,3$ K war dagegen in der zentralen Bornholmsee und im Gotlandtief eingetreten.

Als Folge des kalten Winters 1985 waren die Temperaturen im Baltischen Zwischenwasser ganzjährig durch eine negative Anomalie gekennzeichnet, die im August Beträge von -2 bis -3 K aufwies und im 60-m-Horizont des Gotlandtiefs durch ein Temperaturminimum von $1,7$ °C gekennzeichnet war. Das intermediäre Temperaturminimum reichte im Gegensatz zu anderen Jahren mit Temperaturen von $3-4$ °C bis ins Arkonabecken.

Die Erwärmung der sommerlichen Deckschicht lag mit einer negativen Anomalie von $-0,5$ bis -1 K ebenfalls deutlich unter dem langjährigen Mittel für diese Jahreszeit. Erst im Oktober/November verringerte sich diese Abweichung.

Bis zum August 1985 wurden im Tiefenwasser des Arkonabeckens Temperaturen gemessen, die deutlich unter denen früherer Jahre lagen (4, 5, 8). Erst im Herbst erfolgte ein Angleich an die mittleren Bedingungen.

Intrusionen kalten Winterwassers führten in der grundnahen Wasserschicht des Bornholm- und Gdanker Beckens zu einer deutlichen Temperaturabnahme von knapp 2 K bzw. 3 K im Verlauf des Jahres 1985. Im Bornholmbecken wurde der größte Temperaturrückgang bereits im Mai, im Gdanker Becken dagegen erst im August registriert. Im Gegensatz zu diesen Becken wurden im Tiefenwasser der Gotlandsee keine nennenswerten Temperaturveränderungen im Jahresverlauf sowie im Vergleich zum Vorjahr beobachtet.

Das intermediäre Temperaturmaximum im westlichen Bornholmbecken, das auf Intrusionen wärmeren Wassers aus dem Arkonabecken beruht, war im Herbst 1985 nur schwach ausgeprägt und auf den Westhang beschränkt. Auf Station 4B, wo es im allgemeinen auch noch anzutreffen ist (16), konnte es in diesem Jahr nicht nachgewiesen werden.

3.2. Der Salzgehalt

Der Salzgehalt in der Oberflächenschicht, dessen Verteilung in Abb. 3 dargestellt ist, zeigte nur geringe Abweichungen im Vergleich zu den von MATTHÄUS (6) angegebenen jahreszeitlichen Mittelwerten. Nach einer im Bornholmbecken und in der südöstlichen Gotlandsee im ersten Halbjahr ermittelten positiven Anomalie von $0,1$ ‰ wurde im August 1985 wieder der Normalwert erreicht. Abgesehen von der Mecklenburger Bucht lag der Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht unter den Werten der Vorjahre (vgl. Tab. 2).

Während advektive Prozesse und vertikale Vermischung im Arkonabecken zu kurzfristigen Schwankungen des Salzgehalts bis in Grundnähe führen (1, 6), sind die Veränderungen im zeitweilig stagnierenden Tiefenwasser der Becken östlich von Bornholm viel geringer und verlaufen langsamer. Im Bornholmbecken hatten Intrusionen aus dem Arkonabecken zu Beginn des Jahres 1985 eine Zunahme des Salzgehalts um etwa $0,6$ ‰ bewirkt, gefolgt von einem Rückgang um $0,4$ ‰ im Mai. Im Bodenwasser des Gdanker Tiefs trat in der zweiten Jahreshälfte eine Abnahme des Salzgehalts um etwa 1 ‰ ein, die mit dem Zustrom kälterer Wassermassen verbunden war. Sowohl im Bornholmbecken als auch im Gdanker Tief wurde die Stabilität der Schichtung beim Zustrom salzärmeren Wassers durch die niedrige Temperatur gewährleistet.

Der Salzgehalt im Bodenwasser des östlichen Gotlandbeckens zeigte im Jahresverlauf nur eine geringfügige Abnahme. Mit $12,26$ ‰ im Februar 1985 war er im Mittel jedoch um mehr als $0,1$ ‰ niedriger als im Vorjahr (17). Im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens waren die Veränderungen des Salzgehalts im Vergleich zum Vorjahr aber auch im Jahresverlauf gering.

Im Zusammenhang mit der Vorhersage von Salzwasser einbrüchen, die vorrangig im Spätherbst und Winter eintreten, sind Messungen in den Übergangsgebieten zur Nordsee sowie im Arkonabecken von besonderem Interesse. Der Salzgehalt im Tiefenwasser dieses Beckens war ganzjährig durch relativ niedrige Werte gekennzeichnet (Abb. 3). Das änderte sich auch im Herbst 1985 nicht. Die zu dieser Jahreszeit im südlichen Kattegat sowie im Fehmarnbelt angetroffene vertikale Salzgehaltsverteilung ist aus Tab. 1 zu entnehmen. Auf Stat. 350, die etwa identisch ist mit der Position des ehemaligen Feuerschiffs „Kattegat SW“, reichte die gut durchmischte und nahezu homohaline Deckschicht in relativ große Tiefen. Sie war an der Oberfläche durch eine positive Salzgehaltsanomalie von 4 bis 5 ‰ gekennzeichnet, die mit zunehmender Wassertiefe verschwand und in der grundnahen Wasserschicht sogar negativ wurde. Diese Verteilung zeigt, daß die po-

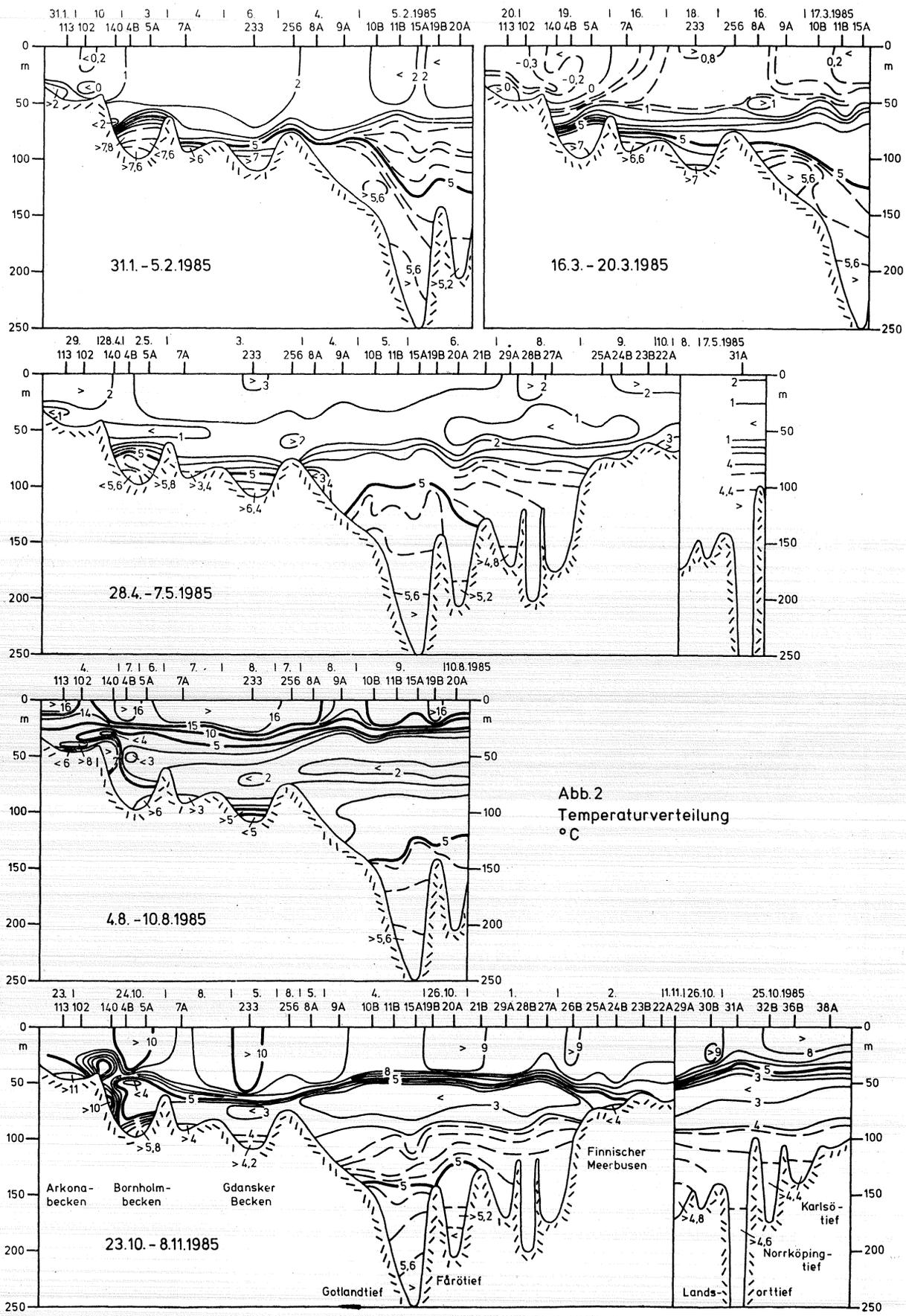


Abb.2
Temperaturverteilung
°C

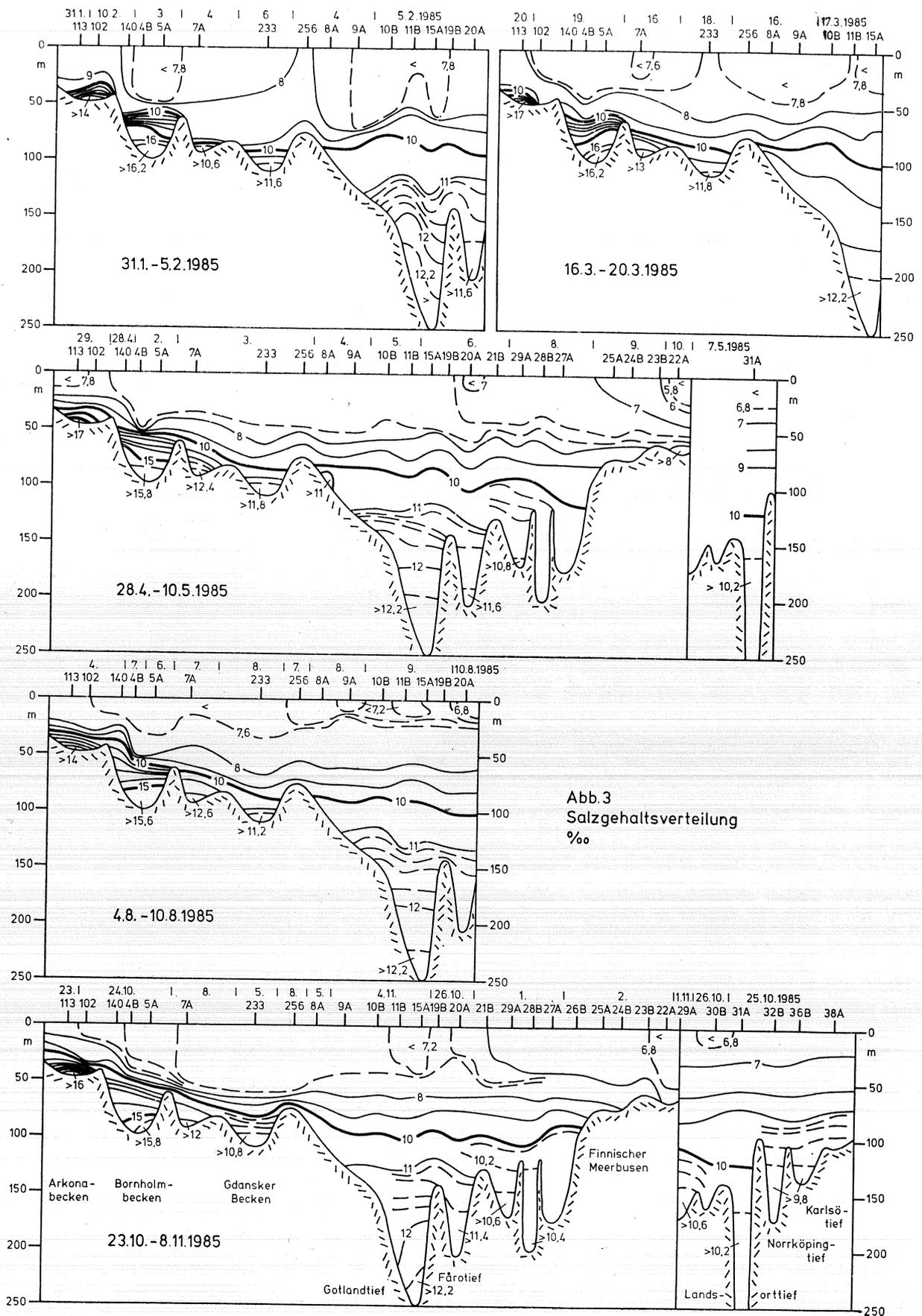


Abb. 3
Salzgehaltsverteilung
‰

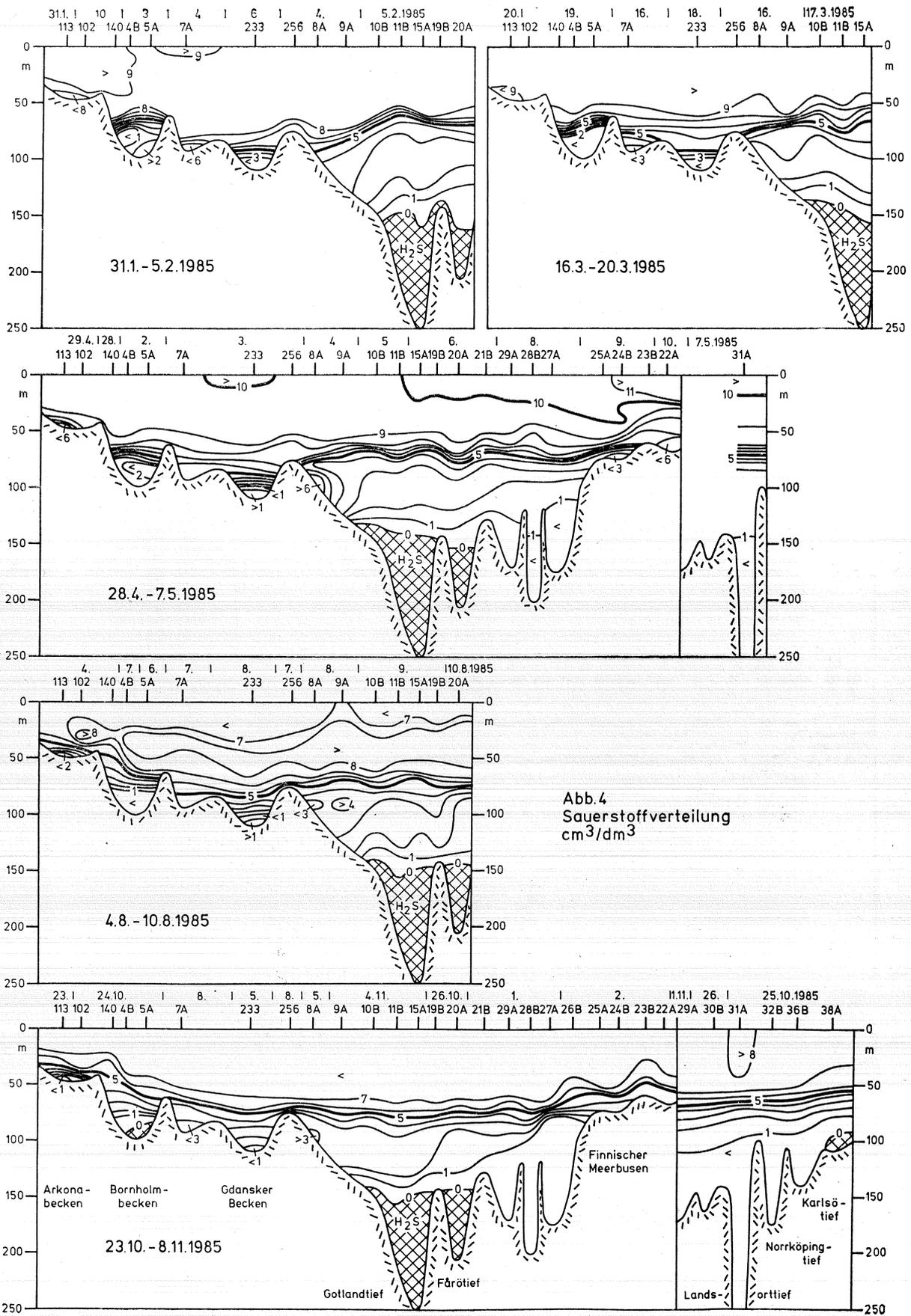


Abb.4
Sauerstoffverteilung
cm³/dm³

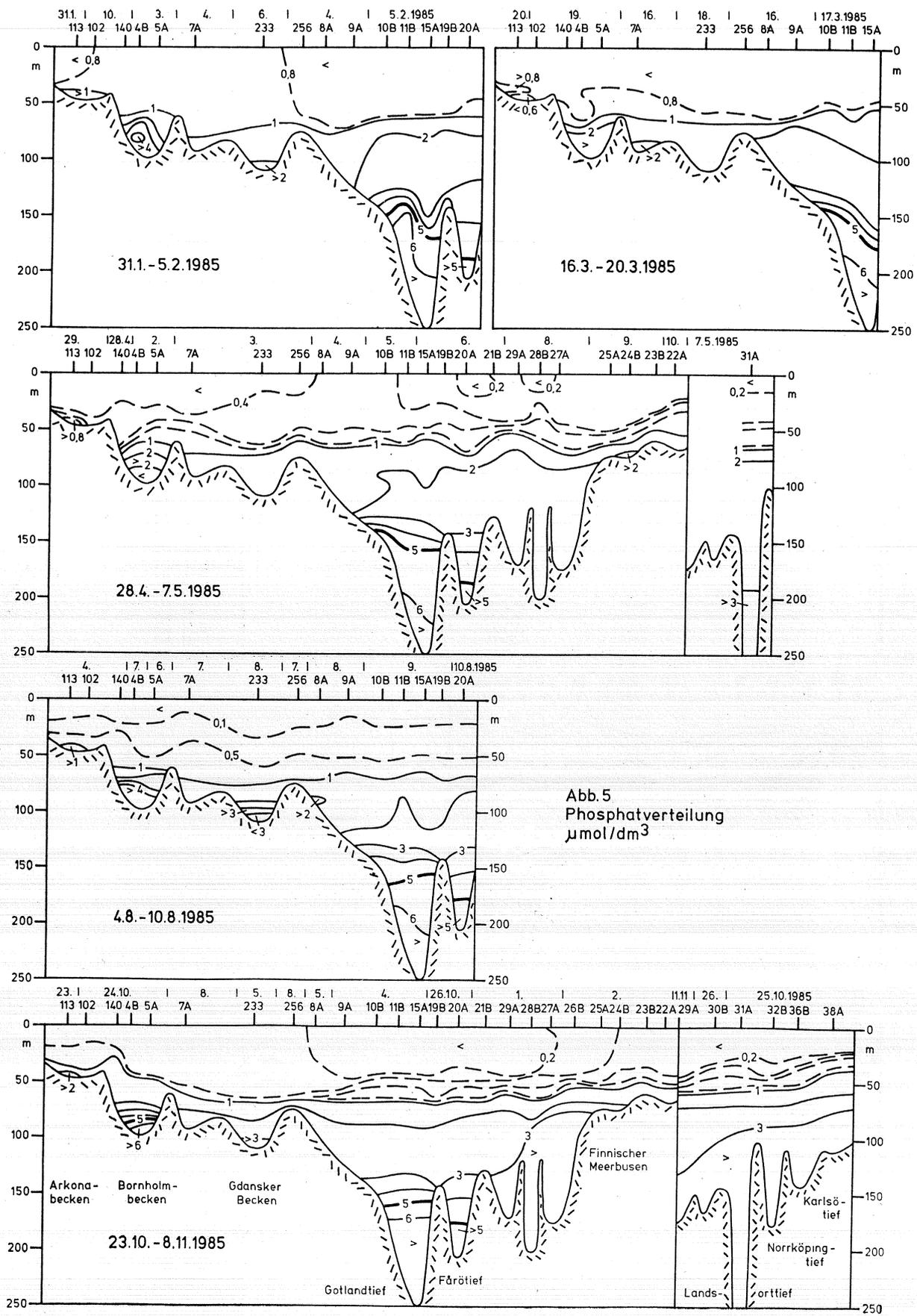


Abb.5
Phosphatverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

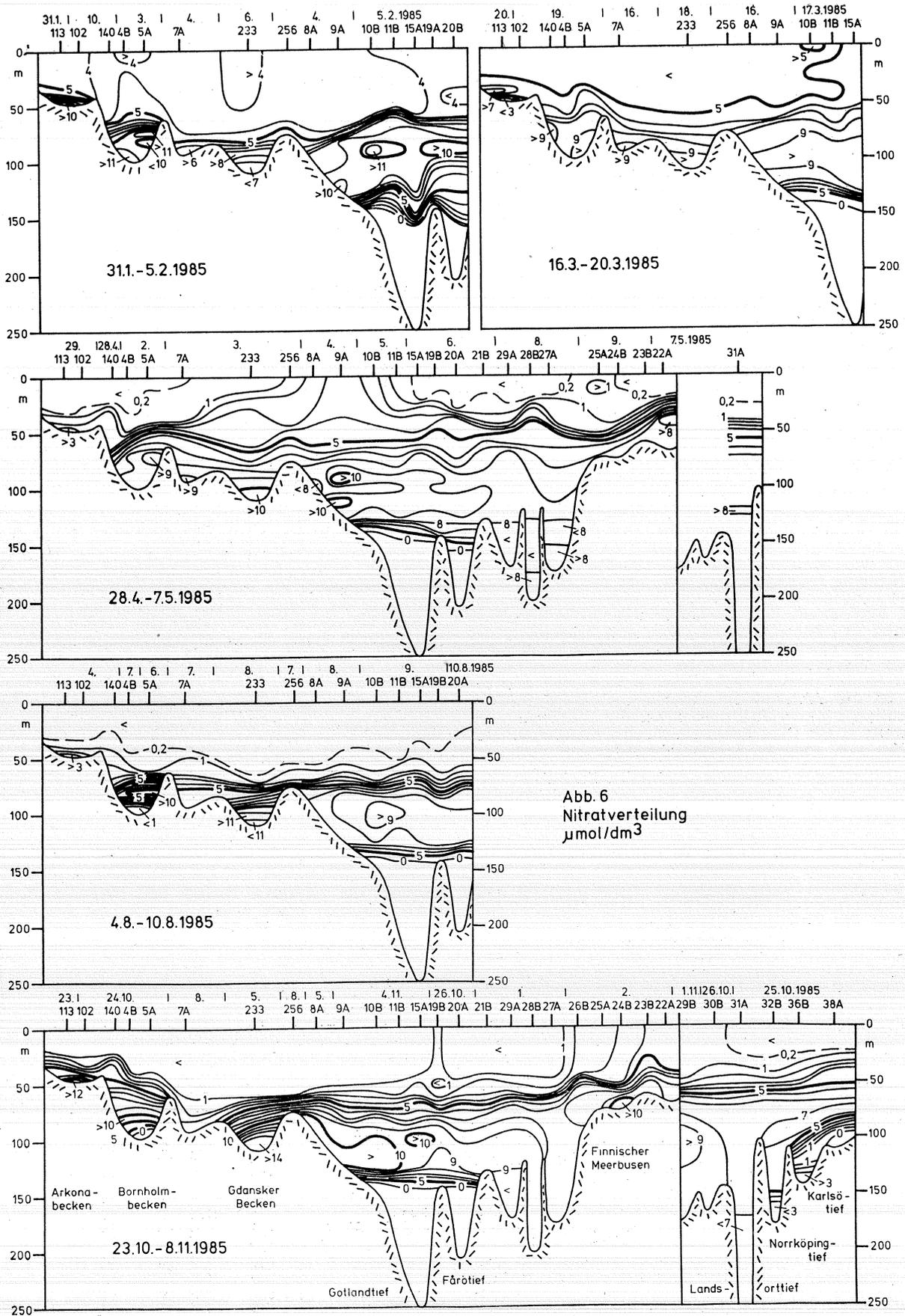


Abb. 6
Nitratverteilung
 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

Tabelle 1

Novemberrmittelwerte des Salzgehalts bei den Feuerschiffen „Kattegat SW“ (1931–1960) und „Fehmarnbelt“ (1949–1978) sowie aktuelle Salzkonzentrationen (‰) im südlichen Kattegat und im Fehmarnbelt im November 1985

Tiefe m	„Kattegat SW“ (23)	Stat. 350 15. Nov.	Stat. 351 15. Nov.	Stat. 352 15. Nov.	Stat. 010 14. Nov.	„Fehmarnbelt“ (18)
0–1	19,8	24,5	23,6	16,3	15,5	15,2
5	20,3	24,5	—	19,0	15,5	15,5
10	22,1	24,5	24,7	22,5	16,2	16,5
15	26,4	24,6	25,5	24,0	16,5	17,7
20	29,3	24,9	26,7	27,1	17,3	19,0
G *)	31,0 (30 m)	29,3 (22,4 m)	32,4 (29,1 m)	29,7 (22,5 m)	18,36 (27,2 m)	20,8 (28 m)

*) Grundnähe

sitive Anomalie in der Oberflächenschicht des Kattegats auf windbedingte Durchmischung zurückzuführen war und kein ungewöhnlich salzreiches Wasser anstand. Das Oberflächenwasser des Kattegats beeinflusst bei intensiven Einstromlagen nachhaltig den Salzgehalt im Fehmarnbelt. Die geringen Abweichungen der Werte in der Oberflächenschicht der Stat. 010 von den langjährigen Mittelwerten sowie die negative Anomalie im Tiefenwasser zeigen jedoch, daß zum Zeitpunkt der Untersuchungen kein nennenswerter Einstrom salzreicheren Kattegatwassers erfolgte.

3.3. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Die Verteilung des Sauerstoffs ist zusammen mit der des Schwefelwasserstoffs in Abb. 4 dargestellt. Beide Größen stehen über den chemisch-biologischen Stoffkreislauf miteinander in Beziehung und sind im allgemeinen nicht nebeneinander existent. Der Sauerstoffgehalt oberhalb der thermohalinen Sprungschicht wird durch den Austausch mit der Atmosphäre bestimmt. Er hängt darüber hinaus vom Jahresgang der Wassertemperatur ab und erreicht sein Maximum während der Massenentwicklung des Phytoplanktons (7), da der im Assimilationsprozeß gebildete Sauerstoff nur zögernd an die Atmosphäre abgegeben wird. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren zeigte der Jahresgang des Sauerstoffs in der Oberflächenschicht den erwarteten Verlauf. Ein von anderen Jahren abweichendes Verhalten wurde dagegen in der Schicht des Baltischen Zwischenwassers beobachtet. Infolge der starken winterlichen Abkühlung waren die Konzentrationen des gelösten Sauerstoffs relativ hoch, so daß das sehr kalte Baltische Zwischenwasser im Gotlandtief im August 1985 eine positive Anomalie von knapp 0,5 cm³/dm³ im Vergleich zu den mittleren jahreszeitlichen Bedingungen (3) aufwies. Im Arkonabecken führen advective Prozesse, die im Winter ihre größte Intensität erreichen, regelmäßig zu einem Austausch des Tiefenwassers und zu einer starken Zunahme des Sauerstoffgehalts (4). Die im Februar und März 1985 angetroffenen hohen Konzentrationen verringerten sich jedoch mit zunehmender thermischer Stabilisierung und waren im Oktober 1985 infolge biochemischer Zehrungsprozesse auf Werte unter 1 cm³/dm³ abgesunken. Im Oktober 1984 herrschten im Bodenwasser des Bornholmbeckens anoxische Bedingungen (17). Die in dieser Jahreszeit sowie im Winter 1985 beobachteten Intrusionen führten auch im Tiefenwasser dieses Beckens zu einer geringen Verbesserung der Sauerstoffbedingungen. Im Oktober 1985 trat jedoch erneut Schwefelwasserstoff im Bornholmbecken auf. Die Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser des Gdansk Beckens zeigten zu Jahresbeginn gegenüber dem Vorjahr (17) keine nennenswerten Unterschiede. Im weiteren Jahresverlauf sanken sie jedoch auf nahe 1 cm³/dm³ ab. Im östlichen Gotlandbecken wurde im Mai 1985 der Zustrom relativ sauerstoffreicher Wassermassen unterhalb der thermohalinen Sprungschicht beobachtet. Eine nachhaltige Beeinflussung der anoxischen Tiefenschicht trat jedoch nicht ein. Es folgte aber auch keine vertikale Ausdehnung dieser Schicht, die bis in etwa 150 m Tiefe reichte und sehr hohe Konzentrationen an Schwefelwasserstoff aufwies. Mit 3,6 mg/dm³ wurden im August 1985 in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs (243 m) Schwefelwasserstoffkonzentrationen gemessen, die alle bisherigen übertreffen. Abgesehen vom Karlsötief war das Bodenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens frei von Schwefelwasserstoff. Im Landsorttief wurden im Mai 1985 Sauerstoffkonzentrationen von 0,5–0,8 cm³/dm³ bis in Grund-

nähe registriert und damit ein geringfügiger Anstieg gegenüber dem Vorjahr (17) beobachtet.

3.4. Essentielle Nährstoffe

Phosphat und Nitrat sind die wichtigsten Nährstoffe in der Ostsee, weil sie die Phytoplanktonentwicklung begrenzen. Sie werden daher auch als essentielle Nährstoffe bezeichnet. Ihre Verteilung ist in den Abb. 5 und 6 dargestellt. Geringe Nitratkonzentrationen in Gegenwart von Schwefelwasserstoff wurden auf Unzulänglichkeiten bei der Probenentnahme oder Analytik zurückgeführt und blieben unberücksichtigt. Ammonium ist ebenfalls ein wichtiger Algennährstoff, der jedoch bei ausreichendem Lichtangebot unmittelbar nach seiner Remineralisierung erneut in den chemisch-biologischen Stoffkreislauf einbezogen wird und daher analytisch nicht in Erscheinung tritt. Lediglich im Herbst, wenn das Lichtangebot die Phytoplanktonentwicklung begrenzt (12), oder bei unvollständiger Nitrifikation sowie vor allem im anoxischen Tiefenwasser (13) werden höhere Konzentrationen dieser Stickstoffverbindung gemessen. Für das Produktionspotential der Ostsee, insbesondere für die Massenentwicklung des Phytoplanktons im Frühjahr, ist die Akkumulation von Nährstoffen in der winterlichen Oberflächenschicht von Bedeutung. Tab. 2 enthält Angaben über die mittleren Konzentrationen an Phosphat, Nitrat und Salz in dieser Schicht vor Beginn der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons. Entsprechend dem unterschiedlichen regionalen Beginn dieses Ereignisses (2) wurden unterschiedliche Jahreszeiten berücksichtigt. Wie die Angaben in Tab. 2 zeigen, hat im Zeitraum 1980 bis 1985 nur der Phosphatgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht zugenommen, am stärksten in der Mecklenburger Bucht und am wenigsten in der südöstlichen Gotlandsee. Die mittleren Nitrat- und Salzkonzentrationen lassen dagegen keine eindeutige Tendenz erkennen. Sie zeigen jedoch in der Mecklenburger Bucht große zwischenjährliche Fluktuationen.

Tabelle 2

Mittlere Phosphat-, Nitrat- und Salzkonzentrationen in der Oberflächenschicht ausgewählter Ostseeregionen vor Beginn der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons (in Klammern Anzahl der Meßwerte)

Gebiet	Jahr	PO ₄ ³⁻ µmol/dm ³	NO ₃ ⁻ µmol/dm ³	S ‰
Meckl. Bucht Jan.–Feb.	1980	0,64 (2)	10,9 (2)	13,64 (2)
	1981	0,65 (2)	8,6 (2)	11,29 (2)
	1982	0,60 (3)	9,0 (3)	12,92 (3)
	1983	0,75 (1)	6,1 (1)	13,1 (1)
	1984	0,90 (4)	6,3 (4)	14,5 (4)
	1985	1,09 (4)	8,3 (4)	14,1 (4)
Arkonasee Jan.–Feb. (März)	1980	0,46 (8)	3,8 (4)	8,48 (8)
	1981	0,55 (11)	4,4 (10)	8,23 (11)
	1982	0,54 (11)	4,0 (11)	7,83 (11)
	1983	0,79 (13)	4,1 (11)	8,72 (12)
	1984	0,75 (9)	3,9 (9)	8,97 (9)
	1985	0,74 (11)	4,4 (11)	8,36 (11)
Bornholmsee Feb. (März)	1980	0,50 (6)	3,7 (4)	8,02 (6)
	1981	0,69 (6)	3,7 (5)	7,85 (6)
	1982	0,58 (8)	4,1 (7)	7,79 (8)
	1983	0,82 (10)	4,1 (7)	8,44 (9)
	1984	0,74 (8)	3,9 (8)	8,44 (8)
	1985	0,76 (8)	4,2 (8)	7,82 (8)
Südöstliche Gotlandsee Feb.–März (Apr.)	1980	0,46 (11)	4,3 (6)	7,84 (11)
	1981	0,64 (13)	4,2 (13)	7,90 (13)
	1982	0,63 (15)	4,2 (15)	7,81 (15)
	1983	0,67 (12)	4,3 (11)	7,96 (12)
	1984	0,68 (12)	4,4 (12)	7,83 (12)
	1985	0,67 (12)	4,3 (12)	7,76 (12)

Nach dem jahreszeitlichen Minimum im Sommer wurde im Oktober/November 1985 eine erneute Phosphatakkumulation im Oberflächenwasser der Arkonasee und des Finnischen Meerbusens festgestellt (Abb. 5). In dem zuletzt genannten Seegebiet zeigte auch der Nitratgehalt bereits wieder eine deutliche Zunahme (Abb. 6).

Ebenso wie im Vorjahr (17) wurden auch Mitte November 1985 ungewöhnlich hohe Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee gemessen. Sie betragen im Seegebiet zwischen Darßer Schwelle und Fehmarnbelt, einschließlich Mecklenburger Bucht, $0,6-0,8 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, in der Lübecker Bucht wurden sogar $0,7-1,1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ registriert. Diese Konzentrationen entsprechen bereits den winterlichen Bedingungen.

Der Nitratgehalt lag im Oberflächenwasser dieser Seegebiete zwischen $0,9$ und $1,7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$. In der Mecklenburger Bucht wurden in dieser Jahreszeit Ammoniumkonzentrationen von $2,2 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ gemessen. Diese Dominanz des Ammoniums gegenüber dem Nitrat entspricht der Jahreszeit (12).

Im Tiefenwasser des Bornholmbeckens trat mit der Abnahme des Redoxpotentials und der Entstehung anoxischer Bedingungen ein starker Anstieg des Phosphatgehalts ein (Abb. 5). In Verbindung damit sank der Nitratgehalt auf nahe Null ab (Abb. 6), während die Konzentrationen des Ammoniumstickstoffs stark anstiegen und im November 1985 Werte bis zu $8,4 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in Grundnähe (86 m) erreichten.

Der höchste Phosphatgehalt wurde im anoxischen Bodenwasser des Gotlandtiefs gemessen. Er betrug im November 1985 rund $7,0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Gleichzeitig damit traten hohe Ammoniumkonzentrationen auf, die zwischen 10 und $12 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ lagen. Das intermediäre Nitratmaximum oberhalb des anoxischen Tiefenwassers wurde durch Konzentrationen zwischen 9 und $11 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ charakterisiert. Der höchste Nitratgehalt, er lag bei $14,3 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, wurde jedoch im November 1985 im Bodenwasser des Gdanskertiefs registriert.

4. Diskussion

ROCZNIK (19) zählt den Winter 1984/85 zu den denkwürdigsten unseres Jahrhunderts. Er bezieht sich dabei auf die für Mitteleuropa repräsentativen Stationen Potsdam, Wien, Basel und Utrecht-DeBilt und weist aus, daß die mittlere Abweichung der Lufttemperatur vom langjährigen Mittel jedoch nur $-1,4$ K betrug und damit wesentlich geringer war als in dem mit $-4,4$ K bisher kältesten Winter 1962/63 dieses Jahrhunderts. Berücksichtigt man jedoch die Monatsmitteltemperaturen des „meteorologischen Winters“, so war der Dezember 1984 mit einer Anomalie von rund $2,0$ K zu mild, während der Januar und Februar 1985 mit $-4,6$ K sehr kalt bzw. mit $-1,4$ K mäßig kalt waren.

Im Vergleich zu Mitteleuropa war der Winter über der Ostsee durch größere Strenge gekennzeichnet. Besonders im Februar 1985 übertrafen die negativen Abweichungen der Lufttemperatur, die -5 bis -7 K betragen, den für Mitteleuropa angegebenen Anomaliewert.

Die Beobachtungsstation Warnemünde des Meteorologischen Dienstes der DDR hat sich als günstig für die Beurteilung der Winter in den westlichen Teilgebieten der Ostsee erwiesen, da von HUPFER (1) Beziehungen zwischen den berechneten Kältesummen*) und der Eisintensität abgeleitet wurden (Abb. 7). Danach nimmt der Winter 1984/85 mit einer Kältesumme von 279 K den 10. Platz in der seit 1903 vorliegenden Beobachtungsreihe ein (21) und ist als eisreich einzustufen.

Die Temperaturverteilung in den oberflächennahen Wasserschichten der Ostsee wird durch den Wärmeaustausch zwischen Atmosphäre und Meeresoberfläche bestimmt. Dieser Prozeß ist insbesondere abhängig von der Sonneneinstrahlung und der Temperatur der Luftmassen sowie der Luftbewegung. Unterhalb der thermohalinen Sprungschicht wird die räumliche Verteilung der Temperatur vorrangig durch advektive Vorgänge beeinflusst.

Die über die Ostsee verbreiteten Eismassen mit ihrem hohen Energieverbrauch während des Abschmelzprozesses und darüber hinaus das überwiegend unternormale Strahlungsangebot infolge von geringer Sonnenscheindauer waren die wesentlichen Ursachen dafür, daß sowohl die Luft- als auch die Wassertemperaturen an der Oberfläche der westlichen und zentralen Ostsee bis zum Frühjahr 1985 negative Abweichungen von den langjährigen Mittel-

*) Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen eines Winters

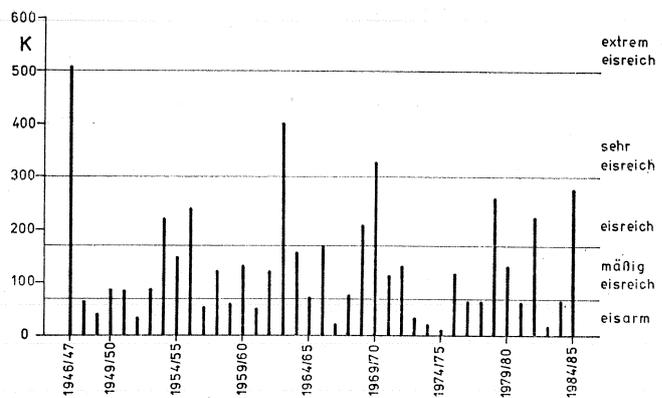


Abb. 7

Kältesummen nach TIESEL (21) auf Grund von Messungen der Seewetterdienststelle Warnemünde und Klassifizierung der Winter in der westlichen Ostsee nach HUPFER (1)

werten aufwies. Hervorzuheben sind auch die sehr niedrigen Temperaturen im kalten Baltischen Zwischenwasser während des Sommers.

Im Winter 1984/85 erfolgte kein Salzwassereinbruch in die Ostsee. Durch vertikale Austauschprozesse verringerte sich daher der Salzgehalt im zeitweise stagnierenden Tiefenwasser der zentralen Ostseebecken weiter. Im Gotlandtief, in dem die Stagnationsperiode ohne nennenswerte Unterbrechungen bereits seit 1977 andauert, ist er gegenwärtig bereits niedriger (10) als vor dem großen Salzeinbruch 1951/52 (22). Niedrige Salzkonzentrationen wurden aber auch im Tiefenwasser der anderen zentralen Ostseeregionen sowie im Arkonabecken beobachtet, so daß die Bedingungen für eine Wassererneuerung günstig sind. Andererseits gaben die Salzgehaltmessungen, die Mitte November 1985 im südlichen Kattegat und im Fehmarnbelt durchgeführt wurden, keinen Hinweis darauf, daß ein derartiges Ereignis unmittelbar bevorstand.

Die starke Verringerung des Salzgehalts im Tiefenwasser scheint sich inzwischen auch auf die homohaline Deckschicht der Ostsee auszuwirken. In Übereinstimmung mit MATTHÄUS (10) zeigte der Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht des südöstlichen Gotlandbeckens eine abnehmende Tendenz oder stagniert zumindest (Tab. 2). Im Oberflächenwasser des Arkona- und Bornholmbeckens ist noch keine abnehmende Tendenz zu erkennen, während in der Mecklenburger Bucht der im Mittel positive Salzgehaltstrend andauert (17), wenn man die zwischenjährigen Schwankungen berücksichtigt.

Obgleich kein Salzwassereinbruch beobachtet wurde, herrschten zu Jahresbeginn 1985 relativ günstige Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser des Bornholmbeckens und Gdanskertiefs. Durch die starke winterliche Abkühlung wurden offensichtlich Intrusionen geringer Mengen sauerstoff- und salzreicheren Wassers in diese Becken begünstigt. Sauerstoffzehrende Prozesse, die mit dem Abbau organischen Materials nach der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons verstärkt einsetzten, führten jedoch zu einer starken Abnahme des Sauerstoffgehalts und zur Entstehung anoxischer Bedingungen im Bodenwasser des Bornholmbeckens.

Im Mai 1985 wurde auch am Westhang des östlichen Gotlandbeckens der Einstrom kalter und sauerstoffreicher Wassermassen, die sich infolge ihrer geringen Dichte im Bereich unterhalb der thermohalinen Sprungschicht einschichteten und die vertikale Ausdehnung des anoxischen Tiefenwassers verhinderten, beobachtet. Die Ausbreitung dieser Wassermassen entsprechend der Tiefenzirkulation scheint auch dazu beigetragen zu haben, daß im nördlichen und westlichen Gotlandbecken mit Ausnahme des Karlsötiefs 1985 keine anoxischen Bedingungen entstanden.

In Abb. 1 sind die Gebiete mit Schwefelwasserstoff und niedrigen Sauerstoffkonzentrationen gekennzeichnet. Im Oktober/November 1985 herrschten anoxische Bedingungen unterhalb 150 m Tiefe im östlichen Gotlandbecken sowie im Bodenwasser des Bornholmbeckens und des Karlsötiefs. Die hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen in dem zuerst genannten Becken erfordern für ihre Oxidation erhebliche Sauerstoffmengen. Dieser zusätzliche Sau-

erstoffbedarf muß bei der Abschätzung der Auswirkungen eines zukünftigen Salzwassereintruchs auf das Sauerstoffregime im östlichen Gotlandbecken berücksichtigt werden.

Die Phosphat- und Nitratakkumulation in der winterlichen Oberflächenschicht der westlichen und zentralen Ostsee weist seit Ende der 60er Jahre einen hochsignifikanten positiven Trend auf (14). Unter Berücksichtigung zwischenjähriger Variationen scheint diese Eutrophierung in der Arkona- und Bornholmsee fortzubestehen, während sie sich in der südöstlichen Gotlandsee stark verlangsamt hat oder stagniert. In der Mecklenburger Bucht deutet vor allem die Phosphatakkumulation auf eine rasante Beschleunigung dieses Prozesses seit 1982 hin. Die bei früheren Untersuchungen nachgewiesene positive Korrelation zwischen Nährstoffen und Salzgehalt in der winterlichen Oberflächenschicht, die in einem ursächlichen Zusammenhang mit verstärkten vertikalen Austauschprozessen gesehen wurde (14), ist gegenwärtig nicht mehr signifikant, zumindest was die südöstliche Gotlandsee betrifft.

Infolge der hohen Phosphat- und Nitratkonzentrationen in der winterlichen Oberflächenschicht herrschten auch 1985 in der westlichen und zentralen Ostsee günstige Voraussetzungen für die Phytoplanktonentwicklung. Andere wichtige Faktoren, die sich über den Energie- und Stoffumsatz in der marinen Nahrungskette auf die Bioproduktion auswirken, sind die Sonnenscheindauer und die Wassertemperatur, die 1985 im Vergleich zu anderen Jah-

ren überwiegend durch negative Anomalien gekennzeichnet waren.

Trotz der zeitweilig geringeren winterlichen Nährstoffakkumulation im Oberflächenwasser der südöstlichen Gotlandsee zeichnet sich gegenwärtig noch kein Ende der Eutrophierungsperiode in der Ostsee ab. Bei Fortdauer dieses Prozesses ist nicht nur mit einer weiteren Erhöhung der Bioproduktion, sondern auch mit einer verstärkten Belastung des Sauerstoffregimes im Tiefenwasser der Ostsee zu rechnen, weil die in der lichtdurchfluteten Oberflächenschicht produzierte und später abgestorbene organische Substanz bei ihrer Sedimentation unter Sauerstoffverbrauch biochemisch abgebaut wird.

Im Hinblick auf die Fischerei sind die ozeanologischen Bedingungen der Ostsee im Jahre 1985 als ungünstig zu bewerten. Nicht nur, daß die lange Eisbedeckung den Einsatz der Fangfahrzeuge bis in den April hinein behinderte. Niedrige Wassertemperaturen beeinträchtigen darüber hinaus auch das Laichverhalten von Sprott und Hering und führen zu einer erhöhten Wanderungsaktivität.

Die Entwicklung der Dorschbestände in der Ostsee wird in zunehmendem Maße nicht nur durch die ungünstigen Sauerstoffbedingungen, sondern auch durch den abnehmenden Salzgehalt im Tiefenwasser beeinflusst. Dadurch verringert sich die Dichte des Wassers, so daß die Dorsch-eier ihre Schwimmfähigkeit verlieren. Sie sinken zum Grund und sterben ab. Das volle Ausmaß der ungünstigen ozeanologischen Bedingungen im Jahre 1985 auf die Ostseefischerei wird sich erst in einigen Jahren abschätzen lassen.

Literatur

- HUPFER, P.: Die Ostsee - kleines Meer mit großen Problemen. Leipzig 1978, S. 1-152.
- KAISER, W.; SCHULZ, S.: Zur Ursache der zeitlichen und räumlichen Differenzen des Beginns der Phytoplanktonblüte in der Ostsee. Fisch.-Forsch., Rostock 14 (1976), S. 77-81.
- MATTHÄUS, W.: Zur Hydrographie der Gotlandsee IV. Zum mittleren Jahresgang des Sauerstoffgehalts im Oberflächenbereich des Gotlandtiefs. Beitr. Meereskunde, Berlin 33 (1974), S. 141-151.
- MATTHÄUS, W.: Mittlere Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der Arkonasee am Beispiel der Station BY2A 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 87 (1978), S. 369-376.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderung im Sauerstoffgehalt der offenen Ostsee. Beitr. Meereskunde, Berlin 41 (1978), S. 61-94.
- MATTHÄUS, W.: Regionale Charakterisierung der zentralen Ostsee anhand von Elementen der mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit der Temperatur. Beitr. Meereskunde, Berlin 41 (1978), S. 49-60.
- MATTHÄUS, W.: Zur mittleren jahreszeitlichen Veränderlichkeit von Temperatur und Salzgehalt in der Mecklenburger Bucht. Beitr. Meereskunde, Berlin 50 (1984), S. 9-23.
- MATTHÄUS, W.: Why belongs the actual stagnation period of the Gotland Basin deep water to the most important ones? 9th Symp. Baltic Mar. Biologists, Turku/Finland, 1985.
- 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 von 1969-1978. II. Die chemischen Bedingungen und ihre Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffregimes. Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 35 (1981), S. 39-137.
- NEHRING, D.: Chemical investigations into nitrate reduction in Baltic deep waters. Beitr. Meereskunde, Berlin 51 (1984), S. 51-56.
- NEHRING, D.: Langzeitveränderungen essentieller Nährstoffe in der zentralen Ostsee. Acta hydrochim. hydrobiol. 13 (1985), S. 591-609.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Zusammenfassende Darstellung der hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Ostsee 1969/70. Fisch.-Forsch., Rostock 11 (1973), S. 31-42.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Untersuchungen in der Ostsee von 1968-1978. I. Die hydrographischen Bedingungen und ihre Veränderungen. Geod. Geograph. Veröff. R. IV, H. 35 (1981), S. 1-38.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Die hydrographisch-chemischen Bedingungen in der westlichen und zentralen Ostsee im Jahre 1984. Fisch.-Forsch., Rostock 23 (1985) 1, S. 18-27.
- REICHEL, U.: Mittlere monatliche Temperatur- und Salzgehaltswerte im Gebiet des Fehmarnbelt. Untersuchungen auf der Grundlage von Feuerschiffsbeobachtungen 1949-1978. Inst. für Meeresk., Warnemünde 1980, unveröff.
- ROCZNIK, K.: Die denkwürdigsten Winter unseres Jahrhunderts. Naturwiss. Rundschau 38 (1985), S. 234-237.
- 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.
- TIESEL, R.: Jährliche Kältesummen für die meteorologische Beobachtungsstation Rostock-Warnemünde. Seewetterdienststelle Warnemünde des Meteorologischen Dienstes der DDR, 1985, unveröff.
- WYRTKI, K.: Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. Kieler Meeresforsch. 10 (1954), S. 19-25.
- Oceanografiske Observationer fra Danske Fyrskibe og Kyststationer 1970. Danske Meteorol. Inst., Charlottenlund 1971.
- Mittelwerte der Temperatur und des Salzgehaltes. Gedser Rev (1931-1960). Inst. für Meeresk., Warnemünde 1982, unveröff.
- Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Hrg. Meteorol. Dienst der DDR, HA für Klimatologie Potsdam 39/40 (1985/86).
- Die Großwetterlagen Europas. Amtsblatt des Dtsch. Wetterdienstes Offenbach (Main), 38 (1985).