

Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1975

DR. DIETWARTNEHRING UND EBERHARD FRANCKE
 INSTITUT FÜR MEERESKUNDE, ROSTOCK-WARNEMÜNDE,
 DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR

Auf Grund der extremen klimatischen Bedingungen des Jahres 1975 wurde die Oberflächenschicht der Ostsee im Winter weniger abgekühlt und im Sommer stärker erwärmt als in anderen Jahren. Im Winter 1974/75 erfolgte kein Salzwassereintrich. Durch die Fortdauer der herrschenden Stagnationsperiode verschlechterten sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser weiter, so daß im Herbst 1975 sowohl im Bornholm- und Gdanker Becken als auch im östlichen, nördlichen und westlichen Gotlandbecken verbreitet Schwefelwasserstoff auftrat. Im Herbst 1975 zeichnete sich im Arkonabecken eine Intensivierung der Einstromprozesse ab. Ähnliche Beobachtungen wurden auch vor den Salzwassereintrüchen 1969 und 1972 gemacht. Die seit 1969 durchgeführten komplexen Untersuchungen gestatten weitere Schlußfolgerungen über die Veränderung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee sowie über den Phosphataustausch zwischen Wasser und Sediment, der eng mit dem zeitweiligen Auftreten anoxischer Bedingungen zusammenhängt.

В связи с экстремальными климатическими условиями 1975 года верхний слой воды в Балтийском море зимой охлаждался меньше, а летом прогревался сильнее, чем в предыдущие годы. Зимой 1974/75 г. не наблюдалось вторжений соленых (категатских) вод. Из-за значительной продолжительности периода стагнации наблюдалось дальнейшее ухудшение кислородного режима в глубинном слое моря, и осенью 1975 года как в Борнхольмской и Гданьской впадинах, так и в Восточно-Северно- и Западноготландской впадинах в значительном количестве появился сероводород.

Осенью 1975 года в Арконской впадине наметилась тенденция к усилению притока вод, как и перед вторжениями соленых вод в 1969 и в 1972 гг.

1. Einleitung

Seit 1969 werden vom Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR in Rostock-Warnemünde komplexe ozeanologische Untersuchungen in der Ostsee durchgeführt. Neben mittelfristigen Vorhersagen über die ozeanologischen Verhältnisse auf den wichtigsten Fangplätzen gestatten diese Untersuchungen auch Rückschlüsse auf den Wasseraustausch in den tiefen Becken und auf die langfristigen anthropogenen und natürlichen Veränderungen dieses Binnenmeeres.

Wie schon in früheren Jahren, lag auch den Untersuchungen des Jahres 1975 das Stationsnetz des Internationalen Ostseejahres 1969/70 (21) zugrunde (Abb. 1), das in der westlichen Ostsee, im Arkona- und Bornholmbecken, im Gdanker Tief sowie im Südtel des östlichen Gotlandbeckens durch zusätzliche Meßpunkte ergänzt wurde. Diese zusätzlich bearbeiteten Stationen sind in Abb. 1 nur insoweit berücksichtigt, als sie für die Erläuterung der hydrographisch-chemischen Situation von Bedeutung sind.

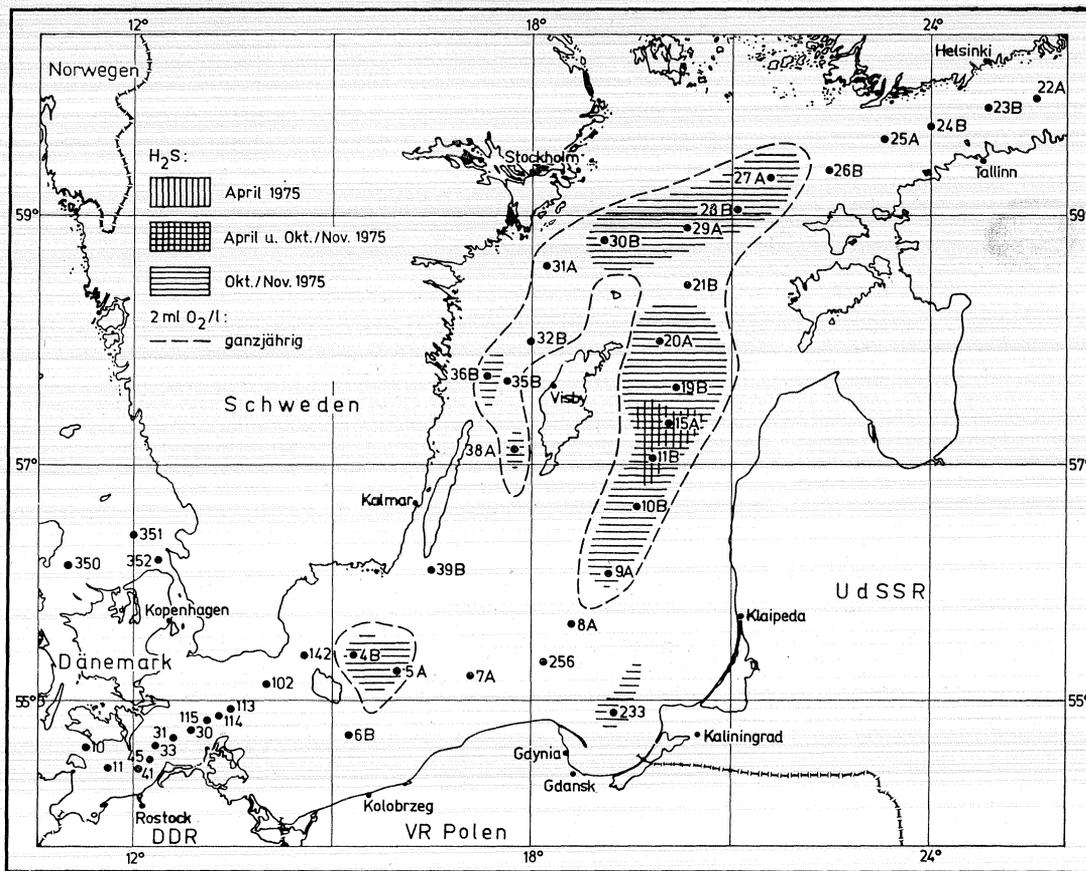


Abb. 1

Stationskarte und Gebiete fischereilich ungünstiger Lebensbedingungen im Tiefenwasser der Ostsee (19 B, 20 A, 21 B – Augustwerte)

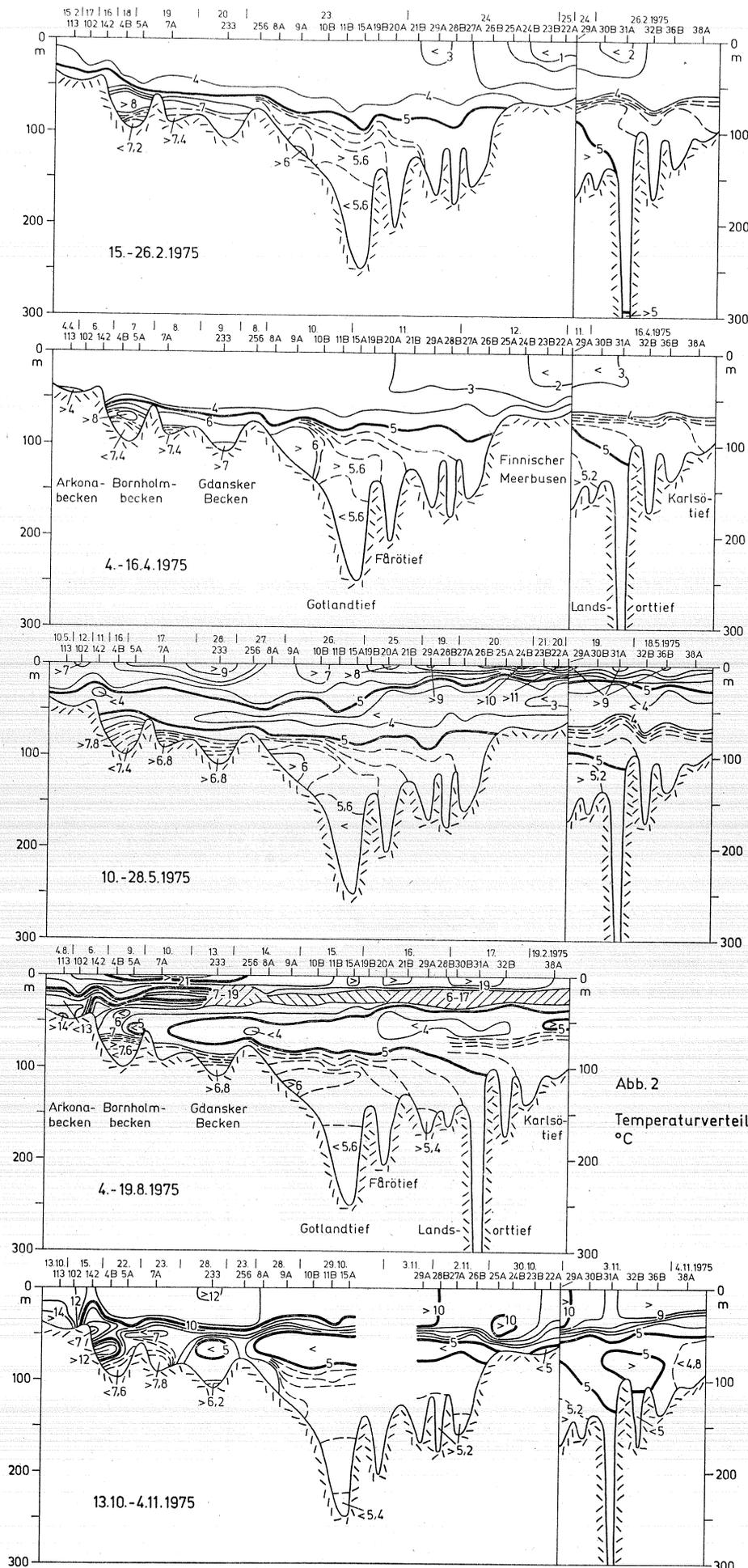


Abb. 2
Temperaturverteilung
°C

Neben den Parametern t °C, S ‰, O_2 , H_2S , PO_4 -P, NO_3 -N, NO_2 -N und NH_4 -N wurde die Verteilung des organisch gebundenen Phosphors und Stickstoffs untersucht. Auf allen Expeditionen wurde die ozeanologische Meßkette BS 63 eingesetzt (14), die außer der Bestimmung der Wassertemperatur und anderer physikalischer Parameter auch die Entnahme von Wasserproben aus 12 verschiedenen Tiefenhorizonten während einer Serie gestattet.

Aus dem Jahre 1975 liegt sehr umfangreiches Meßmaterial vor, da die Arbeiten einerseits vom Wetter begünstigt waren und andererseits im Februar und April das Forschungsschiff „Alexander von Humboldt“ sowie im Mai, August und Oktober/November das Forschungsschiff „Professor Albrecht Penck“ zur Verfügung standen. Auf fast allen Meßfahrten wurde das Ostseeprogramm bis zum Finnischen Meerbusen bearbeitet. Nur im August konnten im nördlichen Gotlandbecken und im Finnischen Meerbusen aus Zeitmangel keine Untersuchungen durchgeführt werden. Im Oktober/November mußten infolge schlechten Wetters die Stationen 19 B, 20 A und 21 B im östlichen Gotlandbecken entfallen. Ebenso wie in den vorangegangenen Jahren (11–15) werden auch die 1975 eingetretenen hydrographisch-chemischen Veränderungen anhand der Profile durch die tiefen Becken und Mulden der Ostsee erläutert. Diese Form der Darstellung hat sich bewährt, besonders auch weil sie in einfacher Weise den Vergleich mit den seit 1969 kontinuierlich vorliegenden Untersuchungen gestattet.

Zur Charakterisierung der Mikronährstoffverteilung dient in der vorliegenden Arbeit der Phosphatgehalt. Dies ist im allgemeinen ausreichend, da sich der Nitratgehalt im oxydierenden Milieu gleichsinnig mit der Phosphatkonzentration ändert und der Nitrit- und Ammoniumgehalt gering sind, wenn keine organische Belastung vorliegt (6). Unter anoxischen Bedingungen sind Nitrat- und Nitritstickstoff nicht beständig, während Ammoniumstickstoff im H_2S -Milieu häufig hohe Konzentrationen erreicht (7). Die Verteilung der organischen Phosphor- und Stickstoffverbindungen wird in speziellen Untersuchungen (9), die über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinausgehen, diskutiert.

2. Hydrographisch-chemische Veränderungen

In weiten Gebieten der Ostsee lagen die winterlichen Temperaturen in der Oberflächenschicht zwischen 3–4 °C. Nur in der nördlichen Ostsee und im Finnischen Meerbusen wurden auch im Winter 1974/75 niedrigere Werte gemessen (Abb. 2).

Während des Sommers wurden an der Oberfläche verbreitet Wassertemperaturen von 19–20 °C, vereinzelt sogar über 21 °C, beobachtet. Die sommerlichen Verhältnisse in der kalten Zwischenwasserschicht waren durch Temperaturen von 4–5 °C gekennzeichnet. Während im Tiefenwasser des Bornholmbeckens ein Temperaturanstieg von 0,5 °C im Jahresverlauf zu verzeichnen war, sanken die Temperaturen in den grundnahen Wasserschichten des Gdansker Beckens um 1,1 °C ab. Im Tiefenwasser des Gotlandbeckens wurden keine nennenswerten Temperaturveränderungen beobachtet. Mit Temperaturen über 12 °C zeichnete sich im Oktober 1975 am Westhang des Bornholmbeckens der Einstrom relativ warmen Wassers ab (vgl. auch 11, 12, 15, 17). Infolge ihrer geringeren Dichte konnten diese Wassermassen jedoch nicht bis in den grundnahen Bereich vordringen.

Die Veränderungen des Salzgehaltes in der Oberflächenschicht wiesen gegenüber Normaljahren keine Besonderheiten auf. Die 8-‰-Isohaline befand sich in den zentralen Teilgebieten der Ostsee ganzjährig in 55–60 m Tiefe (Abb. 3). Sie hatte damit gegenüber den Beobachtungen im Herbst 1974 (15) wieder ihre normale Tiefenlage eingenommen.

Im Tiefenwasser des Arkonabeckens war im Verlauf des Jahres 1975 eine deutliche Zunahme des Salzgehaltes festzustellen. Wir stark jedoch gerade in diesem Becken die kurzfristigen Veränderungen sein können, zeigten die Untersuchungen im Herbst 1975. Innerhalb

Tabelle 1

Zeitliche Veränderungen ausgewählter ozeanologischer Parameter auf Station 113 im Arkonabecken

| Tiefe m | Termin | t °C | S ‰ | O_2 ml/l | PO_4 -P μ g-at./l |
|---------|---------------|-------|-------|------------|-------------------------|
| 1 | 13. 10./05.19 | 12,34 | 9,07 | 7,00 | 0,30 |
| | 13. 10./14.42 | 12,41 | 9,14 | 7,14 | 0,27 |
| | 05. 11./11.00 | 10,96 | 8,46 | 7,28 | 0,27 |
| 10 | 13. 10./05.19 | 12,49 | 9,06 | 7,06 | 0,30 |
| | 13. 10./14.42 | 12,44 | — | 7,12 | 0,25 |
| | 05. 11./11.00 | 10,95 | 8,46 | 7,34 | 0,26 |
| 20 | 13. 10./05.19 | 13,64 | 9,73 | 6,85 | 0,28 |
| | 13. 10./14.42 | 13,52 | 9,67 | 6,80 | 0,33 |
| | 05. 11./11.00 | 11,02 | 8,60 | 7,32 | 0,27 |
| 30 | 13. 10./05.19 | 14,48 | 13,04 | 6,43 | 0,47 |
| | 13. 10./14.42 | 14,47 | 11,91 | 6,30 | 0,48 |
| | 05. 11./11.00 | 11,67 | 8,91 | 6,93 | 0,34 |
| 35 | 13. 10./05.19 | 14,33 | 13,75 | 6,33 | 0,53 |
| | 13. 10./14.42 | 14,46 | 12,76 | 6,35 | 0,48 |
| | 05. 11./11.00 | 10,89 | 11,33 | 6,60 | 0,54 |
| 40 | 13. 10./05.19 | 14,43 | 14,50 | 6,12 | 0,59 |
| | 13. 10./14.42 | 14,07 | 14,29 | 6,21 | 0,56 |
| | 05. 11./11.00 | 11,38 | 15,66 | 5,54 | 0,90 |
| 44(45) | 13.10./05.19 | 14,64 | 15,78 | 3,26 | 1,40 |
| | 13. 10./14.42 | 13,60 | 18,47 | 4,39 | 1,35 |
| | 05. 11./11.00 | 10,79 | 18,66 | 6,00 | 0,74 |

von 9 Stunden nahm der Salzgehalt in Grundnähe um 2,7 ‰ zu, während er sich in den mittleren Wasserschichten um etwa 1 ‰ verringerte (Tab. 1). Entsprechende Veränderungen spiegeln sich auch bei anderen Parametern wider. Bemerkenswert sind besonders die Temperaturabnahme und der Anstieg des Sauerstoffgehaltes, die mit diesem Vorstoß salzreichen Tiefenwassers verbunden waren.

Etwa 3 Wochen später auf der gleichen Station durchgeführte Kontrollmessungen ergaben, daß der Salzgehalt der oberen und mittleren Wasserschichten weiter abgenommen hatte, während er in der grundnahen Wasserschicht angestiegen war (Tab. 1). Entsprechend der fortgeschrittenen Jahreszeit wurde ein genereller Rückgang der Wassertemperatur beobachtet. Im Tiefenwasser war jedoch eine gegenüber dem Bodenwasser etwas wärmere, sauerstoffärmere und nährstoffreichere Zwischenschicht vorhanden. Solche inversen Verteilungen deuten auf den Einstrom relativ frischer Wassermassen hin.

In den grundnahen Wasserschichten des Bornholmbeckens und des Gdansker Tiefs wurde im Verlauf des Jahres 1975 eine Salzgehaltsabnahme von 0,6 bzw. 0,9 ‰ beobachtet (Abb. 3). Im Tiefenwasser der Gotlandsee verringerte sich der Salzgehalt dagegen kaum.

In Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Phytoplanktonentwicklung zeigte der Sauerstoffgehalt in der Oberflächenschicht den bekannten Jahresgang. Unterhalb der thermohalinen Sprungschicht trat jedoch eine erhebliche Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse ein (Abb. 4). Während zu Beginn des Jahres 1975 nur im Gotlandtief Schwefelwasserstoff vorlag, war dieses lebensfeindliche Gas im Herbst auch im Bornholm- und Gdansker Becken sowie im nördlichen und westlichen Gotlandbecken vorhanden. Nur im Landsorttief waren ganzjährig bis in Grundnähe geringe Sauerstoffkonzentrationen nachweisbar.

Der Schwefelwasserstoff erreichte im Tiefenwasser des Gdansker Beckens und des Gotlandtiefs 2,1 mg/l. Dieser Höchstwert wurde im Gotlandtief im Oktober beobachtet. Im Gdansker Becken trat er bereits im August auf, während im Herbst wieder eine Abnahme, verbunden mit einem Rückgang der schwefelwasserstoffhaltigen Tiefenschicht, beobachtet wurde.

In der westlichen Ostsee und im Arkonabecken werden erfahrungsgemäß im August–September die ungünstigen Sauerstoffverhältnisse unterhalb der Sprungschicht angetroffen (5), wobei es bis zur Schwefelwasserstoffentwicklung kommen kann (13). Im August 1975 wurden im Fehmarnbelt trotz einer stabilen Temperatur- und Salzgehaltsschichtung 3,2 ml O_2 /l in Grundnähe ge-

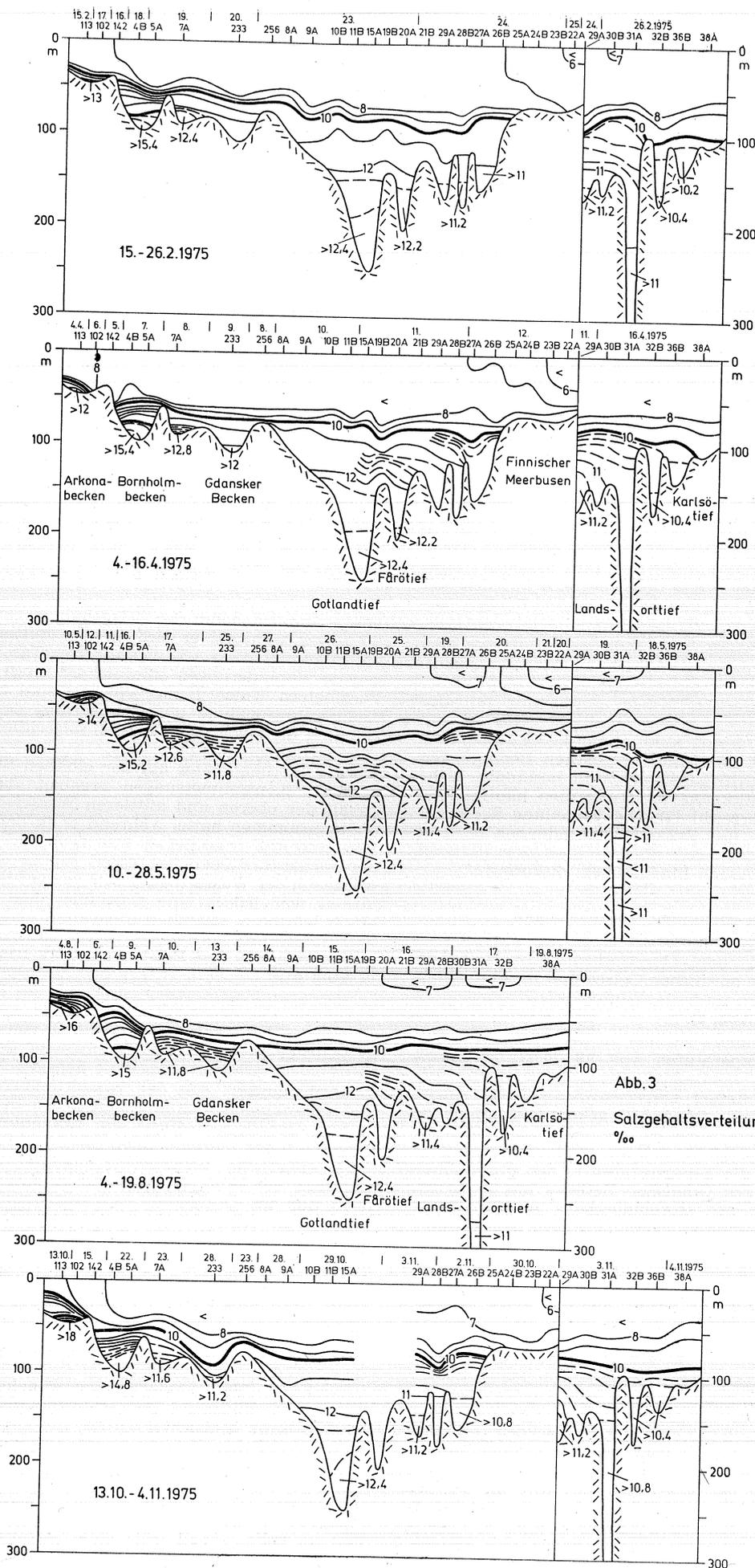


Abb. 3
Salzgehaltsverteilung
‰

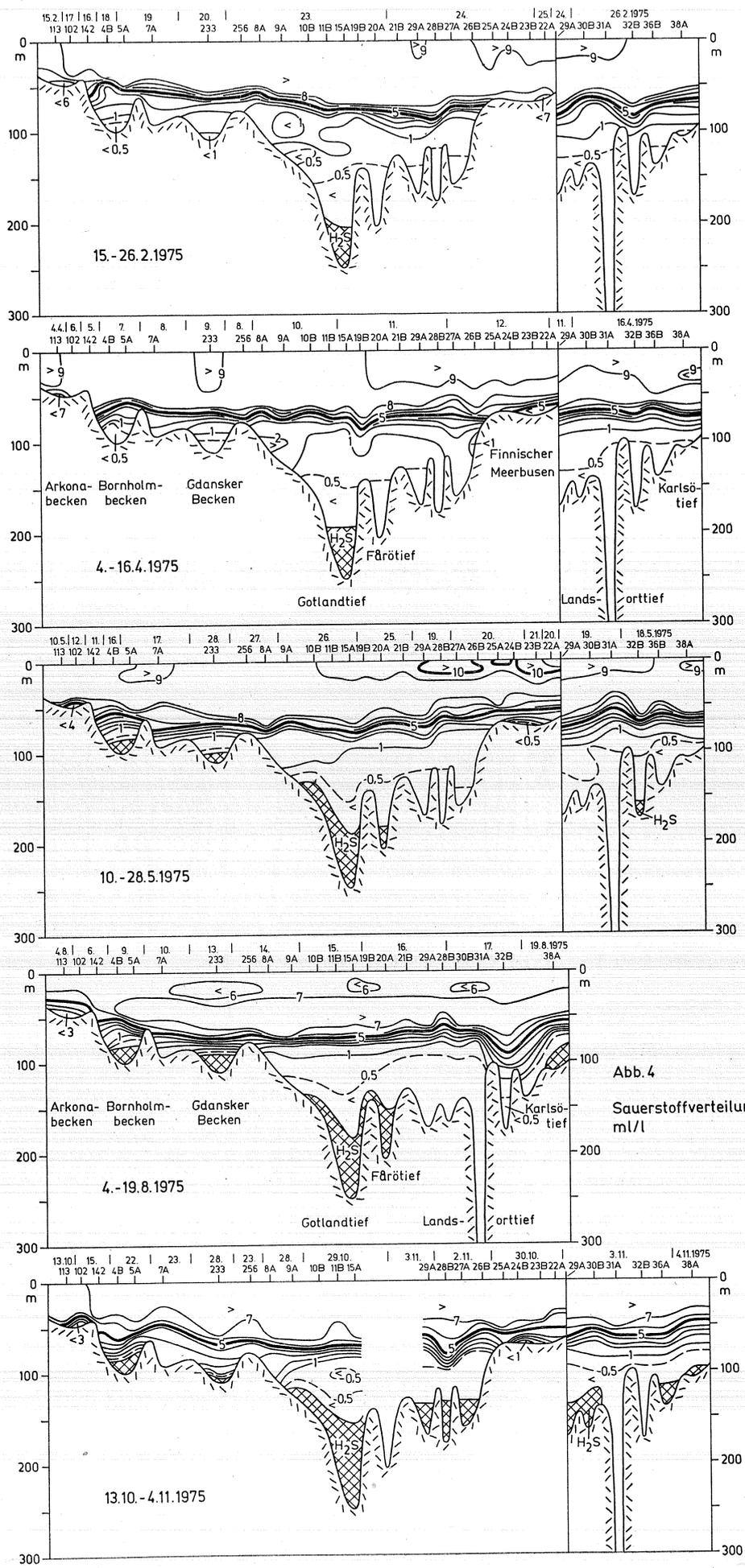


Abb. 4
Sauerstoffverteilung
ml/l

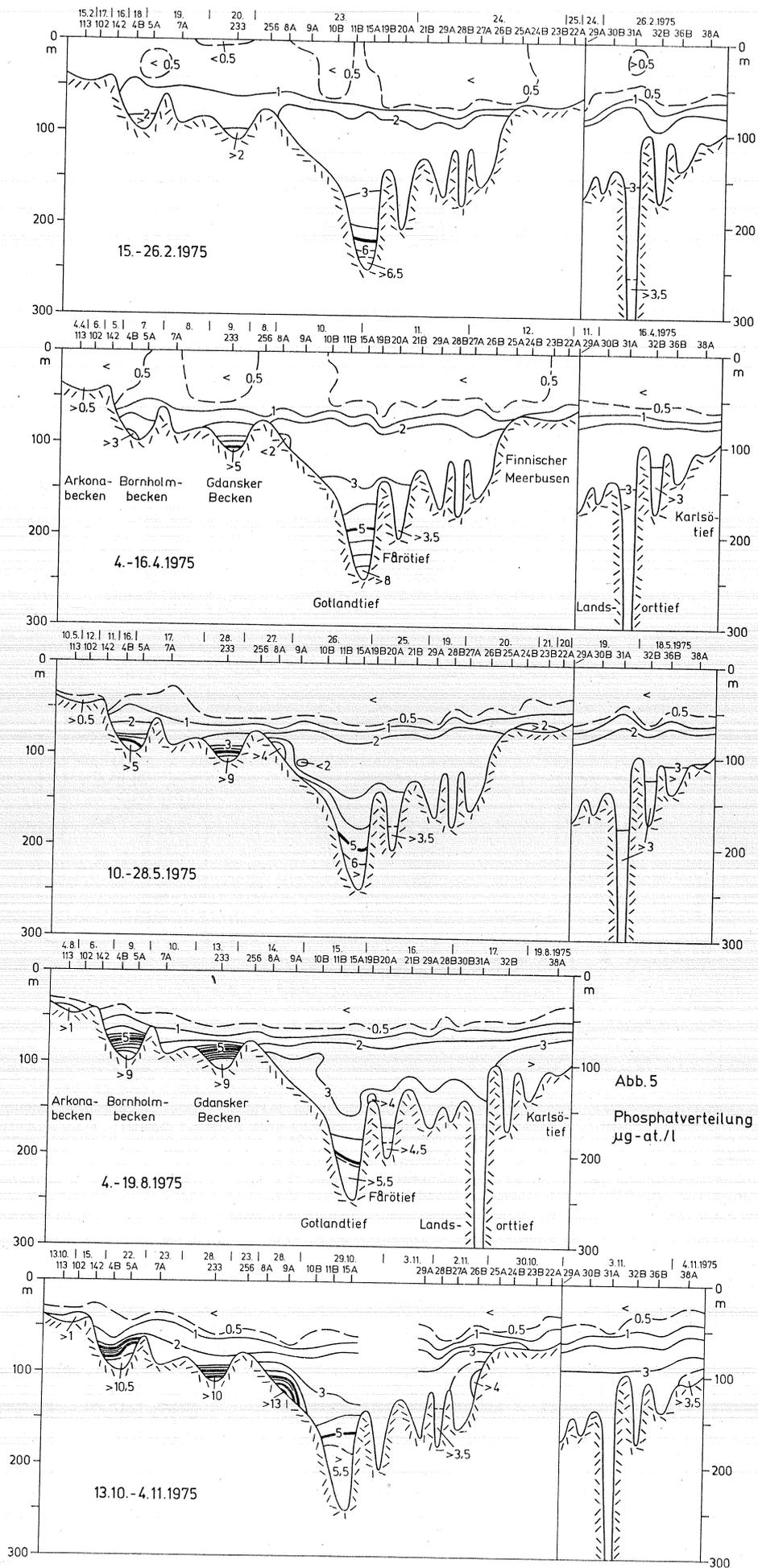


Abb. 5
Phosphatverteilung
µg-at./l

messungen. Im Inneren der Lübecker Bucht sank der Sauerstoffgehalt in dieser Tiefe auf 0,9–1,5 ml/l ab, was für dieses Seegebiet und diese Jahreszeit immer noch verhältnismäßig hoch ist. Ebenso wie im Fehmarnbelt wurden im August auch im Tiefenwasser des Arkonabeckens relativ günstige Sauerstoffverhältnisse angetroffen.

Im Jahre 1975 war es uns erstmals möglich, im Februar Nährstoffuntersuchungen im Finnischen Meerbusen durchzuführen und damit in diesem Seegebiet eine Jahreszeit zu erfassen, in der die Produktivität des Phytoplanktons gering ist. Während der Phosphatgehalt in der oberflächennahen Schicht der Ostsee in dieser Jahreszeit allgemein zwischen 0,3 und 0,5 $\mu\text{g-at./l}$ liegt, wurden im Finnischen Meerbusen Werte über 0,7 $\mu\text{g-at./l}$ nachgewiesen (Abb. 5 und 6), was auf eine starke Eutrophierung dieses Seegebietes hindeutet. Infolge der Entwicklung des Phytoplanktons waren diese hohen Werte im Mai bereits unter 0,1 $\mu\text{g-at./l}$ abgesunken. Sie hat-

ten sich damit an die Nährstoffverhältnisse der übrigen Teilgebiete der Ostsee angeglichen.

In Abhängigkeit von der Schwefelwasserstoffentwicklung kam es im Tiefenwasser des Bornholm- und Gdansker Beckens zu einer starken Phosphatanreicherung, wobei im Oktober 1975 Konzentrationen über 10 $\mu\text{g-at./l}$ auftraten (Abb. 5). Im östlichen Gotlandbecken fielen die höchsten Phosphatwerte nicht mit dem Maximum der Schwefelwasserstoffkonzentrationen zusammen. Sie wurden im Oktober auf Station 9 A bei einem H_2S -Gehalt von nur 0,16 mg/l gemessen, während der Phosphatgehalt im Gotlandtief bei extrem hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen nur 5,5–6 $\mu\text{g-at./l}$ betrug. Auf Station 15 A ist ferner bemerkenswert, daß der Phosphatgehalt seit April 1975 eine abnehmende Tendenz zeigte, ohne daß größere hydrographische Veränderungen beobachtet wurden.

Im nördlichen und westlichen Gotlandbecken erreichte die Phosphatanreicherung trotz H_2S -Bildung nie so

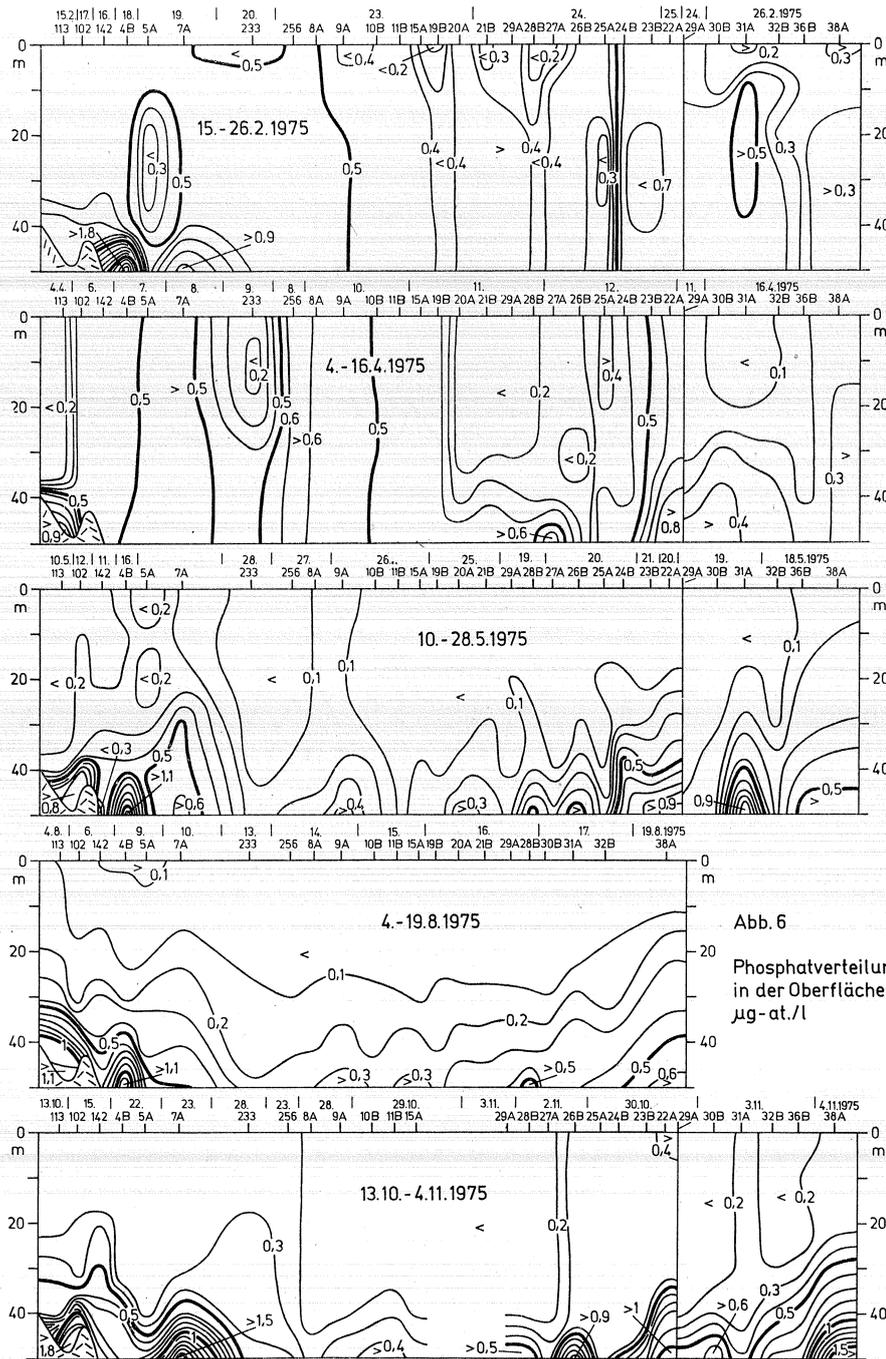


Abb. 6
Phosphatverteilung
in der oberflächennahen Schicht
 $\mu\text{g-at./l}$

hohe Werte wie im Tiefenwasser der anderen Ostsee-regionen. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den Ergebnissen früherer Jahre.

Wenn es zur Bildung von Schwefelwasserstoff kommt, sind Nitrat- und Nitritstickstoff nicht mehr beständig. Unter diesen anoxischen Bedingungen tritt Ammoniumstickstoff an ihre Stelle (7). In den grundnahen Wasserschichten des Bornholm- und Gdansk-Beckens sowie im Gotlandtief wurden deshalb im Oktober 1975 nicht nur extrem hohe Phosphatwerte, sondern auch starke Anreicherungen von Ammoniumstickstoff beobachtet. In der oben angeführten Reihenfolge der Seegebiete wurden Konzentrationen von 14,2–15,2; 16,6 und 8,2 $\mu\text{g-at. NH}_4\text{N/l}$ gemessen. Im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens war unter anoxischen Bedingungen im allgemeinen weniger Ammoniumstickstoff angereichert als in den anderen Ostsee-regionen.

3. Schlußfolgerungen

In den letzten 3 Jahren herrschten über Nordeuropa sehr milde Winter, wobei der Winter 1974/75 der mildeste war, der seit über 300 Jahren registriert wurde. Auf diesen milden Winter folgte ein sehr heißer Sommer, der zu den wärmsten dieses Jahrhunderts zählt. Im folgenden wird deshalb der Einfluß dieser extremen klimatischen Bedingungen auf die oberflächennahen Wasserschichten der Ostsee untersucht und ein

Vergleich mit früheren Jahren durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 3 Standardstationen, die im Arkona-, Bornholm- und Gotlandbecken liegen, ausgewählt. In den Abb. 7–9 ist die Verteilung ausgewählter ozeanologischer Parameter nahe der Oberfläche und in der Zwischenschicht, in der während der warmen Jahreszeit das intermediäre Temperaturminimum auftritt, dargestellt. Nur für das relativ flache Arkonabecken, dessen Temperaturverteilung anders als im Bornholm- oder Gotlandbecken bis in Grundnähe einen ausgeprägten Jahresgang aufweist, wurde das salzreiche Bodenwasser herangezogen.

In den gemäßigten Breiten zeigen die Wassertemperaturen an der Oberfläche einen ausgeprägten Jahresgang. Darüber hinaus lassen die Abb. 7–9 erkennen, daß allgemein seit 1973 die Oberflächentemperaturen in der kalten Jahreszeit um 2–3°C höher lagen als in den 4 vorangegangenen Wintern. Der ungewöhnlich warme Sommer 1975 führte dagegen nur im Oberflächenwasser des Bornholmbeckens (Abb. 8) zu einer extremen Erwärmung, während in den anderen Becken in früheren Jahren gleiche oder höhere Augusttemperaturen beobachtet wurden. Die Berechnung des Wärmebudget zeigt jedoch, daß insgesamt gesehen die Temperaturverhältnisse im Oberflächenwasser der Ostsee zu den extremsten gehören, die in den letzten 40 Jahren beobachtet wurden (FRANCKE, NEHRING, STURM, 1975). Ähnlich extreme Verhältnisse wurden nur 1938 und 1959 registriert.

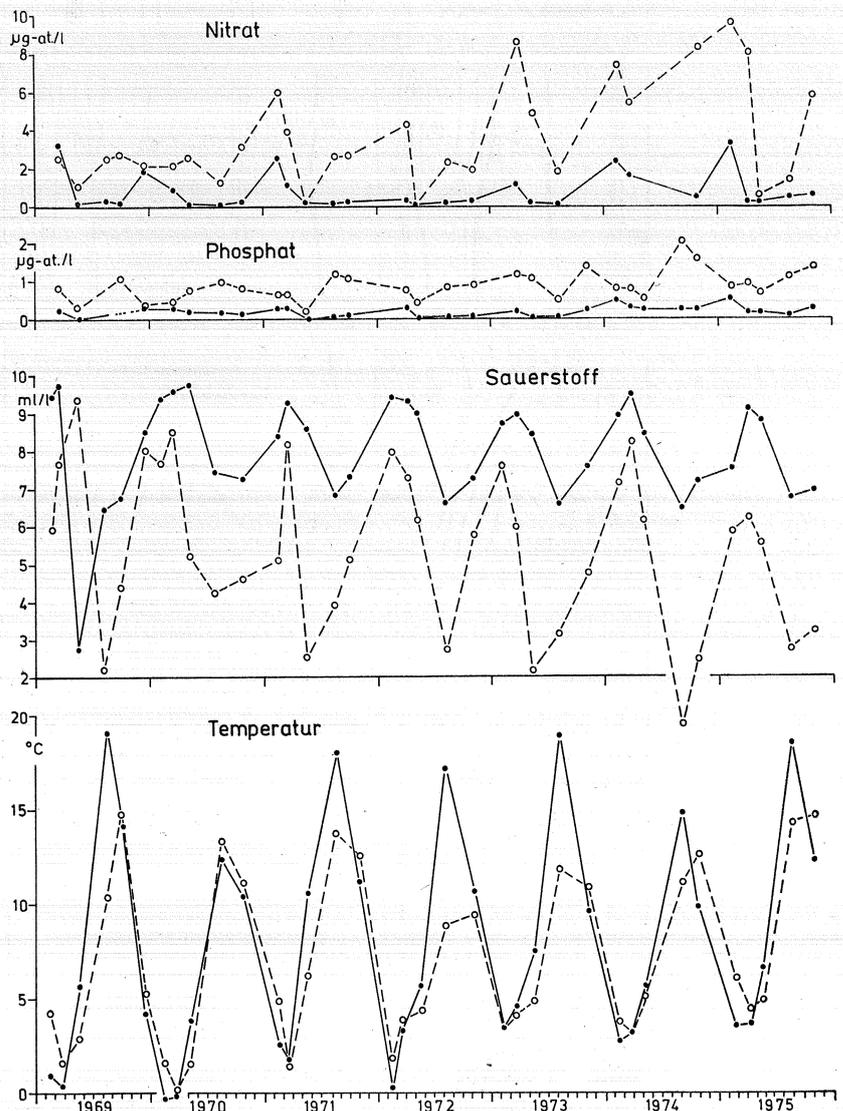


Abb. 7
Verteilung ausgewählter ozeanologischer Parameter auf Station 113 im Arkonabecken
(— 1 m, - - - 45 m Tiefe)

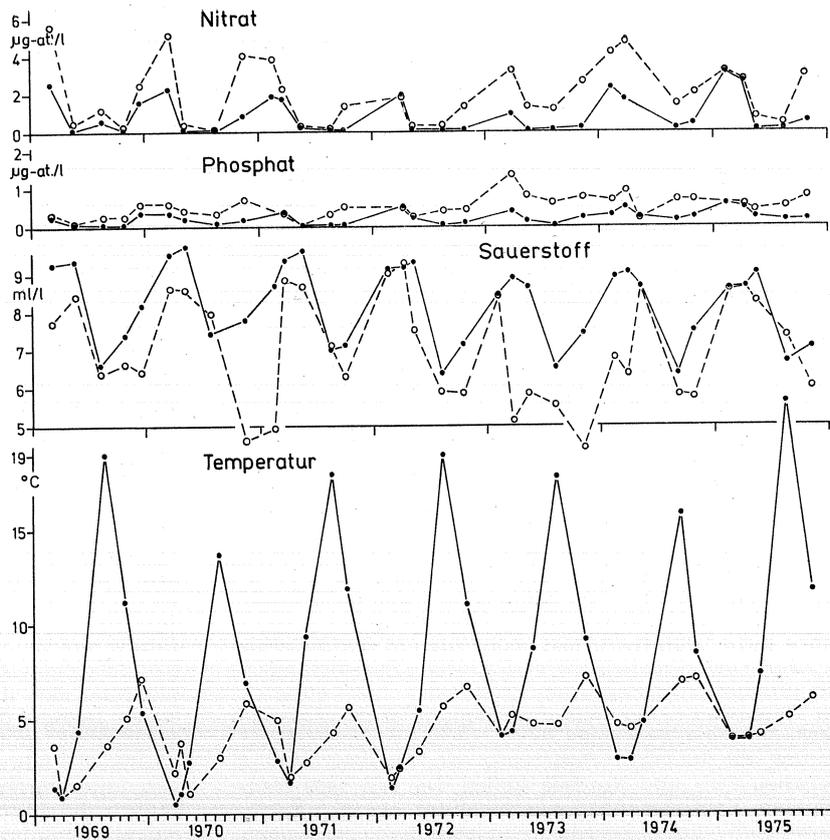


Abb. 8
Verteilung ausgewählter ozeanologischer Parameter auf Station 5 A im Bornholmbecken
(—— 1 m, - - - - 60 m Tiefe)

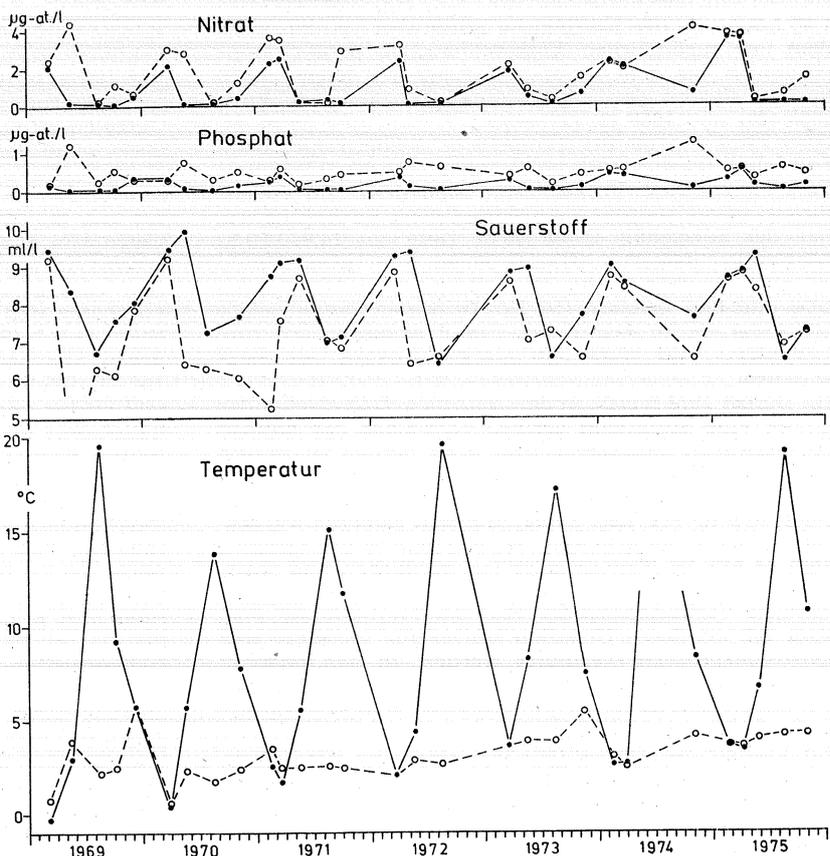


Abb. 9
Verteilung ausgewählter ozeanologischer Parameter auf Station 15 A im Gotlandtief
(—— 1 m, - - - - 70 m Tiefe)

Wegen der winterlichen Homothermie der Oberflächenschicht waren die Temperaturen im Niveau des intermediären Temperaturminimums in den milden Wintern höher als in den kalten, wobei die Unterschiede im Bornholmbecken 2–3 °C betragen (Abb. 8). Mit der Ausbildung der warmen Deckschicht verringerte sich diese Differenz und betrug im Sommer nur noch 1–2 °C. Im Arkonabecken (Abb. 7) sind die Verhältnisse komplizierter, weil das Tiefenwasser im starken Maße von Vermischungsvorgängen und Advektionsprozessen beeinflusst wird. Auch im Gotlandtief sind die Verhältnisse weniger übersichtlich als im Bornholmbecken. Aber auch hier zeigten die Temperaturen im Niveau der kalten Zwischenwasserschicht seit 1973 eine ansteigende Tendenz (Abb. 9).

Der Sauerstoffgehalt von Wasser, das mit den Gasen der Luft gesättigt ist, wird von der Wassertemperatur und dem Salzgehalt bestimmt und zeigt ebenfalls einen Jahresgang, der zeitweise durch produktionsbiologische Prozesse beeinflusst wird.

Infolge seiner Temperaturabhängigkeit ist der Sauerstoffgehalt des Oberflächenwassers in milden Wintern etwas niedriger als in strengen (Abb. 7–9). Eine Beeinflussung der tieferen Wasserschichten der Ostsee konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Die Verteilung der Mikronährstoffe (Abb. 7–9) wurde durch die extremen Temperaturverhältnisse der letzten Jahre nicht beeinflusst. Die beobachteten, rhythmischen Veränderungen stehen im ursächlichen Zusammenhang mit produktionsbiologischen Prozessen.

Im Tiefenwasser der Ostsee werden die ozeanologischen Veränderungen vorrangig durch advektive Prozesse bestimmt, die in enger Beziehung zum Wasseraustausch zwischen Ost- und Nordsee stehen. Die seit 1969 beobachteten Veränderungen ausgewählter ozeanologischer Parameter wurden bereits an anderer Stelle zusammenfassend diskutiert (5, 8). Besondere Aufmerksamkeit verdienen jedoch die 1975 im Tiefenwasser des Bornholmbeckens beobachteten Temperaturverhältnisse. In diesem Becken ist seit dem Salzwassereinbruch des Jahres 1972 (13) eine kontinuierliche Erwärmung in der bodennahen Wasserschicht festzustellen, in deren Verlauf 1975 die höchsten im Oktober gemessenen Temperaturen seit 1969 auftraten. Mit 7,5 °C lagen sie um etwa 1 °C höher als der langjährige Mittelwert (5, 19). Nach dem uns zugänglichen Material wurden höhere Temperaturen, bis über 8,2 °C, nur Ende der 40iger Jahre und zu Beginn der 50iger Jahre (17, 18) sowie Ende 1963 (20) und 1968 (2) gemessen.

Aber nicht nur bei der Temperatur, sondern auch beim Salzgehalt wurden 1975 im Tiefenwasser des Bornholmbeckens extreme Verhältnisse beobachtet. Im Herbst dieses Jahres war die Aussüßung soweit fortgeschritten, daß der Salzgehalt in 88–90 m Tiefe auf 14,8–14,9 ‰ abgesunken war.

Ähnlich niedrige Werte sind uns nur aus den Jahren 1958 und 1963 bekannt (18, 20). In beiden Jahren folgte auf diese starke Aussüßung eine Erneuerung des Tiefenwassers und damit ein starker Anstieg des Salzgehaltes.

Im Herbst 1974 wurde in den zentralen Teilgebieten der Ostsee eine auffallend geringe Tiefenlage der halinen Sprungschicht festgestellt (15). Aber bereits zu Beginn des Jahres 1975 hatte sie wieder ihre normale Tiefe erreicht. Über die Ursachen dieser kurzfristigen Verlagerung können zur Zeit keine Angaben gemacht werden. Da im Winter 1974/75 kein Salzwassereinbruch erfolgte, kam es nur im Tiefenwasser des nördlichen und westlichen Gotlandbeckens sowie im Färötief zu einer kurzzeitigen Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse (vgl. auch 13), als deren Ursachen konvektive Vorgänge und Diffusionsprozesse vermutet werden. In den anderen H₂S-gefährdeten Teilgebieten der Ostsee wird dieser Vertikalaustausch durch die erheblich stabilere Salzgehaltsschichtung erschwert.

Im Verlauf des Jahres 1975 trat eine sehr starke Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee ein. So wurde im Herbst 1975 nicht nur im östlichen Gotlandbecken, sondern auch im Bornholm- und Gdansker Becken sowie im nördlichen und

westlichen Gotlandbecken Schwefelwasserstoff nachgewiesen (Abb. 4). Nur im Landsorttief waren ganzjährig geringe Sauerstoffmengen bis in Grundnähe vorhanden. In Abb. 1 sind die Gebiete mit ungünstigen Lebensbedingungen im Tiefenwasser besonders hervorgehoben. Dabei wird unterschieden zwischen Gebieten mit fischereilich ausreichendem Sauerstoffgehalt (> 2 ml O₂/l) und solchen, in denen Schwefelwasserstoff auftrat.

Auf Grund der kontinuierlichen ozeanologischen Beobachtungen, die seit 1969 vorliegen (3, 10–15) können nunmehr einige allgemeine Aussagen über die derzeitigen Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee gemacht werden.

In den zentralen Gebieten der Ostsee liegt die Isolinie, die den fischereilich ausreichenden Sauerstoffgehalt von 2 ml/l kennzeichnet, in etwa 80 m Tiefe. Nur im Südtteil des östlichen Gotlandbeckens erstreckt sich diese Isoline bis in 100 m Tiefe. Ihre Tiefenlage, die mit dem unteren Bereich der Salzgehaltssprungschicht zusammenfällt, wird durch Salzwassereinbrüche nicht nennenswert beeinflusst. Anders liegen die Verhältnisse im Bornholm- und Gdansker Becken. Bei Salzwassereinbrüchen werden hier auch die grundnahen Wasserschichten stark mit Sauerstoff angereichert. Diese günstigen Bedingungen halten zumeist nicht lange vor. Häufig verschlechtern sich die Verhältnisse in diesen Becken so schnell, daß die 2-ml/l-Sauerstoffisoline bereits innerhalb eines Jahres wieder auf 70–80 m Tiefe, dem unteren Bereich der Salzgehaltssprungschicht, angestiegen ist.

Während sich die 2-ml/l-Sauerstoffisoline in den zentralen Becken der Ostsee nur wenig verlagert, ist die horizontale und vertikale Ausdehnung der schwefelwasserstoffhaltigen Tiefenschicht starken Schwankungen unterworfen. Diese Schwankungen werden maßgeblich durch advektive Prozesse bestimmt, wobei den Salzwassereinbrüchen die nachhaltigste Wirkung beizumessen ist. Der kurzzeitige Einstrom großer Mengen salzreichen Wassers setzt die advektive Erneuerung des Tiefenwassers in Gang und kann zu einer vorübergehenden Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse in der gesamten Ostsee führen.

Im nördlichen und westlichen Gotlandbecken, in denen die haline Schichtung im Vergleich zu den anderen Teilgebieten der Ostsee relativ schwach ausgebildet ist, spielen darüber hinaus die bereits oben erwähnten konvektiven Vorgänge und Diffusionsprozesse eine wichtige Rolle. In der kalten Jahreszeit, wenn sich die Temperatursprungschicht aufgelöst hat, kommt es in diesen Gebieten zu einer Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse, ohne daß advektive Vorgänge nachweisbar sind. Nach Beginn einer Stagnationsperiode setzt die Schwefelwasserstoffbildung zunächst im Gotlandtief ein, wobei von der Wasserumschichtung bis zum ersten Auftreten von H₂S rund ein Jahr verstreicht. Diese Zeitspanne schwankt in Abhängigkeit von der Intensität des vorangegangenen Salzwassereinbruchs zwischen 6 Monaten und anderthalb Jahren.

Nach dem östlichen Gotlandbecken entstehen im nördlichen und westlichen Becken anoxische Bedingungen. Im Bornholm- und Gdansker Becken kommt es erst viel später und nur unter besonders ungünstigen Verhältnissen zur Schwefelwasserstoffbildung. In diesen beiden Becken wird die Entstehung anoxischer Bedingungen durch advektive Prozesse verzögert, die nicht auf einen Salzwassereinbruch, sondern auf eine normale Einstromlage zurückgehen. Die damit verbundene Zufuhr von Tiefenwasser, die im Herbst ihr Maximum erreicht, ist gering. Sie genügt aber, um in diesen Becken die Schwefelwasserstoffbildung über einen Zeitraum von 2–3 Jahren zu verhindern. Da diese Wassermassen im Herbst, wenn die Abkühlung bereits weit fortgeschritten ist, noch relativ hohe Temperaturen aufweisen, ist ihr Einstrom am Westhang des Bornholmbeckens durch ein intermediäres Temperaturmaximum gekennzeichnet (Abb. 2), das im Verlauf des Winters wieder verschwindet.

Parallel mit der Ausbreitung des Schwefelwasserstoffs im Tiefenwasser wurde 1975 auch eine starke Phosphat-anreicherung in den grundnahen Wasserschichten der Ostsee beobachtet. Der Höchstwert von 13,9 µg-at/l

wurde am Südhang des östlichen Gotlandbeckens gemessen (Abb. 5), auf einer Station, deren Schwefelwasserstoffgehalt mit 0,16 mg/l gering war. Auf dieser Station wurde bisher noch kein H_2S nachgewiesen. Fragt man nach den Ursachen für diesen ungewöhnlich hohen Phosphatwert, so zeigt sich ganz allgemein, daß in Gebieten, wie dem Borholm- und Gdansker Becken, in denen verhältnismäßig selten Schwefelwasserstoff auftritt, die Phosphatanreicherung unter anoxischen Bedingungen höhere Werte erreicht als beispielsweise im Gotlandtief, wo viel häufiger ein Wechsel zwischen oxischen und anoxischen Bedingungen beobachtet wird. Durch die Schwefelwasserstoffbildung bzw. die damit verbundene pH-Wert-Erniedrigung werden größere Mengen mineralischen Phosphats aus dem Sediment herausgelöst, die sich in der darüber lagernden Wässerschicht verteilen. Der vertikalen Ausdehnung sind durch die Tiefenlage der Salzgehaltssprungschicht Grenzen gesetzt. Unter oxydierenden Bedingungen wird dieses Phosphat wieder ausgefällt (1). Diese Ausfällung ist

anscheinend nicht quantitativ. Die zeitweise im Tiefenwasser vorhandenen anoxischen Bedingungen führen deshalb nicht nur zu einer temporären, sondern vermutlich auch zu einer bleibenden Phosphatabnahme im Sediment und damit zu einer zusätzlichen Eutrophierung der Ostsee.

Im Herbst 1975 wurde noch eine andere wichtige Beobachtung gemacht. Im Tiefenwasser des Arkonabekens stieg der Salzgehalt innerhalb kurzer Zeit stark an, wobei sich im weiteren Verlauf eine inverse Sauerstoff- und Phosphatverteilung herausbildete (Tab. 1). Derartige Veränderungen stehen mit einer Intensivierung der Einstromprozesse im Zusammenhang. Sie deuten an, daß im Südteil des Kattegatts relativ salzreiche Wassermassen vorhanden sind und damit eine wichtige ozeanologische Voraussetzung für die Entstehung einer extremen Einstromlage erfüllt ist. Analoge Beobachtungen wurden auch vor den Salzwassereintrüben der Jahre 1969 und 1972 (2, 13) gemacht.

Literatur

1. FONSELIUS, S. H.:
Hydrography of the Baltic deep basins III.
Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. 23 (1969), 97 S.
2. FONSELIUS, S. H.:
On the stagnation and recent turnover of the water in the Baltic.
Tellus 22 (1970), S. 533-544.
3. FRANCKE, E. und D. NEHRING:
Erste Beobachtungen über einen erneuten Salzwassereintrüben in die Ostsee im Februar 1969.
Beitr. Meeresk. 28 (1971), S. 33-47.
4. FRANCKE, E., NEHRING, D. und M. STURM:
Hydrography of the Baltic Sea during 1975, G.D.R. observations.
Ann. Biol. (ICES) 32 (1975).
5. FRANCKE, E., NEHRING, D. und K.-H. ROHDE:
Zur Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee.
Beitr. Meeresk. 39 (1977), S. 25-35.
6. NEHRING, D.:
Untersuchungen über die Verteilung der anorganischen Stickstoffverbindungen im Hinblick auf die zunehmende Wasserverschlechterung in der Ostsee.
Beitr. Meeresk. 28 (1971), S. 57-74.
7. NEHRING, D.:
Untersuchungen zum Problem der Denitrifikation und Stickstoffbindung im Tiefenwasser der Ostsee.
Beitr. Meeresk. 33 (1974), S. 135-139.
8. NEHRING, D. und L. BRÜGMANN:
Natürliche und anthropogene hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee.
Fischerei-Forsch., Rostock, 14 (1976), (im Druck).
9. NEHRING, D. und L. BRÜGMANN:
Die Verteilung von organisch gebundenem Phosphor und Stickstoff in der Ostsee.
Acta hydrochim., hydrobiol. 1977 (im Druck).
10. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70.
Fischerei-Forsch., Rostock, 9 (1971), S. 35-42.
11. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Zusammenfassende Darstellung der hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Ostsee 1969/70.
Fischerei-Forsch., Rostock, 11 (1973), S. 31-34.
12. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1971.
Fischerei-Forsch., 11 (1973), S. 45-52.
13. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1972 unter besonderer Berücksichtigung des Salzwassereintrübens im März/April 1972.
Fischerei-Forsch., Rostock, 12 (1974), S. 23-33.
14. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1973.
Fischerei-Forsch., Rostock, 13 (1975), S. 7-14.
15. NEHRING, D. und E. FRANCKE:
Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee im Jahre 1974.
Fischerei-Forsch., Rostock, 14 (1976), S. 65-75.
16. RUPPIN, E.:
Ein Beitrag zur Hydrographie der Belt- und Ostsee.
Wissensch. Meeresuntersuch., N. F., 14 (1912), S. 202-272.
17. SCHEMAINDA, R.:
Die ozeanographischen Veränderungen im Bornholmtief in den Jahren 1951-1955.
Ann., Hydrogr. 8 (1956), S. 48-64.
18. SCHEMAINDA, R.:
Zur rezenten Aussüßung der Ostsee.
Fischerei-Forsch., Rostock, 1960, S. 19-22.
19. ———:
Atlas für Temperatur, Salzgehalt und Dichte der Nord- und Ostsee.
Dt. Seewarte Hamburg 1927.
20. ———:
Jahresfischereibericht 1964. Hydrographie der Ostsee.
Fischerei-Forsch., Rostock, 3 (1965), S. 93.
21. ———:
The Baltic Year 1969/70, Program manual.
Göteborg 1968.