

Zusammenfassende Darstellung der hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Ostsee 1969/70

DR. DIETWART NEHRING UND EBERHARD FRANCKE
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE DER AdW DER DDR,
ROSTOCK-WARNEMÜNDE

Der guten Übersichtlichkeit wegen wurden die hydrographisch-chemischen Veränderungen, die 1969/70 in der Ostsee eingetreten sind, in Form eines Längsschnittes dargestellt. Dabei ließ sich der Verlauf der Wassererneuerung, der zu einer vorübergehenden Besserung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser dieses Binnenmeeres führte, gut verfolgen.

1. Einleitung

Die guten Erfahrungen bei der Auswertung der 1971 durchgeführten Untersuchungen (vgl. dieses Heft S. 45) haben uns veranlaßt, auch die hydrographisch-chemischen Veränderungen der Jahre 1969/70 in Form eines Längsschnittes durch die tiefen Becken und Mulden der Ostsee darzustellen. Diese Art der Darstellung, die bereits von FONSELIUS (5) benutzt wurde, zeichnet sich durch große Übersichtlichkeit aus. Ihre Nachteile bestehen vor allem in der unzureichenden quasi-synoptischen Datengewinnung infolge der großen Längserstreckung des Schnittes. Trotz dieses Mangels ist die Methode gut zur allgemeinen Charakterisierung der hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Ostsee geeignet.

Der Verlauf des Längsschnittes ist der Stationskarte auf Seite 45 dieses Heftes (13) zu entnehmen. Er entspricht etwa dem Profil I von LENZ (9) bzw. BOCK (1, 2) zwischen der Arkonasee und dem Finnischen Meerbusen, ergänzt durch Stationen im Gdansker Becken sowie in der nördlichen und westlichen Gotlandsee, einschließlich des Landsortstiefs. Bei der Auswertung konnten nur die Meßfahrten berücksichtigt werden, die mit den Forschungsschiffen „Professor Albrecht Penck“ und „Professor Otto Krümmel“ des Instituts für Meereskunde der AdW der DDR, Rostock-Warnemünde durchgeführt wurden. Einige Schnitte sind in verkürzter Form dargestellt, weil infolge ungünstiger Eisverhältnisse im Winter und Frühjahr nicht alle Stationen bearbeitet werden konnten (vgl. auch 12). Außerdem erstreckten sich die Terminfahrten nur bis zum Gotlandtief (Station 15 A). Da Teilergebnisse der im Rahmen des Internationalen Ostseejahres 1969/70 durchgeführten Untersuchungen bereits früher diskutiert wurden (3, 5, 7, 8, 10, 11), beschränkten sich die folgenden Ausführungen vorrangig auf Erläuterungen zu den Abbildungen.

2. Hydrographisch-chemische Veränderungen 1969

Die ozeanologischen Veränderungen in den Jahren 1969/70 wurden dadurch bestimmt, daß infolge mehrerer Salzwassereinbrüche unterschiedlicher Intensität die Erneuerung des Tiefenwassers in der Ostsee erfolgte (3, 5, 7, 10). Damit fand eine Stagnationsperiode, die in der Mitte des Jahres 1966 begonnen hatte (4, 6), ihr Ende. In den Abb. 1–5 wurden die 1969 eingetretenen Veränderungen der Wassertemperatur und des Salzgehalts sowie der Sauerstoff- und Phosphatverteilung dargestellt.

Von dem Salzwassereinbruch zu Beginn des Jahres 1969 (7) waren in den letzten Februartagen nur noch geringe Reste im Arkonabecken vorhanden (Abb. 2). Die Hauptmenge des salzreichen Wassers hatte dieses Becken bereits passiert und war in das Bornholmbecken abgeflossen. Hier begann die durchgreifende Erneuerung des Tiefenwassers im Februar/März und war im Mai beendet. Das dabei zunächst beobachtete, intermediäre Sauerstoffminimum (Abb. 3) entstand durch Unterwanderung des stagnierenden Tiefenwassers durch frisch eingeströmtes Wasser, während in Grundnähe nur noch geringe Reste „alten“ Wassers verblieben. Die sauerstoffarme Zwischenschicht war mit einem Temperatur- und Phosphatmaximum korreliert (Abb. 1 und 4). Im Mai waren die Sauerstoffwerte im

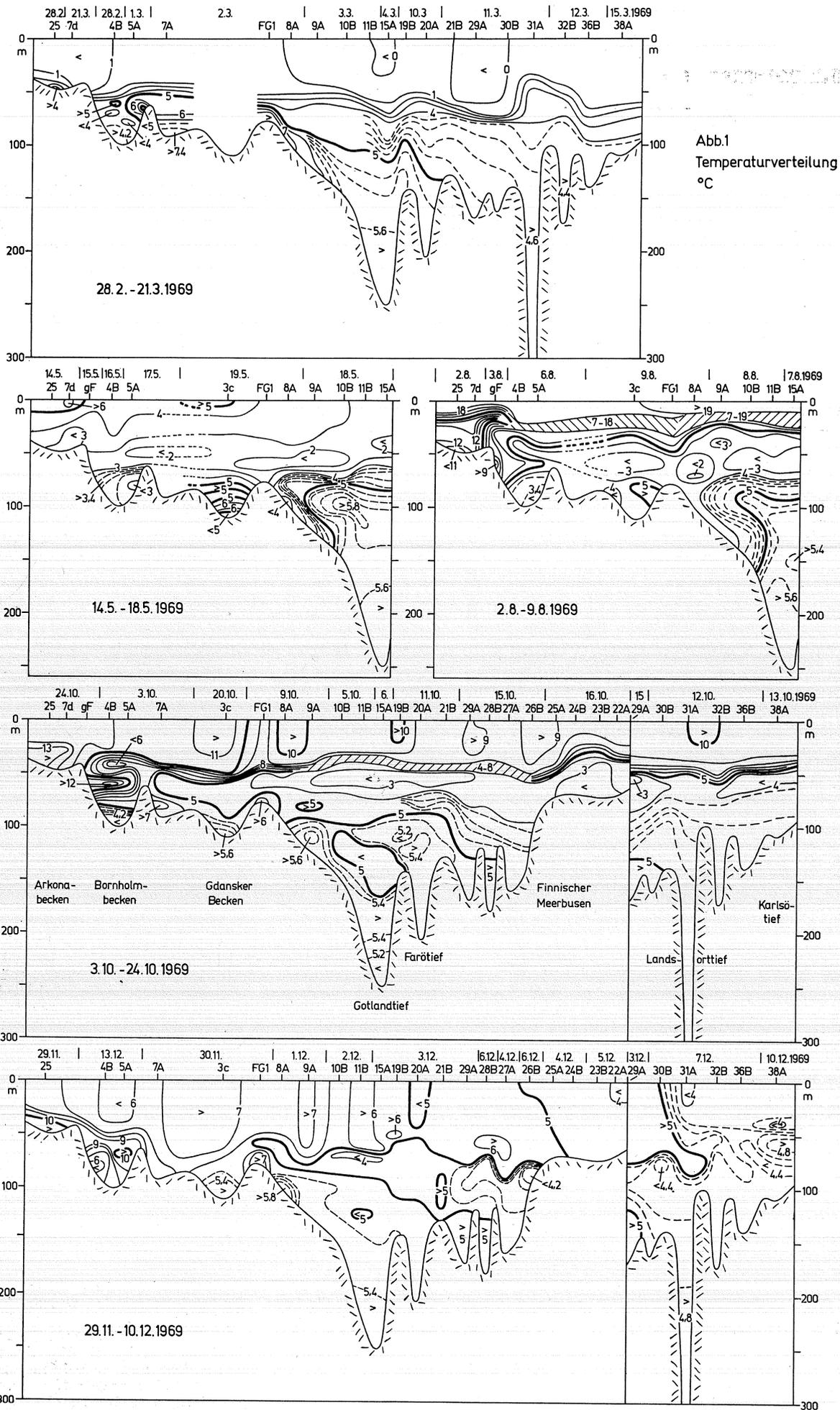
gesamten Tiefenwasser dieses Beckens ausgesprochen günstig, und der Phosphatgehalt hatte stark abgenommen. Durch die Umschichtung sank die Wassertemperatur im Bornholmbecken vorübergehend unter 3 °C ab (Abb. 1). Gleichzeitig stieg der Salzgehalt auf über 17,6 ‰ an (Abb. 2).

Im Verlauf des Sommers und Herbstes verschlechterten sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Bornholmbeckens bereits wieder. Die Abnahme des Sauerstoffgehalts wurde von einer Phosphatakkumulation begleitet. Die Temperaturverteilung im Dezember läßt Warmwasserintrusionen erkennen (Abb. 1), die sich nach passieren des Bornholmstgats in der ihrer Dichte entsprechenden Tiefe eingeschichtet hatten (vgl. auch 15). Diese Warmwasserlinsen machen in der kalten Jahreszeit den ständigen Austausch von Wasser zwischen der Arkonasee und dem Bornholmbecken sichtbar. In diesem Zusammenhang muß auch der Anstieg des Salzgehalts im Oktober auf Station 4 B gesehen werden (Abb. 2). Eine ähnliche Situation wurde im Herbst 1971 auf dieser Station angetroffen (13).

Im Gdansker Becken wurden erst ab Mai 1969 regelmäßig ozeanologische Untersuchungen von uns durchgeführt. Die in diesem Monat beobachteten Inversionen im Temperaturverlauf (Abb. 1), in der Sauerstoffverteilung (Abb. 3) und im Phosphatgehalt (Abb. 4) lassen darauf schließen, daß bereits eine Wasserumschichtung eingesetzt hatte. Die Sauerstoffverhältnisse und damit die Lebensbedingungen verbesserten sich jedoch nicht so grundlegend wie im Bornholmbecken. Die relativ starken Schwankungen im Salzgehalt (Abb. 2) und in der Sauerstoffverteilung (Abb. 3), die in den Folge Monaten beobachtet wurden, deuten an, daß weitere Advektionen teils „frischen“ teils „alten“ Wassers in die grundnahen Wasserschichten des Gdansker Beckens erfolgt sind.

Der Einstrom relativ frischen Wassers in das östliche Gotlandbecken zeichnete sich bereits im März 1969 ab. Diese Wassermassen waren zunächst durch höhere, später durch niedrigere Temperaturen gekennzeichnet, während ihre Phosphatkonzentrationen niedriger und ihre Salz- und Sauerstoffwerte höher lagen. Sie konnten im Laufe des Frühjahrs und Sommers das schwefelwasserstoffhaltige, phosphatreiche Tiefenwasser immer weiter nordwärts zurückdrängen, bis im Oktober die Umschichtung im Gotlandtief erfolgte (7, 8, 10, 11). Die Sauerstoffverteilung läßt erkennen, daß dabei Reste des schwefelwasserstoffhaltigen Tiefenwassers ins Färötief, in dem die Wassererneuerung bereits eingetreten war (vgl. auch 7), gedrückt wurden. Außerdem sank die Wassertemperatur zunächst ab (Abb. 1), während der Salzgehalt geringfügig anstieg (Abb. 2). Ein deutlicher Rückgang war beim Phosphatgehalt zu verzeichnen (Abb. 4). Im Dezember 1969 war das gesamte östliche Gotlandbecken frei von Schwefelwasserstoff.

Trotz der bis zum Winter 1968/69 in weiten Teilen der Ostsee herrschenden Stagnationsperiode wurde im westlichen Gotlandbecken im März 1969 nur auf Station 32 B Schwefelwasserstoff festgestellt (Abb. 3). Im weiteren Jahresverlauf breitete sich jedoch die schwefelwasserstoffhaltige Tiefschicht aus, wobei die ungünstigsten Bedingungen im Oktober angetroffen wurden. Eine ähnliche Entwicklung war im Landsorttief



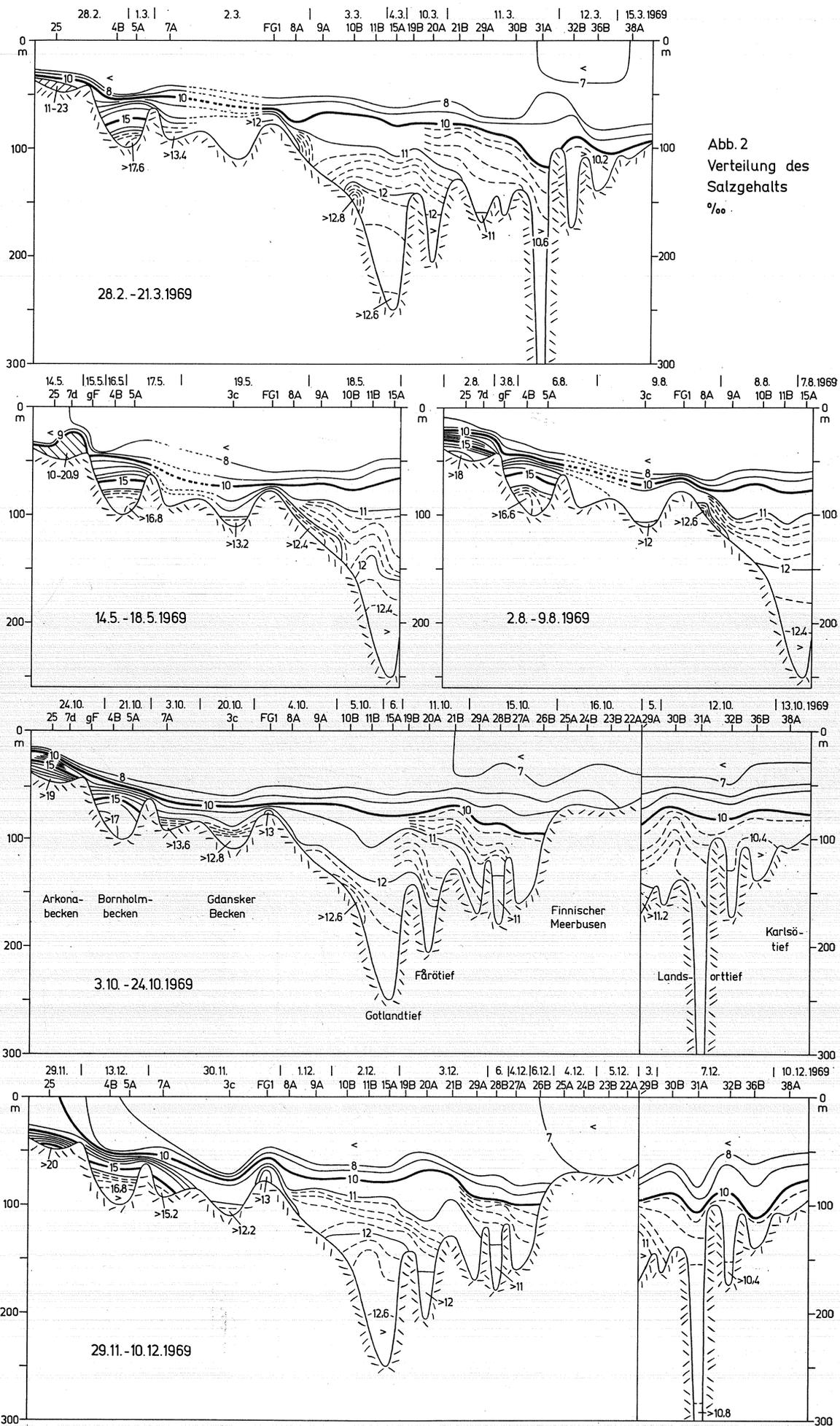


Abb. 2
Verteilung des
Salzgehalts
‰

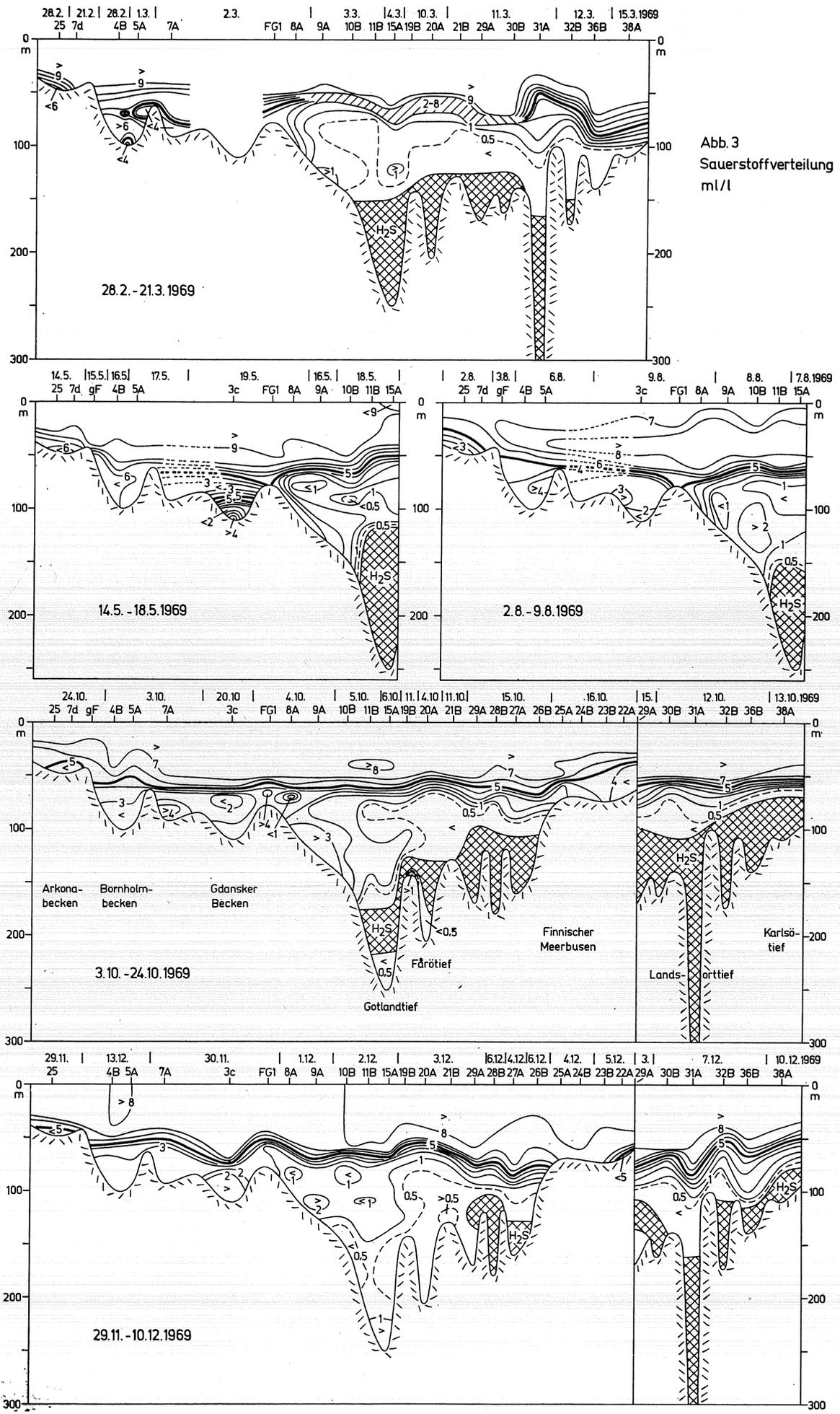


Abb. 3
Sauerstoffverteilung
ml/l

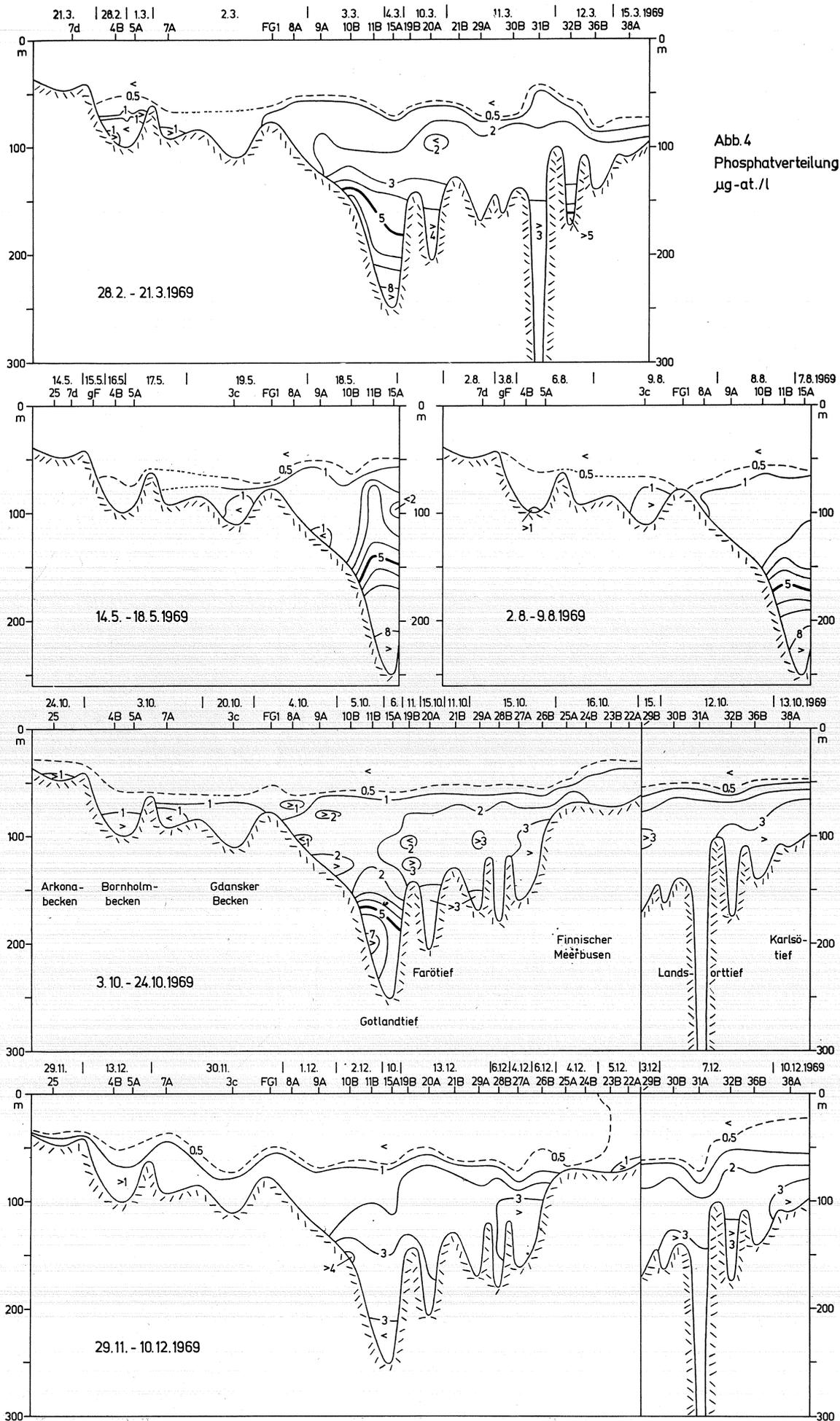


Abb. 4
Phosphatverteilung
µg-at./l

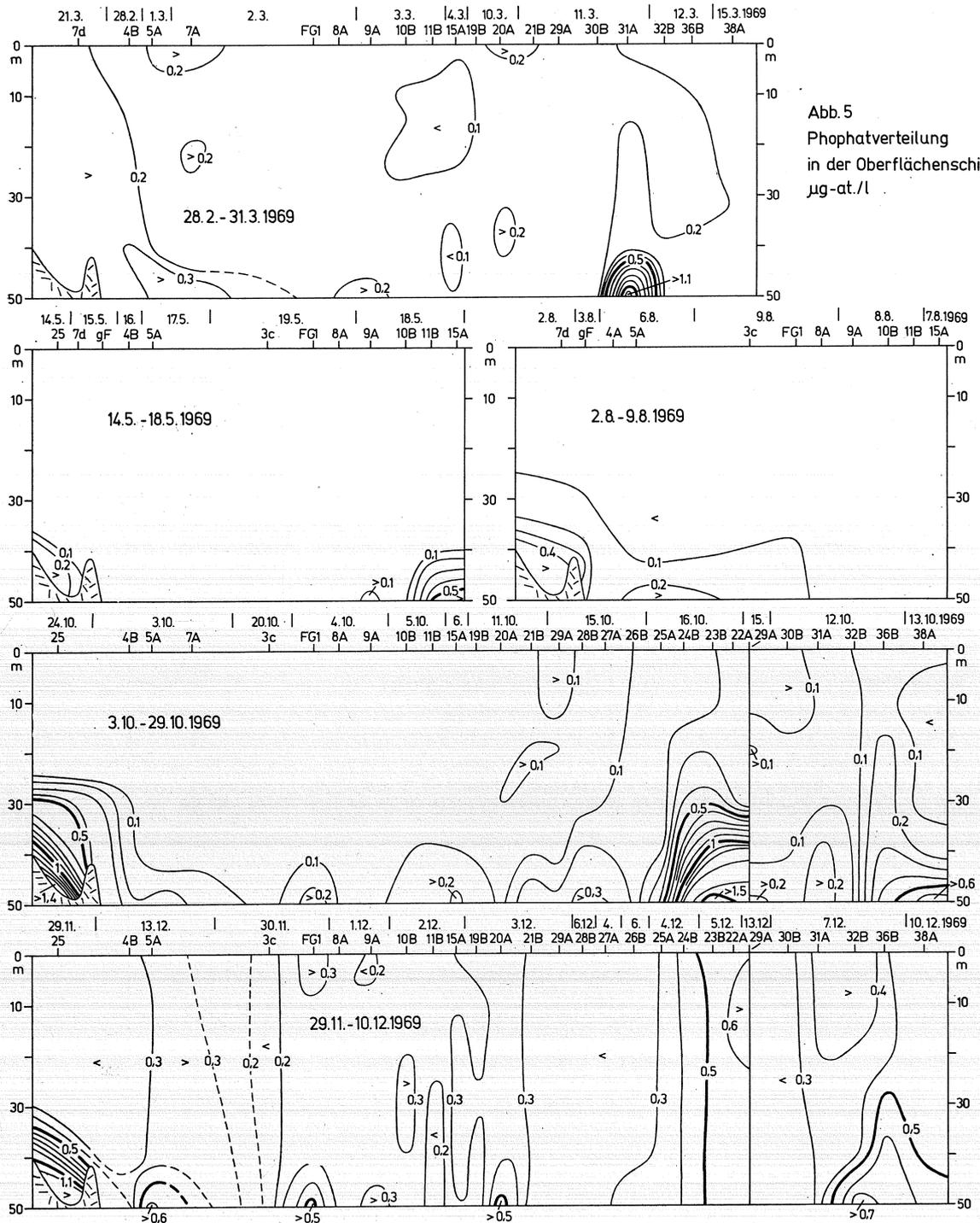


Abb. 5
Phosphatverteilung
in der Oberflächenschicht
µg-at/l

und im nördlichen Gotlandbecken zu verzeichnen (Abb. 3). Auf Station 29 A begann im Dezember 1969 bereits die Wassererneuerung.

Die hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Oberflächenschicht sind jahreszeitlich bedingt. Im März 1969 reichte die homotherme Deckschicht mit Temperaturen zwischen 0 und 2 °C bis zur thermohalinen Sprungschicht in 50–60 m Tiefe (Abb. 1). Mit der allgemeinen Erwärmung im Frühjahr und Sommer stiegen auch die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht an. Die dadurch entstandene warme Deckschicht besaß nur eine Mächtigkeit von 10–20 m und war durch eine scharf ausgeprägte Temperatursprungschicht von erheblich kühleren Wassermassen, in denen die Wintertemperaturen „konserviert“ sind, getrennt.

Durch die Temperaturabhängigkeit der Sättigungswerte ist der Sauerstoffgehalt ebenfalls jahreszeitlich-

chen Veränderungen unterworfen. So ist im Sommer in der kalten Zwischenwasserschicht ein deutliches Sauerstoffmaximum vorhanden (Abb. 3), das durch die bessere Löslichkeit des Sauerstoffs bei niedrigeren Temperaturen bedingt ist. Darüber hinaus wird der jährliche Verlauf des Sauerstoffgehalts durch biologische Aktivitäten, insbesondere durch die Photosynthese, modifiziert.

Durch die Massenentwicklung des Phytoplanktons im Frühjahr verarmt die warme Deckschicht sehr schnell an Mikronährstoffen, deren Rückkehr in die produktive Zone durch die thermische Sprungschicht verhindert wird. Im Mai 1969 war dieser Prozeß bereits beendet (Abb. 5).

Infolge winterlicher Abkühlung löst sich die Temperatursprungschicht auf. Damit verbunden ist eine Vermischung und gleichmäßige Verteilung der Mikronährstoffe zwischen Oberfläche und thermohaliner Sprung-

schicht. Im Dezember 1969 wurden relativ hohe Phosphatwerte in der Oberflächenschicht gemessen (Abb. 5). Besonders hohe Werte wurden im Finnischen Meerbusen und im westlichen Gotlandbecken festgestellt. Während im Finnischen Meerbusen die Abwasserzufuhr wahrscheinlich eine bedeutsame Rolle spielt (5), handelt es sich in den anderen Ostseeregionen zum Teil um Phosphat, das infolge der Wasserumschichtung reaktiviert und zusätzlich dem Nährstoffkreislauf der Ostsee zugeführt wurde (7). Die hohen Phosphatwerte im westlichen Gotlandbecken, in dem die Umschichtung noch nicht eingetreten war, sind vermutlich dadurch bedingt, daß durch die großräumige Zirkulation, die in den großen Becken der Ostsee gegen den Uhrzeigersinn verläuft, Phosphat aus dem östlichen und nördlichen Gotlandbecken bis hierher transportiert wurde (vgl. auch 5).

3. Hydrographisch-chemische Veränderungen 1970

Die hydrographisch-chemischen Veränderungen des Jahres 1970, die in den Abbildungen 6–10 zusammengefaßt sind, lassen erkennen, daß auch zu Beginn dieses Jahres größere Mengen salzreichen Wassers in die Ostsee eingeströmt sein müssen (10). Wie der geringe Salzgehalt zeigt (Abb. 7), hatten diese Wassermassen in der zweiten Märzhälfte bereits das Arkonabecken passiert. Im Tiefenwasser des Bornholmbeckens hatten sie zu einer Erhöhung des Salzgehalts (Abb. 7) und zu Inversionen in der Temperatur- und Sauerstoffverteilung (Abb. 6 und 8) geführt.

Die erneute Verbesserung der Lebensbedingungen in diesem Becken war jedoch nur von kurzer Dauer. Bereits im November war der Sauerstoffgehalt unterhalb der thermohalinen Sprungschicht auf Werte unter 0,5 ml/l abgesunken (Abb. 8) und hatte damit die in fischereilicher Hinsicht kritische Grenzkonzentration von 1 ml/l – nach TIEWS (14) sogar 1,5 bis 2 ml/l – weit unterschritten. Die nachhaltigen Auswirkungen auf das östliche Gotlandbecken sowie auf die Verhältnisse im Gdanker Tief lassen darauf schließen, daß der größte Teil der frisch eingeströmten Wassermassen das Bornholmbecken infolge seines geringen Salzgehalts in mittleren Wassertiefen passiert hat.

Mit der Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Bornholmbecken war eine Aussüßung der grundnahen Wasserschicht verbunden, die im Extremfall 1,6 ‰ betrug (Abb. 7). Ebenso wie im Vorjahr wurden auch auf der letzten Meßfahrt des Jahres 1970 Warmwasserintrusionen im Bornholmbecken beobachtet (Abb. 6).

Im Zusammenhang mit der komplizierten Einstromsituation des Jahres 1970 sei im Gdanker Becken besonders auf die sauerstoffreiche Zwischenschicht im unteren Bereich der halinen Sprungschicht hingewiesen, die im Mai beobachtet wurde. Offensichtlich hatte der Salzgehalt nicht ausgereicht, um das Tiefenwasser zu verdrängen. Die sauerstoffreiche Zwischenschicht war mit einem Temperaturmaximum und einem Phosphatminimum korreliert (Abb. 6 und 9). Während in diese Zwischenschicht frisches Wasser eingeströmt ist, muß in die grundnahe Wasserschicht bereits zu Beginn des Jahres 1970 „altes“ Wasser mit relativ hohem Salz- und Phosphatgehalt (Abb. 7 und 9) sowie niedriger Sauerstoffkonzentration (Abb. 8) eingeflossen sein. Ende Juli wurden dagegen am Grund des Gdanker Beckens salzärmere, viel kältere Wassermassen mit höherem Sauerstoffgehalt und niedrigerer Phosphatkonzentration (Abb. 6–9) nachgewiesen, die nur durch erneute Advektion hierher gelangt sein können.

Die hydrographisch-chemische Situation im östlichen Gotlandbecken war dadurch gekennzeichnet, daß auch zu Beginn des Jahres 1970 der Einstrom relativ sauerstoffreichen und phosphatarmen Wassers fortdauerter (Abb. 8 und 9). Wie die Unterschiede in der Temperatur und im Salzgehalt zeigen, handelte es sich um Wassermassen unterschiedlicher Herkunft. So war zu Jahresbeginn zunächst die Advektion verhältnismäßig warmen, salzreichen Wassers erfolgt, während besonders im Mai, als der Einstrom seinen Höhepunkt er-

reicht hatte, erheblich kälteres Wasser am Südhang des Beckens beobachtet werden konnte (Abb. 6 und 7). Im letzten Fall handelte es sich wahrscheinlich um Wassermassen, die durch den neuerlichen Einstrom salzreichen Wassers in die Ostsee zu Beginn des Jahres 1970 in Bewegung geraten waren.

Durch den ständigen Zustrom sauerstoffreicher Wassermassen verbesserten sich die Sauerstoffverhältnisse im Gotlandtief zunächst erheblich und erreichten im August verbreitet Werte zwischen 1 und 1,5 ml/l (Abb. 8). Gleichzeitig verringerte sich der Phosphatgehalt.

Im weiteren Verlauf des Jahres fand der Einstrom ins östliche Gotlandbecken sein Ende. Bei den Untersuchungen im November war am Südhang dieses Beckens kein frisches Wasser mehr nachweisbar. Dadurch hatten sich das intermediäre Sauerstoffminimum sowie die intermediären Phosphat- und Temperaturmaxima stark verringert. Da sich auch in den anderen Becken die Sauerstoffverhältnisse verschlechterten, ist dieser Zeitpunkt als Beginn einer neuen Stagnationsperiode nicht nur im östlichen Gotlandbecken, sondern in der gesamten Ostsee anzusehen.

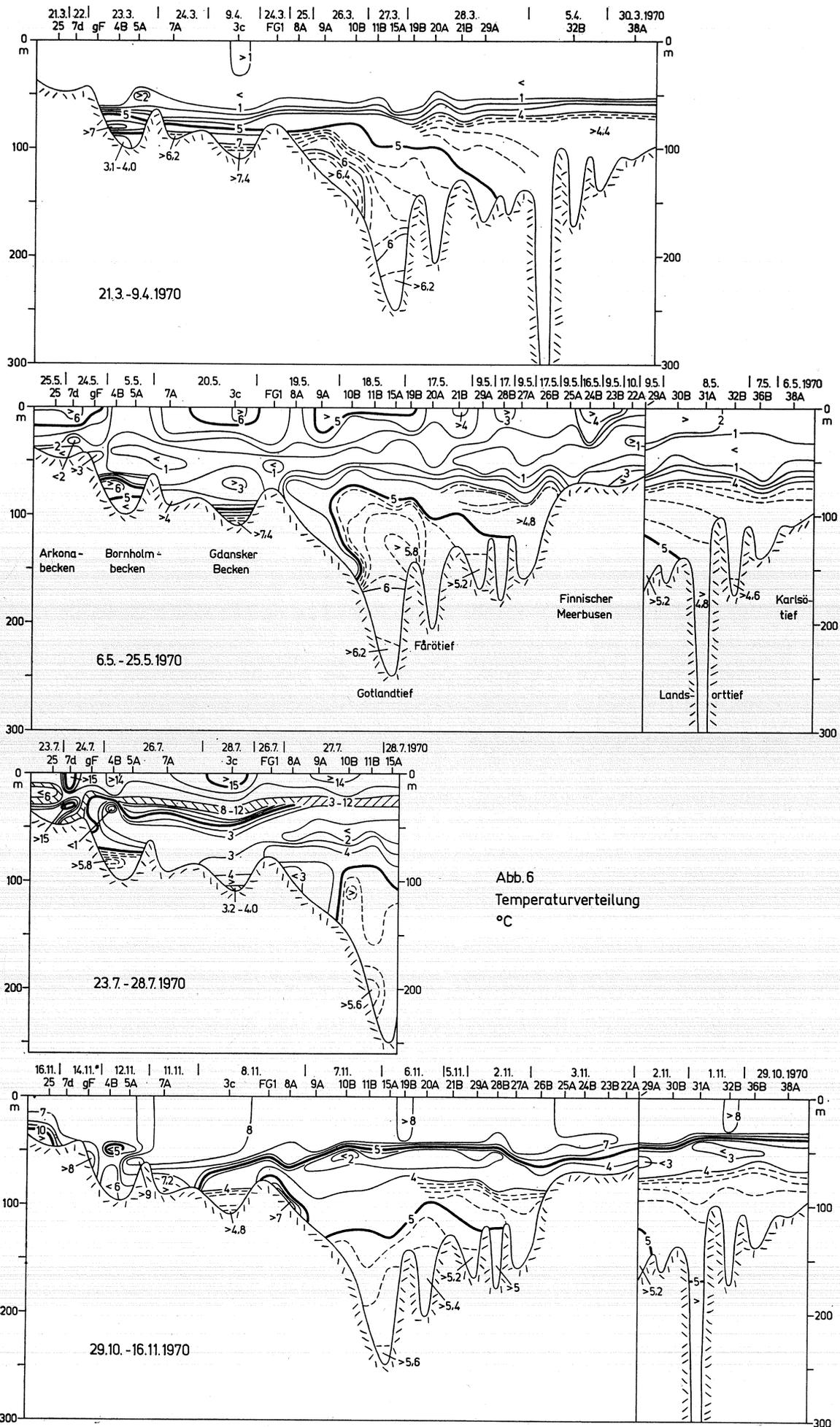
Die Erneuerung des Tiefenwassers im nördlichen Gotlandbecken war im März 1970 bereits abgeschlossen. Gegenüber Dezember 1969 betrug der Anstieg des Salzgehalts rund 0,4 ‰ und nahm im Jahresverlauf um weitere 0,2 ‰ zu (Abb. 7). Gleichzeitig konnte bei der Wassertemperatur ein geringer Anstieg beobachtet werden (Abb. 6), während der Schwefelwasserstoff verdrängt und durch geringe Sauerstoffmengen ersetzt wurde (Abb. 8). Außerdem nahm der Phosphatgehalt vorübergehend um rund 0,5 µg-at./l ab, um am Jahresende erneut anzusteigen.

Bei den Untersuchungen im Mai 1970 zeichnen sich im Gebiet des Finnischen Meerbusens besonders auffällig die Nachteile der nichtsynoptischen Probenentnahme ab. Dort wurden die Stationen 22 A bis 29 A alternierend in 6- bis 8tägigem Abstand bearbeitet. Innerhalb dieses Zeitraumes erfolgte der Zustrom salzreicheren Wassers mit niedrigem Sauerstoffgehalt sowie mit höherer Temperatur und Phosphatkonzentration. Hieraus resultierten alternierende Schwankungen in der Verteilung dieser Komponenten vor allem zwischen den Stationen 23 B und 26 B (Abb. 8–9).

Wegen Eisbedeckung konnten im Landsorttief erst im Mai 1970 ozeanologische Untersuchungen durchgeführt werden. Dabei wurde festgestellt, daß inzwischen auch auf dieser Station die Erneuerung des Tiefenwassers eingetreten und das reduzierende Milieu in ein oxydierendes umgeschlagen war (Abb. 8). Ähnlich wie im nördlichen Gotlandbecken erreichte die Sauerstoffkonzentration jedoch nur sehr geringe Werte. Außerdem waren die Temperatur (Abb. 6) und der Salzgehalt (Abb. 7) geringfügig angestiegen, während der Phosphatgehalt (Abb. 9) abgenommen hatte.

Im westlichen Gotlandbecken wurde im März 1970 ein Rückgang der schwefelwasserstoffhaltigen Tiefenschicht gegenüber den Messungen im Dezember 1969 festgestellt (Abb. 8). Zusammen damit hatte auch der Phosphatgehalt abgenommen (Abb. 9). Im weiteren Laufe des Jahres 1970 erfolgte der Einstrom salzreichen Wassers und führte in den grundnahen Schichten zu einem Anstieg des Salzgehalts um rund 0,4 ‰ (Abb. 7). Da der Wasseraustausch im zentralen Teil der Ostsee gegen den Uhrzeigersinn verläuft, gelangte nur noch stark ausgesüßtes, an Sauerstoff verarmtes Tiefenwasser ins westliche Gotlandbecken, das zu keiner nachhaltigen Besserung der Sauerstoffverhältnisse führte. So waren im Mai nur noch in den grundnahen Wasserschichten der Station 32 B geringe Sauerstoffmengen vorhanden, die jedoch von einer schwefelwasserstoffhaltigen Zwischenschicht überlagert wurden (Abb. 8). Trotz der Wassererneuerung weitete sich deshalb die schwefelwasserstoffhaltige, phosphatreiche Tiefenschicht ebenso schnell aus wie im Vorjahr.

Auch 1970 wurden in der Oberflächenschicht der Ostsee die bekannten, jahreszeitlich bedingten Veränderun-



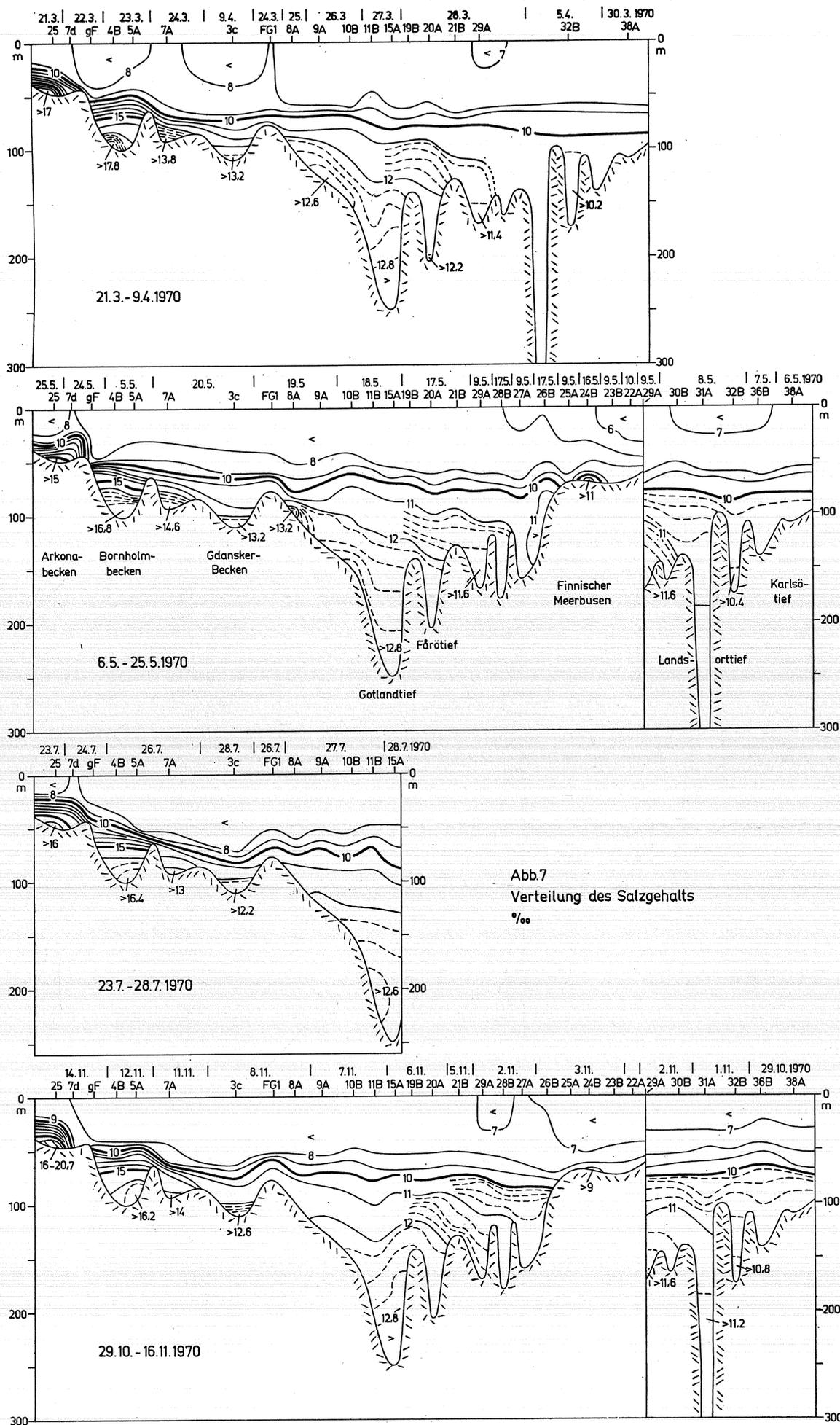


Abb.7
 Verteilung des Salzgehalts
 ‰

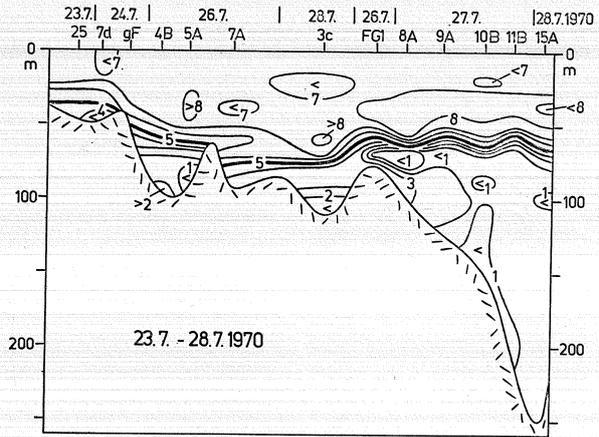
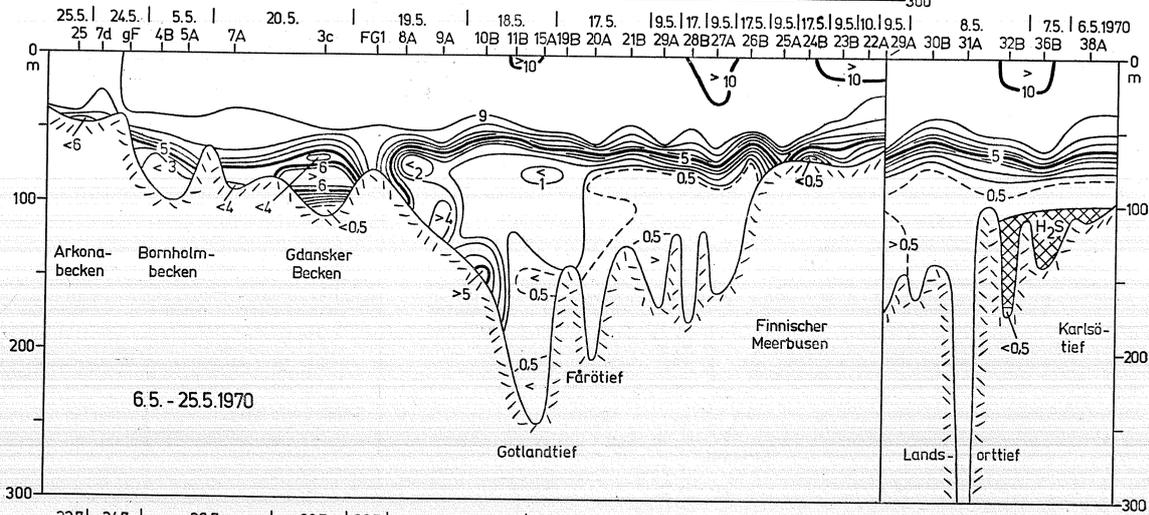
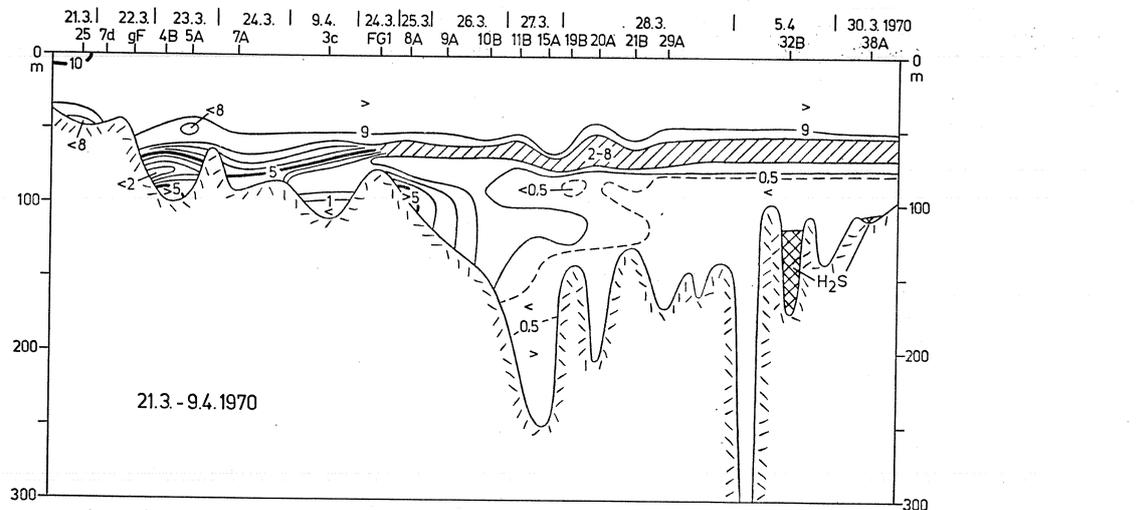
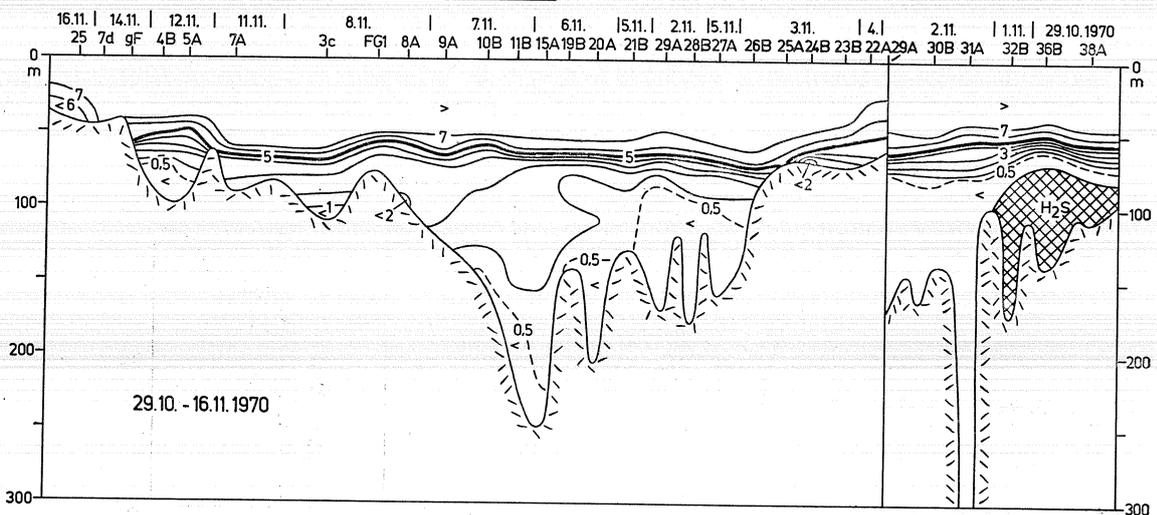


Abb. 8
Sauerstoffverteilung
ml/l



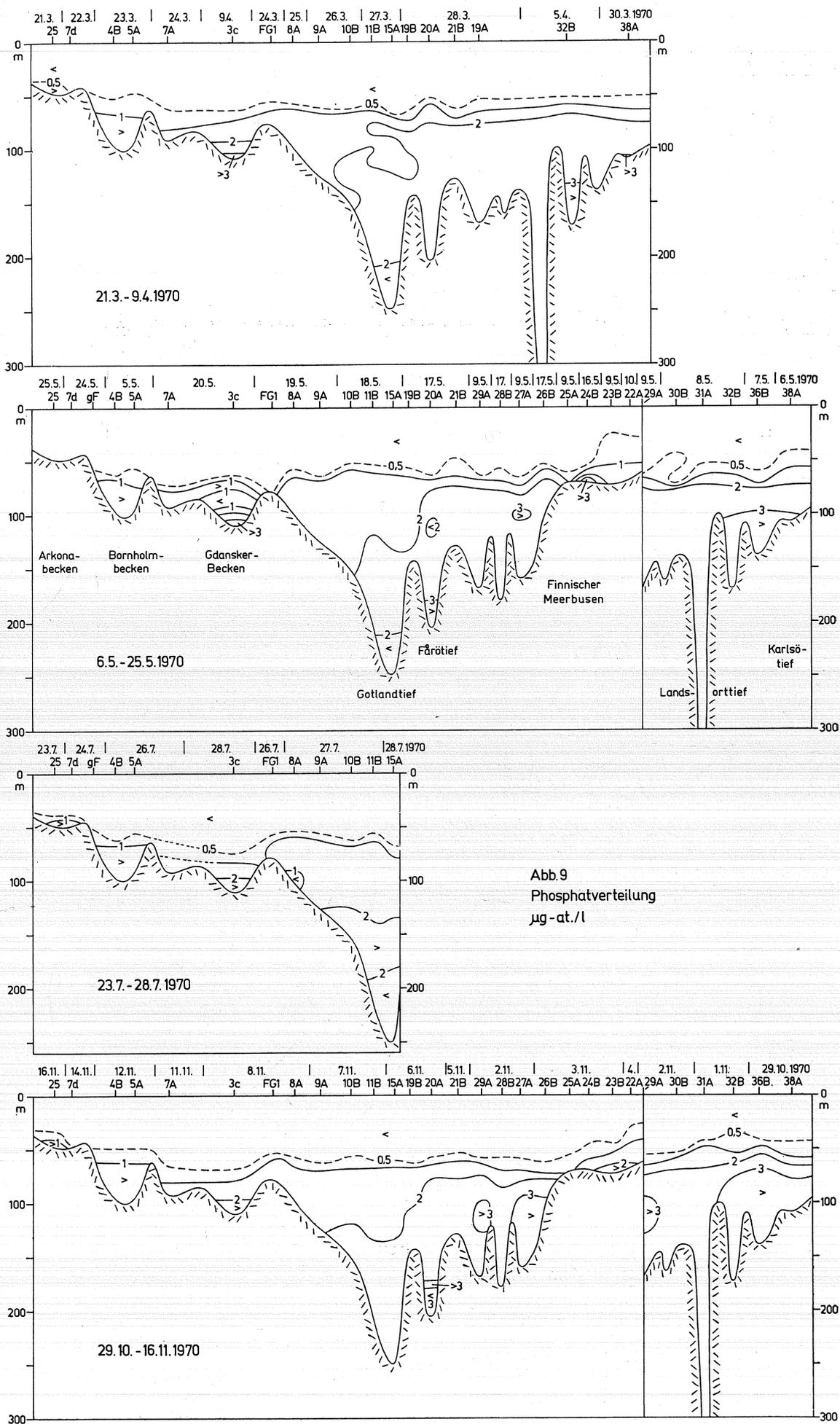


Abb.9
Phosphatverteilung
 $\mu\text{g-at./l}$

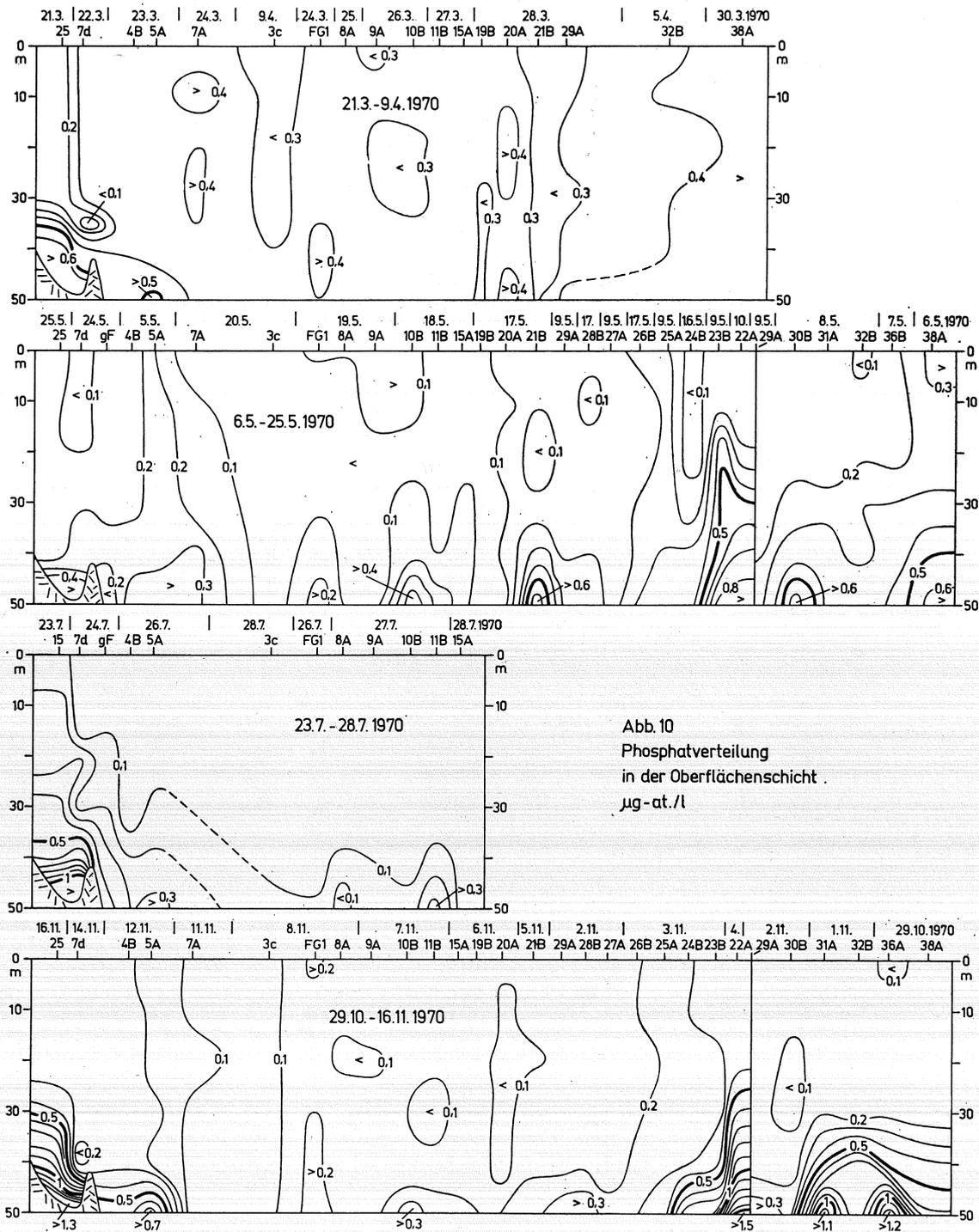


Abb. 10
Phosphatverteilung
in der Oberflächenschicht.
µg-at./l

gen in der Wassertemperatur (Abb. 6), dem Sauerstoffgehalt (Abb. 8) und der Phosphatkonzentration (Abb. 10) beobachtet. Im März 1970 lag jedoch der Phosphatgehalt erheblich höher als in dem entsprechenden Monat des Vorjahres (Abb. 5). Höhere Werte wurden auch im Mai noch gemessen. Dieses zusätzliche Nährstoffangebot in der produktiven Schicht, das sich bereits im Dezember 1969 abzeichnete, war offensichtlich immer noch eine Folge der Wasserumschichtung. Die Herbstwerte scheinen dagegen niedriger zu sein als 1969. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß diese Werte infolge unterschiedlicher Untersuchungstermine nicht streng vergleichbar sind.

Literatur

1. BOCK, K.-H.: Monatskarten des Salzgehalts der Ostsee Dt. hydrogr. Z. Erg. H. 1971, Reihe B, Nr. 12
2. BOCK, K.-H.: Monatskarten der Dichte des Wassers in der Ostsee Dt. hydrogr. Z. Erg. H. 1971, Reihe B, Nr. 13
3. FILARSKI, J.: The hydrographic situation in the Southern Baltic, February 1969 to January 1970 Ann. Biol. Cons. Perm. Int. Explor. Mer 26 (1970), S. 93-95

4. FONSELIUS, S. H.:
Hydrography of the Baltic deep basins III
Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. 23 (1969), 97 S.
5. FONSELIUS, S. H.:
On the stagnation and recent turnover of the water in
the Baltic
Tellus 22 (1970), S. 533-544
6. FONSELIUS, S. H.:
Stagnant sea
Environment 12 (1970), S. 2-10 und 40-45
7. FRANCKE, E. und NEHRING, D.:
Erste Beobachtungen über einen erneuten Salzwasserein-
bruch in die Ostsee im Februar 1969
Beitr. Meeresk. 28 (1971), S. 33-47
8. KALEIS, M. V. und YULA, A.:
Some peculiarities of the hydrographical regime of the
Baltic Sea in 1969
Ann. Biol. Cons. Perm. Int. Explor. Mer 26 (1970),
S. 95-96
9. LENZ, W.:
Monatskarten der Temperatur der Ostsee
Dt. hydrogr. Z. Erg. H. 1971, Reihe B, Nr. 11
10. NEHRING, D. und FRANCKE, E.:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee
seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Inter-
nationalen Ostseejahres 1969/70
Fischerei-Forschung, Rostock 9 (1971), S. 35-42
11. NEHRING, D., FRANCKE, E. und BROSIN, H.-J.:
Beobachtungen über die ozeanologischen Veränderungen
im Gotlandtief während der Wasserumschichtung im
Oktober 1969
Beiträge Meeresk. 28 (1971), S. 75-82
12. NEHRING, D. und FRANCKE, E.:
Beiträge der DDR zur internationalen Ostseeforschung.
Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Inter-
nationalen Ostseejahres 1969/70
Teil I: Meßwerte des Jahres 1969
Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 4 (1971)
Teil II: Meßwerte des Jahres 1970
Geod. Geoph. Veröff. R. IV, H. 6 (1971)
13. NEHRING, D. und FRANCKE, E.:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee
im Jahre 1971
Fischerei-Forschung, Rostock 11 (1973) 1, 45-52
14. TIEWS, K.:
Über die Verbreitung des Laichdorschbestandes in der
mittleren Ostsee in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt
in den Jahren 1962-1970
Archiv Fischereiwiss. 21 (1970), S. 213-221
15. WÜST, G.:
Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiolo-
gischen Längsschnitts durch die Ostsee im Sommer 1956.
I. Die Verteilung von Temperatur, Salzgehalt und Dichte
Kieler Meeresforsch. 13 (1957), S. 163-185