

Veröffentlichungen des Forschungsbereichs Kosmische Physik
der AdW der DDR

Herausgegeben von H.-J. TREDER

Heft 1

Zur Geschichte der Erde und des Kosmos

1973. 74 Seiten — 3 Abbildungen — 2 Tabellen — gr. 8° — 10,— M
Bestell-Nr. 761 756 9 (2156/1)

Das erste Heft dieser neuen Schriftenreihe diskutiert die für die kosmische Physik charakteristische Problematik der langseitigen Entwicklungsgesetze der kosmischen Objekte, wobei diese historische Komponente als der grundlegend neue Aspekt erscheint, den Geologie, Astronomie und Kosmologie der gewöhnlichen, in den irdischen Laboratorien betriebenen Physik hinzufügen.

Heft 2

Entwicklungstendenzen der Geographie

(am Beispiel des Geographischen Instituts der AdW der DDR)

1973. 32 Seiten — gr. 8° — 4,— M
Bestell-Nr. 761 757 7 (2156/2)

Heft 2 ist von grundlegender Bedeutung für die Richtung der weiteren geographischen Forschung in der DDR und somit über den Bereich des Geographischen Instituts der AdW hinaus von Interesse. Im Zusammenhang mit Heft 1 wird der Charakter der neuen Schriftenreihe sehr eindrucksvoll umrissen.

Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

14. 1973

Akademie der Wissenschaften der D
Institut für Meereskunde
- Bibliothek -
200 War. 2010
DDR Deutsche Demokratische Republik

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN VON

ERICH BRUNS

UNTER MITWIRKUNG VON

OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER, KLAUS VOIGT

HEFT 32



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1973

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN VON

ERICH BRUNS

UNTER MITWIRKUNG VON

OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER, KLAUS VOIGT

HEFT 32

mit 48 Abbildungen und 9 Tabellen



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1973

Inhalt

Biologische Untersuchungen während des Internationalen Ostseejahres (International Baltic Year, IBY) 1969/70	
SIGURD SCHULZ, I. Einführung	5
WOLFGANG KAISER und SIGURD SCHULZ, II. Untersuchungen zur Primärproduktion	9
ERNST ALBERT ARNDT und HARTMUT STEIN, III. Das Zooplankton	33
SIGURD SCHULZ, IV. Das Makrobenthos	57
JÖRG-ANDREAS VON OERTZEN und SIGURD SCHULZ, Beitrag zur geographischen Verbreitung und ökologischen Existenz von Bivalviern der Ostsee	75
JÖRG-ANDREAS VON OERTZEN, Bemerkungen zur Hydrographie der westlichen Ostsee unter benthos-ökologischem Gesichtspunkt	89
WOLFGANG MATTHÄUS, Zur Hydrographie der Gotlandsee II. Der mittlere Jahresgang der Temperatur in Oberflächennähe	105
WOLFGANG MATTHÄUS, Zur Hydrographie der Gotlandsee III. Die Variation der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Gotlandtiefs auf 57°20' N, 20° E (F 81 bzw. BY 15 A)	115
GERHARD WOLF, Die haline Schichtung im Seegebiet der Darßer Schwelle	137

1973. 7056

Erschienen im Akademie-Verlag Berlin, DDR-108 Berlin, Leipziger Str. 3-4

Copyright 1973 by Akademie-Verlag, Berlin

Lizenznummer: 202 · 100/461/73

P 16/73

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 582 Bad Langensalza

Bestellnummer: 761 860 9 (2105/32), LSV 1465

Printed in GDR

VEP 43, -

Biologische Untersuchungen
während des Internationalen Ostseejahres
(International Baltic Year, IBY) 1969/70

I. Einführung

Von SIGURD SCHULZ

Zusammenfassung: Einleitend zu den biologischen Arbeiten während des IBY wird die Problematik der Untersuchungen in der Ostsee umrissen.

In der Ostsee haben sich seit Beginn dieses Jahrhunderts merkliche Änderungen ökologischer Meisterfaktoren wie Salzgehalt und Temperatur und von Sauerstoff- und Phosphatgehalt besonders in den tiefen Becken vollzogen (SEGERSTRÅLE, 1951, 1953, GRANQUIST, 1952, FONSELIUS, 1962, 1967, 1969, SOSKIN, 1963 und HELA, 1966).

Diese Umweltveränderungen wirkten sich auch auf die Biota der Ostsee in vielfältiger Weise aus. Dabei umfaßt das Wirkungsspektrum u. a. die Ausweitung der Verbreitungsareale mariner Floren- und Faunenelemente bis weit in die Ostsee, katastrophenartigen Rückgang des Benthos in den Becken auf Grund der Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse in Stagnationsperioden, Eutrophierungserscheinungen, die auf den Austausch nährstoffreichen Tiefenwassers nach Salzwassereinbrüchen und die Einleitung von Abwässern zurückgehen und damit im Zusammenhang stehend der günstigen Bestandsentwicklung der Primär- und Sekundärproduzenten bis zum Fisch (SEGERSTRÅLE 1951, 1953, 1960, LINDQUIST, 1959, MANKOWSKI, 1961, TULLKI, 1956, NIKOLAJEW u. Mitarbeiter, 1964, MEYER u. KALLE, 1950, RECHLIN, 1968).

Unsere Kenntnisse zu dieser Problematik gehen auf ozeanologische Untersuchungen zurück, die aus methodischen Gründen nur Stichprobencharakter trugen und auch nur begrenzte Aquatorien umfassen konnten. Damit mußte ihr Informationswert relativ gering bleiben und trägt auch zufälligen Charakter. Da die Ostsee aber für die Anliegerstaaten von enormer Bedeutung als Verkehrsweg, Brauchwasserreservoir, Fischereigebiet und nicht zuletzt als Erholungsgebiet ist, bedarf es dringend der Kenntnis der ablaufenden Prozesse im Energie- und Stoffkreislauf in diesem Ökosystem. Die erforderlichen Mittel für eine breitangelegte Forschung zu diesem Komplex sind natürlich nicht von einem Land oder gar einem Institut zu erstellen.

Aus dieser Erkenntnis wurde ein Meßprogramm erarbeitet, das im Gebiet der Ostsee ständige ozeanologische Messungen über zwei Jahre vorsah. Dieses Programm (vgl. „The Baltic Year 1969/70, Program Manual“, Göteborg,

Dezember 1968) wurde auf der 6. Konferenz der Ostseeozeanographen im Mai 1968 in Sopot vorgelegt und von den Vertretern der Anliegerstaaten gebilligt.

Es sah umfangreiche physikalische, chemische und biologische Messungen auf 39 Standardstationen in allen Teilen der „Ostsee im eigentlichen Sinne“ (WATTENBERG, 1949) vor (s. Abb. 1, Stationen des IBY mit BY gekennzeichnet).

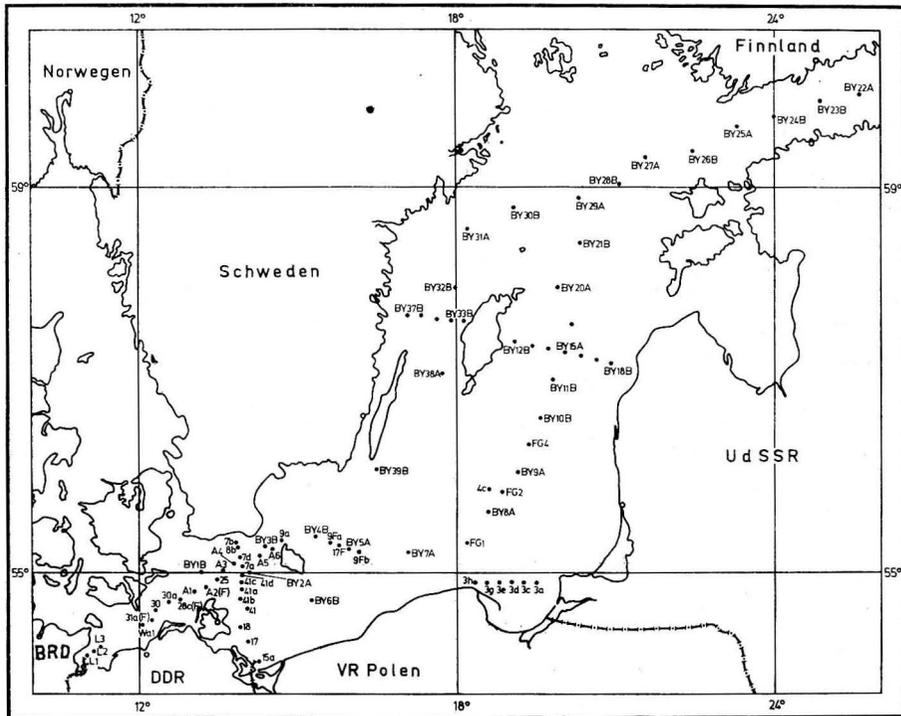


Abb. 1. Stationsplan

Damit stellte das Internationale Ostseejahr 1969/70 gegenüber der 1. Internationalen Synoptischen Aufnahme der Ostsee, die 1964 durch die DDR koordiniert wurde und in der nur physikalische Parameter auf einigen Dauerstationen gemessen wurden, eine wesentliche Erweiterung dar.

Das Internationale Ostseejahr begann im Januar 1969 und sollte nach einer ersten Bilanz im Mai 1970 mit der 7. Konferenz der Ostseeozeanographen in Helsinki enden. Auf dieser Konferenz wurde jedoch empfohlen, das Meßprogramm bis Ende 1970 fortzusetzen.

Das Institut für Meereskunde beteiligte sich mit 6 Fahrten seines Forschungsschiffes „Prof. A. Penck“ am Internationalen Ostseejahr. Außerdem wurden auf einigen Terminfahrten zusätzliche Messungen vorgenommen.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf der 7. Konferenz der Ostseeozeanographen in Helsinki 1970 und auf dem 2. Symposium der Ostseebiologen in Stockholm 1971 vorgestellt.

In den folgenden drei Teilen sollen nun vorrangig die Ergebnisse der biologischen Untersuchungen abgehandelt werden. Die physikalischen und chemischen Arbeiten liegen bereits publiziert vor (FRANCKE und NEHRING, 1970, NEHRING, FRANCKE und BROSIN, 1970, NEHRING und FRANCKE, 1971). Darüber hinaus existiert ein umfangreiches hydrographisches Schrifttum, so daß hier auf die Behandlung der physikalischen und chemischen Umweltparameter verzichtet wird.

Während alle Teilnehmerländer den Empfehlungen folgend physikalische und chemische Messungen durchführten und die Ergebnisse auch teilweise schon ausgetauscht wurden, sammelten lediglich Finnland, Schweden und die DDR biologische Daten. Ein Austausch der Ergebnisse erfolgte bisher nicht. So gehen die im folgenden abgehandelten Daten nur auf Untersuchungen der DDR zurück.¹⁾ Unglücklicherweise lagen unsere Fahrtermine sehr ungünstig zur Vegetationsperiode (Februar, März, Oktober, November, Dezember), so daß trotz umfangreicher Messungen die Aussage nicht vollständig sein kann. Die gerade in den Blütezeiten des Phytoplanktons auftretenden Lücken der Untersuchungen konnten nur z. T. durch die zusätzlichen Messungen während der Terminfahrten des Instituts für Meereskunde ausgeglichen werden. Leider stimmten die Terminfahrtstationen nicht mit den BY-Stationen überein. Trotzdem wurde auf diese Stationen zurückgegriffen, da die Werte für die einzelnen Gebiete der Ostsee gemittelt aufgeführt und diskutiert wurden.

Die Terminfahrtstationen sind in Abb. 1 aufgeführt.

¹⁾ (s. Beiträge der DDR zur Internationalen Ostseeforschung. Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Internationalen Ostseejahres 1969/70. Teil I: Meßwerte des Jahres 1969. Geod. Geoph. Veröff. Reihe IV, H. 4 und 6 (1971)).

Literatur

- [1] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins. Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. **13** (1962), 41 S.
- [2] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins. II. Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr. **20** (1967), 31 S.
- [3] FRANCKE, E. und NEHRING, D., Erste Beobachtungen über einen erneuten Salzwasser-einbruch in die Ostsee im Februar 1969. Beitr. Meeresk., H. 28 (1971), S. 33–47.
- [4] GRANQVIST, G., Harmonic analysis of temperature and salinity in the sea off Finland and changes in salinity. Merentutk. Julk. No. 152 (1952), S. 1–29.
- [5] HELA, I., Secular changes in the salinity of the upper waters of the Northern Baltic Sea. Comm. Phys.-Math. Soc. Scient. Fennia **31** (1966).
- [6] LINDQUIST, A., Distribution and composition of the Macro-plankton in the Bothnian Sea. Int. Counc. Expl. Sea, Plankton Comm., Nr. 73 (1959).
- [7] MANKOWSKI, W., Biological macroplankton indicators of the inflow of the salt waters from the North Sea into the Baltic. Int. Counc. Expl. Sea, Plankton Comm., Nr. 31 (1961).

- [8] MEYER, P. F. und KALLE, K., Die biologische Umstimmung der Ostsee in den letzten Jahrzehnten — eine Folge der hydrographischen Wasserumschichtungen? Archiv Fischereiwiss. **2** (1950), S. 1—9.
- [9] NEHRING, D., FRANCKE, E. und BROSIN, H.-J., Beobachtungen über die ozeanologischen Veränderungen im Gotlandtief während der Wasserumschichtung im Oktober 1969. Beitr. Meeresk., H. 28 (1971), S. 75—82.
- [10] NEHRING, D. und FRANCKE, E., Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70. Fischerei-Forschung, Rostock **9** (1971), S. 35—42.
- [11] NIKOLAIEW, I. I. und Mitarb., Quantitative characteristics of zooplankton (mainly Crustacea) in the Central Baltic and in the Gulf of Riga in 1962. Ann. Biol. **19** (1964), S. 71—73.
- [12] RECHLIN, O., Neue Aspekte zum Problem der Bestandsschwankungen beim Herbsthering der Ostsee. Fischerei-Forschung **6** (1968), S. 69—71.
- [13] SEGERSTRÅLE, S. G., The recent increase in salinity off the coasts of Finland and its influence upon the fauna. J. Conseil Intern. Explor. Mer **17** (1951), S. 103—110.
- [14] SEGERSTRÅLE, S. G., Further notes on the increase in salinity of the inner Baltic and its influence on the fauna. Comment. Biol. **13** (1953), S. 1—7.
- [15] SEGERSTRÅLE, S. G., Fluctuations in the abundance of the benthic animals in the Baltic area. Comment. Biol. **23** (1960), S. 1—18.
- [16] SOSKIN, I. M., Mehrjährige Veränderungen der Charakteristika der Ostsee (in russ.). Hidrometeorolog. izdat. 1963, 160 S.
- [17] TULLKI, P., Disappearance of the benthic fauna from the Basin of Bornholm (Southern Baltic), due to oxygen deficiency. Cah. Biol. Mar., VI (1965), S. 455—463.
- [18] WATTENBERG, H., Entwurf einer natürlichen Einteilung der Ostsee. Kiel. Meeresforsch. **6** (1949), S. 10—17.

Abschluß der Arbeit: Mai 1973

Anschrift des Verfassers:

Dr. S. SCHULZ, Institut für Meereskunde der AdW,
DDR-253 Rostock-Warnemünde

Biologische Untersuchungen während des Internationalen Ostseejahres (International Baltic Year, IBY) 1969/70

II. Untersuchungen zur Primärproduktion

Von WOLFGANG KAISER und SIGURD SCHULZ

Zusammenfassung: Die Ergebnisse der Bestimmungen der pflanzlichen Biomasse und der Primärproduktion nach der ^{14}C -Methode werden dargestellt und diskutiert. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Gebiete der Ostsee im zeitlichen Ablauf und der Größe der Primärproduktion. Die Gesamtproduktion der Ostsee wird bilanziert.

Produktionsbiologische Arbeiten liegen aus der Ostsee und der Beltsee in großer Zahl vor (APSTEIN, 1908, KALLE, 1932, GESSNER, 1933, 1940, STEEMANN-NIELSEN, 1937, BUCH und GRIPENBERG, 1938, MEYER und KALLE, 1950, HENTSCHEL, 1952, GILLBRIGHT 1952a, b, BANSE, 1957, KREY und SZEKIÉLDA, 1967, HICKEL, 1967, NEHRING, SCHULZ und ROHDE, 1969 u. a.).

Alle lieferten wichtige Erkenntnisse über das komplizierte Produktionsgeschehen, über die Größe der Biomasse und einige auch, wenn auch mit indirekten Methoden, über die Höhe der Primärproduktion.

Seit Anfang der fünfziger Jahre existiert nun die von STEEMANN-NIELSEN (1952) in die Produktionsbiologie eingeführte direkte Bestimmung der Primärerzeugung des Phytoplanktons nach der ^{14}C -Methode. Sie bringt z. Z. wohl die genauesten Ergebnisse aller angewandten Methoden.

STEEMANN-NIELSEN (1958, 1964) und STEEMANN-NIELSEN und HANSEN (1961) haben für das Übergangsgebiet zwischen Ost- und Nordsee umfangreiche Untersuchungen nach dieser Methode durchgeführt. Der dabei für das Kattegat mit 67 gC/m^2 Jahr gefundene Wert wurde in Ermangelung von Werten aus der Ostsee häufig für diese als repräsentativ angenommen. Aus den Küstengewässern der DDR sind durch HÜBEL (1965, 1968) und aus dem Finnischen Meerbusen durch LEHMUSLUOTO (1967) Werte der Primärproduktion bekannt geworden. Lediglich ROCHON (1968) legte einige Werte aus der mittleren Ostsee vor.

Alle bisher zugänglichen Daten, nach unterschiedlichen Methoden ermittelt, reichen jedoch nicht aus, die Primärproduktion in der Ostsee mit ausreichender Genauigkeit zu bilanzieren. Nun steht das Ökosystem Ostsee unter einem Eutrophierungsstress, der vorrangig auf die Einleitung nährstoffreicher Abwässer, unter Umständen auch auf die schnelle Folge von Tiefenwasserumschichtungen und damit Anhebung von nährstoffreichem Wasser, zurückgeht.

Veränderungen lassen sich jedoch nur dann belegen, wenn eine sichere Bezugsbasis vorhanden ist. Diese fehlte bisher.

Mit der Durchführung des Internationalen Ostseejahres bot sich die Gelegenheit, kontinuierlich über einen längeren Zeitraum physikalische, chemische und biologische Daten aus allen Gebieten der Ostsee zu gewinnen. Leider wurde sie nur von physikalischer und chemischer Seite voll genutzt. So müssen sich die folgenden Ausführungen lediglich auf die Werte stützen, die das Institut für Meereskunde auf seinen IBY-Expeditionen und Terminfahrten sammelte.

Methodik

Die Probenentnahme erfolgte aus den ozeanologischen Standardhorizonten mit Hilfe eines 5 l-Schöpfers der Firma Hydrobios, Kiel. Die Proben wurden aus den einzelnen Tiefen nacheinander geschöpft.

Zur Bestimmung der Chlorophyllverteilung nach STRICKLAND und PARSONS (1965) wurde meist 1 l Wasser durch ein Membranfilter aus Nitrozellulose, Typ HUF5/ČSSR, mit 0,3–0,5 µm Porenweite filtriert. Das Chlorophyll wurde aus dem luftgetrockneten Filtrerrückstand (18 Std. im Dunkeln in der Kälte) mit 10 ml einer 90%igen Azetonlösung extrahiert. Der abdekantierte Extrakt wurde bei 750 nm (Trübung), 663 nm (Chlorophyll a), 645 nm (Chlorophyll b) und 630 nm (Chlorophyll c) im Spektralphotometer VSU 2, VEB Carl Zeiß, Jena, gemessen. Die Berechnung der Chlorophyllkonzentration erfolgte nach den von der UNESCO-working Group 17 (1967) vorgeschlagenen Gleichungen. Zur Bestimmung der Produktivität wurden die Wasserproben aus den Horizonten 1, 10, 20, 30 und 50 m Tiefe in Winkler-Flaschen gefüllt und mit 1 ml ¹⁴C-haltiger Natriumkarbonatlösung versetzt. Danach erfolgte eine 5stündige Exposition der Proben im Lichttank (~8000 Lux) bei konstanter Temperatur.

Die Proben wurden ebenfalls durch Membranfilter HUF5 gesaugt. Nach der Bestimmung der β-Aktivität des Rückstandes auf dem Filter mittels eines G-M-Zählrohres konnte bei bekanntem anorganischem Kohlenstoffgehalt des Wassers und bekannter Ausgangsaktivität der radioaktiven Lösung die Kohlenstoffassimilation des Phytoplanktons berechnet werden. Auf einigen Stationen jeder Reise wurden aus parallel durchgeführten Tank- und in-situ-Versuchen Koeffizienten gewonnen, mit denen alle Tankwerte berichtigt wurden.

Zur Bestimmung der artlichen Zusammensetzung des Phytoplanktons wurden 250 ml der Schöpfprobe aus den Standardhorizonten entnommen und mit 8 Tropfen Lugol'scher Lösung (Jodjodkalium) versetzt. Die Proben wurden nach UTERMÖHL (1958) unter dem umgekehrten Mikroskop ausgewertet. Die Bestimmung nahm Herr Dipl.-Biol. KELL, Sektion Biologie der Universität Rostock, vor, dem an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Auf Grund der unterschiedlichen hydrographischen Bedingungen in den einzelnen Seegebieten erschien es zweckmäßig jedes gesondert zu besprechen. So wird im folgenden zwischen Arkona-, Bornholm-, Gotlandsee und Finnischem

Meerbusen unterschieden. Es wurde weiterhin, bis auf einige Ausnahmen, darauf verzichtet, Einzelwerte anzugeben.

Im wesentlichen stützt sich die Aussage auf die Säulenkonzentrationen des Chlorophylls als Ausdruck für die Biomasse in der produktiven Schicht von 0–50 m Tiefe unter 1 m² (DYSON, JIRTS und SCOTT, 1965) und die Säulenproduktion, d. h. die Primärproduktion in gC/m²Tag in der Schicht von 0–50 m, auf Mittelwerte aller Stationen eines Gebiets oder der Meßhorizonte. Damit wird die natürliche Streuung der Werte auf Grund der „patchiness“ nivelliert und die Vergleichbarkeit der Werte erleichtert. Alle Einzelwerte der Stationen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, sind im Datenbericht des Instituts für Meereskunde einzusehen¹⁾.

Ergebnisse

Arkonasee

Die niedrigen Chlorophyllwerte im Februar entsprechen dem winterlichen Minimum des Phytoplanktons im Arkonabecken (vgl. Tab. 1). Im März 1969 waren die Werte im Vergleich dazu bereits leicht erhöht. Die Phytoplankton-

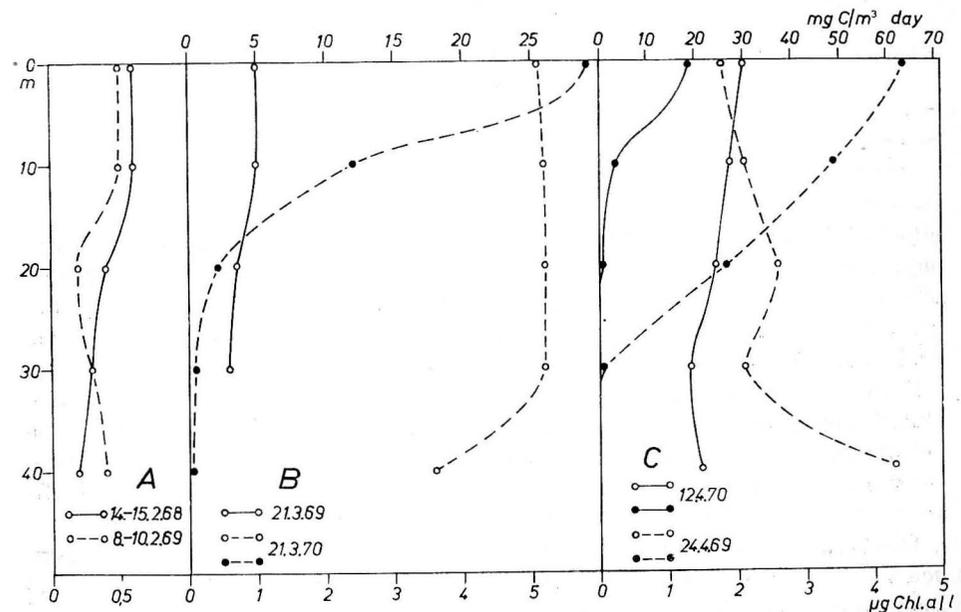


Abb. 1. Mittlere vertikale Verteilung von Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) in der Arkonasee

¹⁾ (s. Beiträge der DDR zur Internationalen Ostseeforschung. Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Internationalen Ostseejahres 1969/70. Teil I: Meßwerte des Jahres 1969. Geod. Geoph. Veröff. Reihe IV, H. 4 (1971)).

Tabelle 1

Ergebnisse der produktionsbiologischen Untersuchungen in der Arkonasee

Datum	Primärproduktion gC/m ² Tag	Chlorophyll a mg Chl/m ²	Gesamtchloroph. mg Chl/m ²	Pi-Wert * mg C/m ² h mg G.Chl/m ²
30. 10. 67	—	97,5	156,5	—
14./15. 2. 68	—	19,5	27,0	—
2. 8. 68	—	30,3	50,0	—
30./31. 10. 68	—	87,7	135,5	—
8./10. 2. 69	—	18,7	36,0	—
21. 3. 69	—	25,0	42,5	—
24. 4. 69	0,946	101,0	203,0	0,38
14./15. 5. 69	—	28,5	39,5	—
3./4. 8. 69	—	37,0	118,0	—
30. 9. 69	0,910	88,5	183,0	0,40
23. 10. 69	—	69,5	160,0	—
29. 11. 69	—	55,5	74,0	—
16. 12. 69	—	47,5	95,0	—
21./22. 3. 70	0,304	199,5	307,5	0,08
12./13. 4. 70	0,093	83,8	157,8	0,04
5. 5. 70	0,040	38,3	66,8	0,04
24. 5. 70	0,037	30,3	46,6	0,04
24. 7. 70	—	27,2	33,9	—
23./24. 10. 70	0,060	40,0	63,9	0,07
14./17. 11. 70	0,057	59,1	97,3	0,05

*) In Anlehnung an YENTSCH (1965) wurde der Produktionsindex für die Einheitswassersäule abgeändert.

blüte setzte jedoch erst im April ein. 1970 wurden bereits im März hohe Chlorophyllwerte nachgewiesen und auch die entsprechenden Produktionsraten waren schon hoch. Im April hatte jedoch die Chlorophyllmenge bereits wieder abgenommen und auch die Werte der Primärproduktion waren abgesunken (vgl. Abb. 1).

Sucht man nach den Ursachen für den unterschiedlichen Beginn der Phytoplanktonblüte in diesen beiden Jahren, so muß man die auslösenden Faktoren betrachten. Nach CUSHING (1969) müssen als Voraussetzung für eine Massentwicklung des Phytoplanktons ein ausreichendes Licht- und Nährstoffangebot und eine Schichtung des Wasserkörpers vorliegen.

Die Wassertemperatur ist für die Massentwicklung der Algen wahrscheinlich von untergeordneter Bedeutung, denn 1970 war das Wasser trotz früheren Beginns der Blüte kälter als 1969. Da in allen Ostseeregionen ganzjährig eine stabile Salzgehaltsschichtung vorliegt, ist eine Voraussetzung für die Massentwicklung stets erfüllt. Das Nährstoffangebot war nach der winterlichen Vegetationspause in ausreichendem Maße vorhanden und zunächst nicht als limitierender Faktor anzusehen. Betrachtet man das Lichtangebot im Vergleich beider Jahre, so wurden im März 1969 von der meteorologischen Station

Kap Arkona 145 Std. und im März 1970 85 Std. Sonnenscheindauer gemessen. Sieht man diese Werte für das Arkonabecken als repräsentativ an, so hätte unter der Voraussetzung, daß das Licht der limitierende Faktor ist, der Beginn der Blüte in den beiden Jahren umgekehrt erfolgen müssen. Offensichtlich sind also noch andere Faktoren für das Einsetzen der Phytoplanktonmassenproduktion mitverantwortlich. Übereinstimmend mit BANSE (1957) kann jedoch gesagt werden, daß ab März im Arkonabecken grundsätzlich mit dem Beginn der Phytoplanktonblüte gerechnet werden kann.

Unterschiede zwischen den beiden Jahren ergaben sich aber auch in der Dauer und im Verlauf der Frühjahrsblüte. 1969 setzte sie im April ein, erreichte offenbar sehr rasch ihren Höhepunkt und fiel nach dem Meßtermin durch die fast völlige Nährstoffaufzehrung rasch ab. Im Gegensatz dazu war Mitte März 1970 der Höhepunkt schon überschritten. Trotzdem lagen Phosphat und Nitrat noch in ausreichender Menge vor. Auch Mitte April waren die Mikronährstoffe noch nicht vollständig aufgebraucht. Die Chlorophyllwerte und die Werte der Primärproduktion waren zwar geringer geworden, ließen aber noch eine Aktivität des Phytoplanktons erkennen. Offensichtlich ist es im Frühjahr 1969 zu einer ausgesprochenen Massenproduktion gekommen, und die Blüte dauerte kaum einen Monat. 1970 erstreckte sich die Blüteperiode anscheinend über fast zwei Monate und zeigte nach einem typischen Beginn einen uncharakteristisch langsamen Abfall.

Das Phytoplankton setzte sich im März hauptsächlich aus den Diatomeen der Gattungen *Chaetoceros*, *Achnanthes* und *Skeletonema* zusammen. Daneben waren die blaugrünen Algen *Coelosphaerium pusillum* und *Aphanizomenon flos-aquae* vertreten.

In den Jahren 1969 und 1970 wurden im Mai jeweils niedrige Chlorophyllwerte gemessen. Damit ließen sich die von KREY und SZEKIELDA (1967) gefundenen Werte bestätigen. Die ebenfalls sehr geringen Produktionswerte stimmen gut mit den bei ROCHON (1968) angegebenen von 0,053 gC/m²Tag überein. Während das Chlorophyll gleichmäßig über die ganze Wassersäule verteilt war, beschränkte sich die Primärproduktion auf die oberen 10 m (Abb. 2 A).

Die artliche Zusammensetzung des Phytoplanktons hatte sich gegenüber dem März wesentlich verändert. Von den Diatomeen war nur *Achnanthes taenita* noch zahlreich vertreten. Größere Bedeutung gewannen die Dinoflagellaten mit den Gattungen *Goniaulax*, *Amphidinium* und *Peridinium*. Daneben erreichten die Cyanophyceen mit den Gattungen *Aphanizomenon* und *Coelosphaerium* schon größere Abundanzen als im März.

Im August war die hydrographische Situation durch die Ausbildung einer Temperatursprungschicht neben der halinen Sprungschicht, die einen Transport von Nährstoffen aus dem Tiefenwasser in die euphote Zone zusätzlich erschwerte, charakterisiert.

Die gefundenen Chlorophyllmengen unterschieden sich deshalb auch kaum von denen im Mai (vgl. Tab. 1). Eigene Untersuchungen der Primärproduktion

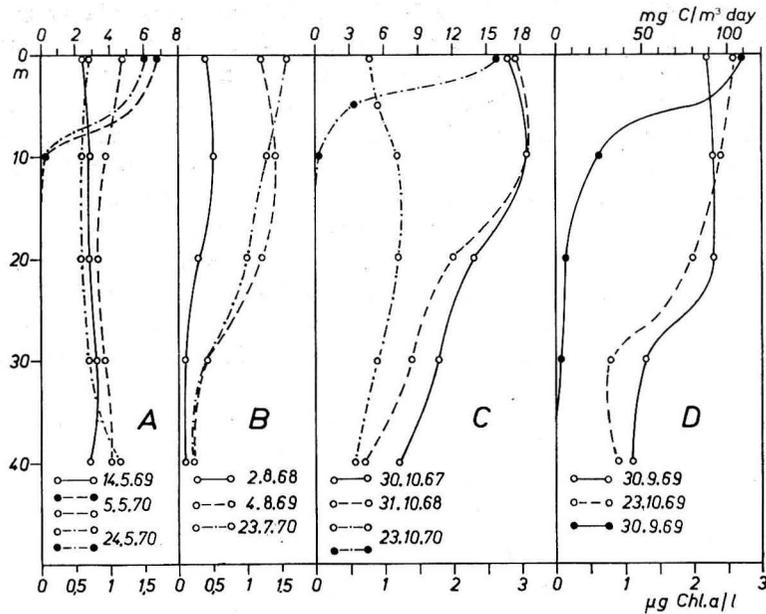


Abb. 2. Mittlere vertikale Verteilung von Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) in der Arkonasee

liegen nicht vor, doch sollen stellvertretend Werte von ROCHON (1968) angeführt werden. Er fand im Juli 1966 eine Primärproduktion von $0,260 \text{ g C/m}^2 \text{ Tag}$, die im Vergleich zu den Maiwerten recht hoch ist. Andererseits zeigen Nährstoffwerte aus dem Juli 1970 noch nachweisbare Phosphatkonzentrationen in der euphoten Schicht. Besonders an der Oberfläche waren auch die Nitratwerte entsprechend hoch, was auf die Bindung von freiem Stickstoff durch Cyanophyceen hindeuten könnte (FONSELIUS, 1969). Damit wäre der Produktionswert von ROCHON durchaus erklärbar.

Im Oktober konnte in der Arkonasee eine Herbstblüte nachgewiesen werden. Die thermische Schichtung war zu diesem Zeitpunkt völlig abgebaut oder nur noch schwach angedeutet. Damit hatten sich die Möglichkeiten für einen vertikalen Wasseraustausch verbessert.

Die Chlorophyllkonzentrationen waren gegenüber den Sommermonaten deutlich höher (vgl. Tab. 1). Die Primärproduktion aus dem September 1969 stimmt mit dem gemessenen Wert aus dem Frühjahr fast überein. Im Oktober 1970 war die Primärproduktion dagegen deutlich geringer, was den Schluß zuläßt, daß die Blüte bereits vorüber war. Offenbar herrschten 1969 auch vom Lichtangebot her bessere Bedingungen für die Blüte als 1970. Die meteorologische Station Kap Arkona registrierte im September/Oktober 1969 338 Std. Sonnenscheindauer gegenüber 264 Std. im gleichen Zeitraum des Jahres 1970.

Die dominierenden Vertreter des Phytoplanktons waren *Aphanizomenon flos-aquae* bei den Cyanophyceen, *Cyclotella meneghiniana* und *Navicula salinarum* bei den Diatomeen und *Ceratium tripos* bei den Dinoflagellaten.

Neben diesen relativ großen Arten gewannen die μ -Algen größere Bedeutung. Sie überragten die genannten Arten in der Abundanz um das 1000–10000fache. Untersuchungen von ROHDE (1958), ROHDE u. Mitarb. (1969) und GRÖNTVED (1958, 1960) konnten den Nachweis erbringen, welche große Bedeutung das Nannoplankton auf Grund seines schnellen Turnovers für die Produktion hat.

Im November und Dezember wurden noch beträchtliche Mengen an Chlorophyll gefunden, die größer als die Sommerwerte waren. Die Produktivität war allerdings nur noch gering. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß lediglich das Chlorophyll von 0–5 m Tiefe noch photosynthetisch aktiv war. Darunter lag es offenbar bereits an Detritus gebunden vor.

Bornholmsee

Im Februar 1969 war die in der Bornholmsee gemessene Chlorophyllmenge wesentlich niedriger als in der Arkonasee (vgl. Tab. 2). Sie repräsentiert offensichtlich das winterliche Minimum an Phytoplanktonbiomasse.

Im März war eine Zunahme der Chlorophyllkonzentrationen zu verzeichnen, die sich bis in den April fortsetzte. Dabei liegen unsere Werte über denen, die WELLERHAUS (1964) für das Gebiet angibt, was sicher auf die Verwendung feinerer Filter bei unseren Untersuchungen zurückgeht.

Das Chlorophyll war bis in den April hinein in der oberen Schicht bis 50 m Tiefe gleichmäßig verteilt (Abb. 3); die Primärproduktion schien Anfang März ebenfalls gleichförmig bis in 30 m Tiefe zu reichen, beschränkte sich aber dann zunehmend auf die oberen 10 m (Abb. 3, A, B, C).

Das Maximum der Phytoplanktonentwicklung scheint nach unseren Messungen in der Bornholmsee im April zu liegen. Bis zu dieser Zeit war kein nennenswerter Nährstoffverbrauch festzustellen. Offensichtlich verschiebt sich der Termin der Blüte gegenüber der Arkonasee also um etwa 2–3 Wochen.

Wie in der Arkonasee wurde auch in der Bornholmsee die Frühjahrsblüte durch die Massentwicklung von Diatomeen wie *Actinocyclus ehrenbergi*, *Coscinodiscus radiatus*, *Achnanthes taeniata* und *Thalassiosira baltica* bestimmt.

Im Mai war auch in diesem Gebiet gewöhnlich die Blüte vorüber. Obwohl die Chlorophyllwerte noch relativ hoch waren, zeigte die Primärproduktion gegenüber dem Vormonat eine abnehmende Tendenz. Ursache für diese Abnahme ist die nunmehr erfolgte Verarmung der Deckschicht an Phosphat und Nitrat. Größenordnungsmäßig stimmen dabei unsere Werte mit denen von ROCHON (1968) überein. Er fand Ende April 1966 eine Primärproduktion von $0,266 \text{ g C/m}^2 \text{ Tag}$ und Mitte Mai 1966 nur noch $0,104 \text{ g C/m}^2 \text{ Tag}$. Wesentlich niedrigere Chlorophyllkonzentrationen stellten KREY und SZEKIELDA (1967) im Mai ($3,75 \text{ mg Chl/m}^2$) fest. Von geringen Unterschieden in einzelnen Jahren abgesehen, sollten hier vor allem methodische Unterschiede die Ursache sein.

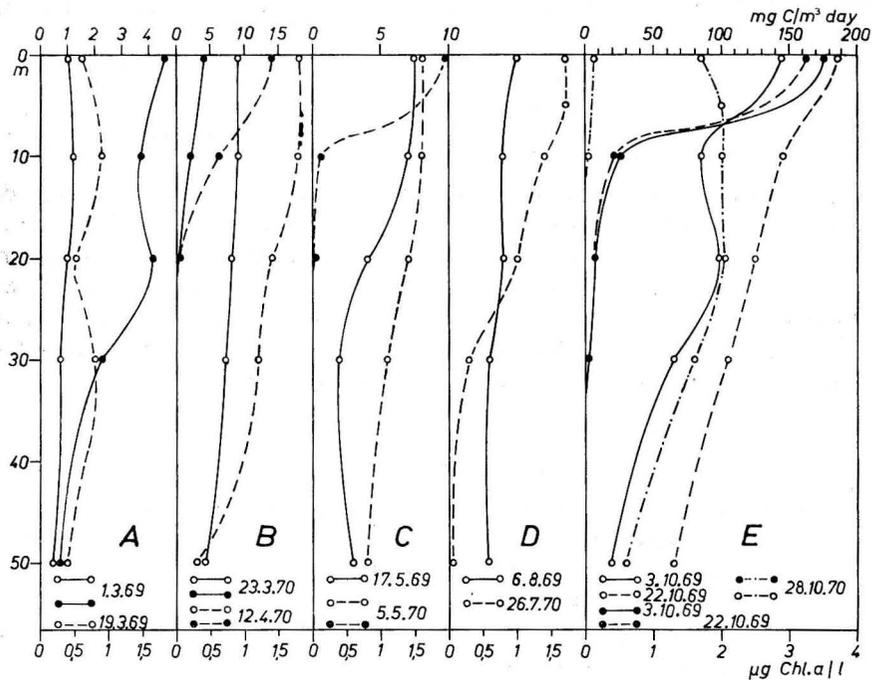


Abb. 3. Mittlere vertikale Verteilung von Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) in der Bornholmsee

Tabelle 2

Ergebnisse der produktionsbiologischen Untersuchungen in der Bornholmsee

Datum	Primärproduktion $\text{g C/m}^2 \text{ Tag}$	Chlorophyll a mg Chl/m^2	Gesamtchlorophyll mg Chl/m^2	Pi-Wert $\text{mg C/m}^2 \text{ h}$ mg G.Chl/m^2
1./2. 11. 67	—	105,5	192,0	—
20./21. 2. 68	—	9,5	14,0	—
2. 11. 68	—	28,5	53,0	—
1. 3. 69	0,144	17,5	22,5	0,57
16./17. 5. 69	—	43,3	51,0	—
5./6. 8. 69	—	36,0	92,5	—
3. 10. 69	1,246	75,0	180,5	0,57
21./22. 10. 69	1,103	117,0	379,5	0,24
13./14. 12. 69	0,262	44,5	126,5	0,20
23./24. 3. 70	0,049	26,0	100,0	0,04
12. 4. 70	0,152	62,0	140,5	0,08
5./6. 5. 70	0,062	62,8	93,0	0,04
25./26. 7. 70	—	40,1	46,5	—
28. 10. 70	0,062	77,8	114,1	0,04
12. 11. 70	0,065	63,8	92,0	0,06

Die artliche Zusammensetzung des Phytoplanktons wurde durch das stärkere Hervortreten der Diatomeen *Achnanthes taeniata* und *Thalassiosira baltica* und der Dinoflagellaten *Goniaulax catenata* und *Peridinium minusculum* gekennzeichnet. Daneben gewannen die Cyanophyceen, vor allem *Aphanizomenon flos-aquae* und *Coelosphaerium kützingianum*, an Bedeutung.

Im August hatte die Chlorophyllkonzentration gegenüber dem Mai weiter abgenommen (vgl. Tab. 2 und Abb. 3 D), doch lagen in Oberflächennähe häufig nennenswerte Chlorophyllmengen vor. Ähnliche Werte fand BANSE (1957). Nach WELLERHAUS (1964) kann man im Juli/August in der Bornholmsee sogar

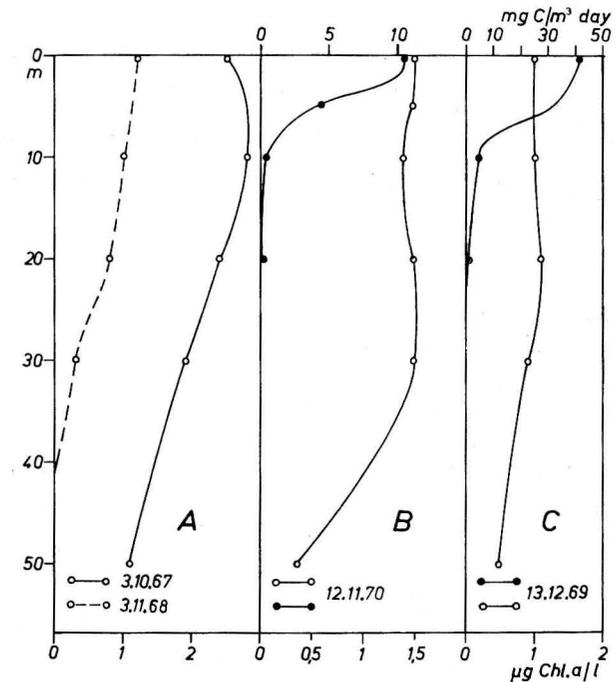


Abb. 4. Mittlere vertikale Verteilung von Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) in der Bornholmsee

mit einer erneuten Phytoplanktonblüte rechnen. Seine Werte liegen zwar unter unseren, doch deuten auch die Primärproduktionsmessungen von ROCHON (1968), jeweils aus dem Juli 1966 und 1967, mit 0,214 und 0,430 $\text{g C/m}^2 \text{ Tag}$, zumindest auf eine Erhöhung hin. Mit einer ausgesprochenen Massenentwicklung des Phytoplanktons ist jedoch kaum zu rechnen, da der Nährstoffnachschub normalerweise in dieser Jahreszeit nicht gewährleistet ist.

Die artliche Zusammensetzung des Phytoplanktons wurde im Sommer durch das Massenaufreten von Cyanophyceen, vor allem *Aphanizomenon flos-aquae* und *Coelosphaerium kützingianum*, gekennzeichnet. Dabei trat bei ruhigem

Wetter *Aphanizomenon* häufig in großflächigen Konzentrationen als „Oberflächenhäutchen“ auf.

Gegenüber den Werten aus den Sommermonaten war im September/Oktober eine beträchtliche Erhöhung der Chlorophyllkonzentrationen festzustellen. Danach hatte eine Herbstblüte stattgefunden. Die Primärproduktion erreichte im Herbst 1969 ungewöhnlich hohe Werte (vgl. Tab. 2 und Abb. 3 A u. E). Im Oktober 1970 wurden dagegen nur sehr geringe Produktionsraten gemessen. In Verbindung mit den noch relativ hohen Chlorophyllwerten kann geschlossen werden, daß der Höhepunkt der Blüte bereits vorüber war.

Im November/Dezember hat die Chlorophyllkonzentration gegenüber den Vormonaten abgenommen. Doch war sie gegenüber den Sommermonaten immer noch deutlich höher. Außerdem war die im Dezember 1969 gemessene Primärproduktion außergewöhnlich hoch (vgl. Abb. 4 C).

Für die hohen Herbstwerte 1969 scheinen neben einem reichlichen Nährstoffangebot, das vermutlich mit den großräumigen Umschichtungsprozessen in der Ostsee im Zusammenhang steht, auch günstige Lichtverhältnisse verantwortlich gewesen zu sein.

Gotlandsee

In diesem Abschnitt sind lediglich Messungen aus dem östlichen Teil der Gotlandsee zusammengefaßt. Aus der nördlichen und westlichen Gotlandsee lagen nur relativ wenig Werte vor, die eine Charakterisierung der Verhältnisse nicht zuließen. Wenn im folgenden von „Gotlandsee“ gesprochen wird, ist nur das östliche Becken gemeint.

Im März waren die Chlorophyllwerte sehr niedrig (Tab. 3). Dabei war das Pigment sehr gleichmäßig über die ganze Wassersäule verteilt (Abb. 5 A).

Tabelle 3

Ergebnisse der produktionsbiologischen Untersuchungen
in der östlichen Gotlandsee

Datum	Primärproduktion g C/m ² Tag	Chlorophyll a mg Chl/m ²	Gesamtchloroph. mg G.Chl/m ²	Pi-Wert mg C/m ² h mg G.Chl/m ²
3./8. 3. 69	0,146	15,0	18,0	0,79
18. 5. 69	—	48,0	59,0	—
7./8. 8. 69	—	59,0	87,5	—
5./11. 10. 69	0,628	61,5	133,5	0,42
1./3. 12. 69	0,117	32,0	44,0	0,25
10./12. 12. 69	0,113	25,0	44,0	0,25
26./28. 3. 70	0,035	30,5	108,5	0,02
3. 4. 70	0,065	36,5	110,5	0,05
17./19. 5. 70	0,206	88,6	199,0	0,09
18. 5. 70	0,412	153,9	282,0	0,12
27./28. 7. 70	—	46,4	61,0	—
6./8. 11. 70	0,049	75,9	117,5	0,03

Die geringen Chlorophyllkonzentrationen deuten bereits auf eine niedrige Primärproduktion hin. Im April ließ sich bei annähernd gleichen Chlorophyllwerten eine leichte Erhöhung der Primärproduktion nachweisen, die vermutlich mit der Verbesserung des Lichtklimas zusammenhängt.

In der artlichen Zusammensetzung des Phytoplanktons ergeben sich gegenüber der Bornholmsee keine deutlichen Unterschiede.

Im März dominierten auch hier die Diatomeen mit *Actinocyclus ehrenbergi* und *Achnanthes taeniata*. Die Cyanophyceen *Aphanizomenon flos-aquae* und *Coelosphaerium pusillum* waren ebenfalls schon zahlreich vertreten.

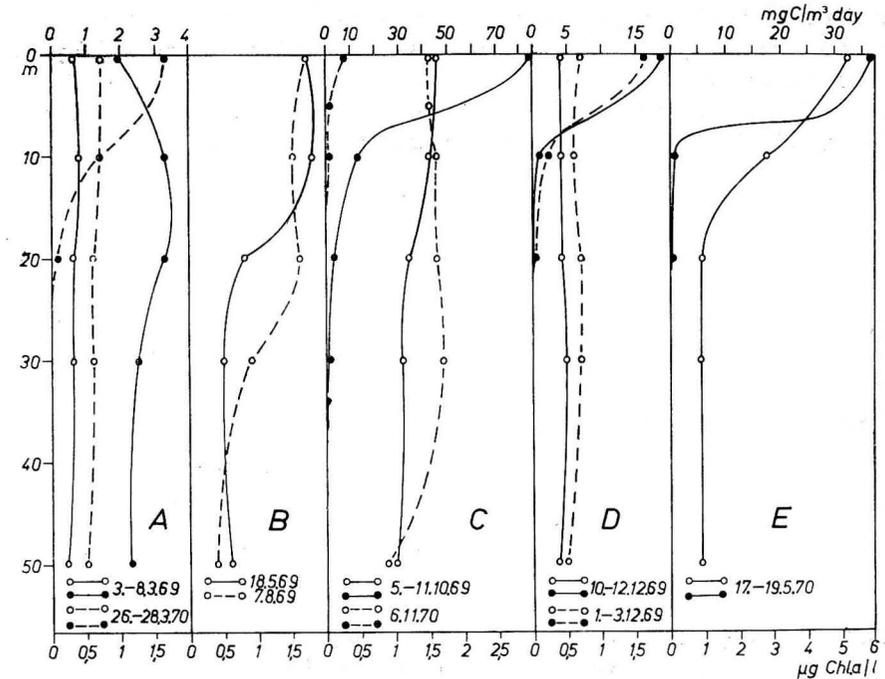


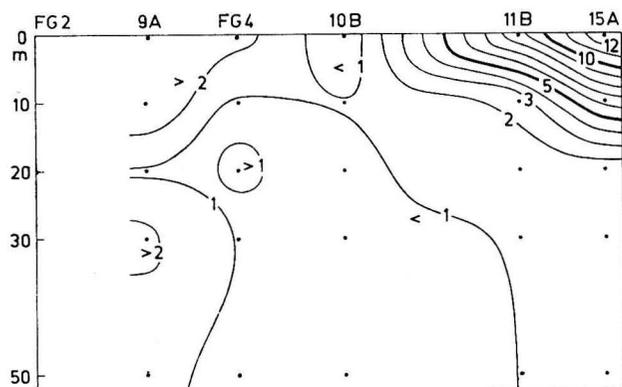
Abb. 5. Mittlere vertikale Verteilung von Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) in der Gotlandsee

Im Mai stiegen die Chlorophyllwerte gegenüber den Vormonaten deutlich an (vgl. Tab. 3). Dabei geben die dort aufgeführten Durchschnittswerte die Zunahme der Biomasse auf einzelnen Stationen nicht direkt wieder. Die Blüte setzt in der Gotlandsee nicht gleichzeitig ein, sondern beginnt im Südteil und setzt sich dann nach Norden fort. Anschaulich ist diese Entwicklung auf Abb. 6 verdeutlicht. Im Südteil war die Massenentwicklung des Phytoplanktons Mitte Mai 1970 bereits vorüber, während sie auf der Station BY 15-A offenbar gerade ihren Höhepunkt erreicht hatte. Dabei lag die Säulenkonzentration des Chlorophylls auf dieser Station mit 153,9 mg Chl a/m² wesentlich über dem

angegebenen Mittelwert. Dieser Wert stimmt gut mit Messungen überein, die NEHRING und Mitarb. (1967) in der östlichen Gotlandsee (Stat. 4 c) durchführten.

Die Mittelwerte für die Primärproduktion im Mai 1970 werden ebenfalls durch den charakteristischen Ablauf der Blüte im Gotlandbecken bestimmt. So lagen die Werte der Stationen BY 15 A und BY 19 B, auf denen die Phytoplanktonblüte beobachtet wurde, mit 0,412 g C/m² Tag weit über den Mittelwerten dieses Schnittes.

Neben den Diatomeen *Achnanthes taeniata*, *Chaetoceros spec.* und *Thalassiosira spec.* waren die Pyrrophyta mit den Arten *Gymnodinium spec.*, *Goniaulax catenata*, *Peridinium pellucidum* und *P. minusculum* an der Massenentwicklung beteiligt. Bedeutenden Anteil hatte auch *Aphanizomenon flos-aquae*. In den Sommermonaten gingen die Chlorophyllwerte gegenüber dem Mai deutlich zurück, waren aber trotzdem noch relativ hoch (vgl. Tab. 3). Dabei stimmen sie mit den Messungen von BANSE (1957) gut überein. Bestimmungen der Primärproduktion lagen aus dieser Jahreszeit nicht vor.



Chlorophyll-a µg/l „Prof. A. Penck“ 17.-19.5.1970

Abb. 6. Die Chlorophyllverteilung auf einem Nord-Süd-Schnitt durch das Gotlandbecken von Station BY 9 A bis BY 15 A

Im Oktober 1969 war der Chlorophyllgehalt nur unwesentlich höher als in den Sommermonaten. Trotzdem wurde eine beträchtliche Primärproduktion gemessen (s. Tab. 3), die sogar intensiver war als die im Mai, dem Monat der Frühjahrsblüte. Eine deutliche Erniedrigung der Produktivitätswerte wurde erst im Dezember festgestellt. Diese Abnahme stimmt mit der rückläufigen Tendenz der Chlorophyllwerte überein. Trotzdem ist ihre Höhe für die Jahreszeit noch überraschend hoch. Die Produktion war allerdings auf die oberen 10 m beschränkt (s. Abb. 5 D).

Im Herbst 1970 wurden erst im November Untersuchungen durchgeführt. Die Chlorophyllwerte waren zu diesem Zeitpunkt größer als im Oktober des Vorjahres. Die gemessene Primärproduktion erbrachte jedoch wesentlich

geringere Werte. Die Dezemberproduktion des Vorjahres war im Vergleich dazu größer. Offensichtlich war die Herbstblüte 1970 bereits vorüber. Die großen Unterschiede im zeitlichen Ablauf und in der Intensität der Herbstblüte der beiden Jahre hat offenbar mehrere Ursachen. Einmal war das Nährstoffangebot durch die Wasserumschichtung im Gotlandbecken im Herbst 1969 (NEHRING, FRANCKE, BROSIN, 1971) sehr günstig und andererseits scheinen auch die Lichtverhältnisse, zu dieser Jahreszeit meist der begrenzende Faktor, außergewöhnlich gut gewesen zu sein. Dieses Zusammentreffen günstiger Faktoren bewirkte eine ungewöhnlich produktive Herbstblüte, die sich offenbar bis in den Dezember hinein erstreckte.

Das Phytoplankton setzte sich im Herbst vor allem aus den Cyanophyceen *Aphanizomenon flos-aquae* und *Coelosphaerium pusillum* zusammen. Die Diatomeen waren unter anderen durch *Chaetoceros eibonii* vertreten. Beträchtliche Zahlen erreichte auch der Silicoflagellat *Ebria tripartita*. Zahlenmäßig übertroffen wurden alle jedoch von den µ-Algen, die wahrscheinlich für die hohe Produktion verantwortlich sind.

Die große Abundanz der Cyanophyceen ist von besonderem Interesse. Mit ihrem Vorhandensein ist eine Erklärungsmöglichkeit für den Ausgleich des N-Defizits gegeben (NEHRING, FRANZKE, BROSIN., 1971).

Finnischer Meerbusen

Die jahreszeitlich frühesten Untersuchungsergebnisse aus dem Gebiet des Finnischen Meerbusens wurden im Mai 1970 gewonnen. Die Chlorophyllkonzentrationen waren zu diesem Zeitpunkt recht hoch (s. Tab. 4). Untersuchungen eine Woche später ergaben bereits einen deutlichen Rückgang, der anzeigte, daß der Höhepunkt der Blüte bereits vorüber war (vgl. auch Abb. 7 C). Die

Tabelle 4

Ergebnisse der produktionsbiologischen Untersuchungen im Finnischen Meerbusen

Datum	Primärproduktion g C/m ² Tag	Chlorophyll a mg Chl/m ²	Gesamtchloroph. mg G.Chl/m ²	Pi-Wert mg C/m ² h mg G.Chl/m ²
15./16. 10. 69	2,497	100,0	195,0	1,06
4./6. 12. 69	0,153	32,5	60,0	0,25
9. 5. 70	0,207	114,8	222,2	0,07
16. 5. 70	—	76,6	174,4	—
3./4. 11. 70	0,062	50,0	78,2	0,07

während der Blüte gemessene Primärproduktion ist im Vergleich mit Werten von LEHMUSLUOTO (1967), der etwa 1,000 g C/m² Tag feststellte, gering.

Die dominierende Art im Phytoplankton war *Achnanthes taeniata*. Beträchtliche Zahlen erreichten ebenfalls *Chaetoceros holsaticus*, *Ch. wighamii*, *Skeletonema*

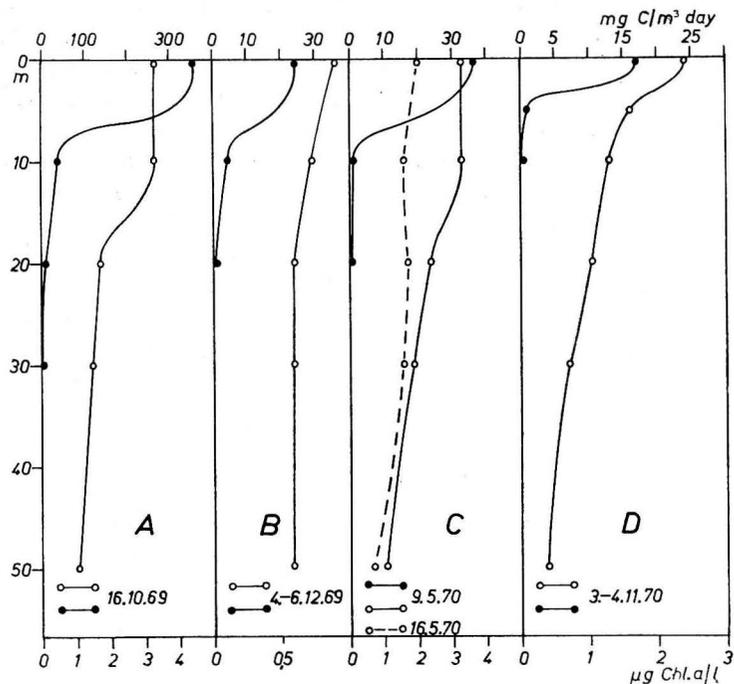
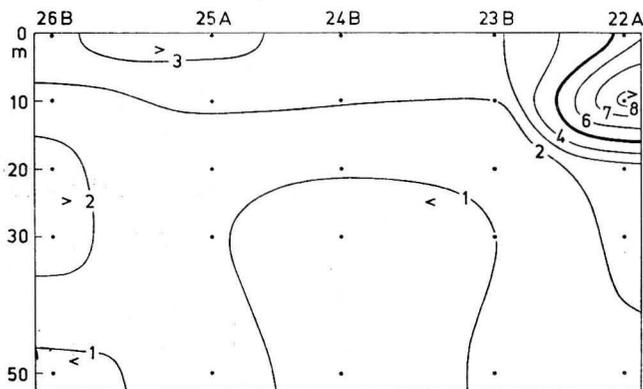


Abb. 7. Mittlere vertikale Verteilung der Primärproduktion (volle Kreise) und Chlorophyllgehalt (offene Kreise) im Finnischen Meerbusen



Chlorophyll-a µg/l „Prof. A. Penck“ 15.-16.10.1969

Abb. 8. Chlorophyllverteilung auf den BY-Stationen im Finnischen Meerbusen

costatum und der Dinoflagellat *Goniaulax catenata*. Dagegen waren die Cyanophyceen nur spärlich vertreten. Auch die Zahl der μ -Algen blieb weit unter der der Diatomeen.

Im Oktober 1969 waren bereits ähnlich hohe Chlorophyllkonzentrationen gemessen worden wie im Frühjahr 1970 (vgl. Tab. 4 und Abb. 7 C). Dabei war die Stat. BY 22 A, die am weitesten im Finnischen Meerbusen liegt, am produktivsten (s. Abb. 8). Die Messung der Primärproduktion ergab hier einen Wert von 2,497 g C/m² Tag. Eine derartig hohe Primärproduktion wurde in keinem bisher untersuchten Gebiet der Ostsee gefunden. Bemerkenswert ist vor allem, daß sich diese enorme Produktion in der Schicht bis 10 m Tiefe abspielte (s. Abb. 7 A).

In der Oberflächenschicht erreichten die μ -Algen gewaltige Zahlen. Auf sie geht wahrscheinlich die Produktion zurück. Bei dem größeren Phytoplankton dominierten die Cyanophyceen *Aphanizomenon flos-aquae* und *Coelosphaerium pusillum*. Diatomeen und Dinoflagellaten traten stark zurück.

Im Dezember 1969 waren der Chlorophyllgehalt und die Primärproduktion gegenüber Oktober stark abgefallen (vgl. Tab. 4). In der artlichen Zusammensetzung ergaben sich bei den dominierenden Arten keine Unterschiede. Lediglich die Abundanzen waren wesentlich geringer geworden. Ein Vergleich mit dem Herbst 1970 ist nur bedingt möglich, da Ergebnisse lediglich aus dem November vorliegen (s. Tab. 4 und Abb. 7 A, B, C). Bei höherem Chlorophyllgehalt war dabei die Primärproduktion noch geringer als im Dezember des Vorjahres. Es erscheint deshalb unwahrscheinlich, daß 1970 eine Herbstblüte von der gleichen Intensität wie 1969 stattgefunden hat. LEHMUSLUOTO (1967) fand im Finnischen Meerbusen im August/September eine Primärproduktion von 0,250 g C/m² Tag. Im Herbst 1969 scheinen ähnlich wie im Gotlandbecken im Zusammenhang mit der Wasserumschichtung und unter günstigem Lichtklima Bedingungen geherrscht zu haben, die diese ungewöhnlich hohe Produktion bis spät in den Herbst bewirkten.

Diskussion

Die Ostsee ist durch die besonderen Ein- und Ausstromverhältnisse und die uneinheitliche Gestaltung des Meeresgrundes hydrographisch gegliedert. Arkona-Bornholm-, Gotlandsee (östliches, nördliches und westliches Becken) und Finnischer Meerbusen unterscheiden sich im jährlichen Temperaturgang, im Salzgehalt, in der Stabilität der Salzgehaltssprungschicht, im vertikalen Austauschgeschehen und z. T. im Gehalt an Mikronährstoffen recht deutlich voneinander. Unterschiede ergeben sich damit auch in der Lebewelt und in den biologischen Prozessen, die in Abhängigkeit von der Umwelt ablaufen.

Die Frühjahrsblüte des Phytoplanktons beginnt nicht in allen Teilen der Ostsee gleichzeitig. Im Arkonabecken setzt sie im März ein. Dabei können hier Verzögerungen von 2–3 Wochen auftreten. Es sei an den unterschiedlichen Beginn der Massenproduktion des Phytoplanktons in den Jahren 1969 und 1970

erinnert. Da bei dem verzögerten Beginn 1969 die von CUSHING (1969) angegebenen Kriterien für das Einsetzen einer Blüte erfüllt waren (haline Stabilisierung, ausreichendes Nährstoff- und Lichtangebot), muß es offensichtlich zu einer Hemmung der pflanzlichen Produktion durch bisher unbekannte Faktoren gekommen sein. Dazu könnte eine stärkere windbedingte Turbulenz der Wasserschicht oberhalb der Sprungschicht gerechnet werden. Andererseits wäre es auch möglich, daß mit den Mikronährstoffen, die durch die Wasserschichtung nach dem Salzwassereintrich im Arkona- und Bornholmbecken in die euphote Schicht gelangten, auch andere Substanzen reaktiviert wurden, die die Entfaltung der Blüte hemmten, so daß sie erst im April mit großer Intensität einsetzte. Im Jahre 1970 fand dann die Blüte trotz ungünstigerer Lichtverhältnisse im März statt. Sie erreichte vor dem Untersuchungstermin (21. 3.) bereits ihren Höhepunkt und die Produktion zeigte nach unseren Werten eine fallende Tendenz, ohne daß die Nährstoffe ins Minimum gerieten. Dabei erstreckte sich die Frühjahrsproduktion in diesem Jahr etwa über zwei Monate, während sie 1969 nur etwa einen Monat gedauert hat. Die Blüte scheint somit auch 1970 keinen normalen Verlauf genommen zu haben, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die Massenentwicklung des Phytoplanktons durch die Aufzehrung der Mikronährstoffe begrenzt wird. Es verwundert nicht, daß gerade im Arkonabecken, in dem ein besonders wechselhaftes hydrographisches Gefüge herrscht, diese Variationen auftreten.

In der Bornholmsee setzte die Blüte im April, 2–3 Wochen nach der Massenproduktion im Arkonabecken, ein. Hier stimmen unsere Ergebnisse mit denen von WELLERHAUS (1964) überein.

Im Mai erfolgt dann die Frühjahrsblüte im Gotlandbecken, im Finnischen und im Bottnischen Meerbusen (NEHRING und Mitarb., 1969).

Als limitierender Faktor ist in der Ostsee im Frühjahr eindeutig das Nährstoffangebot zu bezeichnen. Ob nun Nitrat oder Phosphat zuerst ins Minimum gerät, kann nicht generell gesagt werden. FONSELIUS (1969) gibt das Phosphat als begrenzenden Faktor an, während das Stickstoffdefizit vor allem in den Sommermonaten durch stickstoffbindende Cyanophyceen ausgeglichen wird.

Nach dem von NEHRING und Mitarb. (1969) nachgewiesenen anomalen N:P-Verhältnis vor allem im Tiefenwasser der Ostsee ist es jedoch wahrscheinlich, daß das Nitrat zunächst ins Minimum gerät und Phosphat übrigbleibt. Mit dem Ausgleich von Nitrat durch die Cyanophyceen, besonders im Sommer, könnte es dann zu einer Erhöhung der Produktion (WELLERHAUS, 1964; ROCHON, 1968) gegenüber den Maiwerten kommen. Schwach erhöhte Nitratwerte an der Oberfläche im Bornholmbecken im Sommer deuten darauf hin. Zu dieser Jahreszeit ist wegen der Ausbildung der Temperatursprungschicht mit keinem Nachschub von Nitrat aus dem Tiefenwasser zu rechnen. Sicher sind dabei aber Variationen von Jahr zu Jahr und von Gebiet zu Gebiet möglich.

In den Jahren 1969 und 1970 konnte von uns in allen Gebieten der Ostsee eine Herbstblüte nachgewiesen werden. Besonders 1969 wurden hohe Produktionsraten gemessen. Dabei steht diese Erscheinung im Gotlandbecken und

im Finnischen Meerbusen sicher mit der zu dieser Zeit abgelaufenen Umschichtung des Tiefenwassers im Zusammenhang. Durch den Salzwassereintrich (NEHRING u. FRANCKE, 1971) gelangten mit dem Tiefenwasser beträchtliche Mengen an reaktivierten Mikronährstoffen in die euphote Schicht, die eine ungewöhnlich hohe Produktion bis spät in den Herbst bewirkten. Durch den Einstrom frischer Wassermassen in das östliche Gotlandbecken wurden auch größere Mengen schwefelwasserstoffhaltigen nährstoffreichen Tiefenwassers in den Finnischen Meerbusen gedrückt. Nach dem Fahrtbericht des dänischen Forschungsschiffes „Dana“ war im August 1969 auf allen Stationen westlich Hoglands H_2S im Tiefenwasser nachweisbar (vgl. auch FONSELIUS, 1970).

Im Oktober stellten wir bei unseren Untersuchungen fest, daß das H_2S aufoxidiert und der Austausch vonstatten gegangen war. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine ungewöhnlich hohe Primärproduktion auf der Stat. BY 22 A gemessen. Diese große Produktion wurde sicher vorrangig durch die günstigen Nährstoffverhältnisse in Verbindung mit dem noch ausreichenden Lichtangebot verursacht. Inwieweit auch das mit Mikronährstoffen belastete Newawasser auf die Produktionshöhe Einfluß genommen hat, kann nicht entschieden werden.

Im Arkona- und Bornholmbecken war die Umschichtung bereits vorüber und Auswirkungen auf die Herbstblüte sind nur bedingt anzunehmen. Mit der Auflösung der thermischen Sprungschicht können die in dem kalten Zwischenwasser angereicherten Mikronährstoffe zum Austausch gelangen und eine Erhöhung der Produktion bewirken.

Im Jahre 1970 war die Herbstblüte viel schwächer und offenbar kürzer als im Jahre 1969. Sie war außerdem durch den späten Untersuchungstermin mittels der ^{14}C -Methode nicht mehr eindeutig nachweisbar. Nur die relativ hohen Chlorophyllkonzentrationen deuten noch auf eine abgelaufene Blüte hin. Offensichtlich waren im Herbst 1970 nicht nur die Nährstoffverhältnisse schlechter als im Vorjahr, sondern auch das Lichtangebot geringer.

Betrachtet man die aus unseren Ergebnissen zusammengestellten Daten für die Jahresprimärproduktion, so wird das verdeutlicht:

Tabelle 5
Jahresprimärproduktion
einzelner Ostseegebiete
Angaben jeweils in $g C/m^2$ Jahr

	1969	1970
Arkonasee	94,0	46,5
Bornholmsee	138,0	59,0
Gotlandsee	69,4	35,0

Bemerkenswert ist der Unterschied zwischen den beiden Jahren. Während die Primärproduktion für das Jahr 1969 sicher im Vergleich zu einem „Normaljahr“ zu hoch ist, stellt sich die Frage, ob die Werte von 1970 demgegenüber nicht zu klein sind.

Abgesehen von den Änderungen von Jahr zu Jahr sowohl für das Einsetzen der Blüten in den einzelnen Gebieten der Ostsee als auch ihrer Produktivität, scheint das Jahr 1970 unterbewertet zu sein. Besonders deutlich wird das am Verlauf und der Produktion während der Frühjahrsblüten 1969 und 1970 im Arkonabecken.

Nach den relativ wenigen Meßwerten aus dem Gebiet und über das Jahr ist bei derartig komplexen Vorgängen wie der Primärproduktion eine Abschätzung problematisch. Tägliche Schwankungen im Lichtangebot, horizontale Verschiebungen von Wasserkörpern, „wolkenförmige“ Verteilung des Phytoplanktons usw. können Veränderungen bewirken, die zu deutlichen Fehlinterpretationen führen können. Zu entsprechenden Fehlern kann es natürlich auch kommen, wenn die Messungen nicht zum Zeitpunkt der Blüte erfolgten oder die Meßwerte überbewertet werden. So wurde z. B. ganz offensichtlich die Herbstblüte 1970 in der Gotlandsee, die sich nur noch nach den relativ hohen Chlorophyllkonzentrationen andeutete, von uns nicht erfaßt. Das Bild der Jahresproduktion wird aber im wesentlichen von der Höhe der Produktion während der Blüten bestimmt. Fallen diese Werte aus, muß es zwangsläufig zu einer Unterbewertung kommen.

Zur Beurteilung der Primärerzeugung organischer Substanzen in den beiden Jahren kann man sicher auch die Biomassewerte der Sekundärproduzenten mit heranziehen. Dabei muß allerdings vermerkt werden, daß es sich nicht um echte Produktionswerte wie bei der Primärproduktion handelt, sondern lediglich um „standing-crop“-Bestimmungen. Bewußt sind hier nur die Oktoberwerte der Gebiete aufgeführt worden, weil gerade die Primärproduktion im Herbst beider Jahre die Hebung bzw. Senkung der Jahreswerte bewirkte.

Tabelle 6
Mittelwerte der Zooplanktonbiomasse
einzelner Ostseegebiete
Angaben jeweils in g/m²

	Okt. 1969	Okt./Nov. 1970
Arkonasee	44,4	36,4
Bornholmsee	42,5	52,4
Gotlandsee	57,7	61,6

Wie die Werte in der Tabelle zeigen, sind bis auf die Arkonasee die gefundenen Zooplanktonbiomassen im Herbst 1970 sogar größer als im von der Primärproduktion her produktiveren Vorjahr. Da sich der Zooplanktonbestand ja ausschließlich von Phytoplankton bzw. Detritus ernährt, kann man annehmen, daß die Ernährungsgrundlage in beiden Jahren zumindest annähernd gleich war. Sicher muß man mit in Betracht ziehen, daß durch die ungewöhnlichen Produktionsraten im Herbst 1969 das Aufkommen des Zooplanktons 1970 durch günstigere Reproduktionsverhältnisse beeinflusst wurde. Doch mußte dieser stärkere Bestand auch Nahrung finden. Es kann natürlich auch möglich sein,

daß der Zooplanktonbestand 1969 wegen der fortgeschrittenen Jahreszeit nicht mehr wesentlich durch die Herbstblüte beeinflusst wurde. Vergleicht man jedoch unsere Zooplanktonwerte mit denen von MANKOWSKI und Mitarb. (1959), die die südliche Ostsee (Arkonabecken, Bornholmbecken und Danziger Tief) untersuchten, und denen von NIKOLAJEV, APINE und KRIEVS (1961), die das Gotlandbecken bearbeiteten, so sind unsere Meßergebnisse wesentlich höher. Das läßt den Schluß zu, daß sich die Sekundärproduktion vergrößert hat. Inwieweit hier bereits Effekte der bereits angedeuteten Eutrophierung der Ostsee mit hineinspielen, kann nicht gesagt werden.

Unter der Voraussetzung, daß die Herbstwerte 1969 zu hoch und die von 1970 sicher zu niedrig sind, mußte die Jahresproduktion der bearbeiteten Ostseeregionen wie folgt eingeschätzt werden:

Arkonasee	65,0 g C/m ² Jahr
Bornholmsee	63,2 g C/m ² Jahr
Gotlandsee	37,89 g C/m ² Jahr
Finnischer Meerbusen	45,0 g C/m ² Jahr

Da die täglichen Raten für einige Monate in Ermangelung an Werten geschätzt wurden, kann man mit Abweichungen von $\pm 10-15$ g C/m² Jahr rechnen.

Die angegebenen Zahlen zeigen noch einmal sehr deutlich, wie unterschiedlich die einzelnen Regionen auch in ihrer Produktivität sind. Angedeutet wurden diese Unterschiede bereits durch den aufeinanderfolgenden Beginn der Frühjahrsblüten in den einzelnen Gebieten der Ostsee, ihre unterschiedliche Dauer und Stärke. Mit dieser Tatsache ändert sich ja auch die Länge der Vegetationsperiode.

Es ist deshalb sicher nicht berechtigt, mit einem Durchschnittswert für die gesamte Ostsee zu arbeiten, wie KÄNDLER (1962) dies tut.

Bisher fanden in die Literatur Werte über die Produktivität der Ostsee Eingang, die auf STEEMANN-NIELSEN (1964) zurückgingen. Er berechnete nach Untersuchungen mit der ¹⁴C-Methode für das Kattegat 67 g C/m² Jahr. Dieser Wert wurde auf die Ostsee übertragen, da bisher aus dem Gebiet keine Untersuchungen vorlagen. Lediglich für die Kieler Bucht (GILLBRICHT, 1952a) und die Rügenschens Boddengewässer (HÜBEL, 1965, 1968) sind Meßwerte für die Primärproduktion bekannt. Beide Untersuchungsgebiete sind aber nicht mit der Ostsee vergleichbar. Der von STEEMANN-NIELSEN (1964) für das Kattegat angegebene Wert stimmt mit unserer Abschätzung für das Arkona- und Bornholmbecken etwa überein. Von gleicher Größe ist auch die Primärproduktion in der Norwegischen Rinne (NEHRING und Mitarb.). Niedriger ist allerdings die Produktivität der Gotlandsee und des Finnischen Meerbusens.

Nach der Einteilung von WINBERG (1961) müßte man die Ostsee (ohne die küstennahen Teile) zu den Gewässern des Typs III (35–70 g C/m² Jahr) rechnen. WINBERG charakterisierte diesen Typ als solche Meere, in denen die hydrographischen Bedingungen eine konvektive Vollzirkulation nicht zulassen, was für die Ostsee infolge stabiler Salzgehaltsschichtung zutrifft.

Wenn an dieser Stelle der Versuch unternommen wird, die Produktion des Phytoplanktons in der Ostsee zu bilanzieren, so muß auf die Fehlermöglichkeiten hingewiesen werden. Zunächst geht die Abschätzung — nur so kann man sie bezeichnen — auf ein in Stichproben gewonnenes Zahlenmaterial zurück. Hinzu kommt, daß die Anzahl der Stationen im Vergleich zu der Größe des Gebiets, das sie repräsentieren, sehr gering ist. Die Erhebung bezieht sich entsprechend der Lage der Stationen auf die freie Ostsee und beinhaltet nicht die stärker eutrophierten und produktiveren Küstengewässer. Da die Ostsee im Verhältnis zur Fläche eine lange Küste hat, man denke vor allem an die stark aufgliederten skandinavischen Schären, ist der Anteil dieser Gebiete an der Gesamtproduktion sicher erheblich.

Man kann jedoch annehmen, daß der bedeutendste Teil der Gesamtproduktion in dieser Abschätzung erfaßt wird. Unberücksichtigt bleiben dabei die Produktion des Periphytons und der Macrophyten und die Assimilation von Kohlenstoff auf dem Wege der Chemosynthese, z. B. durch Bakterien in den tieferen Wasserschichten.

Trotz dieser Unsicherheiten basiert die im folgenden vorgelegte Abschätzung erstmalig auf verhältnismäßig umfangreichen Meßwerten und ist nach mehreren Seiten (Mikronährstoffuntersuchungen, Biomasse des Phyto- und Zooplanktons) abgesichert. Sie stellt also einen auf realer Grundlage basierenden Versuch dar, das Produktionspotential des Phytoplanktons zu bilanzieren.

Nach den für die einzelnen Gebiete der Ostsee berechneten Durchschnittswerten 1969/70 ergibt sich für die Ostsee eine Jahresproduktion des Phytoplanktons von 10,43 Mio t Kohlenstoff. Davon entfallen auf die Arkona- und Bornholmsee 33,18%, auf die Gotlandsee 53,88% und auf den Finnischen Meerbusen 12,94%. Zugrunde gelegt wurden für diese Berechnungen die bei BROGMUS (1952) veröffentlichten Angaben über die Größe der einzelnen Seegebiete sowie die produktive Wasserschicht von 0–50 m Tiefe für alle Ostseeregionen. Diese 10,43 Mio t assimilierten Kohlenstoffs entsprechen 52,14 Mio t Phytoplankton (Trockengewicht). Umrechnungsfaktor nach HAGMEIER (1961) und LEVRING u. Mitarb. (1969).

NEHRING und FRANCKE (1971) unterscheiden zwischen „günstigen“ und „ungünstigen“ Salzwassereintrüben. Große Bedeutung gewinnen dabei die reaktivierten Nährstoffmengen, die in die euphote Schicht gelangen und selbst zu vorgeschrittener Jahreszeit noch eine ungewöhnlich hohe organische Produktion verursachen können. So wurden allein im Oktober 1969 in der Ostsee durch das Phytoplankton 14,6 Mio t Kohlenstoff assimiliert (ca. 48 Mio t organische Trockensubstanz oder 77 Mio t Trockengewicht des Phytoplanktons). Davon entfallen auf die Arkona- und Bornholmsee etwa 25% (3,6 Mio t), auf die Gotlandsee etwa 70% (10,2 Mio t) und der Rest auf den westlichen Teil des Finnischen Meerbusens. Es sei nochmals daran erinnert, daß gerade in den beiden letztgenannten Teilgebieten der Ostsee im Herbst der Auftrieb nährstoffreichen Wassers festgestellt wurde.

Die Primärproduktion erreichte unter den günstigen Bedingungen in diesem Monat also etwa das 1,5fache der durchschnittlichen Jahresproduktion. Nun war wegen der vorgeschrittenen Jahreszeit sicher nicht mehr zu erwarten, daß dieses gewaltige Nahrungsangebot noch vom Zooplankton trotz der relativ hohen Dichte voll zu nutzen war. Immerhin zeigen diese Überlegungen, welche gewaltige Produktionssteigerung infolge eines Salzwassereintrübens eintreten kann.

Ein Vergleich der aus der reaktivierten Phosphatmenge berechneten organischen Trockensubstanz (NEHRING u. FRANCKE, 1971) mit der nach der Primärproduktion geschätzten Menge erbringt deutliche Unterschiede. Bei der Berechnung aus den Nährstoffwerten wurde bereits vorausgesetzt, daß ein beträchtliches N-Defizit ausgeglichen wird. Nicht berücksichtigt wurde jedoch, daß die im turnover freiwerdenden und in der euphoten Schicht verbleibenden Nährstoffe ja erneut zur Wirkung kommen. Daher müssen die aus den reaktivierten Nährstoffmengen berechneten Werte zu niedrig ausfallen. Sie stellen das Minimum der möglichen Produktion bei einmaligem Nährstoffumsatz dar. Daß trotz der fortgeschrittenen Jahreszeit noch ein nennenswerter turnover stattfinden kann, zeigen die hohen Zooplanktonwerte in Tab. 6.

Mit den biologischen Untersuchungen während des Ostseejahres sollte u. a. gerade auf produktionsbiologischem Gebiet eine bisher für den Ostseeraum fehlende Bezugsbasis für spätere Beobachtungen erstellt werden. Durch die zunehmende Einleitung organisch belasteter Abwässer muß mit einer Eutrophierung der Ostsee gerechnet werden, die aber nur über einen längeren Zeitraum und an Hand sicherer Bezugswerte nachzuweisen ist. Dieses Ziel der Untersuchungen konnte nicht erreicht werden. Einmal, weil die Beteiligung der Ostseeanliegerstaaten am biologischen Programm unzureichend war, zum anderen, weil mit dem Salzwassereintrüben eine „Ausnahmesituation“ entstand, die offenbar stark vom „Normalzustand“ abwich. Mit den Untersuchungen während des IBY gelang uns jedoch erstmals der Nachweis, wie sich der Austausch des nährstoffreichen Tiefenwassers auf die Steigerung der organischen Produktion in einem Meeresgebiet auswirkt.

Literatur

- [1] BANSE, K., Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnitts durch die Ostsee im Sommer 1956. II. Verteilung von Sauerstoff, Phosphat und suspendierter Substanz. Kiel. Meeresforsch. **13** (1957), S. 186–201.
- [2] BROGMUS, W., Eine Revision des Wasserhaushaltes der Ostsee. Kiel. Meeresforsch. **9** (1952), S. 15–42.
- [3] CUSHING, D. H., Upwelling and fish production. FAO Fish. Techn. Paper, No. 84, Rom (1969).
- [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., Stagnant Sea. Environment **12** (1970), S. 2–11 und 40–48.
- [6] FONSELIUS, S. H. und RATTANASEN, CH., On the water renewals in the Eastern Gotland basin after World War II. Meddelands Havsfiskelab. Lysekil **90** (1970), 11 S.

- [7] FONSELIUS, S. H., On the stagnation and recent turnover of the water in the Baltic. *Tellus* **22** (1970), S. 535–544.
- [8] GILLBRICHT, M., Untersuchungen zur Produktionsbiologie des Planktons in der Kieler Bucht. II. Die zeitliche und räumliche Verteilung des Planktons und die quantitativen Beziehungen zwischen Plankton-, Chlorophyll- und Sestonbestimmungen. *Kiel. Meeresforsch.* **8** (1952a), S. 173–191.
- [9] GRØNTVED, J., Planktonbiological Contribution. III. Investigations on the phytoplankton and the primary production in an Oyster culture in the Limfjord. *Medd. Danm. Fisk.-og Havunders.*, N.S. **2** (1958), No. 17, S. 1–15.
- [10] GRØNTVED, J., On the productivity of microbenthos and phytoplankton in some Danish Fjords. *Medd. Danm. Fisk.- og Havunders.*, N.S. **3** (1960), No. 3, S. 55–92.
- [11] HAGMEIER, E., Plankton-Äquivalente. *Kiel. Meeresforsch.* **17** (1961), S. 32–47.
- [12] HÜBEL, H., Die ¹⁴C-Methode zur Bestimmung der Primärproduktion des Phytoplanktons. *Limnologia* **4** (1966), S. 267–280.
- [13] HÜBEL, H., Die Bestimmung der Primärproduktion des Phytoplanktons der Nord-Rügenschens Boddengewässer unter Verwendung der Radiokohlenstoffmethode. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **53** (1968), S. 601–633.
- [14] KÄNDLER, R., Die Fischereierträge der Meere als Ausdruck ihrer unterschiedlichen Produktionsleistungen. *Kiel. Meeresforsch.* **18** (1962), S. 121–127 (Sonderh.).
- [15] KREY, J. und SZEKIELDA, K.-H., Gesamtkohlenstoff und Mikrobiomasse in der Ostsee im Mai 1962. *Kiel. Meeresforsch.* **22** (1967), S. 64–69.
- [16] LEHMUSLUOTO, P. O., Kasviplanktonin perustutustantte Helsingin edustan merialueella. *Limnologisymposium 1967, Finnland*, S. 31–42.
- [17] LEVRING, T., HOPPE, H. und SCHMID, O. J., Marine algae. A survey of research and utilization. Hamburg 1969.
- [18] MANKOWSKI, W. und Mitarb., Preliminary studies on the plankton production in the Southern Baltic. *Prace MIR w Gdyni* **10** (a) (1959), S. 131–161.
- [19] NEHRING, D., SCHULZ, S. und RODHE, K.-H., Untersuchungen über die Produktivität der Ostsee. I. Chemisch-biologische Untersuchungen in der mittleren Ostsee und in der Bottensee im April/Mai 1967. *Beiträge Meeresk.*, H. **23** (1968), S. 5–36.
- [20] NEHRING, D., FRANCKE, E. und BROSIN, H.-J., Beobachtungen über die ozanologischen Veränderungen im Gotlandtief während der Wasserumschichtung im Oktober 1969. *Beiträge Meeresk.*, H. **28** (1971), S. 75–82.
- [21] NEHRING, D. und FRANCKE, E., Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70. *Fischerei-Forschung, Rostock* **9** (1971), S. 35–42.
- [22] NIKOLAJEW, I. I., APINE, S. O. und KRIEVS, N. K., Quantitative characteristics of the zooplankton on the Central Baltic and the Gulf of Riga. *Ann. Biol.* **18** (1961), S. 76 bis 78.
- [23] ROCHON, T., On primary production in the southern Baltic (1966–1967). II. From the Arkona Deep to the Bay of Gdansk. *Intern. Council for the Explor. Sea, C. M.* 1968/L: 10.
- [24] RODHE, W., Primärproduktion und Seetypen. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **13** (1958), S. 121–141.
- [25] RODHE, W., VOLLENWEIDER, R. A. und NAUWERK, A., The primary production and standing crop of phytoplankton. *Perspectives in Marine Biology, Univ. Calif. Press* (1960), S. 299–322.
- [26] UNESCO, Monographs on oceanographic methodology. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. UNESCO 1966, 69 S.
- [27] UNESCO, Report of a meeting of the joint group of experts on radiocarbon estimation of primary production. UNESCO technical papers in marine science, No. 6 (1967).

- [28] WELLERHAUS, S., Die Schichtungsverhältnisse im Pelagial des Bornholmbeckens. *Kiel. Meeresforsch.* **20** (1964), S. 148–156.
- [29] WINBERG, G. G., Der gegenwärtige Stand und die Aufgaben bei der Erforschung der Primärproduktion der Gewässer. *Pervichnaya Produktsiia Morei Wnutrennich Wod.* (1961), S. 11–24, Minsk.

Abschluß der Arbeit: Mai 1971

Anschrift der Verfasser:

Dr. W. KAISER und Dr. S. SCHULZ, Institut für Meereskunde der AdW, DDR-253 Rostock-Warnemünde

Biologische Untersuchungen
während des Internationalen Ostseejahres
(International Baltic Year, IBY) 1969/70

III. Das Zooplankton

VON ERNST ALBERT ARNDT und HARTMUT STEIN

Zusammenfassung: Im Rahmen des Internationalen Ostseejahres (IBY) 1969/70 wurden auf dem FS „Professor Albrecht Penck“ an Stationen in der Arkona-, Bornholm- und Gotlandsee sowie im Finnischen Meerbusen Zooplankton-Proben mit dem UNESCO-Standardnetz W.P.2 entnommen und qualitativ und quantitativ ausgewertet. Die Copepoden sind die mit Abstand bedeutendste Gruppe. *Acartia bifilosa* ist die wichtigste Art in der Arkonasee, *Pseudocalanus minutus elongatus* und *Temora longicornis* dominieren in der Zentralen Ostsee, und *Acartia bifilosa* und *Eurytemora* spec. kommt im Finnischen Meerbusen große Bedeutung zu. Die Zooplankton-Biomassewerte variieren sehr stark. Im Vergleich zu den Werten anderer Autoren aus früheren Jahren sind die ermittelten Werte deutlich größer.

Einleitung

Im Januar 1969 wurde das Internationale Ostseejahr (International Baltic Year IBY 1969—70) gestartet. Im Rahmen dieses gemeinsamen Projekts von UdSSR, VR Polen, Finnland, Schweden, BRD und DDR erfolgte die Messung zahlreicher physikalischer, chemischer und biologischer Parameter. Die umfassende ganzjährige Untersuchung sollte unsere Kenntnisse über den Energiefluß und die biogeochemischen Zyklen im Ökosystem Ostsee wesentlich erweitern und so Fragen im Zusammenhang mit der Millieuverschlechterung und der Eutrophierung in diesem besonders belasteten Meeresgebiet beantworten helfen. In der vorliegenden Arbeit ist das Zooplanktonmaterial von 4 Terminfahrten des FS „Professor Albrecht Penck“, die im Rahmen des IBY stattfanden, ausgewertet worden. Organisatorische Schwierigkeiten und gewisse Mängel bei der methodischen Vorbereitung führten dazu, daß das gesamte Zooplanktonmaterial des IBY von den verschiedenen Ländern nicht, wie vorgesehen, zentral von den schwedischen Kollegen bearbeitet werden konnte und leider auch die Proben mit verschiedenen Netztypen und -maschenweiten entnommen wurden. Wir haben uns bemüht, das uns vom IfM Warnemünde zur Verfügung gestellte Material so intensiv und exakt wie möglich auszuwerten. Wir hoffen, daß die Ergebnisse bei der notwendigen Gesamtanalyse des Zooplanktons während des IBY berücksichtigt werden können.

Die in der Darstellung benutzten Stationsbezeichnungen sind an anderer Stelle erläutert worden (s. S. 6).

1. Methodik

Die gegenwärtig bestehenden verschiedenen Zooplanktonfangmethoden erschweren einen direkten Vergleich der Ergebnisse sehr stark. Eine von der UNESCO gebildete internationale Arbeitsgruppe befaßte sich mit der Standardisierung der Fangmethoden. Das von ihr entwickelte Standardnetz II, ein abgewandeltes NANSEN-Schließnetz von zylindrisch-konischer Bauart, wurde bei den Zooplanktonfängen des Internationalen Ostseejahres eingesetzt (FRAZER, 1968). Das Netz hat einen Mündungsdurchmesser von 57 cm, der Mündungsumfang umspannt dabei eine Fläche von 0,25 m². Die Maschenweite beträgt 180 µm (0,18 mm). Bei der Probengewinnung wurde das Netz vertikal durch das Wasser gezogen. Dabei wurde die Wassersäule in die Vertikalstufen 0–25 m, 25–50 m, 50–100 m, 100–150 m, 150–200 m, 200–300 m, 300–400 m und 400–450 m geteilt. Die Planktonproben jeder Tiefenstufe wurden in 4%-igem Formalin konserviert. Die Auswertung der Proben geschah auf folgende Weise:

Nach Bestimmung des Absetzvolumens — die Ablesung erfolgte nach 24 Stunden — wurde die Probe in einen Rundkolben gebracht und ihr Volumen auf 50 bzw. 100 cm³ eingengt. Nachdem sich der Probeninhalt durch Aufwirbeln gleichmäßig verteilt hatte, wurde mittels einer HENSENSCHEN-Stempelpipette eine Teilprobe von 1 cm³ Volumen entnommen und ausgezählt. Um Zählwerte von möglichst großer Genauigkeit zu erhalten, waren je Probe mindestens 400–500 Individuen auszuzählen, hierzu war oft die Entnahme mehrerer Teilproben erforderlich. Proben von geringem Absetzvolumen (0,1–0,3 mm³) wurden vollständig ausgezählt. Nach Bearbeitung der Teilprobe wurde die Restprobe durchgesehen, um weniger häufige Arten, die sich nicht in der Teilprobe befanden, zu erfassen. Ermittelt wurde auf diese Weise für jede Art nur die prozentuale Individuenhäufigkeit. Eine Berechnung der absoluten Individuenzahlen für jede Art pro Probe konnte aus den im folgenden genannten Gründen nicht durchgeführt werden.

In neueren Untersuchungen (ACKEFORS 1969, 1970) kommt ein Planktonteiler oder sog. „Subsampler“ (vgl. KOTT 1953) zur Anwendung, der die Gesamtprobe in gleich große Teilproben zerlegt, die nach Auszählung eine Rückrechnung auf die Individuenzahl der Gesamtprobe ermöglichen. Ein Planktonteiler stand zur Auswertung nicht zur Verfügung. In einem Test wurden einige Proben vollständig ausgezählt, danach wurden Teilproben entnommen, ausgezählt und auf die Gesamtmenge umgerechnet. Dabei ergaben sich so große Abweichungen, daß auf eine Angabe der Individuenzahlen bei der Auswertung verzichtet werden mußte. Der Fehler beim Auszählen kann verkleinert werden, wenn möglichst viele Teilproben entnommen werden, denn der Variations-Koeffizient einer Zählprobe hängt bei vorausgesetzter POISSON-Verteilung allein von der Anzahl der Zählungen n und den dabei gefundenen Mittelwerten \bar{x} ab. Es besteht die

Beziehung $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\bar{x}}{n}}$, d. h., die Zuverlässigkeit einer Zählung ist um so größer,

je mehr Teilproben entnommen werden. Eine mit der Stempelpipette entnommene Teilprobe enthielt durchschnittlich 250–300 Individuen, im Extrem mehr als 500. Die Bearbeitung einer großen Zahl von Teilproben war aber zeitlich nicht möglich.

2. Qualitative Untersuchungen

Qualitative Aussagen werden bei Netzfängen durch die Maschengröße des angewendeten Netzes bestimmt. Die Verwendung eines Netzes von 0,18 mm Maschenweite hatte zur Folge, daß kleinere Zooplankter wie Tintinniden, Rotorien, Copepoden-Nauplien und junge Copepoditen-Stadien nicht erfaßt wurden bzw. in so geringer Zahl auftraten, daß keine verallgemeinernden Aussagen gemacht werden konnten. Vollständige Listen der prozentualen Häufigkeit aller Arten pro Station und Vertikalstufen sind der unveröffentlichten Diplomarbeit STEIN (Universität Rostock 1970) zu entnehmen.

2.1. Im Plankton gefundene Arten

Hydrozoa

Hydromedusen treten nur in bestimmten Monaten, meistens im Frühjahr und Frühsommer in großen Schwärmen als Saisonplankter auf. Die spärliche Ausbeute an Hydrozoen ist in dem Zeitraum der Terminfahrten begründet, denn die Arten *Halitholus cirratus*, *Melicertum octocostatum*, *Steenstrupia nutans*, *Sarsia tubulosa*, *Rathkea octopunctata* und *Hypocodon prolifer* werden in der Arkona- und Bornholmsee von polnischen und schwedischen Autoren regelmäßig gefunden.

Euphysa tentaculata (LINKO)

Im März 1970 war je ein Individuum in Planktonproben der Stationen 25, 3B und 4B im Tiefenbereich 50–25 m enthalten. Die Art stammt aus der Beltsee und ihr Vorkommen in der Arkonasee geht auf einen Salzwassereinstrom zurück.

Podocoryne carnea M. SARS

Gleichfalls im März 1970 wurde ein Vertreter dieser Art auf der Station 1B im Bereich 40–25 m gefangen. Auch in diesem Falle ist die Anwesenheit mit einem Salzwassereinstrom zu erklären.

Scyphozoa

Scyphomedusen treten als Saisonplankter vor allem in der warmen Jahreszeit oft in riesigen Schwärmen auf.

Aurelia aurita (L.)

Im März 1969 und April 1970 ist diese Art nur in Proben der Stationen 15A bzw. 8A enthalten. Der Tiefenbereich ist in beiden Fällen 100–50 m. Die

Terminfahrt im Oktober brachte Fänge auf 8 Stationen in den Vertikalstufen 200–100 m (11B), 100–50 m (4B, 29A, 36B) und 25–0 m (1B, 25A, 26B, 32B). Im Dezember 1969 wurde auf 4 Stationen je ein Exemplar gefangen: 6B (25–0 m), 8A (95–50 m), 15A (200–150 m) und 36B (100–50 m). Alle gefangenen Tiere waren adult, ihr Schirmdurchmesser betrug etwa 5–10 cm.

Aurelia aurita hat in den letzten Jahren ihr Verbreitungsgebiet nach Norden ausgedehnt, SEGERSTRÅLE (1957) berichtet von einer Reproduktion bei 5,5⁰/₀₀ S im Finnischen Meerbusen, HALME (1958) fand bereits 1939 Jugendstadien an der Südwestküste Finnlands und LINDQUIST (1959) traf adulte Medusen in der Bottensee an.

Jugendstadien der Art *Cyanea capillata* (L.) wurden in den Planktonproben der vier Terminfahrten nicht nachgewiesen, obwohl die Art in der eigentlichen Ostsee nicht selten ist und bis in den Finnischen Meerbusen vordringt. Gleiches gilt für die Ctenophorenart *Pleurobrachia pileus* (O. F. MÜLLER), die sogar noch in der Bottensee bei 6,5⁰/₀₀ S gefunden wurde (LINDQUIST 1959).

Rotatoria

Diese Tiergruppe ist im Untersuchungsgebiet mit drei Arten der Gattung *Keratella* und sechs Arten der Gattung *Synchaeta* vertreten. Wenn bei keiner Gelegenheit Vertreter dieser Gattung gefangen wurden, so ist das durch die Maschenweite des Netzes bedingt. Andererseits erreichen sie ihre größte Häufigkeit im Sommer und zu dieser Zeit fand keine Terminfahrt statt.

Molluskenlarven

Gastropoda

Eine Larve wurde im Oktober 1969 auf Station 11B im Bereich 100–50 m gefangen. ACKEFORS (1969) fand Gastropodenlarven von Juni bis Oktober im Plankton, in größter Anzahl im Juli und August. SIUDZINSKI (1969) gibt für die südliche eigentliche Ostsee die Monate Juni und Juli an, in flachen Küstenbereichen werden hier Individuenzahlen von 1000–300000 Indiv./m³ erreicht. Nach Angaben von THORSON (1946) entwickelt die Art *Hydrobia ulvae* pelagische Larven. Die Larven der fünf in der eigentlichen Ostsee vorkommenden Nudibranchier-Arten sind beim heutigen Wissensstand noch nicht voneinander zu unterscheiden.

Lamellibranchiata

Muschellarven wurden im Oktober und Dezember 1969 in den Planktonproben der meisten Stationen angetroffen. Im Oktober wurden fast ausschließlich die oberen 25 m besiedelt, dagegen wurden sie im Dezember bis zu 100 m Tiefe angetroffen. Die Larven erreichen ihr Erscheinungsmaximum in den Sommermonaten Juli und August. In besonders hohen Individuenzahlen treten sie in Küstennähe und über flachen Bänken auf (ACKEFORS, SIUDZINSKI). Eine Art-

Bestimmung wurde nicht vorgenommen, doch können die gefundenen Larven mit gewisser Berechtigung der Art *Mytilus edulis* zugeordnet werden, da Larven dieser Art längere Zeit pelagisch leben, im Gegensatz zu den Arten *Macoma baltica*, *Cardium spec.* und *Mya arenaria*, deren Larven nur kurze Zeit planktisch leben und vor allem in den Sommermonaten auftreten.

Polychaetenlarven

Von den im Gebiet der eigentlichen Ostsee vorkommenden Polychaetenarten bilden nur *Harmothoe sarsi* (*H. imbricata*), *Nereis diversicolor*, *Pygospio elegans*, *Terebellides stroemi* und *Capitella capitata* meroplanktische Larven aus (THORSON, 1946). Nur diejenigen der Gattungen *Harmothoe* und *Pygospio* leben für längere Zeit im Plankton; Larven der anderen Arten halten sich oft nur für wenige Stunden im Pelagial auf.

Polydora spec.

Im Oktober 1969 enthielt eine Planktonprobe der Station 5A (85–50 m) eine Larve dieser Gattung, ihre Anwesenheit ist wahrscheinlich durch Versetzen aus der Deutschen Beltsee zu erklären.

Pygospio elegans CLAPARÉDE

Larven dieser Art waren jeweils im Frühjahr im Plankton der oberen 25 m zu finden. Das Verbreitungsgebiet bleibt in beiden Fällen auf die Arkonasee beschränkt. *Pygospio elegans* ist in der eigentlichen Ostsee nicht häufig (MULICKI 1959), doch wurde er noch in der Bottensee bis 60° N nachgewiesen. In der Beltsee bilden diese Larven die Hauptkomponente der meroplanktischen Polychaeten-Larven (HEIDECKE 1970).

Harmothoe sarsi KINBERG

H. sarsi Larven wurden in den Proben aller vier Terminfahrten sowohl in größeren Tiefen als auch in den oberen 50 m gefunden. Im März 1969 kamen nördlich der Station 20A und im März/April 1970 nördlich der Station 15A keine Larven mehr vor. Im Oktober und Dezember 1969 waren sie dagegen bis zu den im Finnischen Meerbusen gelegenen Stationen verbreitet. Nach MULICKI (1959) ist der Polychaet *H. sarsi* eine euryoeke Art, die Tiefen von 50–100 m vorzieht und bei Salzgehalten zwischen 7 und 17⁰/₀₀ und Temperaturen zwischen 3 und 12 °C häufig ist. Ihr Hauptverbreitungsgebiet ist die eigentliche Ostsee, aber auch in der Bottensee wurde sie bei einem Salzgehalt von 5,82⁰/₀₀ S angetroffen. ACKEFORS (1969) fand auf Stationen östlich von Gotland, in deren Tiefenwasser geringe Sauerstoffkonzentrationen bzw. H₂S-Bildung auftraten, mißgestaltete Larven. Auf anderen Stationen befanden sich 2 cm große Larven, die sich normalerweise schon am Boden aufhalten müßten, noch im Pelagial. Der Autor schreibt diese Befunde den schlechten Sauerstoffverhältnissen zu.

Trochophora spec.

Trochophoren traten bei drei Fahrten in Erscheinung: Im März 1969 auf 2 Stationen (2A, 7A), im Dezember auf den Stationen der gesamten Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen (Stat. 22A) und im März 1970 auf nahezu allen Stationen der Arkona-, Bornholm- und Gotlandsee.

Trochophoren waren vor allem in den oberen Wasserschichten zu finden, nur einige Male wurde die Tiefe von 50 m überschritten. Ältere Stadien, sog. Meta-Trochophoren, gehören der Art *H. sarsi* an. Bei jüngeren Stadien ist auch eine Zugehörigkeit zur Art *Pygospio elegans* möglich. Die Funde von jungen *H. sarsi*-Larven unterstützen die Auffassung von ACKEFORS, nach der sich *H. sarsi* mehrere Male im Jahr fortpflanzt.

Cladocera

Diese Tiergruppe spielt nur in den Sommermonaten im Plankton der Ostsee eine bedeutende Rolle, in den anderen Jahreszeiten fehlen einige Arten völlig im Plankton, während andere nur sehr vereinzelt auftreten. Obwohl Cladoceren typische Oberflächenformen sind, sollen sie bei Wasserbewegung (RAMMNER 1930) und bei starker Lichtintensität die oberflächennahen Schichten meiden. Der letzte Autor berichtet von Tageswanderungen der Cladoceren. WALDMANN konnte 1959 bei seinen Untersuchungen keine täglichen Vertikalwanderungen bestätigen. In fischwirtschaftlicher Hinsicht sind Cladoceren als Nährtiere von Bedeutung.

Bosmina coregoni maritima (P. E. MÜLLER)

Bosmina c. m. ist für die Ostsee endemisch. Ein weiter Temperatur- und Salzgehaltstoleranzbereich sichert der Art eine weite geographische Verbreitung. Der optimale Salzgehalt liegt zwischen 8 und 20‰, extreme Werte sind 10‰ und 20‰ (PURASJOKI 1958). Das Temperaturoptimum liegt zwischen 13 und 18 °C, als Extremwerte sind 5 und 20 °C zu betrachten (HALME 1958). *Bosmina c. m.* trat nur im Oktober im Plankton in Erscheinung, zu einer Zeit, in der die Individuenzahlen nach Erreichung des Maximums im August wieder abnehmen. Trotzdem war der prozentuale Anteil am Gesamtplankton auf einigen Stationen noch bedeutend, er betrug in den oberen 25 m der Stat. 9A 29,4%, auf Station 8A 27,7% und auf der Stat. 10B 24,3%. Auf allen anderen Stationen liegen die Prozentzahlen im Bereich 25–0 m zwischen 5 und 10%. Die Art wird bis in 100 m Tiefe angetroffen, doch erreicht sie mit Ausnahme einiger flacher Stationen in der Arkonasee, Bornholmsee und im Finnischen Meerbusen ihre größte Bedeutung in den oberen 25 m. Hier ergibt sich eine Übereinstimmung mit PURASJOKI und WALDMANN, während die Art bei MANKOWSKI (1950) auch in Tiefen bis 100 m als zahlreich angegeben ist.

Evadne nordmanni LOVÉN

Im Oktober und Dezember war diese Cladocerenart in den Planktonproben enthalten, im Dezember wurden nur einzelne Individuen in den Oberflächenproben

der Stationen 4B, 7A, 15A, 19B, 20A, 39B gefunden. Im Oktober war *Evadne* auf jeder Station vertreten, doch ihr Anteil am Gesamtplankton war geringer als der von *Bosmina c. m.* und nur auf den Stationen 4B, 5A und 8A ist sie die wichtigste Cladocerenart. Sie erreicht ihre größte Bedeutung ebenfalls in den Oberflächenproben, kommt aber bis in Tiefen von 100 m vor. WALDMANN und ACKEFORS geben die Monate Juli als Erscheinungsmaximum an, einzelne Exemplare wurden noch im Dezember registriert. RAMMNER gibt die Grenzen des Optimalbereiches bei der Temperatur mit 6 und 18 °C an und beim Salzgehalt mit 2 und 35‰, als Extremwerte werden 1 und 22,6 °C bzw. 1,33 und 35,4‰ bezeichnet. Damit wird *Evadne nordmanni* als euryoeke Art gekennzeichnet, die von der Barents-See bis zum Mittelmeer verbreitet ist (WIMPENNY 1966). Sie ist über die ganze Ostsee verbreitet und zeigt keine Unterschiede, die mit hydrographischen Gegebenheiten zu erklären sind. Nach OSTENFELD (1931) überwintern einige Individuen.

Podon intermedius LILLJEBORG

Im Gegensatz zu den anderen Cladoceren gattungen ist die Gattung *Podon* nur mit sehr niedrigen Individuenzahlen in den Planktonproben der vier Terminfahrten vertreten. *Podon intermedius* kam im gesamten Untersuchungsgebiet vor, im Oktober vor allem in Oberflächenproben, doch auf einigen Stationen der Bornholm-, südlichen und mittleren Gotlandsee auch im Bereich 25–50 m. Genaue Angaben über die Vertikalverteilung sind bei Netzfängen nicht zu machen, da stets eine größere Strecke durchfischt wird. In 50 m Tiefe hatten die Temperaturen z. T. schon sehr niedrige Werte, so daß die gefangenen Individuen aus geringeren Tiefen stammen müssen. Im Dezember wurden einige Tiere in der Bornholmsee und in der südlichen und mittleren Gotlandsee erbeutet, nördlich der Stat. 15A kam die Art nicht mehr vor. Zu diesem Zeitpunkt hatte das Wasser zwischen Oberfläche und 50 m Tiefe durchschnittliche Temperaturen von 5,5–6,5 °C. Das Erscheinungsmaximum von *P. intermedius* ist gleichmäßig auf die Sommermonate Juli und August verteilt (WALDMANN 1959).

HESSLE und VALLIN (1934) bezeichnen *P. polyphemoides* als die gewöhnlichste der in der Ostsee vorkommenden Podonarten. Im Oktober wird sie in der südlichen Gotlandsee im Bereich 0–50 m bei Temperaturen über 10 °C gefunden und in der nördlichen Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen zwischen 0 und 25 m und 25 und 50 m bei Temperaturen zwischen 6 und 10 °C. Im Dezember wurde *Podon polyphemoides* auf der Station 6B in den oberen 25 m nachgewiesen. Die Wassertemperatur betrug 5,6 °C.

Podon leuckarti G. O. SARS

P. leuckarti stellt höhere Salzgehaltsansprüche als die anderen Podonarten, das Optimum liegt zwischen 23 und 35‰, die Grenzwerte sind 6,15 und 35,49‰. Die hohen Anforderungen an den Salzgehalt begrenzen die Verbreitung in der Ostsee: *P. leuckarti* bleibt auf den südlichen Teil der eigentlichen Ostsee, die

Bornholm- und südliche Gotlandsee beschränkt, doch sollen einzelne Tiere noch in der Ålandsee vorkommen (ACKEFORS 1969).

Der Nachweis dieser Art gelang nur in den Planktonproben der Arkonasee vom März 1970.

Copepoda

Die Copepoden sind die wichtigste Komponente des Zooplanktons der Ostsee. Im Tiefenwasser erlangen sie das ganze Jahr über höchste Bedeutung, in den oberen Wasserschichten treten sie in den Sommermonaten zugunsten der typischen Sommerformen (Cladoceren, Rotatorien) zurück.

Die Individuenzahlen der Copepodenarten zeigen große Schwankungen im Jahresverlauf, wobei Perioden mit geringer Häufigkeit von solchen mit hohen Individuenzahlen abgelöst werden.

Die Entwicklung der einzelnen Arten im Jahreszyklus kann bei den vorliegenden Untersuchungen nicht verfolgt werden, dazu sind vier Terminfahrten, die zudem noch in großen zeitlichen Abständen stattfanden, nicht ausreichend. Zur Klärung dieser Frage sind mindestens monatliche Terminfahrten erforderlich. Außerdem wurden — bedingt durch die Maschengröße des benutzten Netzes — kaum Nauplien gefangen und auch junge Copepoditenstadien konnten die Maschen ungehindert passieren. Aus diesem Grunde können keine Aussagen über die Populationsdynamik der Arten gemacht werden.

Der prozentuale Anteil der einzelnen Arten am Gesamtplankton jeder Station und Vertikalstufe wurde für jede Terminfahrt tabellenmäßig erfaßt. Diese Prozentzahlen sind auch die Grundlage der graphischen Darstellung. Änderungen in der Vertikalverteilung, die beim Vergleich der Terminfahrten auftreten, werden bei der Behandlung der Arten diskutiert. Tägliche Vertikalwanderungen der Copepoden werden am Beispiel der Dauerstation 15A gesondert behandelt.

Calanus finmarchicus GUNNER

Diese an salzreiches Wasser gebundene stenohaline Nordseeart ist nur in der Deutschen Beltsee mit einer fortpflanzungsfähigen Population vertreten (BANSE 1957). Ihre Anwesenheit im Gebiet der eigentlichen Ostsee geht immer auf einen Salzwassereinstrom zurück, so daß *C. finmarchicus* als Indikatorart von Bedeutung ist. Während APSTEIN (1906), DRIVER (1908), KRAEFFT (1910), MERKLE (1910) und MIELCK (1925) diese Art nicht in der eigentlichen Ostsee nachweisen konnten, wird seit 1930 in steigender Zahl in deren südlichem Teil gefunden (MANKOWSKI 1951). In polnischen Untersuchungen wird dieser Copepode seit 1948 nach jedem Salzwassereinstrom festgestellt. In den vorliegenden Untersuchungen wird die Art im März und im Oktober im Arkonabecken gefunden (Stat. 25 bzw. 1B). Im Dezember 1969 und März/April 1970 wurde *C. finmarchicus* auf den Stationen 4B und 5A im Bornholmbecken im Bereich 90—50 m gefangen. Auf der Station 1B fand sich ein Exemplar zwischen 0 und 25 m, der Oberflächensalzgehalt betrug 8,47‰, in 20 m wurden 8,91‰ und in 30 m 11,38‰ gemessen.

Paracalanus parvus CLAUS

Paracalanus stellt höhere Salzgehaltsansprüche und seine Verbreitung in der Ostsee wird so durch den sich von Westen nach Osten verringernden Salzgehalt begrenzt. Über das Vorkommen in der eigentlichen Ostsee liegen unterschiedliche Befunde vor: DRIVER (1908) gibt als nördliche Verbreitungsgrenze die Linie Südschweden—Klaipeda (Memel) an. MERKLE (1910) fand die Art östlich der Linie Rügen—Malmö nicht mehr. ROTHE (1941) und WALDMANN (1959) fassen *Paracalanus parvus* und *Pseudocalanus elongatus* zu *P. Calanus* zusammen, wobei aber WALDMANN auf das seltene Vorkommen der ersten Art im südlichen Teil der eigentlichen Ostsee hinweist. Im März 1969 wurde *P. parvus* auf der Station 25 (40—25 m) und auf der Station 2A (25—0 m) gefunden. Im Oktober war die Art in den Proben der Station 1B im Bereich 50—25 m und 25—0 m vertreten. Die Salzgehalte hatten folgende Werte:

Stat. 25:	40 m: 11,16‰	25 m: 7,80‰	
Stat. 2A:	30 m: 8,18‰	20 m: 7,91‰	0,5 m: 7,80‰
Stat. 1B:	45 m: 18,99‰	30 m: 11,38‰	0,5 m: 8,47‰

Pseudocalanus minutus elongatus BOECK

Die horizontale Verbreitung dieser Copepodenart wird wie bei *Paracalanus* durch die von Westen nach Osten erfolgende Salzgehaltsabnahme bestimmt, nur ist diese Art wesentlich toleranter in bezug auf Salzgehalt als *Paracalanus parvus*. Im Untersuchungsgebiet ist *Pseudocalanus* eine der wichtigsten Arten. FARRAN (1948) gibt 4,8 °C und 7,25‰ S als Grenzen der Existenzmöglichkeiten an, HESSLE und VALLIN (1934) bezeichnen 4—5‰ als unterste Salzgehaltsgrenze. Hieraus ergibt sich, *Pseudocalanus* zeigt eine Brackwassersubmergenz; er kommt im nördlichen Teil der Gotlandsee und in der Bottensee in größeren Tiefen als in der südlichen Gotlandsee vor (LINDQUIST 1959). BODNEK (1953) und LINDQUIST beschreiben eine jahreszeitliche Vertikalwanderung: Mit einsetzender Erwärmung des Wassers werden tiefere Schichten aufgesucht. Dadurch ist *Pseudocalanus* als kaltstenotherme Art gekennzeichnet.

Im März 1969 ist der Anteil von *Pseudocalanus* auf den Stationen der südlichen und mittleren Gotlandsee sehr groß, er beträgt in allen Vertikalbereichen zwischen 70 und 80%. In der Arkonasee und in der nördlichen Gotlandsee ist seine Bedeutung in den oberen 25 m geringer.

Die Vertikalverteilung im Oktober wird durch die Temperaturverhältnisse bestimmt: Verhältnismäßig hohe Temperaturen an der Oberfläche halten die Art noch in größeren Tiefen zurück und der prozentuale Anteil am Gesamtplankton nimmt vom Boden zur Oberfläche hin deutlich ab.

Auch im Dezember werden in den oberen Wasserschichten noch keine großen Anteile am Gesamtplankton erreicht, wie im Oktober ist eine deutliche Bevorzugung tieferen Wassers zu erkennen. Im Finnischen Meerbusen hat die Art mit Anteilen unter 5% kaum Bedeutung. Im März/April 1970 hat *Pseudocalanus* in allen Tiefen mit Ausnahme des Arkonabeckens hohe Anteile am

Gesamtplankton (40–60%). Die Untersuchungen zeigen, daß *Pseudocalanus* im Zooplankton der eigentlichen Ostsee größte Bedeutung erlangt. Seine Vertikalverteilung wird entscheidend von der Temperatur beeinflusst, in der nördlichen Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen wirkt auch der Salzgehalt als begrenzender Faktor. MANKOWSKI und Mitarbeiter (1959) geben für die Art ein Sommer- und ein Wintermaximum an.

Nauplien wurden nur jeweils im März im Arkonabecken angetroffen. Adulte Tiere hatten im Oktober und Dezember den geringsten Anteil an der Gesamtzahl der ausgezählten Individuen. Ihre Zahl nimmt im Frühjahr zu, übertrifft aber nur in wenigen Fällen die Zahl der Copepoditen IV und V, die auf allen Terminfahrten überwiegen. Die Copepoditenstadien I–III waren nur im Oktober mit größeren Anteilen vertreten.

Temora longicornis O. F. MÜLLER

Temora longicornis ist eine euryoeke Oberflächenform, die wie *Pseudocalanus* in der eigentlichen Ostsee eine große Rolle spielt. Geben DRIVER (1908) und OTTEN (1913) als nördliche Verbreitungsgrenze den Finnischen Meerbusen bzw. die Ålandsee an, so brachte LINDQUIST (1959) durch Funde von Nauplien in der Bottensee den Beweis, daß *Temora* auch in diesem Meeresteil heimisch ist, obgleich sie hier zahlenmäßig nur eine geringe Bedeutung hat. Der Autor sieht im Salzgehalt den begrenzenden Faktor. In den Untersuchungen von ACKEFORS (1969) ist die Art im August 1963 der häufigste Copepode. WALDMANN findet das Maximum der vertikalen Verteilung im Bereich 10–30 m, zur Oberfläche und zum Boden hin nehmen die Individuenzahlen ab. BODNEK (1953) gibt an, daß *Temora* eine jahreszeitliche Wanderung ausführt, deren Amplitude etwa 50 m beträgt.

Im März 1969 beträgt der Anteil von *Temora* in keiner Tiefenstufe mehr als 30%. Mit Ausnahme der Stationen in der Arkonasee und in der nördlichen Gotlandsee weisen die oberen 25 m die niedrigsten Prozente auf.

Im Oktober 1969 ist *Temora* in der eigentlichen Ostsee in den oberen 25 m die wichtigste Art. Auch im Bereich 25–50 m werden noch hohe prozentuale Anteile erreicht, während in Tiefen über 50 m ihre Bedeutung stark zurückgeht. Auf den im Finnischen Meerbusen gelegenen Stationen kommt die Art im Bereich 25–0 m entweder überhaupt nicht vor (Stat. 22A), oder ihr Anteil beträgt weniger als 10%. Der geringe Salzgehalt von 5,40‰ S (22A) bzw. 6,50‰ S (25A) scheint hier begrenzend zu wirken. Im November/Dezember 1969 ist *Temora* zwischen 25 und 0 m ebenfalls die wichtigste Art. In der nördlichen Gotlandsee erreicht sie zwischen 25 und 50 m Tiefe die größte Bedeutung (28B, 30B, 27A, 31A). Im Finnischen Meerbusen wirkt wahrscheinlich wieder der Salzgehalt begrenzend auf die Verbreitung. Im März/April 1970 hat *Temora* nur in der Arkona- und Bornholmsee einen großen prozentualen Anteil. Im ersten Gebiet ist sie vor allem zwischen 25 und 50 m wichtig, in der Bornholmsee (5A, 4B, 6B) spielt sie zwischen 25 und 0 m die größte Rolle. In der südlichen und mittleren Gotlandsee geht sie in ihren Anteilen am Plankton aller Tiefen-

stufen zugunsten von *Pseudocalanus* stark zurück. In der nördlichen Gotlandsee gewinnt die Art zwischen 25 und 50 m wieder an Bedeutung, auf den Stationen 19B, 20A, 21B und 38A ist sie mit etwa 50% am Gesamtplankton beteiligt. Wie im März 1969 zeigt *Temora* auch im Frühjahr 1970 ihre niedrigsten Anteile in den oberen 25 m, doch ist die vertikale Abstufung nicht so deutlich ausgeprägt. Für die geringen Anteile in der Schicht 25–0 m im März 1969/1970 ist die niedrige Temperatur ausschlaggebend. *Temora*-Nauplien wurden im Oktober in der Bornholmsee und in der nördlichen Gotlandsee gefangen.

Centropages hamatus LILLJEBORG

Diese Copepodenart ist über die gesamte eigentliche Ostsee verbreitet, erlangt aber keine große Bedeutung. Als typische Oberflächenform (DRIVER 1908, OTTEN 1913, ROTHE 1941, MANKOWSKI 1951) wird ihr Vorkommen im Norden durch den niedrigen Salzgehalt eingeschränkt. HESSLE und VALLIN (1934) geben 7‰ als Mindestsalzgehalt an und bezeichnen die Ålandsee als nördliche Verbreitungsgrenze. LINDQUIST (1959) fand *Centropages* in der Bottensee bei 5–6‰ S in sehr geringer Zahl und bezeichnet ihn als Gast aus dem Schärenmeer. Bei ACKEFORS (1969) ist die Art mit 4–11% an der Gesamtzahl der Copepoden beteiligt.

Im März 1969 ist *Centropages* nur mit niedrigen Anteilen am Plankton aller Vertikalstufen beteiligt. Sie betragen in der Bornholm-, südlichen und mittleren Gotlandsee im allgemeinen weniger als 10%, in der nördlichen Gotlandsee um 20%. Bevorzugter Aufenthaltsbereich sind Tiefen zwischen 50 und 100 m.

Im Oktober 1969 werden im ganzen Untersuchungsgebiet in allen Tiefen kaum 10% übertroffen, im Finnischen Meerbusen ist die Art auf der östlichsten Station nicht vertreten. Die größten Prozentzahlen werden zwischen 25 und 50 m erreicht. Im Dezember 1969 erzielt *Centropages* in den oberen 25 m größere Prozentwerte, im Finnischen Meerbusen wirkt wieder der Salzgehalt als Ausbreitungsgrenze.

Im März 1970 bestätigen relativ hohe prozentuale Anteile im Bereich 25–0 m und 50–25 m die Bevorzugung oberflächennaher Wasserschichten.

Nauplien und das Copepoditenstadium I wurden nicht gefangen. Adulte Tiere waren im Frühjahr selten. Die Copepoditen II–III und IV–V übertreffen auch im Oktober und Dezember die adulten Copepoden an Zahl.

Acartia bifilosa GIESBRECHT und *Acartia tonsa* DANA

Die Zusammenfassung beider Arten geschah aus systematischen Gründen: Einige im Oktober in der südlichen und nördlichen Gotlandsee gefangene Individuen (8A, 11B, 19B, 25A) zeigten das für *A. tonsa* typische kurze Abdomen, die anderen Bestimmungsmerkmale ordneten die Tiere der Art *A. bifilosa* zu. *A. tonsa* kommt jedoch im Untersuchungsgebiet vor. 1934 wurde sie zum ersten Mal an der finnischen Südwestküste angetroffen. In der südlichen Ostsee spielt die Art in den Sommermonaten als Oberflächenform eine Rolle. Bei den durchgeführten

Untersuchungen ist auf jeden Fall *A. bifilosa* als dominierende Art zu betrachten.

A. bifilosa erreicht als thermophile Oberflächenform in den Sommermonaten hohe Individuenzahlen (DRIVER 1908, KRAEFFT 1910, ACKEFORS 1969). In bezug auf den Salzgehalt ist die Art als euryhalin zu bezeichnen: LINDQUIST (1959) findet sie bis zu 63° N in der Bottensee, wo sie zusammen mit der Art *Eurytemora* von größter Bedeutung ist. In den eigenen Untersuchungen ist *A. bifilosa* sehr ungleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt: Im März 1969 ist sie auf der Station 25 in der Arkonasee häufigste Art, auf allen anderen Stationen des Untersuchungsgebietes ist sie mit weniger als 5% am Plankton beteiligt. Im Oktober dominiert die Art gleichfalls in der Arkonasee. In der Bornholmsee, der südlichen und mittleren Gotlandsee hat sich der prozentuale Anteil gegenüber März erhöht, und im Finnischen Meerbusen gehört sie zu den wichtigsten Arten. Auf allen Stationen erreicht *A. bifilosa* in den oberen 25 m ihre größte Bedeutung.

Im Dezember ist die Art in Oberflächennähe von der Bornholm- bis zur mittleren Gotlandsee mit Anteilen zwischen 5 und 10% am Plankton beteiligt. In der nördlichen Gotlandsee wird ihr Anteil größer und im Finnischen Meerbusen wird sie zur dominierenden Art.

Im März 1970 wird *A. bifilosa* im Bereich 25—0 m in der Arkonasee zur wichtigsten Copepodenart, in der nördlichen Gotlandsee ist ihr Anteil am Plankton im Oberflächenbereich größer als in der mittleren und südlichen Gotlandsee und der Bornholmsee. Die Ergebnisse zeigen, daß *A. bifilosa* neritische und oberflächennahe Bereiche bevorzugt, in denen sie auch in der kälteren Jahreszeit größte Bedeutung erlangt.

Acartia longiremis LILLJEBORG

Diese Art stellt höhere Salzgehaltsansprüche als *A. bifilosa* und ist in der eigentlichen Ostsee vor allem in größeren Tiefen zu finden. KRAEFFT (1910) gibt Ålandsee und den Finnischen Meerbusen als nördliche Verbreitungsgrenze an, doch in neueren Untersuchungen wird sie auch in der Bottensee angetroffen (LINDQUIST, 1959).

Im März 1969 erreicht *A. longiremis* mit Anteilen von weniger als 5% nur geringe Bedeutung. Sie kommt auf allen Stationen vor, eine deutliche Bevorzugung größerer Tiefen ist nicht erkennbar.

Im Oktober ist der Anteil dieser Art im Vergleich zum März nicht höher. In dieser Zeit wird sie in Tiefen unter 50 m häufiger angetroffen, im Finnischen Meerbusen ist die Art auf den östlichen Stationen nicht vertreten. Gleiche Verhältnisse in der Verteilung und der vertikalen Verbreitung ergeben sich im Dezember.

Im März 1970 ist *A. longiremis* in den oberen 50 m am häufigsten, ihre prozentualen Anteile am Gesamtplankton liegen in diesem Bereich zwischen 5 und 10%. Die vertikale Verteilung dieser Art wird entscheidend von der Temperatur

bestimmt, als oligotherme Art hält sie sich in der kalten Jahreszeit in den oberen Wasserschichten auf; bei Erwärmung des Wassers zieht sie sich in tiefere Schichten zurück, wobei Salzgehaltsdifferenzen bis zu 5‰ überwunden werden.

Eurytemora spec.

Die Gattung *Eurytemora* ist mit den Arten *E. hirundoides* NORDQUIST, *E. affinis* POPPE und *E. hirundo* GIESBRECHT in der Ostsee vertreten. Die Bestimmungsmerkmale dieser Arten variieren untereinander stark und oft zeigen sich bei einem Tier Merkmale von zwei oder drei Arten, so daß wiederholt Zweifel angemeldet wurden, die verschiedenen Formen von *Eurytemora* als Arten aufrecht zu erhalten (vgl. SCOTT 1911, GURNEY 1931, LINDQUIST 1959, HEIDECHE 1970).

Die Bestimmung der in den Proben gefundenen Tiere ergab zwar die Zugehörigkeit zur Art *E. hirundoides*, doch ist diese Festlegung mit Vorbehalten zu betrachten.

Eurytemora hirundoides ist eine Oberflächenform (ROTHE, MANKOWSKI, ACKEFORS), die im Wasser über 6,5‰ S nicht mehr häufig ist. Im Bottnischen- und Finnischen Meerbusen gehört sie zu den wichtigsten Copepodenarten.

Im März 1969 und 1970 spielt *E. hirundoides* in den Planktonproben der Terminfahrten keine Rolle. Sie wird in sehr geringer Zahl auf Station 29A in der nördlichen Gotlandsee gefunden, im März 1969 außerdem westlich von Gotland und in der Arkonasee (Stat. 2A). Die geringe Häufigkeit muß mit den niedrigen Oberflächentemperaturen begründet werden.

Im Oktober erreicht *Eurytemora* von der Arkona- bis zur mittleren Gotlandsee in den oberen 50 m nur unbedeutende Anteile am Gesamtplankton (unter 2%).

In der nördlichen Gotlandsee ist sie im selben Tiefenbereich mit 10—20% am Plankton beteiligt und im Finnischen Meerbusen wird sie zur dominierenden Art. Der Anteil dieser Art am Plankton der Oberflächenschicht vergrößert sich mit der Salzgehaltsabnahme. Im Dezember 1969 kommt die Abhängigkeit der Häufigkeit vom Salzgehalt ebenfalls gut zum Ausdruck.

Limnocalanus grimaldii (DE GUERNE)

In der eigentlichen Ostsee wird die horizontale Verbreitung dieser Art durch den Salzgehalt bestimmt. Als Glazialrelikt ist *Limnocalanus* eine Kaltwasserform, die nur im nördlichen Teil der Gotlandsee, im Finnischen- und Bottnischen Meerbusen von Bedeutung ist. Südlich von Gotland kommen nur noch einzelne Individuen vor, die als Leitformen für ausgesüßtes baltisches Wasser dienen. Bei einem Temperaturoptimum zwischen 1 und 11 °C gibt LINDQUIST (1961) 7‰ S als Grenze der Hauptverbreitung an. Im Jahresverlauf führt die Art eine temperaturbedingte Vertikalwanderung aus (HESSLE und VALLIN 1934, BODNEK 1953, LINDQUIST 1961). Nach MANKOWSKI (1959) kommt *Limnocalanus* seit 1954 in der südlichen Ostsee in größerer Zahl vor. Südlichster Fundort dieser Art war in den eigenen Untersuchungen die in der Bornholmsee gelegene

Station 5A. In diesem Gebiet war im März 1969 der Salzgehalt mit $7,46\text{‰}$ an der Oberfläche noch relativ hoch, und der im Frühjahr verstärkte Ausstrom baltischen Wassers hatte noch nicht begonnen. Im Frühjahr 1970 hatte die Art im südlichen Bereich der Gotlandsee (Stat. 9A) ihre Verbreitungsgrenze. In der mittleren und nördlichen Gotlandsee trat *Limnocalanus* im Vergleich zu März 1969 auf weniger Stationen auf. Im Oktober und im Dezember 1969 war die Station 10B in der mittleren Gotlandsee südlichster Fundort (50–100 m). Auf den anderen Stationen der mittleren Gotlandsee wird die Art auf beiden Fahrten in Tiefen ab 50 m gefunden, durchschnittlich entfallen auf jede Probe 2–5 Tiere. In der nördlichen Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen beträgt der Anteil von *Limnocalanus* am Gesamtplankton zwischen 0,5 und 2%, seine größte Bedeutung erreicht er auf der Station 22 A im Bereich 25–50 m mit 12,7%.

Oithona similis CLAUS

Diese marine Cyclopoidenart beansprucht hohe Salzgehalte und ist demzufolge im Untersuchungsgebiet auf die bodennahen Wasserschichten der Arkona-, Bornholm- und südlichen Gotlandsee beschränkt. BODNEK (1953) fand jedoch noch Individuen bei nur 7‰ S. MANKOWSKI (1951) konnte noch im Gotlandbecken weibliche Tiere mit Eisäckchen nachweisen. Er bezeichnet einen Salzgehalt von 12–13‰ als Fortpflanzungsgrenze. Die Verbreitungsgrenze dagegen scheint flexibel zu sein, und es wird angenommen, daß außer dem Salzgehalt auch Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse von Bedeutung sind (ACKEFORS 1969). *Oithona* wurde in den Planktonproben der Arkona-, Bornholm- und südlichen Gotlandsee auf allen Teminfahrten gefunden. Der Anteil der Art am Plankton überstieg selten 1%. Nördlichster Fundort ist die in der mittleren Gotlandsee gelegene Station 11 B.

Im März 1970 wurden einige Tiere im Bereich 150–100 m angetroffen, der Salzgehalt variierte zwischen 12,38 und $11,15\text{‰}$. Im Wasser wurde kein H_2S nachgewiesen. Auf derselben Station wurde die Art auch im Oktober und Dezember gefunden, im Oktober im Bereich 100–200 m (S: 10,32–12,45‰), im Dezember im selben Tiefenbereich (S: 12,54–11,37‰). Der niedrigste Salzgehalt, in dem *Oithona* vorkam, hatte im Bornholmbecken (Stat. 4 B) Werte von $9,03\text{‰}$ in 50 m und $7,32\text{‰}$ in 20 m Tiefe.

Cyclops spec.

Im Oktober und Dezember 1969 wurde diese Gattung im Finnischen Meerbusen und auf zwei Stationen der nördlichen Gotlandsee gefunden. Auf der Station 22 A war sie mit 48,6% an der Zusammensetzung des Planktons in der Oberflächenschicht beteiligt. In allen anderen Proben war ihr Anteil nur unbedeutend.

Cirripedia

Balanus improvisus DARWIN

Nauplien wurden in sehr geringer Zahl im März 1969 und 1970 und im Oktober 1969 in der Arkonasee gefunden. Die Funde zeigen, daß die Fortpflanzung mehrmals im Jahr erfolgt, als Erscheinungsmaximum der Larven gibt HEIDECHE (1970) für die Beltsee die Monate Oktober und November an. ACKEFORS (1969) findet Nauplien von Anfang Juli bis in den Oktober. Die Art hat seit Beginn dieses Jahrhunderts ihr Verbreitungsgebiet nach Norden erweitert, Nauplien wurden noch in der Bottensee gefangen (LINDQUIST 1959).

Mysidaceae

Die Mysidaceen besitzen bei der angewendeten Fangmethode als schnellbewegliche Formen gute Fluchtmöglichkeiten, so daß ihre Anwesenheit in Netzfängen nur stichpunktartige Aussagen über die Verbreitung gestattet. Hinzu kommt, daß sie nur zu bestimmten Zeiten — vorwiegend bei Nacht — im Pelagial zu finden sind.

Mysis mixta (LILLJEBORG)

Diese euryhaline Art ist über die gesamte Ostsee verbreitet und wird auch in der Bottensee gefunden. Sie zieht tiefe Temperaturen vor und kommt nicht oberhalb 20 m vor.

Im Oktober 1969 wurde ein Individuum auf der Station 25 A im Bereich 60–25 m gefangen. Im Dezember wurden Fänge in der Bornholmsee (4B), der südlichen Gotlandsee (7 A) und im Finnischen Meerbusen in größerer Tiefe gemacht. Im März 1970 wurden 3 Exemplare im Bornholmbecken (5 A) im Bereich 85–50 m Tiefe gefangen. Mit Ausnahme der Station 7 A in der südlichen Gotlandsee erfolgte die Probengewinnung bei Nacht.

Mysis relicta LOVÉN

Diese Mysidacee wurde im Dezember in der mittleren Gotlandsee (Stat. 11 B, 100–50 m) und im März 1970 in der südlichen Gotlandsee (Stat. 7 A, 50–25 m) gefangen. Sie ist bei 6‰ – 8‰ S in Bodennähe häufig. In bezug auf Temperatur ist sie als Glazialrelikt stenotherm, ihr Hauptverbreitungsgebiet sind die tiefen Wasserschichten der Bottensee (HESSLE und VALLIN 1934).

Neomysis vulgaris (J. V. THOMPSON)

Im Dezember 1961 wurden einige Tiere im Finnischen Meerbusen (Stat. 22 A, 25–0 m und 25 A, 65–25 m) und in der nördlichen Gotlandsee (Stat. 26 B, 100–50 m) gefangen. *N. vulgaris* ist als Küstenform über die gesamte Ostsee verbreitet und kann weit in die Flußmündungen vordringen.

Praunus flexuosus (O. F. MÜLLER)

Je ein Exemplar wurde in der nördlichen Gotlandsee auf Station 27 A im Tiefenbereich 100–50 m und 50–25 m im Dezember 1969 in den Proben angetroffen. Die Art ist ebenfalls über die gesamte Ostsee verbreitet.

Amphipoda

Hyperia galba MONTAGY

Auf allen Terminfahrten kam *Hyperia* in sehr geringer Zahl in den Planktonproben vor. Im März 1969 wurde sie in der südlichen, mittleren und nördlichen Gotlandsee angetroffen, im Oktober war sie auf die Arkona- und Bornholmsee beschränkt. Im Dezember 1969 und im Frühjahr 1970 kam die Art nur in der südlichen und mittleren Gotlandsee vor. Als nördlichste Verbreitungsgrenze ist die Station 30 B zu nennen, doch wurde die Art auch für den Finnischen Meerbusen nachgewiesen. Die niedrigen Individuenzahlen (1–3 Tiere) erlauben keine Festlegung einer bevorzugten Tiefe.

Chaetognatha

Sagitta setosa J. MÜLLER

Das Vorkommen dieser an hohe Salzgehalte gebundenen Nordseeform in der eigentlichen Ostsee steht immer mit dem Einstrom salzreichen Kattegatwassers im Zusammenhang.

Sagitta setosa dient so als Indikator und ihre Individuenzahlen stehen im direkten Verhältnis zur Stärke des Einstroms (MANKOWSKI 1959). Die Funde dieser Art im Untersuchungszeitraum gestatten nur bedingt Rückschlüsse auf den Einstrom von Salzwasser: Im März 1969 wurde nur ein Exemplar auf der Station 7 A in der südlichen Gotlandsee festgestellt. Aus den hydrographischen Daten ist ein starker Einstrom zu erkennen, so daß *S. setosa* in diesem Falle den Wirkungsbereich des eingeströmten Wassers abgrenzt.

Im Dezember 1969 erfolgte ein erneuter stärkerer Einstrom, die Art wurde im Bornholmbecken auf der Station 5 A im Bereich 85–50 m gefangen. Die Anwesenheit von *S. setosa* im Arkonabecken (Stat. 1 B) im Oktober 1969 ist mit dem registrierten schwächeren Einstrom zu erklären.

Sagitta elegans baltica RITTER-ZAHONY

Im Gegensatz zu *S. setosa* ist diese Art ein permanenter Bestandteil des Planktons der tieferen Wasserschichten der Arkona-, Bornholm- und südlichen Gotlandsee. MANKOWSKI 1951 fand *Sagitta elegans* noch im Gotlandtief, hier erreicht die Art nur noch geringe Individuenzahlen. Im Oktober wurde sie nur in der Bornholmsee gefunden (Stat. 4B, 5A), im Dezember in der Bornholmsee (Stat. 4B, 6B), südlichen und mittleren Gotlandsee (Stat. 10B und 15A). Die größten Individuenzahlen wurden in der Bornholmsee festgestellt. In den Proben der Station 4B waren im Oktober 26, im Dezember 134 und im März 1970 40 Individuen enthalten. Auf der Station 5A wurden im Oktober im Bereich 85 bis 50 m 18 und im März 1970 42 Tiere gefangen. In allen anderen Proben lagen die Individuenzahlen zwischen 1 und 2 Tieren.

Appendicularia

Oikopleura dioica FOL.

MANKOWSKI (1951) bezeichnet *O. dioica* als Gast in der Ostsee. In der Deutschen Beltsee ist sie das ganze Jahr über im Plankton zu finden, sie beansprucht höhere Temperaturen und zieht sich mit beginnender Abkühlung des Wassers in die Tiefe zurück (HEIDECKE 1970). *Oikopleura* wird im salzreichen Tiefenstrom nach Osten verfrachtet und dient im Gebiet der eigentlichen Ostsee als Indikator der Wasserbewegungen. Hier wird sie regelmäßig bis in das Bornholmbecken nachgewiesen, doch einzelne Exemplare wurden schon am Eingang des Finnischen Meerbusens gefangen (BÜCKMANN 1926).

O. dioica wurde im Oktober 1969 und im Dezember 1969 in der Bornholmsee gefunden. Auf den Stationen 4B und 5A kam die Art im Oktober im Bereich 85–50 m vor. Hier hatte sich zwischen 50 und 70 m warmes, salzreiches Wasser eingelagert, während das darunterliegende Tiefenwasser bedeutend niedrigere Temperaturen hatte. Gleiche Verhältnisse bestanden auf denselben Stationen auch im Dezember.

Fritillaria borealis LOHMANN

F. borealis ist als euryhaline, kalt-stenotherme Art über die ganze Ostsee verbreitet, der südliche Teil der Bottensee ist als nördlichste Ausbreitungsgrenze anzusehen (LINDQUIST 1959). Sie erreicht in den Monaten Februar bis Mai in den kalten, tiefen Wasserschichten hohe Individuenzahlen. *Fritillaria* wurde im März 1969 nur in der Gotlandsee gefangen, zu dieser Zeit bevorzugte sie die kalte Oberflächenschicht bis zu 50 m Tiefe.

Im Oktober 1969 kam die Art in sehr geringer Häufigkeit in der Bornholm-, Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen vor. Außer in den oberen 25 m wurde sie in allen Tiefenbereichen angetroffen, und es scheint, daß sie hinsichtlich der Temperatur anpassungsfähig ist. Im Dezember 1969 erreichte *Fritillaria* ihre größte Bedeutung im Plankton der oberen 50 m, wo ihre Anteile 5–10% betragen. Sie war im ganzen Untersuchungsgebiet anzutreffen, die größere Häufigkeit in der nördlichen Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen kann mit der in diesen Gebieten niedrigeren Wassertemperatur erklärt werden.

Im März 1970 hat sich der Anteil von *F. borealis* im Vergleich zu Dezember verkleinert. Die Art kommt auf allen Stationen vor und bevorzugt kaltes Oberflächenwasser.

Fischlarven

Im März 1969 und 1970 und im Oktober 1969 wurden auf einigen Stationen der Arkona-, Bornholmsee, der südlichen und mittleren Gotlandsee Fischeier und einige Larven gefangen. Die meisten Eier waren unbefruchtet, bei den Larven handelte es sich um Clupeidenlarven.

3. Die quantitative Erfassung der Zooplanktonbiomasse

3.1. Eigene Untersuchungen

Die Ermittlung der Biomasse erfolgte durch die Bestimmung des Absetzvolumens. Diese grobe Methode kam aus Gründen der Zeitersparnis zur Anwendung. Trotz zahlreicher Vorbehalte, die man hinsichtlich Fehlerquellen anmelden muß, können die so erhaltenen Biomassewerte zum Vergleich der eigenen Proben und zum Vergleich mit den Werten anderer Autoren benutzt werden, zumal die qualitative Zusammensetzung der Proben mit einem konstant hohen Anteil an Copepoden im wesentlichen einheitlich ist.

Die Absetzvolumina jeder Vertikalstufe wurden in Gramm/Feuchtwicht unter 1 m² umgerechnet. Nach den Plankton-Äquivalenten von HAGMEIER (1961) entspricht dabei 1 mm³ einem Gewicht von 1,04 mg. Dieser Wert gilt für Copepoden, die fast ausschließlich das Plankton der Terminfahrten bildeten. Daneben wurden für jede Station und Tiefenstufe die Biomasse in mg/m³ umgerechnet. Die errechneten Werte wurden in Tabellen zusammengestellt. Bei einem Vergleich der Biomasse der Stationen und Fahrten können wegen der täglichen Vertikalwanderungen nur die am Tage eingebrachten Proben berücksichtigt werden. Die Biomassewerte zeigen große Unterschiede sowohl zwischen den einzelnen Stationen einer Fahrt als auch beim Vergleich der einzelnen Terminfahrten. Größere Differenzen zwischen benachbarten Stationen lassen die ungleichmäßige Horizontalverteilung des Planktons erkennen, die durch hydrographische Gegebenheiten — vor allem Strömungsverhältnisse — bedingt ist. Auch in der Vertikalen ergeben sich Unterschiede. Die relativ hohen Biomassewerte im Bereich 100—50 m deuten auf eine Ansammlung der Plankter in der Nähe der Sprungschichten.

Die große Zahl der Stationen und die variierenden Werte waren Anlaß, die Stationen der einzelnen Regionen des Untersuchungsgebietes zusammenzufassen und für die Bereiche 0—25 m und 25—30 m Mittelwerte zu bilden. Hierzu wurden nur die am Tage gewonnenen Proben herangezogen. Die Biomassewerte (g Feuchtwicht/1 m² und mg Feuchtwicht/m³) aller einzelnen Hols sind in der unveröffentlichten Diplomarbeit STEIN (Universität Rostock 1970) enthalten.

Tabelle 1
Zooplanktonbiomasse in mg/m³
März 1969

m	A (2)	SG (1)	MGO (2)	MGW (2)	NGO (1)	NGW (1)
0—25	432	128	368	64	48	20
25—50	280	320	240	96	64	24

Oktober 1969

m	B (3)	SG (1)	MGO (4)	MGW (2)	NGO (2)	NGW (1)	F.Mb. (3)
0—25	650	480	556	472	328	240	233
25—50	522	560	366	440	232	112	437

Nov./Dez. 1969

m	B (1)	SG (2)	MGO (4)	MGW (1)	NGO (3)	NGW (1)	F.Mb. (1)
0—25	496	328	296	224	378	208	256
25—50	624	288	180	240	181	208	176

März/April 1970

m	A (3)	B (2)	SG (1)	MGO (4)	MGW (1)	NGO (1)
0—25	170	264	256	144	80	80
25—50	203	336	176	192	160	160

Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die Anzahl der zur Mittelwertbildung herangezogenen Stationen der betreffenden Regionen des Untersuchungsgebietes an.

Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, daß die westlichen und südlichen Bereiche der eigentlichen Ostsee höhere Biomassewerte als die nördlichen Bereiche und der Finnische Meerbusen aufweisen. Eine Biomasseentwicklung im Jahresgang kann bei nur vier Fahrten nicht angegeben werden. Die Biomassewerte im März 1969 und im März/April 1970 sind Ausdruck der einsetzenden Frühjahrsproduktion, die hohen Werte im Oktober und im November/Dezember sind auf das Herbstmaximum der Copepodenarten zurückzuführen.

3.2. Vergleich mit Biomassewerten anderer Untersuchungen

Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Autoren sind dadurch erschwert, daß die Biomassewerte häufig in Gramm unter 1 m² angegeben wurden. Außerdem sind sie weitgehendst von der angewendeten Fangmethode abhängig, bei Benutzung einer Pumpe bzw. eines Wasserschöpfers werden nur geringe Wassermengen filtriert, wobei jedoch auch kleine Formen erfaßt werden. Bei Netzfängen wird eine Wassersäule von mehreren m³ durchfischt, dabei erfolgt eine Selektion durch die Maschenweite. Bei WALDMANN (1959) beträgt die durchschnittliche Biomasse von 5 Fahrten 120 mg/m³ bzw. 4,2 g/m² bei einer Tiefe von 38 m. MANKOWSKI und Mitarb. (1959) geben für die südliche Ostsee die Biomasse in Gramm-Feuchtwicht/m² an. Die Grundlage ihrer Angaben sind Netzfänge, die von 1947 bis 1955 gemacht wurden. Dabei lagen die Untersuchungsstationen in der Arkona-, Bornholmsee und im Gdansker Tief. In den Monaten Januar—Februar betrug das Zooplanktonfeuchtwicht 5—6 g/m², von März—April 5—15 g/m², im Mai werden Werte zwischen 20—25 g/m² erreicht. Die höchsten Werte lagen mit etwa 40 g/m² im Juni. In den Monaten Oktober—Dezember wurden durchschnittlich 4—5 g/m² erreicht.

Bei den eigenen Untersuchungen betrug die Biomasse in der Arkona- und Bornholmsee im März/April etwa 10—20 g/m², im Oktober und Dezember ergaben sich weit höhere Werte für das gleiche Gebiet: im Oktober 30—40 g/m², im Dezember 25—30 g/m².

NIKOLAEV und KRIEVS (1961a, 1961b) errechneten für die zentrale Ostsee folgende Biomassedurchschnittswerte in mg/m^3 :

1949—1961				
m	Februar	Mai	August	Oktober
0—25	86	71	275	128
25—50	46	35	196	121
50—100	34	48	135	126

Ein Vergleich der zitierten Biomassewerte mit unseren Werten zeigt, daß die Biomasse der vier IBY-Terminfahrten weit über diesen liegt.

Trotz aller Einschränkungen, die der Vergleich von Werten, die mit verschiedenen Fang- und Berechnungsmethoden erhalten wurden, erfordert, kann man vermuten, daß die höheren Zooplanktonbiomassewerte der Jahre 1969/70 eine Tendenz zur erhöhten Produktion in der eigentlichen Ostsee andeutet, wie sie für die Primärproduktion bereits wahrscheinlich gemacht werden konnte (NEHRING u. Mitarb. 1969).

4. Diskussion

Die in der vorliegenden Untersuchung ausgewerteten Zooplanktonproben sind ein Teil des gesamten Zooplanktonmaterials des Internationalen Ostseejahres (IBY). Termine der Untersuchungsfahrten, Festlegung der Stationen und Fangmethoden waren international abgestimmt (DDR-Koordinator IfM Warnemünde).

Das Zooplankton zeigte eine geringe Variabilität in der artlichen Zusammensetzung. Den größten Anteil hatten die Copepoden, die mit 9 Arten vertreten waren. Cladoceren traten nur auf einer Terminfahrt in Erscheinung. Rotatorien wurden durch die Maschen des Netzes nicht zurückgehalten. Der große zeitliche Abstand zwischen den Terminfahrten und das durch die Maschenweite bedingte Fehlen von Nauplien und jüngeren Entwicklungsstadien der Copepoden hatten zur Folge, daß die Entwicklung der jeweiligen Art nicht dargestellt werden konnte. Die Entwicklungsdauer der Copepoden beträgt etwa 2 Monate, über die Dauer der einzelnen Nauplien- und Copepoditenstadien sind die Kenntnisse noch lückenhaft. Im vorliegenden Fall mußte der prozentuale Anteil der einzelnen Arten am Gesamtplankton während der Terminfahrten als Maß ihrer Bedeutung am Zooplankton gewertet werden.

Ein Vergleich mit anderen Arbeiten wurde dadurch erschwert, daß einige Autoren zu anderen Jahreszeiten arbeiteten, andere nur in bestimmten Regionen des Untersuchungsgebietes. Auch ist zu berücksichtigen, daß sich seit Beginn des Jahrhunderts die Relationen zwischen den Copepodenarten geändert haben. Bei den Untersuchungen APSTEINS (1906) und DRIVERS (1908) war *Acartia* spec. die wichtigste Gattung der Bornholm- und der südlichen Gotlandsee. In Übereinstimmung mit neueren Untersuchungen (WALDMANN 1959, ACKEFORS 1969, 1970) konnte die große Bedeutung der Arten *Pseudocalanus elongatus* und *Temora*

longicornis für das Zentralbecken der eigentlichen Ostsee bestätigt werden. In der Arkonasee ist *Acartia bifilosa* und im Finnischen Meerbusen sind *Acartia bifilosa* (und *A. tonsa*) und *Eurytemora* spec. die wichtigsten Arten.

Die meisten Copepodenarten der eigentlichen Ostsee erwiesen sich als euryoek, so daß die Festlegung echter Charakterarten auf Schwierigkeiten stößt; erst im nördlichen Teil der Gotlandsee und im Finnischen Meerbusen nimmt der verminderte Salzgehalt auf die Verbreitung Einfluß. Die Vertikalverteilung während der einzelnen Fahrten wurde durch die Temperatur bestimmt. Das Auftreten seltener, für das Untersuchungsgebiet nicht typischer Arten wie *Calanus finmarchicus*, *Paracalanus parvus*, *Sagitta setosa* und *Oikopleura dioica*, die jeden Salzwassereinstrom begleiten, konnte registriert werden. Die Individuenzahlen dieser Arten konnten dabei im Gegensatz zu MANKOWSKI (1962) nicht als Ausdruck der Stärke des Einstroms gewertet werden, was zum Teil mit der geringen Stationszahl in Arkona- und Bornholmsee erklärt werden kann.

Die von anderen Autoren im Untersuchungsgebiet festgestellten täglichen Vertikalwanderungen konnten für die Arten *Pseudocalanus elongatus* und *Temora longicornis* bestätigt werden.

5. Zusammenfassung

1. Auf 4 Terminfahrten des FS „Prof. Albrecht Penck“ des Instituts für Meereskunde der AdW im Rahmen des Internationalen Ostseejahres 1969/70 (IBY) wurden mit einem UNESCO-Standardnetz W. P. 2 (FRAZER 1968) auf Stationen in der Arkona-, Bornholm- und Gotlandsee sowie im Finnischen Meerbusen Zooplanktonproben eingebracht.
2. Es wurde die prozentuale Häufigkeit der Arten in jeder Probe ermittelt sowie die Zooplanktonbiomasse aus den Absetzvolumina errechnet und in g unter 1 m^2 bzw. mg/m^3 angegeben.
3. Die Copepoden sind die bedeutendste Gruppe. Im Untersuchungszeitraum wurden 9 Arten festgestellt. *Acartia bifilosa* ist die wichtigste Art der Arkonasee. In der zentralen Ostsee dominieren die Arten *Pseudocalanus elongatus* und *Temora longicornis*. In Finnischen Meerbusen kommen den Arten *Acartia bifilosa* und *Eurytemora* spec. große Bedeutung zu.
4. Die Dynamik der Arten im Jahresablauf konnte auf der Grundlage von nur 4 Terminfahrten nicht dargestellt werden, zumal Nauplien und Copepoditen mit dem verwendeten Netz nicht quantitativ erfaßt wurden.
5. Tägliche Vertikalwanderungen können für *Pseudocalanus elongatus* und *Temora longicornis* bestätigt werden.
6. Die Zooplanktonbiomasse-Werte variieren stark sowohl zwischen den Stationen einer Terminfahrt als auch zwischen den jeweiligen Terminfahrten. Im Vergleich zu den Werten anderer Autoren aus früheren Jahren liegen die ermittelten Werte sehr deutlich höher.

6. Literatur

- ACKEFORS, H., Ecological zooplankton investigations in the Baltic proper 1963–1965. Inst. of Mar. Res. Lysekil, Ser. Biol. Report Nr. 18 (1969a), 139 pp.
- ACKEFORS, H., Seasonal and vertical distribution of the zooplankton in the Askö area (Northern Baltic proper) in relation to hydrographical conditions. *Oikos* **20** (1969b), 481–492.
- ACKEFORS, H. and HERRNROTH, L., Seasonal and vertical distribution of zooplankton off the coast in the Baltic proper in 1968. Meddelande från Havsfiskelaboratoriet Lysekil, nr. 76 (1970), 12 pp.
- APSTEIN, C., Plankton in Nord- und Ostsee auf den deutschen Terminfahrten. *Wiss. Meeresuntersuch.*, Abt. Kiel, N.F. **9** (1906), 1–26.
- BANSE, K., Über das Verhalten von Copepoden in geschichtetem Wasser. *Kieler Meeresforsch.* **11** (1957), 188–200.
- BODNEK, W. M., (Das Zooplankton im mittleren und südlichen Teil der Ostsee und im Rigaer Meerbusen.) *Trudy VNIRO* **26** (1953), 188–209 (russ.).
- BÜCKMANN, A., Tunicata (Urochordata), Copelata. *Tierw. N.- u. Ostsee*, **12a** (1926), 1–20.
- DRIVER, H., Das Ostseepilankton der vier deutschen Terminfahrten im Jahre 1905. *Wiss. Meeresuntersuch.*, Abt. Kiel, N.F. **10**, (1908), 109–128.
- FARRAN, G. P., Genus Acartia. In: Fiches d'identification du zooplancton, Sheet 12 (1948), ICES.
- FRAZER, J. H., Zooplankton sampling II: Standardization of Zooplankton sampling methods at sea. *Monographs on Oceanographic Methodology*, 2 (1968), UNESCO.
- GURNEY, R., British fresh-water Copepoda I: General part and Calanoida. Ray Society, London 238 pp.
- HAGMEIER, E., Plankton-Äquivalente. *Kieler Meeresforsch.* **17** (1961), 32–47.
- HALME, E., Planktologische Untersuchungen in der Pojo-Bucht und angrenzenden Gewässern: Zooplankton IV. *Ann. Zool. Soc. „Vanamo“* **19** (1958), 3, 1–62.
- HEIDECHE, D., Qualitative und quantitative Untersuchungen am Zooplankton im Küstenbereich der Deutschen Beltsee. Diplomarbeit Universität Rostock 1969 (unveröff.).
- HESSLE, Chr. och VALLIN, S., Undersökningar över plankton och dess växlingar i Östersjön under åren 1925–27. *Biol. Komm. Ny Ser. Biol.* **1** (1934), 5, 1–132 (schwed.).
- KOTT, P., Modified whirling apparatus for the subsampling of plankton. *Austr. J. Mar. Freshw. Res.* **4** (1953), 387–393.
- KRAEFFT, F., Über das Plankton in Nord- und Ostsee und den Verbindungsgebieten mit besonderer Berücksichtigung der Copepoden. *Wiss. Meeresunters. Kiel u. Helgoland*, N.F. **11** (1910), 29–108.
- LINDQUIST, A., Studien über das Zooplankton der Bottensee II: Zur Verbreitung und Zusammensetzung des Zooplanktons. *Inst. Mar. Res. Lysekil, Ser. Biol. Rep.* **11** (1959a), 1–136.
- LINDQUIST, A., Distribution and composition of the macroplankton in the Bothnian Sea. *Int. Counc. Expl. Sea, Plankton Comm.*, Nr. 73 (1959b).
- LINDQUIST, A., Untersuchungen an Limmocalanus (Copepoda, Calanoida). *Inst. Mar. Res. Lysekil, Ser. Biol. Rep.* Nr. 13 (1961).
- MANKOWSKI, W., (Makroplankton of the Gulf of Gdansk in 1947.) *Prac. MIR w Gdyni* **5** (1950), 45–62 (poln.).
- MANKOWSKI, W., (Biological changes in the Baltic during the last fifty years.) *Prac. MIR w Gdyni* **6** (1951), 95–118 (poln.).
- MANKOWSKI, W., (Makroplankton investigations in the Southern Baltic in the period 1952–1955.) *Prac. MIR w Gdyni* **10** (1959), 69–130 (poln.).
- MANKOWSKI, W., RUTKOWICZ, S. and CISZEWSKI, P., (Preliminary studies on the plankton production in the Southern Baltic.) *Prac. MIR w Gdyni* **10** (1959), 131–161 (poln.).

- MANKOWSKI, W., (Biological makroplankton indicators of the inflow of salt waters from the North Sea into the Baltic Sea.) *Przeglad Zool.* **6** (1962), 1, 38–42 (poln.).
- MERKLE, H., Das Plankton der Deutschen Ostseefahrt Juli/August 1907. *Wiss. Meeresunters.*, Abt. Kiel, N.F. **11** (1910), 321–346.
- MIELCK, W., Die Verbreitung der größeren Planktontiere in der Ostsee April 1925. *Ber. Dtsch. wiss. Komm. Meeresforsch.*, N.F. **2** (1926), 199–303.
- MULICKI, Z., The polychaet *Harmothoe sarsi* KINBERG and its environments in the Baltic Sea. *Prac. MIR w Gdyni* **10** (A) (1959), 163–174.
- NEHRING, D., SCHULZ, S. und ROHDE, K. H., Untersuchungen über die Produktivität der Ostsee. *Beitr. z. Meereskunde*, H. **23** (1969), 5–36.
- NIKOLAEV, J. J. and KRIEVS, N. K., Quantitative estimation of plankton in the Central Baltic and the Gulf of Riga in 1959. *Ann. Biol.* **16** (1961a), 84–86.
- NIKOLAEV, J. J., APINE, S. O. and KRIEVS, H. K., Quantitative characteristics of the zooplankton in the Central Baltic and the Gulf of Riga. *Ann. Biol.* **18** (1961b), 76–78.
- OSTENFELD, C. H., Concluding remarks on the plankton collected on the quarterly cruises in the years 1902–1908. *Bull. trim. des résultats acquis pendant les croisières périodiques etc. Quatrième partie: (1931)*, 601–672, Kopenhagen.
- OTTEN, P., Quantitative Untersuchungen über die Copepoden des Fehmarnbeltes und ihre Entwicklungsstadien. *Wiss. Meeresunters. Kiel u. Helgoland*, N.F. **15** (1913), 251–302.
- PURASJOKI, K. J., Zur Biologie der Brackwassercladocere *Bosmina coregoni maritima* (P. E. MÜLLER). *Ann. Zool. Soc. „Vanamo“* **19** (1958), 2, 1–117.
- RAMNER, W., Crustacea, Phyllopoda. in: *Tierw. Nord- u. Ostsee* **10a** (1930), 1–32.
- ROTHE, F., Quantitative Untersuchungen über die Planktonverteilung in der östlichen Ostsee. *Ber. Dtsch. Wiss. Komm. Meeresforsch.*, Abt. Kiel, N.F. **10** (1941), 3, 291–368.
- SCOTT, T., Copepoda. *Bull. trimestriell, Rés. des observations sur le plankton etc. II: (1911)*, 106–149, Kopenhagen.
- SEGERSTRÅLE, S., Baltic Sea. in: *Treatise on Marine Ecology and Palaeocology Vol. 1. Geol. Soc. America, Memoir* 67 (1957), 751–800.
- SEGERSTRÅLE, S., Biological fluctuations in the Baltic Sea. *Progress in Oceanography Vol. 5* (1969), 169–184.
- SIUDZINSKI, K., Larvae of bottom animals in plankton of the Southern Baltic. *Int. Counc. Expl. Sea, Plankton Comm. L: 8* (1969).
- STEIN, H., Ökologisch-faunistische Zooplanktonuntersuchungen in der eigentlichen Ostsee. Diplomarbeit Universität Rostock 1970 (unveröff.).
- THORSON, G., Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates with special reference to the planktonic larvae in the Sound (Øresund). *Medd. Komm. Danm. Fisk. o. Havundersøg.*, Ser. Plankton **4** (1946), 1, 1–523.
- WALDMANN, J., Quantitative Planktonuntersuchungen in der mittleren Ostsee 1954/55. *Z. f. Fischerei*, N.F. **8** (1969), 371–436.
- WIMPENNY, R. S., *The plankton of the Sea*. London (1966), 426 pp.

Abschluß der Arbeit: Mai 1971

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. E. A. ARNDT und Dipl. Biol. H. STEIN,
Universität Rostock, Sektion Biologie, Fachbereich Meeres- und Fischereibiologie,
DDR-25 Rostock, Freiligrathstraße

Biologische Untersuchungen
während des Internationalen Ostseejahres
(International Baltic Year, IBY) 1969/70

IV. Das Makrobenthos

Von SIGURD SCHULZ

Zusammenfassung: In weiten Teilden der Ostsee war Ende 1968 das Benthos eingegangen. Mit der Wassererneuerung des Tiefenwassers in den Becken verbesserten sich die Sauerstoffverhältnisse in Grundnähe. Damit waren die Voraussetzungen für einen Neubesatz des Benthos günstig. Die Ergebnisse der Benthosuntersuchungen werden dargestellt und diskutiert.

Das Benthos gewinnt bei den fortschreitenden Veränderungen in limnischen und auch marinen Aquatorien als Indikator zunehmend an Bedeutung. Die Organismen sind aufgrund ihrer Lebensweise nahezu oder völlig an ein Biotop gebunden und so den ablaufenden Variationen ihrer Umwelt auf Gedeih und Verderb ausgeliefert. Ihre ökologische Potenz und die Größe und Dauer der Veränderungen stecken die Grenzen ihrer Existenz ab.

Wie bereits in Teil I erwähnt, liefen auch im Ökosystem Ostsee tiefgreifende Änderungen ab. Besonders das Benthos in den Becken spiegelt dies wider. Aus weiten Teilen der Ostsee ist die Anfang der 50ziger Jahre existierende Zönose verschwunden (DEMEL und MULICKI, 1954, SHURIN, 1960). Zeitweilige Neubesiedlungen nach Erneuerungen des stagnierenden Tiefenwassers waren nur von kurzer Dauer (TULLKI, 1965, LEPPÄKOSKI, 1969, SCHULZ, 1970) und brachten nicht wieder die ursprüngliche Lebensgemeinschaft hervor.

Mit der Durchführung des IBY 1969/70 bot sich die Möglichkeit, die Besiedlung einiger Stationen der tiefen Becken kontinuierlich zu studieren. Darüber hinaus konnte im Falle einer Besserung der Umweltbedingungen die Neubesiedlung kontrolliert werden. Dabei interessierte besonders, welche Arten zuerst erschienen und in welcher Zeit entsiedelte Areale wieder besetzt werden.

Methodik

Die der Studie zugrunde liegenden Daten gehen auf Proben, die auf schwedischen IBY-Expeditionen gesammelt und uns freundlicherweise zur Bearbeitung zur Verfügung gestellt wurden, und auf eigenes Probenmaterial zurück.

Die Proben wurden mit einem VAN-VEEN-Greifer (0,1 m² Grundfläche, alle Zahlenangaben im Text und auf den Tabellen sind auf die Fläche bezogen) eingesammelt und an Bord auf einem 1 mm-Sieb vom Sediment getrennt. Das

Tiermaterial wurde mit gepuffertem Formalin konserviert. Aus jedem Greifer wurde für die Bestimmung des Meiobenthos eine 5×5 cm große Fläche von der Sedimentoberfläche entnommen und konserviert. Leider konnten die Proben nicht ausgewertet werden, weil sich kein geeigneter Bearbeiter fand.

Während der Expeditionen im Winter ließen sich auf Grund widriger Witterungsbedingungen (Eis, Sturm, Zufrieren der Siebe) nur wenige Stationen untersuchen.

In den angefügten Stationslisten sind die Stationen des zentralen, westlichen und nördlichen Gotlandbeckens und des Finnischen Meerbusens nicht aufgeführt, weil auf ihnen kein Benthos gefunden wurde. Die Lage aller bearbeiteten Stationen ist aus Abb. 1 zu ersehen.

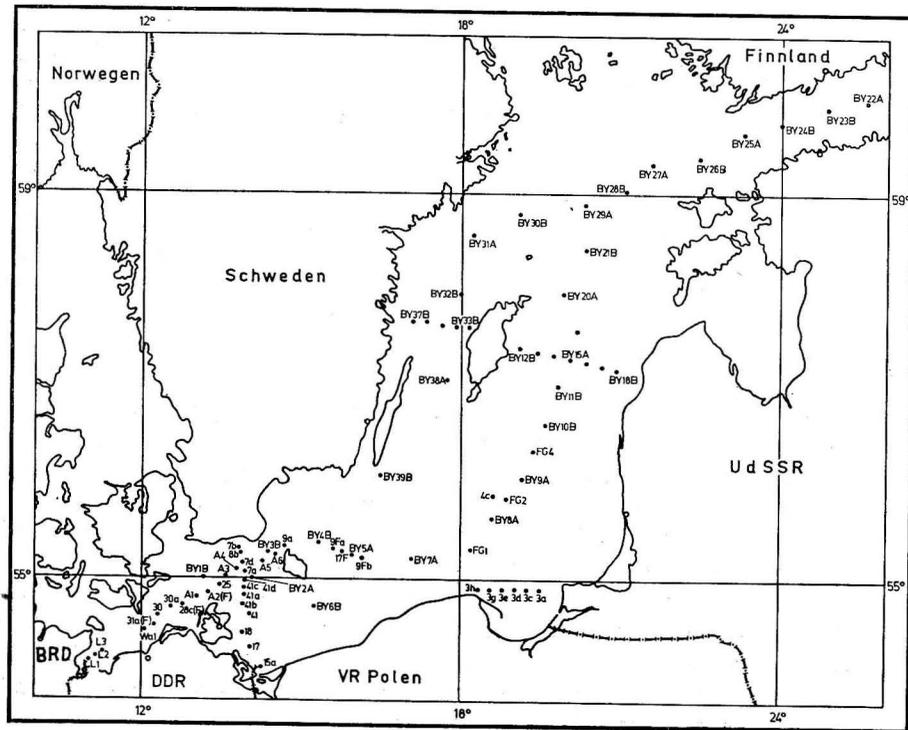


Abb. 1. Stationsplan

Ergebnisse der Benthosuntersuchungen

Arkonabecken

Das Benthos des Arkonabeckens bildet eine typische Weichbodenzönose. Dabei wirken die sehr wechselhaften abiotischen Verhältnisse auf die Bodenfauna stark selektierend. Nach SENKEVITCH (1963) sollte man die Lebens-

gemeinschaft zur *Cyprina-Astarte*-Zönose zusammenfassen. Dabei sind die beiden Charakterarten sehr ungleichmäßig verteilt. Ihr Verbreitungsgebiet zieht sich von der Kadetrinne durch den nördlichen Teil des Arkonabeckens in das Bornholmsgat hinein. Für das Arkonabecken ist jedoch auch im nördlichen Teil nur eine sporadische, inselhafte Verteilung anzunehmen. Es scheint sich um Restbestände zu handeln, die aufgrund örtlich etwas günstigerer Bedingungen überlebt haben. Sowohl LÖWE (1960) als auch ZMUNDZSINSKI (1969) geben in ihren Verbreitungskarten *Astarte borealis* in ähnlicher Verteilung an. LÖWE (1960) vermutet einen Rückgang der Population von *Astarte borealis*, und im Vergleich zu seinen Untersuchungen ist der Bestand im Berichtszeitraum weiter zusammengeschmolzen. *Cyprina islandica* findet am Eingang zum Bornholmsgat offensichtlich ihre östliche Verbreitungsgrenze. Dabei scheinen in diesem Gebiet sicher nicht der Sauerstoff, sondern eher der Salzgehalt oder die Temperatur die limitierenden Faktoren zu sein. Auf diese starken Schwankungen besonders auch der Temperatur (v. OERTZEN, 1970) geht offensichtlich das fast vollständige Fehlen von *Macoma calcarea* im Gebiet zurück. Nur auf einer Station (7d) wurde eine Muschel gefunden. An die Stelle von *M. calcarea* tritt im ganzen Becken, besonders natürlich in den flacheren Teilen, *M. baltica*. Wesentlich größere Bedeutung als die Mollusken gewinnen jedoch heute im Gegensatz zu früheren Ergebnissen die Polychaeten innerhalb der Zönose. Sie sind im Gegensatz zu *Astarte* und *Cyprina* wie *Macoma baltica* potentielle Nahrung für die am Grund weidenden Fische. Große Abundanzen bis zu 60–70 Tiere können *Scoloplos armiger* und *Terebellides strömi* erreichen. Weniger häufig kommen *Disoma multisetosum*, *Aricidea suecica*, *Paraonis gracilis* und *Nephtys ciliata* vor. In den letzten Jahren hat sich die Abundanz von *Capitella capitata* merklich erhöht. Damit ist angedeutet, daß sich auch ökologische Veränderungen am Grund abgespielt haben; denn *C. capitata* erscheint nach BAGGE (1969) und anderen Autoren als ein Tier, das organisch-belastete Aquatorien anzeigt. NEHRING (1970) weist die organische Belastung des durch die Belte und den Sund ins Arkonabecken gelangenden salzreichen Tiefenwassers an Hand hoher Ammoniumwerte nach, und gerade aus diesen Gebieten sollten die Larven stammen, die den Bestand von *Capitella capitata* gebildet haben. Die Zönose wird durch die Priapuliden *Halicryptus spinulosus* und *Priapulius caudatus* sowie die Crustaceen *Pontoporeia femorata* und *Diastylis rathkei* vervollständigt. Im Untersuchungszeitraum sind durch den Einstrom salzreichen Wassers aus der Beltsee nicht nur die abiotischen Verhältnisse verbessert worden, sondern mit diesem Wasser gelangten offensichtlich auch Larven mariner Benthostiere ins Gebiet. Besonders die Zunahme der Bestände von *Scoloplos armiger* und *Terebellides strömi* muß darauf zurückgeführt werden.

Bornholmbecken

Die Geschichte der Benthosgemeinschaft des Bornholmbeckens ist sehr wechselvoll (DEMEL und MULICKI, 1954, TULLKI, 1965, LEPPÄKOSKI, 1969,

SCHULZ, 1970). Als Folge der Stagnation nach dem großen Salzwassereinbruch 1951 und der scheinbar immer schnelleren Verschlechterung der Lebensbedingungen über dem Grund nach kleinen Einschüben seit 1961, ist die bei DEMEL und MULICKI (1954) beschriebene Fauna ausgestorben. Von den dichten Beständen der Charaktertiere *Macoma calcarea* und *Astarte borealis* sind nur noch leere Schalen zu finden. Als einzige Art trat unterhalb 70 m noch sehr vereinzelt *Harmothoe sarsi* auf. Doch ist dieses Tier kaum als echtes Benthos zu bezeichnen, denn es ist durchaus in der Lage, kurzzeitig pelagisch zu leben und damit zeitweilig aus der lebensfeindlichen Wasserschicht aufzutauchen. Kurzzeitige Neubesiedlungen nach Salzwassereinschüben 1965 und 1967 beschreibt LEPPÄKOSKI (1969). Doch vor Beginn des IBY im Frühjahr 1969 waren die geringen Bestände bereits wieder eingegangen. Dieser erneute Rückgang der von LEPPÄKOSKI (1969) und SCHULZ (1970) nachgewiesen wurde, ist ursächlich mit dem Rückgang des Sauerstoffgehaltes und dem Auftreten von Schwefelwasserstoff in grundnahen Wasserschichten verbunden.

Auf den Fahrten im Frühjahr konnte trotz verbesserter Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser noch keine Besiedlung nachgewiesen werden. Erst im Nov. 1969 wurden auf der Station BY 5A 19 *Scoloplos armiger* und *Harmothoe sarsi* nachgewiesen. Zunächst scheint der Besatz sporadisch gewesen zu sein, denn einige Proben aus dem Dezember waren ohne *Scoloplos*.

Spätestens aber ab Januar 1970 wurden auf zahlreichen Zusatzstationen stets Polychaeten dieser Art mit relativ großer Abundanz angetroffen (90–600 Tiere/m²). Außer *Scoloplos* konnte aber nur *Harmothoe sarsi* und einmal ein Exemplar von *Capitella capitata* festgestellt werden. Für die Neubesiedlung eines so großen Areals ist es von entscheidender Bedeutung, daß die Siedler eine große ökologische Potenz haben und sich vor allem über eine pelagische Larve reproduzieren. Beides trifft für *Scoloplos armiger* zu.

Anscheinend ist jedoch eine Reihe weiterer Arten die Ansiedlung nach dem Salzwassereinschub gelungen. LEPPÄKOSKI (pers. Mitteilung) stellte im August 1969 auf Standardstationen (s. LEPPÄKOSKI, 1969) *Scoloplos*, *Harmothoe*, *Capitella* und juvenile *Macoma* fest. Die Muscheln ließen sich auf Grund ihrer geringen Größe (0,8–2 mm) noch nicht artlich zuordnen. Darüber hinaus waren auch Vertreter des Meiobenthos nachzuweisen.

Sowohl in den schwedischen als auch in unseren Proben, die während des IBY gesammelt wurden, war weder *Capitella* noch *Macoma* zu finden. Das mag auf methodische Ursachen zurückgehen. LEPPÄKOSKI konnte auf jeder Station mehrere Greiferproben entnehmen und außerdem Dredgenproben verwerten. Dagegen wurde aus Zeitgründen während des IBY pro Station lediglich ein Greifer entnommen. Darüber hinaus wurden von ihm andere Stationen bearbeitet als von uns. Da nicht anzunehmen ist, daß diese auffälligen Faunenelemente übersehen wurden, muß man mit einer ungleichmäßigen Neubesiedlung des Bornholmbeckens rechnen.

Im Oktober 1970 war auf allen Stationen *Scoloplos* wieder eingegangen. Diese Entwicklung deutet eine erneute Verschlechterung der Lebensbedin-

gungen am Grund an, die sich durch die Abnahme des Sauerstoffgehaltes auch bestätigen ließ.

Gotlandbecken

Die Bodenlebewelt des Gotlandbeckens, insbesondere des südlichen Teils, wurde nach SHURIN (1960) wesentlich durch den Anstieg des Salzgehalts in diesem Jahrhundert beeinflusst. Zunächst gelang es besonders nach dem Salzwassereinschub 1951 einer Reihe von marinen Wirbellosen weiter in das Gebiet vorzudringen. Zu nennen wären *Terebellides strömi*, *Scoloplos armiger*, *Priapulus caudatus* und *Diastylis rathkei*. In der folgenden Stagnationsperiode ging aber die Artenzahl und die Biomasse des Benthos deutlich zurück. Der Zustand verschlechterte sich so weit, daß unterhalb 90 m das makroskopische Benthos ausstarb. SHURIN weist auf die bedenklichen Folgen dieser Entwicklung auch im Hinblick auf die Ernährung der Grundfische hin. Lediglich der Südteil des Gotlandtiefs wies mit *Scoloplos armiger*, *Harmothoe sarsi*, *Pontoporeia femorata* und *Priapulus caudatus* noch eine dünne Besiedlung auf. Hier endet auch das Verbreitungsareal von *Astarte borealis*. Diese Muschel erreicht nur noch auf dem steinigem Grund der Slupsker Rinne hohe Abundanzen. Auf der Station BY 8 konnte sie letztmalig nachgewiesen werden. Im Untersuchungszeitraum fanden wir nur auf den Stationen im Südteil des östlichen Gotlandbeckens Benthos. Bedauerlicherweise kann keine Aussage über den Zustand der Zönose vor Beginn des IBY gemacht werden. Ergebnisse von entsprechenden Untersuchungen sind nicht bekannt. Da außerdem auf unserer ersten IBY-Expedition wegen widriger Witterungsverhältnisse eine Benthosprobenentnahme unmöglich war, läßt sich die Situation nicht gesichert beurteilen.

Auf Grund der Anwesenheit von *Astarte borealis* bis zur Stat. BY 8 läßt sich jedoch schlußfolgern, daß zumindest diese Art auch vor Beginn des IBY dort gelebt hat. *A. borealis* reproduziert sich über eine nichtpelagische Larve (v. OERTZEN, 1970), und eine Neubesiedlung eines Areals würde nach dem Aussterben einer Population sicher eine längere Zeit dauern. Als Beispiel dafür kann man die Verhältnisse im Bornholmbecken heranziehen, wo eine Neubesiedlung durch die früher dominierende *A. borealis* noch nicht beobachtet wurde. Wahrscheinlich waren dann aber auch andere Arten mit großer ökologischer Potenz wie *Scoloplos armiger*, *Terebellides strömi* oder die Priapuliden vorhanden.

Auf den Stationen BY 9A, FG 4, BY 10B und nördlich von ihnen war offensichtlich vor Beginn der Wassererneuerung kein Benthos vertreten. Anscheinend ist es hier erst Anfang 1970 nach einem zweiten Einschub (NEHRING u. FRANCKE, 1971) zu einer Neubesiedlung gekommen. Allerdings ging diese offensichtlich nur bis zu einer Tiefe von etwa 140 m, denn Station BY 10 und alle nördlicheren Positionen wurden von ihr nicht mehr erfaßt. Wie zu erwarten war, scheint der Neubesatz auch von Süden mit dem eindringenden Tiefenwasser vor sich gegangen zu sein. Während auf Stat. BY 9A *Scoloplos* bereits im Mai 1970

festgestellt wurde, trat die Art auf Stat. FG 4 erst im Juli 1970 auf. Im Gegensatz zum Bornholmbecken, wo Ende 1970 die Population von *Scoloplos* offenbar bereits wieder eingegangen war, ließen sich zum gleichen Zeitpunkt auf den Stationen BY 9A und FG 4 noch Tiere dieser Art nachweisen. Der stark fallende Trend der Sauerstoffwerte im Tiefenwasser deutete jedoch darauf hin, daß auch hier mit einem baldigen Rückgang der Population zu rechnen ist.

Finnischer Meerbusen

Seit Anfang der fünfziger Jahre ist nach SEGERSTRÅLE (1965) die artenarme Weichbodenzönose des tieferen Teils des Finnischen Meerbusens eingegangen. Als Ursache wird auch hier der zumindest zeitweilig stark absinkende Sauerstoffgehalt der grundnahen Wasserschicht angesehen. Zwischenzeitlich kommt es jedoch sicher zu Verbesserungen des Milieus und damit zur Möglichkeit eines Neubesatzes.

Im Untersuchungszeitraum konnten wir viermal die IBY-Stationen im Gebiet untersuchen. Auf keiner dieser Positionen war Benthos nachzuweisen. Lediglich leere Schalen von *Macoma baltica* waren zu finden. Als potentielle Siedler kommen in diesem Gebiet nach SEGERSTRÅLE (1965) lediglich *Macoma baltica*, *Pontoporeia femorata* und *Halicryptus spinulosus* in Frage.

Die allgemeinen Veränderungen der Lebensbedingungen in Grundnähe, die mit Salzwassereinschüben in die Ostsee in Verbindung stehen, haben sich auch im Finnischen Meerbusen bemerkbar gemacht. Waren sie jedoch in allen übrigen Teilen positiv oder zumindest schließlich positiv, d. h. verbesserten sich die Sauerstoffverhältnisse am Grund, so trat im Finnischen Meerbusen der umgekehrte Fall ein. Im Sommer 1969 gelangte H₂S-haltiges Wasser, das aus dem Gotlandbecken verdrängt worden war, über dem Grund in den Finnischen Meerbusen (FONSELIUS, 1970) und verschlechterte so die Lebensbedingungen. Allerdings wurde der Schwefelwasserstoff offenbar schnell wieder aufoxydiert, denn im Oktober fanden wir bereits wieder geringe Mengen Sauerstoff im Tiefenwasser aller Stationen.

Diskussion

Während des Internationalen Ostseejahres kam es durch Salzwassereinschübe zur Veränderung des Milieus in den tiefen Becken. Die grundnahen Wasserschichten hatten zuvor im Bornholm- und Gotlandbecken ihren Sauerstoffgehalt verloren, und Schwefelwasserstoff war nachzuweisen. Das Benthos war im Bornholmtief etwa unterhalb 70 m und im Gotlandbecken unterhalb 90 m verschwunden. Mit der Erneuerung des Tiefenwassers eröffnete sich auch die Möglichkeit der Neubesiedlung. So war im Bornholmbecken im Sommer 1969 stellenweise Benthos nachzuweisen (*Scoloplos armiger*, *Macoma spec.*, *Harmonia sarsi*, *Capitella capitata*). Offenbar gingen die Populationen, die zweifellos

nur sporadisch verbreitet waren, im Spätherbst zugrunde. Im Frühjahr 1970 war dann *Scoloplos armiger* im Bornholmbecken weit verbreitet. Jedoch ging auch dieser Bestand Ende 1970 wieder ein.

Im Südteil des Gotlandbeckens scheint erst der zweite Salzwassereinschub Anfang 1970 zur Besiedlung größerer Tiefen (bis 140 m) geführt zu haben. Als einzige Siedler wurden hier *Scoloplos armiger* festgestellt. Im Gegensatz zum Bornholmbecken war die Population Ende 1970 noch nachweisbar.

Alle Stationen nördlich der Stat. BY 10B im zentralen, nördlichen und westlichen Gotlandbecken sowie im Finnischen Meerbusen wurden ohne Benthos angetroffen. Obwohl auch hier die Lebensbedingungen am Grund verbessert wurden, erfolgte keine Besiedlung. Es ist anzunehmen, daß hier mehrere Faktoren zur Wirkung kommen. Offenbar scheint die Kombination abiotischer Umweltparameter, wie niedriger Salzgehalt, Temperatur und Sauerstoffgehalt, besonders den empfindlichen Larven der potentiellen Siedler Grenzen zu setzen. Andererseits erreichen die pelagischen Larven, die sich in dem einströmenden Wasserkörper befinden, scheinbar nicht die zentralen und nördlichen Teile des Gotlandbeckens, sondern reifen vorher und sinken zu Boden. Die Besiedlung der Tiefen des Gotlandbeckens geht offenbar wegen der vorherrschenden Strömung von Süden weniger von den Randgebieten aus.

Im westlichen Teil des Gotlandbeckens war im Untersuchungszeitraum auf Grund der schlechten Sauerstoffverhältnisse oder der Anwesenheit von Schwefelwasserstoff kein Benthos zu erwarten.

Doch nicht nur in den tiefen Becken ließen sich die positiven Auswirkungen der Salzwassereinschübe feststellen. In den flacheren Teilen, wie dem Arkona- becken oder der Slupsker Rinne, konnte eine deutliche Zunahme des Benthos in der Artenzahl und der Abundanz vermerkt werden.

Die Benthosuntersuchungen während des Internationalen Ostseejahres haben gezeigt, daß Teilgebiete der Ostsee (Bornholmbecken, Südteil des östlichen Gotlandbeckens) nach der Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse in Grundnähe in relativ kurzer Zeit neu besiedelt werden. Dafür kommen allerdings nur Tiere in Frage, die sich über eine pelagische Larve reproduzieren und über eine große ökologische Potenz verfügen. Weite Teile (zentrales, nördliches und westliches Gotlandbecken) scheinen jedoch auch nach der Erneuerung des Tiefenwassers keinen Neubesatz zu erhalten.

Literatur

- [1] BAGGE, P., The succession of the bottom fauna communities in polluted estuarine habitats. *Limnologica* 7 (1969), S. 87–94.
- [2] DEMEL, K. und MULICKI, Z., Quantitative investigations on the biological bottom productivity of the South Baltic. *Prace MIR w Gdyni* 7 (1954), S. 75–126.
- [3] FONSELIUS, S. H., On the stagnation and recent turnover of the water in the Baltic. *Tellus* 22 (1970), S. 533–544.
- [4] FRANCKE, E. und NEHRING, D., Erste Beobachtungen über einen erneuten Salzwassereinschub in die Ostsee im Februar 1969. *Beitr. Meeresk.*, H. 28, (1971), S. 33–47.

- [5] LEPPÄKOSKI, E., Transitory return of the benthic fauna of the Bornholm Basin after extermination by oxygen insufficiency. *Cah. Biol. Mar.* **10** (1969), S. 163–172.
- [6] LÖWE, F. K., Quantitative Benthosuntersuchungen in der Arkonasee. Dissertation, Humboldt-Univ. Berlin (1960).
- [7] NEHRING, D. und FRANCKE, E., Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70. *Fischerei-Forschung, Rostock* **9** (1971), S. 35–42.
- [8] OERTZEN, J.-A., Experimentell-ökologische Untersuchungen an Makrobenthosformen (Bivalvier) der Deutschen Beltsee. Dissertation, Univ. Rostock (1970).
- [9] SCHULZ, S., Der Lebensraum Ostsee — ökologische Probleme in einem geschichteten Brackwassermeer. *Biol. Rundschau* **8** (1970), S. 209–218.
- [10] SEGERSTRÅLE, S. G., On the salinity conditions off the south coast of Finland since 1950, with comments on some remarkable hydrographical and biological phenomena in the Baltic area during this period. *Comment. Biol.* **28** (1965), S. 1–28.
- [11] SENKEVITSCH, L., *Biology of the seas of the U.S.S.R.* [George Allen and Unwin Ltd, London (1963), 955 S.
- [12] SHURIN, A. T., Characteristics of the bottom fauna in the eastern Baltic as observed in 1959. *Int. Counc. Expl. Sea, Baltic-Belt Seas Comm.* (1960), Nr. 109.
- [13] TULLKI, P., Disappearance of the benthic fauna from the Basin of Bornholm (Southern Baltic), due to oxygen deficiency. *Cah. Biol. Mar.*, **VI** (1965), S. 455–463.

Abschluß der Arbeit: Mai 1971

Anschrift des Verfassers:

Dr. S. SCHULZ, Institut für Meereskunde der AdW,
DDR — 253 Rostock-Warnemünde

Stationslisten über die Ergebnisse der Makrobenthosuntersuchungen
im Internationalen Ostseejahr 1969/70

Arten und Zahl der Individuen	Stat. A 2, Kiesiger Sand, 28 – 30 m					Stat. 25, Schlick, H ₂ S, 46 – 47 m						Stat. A 3, Schlick, H ₂ S, 43 – 46 m					
	28. 10. 1969	21. 3. 1970	25. 5. 1970	23. 7. 1970	23. 10. 1970	28. 2. 1969	24. 10. 1969	29. 11. 1969	22. 3. 1970	14. 4. 1970	25. 5. 1970	23. 7. 1970	23. 10. 1970	24. 10. 1969	22. 3. 1970	24. 7. 1970	24. 10. 1970
Arkonabecken																	
1. <i>Nemertini</i>																	
2. <i>Priapulus caudatus</i>	1		2								2	1					
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>				2			1		1								
4. <i>Retusa truncatula</i>	1						15										
5. <i>Mytilus edulis</i>		1															
6. <i>Cyprina islandica</i>					1						1						
7. <i>Astarte elliptica</i>								1									
8. <i>Astarte borealis</i>																	
9. <i>Macoma baltica</i>	6	5		4	3		4		2	4		2		3	9	4	
10. <i>Macoma calcarea</i>																	
11. <i>Harmothoe sarsi</i>		1		1						1	1	1					
12. <i>Hypoelulia bilineata</i>																	
13. <i>Anaitides mucosa</i>		1		1													
14. <i>Eteone longa</i>			1														
15. <i>Eteone flava</i>																	
16. <i>Nephtys hombergi</i>																	
17. <i>Nephtys ciliata</i>			1								1						
18. <i>Scoloplos armiger</i>	27	21	20	13	2	3	17	5	17	21	17	21		17	24	17	6
19. <i>Polydora ciliata</i>																	
20. <i>Disoma multisetosum</i>		2	3		2				2	1		1	1				
21. <i>Paraonis gracilis</i>																	
22. <i>Aricidea suecica</i>	10			2			2			1	1	1			4	4	3
23. <i>Capitella capitata</i>			1	3							1						
24. <i>Ampharete acutifrons</i>																	
25. <i>Terebellides strömi</i>	7	14	7	9	7			3	3		5			2	16	10	8
26. <i>Nicola venustula</i>																	
27. <i>Neoamphitrite figulus</i>																	
28. <i>Oligochaeta</i>				1													
29. <i>Nymphon gracile</i>																	
30. <i>Pontoporeia femorata</i>	6		1	11						2		4					
31. <i>Pontoporeia affinis</i>																	
32. <i>Bathyporeia pilosa</i>																	
33. <i>Corophium volutator</i>																	
34. <i>Diastylis rathkei</i>	1	2		18	13			2	1	3		7		1	1	2	1
35. <i>Mesidotea entomon</i>																	

Arten und Zahl der Individuen	Stat. 1 B, Schlick, 46 m			Stat. 7 d, sand. Schlick, H ₂ S, 43 – 45 m					Stat. 7 a, Schlick, 47 m						
	30. 9. 1969	21. 3. 1970	23. 10. 1970	23. 10. 1969	24. 10. 1969	12. 4. 1970	24. 5. 1970	24. 7. 1970	14. 11. 1970	23. 10. 1969	12. 10. 1969	12. 4. 1970	24. 5. 1970	24. 7. 1970	14. 11. 1970
Arkonabecken															
1. <i>Nemertini</i>			1					1	1						
2. <i>Priapulus caudatus</i>			2						1					1	
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>	3	5		1											
4. <i>Retusa truncatula</i>										1	1				
5. <i>Mytilus edulis</i>															
6. <i>Cyprina islandica</i>				1											
7. <i>Astarte elliptica</i>				4	4				1						
8. <i>Astarte borealis</i>				6	6	2	3	1	1						
9. <i>Macoma baltica</i>	6	8	3	5	5	3		1							
10. <i>Macoma calcarea</i>									1						
11. <i>Harmothoe sarsi</i>	7			5	2			2							
12. <i>Hypoelulia bilineata</i>					1										
13. <i>Anaitides mucosa</i>													1		
14. <i>Eteone longa</i>		1													
15. <i>Eteone flava</i>										1					
16. <i>Nephtys hombergi</i>															
17. <i>Nephtys ciliata</i>					1										
18. <i>Scoloplos armiger</i>	17	11		40	65	64	9	17	10	14	33	16	30	20	
19. <i>Polydora ciliata</i>										2					
20. <i>Disoma multisetosum</i>				3		1				1	1	1		1	
21. <i>Paraonis gracilis</i>				7	4	2	1	3		2	3	9	1	2	
22. <i>Aricidea suecica</i>				23	13	3	3	10		1	7	21	4	4	
23. <i>Capitella capitata</i>		2	1	2	2	2					1	2	3	4	1
24. <i>Ampharete acutifrons</i>															
25. <i>Terebellides strömi</i>	21	37	4	14	1	6	7	26	4	3	17	2	13	2	2
26. <i>Nicola venustula</i>															
27. <i>Neoamphitrite figulus</i>															
28. <i>Oligochaeta</i>															
29. <i>Nymphon gracile</i>															
30. <i>Pontoporeia femorata</i>	2			7	6	8		8							
31. <i>Pontoporeia affinis</i>															
32. <i>Bathyporeia pilosa</i>		3													
33. <i>Corophium volutator</i>															
34. <i>Diastylis rathkei</i>	10	2		5	1			13							
35. <i>Mesidotea entomon</i>															

Arten und Zahl der Individuen	Stat. 4 B, Schlick, H ₂ S, 93 m							Stat. 9 Fa, Schlick, H ₂ S, 96 m							
	1. 3. 1969	3. 10. 1969	14. 12. 1969	23. 3. 1970	12. 4. 1970	5. 5. 1970	26. 7. 1970	12. 11. 1970	21. 10. 1969	13. 12. 1969	23. 3. 1970	12. 4. 1970	5. 5. 1970	26. 7. 1970	12. 11. 1970
Bornholmbecken															
1. <i>Nemertini</i>															
2. <i>Priapulus caudatus</i>															1
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>															
4. <i>Hydrobia spec.</i>															
5. <i>Astarte borealis</i>					x			x			x		x		x
6. <i>Macoma baltica</i>		1													
7. <i>Macoma calcarea</i>	x	x			x			x							
8. <i>Harmothoe sarsi</i>		2													
9. <i>Pholoe minuta</i>										1					
10. <i>Eteone longa</i>															
11. <i>Nephtys ciliata</i>															
12. <i>Scoloplos armiger</i>				18	36	18	6				4	3	8	3	
13. <i>Disoma multisetosum</i>															
14. <i>Paraonis gracilis</i>															
15. <i>Aricidea suecica</i>															
16. <i>Capitella capitata</i>															
17. <i>Ampharete acutifrons</i>															
18. <i>Terebellides strömi</i>															
19. <i>Oligochaeta</i>															
20. <i>Nymphon gracile</i>															
21. <i>Pontoporeia spec.</i>															
22. <i>Pontoporeia femorata</i>															
23. <i>Pontoporeia affinis</i>															
24. <i>Diastylis rathkei</i>															
25. <i>Mesidotea entomon</i>															

x Schalen vorhanden

S. SCHULTZ

Arten und Zahl der Individuen	Stat. 17 F, Schlick, H ₂ S, 96 m							Stat. 5 A Schlick, H ₂ S, 91 m												
	21. 10. 1969	13. 12. 1969	23. 3. 1970	12. 4. 1970	5. 5. 1970	26. 7. 1970	28. 10. 1970	1. 3. 1969	16. 4. 1969	3. 10. 1969	21. 10. 1969	14. 11. 1969	13. 12. 1969	14. 1. 1970	23. 3. 1970	12. 4. 1970	6. 5. 1970	26. 7. 1970	12. 11. 1970	
Bornholmbecken																				
1. <i>Nemertini</i>																				
2. <i>Priapulus caudatus</i>																				
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>																				
4. <i>Hydrobia spec.</i>																				
5. <i>Astarte borealis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6. <i>Macoma baltica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7. <i>Macoma calcarea</i>																				
8. <i>Harmothoe sarsi</i>									1					1						
9. <i>Pholoe minuta</i>																				
10. <i>Eteone longa</i>																				
11. <i>Nephtys ciliata</i>																				
12. <i>Scoloplos armiger</i>			43	4	12	10						19		65	32	30	9	10		
13. <i>Disoma multisetosum</i>																				
14. <i>Paraonis gracilis</i>																				
15. <i>Aricidea suecica</i>																				
16. <i>Capitella capitata</i>																				
17. <i>Ampharete acutifrons</i>															1					
18. <i>Terebellides strömi</i>																				
19. <i>Oligochaeta</i>																				
20. <i>Nymphon gracile</i>																				
21. <i>Pontoporeia spec.</i>																				
22. <i>Pontoporeia femorata</i>																				
23. <i>Pontoporeia affinis</i>																				
24. <i>Diastylis rathkei</i>																				
25. <i>Mesidotea entomon</i>																				

IBY. IV. Das Makrobenthos

Arten und Zahl der Individuen	Stat. 9 Fb, Schlick, 80 - 87 m							Stat. 6 B, Schlick, 64 m			Stat. 7 A, Kies, 92 m										
	1. 3. 1969	21. 10. 1969	13. 12. 1969	23. 3. 1970	12. 4. 1970	6. 5. 1970	26. 7. 1970	12. 11. 1970	22. 10. 1969	14. 12. 1969	6. 5. 1970	28. 10. 1970	3. 2. 1969	16. 4. 1969	4. 10. 1969	14. 11. 1969	30. 11. 1969	14. 1. 1970	24. 3. 1970	26. 7. 1970	11. 11. 1970
Bornholmbecken																					
1. <i>Nemertini</i>													1	1	1		2	1	1	1	
2. <i>Priapulus caudatus</i>									1												
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>										1										1	1
4. <i>Hydrobia spec.</i>											1								10	4	
5. <i>Astarte borealis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x					4		4		1				
6. <i>Macoma baltica</i>													6	11	42	101	19		66	26	
7. <i>Macoma calcarea</i>	x	x	x	x	x	x	x	x					3		4	2	2		2		
8. <i>Harmothoe sarsi</i>																					
9. <i>Pholoe minuta</i>																		1			
10. <i>Eteone longa</i>																					
11. <i>Nephtys ciliata</i>																					
12. <i>Scoloplos armiger</i>		9		20	1	7	48	4	3												
13. <i>Disoma multisetosum</i>										2	5	27		12	48	18	3	7	49	36	10
14. <i>Paraonis gracilis</i>																					
15. <i>Aricidea suecica</i>				1																	
16. <i>Capitella capitata</i>															12	3			4	4	
17. <i>Ampharete acutifrons</i>															3	5	2	5	2	2	
18. <i>Terebellides strömi</i>															5				2	2	
19. <i>Oligochaeta</i>															1				71	39	2
20. <i>Nymphon gracile</i>																			2	2	
21. <i>Pontoporeia spec.</i>		1														1					
22. <i>Pontoporeia femorata</i>																					
23. <i>Pontoporeia affinis</i>												12	3	18	4	17	22	9	5	3	
24. <i>Diastylis rathkei</i>																		1			
25. <i>Mesidotea entomon</i>												1		18	7	7		6	24	4	

S. SCHULZ

Arten und Zahl der Individuen	Stat. FG 1, Schlick, 76 m					Stat. 8 A, Schlick, 100 m					Stat. FG 2, Schlick, 110 m			
	4. 10. 1969	25. 3. 1970	19. 5. 1970	26. 7. 1970	8. 11. 1970	4. 10. 1969	14. 11. 1969	1. 12. 1969	25. 3. 1970	19. 5. 1970	27. 7. 1970	8. 11. 1970	19. 5. 1970	7. 7. 1970
Gotlandbecken														
1. <i>Nemertini</i>									1					
2. <i>Priapulus caudatus</i>				1										
3. <i>Halicryptus spinulosus</i>				2										
4. <i>Astarte borealis</i>	84	3	1	3			4		2					
5. <i>Macoma baltica</i>			11	5	1									
6. <i>Harmothoe sarsi</i>		1	1	1	1		1		1					
7. <i>Scoloplos armiger</i>	9		15	24	1	22	5	4	26	17	20	14	54	8
8. <i>Pygospio elegans</i>	2													
9. <i>Aricidea suecica</i>			3	3		1			1	5				
10. <i>Capitella capitata</i>											1			
11. <i>Ampharete acutifrons</i>				1										
12. <i>Terebellides strömi</i>	2		13	13	1					3	2			
13. <i>Pontoporeia femorata</i>	3		25	49		10		6	3	3	5			
14. <i>Pontoporeia affinis</i>									1		3			
15. <i>Diastylis rathkei</i>	2													
16. <i>Mesidotea entomon</i>									1	1				

IBY. IV. Das Makrobenthos

Arten und Zahl der Individuen	Stat. 9 A, Schlick, 125 m		Stat. FG 4, Schlick, 135-140 m		Stat. 10 B, Schlick, 150 m	
	Datum	Ergebnis	Datum	Ergebnis	Datum	Ergebnis
Gotlandbecken 1. <i>Nemertini</i> 2. <i>Priapulus caudatus</i> 3. <i>Halicyptus spinulosus</i> 4. <i>Astarte borealis</i> 5. <i>Macoma baltica</i> 6. <i>Harmothoe sarsi</i> 7. <i>Scoloplos armiger</i> 8. <i>Pygospio elegans</i> 9. <i>Aricidea suecica</i> 10. <i>Capitella capitata</i> 11. <i>Ampharète acutifrons</i> 12. <i>Terebellides strömi</i> 13. <i>Pontoporeia femorata</i> 14. <i>Pontoporeia affinis</i> 15. <i>Diastylis rathkei</i> 16. <i>Mesidotea entomon</i>	31. 1. 1969	kein Benthos	26. 3. 1970	kein Benthos	5. 10. 1969	kein Benthos
	5. 10. 1969	kein Benthos	18. 3. 1970	2	7. 11. 1970	kein Benthos
	1. 12. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	27. 7. 1970	7 115	18. 3. 1970	1 30	27. 7. 1970	1
	18. 3. 1970	1 30	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	26. 3. 1970	2	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	5. 10. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	31. 1. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	5. 10. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	1. 12. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	26. 3. 1970	2	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	18. 3. 1970	1 30	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	5. 10. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	1. 12. 1969	kein Benthos	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos
	26. 3. 1970	2	27. 7. 1970	7 115	27. 7. 1970	kein Benthos

Beitrag zur geographischen Verbreitung und ökologischen Existenz von Bivalviern der Ostsee

Von JÖRG-ANDREAS VON OERTZEN und SIGURD SCHULZ

Zusammenfassung: Die geographische Verbreitung von *Astarte borealis* (CHEMNITZ), *Astarte elliptica* (BROWN), *Macoma calcarea* (CHEMNITZ) und *Cyprina islandica* (LINNE) wird an Hand eines umfangreichen Probenmaterials in Verbreitungskarten dargestellt und in Abhängigkeit von den wichtigsten abiotischen Parametern diskutiert. Neben mikrogeographischen Untersuchungen erfolgt eine Darstellung der östlichsten Verbreitungsgrenzen der o. g. Tiefenformen (*Macoma calcarea*-Zönose) und die Gegenüberstellung zu den Flachwasserformen (*M. baltica*-Zönose): *Macoma baltica* (LINNE), *Cardium lamarcki* (REEVE), *Mya arenaria* (LINNE) sowie weiterer Arten.

Neben der Hydrographie ist die aktuelle Verbreitung der Organismen unter Berücksichtigung historischer Aspekte die Ausgangsposition für intensive ökologische und physiologische Studien. Im folgenden soll deshalb mit besonderer Betonung der arktischen Tiefenformen auf die geographische und vertikale Verbreitung von acht Bivalvierarten eingegangen werden. Ziel dieser Untersuchungen ist unter anderem, die Festlegung der Verbreitungsgrenzen in geographischer Sicht und deren Beziehung zu einigen hydrographischen Faktoren aufzuzeigen.

Unter Verbreitungsgebiet wird, im Gegensatz zum Ausbreitungsgebiet, das Areal verstanden, das von Populationen der entsprechenden Art aktiv oder passiv besiedelt wird und in welchem die Art autochton, also über den gesamten Reproduktionszyklus existenzfähig ist.

Im Widerspruch zur intensiven wissenschaftlichen Bearbeitung der Ostsee steht die Tatsache, daß die Publikation der letzten großräumigen Verbreitungsarbeit von Bivalviern bereits über ein halbes Jahrhundert zurückliegt (JOHANNSEN, 1918).

Zur Verbreitung der wichtigsten Arten außerhalb der Ostsee soll auf einige einschlägige Publikationen verwiesen werden: HAAS (1926); FILATOWA (1948); THORSON (1951); JAECKEL (1952a); OCKELMANN (1958, 1965); THORSON (1965); TEBBLE (1968); HOEPNER-PETERSEN (1968); SAVCHUK (1970); BESSONOV et al. (1970).

Wir danken den Kapitänen und Mannschaften der Forschungsschiffe „Prof. A. Penck“ und „Prof. O. Krümmel“ für ihre Unterstützung bei der Materialbeschaffung auf den zahlreichen Terminfahrten.

Hydrographische Kurzcharakteristik des Verbreitungsgebietes

Salinität

Die größte Aussagekraft für ökologische Betrachtungen haben neben den monatlichen Isohalinendarstellungen langfristige (jährliche, monatliche) und kurzfristige (stündliche, interdiurne) Extremwertangaben (s. VON OERTZEN, 1973).

Neue kontinuierliche Isohalinendarstellungen über den Tiefensalzgehalt der Ostsee liegen nicht vor. Aus den bisher vorliegenden Darstellungen (Abb. 1) (s. auch Deutsche Seewarte, Atlas, 1927) ist zu entnehmen, daß die 10‰-Tiefenisohaline sich vom Rand des Arkonabeckens über das Bornholmbecken bis weit nach Norden um das Gotlandtief erstreckt. Im Bornholmbecken selbst

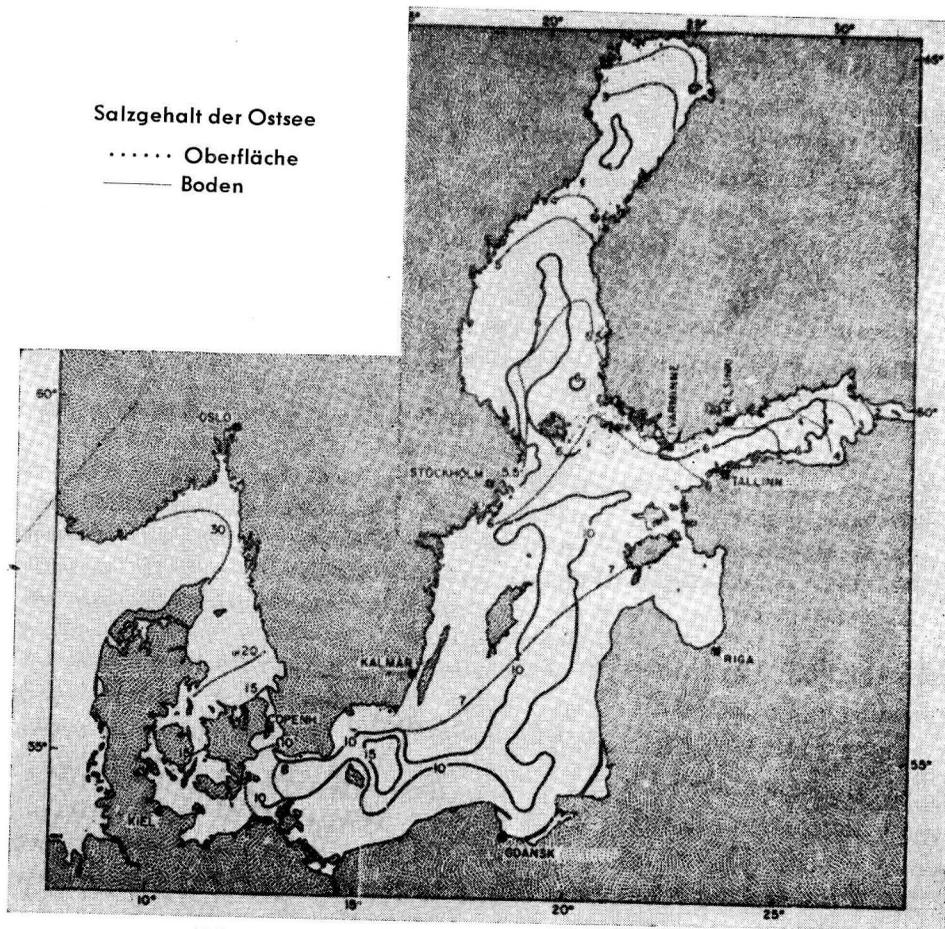


Abb. 1. Oberflächen- und Tiefen-Isohalinen in der Ostsee (nach SEGERSTRÄLE, 1957)

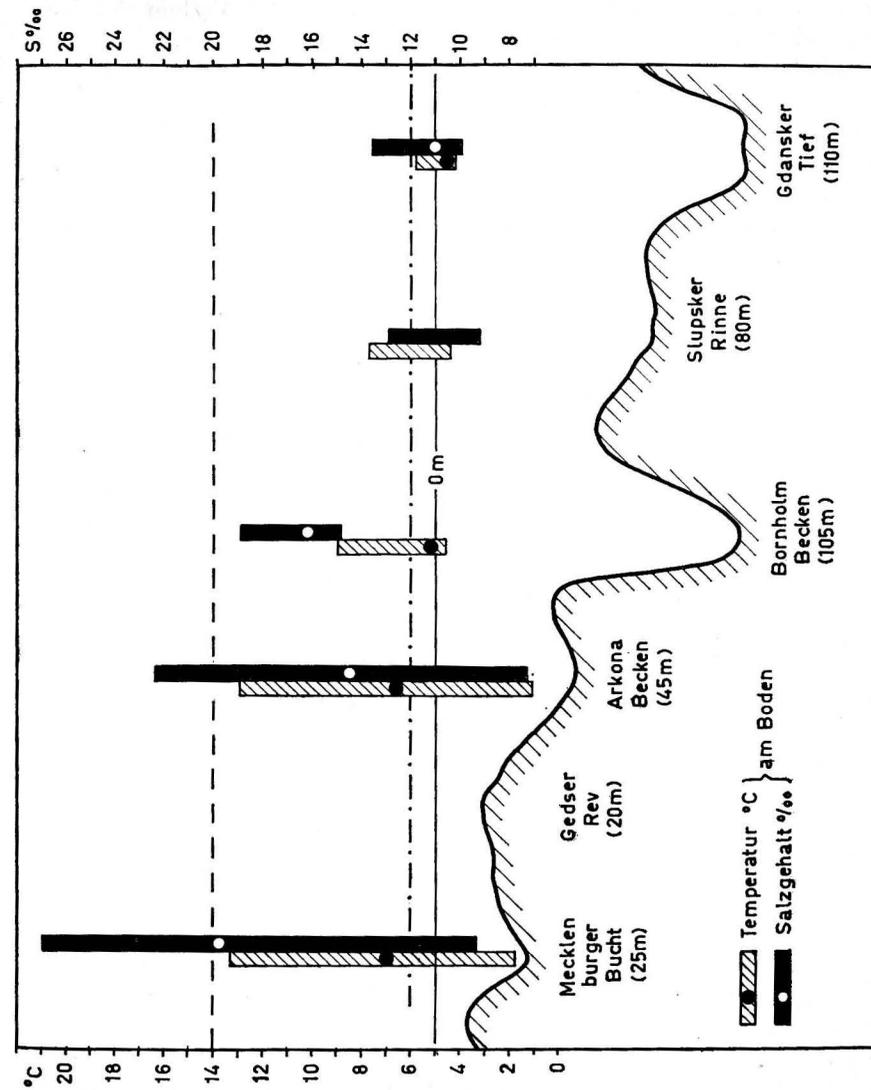


Abb. 2. Langjährige Mittelwerte und Extremwerte von Salzgehalt und Temperatur in geographischer Sicht (zusammengestellt nach mehreren Autoren) Grobe Grenzweite von Temperatur (—, — —) und Salzgehalt (—, —, —) für die Verbreitung der Tiefenformen (*Macoma calcarata*-Zönose)

und bis in das Gdansker Tief werden je nach Jahreszeit und Strömungsverhältnissen Salinitäten zwischen 12‰ und 18‰ gemessen.

Eine neuere Isohalinenübersicht aus den Sommermonaten 1954 liegt den Abbildungen 3–5 zugrunde und zeigt einen etwas anderen Verlauf der Isohalinen (SIMONOWA, 1965).

In Abbildung 2 ist der Versuch gemacht worden, neben langfristigen Mittelwerten auch die für ökologische Untersuchungen bedeutsameren, absoluten Minima und Maxima des Bodensalzgehaltes der letzten Jahrzehnte von West nach Ost darzustellen. Deutlich ist von West nach Ost, trotz zunehmender Wassertiefe, die Abnahme des durchschnittlichen Salzgehaltes zu beobachten. Ebenso verringert sich mit zunehmender Tiefe der Schwankungsbereich von der Mecklenburger Bucht mit ca. 18‰ bis zum Gdansker Tief auf ca. 4‰ S.

Temperatur

Das bei der tiergeographischen Betrachtung interessierende Gebiet erstreckt sich zwischen 54° und 56° nördlicher Breite und unterliegt keinen wesentlichen klimatischen Unterschieden. Die mittleren Oberflächentemperaturen (Seehandbuch der Ostsee 1969) bewegen sich im gesamten Areal — im Winter zwischen 1–2 °C und im Sommer zwischen 16–17 °C. Die für die Benthosbewohner entscheidenden Tiefentemperaturen sind im wesentlichen unabhängig von der geographischen Ausdehnung des Gebietes und mit Wassertiefe, Jahreszeit und Strömungsverhältnissen korreliert. In Abbildung 2 sind entsprechend den Salzgehaltswerten langfristige Mittelwerte und Extremwerte der Tiefentemperaturen von West nach Ost dargestellt. Auch hier ist mit zunehmender Wassertiefe eine Abnahme der Durchschnittstemperaturen und des Schwankungsbereiches zu konstatieren.

Sauerstoff, H₂S, pH, Nährstoffe

Diese Faktoren sind ebenfalls, sieht man von der Korrelation mit dem Salzgehalt ab, im gesamten Gebiet ohne geographische Beziehung. Ihre ökologische Bedeutung wird an anderer Stelle behandelt (VON OERTZEN, 1972; VON OERTZEN und SCHLUNGBAUM, 1972).

Strömungen

Auf die Strömungsverhältnisse, die eine große biologische Bedeutung für Nährstofftransport, O₂-Versorgung und Salinitätswechsel sowie den Larventransport von Benthostieren haben, soll hier, da zahlreiche ausgezeichnete Übersichten existieren, nicht näher eingegangen werden (DIETRICH, 1950; SOSKIN, 1963).

Material und Methoden

Um eine möglichst aktuelle Übersicht über die Verbreitung der genannten Arten zu erhalten, wurde nur Probenmaterial der letzten 10–12 Jahre berück-

sichtigt. Das Material stammt zum größten Teil aus Bodengreiferproben und zu einem geringen Prozentsatz aus Dredge-Proben. In keinem Fall wurden Tiere aus dem Strandanwurf für eine verbreitungs-ökologische Auswertung herangezogen.

Die Probenentnahme erfolgte auf mehreren großen Terminfahrten des Instituts für Meereskunde Warnemünde im Gebiet zwischen Fehmarn Belt und Gdansker Bucht. Zusätzlich wurde Benthosmaterial, das uns freundlicherweise Herr Dr. RÖTTGER aus Kiel (Zoologisches Institut der Universität) zur Verfügung stellte, untersucht. Von Herrn Dr. DYBERN aus Lysekil (Institute of Marine Research) und Herrn Dr. LASSIG aus Helsinki (Institute of Marine Research) erhielten wir dankenswerterweise Stationslisten aus den 60er Jahren, die eine wichtige Bereicherung der Verbreitungskarte darstellten. Weiterhin wurden Fundortangaben aus folgenden Publikationen bei der Zusammenstellung mit berücksichtigt: LÖWE (1963), TULKKI (1965), HENRIKSON (1968), LEPPÄKOSKI (1969) und SCHULZ (1966, 1969).

Die ausgezeichneten Bonitierungsarbeiten von DEMEL und MANKOWSKI (1951) und DEMEL und MULICKI (1954) wurden aus obengenannten Gründen nur für Vergleichszwecke herangezogen. Ebenso verhält es sich mit den Arbeiten von KÜHLMORGEN-HILLE (1963) — Material von 1952/53 — und MULICKI und ZMUDZINSKI (1969) — Material von 1956/57.

Für die Untersuchungen der mikrogeographischen Verteilung wurden Dredgefänge von den zahlreichen kleinen Terminfahrten im Bereich der Mecklenburger Bucht, Tauchbeobachtungen sowie Literaturangaben ausgewertet.

Auf Grund der Heterogenität des Tiermaterials und der unterschiedlichen Probenentnahmen wurde nur eine qualitative Auswertung vorgenommen.

Die Art-Bestimmung erfolgte nach FILATOWA (1948) und ZIEGELMEIER (1957) unter Hinzuziehung von DAHL (1925) und HAAS (1926).

Bei der Darstellung wurde differenziert zwischen lebenden Muscheln und leeren Schalen. Weiterhin wurden die wichtigsten Tiefenlinien und ein typischer Isohalinenverlauf (SIMONOWA, 1965) eingezeichnet (Abb. 3–5).

Kritisch zu den Kartendarstellungen muß noch vermerkt werden, daß eine Fundorthäufung in bestimmten Bezirken nicht immer auf eine größere Häufigkeit der Art, sondern auch nur auf eine bessere Erforschung dieses Raumes hindeuten kann. Auf eine Darstellung aller Benthosstationen ist aus Überichtsgründen verzichtet worden.

Die tiergeographische Terminologie richtet sich nach SCHILDER (1952, 1956) unter Berücksichtigung von HESSE et al. (1951).

Ergebnisse und Diskussion

Macoma baltica-Zönose

Die Verbreitung der vier untersuchten euryöken Vertreter dieser Gruppe ist bereits häufig Gegenstand zahlreicher sehr intensiver Arbeiten gewesen und soll deshalb nur stichwortartig abgehandelt werden. Die wichtigsten Übersichts-

arbeiten und Einzelpublikationen: MÖBIUS (1873), JOHANNSEN (1918), HAAS (1926), HAGMEIER (1930), REMANE (1940), JÖRGENSEN (1946), JAECKEL (1952b), DEMEL und MULICKI (1954), FORSMAN (1956), SEGERSTRÅLE (1957, 1960b, 1960c), LÖWE (1963), ARNDT (1964), LASSIG (1965), SCHULZ (1966), MUUS (1967).

Macoma baltica

Sie zeigt in der Ostsee bei fehlenden Konkurrenzarten keine echte Sedimentbindung, bevorzugt aber sandhaltige Böden und meidet H_2S -haltigen Schlick. Nach SEGERSTRÅLE (1957) und LASSIG (1965) ist *M. baltica* die marine Bivalvierart mit der weitesten nördlichen (ca. 65° Nord) und östlichen (28°30' Ost) Verbreitung (Abb. 6). Salzgehaltsgrenze: 3,0–3,5‰. Tiefenverbreitung: von 0,5 m–60–100 m (max. 200 m), wobei allgemein im Eulitoral und oberen Sublitoral die höchsten Abundanzen erreicht werden.

Cardium lamarcki

C. lamarcki stellt nach HOEPNER-PETERSEN (1958) in der eigentlichen Ostsee die vikariierende Art zu *C. edule* dar. Nach eigenen Beobachtungen handelt es sich um eine transgressive Vikarianz (Nur im Küstenbereich vor Kühlungsborn konnten in Dredge-Proben, in denen *C. lamarcki* dominierte, vereinzelte *C. edule*-Individuen gefunden werden, weiter östlich wurde ausschließlich *C. lamarcki* beobachtet). Die Verbreitungsgrenzen liegen im Bottnischen Meerbusen bei den Kvarken und im Finnischen Meerbusen bei 27° östlicher Länge (Abb. 6). Die untere Salzgehaltsgrenze befindet sich bei 4,0–4,5‰ S. Die westliche Grenzzone müßte im Bereich der eigentlichen Beltsee bei ca. 25‰ S liegen.

Die östliche Grenzzone von *C. edule* liegt vermutlich in der Kieler Bucht (ca. 20‰ S). Die Vertikalverbreitung von *C. lamarcki* reicht vom oberen Eulitoral (ca. 0,2 m) bis zu ca. 30 m hinab, wobei auch hier, besonders in der westlichen Ostsee, ausgesprochene Flachwasserzonen mit leicht lotischem Charakter bevorzugt werden.

Mya arenaria

Die Muschel wird von EKMAN (1935) als Charakterart der heutigen Ostsee bezeichnet. Die nördliche (bei ca. 62° Nord) und östliche (bei Helsinki, 25° Ost) Verbreitung ist begrenzter als die der obengenannten Arten (Abb. 6). Die Salzgehaltsgrenze liegt bei 4,5–5,0‰ S. *M. arenaria* ist vermutlich aus Temperaturgründen (LASSIG, 1965) auf das Flachwasser beschränkt. Ihre untere Verbreitungsgrenze liegt allgemein bei 10 m (Maximaltiefen in finnischen und schwedischen Gewässern liegen bei 18 m und 13 m). Eine feste Sedimentbindung ist auch für diese Art nicht beobachtet worden.

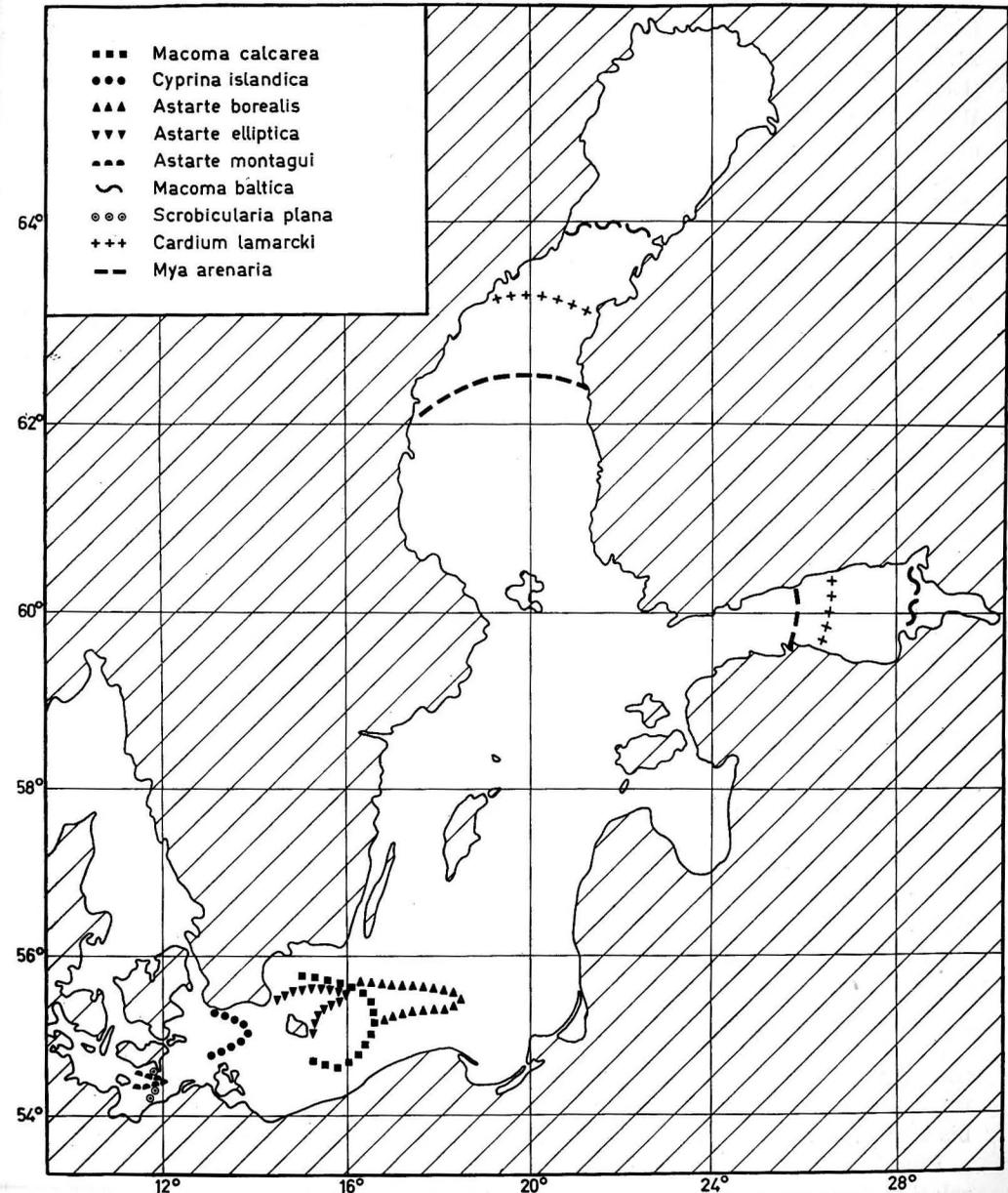


Abb. 6. Östliche Verbreitungsgrenzen der wichtigsten Bivalvier in der Ostsee (Quellenangaben s. Text)

Scrobicularia plana

Die zönotische Einordnung dieser Art ist nicht klar. Sie kann sowohl in der *M. baltica*-Zönose als auch in der *M. calcarea*-Zönose auftreten. Von REMANE (1944) wird *S. plana* zur „*Cyprideis-Litoralis-Manayankia*-Coenose“ gestellt. Weitere Bemerkungen zur biozönotischen (und taxonomischen) Einordnung der untersuchten Bivalvier siehe VON OERTZEN (1970, Teil 2).

S. plana zeigt eine deutliche Bindung an stark schlickige Böden und bevorzugt tiefere lenitische Küstenbereiche. Die östliche Verbreitungsgrenze soll nach DAHL (1925) im Greifswalder Bodden liegen. Bei eigenen Untersuchungen konnte sie nur in der Wohlenberger Wiek und in der inneren Wismarer Bucht gefunden werden. Die Aufstellung einer Salzgehaltsgrenze für *S. plana* scheint nach eigenen Beobachtungen und den Angaben von GREEN (1968) nicht angebracht. Die Verbreitung dieser von Südnorwegen bis zum Mittelmeer und den Kanarischen Inseln vorkommenden Art wird in den borealen Meeren wahrscheinlich durch die niedrige Wintertemperatur und andere abiotische und biotische Faktoren (z. B. Substrat) begrenzt (GREEN, 1968). Für die große Euryhalinie von *S. plana* sprechen auch die Beobachtungen von GREEN (1968) in englischen Aestuaren, der die Art noch bei kurzzeitigen Salinitäten von 2‰ lebend fand. Die Vertikalverbreitung in der Mecklenburger Bucht reicht von 2,5 m—10 m Tiefe.

Macoma calcarea-Zönose

Die Arten dieser Gruppe weisen mit Ausnahme von *Cyprina islandica* (atlantisch) eine arktisch-boreale Verbreitung auf. Bis auf die ausgezeichnete Arbeit aus dem Anfang unseres Jahrhunderts von JOHANNSEN (1918) und die grobe Übersichtsdarstellung von HAAS (1926) liegen keine Untersuchungen über die Verbreitung dieser Tiefwasserarten aus dem Bereich der gesamten Ostsee vor. Arbeiten aus den einzelnen Regionen der Ostsee sind oben angeführt.

Macoma calcarea (Abb. 3)

Das Vorkommen von *M. calcarea* zeigt im Gebiet der Ostsee eine inselartige Verteilung mit einer Konzentration auf die Kieler Bucht, den südlichen Teil der Mecklenburger Bucht und die Randgebiete des Bornholmbeckens. Bemerkenswert ist das Fehlen der Art im Zentralteil des Arkonabeckens. Die Fundortangaben von JOHANNSEN (1918), HAAS (1926) und HAGMEIER (1930) für den östlichen Rand des Arkonabeckens konnten nur durch einen eigenartigen Einzelfund (1 Exemplar in zahlreichen Proben von mehr als 10 Terminfahrten 1966 bis 1970) „bestätigt“ werden (in Abb. 3 durch gestrichelten Kreis markiert).

Eine Ursache für die fehlende Besiedlung des Arkonabeckens kann in dem relativ niedrigen mittleren Bodensalzgehalt (bei ca. 14‰) und dessen sehr großen Schwankungen besonders im unteren Bereich (bis min. 7,5‰) gesehen werden (s. Abb. 2). Weiterhin fällt auf, daß diese Art im Zentralteil des Bornholmbeckens, ihrem ursprünglichen Hauptverbreitungsgebiet, nicht mehr

lebend angetroffen wurde. Dieses Phänomen des Rückganges, das auch andere Arten betrifft, wurde bereits von DEMEL und MANKOWSKI (1951) angedeutet und von TULKKI (1965) und LEPPÄKOSKI (1969) in seinem ganzen Ausmaß konstatiert. DEMEL und MANKOWSKI (1951) führen diesen Rückgang auf die Versenkung von Gasgranaten aus dem zweiten Weltkrieg in diesem Gebiet zurück. TULKKI (1965) — und dessen Ansicht möchten wir uns anschließen — macht dafür die in letzten Jahrzehnten öfters zu beobachtenden Stagnationsperioden im Tiefenwasser mit extremem Sauerstoffschwund und Schwefelwasserstoffauftreten verantwortlich (FONSELIUS, 1969). *M. calcarea* erweist sich als die empfindlichste unter den vier hier zu besprechenden Tiefenarten, was auch den beginnenden Rückgang in der Kieler Bucht und der Mecklenburger Bucht erklärt (vergl. *Astarte*). Erwähnenswert ist noch das vereinzelte Vorkommen der Art im mittleren Teil des Sundes und im Kattegat, womit sie nach SCHILDER (1956) den Typus einer restriktiven Verbreitung erfüllt. Ein Wiederausbreiten gerade dieser arktischen Art ist durch die sensiblen pelagischen Larvenstadien sehr eingeschränkt (VON OERTZEN, 1972). Bei der Annahme, daß *M. calcarea* ein arktisches Relikt darstellt, würde das im Extrem ein Reliktwerden eines Reliktes bedeuten. Die östliche Verbreitungsgrenze liegt nach unseren Untersuchungen bei ca. 16°20' Ost und stimmt im wesentlichen mit der von DEMEL und MULICKI (1954) gefundenen überein. Bei unserem östlichsten Fund handelt es sich vermutlich um eine kleine Restpopulation.

Als Salzgehaltsgrenzwert (bei tiefen Biotoptemperaturen) ist 12—14‰ anzugeben. Die Vertikalverbreitung wird in der mittleren Ostsee ausschließlich vom Salzgehalt bestimmt und liegt zwischen 65 m und 80 m (105 m) Tiefe. In der westlichen Ostsee dagegen übernimmt mit zunehmendem Salzgehalt der Temperaturfaktor (max.) die verbreitungsregulierende Wirkung. Aus diesem Grund gibt es für jede Region eine etwas anders gelagerte obere Verbreitungsgrenze (T/S-Beziehung): Im Kattegat liegt sie bei ca. 8 m (HAAS, 1926), in der Kieler Bucht bei 10 m (KÜHLMORGEN-HILLE, 1963) und in der Mecklenburger Bucht wurde diese Art von uns niemals oberhalb 14 m gefunden. Die obere Verbreitungsgrenzttemperatur ist also in geringem Maße mit dem Salzgehalt korreliert und liegt wahrscheinlich im Bereich der Beltsee zwischen 14 und 17 °C. Die verbreitungsregulierende Wirkung von Temperatur und Salzgehalt in den genannten Bereichen ist weniger durch eine direkte letale Beeinflussung der Adulti, als vielmehr durch eine Schädigung der Geschlechtsprodukte und Entwicklungsstadien vorstellbar (s. THORSON, 1946).

Eine Sedimentbindung dieser Art an sandige bis reine Schlickböden in der Ostsee wird vermutlich nur durch die salinitäts- und temperaturbedingte Tiefenbesiedlung vorgetäuscht (s. auch THORSON, 1936 und REMANE, 1955).

Astarte borealis und *Astarte elliptica* (Abb. 4)

Die *Astarte*-Arten sollen, da sie meistens gemeinsam auftreten und annähernd die gleichen Biotopansprüche stellen, zusammen behandelt werden. Die beiden

Arten zeigen mit Ausnahme der Darßer Schwelle eine fast lückenlose Verbreitung vom Kattegat über den großen Belt und den Sund, die westliche Ostsee bis hin zur mittleren Ostsee. Das Fehlen beider Arten im inneren Zentralteil des Arkonabeckens und des Bornholmbeckens dürfte sich auf die gleichen Ursachen wie bei *M. calcarea* zurückführen lassen.

A. borealis scheint die euryökere von beiden Arten zu sein (zu *A. montagui* s. u.). Dafür spricht die höhere Abundanz in mehr als 90% aller Proben und das dominierende Vorkommen in abiotisch stärker exponierten Gebieten.

Auch die Betrachtung der östlichen Verbreitungsgrenzen (Abb. 6) zeigt deutlich die größere ökologische Potenz von *A. borealis*. Ihre östliche Verbreitung erstreckt sich nach den vorliegenden Untersuchungen am Rande des Gdanskener Tiefs in der Nähe von 19° Ost. Die Verbreitungsgrenze von *A. elliptica* dagegen liegt am östlichen Rand des Bornholmbeckens. Der untere Grenzsalzgehalt bei tiefen Biotoptemperaturen für beide Arten liegt zwischen 10–14‰. Von einer Differenzierung der Salinitätsansprüche im Freiland zwischen *A. borealis* und *A. elliptica* muß aus Mangel an Material abgesehen werden.

In der Vertikalverbreitung verhalten sich beide *Astarte*-Arten ähnlich wie *M. calcarea*. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Tiefenverbreitung beider Arten konnte weder in der mittleren Ostsee noch in der Deutschen Beltsee gefunden werden. Das Tiefenvorkommen bewegt sich in der mittleren Ostsee zwischen 50 m bis 90 m (105 m) und in der Mecklenburger Bucht zwischen 12 m–20 m Tiefe. Aus der Kieler Bucht und dem Kattegat sind wie bei *M. calcarea* Fundorte in 10 m bzw. 8 m Tiefe bekannt. Als obere Grenztemperatur ist ebenfalls ca. 14–17 °C anzugeben. Im Bereich der Deutschen Beltsee zeigen beide *Astarte*-Arten eine deutliche Bevorzugung von sandhaltigen Sedimenten und meiden rein schlickigen Boden völlig. Im Bornholmbecken dagegen wurden die *Astarten* auch auf reinem Schlick gefunden.

FILATOVA (1948) gibt für *A. borealis* aus den sowjetischen Nordmeeren drei morphologisch unterschiedliche Rassen mit z. T. unterschiedlicher Verbreitung an. Von einer eingehenden morphologischen Analyse des Ostseematerials ist aus zwei Gründen vorerst abgesehen worden: 1. Gerade *A. borealis* zeigt, wie aus eigenen Beobachtungen hervorgeht, eine relativ große Formenvariabilität innerhalb einer Population. Das gleiche Phänomen konnte BOEKSCHOTEN (1967) an fossilen Arten feststellen. 2. Außerdem verlangt unserer Meinung nach eine Rassenaufftrennung auch einen echten ökologischen Bezug, der durch experimentell-ökologische Befunde unterstützt werden muß. Eine solche Untersuchung war aber im Rahmen der geplanten Arbeit durch die Schwierigkeiten bei einer kontinuierlichen Materialbeschaffung nicht durchzuführen. Die dritte *Astarte*-Art, *A. montagui*, wird von JOHANNSEN (1918) nicht angeführt und wurde von uns nur vereinzelt in der Mecklenburger Bucht gefunden. Ihre östliche Verbreitungsgrenze liegt nach HAAS (1926) und JAECKEL (in STRESEMANN, 1957) am Ostrand der Kieler Bucht. Nach SCHULZ (1966) tritt sie in der gesamten Mecklenburger Bucht in geringer Abundanz auf.

Cyprina islandica (Abb. 5)

C. islandica weist außerhalb der Ostsee das größte Verbreitungsspektrum auf (atlantische Art). Innerhalb der Ostsee ist sie unter den vier Tiefenarten die Art mit dem kleinsten Verbreitungsgebiet. Ihr Vorkommen konzentriert sich auf die Kieler, Lübecker und Mecklenburger Bucht und reicht hier kontinuierlich bis in die Kadetrinne. Vereinzelt Fundorte im Kattegat sowie Belt und Sund deuten auf eine Fortsetzung des Verbreitungsgebietes in nordwestlicher Richtung. Im Arkonabecken findet *C. islandica* ihre östliche Verbreitungsgrenze bei ca. 14° Ost. Nach HAAS (1926) kommt sie im Bornholmbecken nur subfossil vor. JOHANNSEN (1918) konnte *C. islandica* östlich von Bornholm ebenfalls nicht finden. JAECKEL (1957) gibt sogar Warnemünde als östliche Verbreitungsgrenze an. Da die Salzgehaltsverhältnisse im Bornholmbecken (Mittelwert und Schwankungsbereich s. Abb. 2) bedeutend günstiger als im Arkonabecken liegen und *C. islandica* wie *M. calcarea* über pelagische Larvenstadien verfügt, scheint der Faktor Salinität nicht für die geringe östliche Verbreitung dieser Art verantwortlich zu sein. Vielmehr ist anzunehmen, falls keine wesentlich andere Larvenbiologie vorliegt (kürzere Larvalzeit), daß die relativ konstanten niedrigen Temperaturbedingungen in den Tiefen des Bornholmbeckens (Abb. 2) über die Beeinflussung der Entwicklungsstadien eine verbreitungshemmende Wirkung ausüben. Der Salzgehaltsgrenzwert wird, ähnlich wie bei *A. borealis*, bei 12–14‰ liegen.

Die Vertikalverbreitung von *C. islandica* beschränkt sich im Bereich des Arkonabeckens auf die tiefen Zonen (um ca. 40 m). In der Mecklenburger Bucht wurde sie etwas unterhalb von 16–17 m Tiefe bis zu >25 m Tiefe gefunden. KÜHLMORGEN-HILLE (1963) und RESHÖFT (1961) geben für die Kieler Bucht Fundorte von ca. 10–30 m Tiefe an. Die Fundorttiefen aus Belt, Sund und Kattegat bewegen sich in der gleichen Größenordnung.

Eine strenge Sedimentbindung liegt bei *C. islandica*, obwohl sie wie bei *M. calcarea* teilweise vorgetäuscht wird, nicht vor. Sie meidet lediglich groben Sand und ist in der Kieler Bucht (KÜHLMORGEN-HILLE, 1963) und in der Mecklenburger Bucht (SCHULZ, 1966) allerdings in unterschiedlicher Abundanz auf Feinsand und Schlick zu finden. *C. islandica* ist die Bivalvierart, die sich am besten an die extremen Bedingungen der tiefen H₂S-haltigen Schlicke anzupassen vermag und z. B. im Zentralteil der Lübecker Bucht neben *Harmothoe*, *Halicryptus* und *Diastylis* den Rest der Makrofauna darstellt (SCHULZ, 1968).

Aus dieser Verbreitungsanalyse geht hervor, daß die Arten der *M. baltica*-Gruppe (mit Ausnahme *S. plana*) einen viel größeren horizontalen und vertikalen Verbreitungsraum als die Arten der *M. calcarea*-Gruppe in der Ostsee einnehmen. Die Arten der letztgenannten Gruppe sind in der westlichen (und mittleren) Ostsee stets auf Tiefenbezirke unterhalb 10–15 m beschränkt. Das Gdanskener Tief wird trotz optimaler Temperaturbedingungen, vermutlich wegen der ungünstigen Salinitätsverhältnisse (s. Abb. 2), von den arktischen Tiefenformen gemieden (ZMUDZINSKI, 1966).

Die Arten der *M. baltica*-Gruppe dagegen bevorzugen in der westlichen Ostsee das Eulitoral und zeigen erst in dem östlichen Teil eine Tendenz zur Submergenz.

Auf die verbreitungsregulierende Wirkung des Sauerstoffgehaltes wird an anderer Stelle näher eingegangen (VON OERTZEN und SCHLUNGBAUM, 1972).

Ausführliche Angaben zum Problem Sediment — Benthos sind bei SCHULZ (1966, 1969) zu finden.

Literatur

- [1] ARNDT, E. A., Tiere der Ostsee. Wittenberg-Lutherstadt, 199 pp., (1964).
- [2] BESSONOV, O. A., SPICHAK, S. K., and KAFANOV, A. J., Interpopulation variability and spatial distribution of *Cardium edule* in the sea of Azov. (russ.) *Oceanologica* 10 (1970), 3 Moskau.
- [3] BOEKSCHOTEN, G. J., Palaeoecology of some mollusca from the Tielrode sands (Pliocene, Belgium). *Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 3 (1967).
- [4] DAHL, F., Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile. Teil I, Jena, 207 pp., 1925.
- [5] DEMEL, K. and MANKOWSKI, W., Quantitative investigations on the bottom fauna in the Southern Baltic. (poln.) *Rep. sea Fish. Inst. Gdynia* 6 (1951).
- [6] DEMEL, K. and MULICKI, Z., Quantitative investigation on the biological bottom productivity of the South Baltic. *Rep. sea Fish. Inst. Gdynia* 7 (1951).
- [7] DIETRICH, G., Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kiel. *Meeresforsch.* 7 (1950).
- [8] EKMAN, S., Tiergeographie des Meeres. Leipzig, 535 pp., 1935.
- [9] FILATOWA, S. A., in: GAJEVSKAJA, N. C., Bestimmungsbuch der Fauna und Flora der nördlichen Meere der UdSSR. (russ.) Moskau, 740 pp., 1948.
- [10] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins III. *Fishery Bd. Sweden, Ser. Hydrography* 23 (1969).
- [11] FORSMANN, B., Notes on the invertebrates fauna of the Baltic. *Ark. Zool.* 9 (1956).
- [12] GREEN, J., The biology of estuarine animals. *Biology Series*, Seattle and London, 401 pp., 1968.
- [13] HAAS, F., Lamellibranchia in GRIMPE-WAGLER TNO 9 d: 1—96, Leipzig, 1926.
- [14] HAGMEIER, A., Die Bodenfauna der Ostsee im April 1929 nebst einigen Vergleichen mit April 1925 und Juli 1926. *Ber. Deutsche Wiss. Komm. Meeresforschung* 5 (1930).
- [15] HENRIKSON, R., The bottom fauna in polluted areas of the Sound. *Oikos* 19 (1968).
- [16] HESSE, R., ALLEE, W. C., SCHMIDT, K. P., *Ecological animal geography*. New York, 715 pp., 1951.
- [17] HOEPNER-PETERSEN, G., Notes on the growth and biology of the different *Cardium* species in Danish brackish water areas. *Medd. Danm. Fisk. Havunders N. S.* 2 (1958), 22.
- [18] HOEPNER-PETERSEN, G., *Marine Lamellibranchiata. Zoology of the Faroes*, Copenhagen, 1968.
- [19] JAECKEL, S., Lamellibranchier der freien Nordsee. *Verh. der Dtsch. Zool. Gesellsch.* 1951. *Zool. Anz. Suppl.* 16 (1952a).
- [20] JAECKEL, S., Zur Ökologie der Molluskenfauna in der westlichen Ostsee. *Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst.* 26 (1952b).
- [21] JOHANNSEN, A. C., Om hydrografiske faktorers inflydelse paa molluskernes Udbredelse i Østersøen. *Forh. Ved. 16 Skand. Naturforskeremte* 1916, 1918.
- [22] JÖRGENSEN, C. B., „Lamellibranchia“ *Medd. Komm. Danm. Fisk.- og Havunders, Plankton* 4 (1946) 1.
- [23] KÜHLMORGEN-HILLE, G., Quantitative Untersuchungen der Bodenfauna in der Kieler Bucht und ihre jahreszeitlichen Veränderungen. *Kiel. Meeresforsch.* 19 (1963) 1.

- [24] LASSIG, J., The distribution of marine and brackish water lamellibranchs in the Northern Baltic area. *Comm. Biol.* 28 (1965) 5.
- [25] LEPPÄKOSKI, E., Transitory return of the benthic fauna of the Bornholm Basin after extermination by oxygen insufficiency. *Cah. Biol. Mar.* 6 (1969).
- [26] LÖWE, F. K., Quantitative Benthosuntersuchungen in der Arkonasee. *Mitt. a. d. Zool. Mus. i. Berlin* 39 (1963) 2.
- [27] MÖBIUS, K., Die wirbellosen Tiere der Ostsee. *Jhr. Ber. Komm. Wiss. Unters. Deutsche Meere Kiel*, 1873.
- [28] MULICKI, Z. and ZMUDZINSKI, L., Stock of zoobenthos in the Southern Baltic (in the 1956—1957 period). (poln.) *Prace Morskie Inst. Ryb* 15A (1969).
- [29] MUUS, B. J., The fauna of danish estuaries and lagoons. *Medd. fra Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser. VS.* 5 (1967).
- [30] OCKELMANN, W. K., The zoology of East Greenland Marine Lamellibranchiata. *Medd. om Grønland* 122 (1958) 4.
- [31] OCKELMANN, W. K., Developmental types in marine bivalves and their distribution along the atlantic coast of Europe. *Proc. First Europ. Malac. Congr.* (1962).
- [32] OERTZEN VON, J.-A., Experimentell-ökologische Untersuchungen an Makrobenthosformen (Bivalvier) der Deutschen Beltsee. *Dissertation — Rostock* (1970), Teil 2.
- [33] OERTZEN VON, J.-A., Abiotic potency and physiological resistance of shallow and deep water bivalves in the Baltic Sea. *Oikos Suppl.* 14 (1972).
- [34] OERTZEN VON, J.-A., Bemerkungen zur Hydrographie der westlichen Ostsee unter benthos-ökologischem Gesichtspunkt. *Beitr. Meereskunde, H.* 32 (1973), S. 89—104.
- [35] OERTZEN VON, J.-A., Cycles and rates of reproduction of six Baltic Sea bivalves of different zoogeographical origin. *Mar. Biol.* 14 (1972).
- [36] OERTZEN VON, J.-A., und SCHLUNGBAUM, G., Experimentell-ökologische Untersuchungen über O₂-Mangel und H₂S-Resistenz an marinen Evertibraten der westlichen Ostsee. *Beitr. Meereskunde, H.* 29 (1972), S. 79—91.
- [37] REMANE, A., Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. *TNO Ia* (1940) 1.
- [38] REMANE, A., Die Brackwassersubmergenz und die Umkomposition der Coenosen in Belt- und Ostsee. *Kieler Meeresforsch.* 11 (1955).
- [39] RESHÖRT, K., Untersuchungen zur zellulären osmotischen und thermischen Resistenz verschiedener Lamellibranchier der deutschen Küstengewässer. *Kiel. Meeresforsch.* 17 (1961).
- [40] SAVCHUK, M. J. A., Distribution and some peculiarities of the bivalved molluscs *Mya arenaria* L. in the costal shallow water of the northwestern Black sea and in Limans. (russ.) *Oceanologica (Moskau)* 10 (1970) 3.
- [41] SCHILDER, F. A., Einführung in die Biotaxonomie. Jena, 150 pp. 1952.
- [42] SCHILDER, F. A., Lehrbuch der Allgemeinen Zoogeographie. Jena, 149 pp., 1956.
- [43] SCHULZ, S., Faunistisch-ökologische Untersuchungen des Benthos in der Mecklenburger Bucht (westl. Ostsee). *Dissertation — Greifswald* (1966).
- [44] SCHULZ, S., Rückgang des Benthos in der Lübecker Bucht. *Monatsberichte der Deutschen Akad. d. Wiss. zu Berlin* 10 (1968) 10.
- [45] SCHULZ, S., Benthos und Sediment in der Mecklenburger Bucht. *Beitr. Meereskunde, H.* 24/25 (1969).
- [46] SOSKIN, I. M., Langjährige Veränderungen der hydrologischen Charakteristik der Ostsee. (russ.) Leningrad, 160 pp., 1963.
- [47] STRESEMANN, E., *Exkursionsfauna Wirbellose I.* Berlin 488 pp.
- [48] TEBBLE, N., *British bivalve seashells.* London (1968).
- [49] THORSON, G., The larval development, growth and metabolism of Arctic marine bottom invertebrates. *Medd. om Grønland* 100 (1936) 6.

- [50] THORSON, G., Reproduction and Larval development of Danish marine bottom invertebrates. Danm. Fisheri Ser. Plankton 4 (1946).
- [51] THORSON, G., The Godthaab expedition, 1928 Scaphopoda-Lamellibranchiata. Medd. om Grøn. 81 (1951) 2.
- [52] THORSON, G., The distribution of benthic marine mollusca along the N.E. Atlantic shelf from Gibraltar to Murmansk. Proc. First. Europ. Malac. Congr. 1962.
- [53] TULKKI, P., Disappearance of the benthic fauna from the basin of Bornholm (Southern Baltic) due to oxygen deficiency. Cah. Biol. Marin. 6 (1965).
- [54] ZIEGELMEIER, E., Die Muscheln (Bivalvia) der deutschen Meeresgebiete. Helgol. Wiss. Meeresunters. 6 (1957) 1.
- [55] ZMUDZINSKI, L., Seasonal migrations of cold water fauna in the Gdansk Bay. Ann Biol. 21 (1966).

Abschluß der Arbeit: Juni 1971

Anschriften der Verfasser:

Dr. J. A. V. OERTZEN, Universität Rostock, Sektion Biologie,
Fachbereich Meeres- und Fischereibiologie
DDR - 25 Rostock, Freiligrathstraße

Dr. S. SCHULZ, Institut für Meereskunde der AdW
DDR-253 Rostock-Warnemünde

Bemerkungen zur Hydrographie der westlichen Ostsee unter benthos-ökologischem Gesichtspunkt

Von JÖRG-ANDREAS VON OERTZEN

Zusammenfassung: Die abiotischen Umweltparameter des Flachwasser-Bereichs (Verbreitungsgebiet der *Macoma-baltica*-Zönose) und des Tiefenwasser-Bereichs (Verbreitungsgebiet der *Macoma-calcareo*-Zönose) in der Deutschen Beltsee (Mecklenburger Bucht) werden verglichen. Flach- und Tiefenwasser unterscheiden sich ökologisch im wesentlichen in der Größe der Extremwerte von Salinität, Temperatur und Sauerstoff. Die langjährigen Mittelwerte zeigen für die Temperatur geringfügige und für den Salzgehalt deutliche Differenzen. Eine hydrographische Eigenständigkeit von Boden- und Oberflächenwasserkörper über den Jahresverlauf ist nicht festzustellen. Große langfristige und kurzfristige Fluktuationen von Temperatur und Salzgehalt sowohl im Bereich des Flach- als auch besonders im Tiefenwasser sprechen gegen differenzierte Leistungsadaptationsbedingungen für Tief- und Flachwasserformen.

Für kausalökologische Fragestellungen ist die Kenntnis der abiotischen und biotischen Umweltfaktoren einschließlich ihrer Dynamik im Lebensraum eine Grundvoraussetzung. Das gilt besonders für Untersuchungen, die die Analyse des im Biotop gegebenen Verbreitungsmusters mit Hilfe von Resistenz-, Leistungs- und Competition-Bestimmungen im Labor beinhalten.

Die Ermittlung der tatsächlichen Adaptationsbedingungen in der Mecklenburger Bucht stellt die Vorarbeit für einen physiologisch-ökologischen Vergleich der beiden benthischen Charakterzönosen der Ostsee, der *Macoma-calcareo*-Zönose (arktisch-boreale Formen - Tiefwasserarten) und der *Macoma-baltica*-Zönose (boreale Formen - Flachwasserarten) dar (VON OERTZEN, 1970, 1972).

Für die Klärung der Frage, ob und in welchem Maße sich die arktischen Formen, die nach EKMAN (1939) vermutlich seit der Littorina-Periode in Teilen der Ostsee leben, an die vom Optimum in den polaren Regionen zum Pejus und Pessimum in der Ostsee verschobene Valenz der Umweltfaktoren (SCHWERTFEGGER, 1963) angepaßt haben, ist ebenfalls die Kenntnis der Dynamik dieser Umweltparameter notwendig.

Aus diesem Grunde machte sich, trotz der zahlreichen Einzelarbeiten und Übersichtsreferate über die Hydrographie der Ostsee (SCHULZ, 1940; DIETRICH, 1950; DIETRICH und KALLE, 1957; SEGERSTRÅLE, 1957; REMANE, 1958; HUPFER,

Herrn Professor Dr. E. A. ARNDT danke ich für die anregende Diskussion und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

1957, 1962, 1967; SOSKIN, 1963; SIMONOWA et al. 1965; STURM, 1970; MÜNZER 1970), eine ausführliche Darstellung der Hydrographie mit direktem ökologischem Bezug erforderlich.

Eine Beschränkung bei der hydrographischen Betrachtung auf die Mecklenburger Bucht ergab sich aus der Tatsache, daß das gesamte Tiermaterial für die experimentell-ökologischen Untersuchungen aus dieser Region stammte.

Bis auf die stichpunktartige Probeentnahme bei den größeren Terminfahrten (einmal jährlich) und den unregelmäßigen Tagesfahrten zur Materialbeschaffung liegen keine eigenen hydrographischen Untersuchungen (Untersuchungszeitraum 1967–1969) vor. Die geplante Verankerung einer automatischen Temperatursonde mußte aus objektiven Gründen auf später verschoben werden. Auf Grund der ungenügenden Kontinuität des eigenen Probematerials wird auf eine systematische Auswertung verzichtet.

Der Flachwasserbereich (0–5 m) – dem Hauptverbreitungsgebiet der *Macoma baltica*-Zönose – ist in der Litoralgliederung mit dem Eu- und flachen Sublitoral zu vergleichen. Eingehende hydrographische Analysen für diesen Bereich liegen meines Wissens für die Deutsche Beltsee noch nicht vor. Die folgenden Ausführungen beruhen vor allem auf der Arbeit von HUPFER (1967) aus dem Küstenbereich des Zingst, den Pegeldata vom Darßer Ort (Wasserwirtschafts-direktion Warnemünde), Oberflächenwerten vom Feuerschiff „Gedser Rev“, Terminfahrtwerten für die Lübecker Bucht aus dem Institut für Meereskunde sowie eigenen Untersuchungen.

Der Salzgehalt ist neben der Temperatur der labilste hydrographische Faktor im Küstenbereich. Jahreszeit, Wetterlage (Wind) und Strömungsverhältnisse können ihn kurzfristig oder auch nachhaltig verändern.

In Abbildung 1a sind die Monatsmittelwerte des Salzgehaltes für drei Jahre (1966–1968) für die 0 m-Station Darßer Ort dargestellt. Aus Abbildung 5a sind die monatlichen Extremwerte (1967) für dieselbe Station ersichtlich.

Der unterschiedliche Jahresgang des Oberflächensalzgehaltes in den drei aufeinanderfolgenden Jahren weist auf die Schwierigkeit einer Verallgemeinerung des Salzgehaltsspektrums einer Jahresreihe für ökologische Aussagen hin.

Von großer biologischer Bedeutung sind neben den monatlichen Maxima- und Minimaangaben die kurzfristigen Fluktuationen des Salzgehaltes, dargestellt in der interdiurnen Veränderlichkeit (i.V.), und die extrem kurzfristigen Schwankungen.

Nach FRANKE und HUPFER (1963) ist die Beltsee durch einen ausgeprägten Jahresgang der i. V. mit relativ hohen Werten und großer Amplitude gekennzeichnet. Die Monatsmittel der i. V. für Feuerschiff „Halskov Rev“ und „Gedser Rev“ schwanken zwischen 0,4–1,6‰ bzw. 0,1–1,9‰ S. Interessanter für unsere Betrachtungen sind die absoluten Maxima. Für „Halskov Rev“ wurde in der Untersuchungsperiode (1929–1939) 7,4‰ und für „Gedser Rev“ 10,6‰ interdiurne Veränderlichkeit des Salzgehaltes gemessen. Ähnlich hohe Salzgehaltsschwankungen können auch für kürzere Zeitintervalle (Stunden, Minu-

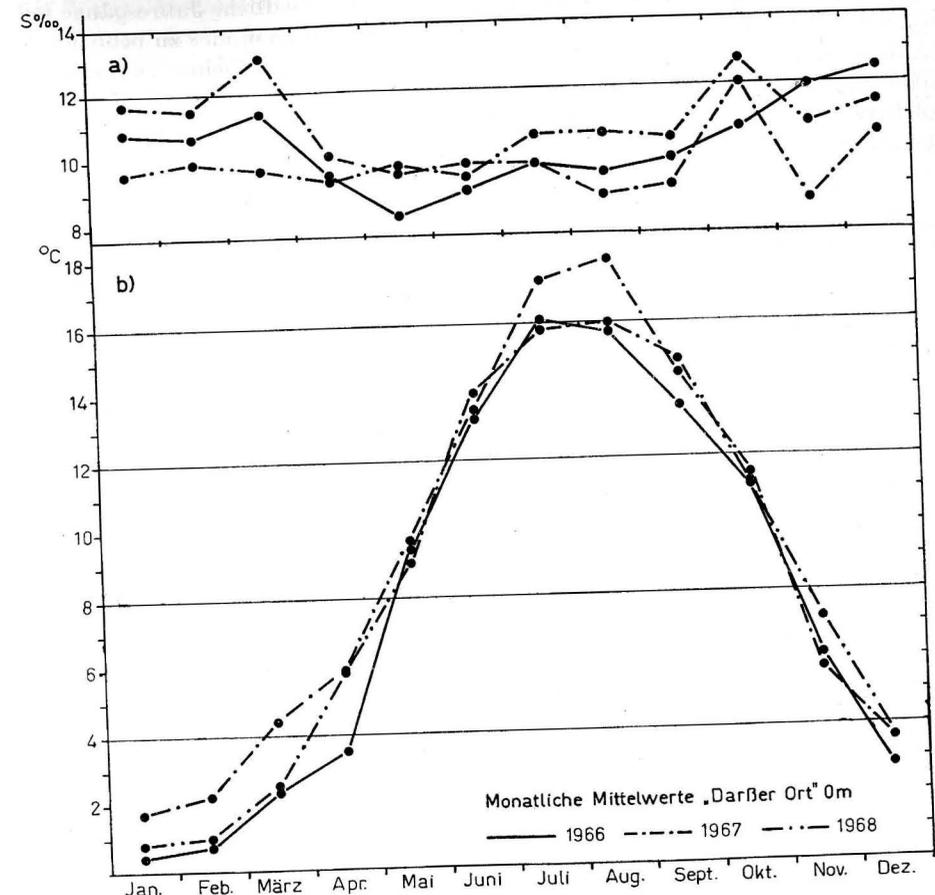


Abb. 1. Monatliche Mittelwerte von Salzgehalt (a) und Temperatur (b) – „Darßer Ort“ – 0 m

ten) vermutet werden. Ausführliche Messungen dazu sind m. W. aus dem Gebiet der Ostsee nicht bekannt.

Temperatur

Da auch für die Temperatur weder für den Küstenbereich noch den Zentralteil der Mecklenburger Bucht kontinuierliche Meßdaten vorliegen, muß auf die Werte von „Darßer Ort“ (0 m) bzw. „Gedser Rev“ (Oberfläche) zurückgegriffen werden.

In Abbildung 1b sind die monatlichen Mittelwerte (1966–1968) und in Abbildung 5b die absoluten monatlichen Maxima und Minima (1967) der Temperatur für Darßer Ort, 0 m, dargestellt. Auch bei der Temperatur sind, wenn

auch nicht so ausgeprägt wie beim Salzgehalt, unterschiedliche Jahrgänge mit besonderen Differenzen von Januar—April und im Hochsommer zu beobachten (Abb. 1b). Daß im Flachwasser-Bereich die größten monatlichen Temperaturschwankungen — sie bewegen sich je nach Jahreszeit zwischen 2,5—5,5 °C — zu verzeichnen sind, ist allgemein bekannt (MUUS, 1967). Die durchschnittlichen Sommertemperaturen liegen bei 12°—20 °C, die durchschnittlichen Wintertemperaturen bei 0°—4 °C.

Die mittlere i. V. der Temperatur (FRANKE und HUPFER, 1963) ist mit ca. 1 °C nicht so gravierend wie beim Salzgehalt. Aber die absoluten Maxima der i. V. 3,5 °C für „Gedser Rev“ und 2,4 °C für „Halskov Rev“, der beiden an den Grenzen der Beltsee liegenden Feuerschiffe, sind biologisch nicht uninteressant.

Noch wesentlich größer — und für die Verbreitung relativ stenothermer Organismen von entscheidender Bedeutung — sind die kurzfristigen Temperaturschwankungen im Flachwasser-Bereich. Im Sommer 1889 (Lufttemperatur 33 °C) wurde in der Danziger Bucht innerhalb weniger Stunden ein Temperatursturz von 23 °C auf 6 °C registriert (SCHOTT, 1926). Ähnliche kurzfristige Temperaturschwankungen (von 3—8 °C) wurden von HUPFER (1967) an der Zingster Küste gemessen. Besonders extrem ist der in der Abb. 2 dargestellte Temperatursturz von über 3 °C in wenigen Minuten.

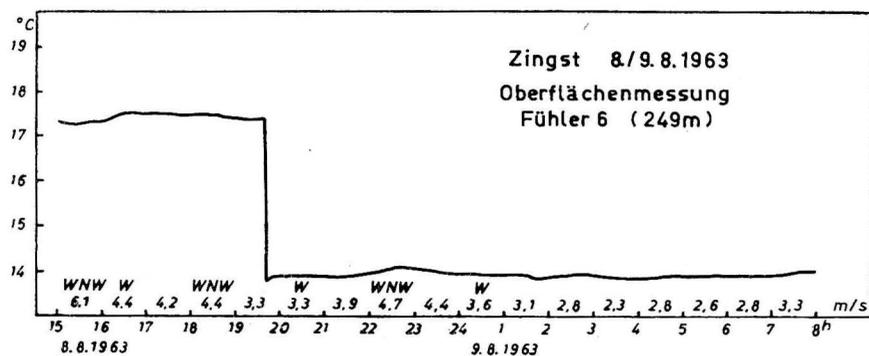


Abb. 2. Extrem kurzzeitiger Temperatursturz — Zingst-Oberfläche (aus HUPFER, 1967)

Sauerstoff, H_2S , CO_2 und pH-Wert

Der Sauerstoffgehalt im Flachwasser-Bereich ungestörter Küstenareale liegt normalerweise im Sättigungsbereich. Lediglich in stark mit Zostera oder Algen bewachsenen Gebieten (Phytal) kann es nachts zu einem enormen Sauerstoffdefizit kommen. Ähnlich, aber zum Teil bedeutend extremer verhalten sich hypertrophierte und stark verunreinigte Küstenbereiche (WIESER and KANWISHER, 1959).

MUUS (1967) fand bei seinen Untersuchungen in Dänischen Buchten und Fjorden Tagesgänge des Sauerstoffgehalts von ca. 7 ml O_2 /l am Nachmittag bis 0,72 ml O_2 /l am frühen Morgen. BROCKHUYSEN (1935) beobachtete im flachen,

mit Zostera bestandenen Wasser O_2 -Sättigungen von 260% bis 0% im Verlauf eines Tages. In den Hiddenseer Boddengewässern konnten bei der Untersuchung der Fucusfauna ähnliche Werte nachgewiesen werden (VON OERTZEN, 1968).

Schwefelwasserstoff tritt im allgemeinen im oberen Eulitoral nicht auf. Ausnahmen bilden hypertrophierte oder verunreinigte Gebiete sowie der Strandanwurf (BAGGE, 1969).

Der CO_2 -Gehalt des Küstenwassers bewegt sich ebenfalls, mit Ausnahme der pflanzenreichen Buchten, in normalen Grenzen. Der pH-Wert, abhängig vom Salzgehalt und der CO_2 -Konzentration (evtl. H_2S), liegt im untersuchten Küstenbereich ebenfalls im normalen Bereich (7,8—8,1).

Die Verhältnisse im Sediment (Sand der verschiedensten Fraktionen) sind meist ähnlich wie im darüberstehenden Wasserkörper und weisen relativ wenige Besonderheiten auf (JANSSON, 1968).

Hydrographie des Tiefenwasser-Bereichs

Der Tiefenwasser-Bereich (10—30 m) — dem Verbreitungsgebiet der *Macoma calcarea*-Zönose — entspricht in der Litoralterminologie dem tieferen Sublitoral (untere „Infralitoralzone“ nach STEPHENSONS, 1949). Für diesen Bereich besteht in der Mecklenburger Bucht (und in der Ostsee ganz allgemein) ein noch größerer Mangel an kontinuierlichen hydrographischen Meßdaten als für den Flachwasser-Bereich.

Bei der Interpretation der Darstellungen ist zu berücksichtigen, daß die im folgenden benutzten Meßwerte der beiden Feuerschiffe „Fehmarn Belt“ und „Gedser Rev“ nur mit großem Vorbehalt für eine exakte hydrographische Charakterisierung der Mecklenburger Bucht verwandt werden dürfen. Beide Schiffe liegen am Eingang bzw. Ausgang der Mecklenburger Bucht im direkten Einfluß der starken Strömungen, die z. T. für den Wasseraustausch der eigentlichen Ostsee verantwortlich sind.

Eine vorsichtige Interpretation ist auch angebracht bei den stichprobenartig vorliegenden eigenen Meßwerten. Diese sind in allen Fällen entweder mit NANSSEN-Kipp-Schöpfern bzw. RUTTNER-Schöpfern erhalten worden. Mit beiden Methoden ist es praktisch unmöglich, den eigentlichen, für die Benthalfauna wichtigen, mikroschichteten Bodenwasserkörper zu erfassen.

In gemeinsamen Tauchuntersuchungen mit Herrn Dr. S. Schulz (IfM) konnte diese Mikroschichtung (Temperatur, Salzgehalt, O_2) mehrfach nachgewiesen werden. Eine meßbare Erfassung dieser Mikroschichtung ist stichprobenartig nur mit einer Spezialsaugpumpe (SCHULZ, 1966; DYBERN, mündlich; KÜHLMANN, 1970) vom Taucher aus oder besser mit kontinuierlich selbstregistrierenden Sonden möglich.

Salinität

Durch die unterschiedlichen jahreszeitlichen und windbedingten Strömungsverhältnisse (Gradienten und Gefälleströmungen) und die damit verbundenen komplizierten Schichtungsbilder kommt es auch im Tiefenwasser-Bereich zu grö-

Beren Schwankungen im Salzgehalt. In Abbildung 3a sind die monatlichen Mittelwerte (1966–1968) des Tiefensalzgehaltes für „Gedser Rev“ und „Fehmarn Belt“ (1967) dargestellt. Die drei aufeinanderfolgenden Jahrgänge des monatlichen Durchschnittssalzgehaltes in 20 m (Abb. 3a) weisen bedeutend größere Differenzen als die in 0 m (Abb. 1a) auf. Der Novembermittelwert z. B. schwankt zwischen 12,8‰ 1967 und 21,3‰ S 1968 in 20 m Tiefe, in 0 m dagegen nur zwischen 8,7‰ und 10,8‰ S. Ebenso nehmen die monatlichen Extremwerte (Abb. 5a) in ihrem Schwankungsbereich von 0 m („Darßer Ort“), 20 m („Gedser Rev“) und 25 m („Fehmarn Belt“) zu (s. Abb. 8).

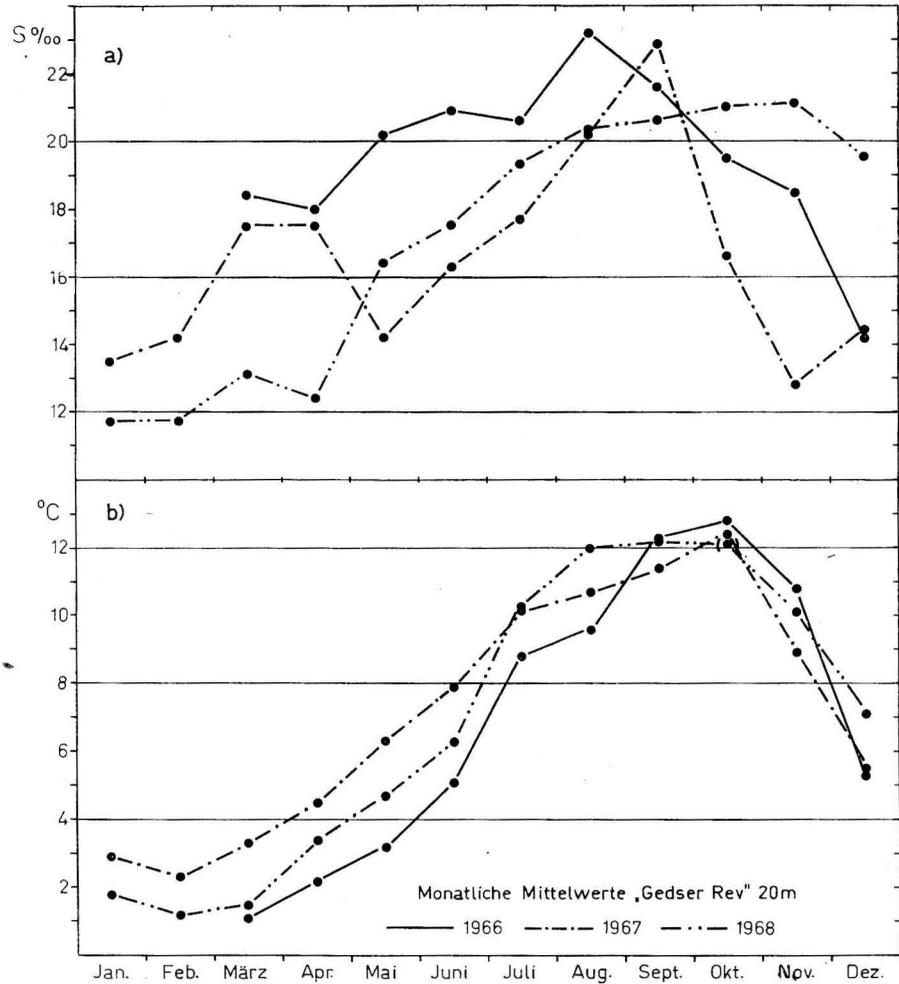


Abb. 3. Monatliche Mittelwerte von Salzgehalt (a) und Temperatur (b) — „Gedser Rev.“ — 20 m

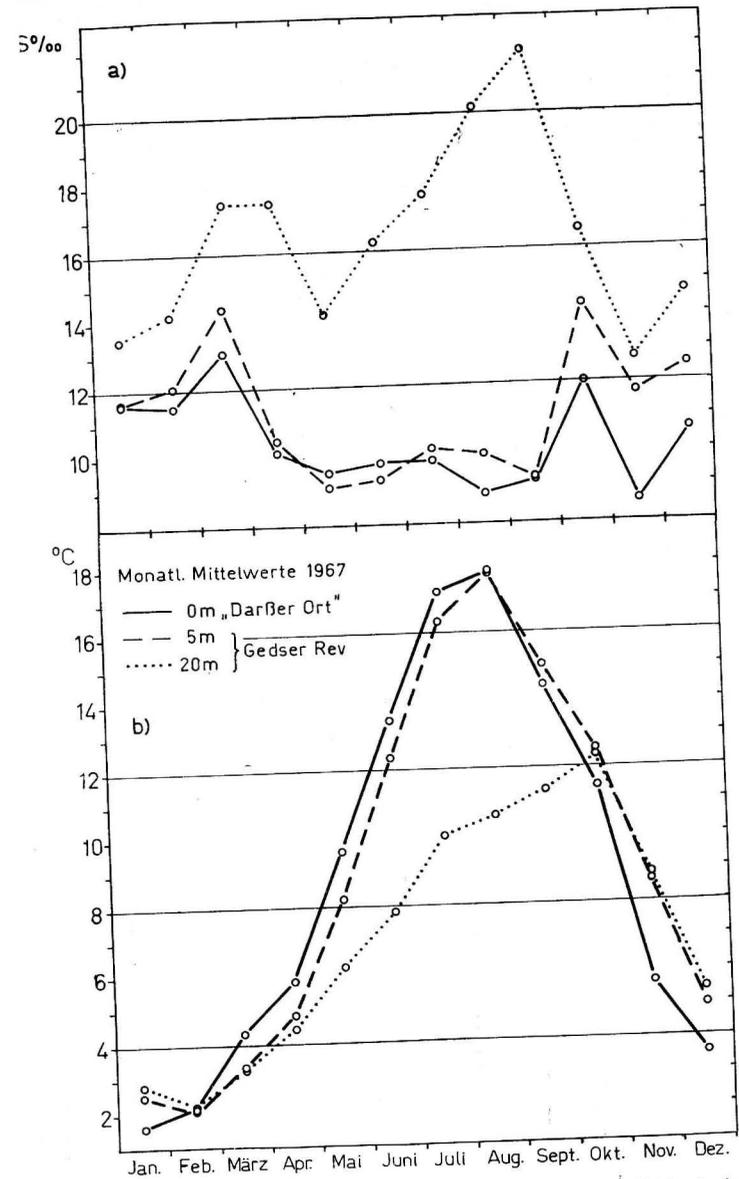
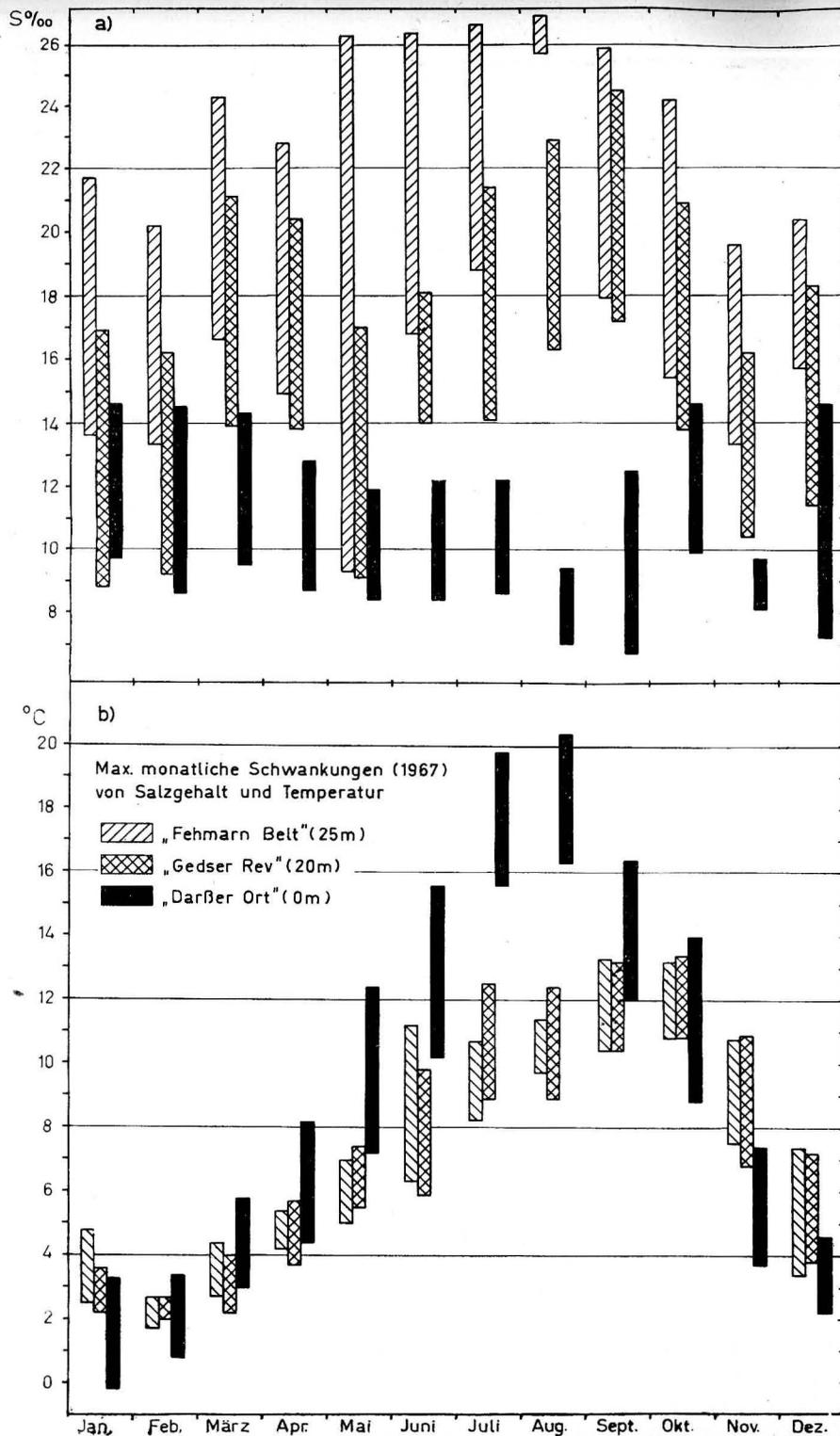


Abb. 4. Monatliche Mittelwerte von Salzgehalt (a) und Temperatur (b) in drei verschiedenen Tiefen



Wie bereits erwähnt, können diese Zahlen („Gedser Rev“) keine direkten Aufschlüsse über die Verhältnisse im eigentlichen Probeentnahmegebiet geben, sondern sollten nur zur Orientierung dienen und vielleicht als mögliche hydrographische Minimalwerte für die Mecklenburger Bucht angesehen werden.

Aus den obigen Angaben und denen von PANKOW, ARNDT, DOLL (1967), HEIDECKE (1969), SCHULZ (1966) und eigenen Untersuchungen im südlichen Teil der Mecklenburger Bucht ist abzuleiten, daß der Tiefensalzgehalt relativ großen Schwankungen unterworfen ist (ca. 7‰ S), aber niemals langfristig unter 12‰ S absinkt. Die Konstanz der unteren Salinitätsgrenze ist von großer Bedeutung für die „Ökologische Existenz“ stenohaliner Benthosorganismen (VON OERTZEN und SCHULZ, 1973).

Die interdiurne Veränderlichkeit als Maß für kurzfristige Schwankungen im Salzgehalt für die Feuerschiffe „Halskov Rev“ und „Gedser Rev“ (15 m) beträgt für „Halskov Rev“ 15,7‰ S und für „Gedser Rev“ 12,0‰ S (absolute Maxima)! Solche extremen interdiurnen Veränderlichkeiten sind in der Mecklenburger Bucht mit Sicherheit aus obengenannten Gründen nicht zu erwarten.

Temperatur

Die Temperatur stellt für die Verbreitung der arktischen Reliktformen den Meisterfaktor dar. Sie unterliegt in Bodennähe, bedingt durch die geringe Tiefe der Mecklenburger Bucht, unerwartet großen Schwankungen, die jahreszeitlich wind- bzw. strömungsbedingt sind. Die Darstellung der monatlichen Mittelwerte der Tiefentemperatur 1966–1968 (20 m „Gedser Rev“) erfolgt in Abb. 3b, die der monatlichen Extremwerte (1967) der Tiefenstationen von „Gedser Rev“ und „Fehmarn Belt“ in Abb. 5b. Wie beim Salzgehalt ist die Differenz der einzelnen Jahresgänge auch bei der Temperatur in der Tiefe größer als an der Oberfläche (Abb. 3b und 4b). Dagegen nimmt mit zunehmender Wassertiefe der Schwankungsbereich der monatlichen Extremtemperaturen langsam ab (Abb. 5b).

Die Wintertemperaturen am Boden schwanken zwischen 0–6 °C, die Sommertemperaturen zwischen 8–14 °C.

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit ist in 15 m Tiefe (Feuerschiffe) ebenfalls größer als an der Oberfläche (FRANKE und HUPFER, 1963). Sie liegt bei „Halskov Rev“ bei 0,1–2,7 °C. Höher als an der Oberfläche sind auch die absoluten Werte der i. V. Für „Halskov Rev“ betragen sie 10,2 °C und für „Gedser Rev“ 6,3 °C. Diese absoluten Maxima sind im Monat Juli zu beobachten und für die Verbreitung und Biologie (Laichtrigger) der Benthosbewohner entscheidend.

Abb. 5. Maximale monatliche Schwankungen von Salzgehalt (a) und Temperatur (b) in drei verschiedenen Tiefen

Sauerstoff und Schwefelwasserstoff

Als eine wichtige hydrographische Besonderheit von Brackwasser-Meeren führt REMANE (1958) den starken Sauerstoffschwund und den Schwefelwasserstoffreichtum in den tieferen Schichten an.

Aus den Untersuchungen von SCHULZ (1966) und eigenen Messungen geht hervor, daß in den flacheren Randgebieten der Mecklenburger Bucht das ganze Jahr über eine recht gute O₂-Versorgung gewährleistet ist (60–110% Sättigung). Anders verhält es sich dagegen im tieferen, mit Schlick bedeckten Zentralteil der Mecklenburger Bucht und ihrem südlichen Ausläufer, der Lübecker Bucht. In diesen Gebieten kommt es, bedingt durch extrem geringen Wasseraustausch (Strömungsgeschwindigkeiten < 11 cm/s; DIETRICH, 1952) und hohen biologischen O₂-Verbrauch des Sediments (Anteil der organischen Substanz 4–8%), zu starken O₂-Zehrungen, vor allem in sommerlichen Stagnationsperioden. (Daß trotzdem in diesen Bereichen O₂-Sättigungswerte von 30–50% gemessen wurden, ist eindeutig auf die bisherige Probeentnahmetechnik zurückzuführen, mit der die Mikroschichtung im und direkt über dem Sediment nicht erfaßt wurde.)

Ähnliche „Schwarzmeer-Situationen“ wurden von REMANE (1958) für relativ abgeschlossene „Fjorde“ der Kieler Bucht erwähnt. Für die tieferen Becken der Ostsee, wie Bornholm- und Gotland-Mulde, sind solche Verhältnisse schon lange bekannt (TULKKI, 1965; FONSELIUS, 1969; MATHÄUS, 1971).

Schwefelwasserstoff, der negative Sauerstoff, wie er in einigen Arbeiten genannt wird, konnte im Bodenwasserkörper der Mecklenburger Bucht sicherlich aus erwähnten methodischen Gründen nicht nachgewiesen werden. Im Sediment – auch in den obersten Schichten – ist H₂S im Zentralteil der Mecklenburger Bucht überall zu finden. Ein Auswandern des H₂S-Horizontes aus dem Sediment in die Mikroschicht des darüberstehenden Wassers ist in der Lübecker Bucht und Teilen der Mecklenburger Bucht in den Sommermonaten mit Sicherheit zu erwarten (s. auch SCHULZ, 1968). Erwähnt werden soll an dieser Stelle die H₂S-Konzentration von 0,1–2,0 mg/l, die von FONSELIUS (1969) und vom Institut für Meereskunde Warnemünde bei Terminfahrten im Bornholm- und Gotlandbecken in einem relativ mächtigen Bodenwasserkörper gemessen wurde. DYBERN (1967) fand in norwegischen Fjorden H₂S-Konzentrationen von 0,2–6,0 mg/l.

CO₂, pH, rH

Über diese drei eng miteinander korrelierten Faktoren können nur wenige allgemeine Angaben gemacht werden, da für die Mecklenburger Bucht keine aktuellen Meßwerte vorliegen. Aus Untersuchungen von SCHULZ (1923, 1940) geht hervor, daß in den tieferen Teilen der Ostsee, parallel mit der Abnahme der O₂-Konzentration, ein Anstieg der CO₂-Konzentration und damit ein Absinken des pH-Wertes zu verzeichnen ist. Hinzu kommt, daß mit dem Ansteigen der H₂S-Konzentration ebenfalls der pH-Wert in den sauren Bereich verschoben

wird. Die Wirkung von CO₂-Konzentration und höherer Wasserstoffionenkonzentration ist nicht so gravierend für die Verbreitung der Benthosfauna wie die der erstgenannten abiotischen Faktoren. Auch in der flachen Mecklenburger Bucht können Rückschlüsse auf den pH-Wert (evtl. H₂S-Gehalt) anhand des Korrosionsgrades lebender und toter Muscheln im und direkt über dem Sediment gemacht werden. Genauere Untersuchungen zu dieser Thematik von biologischer Seite stehen noch aus (s. auch MÜLLER, 1951).

Untersuchungen über das Redox-Potential in der Mecklenburger Bucht fehlen leider noch gänzlich. Dabei ist das Redox-Potential (rH, Eh), wie die in situ-Messungen von FENCHEL und JANSSON (1966) und JANSSON (1969) bei Untersuchungen der Interstitialfauna von Sandstränden und Schlickböden (in vitro) zeigten, ein ausgezeichneter Indikatorparameter für die O₂-Verhältnisse, H₂S- und pH-Werte im Sediment.

Die Untersuchungen von REYMENT und HALLBERG (1967) zeigen außerdem, daß ein negativer Eh-Wert nicht immer auf anaerobe Verhältnisse im Sediment deutet.

Zusammenfassender hydrographischer Vergleich zwischen
Flach- und Tiefenwasser-Bereich der Mecklenburger Bucht

Salinität

Die langfristigen Jahresmittelwerte (‰ S) lauten für:

„Darßer Ort“ — 0 m	„Gedser Rev“ — 5 m	„Gedser Rev“ — 20 m
10,53	11,78	16,86

Eine Gegenüberstellung der monatlichen Mittelwerte (1967) der gleichen Stationen erfolgt in Abbildung 4a und ist außerdem aus Abb. 1a und 3a zu ersehen. Auffallend beim Vergleich von Flach- und Tiefenwasser ist der deutliche Unterschied der jährlichen Salzgehaltmaxima (Abb. 1a und 3a). Im Flachwasser tritt ein Frühjahrs- und Herbstmaximum, im Tiefwasser dagegen nur ein ± ausgeprägtes Frühherbstmaximum auf.

Von besonderer Bedeutung für ökologische Arbeiten sind die absoluten Minima und Maxima der abiotischen Faktoren (für den Salzgehalt Abb. 5a). Die maximalen monatlichen Schwankungen (1967) verschieben sich mit zunehmender Wassertiefe (und in westliche Richtung) in die hohen Bereiche. Aus den Extremwertangaben von den Feuerschiffen sowie zahlreichen Einzelmessungen in der Mecklenburger Bucht lassen sich folgende grobe Salzgehaltswerte (‰ S) (variierend je nach Standort) für Flach- und Tiefenwasser der Mecklenburger Bucht ableiten:

Flachwasser-Bereich		Tiefenwasser-Bereich	
Min.	Max.	Min.	Max.
7–8	14–18	10–16	20–26

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Salinität sowie ihre absoluten Maxima erreichen im Tiefenwasser-Bereich höhere Werte als im Flachwasser-Bereich.

Temperatur

Die langfristigen Jahresmittelwerte (°C) betragen für:

„Darßer Ort“ — 0 m	„Gedser Rev“ — 5 m	„Gedser Rev“ — 20 m
8,26	9,16	8,05

Die Gegenüberstellung der monatlichen Mittelwerte erfolgt in Abbildung 4 b und ist außerdem aus Abbildung 1 b und 3 b ersichtlich. Das Maximum liegt im Flachwasser im Juli und August und in 20 m Tiefe im September/Oktober.

Die maximalen monatlichen Schwankungen der Temperatur werden mit zunehmender Wassertiefe geringer. Die Schwankungsbereiche der unterschiedlichen Tiefenzonen wiesen nur in den Sommermonaten keine Überlappungen auf (Abb. 5 b).

Eine ausgeprägte Temperaturschichtung ist nur in den Sommermonaten zu beobachten. Die groben Temperaturgrenzwerte (°C) betragen für:

Flachwasser-Bereich		Tiefenwasser-Bereich	
Min.	Max.	Min.	Max.
-0,5—3	18—21	1—4	12—14

Die mittlere i. V. der Temperatur liegt im Tiefwasser-Bereich höher als im Flachwasser-Bereich, ebenso die absoluten Maxima der i. V.

Salinität und Temperatur

Salzgehalt und Temperatur sind sowohl in ihrem physikochemischen Verhalten als auch in ihrer biologischen Wirkung sehr eng miteinander korreliert (KINNE, 1964). Die komplexe Betrachtungsweise in Form von „Hydroclimatograph's“ (langfristige monatliche Mittelwerte), wie sie SEGERSTRÄLE (1957) für den Vergleich verschiedener Brackgewässer benutzt, ist für eine Gegenüberstellung von Flach- und Tiefwasser ungeeignet und kann zu falschen Verallgemeinerungen führen (Abb. 6). Der Eindruck, der durch die langfristigen Monatsmittelwerte entsteht, daß sich Flach- und Tiefenwasser-Bereich der Mecklenburger Bucht als zwei abiotisch völlig andersartige Habitate verhalten, muß auf Grund der komplexen Darstellung von absoluten monatlichen Salzgehalt- und Temperaturschwankungen revidiert werden (Abb. 7). Aus dieser Übersicht geht deutlich die geringe „hydrographische Eigenständigkeit“ der Wasserkörper von Eu- und Sublitoral hervor. Bis auf die Sommermonate Juli und August (stabile Temperatur -und Salzgehaltsschichtung) kommt es über den gesamten Jahreszyklus zu Überschneidungen der Maximalschwankungen entweder von Temperatur oder Salzgehalt bzw. beider Faktoren gleichzeitig.

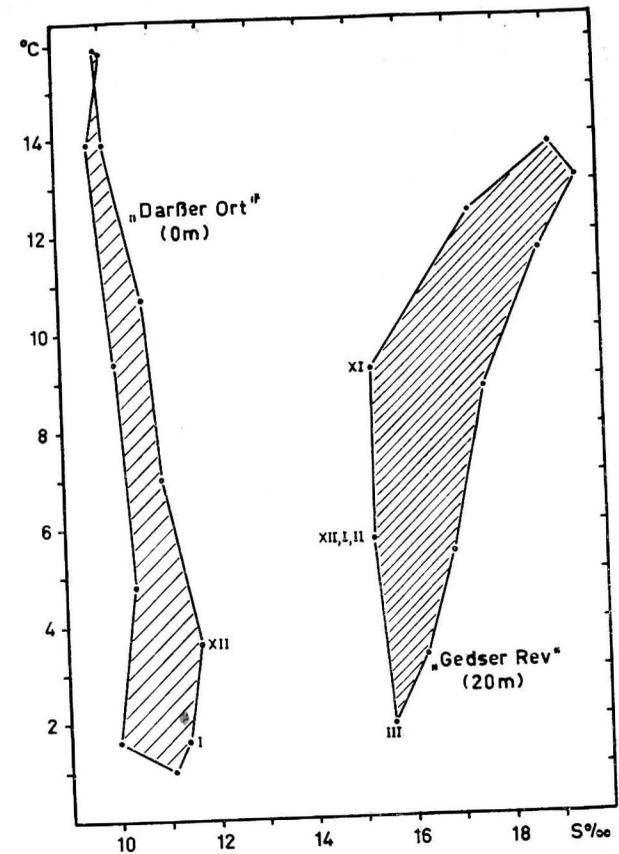


Abb. 6. „Hydroclimatograph's“ zusammengestellt aus langjährigen Monatsmittelwerten (30 Jahre) für „Darßer Ort“ — 0 m und „Gedser Rev“ — 20 m

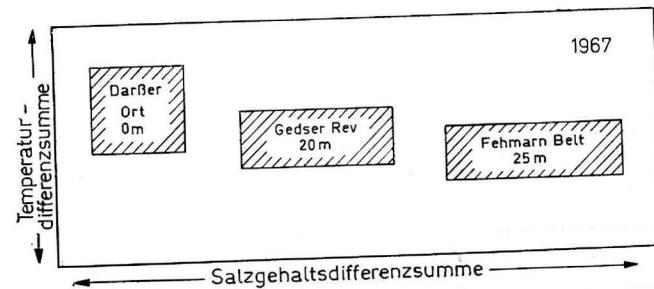


Abb. 8. Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzsummen eines Jahres für drei verschiedene Tiefen

Die Wärme- oder Temperatursumme ist ein in der (terrestrischen) Ökologie für die Charakterisierung der Temperaturansprüche einzelner Arten gebräuchlicher Parameter (s. SCHWERTFEGGER, 1963). Für die Übersichtscharakterisierung des Temperaturregimes in einem Biotop ist dieser Wert nur von geringer Aussagekraft. In Abb. 8 ist deshalb der Versuch gemacht worden, in einer vereinfachten Darstellung der Summen der maximalen monatlichen Temperatur- und Salinitätsdifferenzen eines Jahres Flach- und Tiefenwasser der Mecklenburger Bucht abiotisch grob zu charakterisieren. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß mit zunehmender Wassertiefe die Temperaturdifferenzen und Salinitätsdifferenzen sich reziprok verhalten. Das heißt mit anderen Worten, daß zum Tiefenwasser-Bereich hin zwar die Temperaturschwankungen geringer werden, dafür aber die Salinitätsschwankungen auch im gesamten Jahreszyklus zunehmen.

Sauerstoffgehalt

Das Flachwasser ist durch extreme O_2 -Schwankungen (0–200% Sättigung) gekennzeichnet. Wieweit im Tiefwasser der Mecklenburger Bucht lang andauernde O_2 -Mangelperioden (Stagnationen) ähnlich wie in abgeschlossenen Brackwassergebieten (z. B. eigentliche Ostsee, Schwarzes Meer) auftreten, bedarf noch einer Überprüfung.

Wie bereits erwähnt, dürfen die Daten für den Tiefenwasser-Bereich nur mit Vorbehalt für Benthosstudien benutzt werden, da alle genannten Untersuchungen aus methodischen Gründen nicht die unmittelbar über dem Boden stehende Mikroschicht und die obere Sedimentzone erfaßt haben. In zahlreichen Gesprächen mit Herrn Prof. ARNDT und Herrn Prof. SCHNESE (Sektion Biologie), Herrn Dr. SCHULZ (Institut für Meereskunde) und Herrn Dr. DYBERN (Lysekil) und bei vielen Tauchuntersuchungen hat sich die Vermutung gefestigt, daß die abiotischen Faktoren in dieser Mikroschicht direkt über dem Sediment eine höhere Konstanz als in dem sogenannten Bodenwasserkörper aufweisen.

Als Ausgangspunkt für experimentell-ökologische Untersuchungen zur Resistenz- und Leistungsanalyse benthischer Evertibraten aus Flach- und Tiefenwasser-Bereich der Mecklenburger Bucht kann folgende hydrographische Grobcharakteristik gegeben werden: Flach- und Tiefwasser unterscheiden sich ökologisch im wesentlichen in der Lage der Extremwerte von Salinität, Temperatur und Sauerstoff. Als Reaktionen der Benthostiere auf diese Differenzen sind die unterschiedlichen Resistenzadaptationen (Temperatur, Salinität-, O_2 -Mangel- und H_2S -Resistenz) und Verbreitungsmuster von Tief- und Flachwasserarten zu werten (VON OERTZEN, 1970, Teil 6; VON OERTZEN und SCHLUNGBAUM 1972). Die langjährigen Mittelwerte zeigen für die Temperatur geringfügige und für den Salzgehalt deutliche Differenzen.

Eine hydrographische Eigenständigkeit von Boden- und Oberflächenwasserkörper über den Jahresverlauf ist nicht festzustellen. Große kurzfristige und langfristige Fluktuationen von Temperatur und Salzgehalt sowohl im Bereich

des Flach- als auch besonders des Tiefenwassers sprechen gegen differenzierte Leistungsadaptationsbedingungen für Tief- und Flachwasserarten.

Untersuchungen zur Leistungsadaptation an Vertretern der *Macoma calcarea* und *Macoma baltica*-Zönose bestätigten die relative ökologische Homogenität der beiden Lebensräume (VON OERTZEN, 1970, Teil 8).

Literatur

- BAGGE, P., Effects of pollution on estuarine ecosystems I. Effects of effluents from wood-processing industries on the hydrography, bottom and fauna of saltkällefjord (W. Sweden). Merentutkimuslait. Julk./Havforskningsinst. Skr., No. 223 (1969) 3–12.
- BROECKHUYSEN, G. I., The extremes in the percentage of dissolved oxygen to which the fauna of a *Zostera* field in the tide zone at Nieuwediep can be exposed. Arch. Neerl. Zool. 1 (1935).
- DIETRICH, G., Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kiel. Meeresforsch. 7 (1950).
- DIETRICH, G. und KALLE, K., Allgemeine Meereskunde. Eine Einführung in die Oceanographie. Berlin-Nikolassee (1957) 492 pp.
- DYBERN, B.-I., The distribution and salinity tolerance of *Ciona intestinalis* (L.) F. typica with special reference to the waters around Southern Scandinavia. Ophelia 4 (1967).
- FENCHEL, T. and JANSSON, B. O., On the vertical distribution of the microfauna on the sediments of a brackish water beach. Ophelia 3 (1966).
- FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins III. Fishery Bd. Sweden, Ser. Hydrography 23 (1969).
- FRANKE, E. und HUPFER, P., Über die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur und des Salzgehalts im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. Beiträge zur Meereskunde, H. 10 (1963).
- GESSNER, F., Meer und Strand II. Auflage Berlin (1957) 426 pp.
- HEIDECKE, D., Qualitative und quantitative Untersuchungen am Zooplankton im Küstenbereich der Deutschen Beltsee. Rostock – Diplomarbeit (1969).
- HUPFER, P., Ein ozeanologischer Längsschnitt durch die Ostsee vom 10.–13. Juli 1957. Beitr. Meeresk., H. 2/3 (1961).
- HUPFER, P., Meeresklimatische Veränderungen im Gebiet der Beltsee seit 1900. Veröff. Geophys. Inst. Univ. Leipzig 17 (1962).
- HUPFER, P., Thermische Verhältnisse in der ufernahen Zone des Meeres, dargelegt an der Ostsee bei Zingst. Leipzig – Habilschrift (1967).
- JANSSON, B. O., The availability of oxygen for the interstitial fauna of sandy beaches. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1 (1968).
- JANSSON, B. O., Factors and fauna of a Baltic mud bottom. Limnologica (Berlin) 7 (1969) 1.
- KINNE, O., The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 2 (1964).
- KÜHLMANN, D. H. H., Studien über physikalische und chemische Faktoren in kubanischen Riffgebieten. Acta Hydrophysica 15 (1970) 2, 106–152.
- MATTHÄUS, W., Secular changes of oxygen conditions in the Deep Water of the Gotland Basin. Oikos Suppl. 14 (1972).
- MÜLLER, A. H., Grundlagen der Biostratonomie. Abhandlg. der Deutschen Akademie der Wiss. zu Berlin, Jahrg. 1950, 3 (1951).
- MÜNZER, E. B., Die Temperaturschichtung in der Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung. Kieler Meeresforsch. 26 (1970) 1, 43–55.
- MUUS, B. J., The fauna of danish estuaries and lagoons. Medd. fra Danmarks Fiskeri-og Havundersøgelser. VS 5 (1967).
- OERTZEN VON, J.-A., Untersuchungen über die Besiedlung der Fucusvegetation der Gewässer um Hiddensee. I. Ökologischer Teil. Z. Fischerei N.F. 16 (1968) 3/4.

- OERTZEN VON, J.-A., Experimentell-ökologische Untersuchungen an Makrobenthosformen (Bivalvier) der Deutschen Beltsee. Dissertation — Rostock (1970) Teil 8.
- OERTZEN VON, J.-A., Abiotic potency and physiological resistance of shallow and deep water bivalves in the Baltic Sea. *Oikos Suppl.* **14** (1972).
- OERTZEN VON, J.-A. und SCHLUNGBAUM, G., Experimentell-ökologische Untersuchungen über O₂-Mangel und H₂S-Resistenz an marinen Evertebraten der westlichen Ostsee. *Beitr. Meereskunde*, H. **29** (1972), S. 79—91.
- OERTZEN VON, J.-A. und SCHULZ, S., Beitrag zur geographischen Verbreitung und ökologischen Existenz von Bivalviern der Ostsee. *Beitr. Meereskunde*, H. **32** (1973), S. 75—88.
- PANKOW, H., ARNDT, E. A., DOLL, R., Über das Netzphytoplankton an der Südküste der Mecklenburger Bucht in den Jahren 1961—1964. *Wiss. Ztschr. d. Univ. Rostock, Math.-Nat.* **16** (1967).
- REMANE, A., In: REMANE und SCHLIEPER, „Die Biologie des Brackwassers“. Stuttgart (1958) 348 pp.
- REYMENT, R. A. and HALLBERG, R., Notes on free oxygen in connexion with negative redox potentials in relation to ostracoda. *Crustaceana* **13** (1967).
- SCHOTT, G., Physische Meereskunde. Sammlung Göschen **112** (1926), zit. n. HUPFER 1967.
- SCHULZ, B., Einiges über die Kohlensäurefaktoren der Nord- und Ostsee. *Festkr. till. Prof. Otto Petersen, Helsingfors* (1923), zit. aus SCHULZ 1940.
- SCHULZ, B., Einführung in die Hydrographie der Nord- und Ostsee in GRIMPE-WAGLER TNO 1 d (1940).
- SCHULZ, S., Faunistisch-ökologische Untersuchungen des Benthos in der Mecklenburger Bucht (westl. Ostsee). Greifswald — Dissertation 1966.
- SCHULZ, S., Rückgang des Benthos in der Lübecker Bucht. *Monatsberichte der Deutschen Akad. d. Wiss. zu Berlin* **10** (1968) 10.
- SCHWERTFEGER, F., Ökologie der Tiere — Autökologie. Hamburg u. Berlin (1963) 461 pp.
- SEGERSTRÅLE, S., Baltic Sea. *Geol. Soc. America, Memoir* **67** (1957) 1.
- SIMONOWA, A. J. et al., Das hydrochemische Regime in der Ostsee (russ.). Leningrad (1965) 168 pp.
- SOSKIN, I. M., Langjährige Veränderungen der hydrologischen Charakteristik der Ostsee (russ.). Leningrad (1963) 160 pp.
- STEPHENSSON, T. A., The universal features of zonation between tide-marks on Rocky coasts. *J. Ecol.* **37** (1949).
- STURM, M., Zum Wärmehaushalt der Ostsee im Bereich der südlichen Beltsee (Fehmarnbelt). *Beitr. Meeresk.*, H. **27** (1970) 47—61.
- TULKKI, P., Disappearance of the benthic fauna from the basin of Bornholm (Southern Baltic) due to oxygen deficiency. *Cah. Biol. Marin.* **6** (1965).
- WIESER, W. and KANWISHER, J., Respiration and anaerobic survival in some seaweed-inhabiting invertebrates. *Biol. Bull.* **117** (1959).

Untersuchungsmaterial

Meereskundliche Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee 1966—1968 (herausgegeben vom Deutschen Hydrographischen Institut Hamburg). Salzgehalt und Temperaturwerte von der Station Darßer Ort, Abflußjahr 1966—1969 (Wasserwirtschaftsdirektion Küste — Warnow — Peene; Wasserstands- und Eisdienst).

Abschluß der Arbeit: Juni 1971

Anschrift des Verfassers:

Dr. J.-A. v. OERTZEN, Univ. Rostock, Sektion Biologie,
Fachbereich Meeres- und Fischereibiologie
DDR — 25 Rostock, Freiligrathstr. 7/8

Zur Hydrographie der Gotlandsee II

Der mittlere Jahresgang der Temperatur in Oberflächennähe

VON WOLFGANG MATTHÄUS

Zusammenfassung: Für das Gotlandtief (Station F 81 bzw. BY 15 A auf 57°20' N, 19°59' E) und das Landsorttief (Station F 78 bzw. BY 31 A auf 58°35' N, 18°14' E) in der mittleren Ostsee werden aus 123 bzw. 76 hydrographischen Serien aus dem Zeitraum 1902 bis 1970 mittlere Jahresgänge der Temperatur in 10 m-Tiefenstufen von der Oberfläche bis in 100 m Tiefe berechnet. In Tabellen und Diagrammen werden die Amplituden des mittleren Jahresgangs, die prozentuale Änderung der Amplituden bezogen auf den Oberflächenwert und die Phasenverschiebungen der mittleren jährlichen Hauptwelle und der Extrema des mittleren Jahresgangs in Abhängigkeit von der Tiefe mitgeteilt. Darüber hinaus wird der Verlauf der Extrema des mittleren Jahresgangs, der absolut höchsten bzw. niedrigsten beobachteten Temperaturwerte und der mittleren Jahresschwankung mit der Tiefe angegeben. Mit Hilfe der analysierten Konstanten kann die den verwendeten Beobachtungswerten aus dem Zeitraum 1902—1970 zugeordnete mittlere Temperatur für jeden Zeitpunkt des Jahres berechnet werden.

Für gezeitenarme Schelfmeere in Gebieten mit großer jährlicher Schwankung der Oberflächentemperatur ist eine starke sommerliche Temperatursprungschicht typisch. Sie liegt in der Gotlandsee in 20 bis 30 m Tiefe und trennt die warme, homotherme Deckschicht von der wenig geschichteten, kühleren Unterschicht. Die Bildung der Sprungschicht erfolgt im Frühjahr durch die Erwärmung der oberflächennächsten Schichten. Sie verstärkt sich bis in den Hochsommer, und erst im Herbst dringt mit ihrem Abbau die Wärme in größere Tiefen vor.

Diesen jahreszeitlichen Rhythmus haben bereits GRANQVIST (1938, 1952) und DIETRICH (1953) für einzelne Stationen im Bereich der Ostsee durch FOURIER-Reihen mathematisch interpretiert. Es wurden vor allem Küstenstationen und Feuerschiffsbeobachtungen zur Analyse herangezogen, so daß ein umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung stand. Zur Bestimmung der FOURIER-Koeffizienten in festen Tiefenhorizonten wurden Mittelwerte gebildet, die einer Harmonischen Analyse unterzogen wurden.

Durch die Einschränkung der Untersuchungen auf Küstenstationen und Feuerschiffe werden die zentralen Teile der Ostsee nicht erfaßt. Lediglich von DIETRICH (1948, 1950) wurde der Versuch unternommen, den mittleren jährlichen Gang der Temperatur in Abhängigkeit von der Tiefe für einzelne Stationen in den küstenfernen Teilen der Ostsee aus hydrographischen Serien für den

Zeitraum 1902 bis 1938 zu berechnen. Oft liegen für diese Gebiete nur eine oder zwei hydrographische Serien pro Jahr vor, so daß Aussagen über den Temperaturgang eines Einzeljahres nicht möglich sind. Auch Mittelbildung oder Harmonische Analyse sind nur bedingt oder gar nicht anwendbar. Um trotzdem Einblick in die mittleren Jahrgänge zu bekommen, die zur Bestimmung der Abweichungen von Einzelbeobachtungen vom langjährigen Mittel von Nutzen sein können, wird ein Ausgleichsverfahren herangezogen.

Das hier zur Anwendung gebrachte Ausgleichsverfahren (HULTZSCH, 1966) ist vom Verfasser bereits in Verbindung mit dem Ausgleich ozeanographischer Meßwerte erläutert worden (MATTHÄUS, 1971). Die Beobachtungswerte, die durch eine Linearkombination trigonometrischer Funktionen der Form

$$y = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos kx + b_k \sin kx) \quad (1)$$

ausgeglichen werden, gehen unmittelbar ein, ohne daß auf Mittelwerte zurückgegriffen oder auf zeitliche Äquidistanz geachtet werden muß. Die Standardabweichung s dient als Maß für die Güte der Ausgleichung.

Aus der Form

$$y = A_0 + \sum_{k=1}^n A_k \cos(kx - \alpha_k) \quad (2)$$

der Gleichung (1) mit

$$A_0 = a_0,$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2},$$

$$\alpha_k = \arctan \frac{b_k}{a_k}$$

erhält man den Jahresmittelwert A_0 , die Amplituden der jährlichen (A_1), der halbjährlichen (A_2), der dritteljährlichen (A_3), usw. harmonischen Welle und deren Phasenkonstanten α_k . α_1 entspricht der Eintrittszeit des Maximums der jährlichen Welle, gezählt vom Jahresbeginn.

Für die Untersuchung des mittleren Jahrgangs der Temperatur wurden 123 hydrographische Serien aus dem Gotlandtief (F 81 bzw. BY 15 A auf $57^\circ 20' N$, $19^\circ 59' E$) und 76 Serien aus dem Landsorttief (F 78 bzw. BY 31 A auf $58^\circ 35' N$, $18^\circ 14' E$) aus dem Zeitraum 1902–1970 herangezogen. Die Beobachtungswerte wurden den im Literaturverzeichnis aufgeführten Publikationen entnommen.

Die Beobachtungswerte können als örtlich homogen angesehen werden, sind aber zeitlich inhomogen, da die Anzahl der Beobachtungen von Jahr zu Jahr und Monat zu Monat unterschiedlich ist. Die größte Zahl von Beobachtungen fällt in die Sommermonate Juli/August; in den Monaten Dezember bis Februar sind nur wenig Werte verfügbar (vgl. Abb. 1 und 2). Bei zeitlich stark inhomogenem Material ist eine Kontrolle der Ergebnisse durch Umzeichnen in Vertikalprofile zweckmäßig, um eventuelle größere Unregelmäßigkeiten auszuschließen.

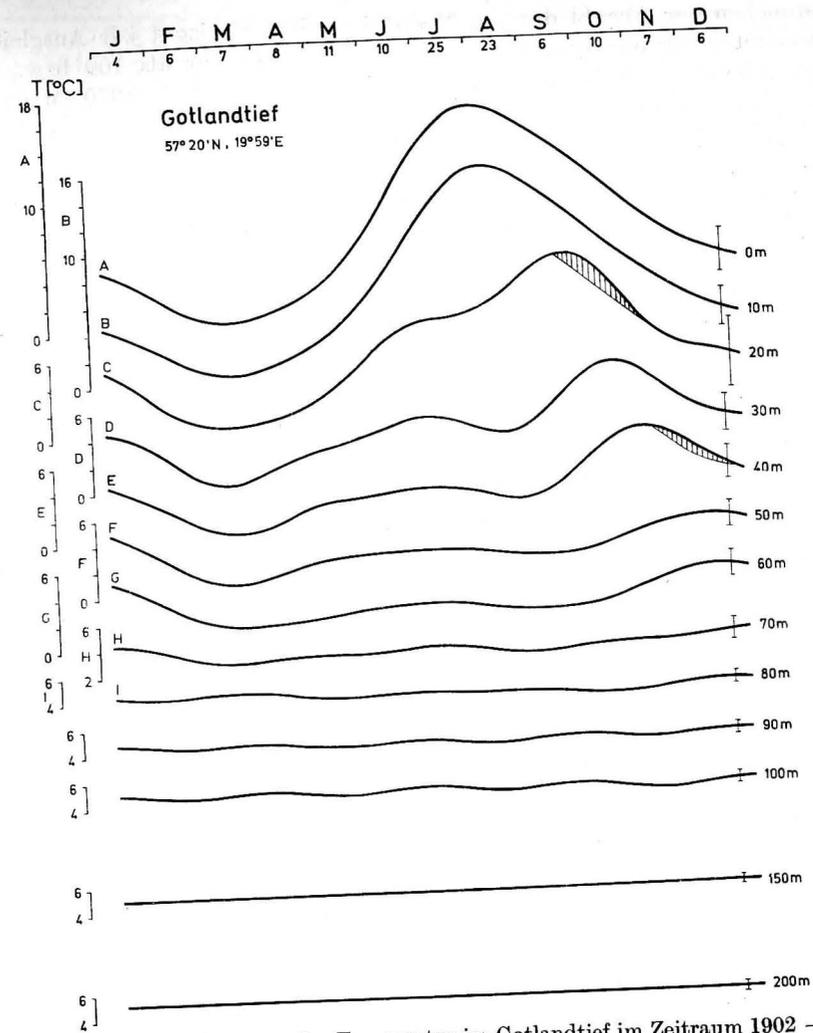


Abb. 1. Mittlerer Jahrgang der Temperatur im Gotlandtief im Zeitraum 1902–1970

Für die Untersuchungen wird die Zeit t in Grad vom 1. Januar $\cong 0^\circ$ gezählt. Es wird 1 Jahr = 12 Monate = 360 Tage $\cong 360^\circ$ gesetzt. Die Anzahl der Konstanten wurde aus den in dem früheren Aufsatz (MATTHÄUS, 1971) erwähnten Gründen zu $k = 4$ gewählt. Die Ausgleichung der Temperaturwerte in Tiefenhorizonten von 10 zu 10 m wurde auf der elektronischen Rechenanlage Cellatron C 8205 des Instituts für Meereskunde, Warnemünde, vorgenommen.

In Abb. 1 und 2 ist der mittlere Jahrgang der Temperatur in diskreten Tiefen im Gotland- und Landsorttief dargestellt, der aus den in Tab. 1 und 2 zusammengestellten Daten berechnet wurde. Die Zahlen an der Zeitachse

entsprechen der Anzahl der pro Monat in jedem Horizont zur Ausgleichung verwendeten Beobachtungswerte. Bei Tiefen von mehr als 100 bzw. 175 m wurden die Mittelwerte der Temperatur im Zeitraum 1902—1970 (MARTHÄUS, 1972) als beste Ausgleichung zur Darstellung herangezogen. Im rechten Teil der Abbildungen sind die Standardabweichungen der Einzelwerte vom mittleren Jahresgang wiedergegeben.

Der mittlere Jahresgang zeigt auf beiden Positionen einen ähnlichen Verlauf. Das gilt insbesondere für die Deckschicht zwischen 0 und 10 m, die jedoch im Gotlandtief von September bis April im Mittel wärmer (maximal 1,3 °C bis

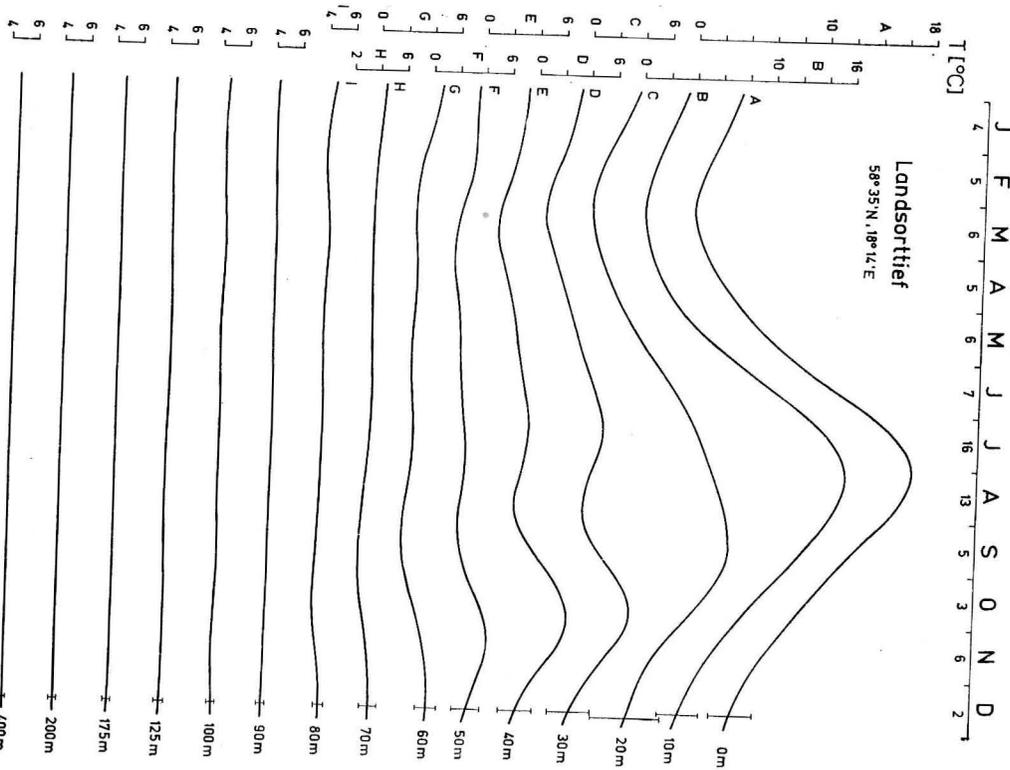


Abb. 2. Mittlerer Jahresgang der Temperatur im Landortstief im Zeitraum 1902—1970

Tabelle 1

Elemente des mittleren Jahresgangs der Temperatur im Oberflächenbereich des Gotlandtiefs im Zeitraum 1902—1970

z	$a_0 = A_0$	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4	A_1	α_1	A_2	A_3	A_4	$\frac{A_2}{A_1}$	$\frac{A_{1,z}}{A_{1,0}}$	$\frac{A_{2,z}}{A_{2,0}}$	s
[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]	[°C]
0	7,678	-4,373	-5,769	1,277	1,418	-0,114	-0,299	0,249	0,290	7,239	233	1,908	0,320	0,382	26,4	100	100	1,563
10	7,306	-3,940	-5,666	0,958	1,498	0,082	-0,354	0,043	0,264	6,901	235	1,778	0,363	0,283	25,8	95,3	93,2	1,485
20	6,288	-1,846	-5,002	-0,147	0,157	0,290	0,822	0,584	-0,237	5,332	250	0,215	0,872	0,630	4,0	73,7	11,3	2,676
30	4,310	0,136	-2,802	0,106	-1,284	-0,406	0,630	0,398	0,504	2,805	273	1,288	0,749	0,642	45,9	38,7	67,5	1,400
40	3,759	0,807	-2,052	0,426	-1,499	-0,428	0,083	-0,068	0,432	2,205	291	1,558	0,436	0,437	70,7	30,5	81,7	1,268
50	2,950	0,649	-0,902	0,965	-0,756	0,262	-0,129	0,004	0,106	1,111	306	1,226	0,292	0,106	110,4	15,3	64,3	1,044
60	3,043	0,895	-0,575	0,954	-0,502	0,183	-0,167	0,056	0,003	1,064	327	1,078	0,248	0,056	101,3	14,7	56,5	1,014
70	3,491	0,283	-0,174	0,402	-0,158	0,072	0,021	0,132	0,142	0,332	328	0,432	0,075	0,194	130,1	4,6	22,6	0,838
80	4,240	0,154	0,147	0,123	0,059	-0,003	-0,117	0,036	-0,118	0,213	44	0,136	0,117	0,123	63,8	2,9	7,1	0,484
90	4,540	0,101	-0,022	0,026	0,001	0,014	0,007	0,144	-0,054	0,103	348	0,026	0,016	0,154	25,2	1,4	1,4	0,456
100	4,838	-0,018	0,028	0,033	0,052	0,020	0,018	0,199	-0,048	0,033	123	0,062	0,027	0,205	187,9	0,5	3,2	0,471

Tabelle 2

Elemente des mittleren Jahresgangs der Temperatur im Oberflächenbereich des Landorttiefs im Zeitraum 1902—1970

z	$a_0 = A_0$	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4	A_1	α_1	A_2	A_3	A_4	$\frac{A_2}{A_1}$	$\frac{A_{1,z}}{A_{1,0}}$	$\frac{A_{2,z}}{A_{2,0}}$	s
[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]	[°C]
0	7,317	-5,151	-5,546	1,218	1,352	0,001	-0,361	0,014	0,317	7,569	227	1,820	0,361	0,317	24,0	100	100	1,569
10	7,020	-4,636	-5,603	0,956	1,407	0,001	-0,273	0,067	0,116	7,272	230	1,701	0,273	0,134	23,4	96,1	93,5	1,566
20	5,555	-2,201	-4,615	-0,082	0,320	0,154	0,332	0,295	0,072	5,113	245	0,330	0,366	0,304	6,5	67,6	18,1	2,641
30	4,049	-0,387	-2,379	0,248	-1,004	-0,639	0,138	-0,007	0,513	2,410	261	1,034	0,654	0,513	42,9	31,8	56,8	1,612
40	3,515	0,410	-1,828	0,081	-0,941	-0,642	0,127	-0,152	0,418	1,873	283	0,944	0,654	0,445	50,4	24,7	51,9	1,292
50	3,160	0,695	-0,777	0,289	-0,361	-0,333	-0,118	-0,294	0,093	1,042	312	0,462	0,353	0,308	44,3	13,8	25,4	1,080
60	3,312	0,704	-0,084	0,499	-0,249	0,120	-0,230	0,014	0,109	0,709	353	0,558	0,259	0,110	78,7	9,4	30,7	0,803
70	3,766	0,178	0,134	0,323	-0,095	0,047	-0,111	0,009	0,006	0,223	37	0,337	0,121	0,011	151,1	2,9	18,5	0,650
80	4,185	0,054	0,039	0,114	-0,015	0,105	-0,133	0,120	-0,069	0,067	36	0,115	0,169	0,138	171,6	0,9	6,3	0,380
90	4,320	-0,092	-0,022	0,010	-0,008	-0,017	-0,028	0,033	-0,009	0,095	193	0,013	0,033	0,034	13,7	1,3	0,7	0,289
100	4,461	-0,042	-0,020	-0,014	0,025	0,010	-0,019	0,124	0,033	0,047	205	0,029	0,021	0,128	61,7	0,6	1,6	0,325

1,0 °C um die Jahreswende in 0 bzw. 10 m) und von Mai bis August kälter (maximal etwa 0,5 °C) als im Landsorttief ist. Minimale Temperaturen in der Deckschicht mit 0,7 °C im Gotlandtief und mit 0,14 °C (0 m) bzw. 0,37 °C (10 m) im Landsorttief werden im Mittel in der ersten Märzhälfte (zwischen 8. und 13. März) beobachtet. Maximalwerte der Temperatur in 0 bzw. 10 m von 16,6 °C bzw. 16,0 °C im Gotlandtief und von 17,0 °C bzw. 16,0 °C im Landsorttief treten im Mittel Anfang August (zwischen 2. und 8. August) auf.

Im Bereich der sommerlichen Temperatursprungschicht in 20 bis 30 m beginnt sowohl im Gotland- als auch im Landsorttief die Ausbildung eines sekundären Maximums, das bis in 50 m Tiefe zu beobachten ist. Das ist auch deutlich aus der Darstellung der analysierten Amplituden des mittleren Jahresgangs in Abhängigkeit von der Tiefe (Abb. 3) zu erkennen. Während die Amplitude A_1

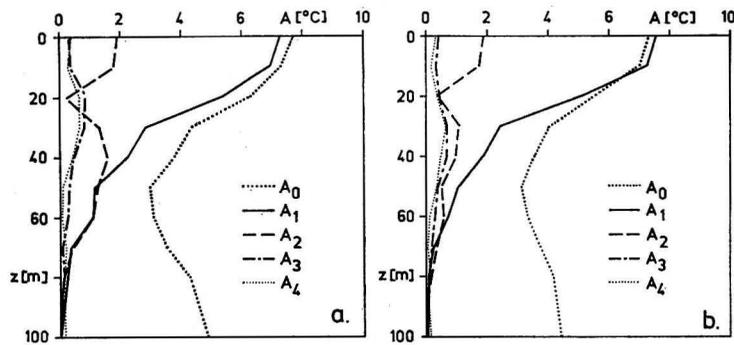


Abb. 3. Amplituden des mittleren Jahresgangs im Gotland- (a) und Landsorttief (b) in Abhängigkeit von der Tiefe

der jährlichen Welle mit der Tiefe abnimmt, haben A_2 bzw. A_3 und A_4 in 20 m bzw. 10 m ein Minimum und steigen bis in 40 m Tiefe auf das Zwei- bis Siebenfache des Wertes im Minimum an. Ein sekundäres Maximum im mittleren Jahresgang in Tiefen zwischen 20 und etwa 60 m deuteten bereits die Untersuchungen von DIETRICH in der offenen Gotlandsee (Gotlandtief; 57°22'N, 19°57'E; 45 Serien) (DIETRICH, 1950), im Finnischen Meerbusen und der nördlichen Bottensee (DIETRICH, 1948) an. Das sekundäre Maximum wird nicht durch das Ausgleichsverfahren aufgeprägt.

Die jährliche Hauptwelle dominiert im Gotlandtief nur bis in etwa 50 m. Zwischen 50 und 70 m Tiefe sind die Amplituden der jährlichen und halbjährlichen Wellen etwa gleich groß. Im Landsorttief dominiert dagegen die jährliche Hauptwelle bis in 60 m Tiefe (vgl. Abb. 3). In Tiefen von mehr als 60 m sind insbesondere im Gotlandtief teilweise beträchtlich kleinere Amplituden zu beobachten (vgl. Tab. 1). Auch in den Phasen (vgl. Abb. 5 und 6) zeigen sich in diesen Tiefen Unregelmäßigkeiten, die wahrscheinlich auf den Einfluß der Salzgehaltssprungschicht zurückzuführen sind. In Tiefen ab etwa 80 m liegen

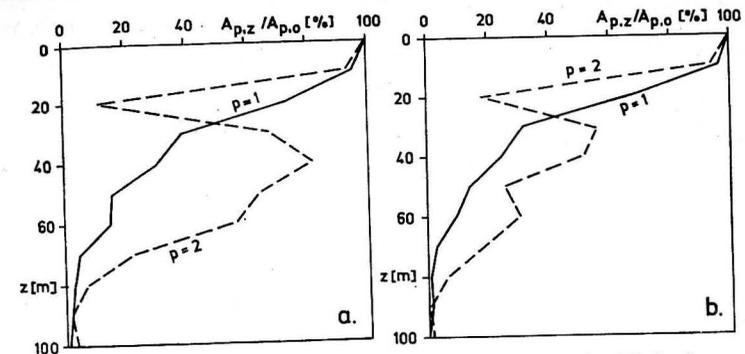


Abb. 4. Prozentuale Änderung der Amplituden A_1 und A_2 mit der Tiefe, bezogen auf die Oberflächenwerte im Gotland- (a) und Landsorttief (b)

die Amplituden A_1 bis A_4 sowohl im Gotland- als auch im Landsorttief unter 0,22 °C.

Die prozentuale, auf den Oberflächenwert bezogene Änderung der Amplituden mit der Tiefe, die in Abb. 4 für A_1 und A_2 aufgetragen ist, zeigt bei A_2 Minima in 20 m und Maxima in 30 bis 40 m Tiefe. In diesen Horizonten, die im Sommer durch eine starke thermische Sprungschicht gekennzeichnet sind, wird der jährliche Temperaturgang mehr als in anderen Tiefen von der halb-, drittel- und vierteljährlichen Temperaturwelle überlagert. Er weist einen unruhigeren Verlauf als an der Oberfläche und in größeren Tiefen auf, wie auch Abb. 1 und 2 verdeutlichen. In 20 m Tiefe wurde mit $s \approx \pm 2,6$ °C die größte Standardabweichung im Gotland- und Landsorttief beobachtet.

Da die Wärme erst mit dem Abbau der starken sommerlichen Temperaturschichtung in größere Tiefen vordringt, wird das Temperaturmaximum mit wachsender Tiefe immer mehr gegen das Jahresende verschoben. Das zeigt sich in den Phasenverschiebungen der mittleren jährlichen Hauptwelle (Abb. 5) und der Extrema des mittleren Jahresgangs (Abb. 6). Bis in 60 m Tiefe ist der Verlauf der Phasenverschiebung α_1 der jährlichen Hauptwellen im Gotland- und

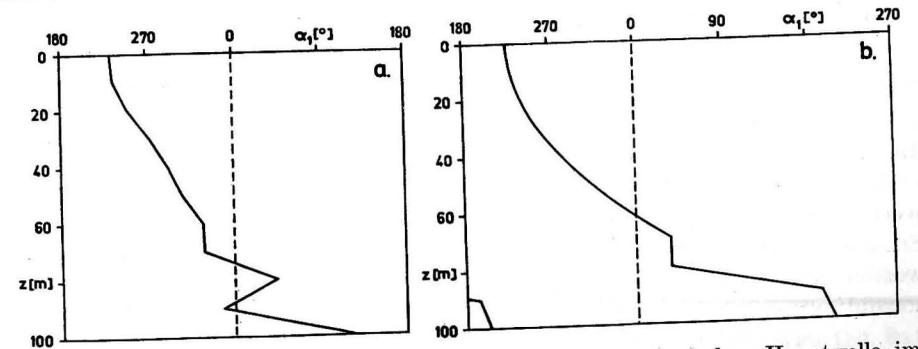


Abb. 5. Phasenverschiebung α_1 der mittleren jährlichen harmonischen Hauptwelle im Gotland- (a) und Landsorttief (b) mit der Tiefe z

Landsorttief etwa gleich. Die Phasenverschiebung α des Maximums ist sogar bis in 80 m relativ einheitlich, diejenige des Minimums dagegen nur bis in 40 m. Unterhalb dieser Horizonte sind die Phasenverschiebungen im Landsorttief größer als im Gotlandtief.

Aus der Analyse der Meßwerte kann auf das Vorhandensein eines regelmäßigen Jahresgangs der Temperatur im Gotland- und Landsorttief mit Amplituden über 0,2 °C bis in etwa 70 bis 80 m Tiefe geschlossen werden. Über einen Jahresgang in größeren Tiefen können auf Grund der zeitlichen Inhomogenität des Beobachtungsmaterials keine Aussagen gemacht werden, zumal auch die Extremwerte des mittleren Jahresgangs in 80 m Tiefe etwa bis auf die berechneten Standardabweichungen zusammenfallen (vgl. Abb. 7, Tab. 1 und 2).

Aus Abb. 7, die den Verlauf der Extremwerte des mittleren Jahresgangs und der absolut höchsten und niedrigsten Temperaturwerte wiedergibt, kann man

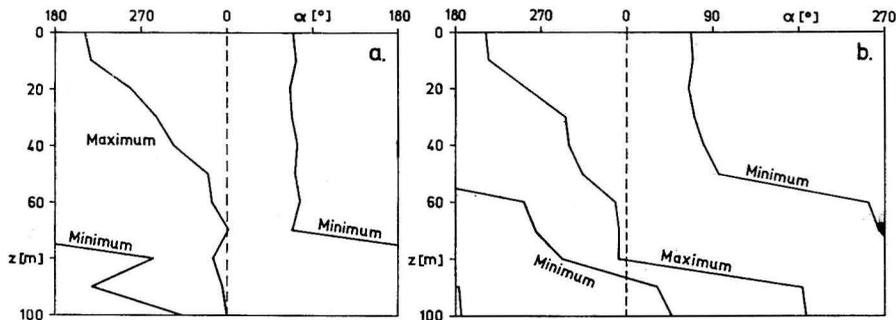


Abb. 6. Phasenverschiebung α der Extrema des mittleren Jahresgangs im Gotland- (a) und Landsorttief (b) mit der Tiefe z

ablesen, daß im offenen Seegebiet an der Oberfläche vereinzelt Höchstwerte bis zu 19,6 °C [Gotlandtief: 22. 7. 27 (19,66 °C), 31. 7. 59 (19,58 °C); Landsorttief: 22. 7. 57 (19,50 °C)] und niedrigste Werte von -0,2 °C [Gotlandtief: 4. 3. 69 (-0,22 °C); Landsorttief: 26. 3. 56 (-0,21 °C)] beobachtet worden sind. Selbst in 20 m können noch über 18 °C [Gotlandtief: 2. 8. 39 (18,02 °C); Landsorttief: 3. 8. 59 (18,46 °C)] und in 50 m 8,5 bis 9 °C [Gotlandtief: 4. 11. 57 (9,14 °C); Landsorttief: 1. 11. 60 (8,53 °C)] gemessen werden. Bis zu Tiefen von 40 bis 50 m sind in Einzelfällen negative Temperaturen [Gotlandtief, 50 m: 19. 3. 60 (-0,16 °C); Landsorttief, 40 m: 26. 3. 56 (-0,19 °C)] gefunden worden.

In 20 m Tiefe tritt im Gotlandtief eine besonders starke Streuung der Meßwerte zwischen dem 1. Juli und dem 15. September auf, die sich auch auf die Standardabweichung auswirkt. Auf diesen Zeitraum entfallen mit 54 Meßwerten rund 45% aller verwendeten Beobachtungen, wobei für die Jahreszeit sowohl extrem niedrige (3,05 °C am 9. 8. 64; 3,42 °C am 28. 8. 60; 3,86 °C am 1. 8. 64) als auch hohe Temperaturen (18,02 °C am 2. 8. 39; 16,80 °C am 23. 8. 38, häufig über 14 °C) gemessen wurden.

Die Ausgleichung kann in solchen Fällen problematisch werden und in Verbindung mit der zeitlichen Inhomogenität der Beobachtungen zu physikalisch nicht mehr sinnvollen Aussagen führen. Die schraffierten Teile in Abb. 1 zeigen Abschnitte, in denen die mittleren Temperaturen z. B. in 20 m bis über 1 °C höher als in 10 m Tiefe liegen. Dieses Verhalten ergibt sich aus den oben angeführten Mängeln im Beobachtungsmaterial und ist nicht real.

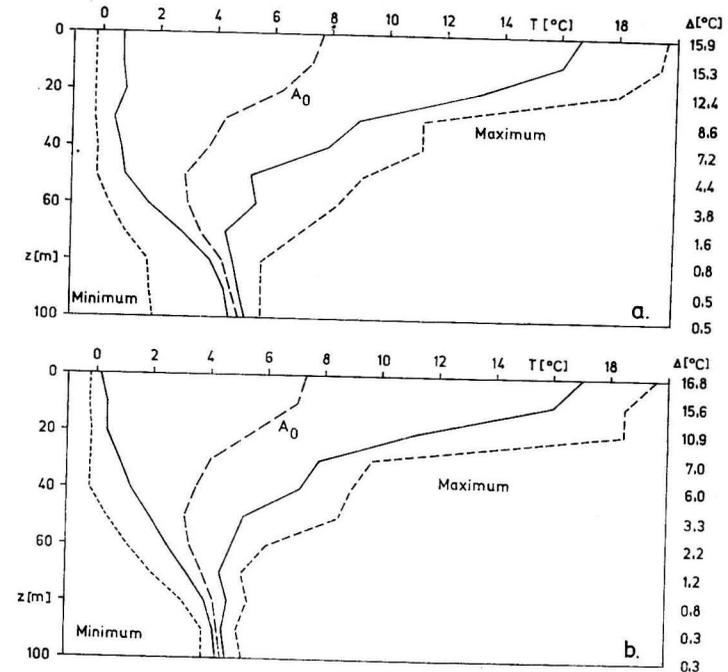


Abb. 7. Verlauf der Extrema des mittleren Jahresgangs (ausgezogen), der absolut höchsten bzw. niedrigsten Temperaturwerte (gestrichelt) und der mittleren Jahresschwankungen Δ im Gotland- (a) und Landsorttief (b) mit der Tiefe z

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die mittleren Jahresgänge der Temperatur im Oberflächenbereich des Gotland- und Landsorttiefs — wie zu erwarten war — einen ähnlichen Ablauf zeigen. Die zentrale und küstenferne Lage des Gotlandtiefs macht sich jedoch im Mittel durch höhere Temperaturen im Winterhalbjahr in Oberflächennähe und im Herbst in Tiefen zwischen 20 und 50 m bemerkbar. Das zeigt sich auch beim Mittelwert A_0 , der im Gotlandtief bis in 40 m stets höher ist, und bei den Amplituden A_1 bis A_4 , die zwischen 20 und 30 m bzw. 40 m meist höher sind als diejenigen im Landsorttief. Die relative Landnähe des letzteren ist auch die Ursache für die um 0,9 °C größere mittlere Jahresschwankung Δ der Oberflächentemperatur (vgl. Abb. 7). In Tiefen ab 20 m sind wiederum im Gotlandtief größere mittlere Jahresschwankungen

kungen zu beobachten, die zwischen 20 und 60 m sogar um 1,1 °C bis 1,6 °C über den Werten im Landsorttief liegen.

Der jährliche Gang der Temperatur in Oberflächennähe ist das dominierende Element unter den zeitlichen Änderungen in der Ostsee. Mit Hilfe der analysierten Konstanten ist mit Gleichung (1) bzw. (2) eine mathematische Form für den mittleren Jahresgang gegeben. Damit ist es möglich, die den 123 bzw. 76 verwendeten Beobachtungswerten aus dem Zeitraum 1902–1970 zugeordnete mittlere Temperatur für jeden Zeitpunkt des Jahres in 10 m-Tiefenstufen für das Gotland- und Landsorttief zu berechnen.

Literatur

- DIETRICH, G., Der jährliche Gang der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in den britischen Randmeeren und in der Nord- und Ostsee. Wiss. Ber., Dt. Hydrogr. Inst. Hamburg 1948, 80 S.
- DIETRICH, G., Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kieler Meeresforschungen 7 (1950), H. 2, S. 35–69.
- DIETRICH, G., Die Elemente des jährlichen Ganges der Oberflächentemperatur in der Nord- und Ostsee und den angrenzenden Gewässern. Dt. Hydrogr. Z. 6 (1953), S. 49–64.
- GRANQVIST, G., Zur Kenntnis der Temperatur und des Salzgehaltes des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands. Merentutk. Julk. No. 122 (1938), 166 S.
- GRANQVIST, G., Harmonic analysis of temperature and salinity in the sea off Finland and changes in salinity. Merentutk. Julk. No. 152 (1952), 29 S.
- HULTZSCH, E., Ausgleichsrechnung. Leipzig 1966.
- MATTHÄUS, W., Die Anwendung von Ausgleichsverfahren zur Ermittlung von Jahresgängen ozeanographischer Parameter. Mber. Dt. Akad. Wiss. 13 (1971), S. 116–121.
- MATTHÄUS, W., Zur Hydrographie der Gotlandsee I. Säkulare Variationen von Salzgehalt und Temperatur. Beitr. Meereskunde, H. 29 (1972), S. 35–51.

Untersuchungsmaterial

- Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer:
- (a) Bulletin Hydrographique, 1902–1956, Copenhagen.
- (b) ICES Oceanographic Data Lists, 1957–1964, Copenhagen.
- Merentutkimuslaitoksen Julkaisu, No. 27, 32, 39, 46, 78, 124, 127, 128, 193, 197, 204, 214, Helsinki 1924–1964.
- Meddelande från Havsfiskelaboratoriet Lysekil, Hydrografiska avdelningen, No. 38, 52, 63, 70, 82, Göteborg 1967–1970.
- HUPFER, P., Ein ozeanologischer Längsschnitt durch die Ostsee vom 10.–13. Juli 1957. Beitr. Meereskunde, H. 2/3 (1961), S. 60–86.
- International Baltic Year Data: Sweden, GDR 1969, 1970.

Abschluß der Arbeit: 1. 7. 1971

Anschrift des Verfassers:

Dr. W. MATTHÄUS, Institut für Meereskunde der AdW
DDR-253 Warnemünde, Seestr. 15

Zur Hydrographie der Gotlandsee III

Die Variation der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Gotlandtiefs auf 57°20' N, 20° E (F 81 bzw. BY 15 A)

Von WOLFGANG MATTHÄUS

Zusammenfassung: Es wird ein Überblick über die Variationen der Sauerstoffverhältnisse im Gotlandtief seit Beginn unseres Jahrhunderts und im Zeitraum 1952–1971 gegeben. Aus insgesamt 130 ozeanographischen Serien wurden in Tiefen von 100, 150 und 200 m mittlere jährliche Änderungen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt sowohl im Zeitraum 1952–1971 als auch innerhalb der einzelnen Stagnationsperioden berechnet. Beziehungen zwischen Sauerstoffgehalt und den Mikronährstoffen Phosphat und Nitrat in 200 m Tiefe werden mitgeteilt.

Im bisherigen Verlauf dieses Jahrhunderts hat der Gehalt an gelöstem Sauerstoff unterhalb der Sprungschicht im Mittel um jährlich etwa 0,04 [ml/l] abgenommen. Zwischen 1953 und 1971 wurden größere mittlere jährliche Abnahmen von –0,05 [ml/l] in 100 und 150 m bzw. –0,08 [ml/l] in 200 m Tiefe gefunden.

Temperatur und Salzgehalt haben im Mittel der letzten 70 Jahre zugenommen. Dieser Zunahme steht jedoch eine mittlere Abnahme beider Parameter im Tiefenwasser seit 1952 gegenüber. Untersuchungen der Dichtedifferenzen $\Delta\sigma_t$, T , P in 50 m-Schichten zwischen 50 und 200 m lassen auch auf eine Abnahme der Stabilität in diesem Zeitraum schließen, so daß die Änderung der hydrographischen Faktoren kaum als primäre Ursache für das zunehmende Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser angesehen werden kann.

Innerhalb der einzelnen Stagnationsperioden konnten im 150 m- und insbesondere im 200 m-Niveau im Gegensatz zu 100 m Tiefe nur geringfügige mittlere jährliche Änderungen der Temperatur und des Salzgehaltes beobachtet werden (zwischen 0 und –0,2 °C/Jahr bzw. –0,1 und –0,4‰ pro Jahr). Die mittlere jährliche Abnahme des Sauerstoffgehaltes bzw. Zunahme des H_2S -Gehaltes blieb dagegen in allen Tiefen relativ einheitlich hoch und hat im letzten Jahrzehnt teilweise Werte von über –1 [ml/l] pro Jahr erreicht. Es zeichnete sich eine Tendenz zu größeren mittleren jährlichen Abnahmen im Sauerstoffgehalt ab.

Als primäre Ursache für die zunehmende Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser könnte die verstärkte Einleitung industrieller und kommunaler Abwässer in die Ost- und Nordsee in Betracht kommen.

Summary: A review of the variations in oxygen conditions since the beginning of this century and especially from 1952 to 1971 is given. Basing on a total of 130 oceanographic series mean annual changes of temperature, salinity and dissolved oxygen in 100 m, 150 m and 200 m have been calculated both from 1952 to 1971 and within the stagnation periods (see figs. 3 to 5). Moreover relations between oxygen content and phosphate resp. nitrate in 200 m are described (figs. 8 to 10).

Since 1900 dissolved oxygen content in the deep water has decreased in average about –0.04 [ml/l] a year. A bigger mean annual decrease of about –0.05 [ml/l] in 100 and 150 m resp. –0.08 [ml/l] in 200 m has been found from 1953 to 1971.

In this century a mean increase in salinity and temperature can be observed in the Gotland Deep. Salinity and temperature have, however, decreased since 1952 (see figs. 3 to 5).

From density differences $\Delta\sigma_{s,T,P}$ in 50 m layers between 50 and 200 m (fig. 2) we can conclude a mean decrease in stability since 1952, too. Therefore the increasing oxygen deficit in the deep water can hardly be attributed to changes in the hydrographical factors.

Within the stagnation periods only small mean annual variations of temperature and salinity have been stated in 150 and 200 m compared with 100 m (from 0 to -0.2 °C a year and from -0.1 to -0.4 ‰ a year). The mean annual decrease in oxygen content resp. increase in hydrogen sulfide content, however, remained relatively similar in all depths investigated and reached partly more than -1 [ml/l] a year in the last decade (fig. 6). A tendency to greater mean annual decrease in oxygen content can be observed.

The increasing discharge of industrial and domestic sewages into the Baltic and North Sea could be regarded as primary cause for the deterioration of oxygen conditions in the deep water.

Die Ostsee gehört zu den am intensivsten beobachteten Meeresgebieten der Erde. Für eine größere Anzahl ozeanographischer Parameter gibt es relativ lange Beobachtungsreihen. Das gilt insbesondere für den Küstenbereich, aber auch aus dem offenen Seegebiet liegen bereits aus dem vorigen Jahrhundert Daten vor. Mit Ausnahme der Kriegsjahre wurden seit 1902 reguläre hydrographische Untersuchungen auf speziellen Stationen in den Hauptbecken der Ostsee durchgeführt, die einen Einblick in die seit Beginn unseres Jahrhunderts eingetretenen Veränderungen gestatten. Einer der beobachteten Parameter ist der Gehalt des Ostseewassers an gelöstem Sauerstoff, für den auch ab 1902 reguläre Messungen verfügbar sind.

Die Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee hat in jüngster Zeit zu alarmierenden Prognosen hinsichtlich des marinen Lebensraums geführt. Die Variationen des im Ostseewasser gelösten Sauerstoffs sowie deren Verknüpfung mit Veränderungen anderer hydrophysikalischer und hydrochemischer Parameter werden daher von den Ozeanographen mit besonderer Aufmerksamkeit beobachtet.

1. Das Regime des Sauerstoffs im Tiefenwasser der Ostsee

Die Ostsee wird allgemein als stagnierendes Becken betrachtet. Neben dem größten stagnierenden Seegebiet der Erde, dem Schwarzen Meer, sind nur einige Fjorde Norwegens, Grönlands und Kanadas als natürliche stagnierende Becken bekannt. Unter stagnierenden Becken sind nach FONSELIUS (1970b) weitgehend gegen den offenen Ozean abgeschlossene Seegebiete mit einem begrenzten Sauerstoffvorrat im Tiefenwasser zu verstehen. Die Festlandsabflüsse führen zur gelegentlichen oder ständigen Ausbildung einer spezifisch leichteren Oberflächenschicht, die den Sauerstoffaustausch zwischen Tiefenwasser und Atmosphäre stark einschränkt. Unter Tiefenwasser sollen im folgenden stets die Wassermassen unterhalb der Salzgehaltssprungschicht verstanden werden.

Die Ostsee ist ganzjährig halin geschichtet und besteht im allgemeinen aus der spezifisch leichteren Oberflächenschicht mit geringem Salzgehalt und der Tiefenschicht mit größerem Salzgehalt, die durch eine Sprungschicht unterschiedlicher Intensität getrennt sind. Diese Sprungschicht unterbindet weit-

gehend den Austausch zwischen dem gut durchlüfteten Oberflächenwasser und dem Tiefenwasser. Der Verbrauch von Sauerstoff im Tiefenwasser durch Oxydationsprozesse führt zu einem ständigen Sauerstoffdefizit. Lediglich der sporadische Einstrom von salzreichem Wasser aus dem Kattegat durch Belte und Sund kann zu einer wirksamen Erneuerung des Tiefenwassers und damit zur Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse der Ostsee führen. Damit beginnt aber bereits ein Kreislauf, der zusammen mit der Einwirkung industrieller und kommunaler Abwässer im Mittel zu einer langsamen Vergrößerung des Sauerstoffdefizits führen dürfte.

FONSELIUS (1969, 1970b) hat sich mit diesen Problemen eingehend beschäftigt und diesen Zyklus verfolgt. Jeder Einstrom von Kattegatwasser ist mit einer zeitweiligen Erhöhung des Salzgehaltes im Tiefenwasser verbunden, wodurch gleichzeitig die Stabilität zumindest der tieferen Schichten zunimmt. Eine permanente Zunahme der Stabilität ist darüber hinaus aus dem im Mittel dieses Jahrhunderts in der gesamten Ostsee zu beobachtenden Ansteigen des Salzgehaltes, insbesondere unterhalb der Sprungschicht, zu erwarten. Die Überlagerung beider Effekte führt zu einer kontinuierlichen Abnahme des Wasseraustausches durch die Salzgehaltssprungschicht. Hinzu kommt eine über den Gesamtzeitraum von 70 Jahren zu beobachtende mittlere Temperaturzunahme auch im Tiefenwasser, die zu einer höheren Oxydationsrate der organischen Substanz und nach Untersuchungen von KULLENBERG (1970) zu einem schnelleren Sauerstoffverbrauch geführt hat. Da jedoch im Zeitraum 1952–1970 beispielsweise im Tiefenwasser des Gotlandtiefs Salzgehalt (der mittlere Salzgehaltsrückgang in 200 m erreichte das Vierfache des Oberflächenwertes) und Temperatur im Mittel abgenommen, die Sauerstoffverhältnisse sich aber weiter verschlechtert haben (MATHÄUS, 1972a, 1972b), können die erwähnten Erscheinungen kaum als primäre Ursache für das Sauerstoffdefizit angesehen werden.

Wichtiger als die natürlichen Faktoren erscheint daher die Tatsache, daß in den letzten 15 Jahren die Konzentration von gelösten Nährstoffen im Tiefenwasser, insbesondere die Phosphatkonzentration auf das Dreifache, angestiegen ist (FONSELIUS, 1969). Die Ursache ist sowohl in der Lösung von Phosphat aus den Sedimenten als auch in der Mineralisierung von organisch gebundenem Phosphor aus dem erhöhten Angebot toter Organismen zu sehen, die aus der Oberflächenschicht in die Tiefe absinken. Die größere pflanzliche und tierische Produktion in Oberflächennähe, auf die das verstärkte Angebot organischer Substanz in der Tiefe zurückzuführen ist, wird besonders durch nährstoffreiche Abwässer, aber auch durch Auftrieb phosphatreichen Tiefenwassers oder durch Turbulenzvorgänge zu erklären sein. Auf jeden Fall verursacht der erhöhte Anfall toter organischer Substanz ein Anwachsen des Sauerstoffdefizits in der Tiefe. Schließlich gelangen — bedingt durch die zunehmende Verschmutzung des Kattegats und der Nordsee — mit dem Einstrom des salzreichen Tiefenwassers zumindest zeitweise größere Mengen organischer Substanz in die Ostsee, die auf dem Wege von den Ostseezugängen zu den zentralen Becken abgebaut

wird und dabei bereits einen Teil des Sauerstoffs selbst verbraucht (NEHRING, 1971).

Nach Untersuchungen von FONSELIUS (1969, 1970a) scheinen die Sauerstoffverhältnisse gegenwärtig schlechter als jemals zuvor zu sein. Die Stagnationsperioden folgen offenbar immer schneller aufeinander und haben im Mittel zu einem Anstieg des H_2S -Gehaltes im Tiefenwasser geführt. Seit 1960/61 sind die Werte der mittleren jährlichen Abnahme des Sauerstoffgehalts im Gotlandtief während der Stagnationsperioden in 150 und 200 m Tiefe beträchtlich angestiegen und erreichen gegenwärtig 0,8 bis 0,9 [ml/l] im Jahr (MATTHÄUS, 1972b). Sollte dieser Trend noch einige Jahre weiter bestehenbleiben, dann kann der Sauerstoff völlig aus dem Tiefenwasser der östlichen Gotlandsee verschwunden sein. Selbst im Landsorttief mit wahrscheinlich relativ beständigen Bodenströmungen wurde im Jahre 1968 erstmals H_2S beobachtet und vom Boden bis in 300 m und 1969 sogar bis in 100 m Tiefe (NEHRING und FRANCKE, 1971) registriert.

2. Das Beobachtungsmaterial

Der Sauerstoffgehalt wird allgemein in Milliliter O_2 bei NTP¹⁾ pro Liter Meerwasser bei 20 °C angegeben und noch heute nach der von WINKLER (1888) beschriebenen und später von verschiedenen Autoren (KALLE, 1939; JACOBSEN, ROBINSON und THOMPSON, 1950; GRASSHOFF, 1962) modifizierte Methode bestimmt. Die in den letzten Jahren durchgeführten Vergleiche der von meereskundlichen Forschungsinstituten im Ostseeraum angewendeten chemischen Methoden und Verfahren zeigten für die Sauerstoffbestimmung eine gute Übereinstimmung, so daß die Analysenergebnisse der verschiedenen Labors als vergleichbar angesehen werden können (NEHRING, 1966; GRASSHOFF, 1966). Beide Tatsachen begünstigen eine Bearbeitung der seit Anfang dieses Jahrhunderts beobachteten Daten des Sauerstoffgehalts. Nach Untersuchungen von GRASSHOFF (1962) dürften die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen im allgemeinen auch eher niedriger als zu hoch liegen, so daß die aus der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts verfügbaren Werte nicht die qualitativ bekannte abnehmende Tendenz zusätzlich unterstützen. Von routiniertem Personal wird nach der WINKLER-Methode eine Standardabweichung von nur $\pm 0,04$ [ml/l] erreicht.

Zur Untersuchung wurden alle für die Station F 81 bzw. BY 15 A, der tiefsten Stelle der östlichen Gotlandsee auf etwa 57°20' N und 20 °E, greifbaren Werte herangezogen, die den im Literaturverzeichnis aufgeführten Publikationen entnommen worden sind. Um zu quantitativen Aussagen über einzelne Erscheinungen des Sauerstoffregimes im Gotlandtief zu kommen, wurden Ausgleichsverfahren zur Anwendung gebracht. Die Meßwerte einzelner Horizonte im Tiefenwasser wurden einer linearen Ausgleichung unterzogen, um mittlere

¹⁾ NTP = physikalischer Normzustand: Temperatur $T = 0$ °C, Druck $P = 1$ atm = 760 Torr.

Variationen in bestimmten Zeiträumen ermitteln zu können. Diese Methode wurde bereits früher vom Verfasser zur Untersuchung säkularer Variationen von Salzgehalt und Temperatur im Gotland- und Landsorttief angewendet (MATTHÄUS, 1972a). Mit Hilfe des F-Testes für Korrelationskoeffizienten (TAUBENHEIM, 1969; KOLLER, 1969) konnte der größte Teil der Ausgleichungen zu 99 bzw. 95% statistisch gesichert werden.

Dem verwendeten Beobachtungsmaterial sind im allgemeinen kurzfristige und kleinräumige Variationen überlagert, die nicht eliminiert werden können und somit von vornherein Streuungen in den Werten mit sich bringen. Diese Variabilitäten, in den oberflächennahen Schichten auf interne Schwingungen zurückgeführt (HOLLAN, 1969), werden im Tiefenwasser in erster Linie der unterschiedlichen biologischen Aktivität zugeschrieben.

GIESKES und GRASSHOFF (1969) fanden bei Untersuchungen über die Veränderlichkeit hydrochemischer Parameter im Gotlandtief sowohl im September 1967 als auch im Mai 1968 maximale zeitliche Änderungen im Sauerstoffgehalt von über 2 [ml/l] in drei Stunden in der Tiefe der Sprungschicht (75 m). In 100 bzw. 125 m wurden noch dreistündige Änderungen von etwa 1 [ml/l] (1967) bzw. 0,3 [ml/l] (1968) beobachtet, während die Variabilität in größeren Tiefen geringer wurde. Die Variationen im H_2S -Gehalt lagen bei 0,2 bzw. 0,1 [ml/l] in 175 bzw. 200 m innerhalb von drei Stunden. Insgesamt erreichten die von GIESKES und GRASSHOFF gefundenen Variabilitäten jedoch nicht das Ausmaß der während der Wasserumschichtung im Oktober 1969 beobachteten Werte (NEHRING, FRANCKE und BROSIN, 1971). Die größten Veränderlichkeiten traten dabei in der bodennahen Wasserschicht auf. Dreistündige Variabilitäten bis zu 2,25 ml O_2 /l wurden gemessen.

Wie die Untersuchungen zeigen, ist mit derartig großen Variabilitäten in 150 bis 250 m offenbar jedoch nur während großräumiger Wasserumschichtungen zu rechnen. Im allgemeinen liegen die Werte niedriger. Von NEHRING und Mitarbeitern (1971) wurden bei Dauerstationsmessungen im März 1969 dreistündige Variabilitäten zumeist $< 0,2$ ml H_2S /l und im Dezember 1969 maximale Veränderlichkeiten von rund 0,2 ml O_2 /l in Bodennähe gefunden.

Obwohl H_2S im Tiefenwasser bereits früher beobachtet wurde (GRANQVIST, 1932; FONSELIUS, 1962), sind erst ab Ende 1960 quantitative Bestimmungen in der Ostsee vorgenommen worden. Für eine mathematische Betrachtung ist es notwendig, den Schwefelwasserstoffgehalt des Meerwassers in einen dem Sauerstoff chemisch äquivalenten Wert umzurechnen. Unter Vereinfachung der von CLINE und RICHARDS (1969) angegebenen Reaktionskinetik zwischen Sulfiden und Sauerstoff im Meerwasser wurden die H_2S -Werte [μg -at/l] bzw. [mg/l] nach einem Vorschlag von FONSELIUS (1969) in sogenannten „negativen Sauerstoff“ [ml/l] umgerechnet. Da es sich lediglich um ein Oxydationsäquivalent handelt und andere chemische Reaktionen ebenfalls unter Sauerstoffverbrauch ablaufen, darf die Berechnung von negativem Sauerstoff nur als Näherung zur quantitativen Darstellung der realen Verhältnisse angesehen werden. So werden beispielsweise beim Übergang vom reduzierenden zum oxydierenden Milieu

nicht nur Schwefelwasserstoff sondern auch Ammoniumstickstoff und organische Kohlenstoffverbindungen oxydiert.

Die im Beobachtungsmaterial gelegentlich angegebenen geringen Sauerstoffmengen bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff wurden unberücksichtigt gelassen, da im allgemeinen beim Auftreten von H_2S in situ kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist.

Im 200 m-Horizont wurden die Angaben zwischen Anfang 1958 und Mitte 1960 (0 ml O_2/l) in der Ausgleichung nicht berücksichtigt. Es ist bekannt, daß bereits 1957/58 im Bodenwasser des Gotlandtiefs H_2S festgestellt wurde (PASTUCHOWA, 1961; FONSELIUS, 1962), quantitative Messungen jedoch erst Ende 1960 erfolgten. Aus der Verteilung der Meßpunkte ist zu schließen, daß der H_2S -Gehalt von 1957 bis zur Umschichtung 1961 allmählich zugenommen hat, so daß diese Auswahl den realen Bedingungen besser gerecht werden dürfte. Aus der im August 1964 durchgeführten Synoptischen Erforschung der Ostsee wurden im Bereich des Gotlandtiefs nur vier Serien ausgewählt. Die in einigen Fällen fehlenden Meßwerte in den ausgewählten Tiefenhorizonten konnten durch graphische Interpolation ergänzt werden.

3. Langzeitvariationen des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser

Im bisherigen Verlauf dieses Jahrhunderts hat der Gehalt an gelöstem Sauerstoff im Gotlandtief in 100, 150 und 200 m im Mittel abgenommen. Unter Verwendung von Ausgleichsgeraden findet man für den Zeitraum 1900–1970 in allen drei Tiefenhorizonten Änderungen um -3 [ml/l] und eine mittlere jährliche Abnahme von etwa $-0,04$ [ml/l] (MATTHÄUS, 1972b). Aus mittleren Werten der Temperatur- und Salzgehaltsänderungen im gleichen Zeitraum — die Temperatur hat im Mittel in 100 m um $0,7$ °C und in 200 m um $1,4$ °C, der Salzgehalt in diesen Tiefen um etwa $1,2$ ‰ zugenommen (MATTHÄUS, 1972a) — kann man mit Hilfe des Nomogramms von GREEN und CARRITT (1967) eine mittlere Abnahme der theoretisch möglichen Sättigungswerte des Sauerstoffs unter Normaldruck von nur etwa $-0,2$ bzw. $-0,4$ [ml/l] in 100 bzw. 200 m finden. Die Streuung der Meßwerte des Sauerstoffs ist im Gegensatz zu derjenigen der Temperatur- und Salzgehaltswerte in 100 m geringer als in 200 m Tiefe, wo Standardabweichungen von $\pm 0,95$ [ml/l] gefunden wurden.

Seit 1953 ist eine schnellere mittlere Abnahme des Sauerstoffgehalts gegenüber dem Gesamtzeitraum in allen untersuchten Tiefen zu beobachten. Sie erreichte mit $-1,5$ [ml/l] in 200 m maximale Werte und war um $0,7$ [ml/l] größer als im 100 m-Niveau. Mittlere jährliche Änderungen von etwa $-0,05$ [ml/l] in 100 und 150 m bzw. $-0,08$ [ml/l] in 200 m Tiefe wurden berechnet.

In Abb. 1 ist ein Überblick über die Variationen von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Phosphat und Nitrat in 200 m Tiefe zwischen 1952 und 1971 im Gotlandtief gegeben. Die durch Kreise gekennzeichneten Sauerstoffwerte entsprechen nicht den realen Verhältnissen, wie unter Punkt 2 bereits auseinandergesetzt wurde.

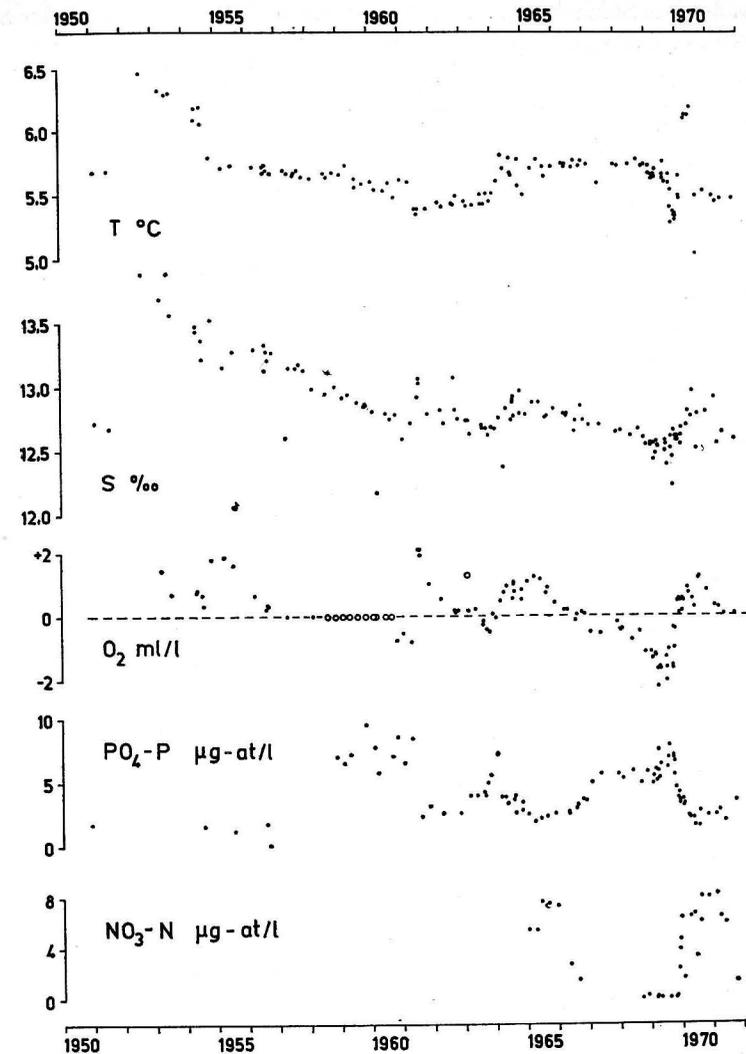


Abb. 1. Variationen von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt, anorganisch gebundenem Phosphor und Nitratstickstoff in 200 m Tiefe im Gotlandtief

In 100 bis 200 m variieren die Temperaturen zwischen 4 und $6,5$ °C und die Salzgehalte zwischen 10 und 14 ‰. Daraus folgt eine Änderung der Dichte in situ — berechnet nach einer empirischen Formel von WILSON und BRADLEY (1968) — von etwa $-8 \cdot 10^{-4}$ [g cm^{-3}] bei Abnahme des Salzgehaltes um 1 ‰ und von etwa $+7 \cdot 10^{-5}$ [g cm^{-3}] bei Abnahme der Temperatur um 1 °C. Eine Temperaturabnahme beeinflusst die Dichte zwar in entgegengesetzter Weise wie eine Verringerung des Salzgehaltes, ihr Einfluß ist aber um eine Größenordnung

kleiner als der des Salzgehaltes. Bei Betrachtungen der Stabilität E der Schichtung, die in der Ozeanographie in erster Näherung durch

$$E \approx \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz}$$

(z = Tiefe) definiert ist, spielt somit der Salzgehalt die dominierende Rolle.

Im Mittel dieses Jahrhunderts ist eine Zunahme des Salzgehaltes in allen Tiefen und eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser des Gotlandtiefs zu beobachten. Seit 1952 nimmt der Salzgehalt im Mittel jedoch ab und hat beispielsweise in 200 m wieder Werte erreicht, die vor dem großen Salzeinbruch Ende 1951 in die Ostsee (WYRTKI, 1954) gemessen wurden. Die Sauerstoffverhältnisse haben sich aber weiter verschlechtert.

Die Salzgehaltsabnahme seit 1952 führte zu einer Verringerung der Dichte im Tiefenwasser. Eine Untersuchung der Dichtedifferenzen $\Delta\sigma_{S,T,P}$ in 50 m-Schichten zwischen 50 und 200 m (Abb. 2) zeigt, daß seit 1952 auch die Differenzen in allen betrachteten Schichten im Mittel kleiner (100/150 m um etwa $1,9 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³] jährlich; 150/200 m um etwa $1,3 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³] jährlich)

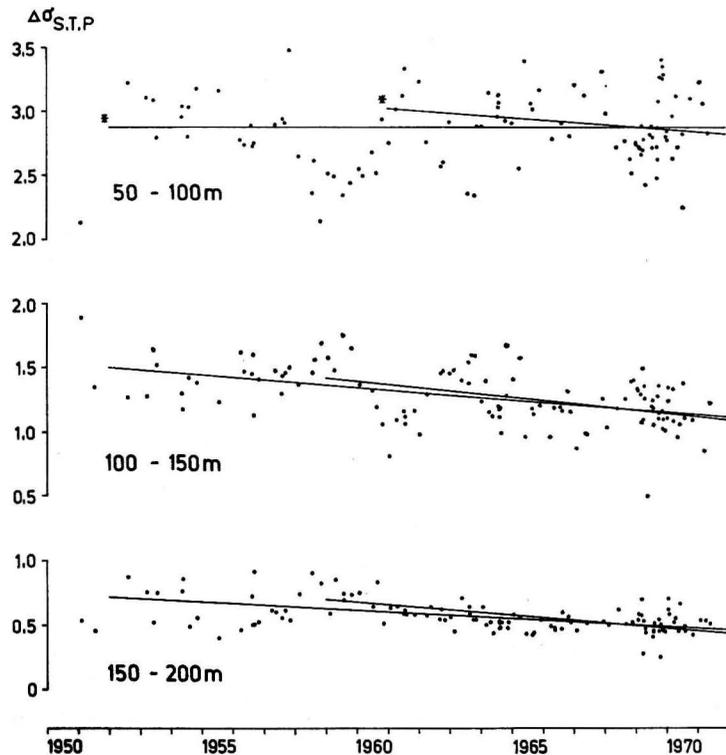


Abb. 2. Differenzen der Dichte in situ in 50 m-Schichten im Gotlandtief (* nach dem F -Test statistisch nicht gesicherte Geraden)

oder zumindest nicht größer geworden sind (50/100 m: mittlere jährliche Abnahme etwa $0,07 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³]). Dieser Trend zeichnet sich in verstärktem Maße seit der 2. Hälfte der fünfziger Jahre (100/150 m: mittlere jährliche Abnahme der Dichtedifferenzen um etwa $2,4 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³]; 150/200 m: $1,9 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³]) bzw. seit Anfang der sechziger Jahre (50/100 m: $1,9 \cdot 10^{-5}$ [g cm⁻³]) ab und bedeutet eine Abnahme der Stabilität der Schichtung.

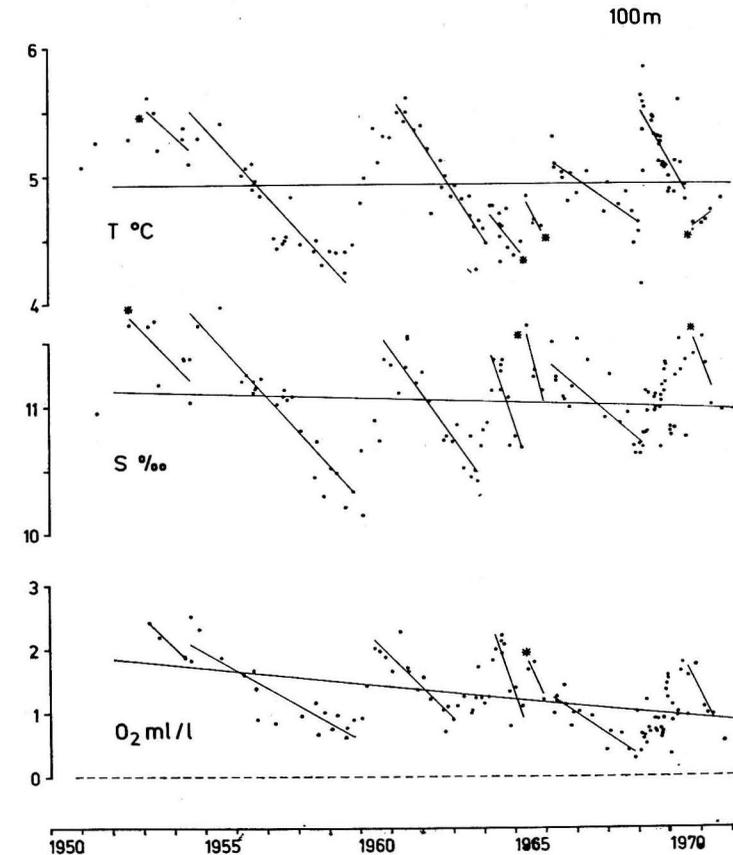


Abb. 3. Variationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt in den einzelnen Stagnationsperioden im 100 m-Horizont des Gotlandtiefs (* nach dem F -Test statistisch nicht gesicherte Geraden)

Ähnliche Aussagen lassen Untersuchungen von VOIPIO und MÄLKKI (1971) zu. Danach scheint im Mittel seit Mitte der fünfziger Jahre die Stabilität der Schichtung im Gotlandtief offensichtlich sowohl im Bereich der Salzgehaltssprungschicht [vgl. hierzu auch über Änderungen der Stabilität in der Schicht von 50 bis 100 m bei FONSELIUS (1969)] als auch in der Wassermasse zwischen Sprungschicht und Meeresgrund abgenommen zu haben. Der von FONSELIUS

(1969, 1970b) vermutete Zusammenhang zwischen der durch stärkere Zunahme des Salzgehaltes im Tiefenwasser verursachten größeren Stabilität der Schichtung und der Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse kommt somit kaum als primäre Ursache für das zunehmende Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser in Frage.

Um diese Problematik auch innerhalb einzelner Stagnationsperioden zu beleuchten, ist in den Abb. 3, 4 und 5 eine detaillierte Studie der Temperatur-, Salzgehalts- und Sauerstoffverhältnisse in drei Niveaus im Tiefenwasser des Gotlandtiefs im Zeitraum 1952 bis 1971 gegeben. Die eingetragenen Zahlen entsprechen den von FONSELIUS (1970b) bzw. FONSELIUS und RATTANASEN (1970) aus speziellen Untersuchungen über die Wassererneuerungen im Gotland-

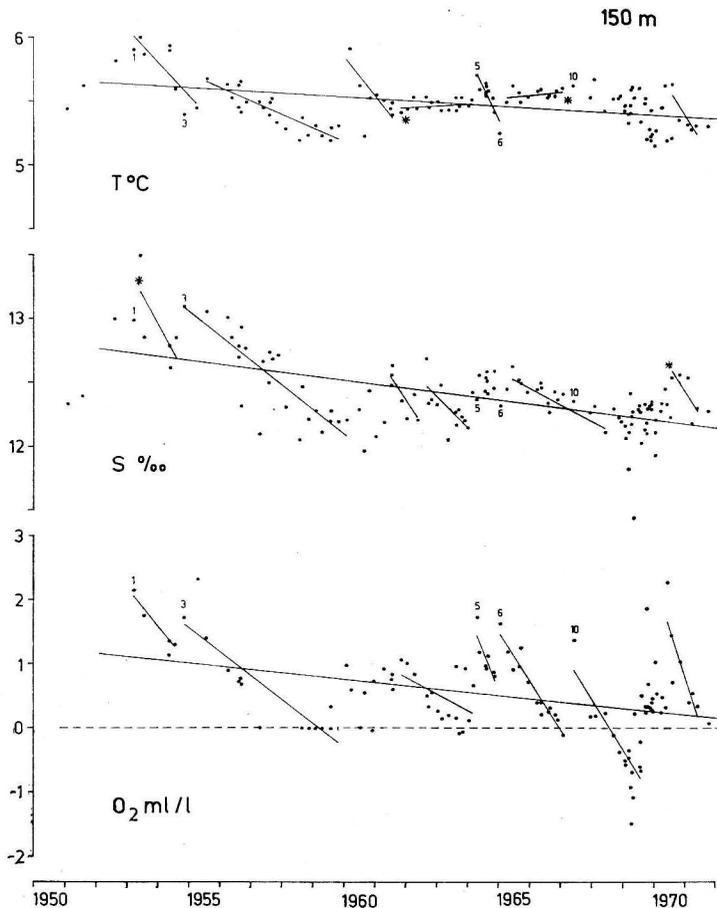


Abb. 4. Variationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt in den einzelnen Stagnationsperioden im 150 m-Horizont des Gotlandtiefs (* nach dem *F*-Test statistisch nicht gesicherte Geraden)

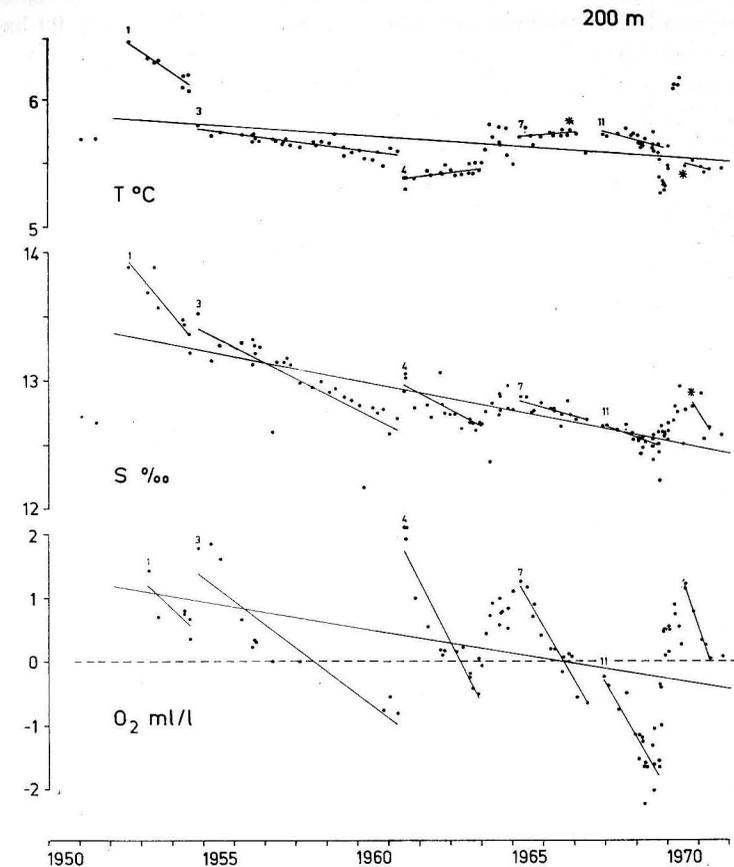


Abb. 5. Variationen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt in den einzelnen Stagnationsperioden im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs (* nach dem *F*-Test statistisch nicht gesicherte Geraden)

tief markierten Einströmen salz- und sauerstoffreicherem Wassers in Bodennähe (≥ 200 m). Dabei sind die kleineren Wasserumschichtungen den größeren Einströmen untergeordnet worden. Den Wassererneuerungen folgen Stagnationsperioden, in denen in relativ kurzer Zeit eine teilweise beträchtliche Abnahme des Sauerstoffgehalts zu beobachten ist. Die Meßwerte der sich aus der Sauerstoffverteilung ergebenden einzelnen Stagnationsperioden werden linearen Ausgleichungen unterzogen, um Angaben über mittlere jährliche Änderungen zu erlangen.

Bei der Temperatur- und Salzgehaltsverteilung wird in ähnlicher Weise verfahren. Allerdings sind Erneuerungen des Tiefenwassers an Temperatur- und Salzgehaltsänderungen nicht immer so eindeutig zu erkennen, wie an der Zunahme des Sauerstoffgehalts, so daß die Zeiträume, über die linear ausgeglichen wurde, nicht immer übereinstimmen (vgl. auch Abb. 6).

Dreiviertel aller Ausgleichungen sind im Sinne des *F*-Testes zu 99 bzw. 95% statistisch gesichert. Bei zu geringer Anzahl oder zu großen Streuungen der Meßwerte konnte keine statistische Sicherung erfolgen. Diese Geraden sind in den Abb. 2 bis 5 mit einem Stern (*) versehen.

Es fällt auf, daß die Variationen bei Temperatur und Salzgehalt in 100 m größer sind als in 200 m Tiefe. So werden Standardabweichungen der Meßwerte von den Ausgleichsgeraden 1952–1971 von $s = \pm 0,38$ °C bzw. $s = \pm 0,34$ ‰ in 100 m gegenüber $s = \pm 0,21$ °C bzw. $s = \pm 0,19$ ‰ in 200 m gefunden. Beim Sauerstoff sind die Verhältnisse umgekehrt. In 100 m ergeben sich für den Zeitraum 1953–1971 Standardabweichungen von $s = \pm 0,45$ [ml/l] gegen-

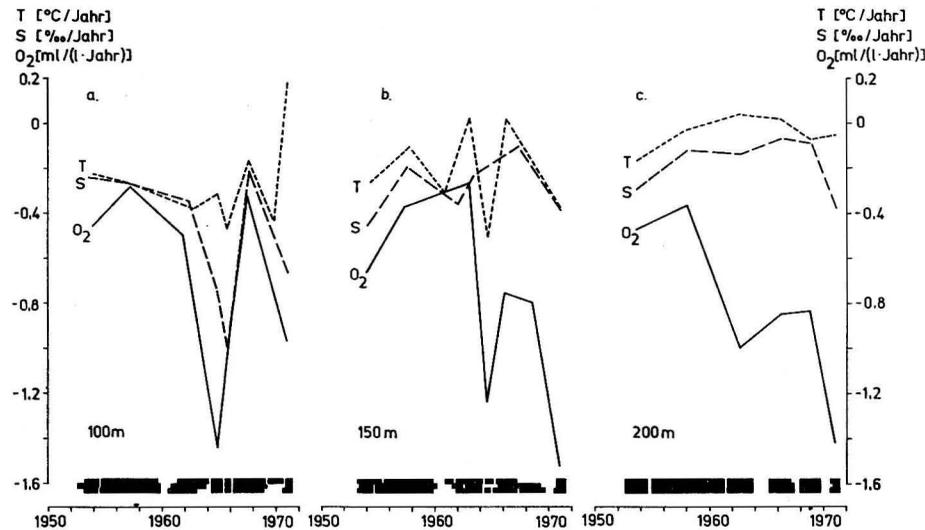


Abb. 6. Mittlere jährliche Änderungen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt in den einzelnen Stagnationsperioden im Gotlandtief

über $s = \pm 0,85$ [ml/l] in 200 m Tiefe. Diese Tatsache wird einerseits durch die im allgemeinen größere relative Erhöhung des Sauerstoffgehalts in den tieferen Horizonten beim Eindringen salzreichen Wassers hervorgerufen und dürfte andererseits für einen schnelleren Verbrauch von gelöstem Sauerstoff in der Tiefe sprechen.

Vergleicht man die einzelnen Stagnationsperioden (Abb. 3–5) in ihrem Temperatur- und Salzgehaltsverhalten (nach Definition nimmt der Sauerstoffgehalt während der Stagnationsperioden im Tiefenwasser ständig ab), so kann man feststellen, daß in allen drei untersuchten Horizonten der Salzgehalt stets und die Temperatur in den meisten Fällen ebenfalls abgenommen haben. Im Zeitraum 1952–1971 ist darüber hinaus im Mittel eine Verringerung von Temperatur und Salzgehalt eingetreten, die offenbar auch eine Abnahme der

Stabilität der Schichtung (vgl. Abb. 2) zur Folge hatte. Im Mittel ist jedoch eine Vergrößerung des Sauerstoffdefizits im Tiefenwasser zu verzeichnen.

Diese Beobachtung wird gestützt durch die in Abb. 6 aufgetragenen mittleren jährlichen Änderungen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt in den einzelnen Stagnationsperioden im Zeitraum 1952–1971. Im unteren Teil der Abb. 6 sind die zur Berechnung herangezogenen Zeiträume für die einzelnen Perioden bei Temperatur (obere), Salzgehalt (mittlere) und Sauerstoffgehalt (untere Markierung) wiedergegeben. In 100 m Tiefe treten noch relativ gleichsinnige, jedoch beträchtliche Variationen der mittleren jährlichen Werte aller drei Parameter auf (im Jahr +0,2 bis -0,5 °C, -0,2 bis -1,0‰ bzw. -0,3 bis -1,4 ml/l), deren Größe durch vertikale Änderungen der thermohalinen und Sauerstoffsprungschicht zu erklären ist. Im 150 m- und insbesondere im 200 m-Niveau schwanken dagegen die mittleren jährlichen Änderungen der Temperatur und des Salzgehaltes nur geringfügig zwischen 0 und -0,2 °C/Jahr bzw. -0,1 und -0,4‰/Jahr, während die mittlere jährliche Abnahme des Sauerstoffgehalts in den einzelnen Stagnationsperioden immer noch Werte teilweise beträchtlich über -1 [ml/l] erreicht. Darüber hinaus zeichnet sich bei den Änderungen des Sauerstoffgehaltes eine Tendenz zu einer größeren mittleren jährlichen Abnahme im Verlaufe der letzten beiden Dezennien ab.

In den Abb. 7a–c sind Temperatur (a) und Sauerstoffgehalt (b) über dem Salzgehalt bzw. Sauerstoffgehalt über der Temperatur (c) im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1951–1971 aufgetragen. Die in dieser Zeit aufgetretenen säkularen Änderungen wurden nicht eliminiert. Da eine effektive Erneuerung des Tiefenwassers offenbar nur durch den Einstrom salzreicher Wassermassen durch Belte und Sund erfolgen kann, können die Diagramme allgemeine Aussagen über Zusammenhänge dieser Parameter liefern.

In den Darstellungen fallen zunächst drei Zeiträume besonders ins Auge. Nach dem großen Salzeinbruch im November/Dezember 1951 (WYRTKI, 1954), der Mitte 1952 das Gotlandtief erreichte, wurden bis etwa Mitte 1954 im Tiefenwasser besonders hohe Temperaturen und Salzgehalte gemessen. Durch die hohen Werte tritt dieser Zeitraum trotz mittlerer Werte im Sauerstoffgehalt - O₂ wurde allerdings erst ab 1953 gemessen - auch im O₂-S- und O₂-T-Diagramm heraus. Da der Einstrom salz- und sauerstoffreicheren Wassers in das Gotlandtief im Jahre 1954 nicht zu einer Temperaturerhöhung im Tiefenwasser führte, liegt diese Wassermasse nur im T-S- und O₂-S-Diagramm teilweise außerhalb der Anordnung der übrigen Meßwerte. Temperaturen, die denen nach dem Einstrom 1952 vergleichbar sind, wurden im Tiefenwasser nur noch im ersten Halbjahr 1970 beobachtet. Da diese Wassermasse keine besonders hohen Salzgehalts- und Sauerstoffwerte erreichte, tritt sie nur im T-S- und O₂-T-Diagramm hervor.

Läßt man diese Extremsituationen zunächst außer acht, dann kann man aus dem T-S-Diagramm (Abb. 7a) in Verbindung mit Abb. 5 ablesen, daß ein Einstrom in 200 m Tiefe im allgemeinen mit einer Erhöhung des Salzgehaltes, in seltenen Fällen der Temperatur (z. B. 1970) oder beider Parameter (z. B.

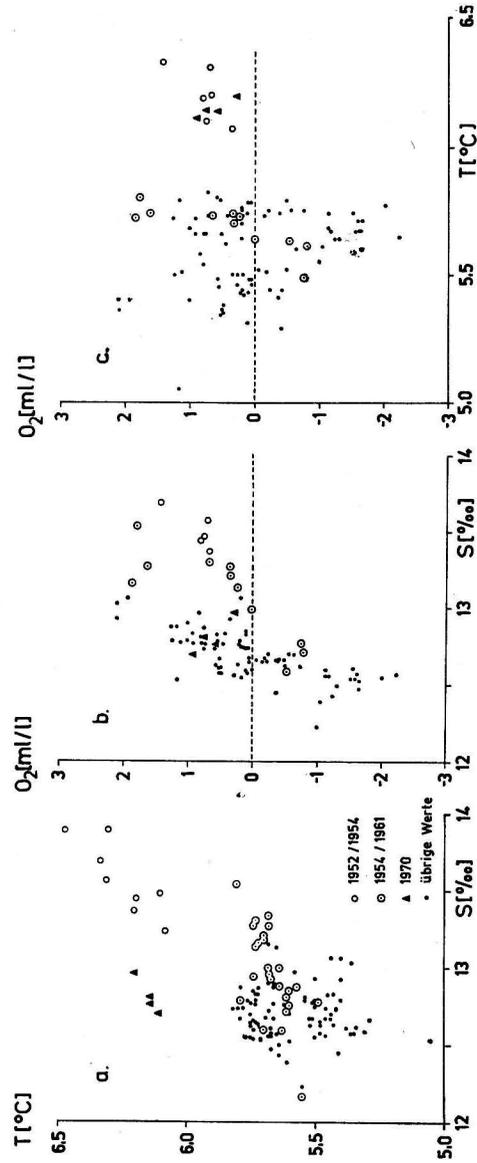


Abb. 7. Diagramme der Temperatur (a.) und des Sauerstoffgehaltes (b.) über dem Salzgehalt bzw. des Sauerstoffgehaltes über der Temperatur (c.) im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1951—1971

1952) verbunden ist. In den Jahren nach 1954 ist mit Ausnahme von März bis Juni 1970 nur Wasser mit Temperaturen von $5,3 < T < 5,8$ °C und Salzgehalten von $12,3 < S < 13,3$ ‰ in 200 m gefunden worden.

Zwischen Sauerstoffgehalt und Salzgehalt (Abb. 7b) ist dagegen ein Zusammenhang festzustellen. Jeder Einstrom salzreichen Wassers führt erwartungsgemäß auch zur Erhöhung des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser. Obwohl die Abnahme des Salz- und Sauerstoffgehaltes nicht ursächlich miteinander verknüpft ist, laufen beide Prozesse (beim Salzgehalt durch Vermischungsvorgänge verursacht, beim Sauerstoff durch Zehrung hervorgerufen) im Verlaufe einer Stagnationsperiode in gleicher Richtung ab. Dabei nehmen die Jahre 1953 bis 1958 eine Sonderstellung ein, weil das eingeflossene Wasser zu den höchsten bisher beobachteten Salzgehalten im Tiefenwasser führte.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Sauerstoffgehalt und Temperatur, wie er von KULLENBERG (1970) für das Tiefenwasser im Landsorttief angegeben wird, kann aus der Darstellung in Abb. 7c nicht entnommen werden. Abnahme des Sauerstoff- bzw. Zunahme des Schwefelwasserstoffgehaltes (+2 bis -2 ml O₂/l $\hat{=}$ 44,8 $\mu\text{g-at/l}$ H₂S-S) scheinen sowohl mit geringem Abfallen (z. B. 1954/61, 1967/69) als auch Ansteigen der Temperatur im Tiefenwasser (z. B. 1961/63, 1965/67) einherzugehen. Aus Abb. 7c kann jedoch abgelesen werden, daß im betrachteten Zeitraum H₂S-Gehalte von mehr als -1 ml O₂/l ($\hat{=}$ 22,4 $\mu\text{g-at/l}$ H₂S-S) an Temperaturen von 5,6 bis 5,8 °C gebunden waren, während geringere H₂S-Werte (zwischen 0 und -1 ml O₂/l) mit Temperaturen zwischen 5,3 und 5,8 °C auftraten.

Betrachtet man die zeitliche Variation des Phosphats in 200 m, so ist ihr Verlauf eng mit den Änderungen der Sauerstoffverhältnisse korreliert. Bereits Abb. 1 zeigt deutlich, daß die Konzentration des anorganisch gebundenen Phosphors bei extremen Sauerstoff- bzw. Schwefelwasserstoffgehalten auch extreme Werte erreicht.

Die Darstellungen des Phosphat- und des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit von der Zeit verlaufen in den vergangenen 10 Jahren nahezu spiegelbildlich. Ähnliche Beziehungen zwischen beiden Parametern hat KALLE (1943) für den Zeitraum 1926—1939 in 200 m im Gotlandtief beschrieben. Eine der Hauptursachen für die Akkumulation von gelöstem Phosphat im Tiefenwasser scheint daher — wie bereits von FONSELIUS (1967, 1969) hervorgehoben — seine Freisetzung aus den Sedimenten während der Schwefelwasserstoffperioden zu sein.

In Abb. 8 ist der Sauerstoffgehalt im 200 m-Niveau des Gotlandtiefs über dem Phosphatgehalt aufgetragen. Mit einem Koeffizienten von $r = 0,81$ ergibt sich eine relativ straffe Korrelation zwischen Sauerstoff und Phosphat, die sich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\text{O}_2 \text{ [ml/l]} = 2,38 - 0,60 \text{ PO}_4\text{-P} \text{ [\mu\text{g-at/l}]} .$$

Jede Erneuerung des Tiefenwassers durch Einstrom von salzreicherem Kattegatwasser ist mit einer Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse und einem Rückgang der Phosphatkonzentration verbunden. Abb. 8 zeigt, daß

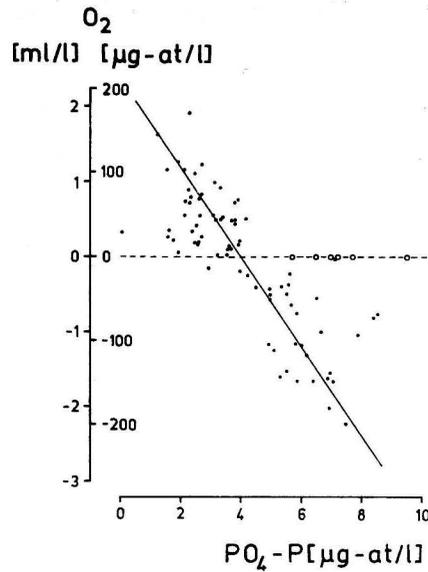


Abb. 8. Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von dem Gehalt an anorganisch gebundenem Phosphor im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1951–1971

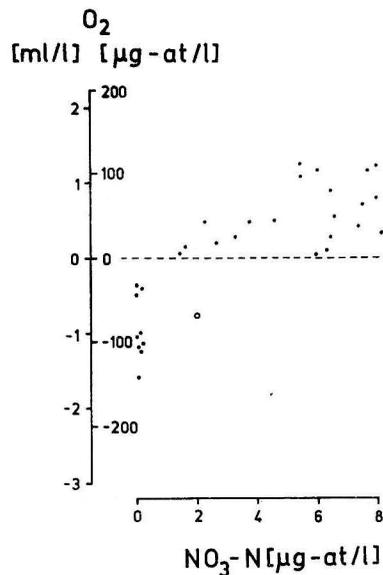


Abb. 9. Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit vom Gehalt an Nitratstickstoff im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1965–1971

unter oxydierenden Bedingungen in 200 m Tiefe Konzentrationen an anorganisch gebundenem Phosphor von höchstens 4 $\mu g-at/l$ und unter reduzierenden Bedingungen im allgemeinen von wenigstens 4 $\mu g-at/l$ beobachtet wurden.

Komplizierter sind die Beziehungen zwischen Sauerstoff- bzw. Schwefelwasserstoffgehalt und Nitratstickstoff. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot laufen die Oxydationsprozesse im Tiefenwasser unter Verwendung des gelösten Sauerstoffs ab. Nahezu der gesamte anorganisch gebundene Stickstoff liegt als Nitrat vor. Nach SEN GUPTA (1968) und NEHRING (1971) setzt eine Denitrifikation ein, wenn der Sauerstoffgehalt 0,5 bis 0,3 ml/l unterschreitet. Sie führt zur Bildung molekularen Stickstoffs. Im allgemeinen tritt Schwefelwasserstoff erst auf, wenn das Nitrat abgebaut ist (vgl. Abb. 1). Da unter reduzierenden Bedingungen die Stickstoffmineralisierung auf der Stufe der Ammonifikation stehenbleibt, nimmt dann der Ammoniumstickstoffgehalt zu. In Abb. 9 ist für das Gotlandtief der Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von der Nitratstickstoffkonzentration aufgetragen. Bis auf einen Meßwert, der durch einen Kreis als

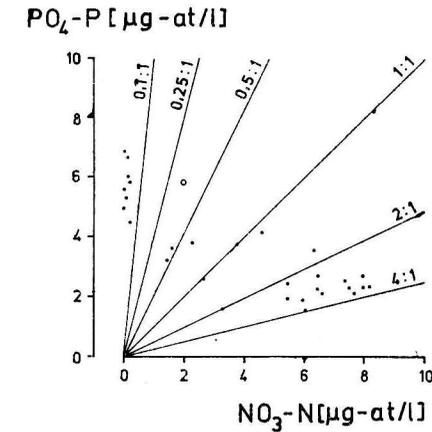


Abb. 10. Verhältnisse von Nitratstickstoff zu anorganisch gebundenem Phosphor im 200 m-Horizont des Gotlandtiefs im Zeitraum 1965–1971

unsicher gekennzeichnet ist, konnte Nitratstickstoff über 0,2 $\mu g-at/l$ auch nur in oxydierendem Milieu beobachtet werden.

Aus Abb. 8 und 9 ergibt sich bereits, daß das Verhältnis von Nitratstickstoff zu anorganisch gebundenem Phosphor im Tiefenwasser stark variieren kann. Abb. 10 zeigt für die seit 1965 in 200 m Tiefe verfügbaren Meßwerte N/P-Verhältnisse $\mu g-at/l$ zwischen 0 (kein Nitratstickstoff) und 4:1. Dabei ist der im reduzierenden Milieu auftretende Ammoniumstickstoff nicht berücksichtigt.

In bezug auf die Absolutwerte kann sowohl beträchtlicher Phosphat- als auch Nitratüberschuß im Tiefenwasser auftreten. Phosphatüberschuß ist in den Stagnationsperioden, wie z. B. 1968/69 (vgl. Abb. 1), zu erwarten, in denen eine Phosphatanreicherung, insbesondere unter reduzierenden Bedingungen, und

bei O_2 -Gehalten unter 0,5 bis 0,3 [ml/l] ein Abbau des Nitrats vor sich geht. Nitratüberschuß war nach den Wassererneuerungen 1965 und 1969 zu beobachten. Er dürfte auf den Einstrom des salzreichen Wassers zurückzuführen sein, das durch seinen Nordseewasseranteil mehr Nitratstickstoff enthält als das verdrängte Tiefenwasser (vgl. auch Abb. 8 und 9).

Bezogen auf die ozeanische Relation von 15:1 [$\mu\text{g-at/l}$] ist im Tiefenwasser jedoch stets ein beträchtlicher Phosphatüberschuß anzutreffen, der im allgemeinen um so größer ist, je größer das Sauerstoffdefizit ist.

4. Schlußfolgerungen

Die Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse der Ostsee und deren Ursachen sind seit Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. SOSKIN (1963) ist der Auffassung, daß diese Variationen mit großräumigen Änderungen im Charakter der atmosphärischen Zirkulation in Zusammenhang zu bringen sind. Diese bedingen u. a. säkulare Veränderungen der Festlandsabflüsse und des Wasseraustausches durch Belte und Sund und rufen damit langjährige Schwankungen des Salzgehaltes der Ostsee hervor. IGNATIUS, NIEMISTÖ und VOIPIO (1971) haben mit Hilfe von Redox-Potential-Messungen im Sediment des Gotlandtiefs versucht, Informationen über frühere Stagnationsperioden in der Ostsee zu erhalten. Ihre Untersuchungen deuten auf mehrere Zyklen seit 1750 hin, die mit Perioden von etwa 40 bis 60 Jahren aufgetreten sind.

Den säkularen Vorgängen sind die für die Ostsee charakteristischen Einströme salz- und sauerstoffreicherer Wassermassen aus dem Kattegat überlagert. Diese Einströme bringen eine Erneuerung des Tiefenwassers in den einzelnen Becken und scheinen enger mit den Sauerstoffverhältnissen verknüpft zu sein als die säkularen Schwankungen.

DICKSON (1971) konnte aus der Analyse des Oberflächensalzgehaltes in den europäischen Schelfmeeren zeigen, daß während dieses Jahrhunderts in allen Gebieten der Schelfmeere ein weitgehend regelmäßiger Wechsel zwischen Perioden niedrigen und hohen Salzgehaltes stattgefunden hat. Die Perioden hohen Salzgehaltes traten in Abständen von drei bis vier Jahren auf und bildeten den Endpunkt eines mehr oder weniger kontinuierlichen Anstiegs der Salzgehaltsanomalien in diesem Zeitraum. Der hohe Salzgehalt konnte mit dem periodischen Auftreten eines anomalen und beständigen atmosphärischen Zirkulationsmodells über dem Nordatlantik in Verbindung gebracht werden.

DICKSON vertritt die Meinung, daß die größeren Einströme salzreichen Wassers in die Ostsee vorwiegend zu den Zeiten höchsten Salzgehaltes in den europäischen Schelfmeeren auftreten und einen Begleitumstand des ansteigenden Transports salzreicherer Wassers in die Schelfmeere und damit auch ins Skagerrak und Kattegat darstellen. Dabei können die örtlichen meteorologischen Gegebenheiten die Stärke eines Einstroms unterstützen oder verzögern; es wird jedoch für unwahrscheinlich gehalten, daß sie allein bedeutende Salzeinbrüche bewirken können. Die Untersuchungen von DICKSON erhärten damit die bereits

von KÄNDLER (1951) und WYRTKI (1954) ausgedrückte Vermutung, daß beim Einstrom salzreicherer Wassers in die Ostsee möglicherweise starke Vorstöße atlantischer Wassermassen in die Nordsee und das Skagerrak eine bedeutende Rolle spielen könnten.

Die Häufigkeit und Stärke von Salzeinbrüchen dürften Faktoren sein, die sowohl zur Erhöhung des Salzgehaltes als auch, in Abhängigkeit von der Jahreszeit des Einstroms in die Ostsee, zu Änderungen der Temperatur im Tiefenwasser beitragen. Nach DICKSON (1971) werden zu den Zeiten höheren Salzgehaltes in der Nordsee im allgemeinen auch die stärksten Einströme auftreten, und damit müßte in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen auch eine größere Häufigkeit von Einströmen salz- und sauerstoffreichen Wassers zu erwarten sein. Da jeder Einstrom mit einer vorübergehenden Erhöhung des Sauerstoffgehaltes verbunden ist, sind obige Faktoren auch für die Sauerstoffverhältnisse als bedeutend anzusehen.

Im Gotlandtief sind die Auswirkungen von Salzeinbrüchen jedoch nur noch in abgeschwächter Form zu beobachten, und kleinere Einströme dürften kaum über das Bornholmbecken hinausreichen. Im letzten Jahrzehnt wurde der Sauerstoff im Gotlandtief relativ schnell verbraucht, und es bildeten sich alsbald beträchtliche Konzentrationen an Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser. Seit 1960 wurden in 200 m Tiefe mittlere jährliche Abnahmen des Sauerstoffs in den Stagnationsperioden von mindestens $-0,8$ [ml/l] gefunden.

Die hier mitgeteilten Untersuchungen geben keine Anhaltspunkte dafür, daß die Änderung der hydrographischen Faktoren die primäre Ursache für eine zunehmende Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im Gotlandtief ist. Es ist eher anzunehmen, daß der biochemische Sauerstoffverbrauch im Tiefenwasser eine weitaus größere Rolle spielt, als die Auswirkungen vertikaler Austauschprozesse auf die Sauerstoffverhältnisse ausmachen können. Bei der Behandlung dieser Problematik muß vielmehr die zunehmende Einleitung industrieller und kommunaler Abwässer beachtet werden, zumal neben oxydierbarer organischer Substanz in verstärktem Maße auch Mikronährstoffe in die Ostsee eingebracht werden. Beispielsweise ist in den letzten Jahrzehnten die Phosphatzufuhr mit der Entwicklung der synthetischen Waschmittel stark angestiegen (VOIPIO, 1969). NEHRING (1971) konnte zeigen, daß das in die Ostsee einströmende salzreiche Tiefenwasser zumindest zeitweilig stark mit organischen Stoffen belastet ist, deren Abbau während des Vordringens in die zentrale Ostsee unter Verbrauch von Sauerstoff vor sich geht. In flacheren Seegebieten der Ostsee wurden bereits Zusammenhänge zwischen Abwasserbelastung einerseits und der Eutrophierung (BAGGE und LEHMUSLUOTO, 1971) bzw. den Sauerstoffverhältnissen (SCHULZ, 1968; ROHDE und SCHULZ, 1972; WAERN und Mitarbeiter, 1972) andererseits gefunden. Ob die zunehmende Abwasserbelastung allerdings als primäre Ursache für die Vergrößerung des Sauerstoffdefizits im Tiefenwasser angesehen werden kann, ist auf Grund der engen Verkettung hydrographischer, chemischer, biologischer, meteorologischer und geologischer Vorgänge zur Zeit nicht zu entscheiden.

Für zahlreiche Diskussionen und Hinweise dankt der Verfasser den Herren Dr. D. NEHRING, Dr. S. SCHULZ und Dipl.-Met. H. FRANCK.

Literatur

- [1] BAGGE, P., and P. O. LEHMUSLUOTO, Phytoplankton primary production in some Finnish coastal areas in relation to pollution. *Merentutk. Julk.*, No. 235 (1971), S. 3—18.
- [2] CLINE, J. D., and F. A. RICHARDS, Oxygenation of hydrogen sulfide in seawater at constant salinity, temperature and pH. *Environmental Science & Technology* 3 (1969), S. 838—843.
- [3] DICKSON, R. R., A recurrent and persistent pressure-anomaly pattern as the principal cause of intermediate-scale hydrographic variations in the European shelf seas. *Dt. Hydrogr. Z.* 24 (1971), S. 97—119.
- [4] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins. *Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr.*, No. 13 (1962), S. 1—41.
- [5] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins II. *Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr.*, No. 20 (1967), S. 1—31.
- [6] FONSELIUS, S. H., Hydrography of the Baltic deep basins III. *Fishery Board of Sweden, Ser. Hydrogr.*, No. 23 (1969), S. 1—97.
- [7] FONSELIUS, S. H., On the stagnation and recent turnover of the water in the Baltic. *Tellus* 22 (1970a), S. 533—544.
- [8] FONSELIUS, S. H., Stagnant sea. *Environment* 12 (1970b), S. 1—11, 40—48.
- [9] FONSELIUS, S. H., and C. RATTANASEN, On the water renewals in the eastern Gotland basin after World War II. *Medd. Havsfiskelab. Lysekil, Hydrogr. avdeln.*, No. 90 (1970), S. 1—6.
- [10] GIESKES, J. M. T. M., and K. GRASSHOFF, A study of the variability in the hydrochemical factors in the Baltic Sea on the basis of two anchor stations September 1967 and May 1968. *Kieler Meeresforschungen* 25 (1969), S. 105—132.
- [11] GRANQVIST, G., Croisière thalassologique et observations en bateaux routiers en 1931. *Merentutk. Julk.*, No. 81 (1932), S. 1—38.
- [12] GRASSHOFF, K., Untersuchungen über die Sauerstoffbestimmung im Meerwasser, 1. Teil. *Kieler Meeresforschungen* 18 (1962), S. 42—50.
- [13] GRASSHOFF, K., General conclusions of the intercalibration measurements. Report on intercalibration measurements, *Unesco techn. papers in mar. sci.* no. 9 (1966), S. 111—114.
- [14] GREEN, E. J., and D. E. CARRITT, New tables for oxygen saturation of seawater. *J. Mar. Res.* 25 (1967), S. 140—147.
- [15] HOLLAN, E., Die Veränderlichkeit der Strömungsverteilung im Gotland-Becken am Beispiel von Strömungsmessungen im Gotland-Tief. *Kieler Meeresforschungen* 25 (1969), S. 19—70.
- [16] IGNATIUS, H., L. NIEMISTÖ, and A. VOIPIO, Variations of redox conditions in the recent sediments of the Gotland Deep. *Eripainos Geolog.* 27 (1971) 3, S. 43—46.
- [17] JACOBSEN, J. P., R. J. ROBINSON, and T. G. THOMPSON, The determination of dissolved oxygen in sea-water by the Winkler method. *Ass. Oceanogr. Phys., Publ. scient.* No. 11 (1950), S. 1—4.
- [18] KALLE, K., Einige Verbesserungen zur Bestimmung des gelösten Sauerstoffs im Meerwasser. *Ann. Hydrogr. Marit. Meteorol.* 67 (1939), S. 267—269.
- [19] KALLE, K., Die große Wasserumschichtung im Gotland-Tief vom Jahre 1933/34. *Ann. Hydrogr. Marit. Meteorol.* 71 (1943), S. 142—146.
- [20] KÄNDLER, R., Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. *Dt. Hydrogr. Z.* 4 (1951), S. 150—160.
- [21] KOLLER, S., Neue graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. 4. Aufl., Darmstadt 1969.

- [22] KULLENBERG, G., On the oxygen deficit in the Baltic deep water. *Tellus* 22 (1970), S. 357.
- [23] MATTHÄUS, W., Zur Hydrographie der Gotlandsee I. Säkulare Variationen von Salzgehalt und Temperatur. *Beitr. Meereskunde, H.* 29 (1972a), S. 35—51.
- [24] MATTHÄUS, W., Secular changes in oxygen conditions in the deep water of the Gotland basin. 2nd Baltic Symp. *Mar. Biol., Stockholm* 1971. *Oikos Suppl.* 14 (1972b).
- [25] NEHRING, D., The results of the oxygen intercalibration measurements, Leningrad, May 1966. Report on intercalibration measurements, *Unesco techn. papers in mar. sci.*, no. 9 (1966), S. 19—23.
- [26] NEHRING, D., Untersuchungen über die Verteilung der anorganischen Stickstoffverbindungen im Hinblick auf die zunehmende Wasserverschlechterung in der Ostsee. *Beitr. Meereskunde, H.* 28 (1971), S. 57—74.
- [27] NEHRING, D., und E. FRANCKE, Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70. *Fischerei-Forschung* 9 (1971) 1, S. 35—42.
- [28] NEHRING, D., E. FRANCKE, und H.-J. BROSIEN, Beobachtungen über die ozeanologischen Veränderungen im Gotlandtief während der Wasserumschichtung im Oktober 1969. *Beitr. Meereskunde, H.* 28 (1971), S. 75—82.
- [29] PASTUCHOWA, N. M., Hydrochemische Charakteristika als Indikator für den Einstrom von Nordseewasser in die Ostsee in den Jahren 1951—1959 (in russ.). *Trudy GOIN*, No. 65 (1961), S. 168—187.
- [30] ROHDE, K.-H., and S. SCHULZ, Studies on biological production in polluted coastal waters — Bay of Lübeck and Bay of Odra. 2nd Baltic Symp. *Mar. Biol., Stockholm* 1971. *Oikos Suppl.* 14 (1972).
- [31] SCHULZ, S., Rückgang des Benthos in der Lübecker Bucht. *Mber. Dt. Akad. Wiss.* 10 (1968), S. 748—754.
- [32] SEN GUPTA, R., Inorganic nitrogen compounds in ocean stagnation and nutrient resupply. *Sci.* 160 (1968), S. 884—885.
- [33] SOSKIN, I. M., Langjährige Veränderungen der hydrologischen Charakteristiken der Ostsee (in russ.). Leningrad 1963.
- [34] TAUBENHEIM, J., Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. Leipzig 1969.
- [35] VOIPIO, A., On the cycle and the balance of phosphorus in the Baltic Sea. *Soumen Kem.*, A 42 (1969), S. 48—53.
- [36] VOIPIO, A., and P. MÄLKKI, Variations of the vertical stability in the Northern Baltic. *ICES-Paper, C. M.* 1971/C: 29, S. 1—9, und *Merentutk. Julk.*, No. 237 (1972), S. 3—12.
- [37] WAERN, M. et al., The Stockholm Archipelago and the distribution of nutrients and chlorophyll during the year. 2nd Baltic Symp. *Mar. Biol., Stockholm* 1971. *Oikos Suppl.* 14 (1972).
- [38] WILSON, W. D., and D. L. BRADLEY, Specific volume of sea water as a function of temperature, pressure and salinity. *Deep-Sea Res.* 15 (1968), S. 355—363.
- [39] WINKLER, L. W., Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs. *Ber. Dt. Chem. Ges.* 21 (1888), S. 2843—2854.
- [40] WYRTKI, K., Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. *Kieler Meeresforschungen* 10 (1954), S. 19—25.

Untersuchungsmaterial

Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer:

- (a) Bulletin Hydrographique, 1902—1956, Copenhagen.
- (b) ICES Oceanographic Data Lists, 1957—1964, Copenhagen.
- (c) Annales Biologiques, 1958—1967, Copenhagen.

Merentutkimuslaitoksen Julkaisu, 1924—1964, Helsinki.
 Meddelande från Havsfiskelaboratoriet Lysekil, Hydrografiska avdelningen, No. 38, 52, 63,
 70, 82, 83, 93, 104, Göteborg 1967—1971.
 Muldenfahrten des IfM Warnemünde, 1963 und 1965.
 International Baltic Year Data: GDR, Poland, Sweden.

Abschluß der Arbeit: 15. 12. 1971

Anschrift des Verfassers:

Dr. W. MATTHÄUS, Institut für Meereskunde der AdW
 DDR-253 Warnemünde, Seestr. 15

Die haline Schichtung im Seegebiet der Darßer Schwelle

VON GERHARD WOLF

Zusammenfassung: Die Schichtungs- und Strömungsverhältnisse in Meeresstraßen werden in starkem Maße durch die ablenkende Kraft der Erdrotation beeinflusst. Bei hinreichender Breite eines solchen Seegebietes kann die Querneigung der Dichtegrenzfläche so groß werden, daß die Grenzfläche die Wasseroberfläche vor der Küste schneidet. Meßfahrten auf dem ozeanologischen Schnitt Warnemünde—Gjedser ergaben, daß das in etwa 25% der Fälle auch für die Beltseegrenzfläche zutrifft, für die die mittlere Querneigung 0,59 m/km beträgt. In mehr als 60% der Fälle ist außerdem ein erhöhter Salzgehalt und eine höhere Wassertemperatur vor der Küste der DDR festzustellen.

Betrachtet man in den ozeanologischen Schnitten den maximalen und minimalen Salzgehalt als zwei voneinander abhängige Größen, so gliedern sich die Meßfahrten in zwei Gruppen, die sich vor allem dadurch unterscheiden, daß die haline Schichtung mit den Strömungsverhältnissen Übereinstimmung zeigt oder nicht.

1. Einleitung

Die haline Schichtung im Seegebiet der Darßer Schwelle wird maßgeblich durch die Bewegungen der Beltseefront an der Wasseroberfläche und die Verlagerung der Skagerrakgrenzfläche am Boden des vorgelagerten Seegebietes bestimmt. Diese Veränderungen im System der beiden Grenzflächen unterliegen einerseits dem Einfluß des jährlichen Ganges der Süßwasserzufuhr und andererseits den meist kurzzeitigen, aber tiefgreifenden Einflüssen der atmosphärischen Zirkulation. Bei dem Versuch, die häufig vorkommenden Einstromlagen von ihrer höchsten Entwicklungsphase, den Salzwassereintrüben in die Ostsee, abzugrenzen, hat der Verfasser (1972) auf die Bedeutung beider Komponenten hingewiesen.

Die haline Schichtung im Seegebiet unterliegt aber außerdem den Wirkungen, die sich aus einer strömungsbedingten wechselnden Querneigung der Grenzfläche ergeben. H. WATTENBERG (1949) hat am Beispiel des Fehmarnbels gezeigt, daß bei geringen Dichteunterschieden im Querschnitt die Isohalinen schließlich senkrecht verlaufen können. Zur Deutung von Meßergebnissen wurde vom Verfasser (1960) ebenfalls die Grenzflächenneigung herangezogen. Für das Querprofil Rügen — Schonen hat bereits A. MERZ (1911) auf der deutschen Seite eine mittlere Augusttemperatur von 16,5 °C und für die Gegenseite von 14,9 °C angegeben und daraus allgemein eine große Begünstigung der deutschen

Ostseebäder abgeleitet, was P. HUPFER (1962) durch die Untersuchung langjähriger Veränderungen der Wassertemperatur nachweisen konnte.

2. Die Querneigung der Wasseroberfläche und der Grenzfläche

Die positive Bilanz des Wasserhaushaltes der Ostsee bewirkt, daß an der Wasseroberfläche des betrachteten Seegebietes Ausstrom herrschen muß, solange durch äußere Kräfte keine Veränderungen eintreten. Dieser Ausstrom erzeugt einen Unterstrom, der die gestörte Druckverteilung kompensiert und als Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation eine Quercirkulation hervorruft (A. DEFANT (1961), G. DIETRICH und K. KALLE (1957), G. SAGER (1956), N. N. SUBOW (1956)). Wenn die Meerstraße ein Kanal mit rechteckigem Querschnitt ist, in dem der Ober- und Unterstrom weder Richtung noch Geschwindigkeit ändert, dann bewirkt die ablenkende Kraft der Erdrotation, daß der Wasserspiegel (in Richtung des Oberstromes gesehen) am rechten Ufer höher steht als am linken (Abb. 1).

Das ergibt sich aus der Gleichung

$$\tan \alpha = \frac{\Delta h}{b} = \frac{2 \omega \sin \varphi}{g} v_1.$$

Es bedeuten: α = Neigungswinkel der Wasseroberfläche
 Δh = Differenz des Wasserstandes an den Küsten
 b = Breite der Meerstraße
 v_1 = Oberstromgeschwindigkeit
 ω = Winkelgeschwindigkeit der Erde
 φ = Geographische Breite
 g = Erdbeschleunigung.

Unter dem Einfluß der Schrägstellung des Wasserspiegels neigt sich auch die Grenzfläche, aber in entgegengesetzter Richtung. Die Wasserstandsdifferenz zwischen den Küsten ist um so größer, je größer die Oberstromgeschwindigkeit, die Breite b der Meerstraße und die geographische Breite sind.

Der Neigungswinkel der Grenzfläche ergibt sich aus

$$\tan \beta = \frac{\Delta H}{b} = \frac{2 \omega \sin \varphi}{g} \frac{v_1 \rho_1 - v_2 \rho_2}{\rho_2 - \rho_1}.$$

Hier bedeuten: β = Neigungswinkel der Grenzfläche
 ρ_1, ρ_2 = Dichte der Wassermassen des Ober- und Unterstromes
 v_2 = Unterstromgeschwindigkeit
 ΔH = Höhenunterschied der Grenzflächen an den Küsten.

Für den Querschnitt Warnemünde—Gjedser (Abb. 2) ergibt sich mit $b = 35$ km, $v_1 = 12$ cm/s und $\varphi = 54^\circ 20'$ eine Wasserstandsdifferenz $\Delta h = 5,06$ cm zwischen beiden Küsten. In der folgenden Abb. 1 sind die Verhältnisse für einen rechtwinkligen Querschnitt der Meerstraße dargestellt. Nehmen wir an,

daß die Dichte der Wassermassen des Oberstromes $\rho_1 = 1,00531$ g/cm³ ($t_1 = 15$ °C, $S_1 = 90/00$) und $v_1 = 12$ cm/s betragen, während im Unterstrom $\rho_2 = 1,01373$ g/cm³ ($t_2 = 15$ °C, $S_2 = 190/00$) und $v_2 = -8$ cm/s sein soll, so ergibt sich für $\Delta H = 10,1$ m.

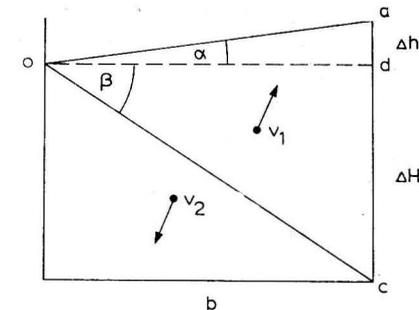


Abb. 1. Schematische Darstellung der Grenzflächen- und Wasserspiegelneigung in einer Meerstraße

Unter diesen vereinfachten Bedingungen läßt sich auch die „kritische Breite b^* “ berechnen, die die Meerstraße mindestens haben muß, damit die Grenzfläche aufgrund ihrer Querneigung die Wasseroberfläche schneidet. Wenn das im Punkt 0 (Abb. 1) der Fall ist, dann ist gerade $b = b^*$.

Der Wasserüberschuß der Ostsee, der durch die Meerstraße abgeführt wird, beträgt ca. 480 km³/Jahr oder 15200 m³/s. Dividiert man diesen Betrag durch die Oberstromgeschwindigkeit v_1 , so erhält man die Querschnittsfläche Q , die vom Oberstrom eingenommen wird. Dieser Wert wird stark veränderlich sein. Nimmt man an, daß dem Jahresmittel von 15200 m³/s eine durchschnittliche Geschwindigkeit $v_1 = 12$ cm/s entspricht, dann wird $Q = 126600$ m². Diese Fläche ergibt sich nach Abb. 1 zu $Q = 1/2 (\overline{ad} + \overline{dc}) \overline{od}$, da $\overline{ad} = b^* \tan \alpha$, $\overline{dc} = b^* \tan \beta$ und $\overline{od} = b^*$ wird, ergibt sich

$$b^* = \sqrt{\frac{2Q}{\tan \alpha + \tan \beta}}.$$

Unter Verwendung der bereits angegebenen Werte errechnet man eine kritische Breite $b^* = 29,5$ km.

Berücksichtigt man, wie variabel allein die Strömungsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 sein können und daß die monatlichen Beträge der Süßwasserzufuhr zwischen 15 und 100 km³/Mon. variieren, so läßt der errechnete Wert von b^* vermuten, daß die Grenzfläche recht häufig die Wasseroberfläche vor der Küste schneidet, abgesehen davon, daß noch weitere Einflüsse wirksam sind.

Die sich daraus ergebenden Vorstellungen über die haline Schichtung im Seegebiet der Darßer Schwelle lassen sich anhand von Beobachtungen überprüfen.

3. Die haline Schichtung im Querschnitt Warnemünde—Gjedser

In den Jahren 1953 bis 1958 hat das Institut für Meereskunde in Warnemünde etwa 50 Meßfahrten auf dem Schnitt Warnemünde—Gjedser durchgeführt. Die Stationen und die Lage des Schnittes sind der Abb. 2 zu entnehmen.

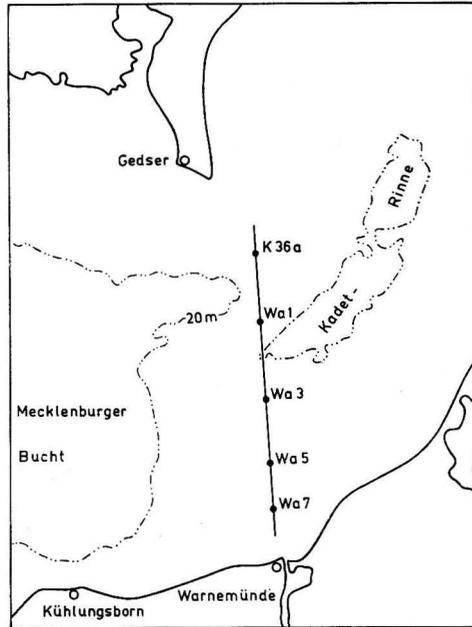


Abb. 2. Lage der ozeanologischen Stationen auf dem Schnitt Warnemünde—Gjedser

Von diesen Meßfahrten, die meist das Forschungsschiff MS „Prof. O. Krümmel“ durchgeführt hat, erwiesen sich 40 als geeignet, da an allen Stationen in einem Meßabstand von 2,5 bzw. 5,0 m u. a. Temperatur, Salzgehalt sowie Stromrichtung und Geschwindigkeit (mit EKMAN-MERZ-Strömungsmessern) gemessen wurden. Mit Hilfe der Strömungsmessungen war es möglich, die Bereiche von Ein- und Ausstrom grob abzugrenzen und eine generalisierte Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt anzugeben.

Den Beobachtungsergebnissen kann man entnehmen, daß in etwa 25% der Fälle die Beltseegrenzfläche die Wasseroberfläche vor der Küste schneidet, jedoch kann dieser Prozentsatz nicht verallgemeinert werden. Die größte Ausstromgeschwindigkeit, bezogen auf den Ausstromquerschnitt, betrug $v_1 = 58$ cm/s und für den Unterstrom $v_2 = 18$ cm/s. Die mittlere Querneigung der halinen Sprungschicht ergab sich zu 0,59 m/km.

Bedingt durch den Wechsel zwischen Ein- und Ausstromlagen kann die Salzgehalts- und Temperaturdifferenz zwischen den Randstationen des Querschnittes Wa 7 und K 36a positiv oder negativ sein. In 63% der Fälle ist der

Salzgehalt an der Station Wa 7 im Mittel um $2 \cdot 48^0_{00}$ höher als an der Station Ka 36a und in 37% der Fälle im Mittel an der DDR-Küste um $0,91^0_{00}$ niedriger als an der dänischen. Für die Station Wa 7 ergab sich weiterhin, daß die Oberflächentemperatur im Mittel um $1,1$ °C (maximal $2,7$ °C) höher bzw. nur um $0,4$ °C (maximal $0,8$ °C) niedriger war als an der Station K 36a.

Bei dem Versuch, die Beobachtungsunterlagen zu ordnen, ergibt sich sofort eine Untergliederung in zwei Gruppen. Die eine umfaßt die Fälle mit einheitlicher Bewegungsrichtung der Wassermassen im Querschnitt, in der anderen sind alle Situationen erfaßt, bei denen im Querschnitt entgegengesetzte Bewegungsrichtungen vorhanden sind, sie schließt etwa 70% der Fälle ein.

Die engabständigen Messungen im Querschnitt gestatten es außerdem, die Lage und den Betrag des Salzgehaltsmaximums S_x und des Salzgehaltsminimums S_m zu bestimmen. Es ergibt sich meist, daß die Extremwerte seitlich zu den Küsten hin verlagert sind, was man als sicheres Merkmal dafür werten kann, daß sich die Wassermassen in Bewegung befinden. Jedes Profil ist somit durch ein Wertepaar S_x/S_m charakterisiert, die in Abb. 3 eingetragen wurden.

Man erkennt sofort, daß sich die Wertepaare wiederum zwei Gruppen zuordnen lassen, die sich aber von der ursprünglichen, nach dem äußeren Erscheinungsbild vorgenommenen Unterteilung in ihrer Zusammensetzung wesentlich unterscheiden. Ordnet man daher die Gruppen nach den Wertepaaren S_x/S_m , dann ergibt sich für die Gruppe a) folgendes Bild:

In ihr sind alle Profile enthalten, in denen Oberstrom und Unterstrom gut ausgebildet sind. Die Beltseegrenzfläche weist mehr oder weniger große Neigungswinkel auf, wobei der Kern des salzreichen Tiefenwassers seitlich zur Küste der DDR verlagert ist. Die Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Wassermassen des Oberstromes und des Unterstromes sind recht verschieden, was teils jahreszeitlich, teils durch die unterschiedliche Vorsituation bedingt ist. Es besteht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Salzgehaltssprungschicht und der Grenzschicht der beiden Strömungssysteme.

Außerdem enthält die Gruppe a) alle Fälle, in denen im gesamten Querschnitt Einstrom gemessen wurde. Es ist auffällig, daß die Strömungsgeschwindigkeiten in der Oberflächenschicht sehr gering sind und nur 5 bis 12 cm/s betragen, während in den tieferen Schichten 30 cm/s erreicht werden. In Verbindung mit dem niedrigen Oberflächensalzgehalt ergibt sich, daß trotz des Einstromes die wesentlichen Merkmale dieser Gruppe noch erhalten sind. Damit ist gesagt, daß bei weiter anhaltendem Einstrom diese Fälle nur kurzzeitig Bestandteil der Gruppe a) sein können.

In der Gruppe b) sind alle ozeanologischen Schnitte erfaßt, bei denen entweder im gesamten Querschnitt Ausstrom herrscht oder Einstrom an der Oberfläche und Ausstrom in der Tiefe bzw. Fälle mit einer seitlichen Verlagerung des Einstromes zur dänischen Küste und des Ausstromes zur Küste der DDR. Das auffälligste Merkmal dieser Gruppe besteht darin, daß zwischen der Strömungsverteilung und der halinen Schichtung keine Beziehung mehr zu bestehen scheint.

In beiden Gruppen sind alle vier möglichen Strömungsverteilungen im Querschnitt enthalten, die K. WYRTKI (1953/54) zusammengestellt hat, wobei er außerdem unterscheidet, ob die Wassermassen geschichtet sind oder nicht. Dieses Merkmal spielt zweifellos eine wichtige Rolle, und möglicherweise deutet die Werteverteilung in Abb. 3 einen solchen Einfluß bei $S_x \approx 20\text{‰}$ an.

Anhand einiger Beispiele soll nun versucht werden, die Variationsbreite von Schichtung und Strömung darzustellen. Dabei zeigt es sich sofort, daß Beobachtungen, die von einer einzelnen Station im Querschnitt vorliegen, keinen zuverlässigen Einblick ermöglichen.

a) Ausstrom *A* an der Oberfläche und Einstrom *E* in der Tiefe entspricht den ozeanologischen Bedingungen im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. Der durch die Süßwasserzufuhr höhere Wasserstand in der Ostsee erzeugt ein Gefälle, das zu Ausstrom führt. Infolge der bestehenden Schichtung steht diesem ein Druckgefälle entgegen, das den Einstrom bewirkt. Schwache umlaufende Winde oder Ostwind wirken kaum störend auf das Stromsystem ein. Der Tiefenstrom führt jedoch unter dem Einfluß geringer Schwankungen des Gefälles bereits erhebliche Pulsationen durch, so daß es im Seegebiet der Darßer Schwelle zu einem quantenhaften Einschub salzreichen Tiefenwassers kommen kann.

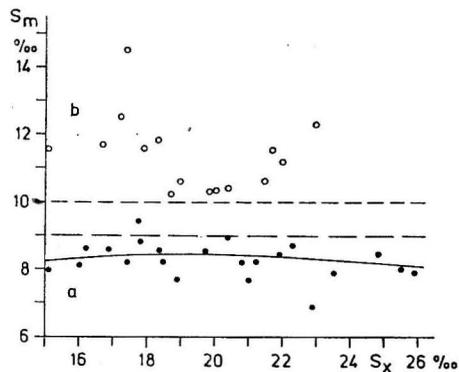


Abb. 3

Abb. 3. Zusammenhang zwischen dem höchsten (S_x) und dem niedrigsten Salzgehalt S_m) im Querschnitt Warnemünde—Gjedser

a) bei ungestörter und b) bei gestörter Kompensation an der Beltseegrenzfläche

Abb. 4. Salzgehalts- und Strömungsverteilung im Querschnitt Warnemünde—Gjedser vom 10. 5. 1952

a) Salzgehaltsverteilung [‰] und b) Geschwindigkeitsverteilung [cm/s]

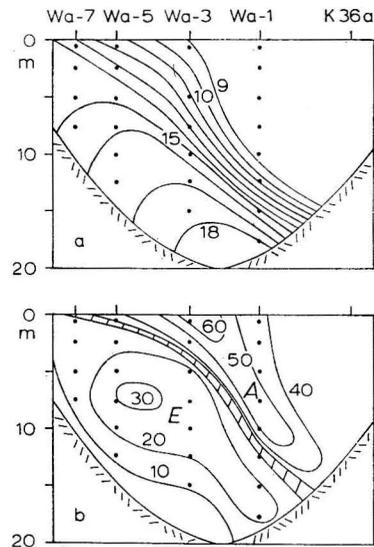


Abb. 4

In Abb. 4 ist eine der typischen Ausstromlagen wiedergegeben. Die Wetterlage wurde durch hohen Druck über Skandinavien und einem Tief westlich Irland charakterisiert, so daß sich eine langanhaltende Ausstromlage einstellen konnte.

Der Höhepunkt dieser Ausstromlage, die am 12. 5. beendet wurde, ist zum Zeitpunkt der Messungen bereits überschritten. Die größten Geschwindigkeiten im Oberstrom betragen bei Gjedser Rev-Feuerschiff mehr als 100 cm/s. Am 10. 5. wurden dagegen nur noch Werte von 60 cm/s bzw. 30 cm/s im Unterstrom gemessen. Bei den meisten Meßfahrten lassen sich nur graduelle Unterschiede der Schichtung und der von der deutschen zur dänischen Küste geneigten Grenzfläche feststellen, wofür jahreszeitliche Veränderungen und die jeweilige Vorsituation maßgebend sind.

b) Einstrom in allen Tiefen wird dadurch hervorgerufen, daß sich bei starken Winden aus SW bis NW der Oberstrom umkehrt. Er gehorcht im wesentlichen der Windeinwirkung, die infolge der Schichtung nicht auf die unteren Schichten übergreifen kann. Das Anfangsstadium einer solchen ozeanologischen Situation wurde während einer Meßfahrt am 22. 9. 1958 erfaßt. Zwischen einem Zentraltief südlich von Irland und hohem Druck über Skandinavien und der UdSSR herrschten seit dem 12. 9. 1958 östliche Winde vor, die zu einer anhaltenden Ausstromlage führten. Mit der SE-Verlagerung des Hochdruckgebietes und dem Durchzug von Störungslinien wurde am 21. 9. 1958 die Ausstromlage beendet. Der Oberstrom kenterte und im gesamten Querschnitt herrschte am 22. 9. 1958 Einstrom. (Abb. 5)

Die niedrigen Salzgehaltswerte in der Oberflächenschicht in Verbindung mit den geringen Strömungsgeschwindigkeiten deuten an, daß keine wesentlichen Veränderungen gegenüber der Ausstromlage eingetreten sind. Die Isohalinen liegen jedoch fast horizontal und eine seitliche Verlagerung des salzreichen Tiefenwassers besteht bereits nicht mehr. Die ähnlichen vorhandenen Beispiele ordnen sich daher noch in die Gruppe a) der Abb. 3 ein. Die weitere Entwicklung einer solchen Einstromlage kann bei entsprechenden meteorologischen Bedingungen bis zur völligen Auflösung der Schichtung und zu Salzwassereintrüben führen, wie das vom Verfasser (1972) dargestellt wurde.

c) Einstrom in der Oberschicht und Ausstrom in der Tiefe geht meist aus einer Einstromlage hervor, während der im gesamten Querschnitt Einstrom herrschte. Schwingen die Wassermassen der Ostsee zurück, oder wurde durch einen Anstau in der Mecklenburger Bucht ein dem windbedingten Oberflächenstrom entgegengerichtetes Gefälle erzeugt, so kann sich das meist nur in der Tiefe ausgleichen. Während an der Oberfläche der Strom mit dem Wind einwärts läuft, kommt es in der Tiefe zu Ausstrom. Eine solche Situation (Abb. 6) wurde am 2. 8. 1955 festgestellt.

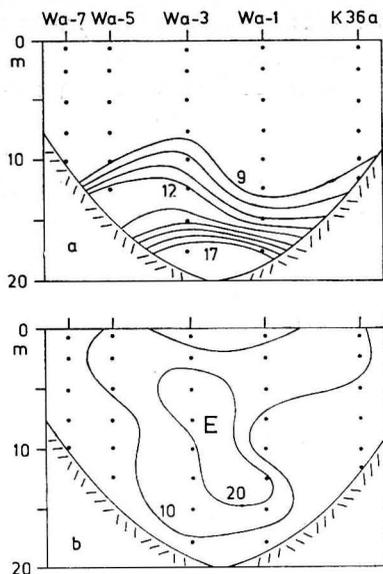


Abb. 5

Abb. 5. Salzgehalts- und Strömungsverteilung im Querschnitt Warnemünde–Gjedser vom 22. 9. 1958

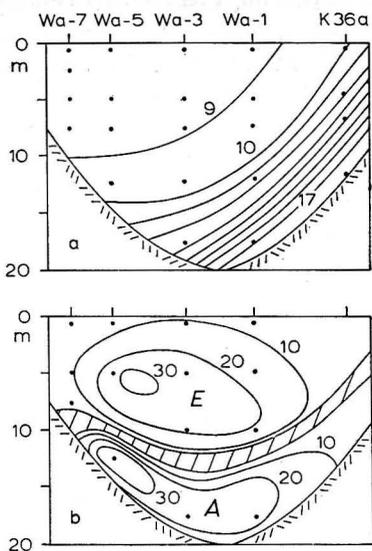


Abb. 6

Abb. 6. Salzgehalts- und Strömungsverteilung im Querschnitt Warnemünde–Gjedser vom 2. 8. 1955

Im Bereich eines vom Azorenhoch nach West- und Nordeuropa reichenden Hochdruckkeiles begann am 30. 7. 1955 eine Einstromlage, die bis zum 9. 8. 1955 andauerte. Bereits am 2. 8. 1955 konnte während einer Meßfahrt festgestellt werden, daß in der Tiefe Ausstrom herrschte, während der Einstrom an der Oberfläche durch nordwestliche Winde, Stärke 4 bis 5 Bft, aufrechterhalten wurde. Es ist bemerkenswert, wie sich die haline Schichtung den Strömungsverhältnissen angepaßt hat, für deren Zustandekommen sie andererseits maßgeblich beteiligt sein wird. Eine solche ozeanologische Situation kann jedoch sicher nur kurzzeitig bestehen.

d) Ausstrom im gesamten Querschnitt kommt vorwiegend nach Beendigung einer intensiven Einstromlage vor, wenn der Wasserstand in der Ostsee relativ hoch ist. Die Wasserbewegungen folgen dann nach Beendigung der Windeinwirkung dem Gefälle und führen zu Ausstrom im Querschnitt. Eine andere Möglichkeit, die jedoch an geringe vertikale Dichteunterschiede im Seegebiet gebunden ist, bietet sich dann, wenn durch starke Ostwinde eine homohaline Schichtung erzwungen wird. Z. B. wurde Anfang Februar 1950 bei Windstärken von 6 bis 7 Bft. eine Ausstromsituation mit Strömungsgeschwindigkeiten von 130 cm/s beobachtet. Bei Feuerschiff Gjedser Rev nahmen die Salzgehaltswerte in der gesamten Wasserschicht auf 8,8 und

8,9‰ ab. Eine solche Ausstromlage ist jedoch sofort an den niedrigen Salzgehaltswerten erkennbar.

Zwischen zwei Tiefdrucksystemen über dem Atlantik bzw. der UdSSR und Nordskandinavien hatte sich bei hohem Druck über Mitteleuropa am 18. 11. 1953 eine Einstromlage eingestellt, die am 24. 11. 1953 mit dem Aufbau einer selbständigen Hochdruckzelle über Nordeuropa beendet wurde. Die Ergebnisse einer Meßfahrt vom 26. 11. 1953 zeigen noch immer Ausstrom im gesamten Querschnitt. (Abb. 7)

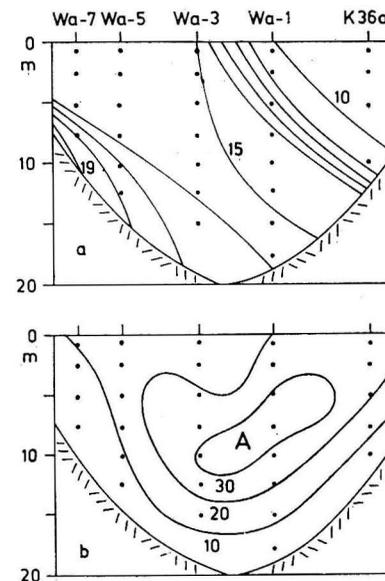


Abb. 7. Salzgehalts- und Strömungsverteilung im Querschnitt Warnemünde–Gjedser vom 26. 11. 1953

Die haline Schichtung in Verbindung mit der schwerpunktmäßigen Verlagerung des Ausstromes an die dänische Küste bewirken offensichtlich, daß sich sehr rasch der Übergang zu einer Ausstromlage vollziehen kann, bei der Ober- und Unterstrom gut ausgebildet sind.

Literatur

- DEFANT, A., *Physical Oceanography*, Vol. I, Pergamon Press, Oxford, London, New York, Paris 1961.
- DIETRICH, G. und KALLE, K., *Allgemeine Meereskunde*, Hamburg 1957.
- HUPFER, P., *Die säkulare Erwärmung von Luft und Wasser im Gebiet der Beltsee und ihre Auswirkung auf die Dauer der Badesaison*. *Angewandte Meteorologie*, Bd. 4, H. 4, 1962.
- MERZ, A., *Die hydrographischen Verhältnisse der Nord- und Ostsee*. *Zeitschr. f. Balneologie, Klimatologie und Kurorthygiene*, Bd. IV, 1911.

- SAGER, G., Über die Auswirkung der ablenkenden Kraft der Erdumdrehung auf die Wasserstände im Großen Belt. Annalen für Hydrographie, H. 5/6, 1956.
- SUBOW, N. N., Grundlagen der Lehre von den Meerestraßen der Welt (russ.). Moskau 1956.
- WATTENBERG, H., Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom und Wetterlage. Kieler Meeresforschungen, Bd. IV, 1949.
- WOLF, G., Über die hydrologischen Verhältnisse in der westlichen Ostsee im November 1953. Beiträge zur Meereskunde, H. 1 (1960).
- WOLF, G., Salzwassereinbrüche im Gebiet der westlichen Ostsee. Beiträge zur Meereskunde, H. 29 (1972), S. 67–77.
- WYRTKI, K., Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I und II. Kieler Meeresforschungen, Bd. IX und Bd. X, 1954.

Anschrift des Verfassers:

Dipl. Met. G. WOLF, Institut für Meereskunde der AdW
DDR-253 Rostock-Warnemünde

ACTA HYDROPHYSICA

Band XVII, Heft 1

Herausgegeben von H. ERTEL unter Mitwirkung von O. CZEPA,
H. HARTKE, P. MAUERSBERGER
und G. SCHELLENBERGER

1972. 61 Seiten — 3 Abbildungen — 1 Tabelle — 8° — 12,50 M
Bestell-Nr. 761 740 3 (2050/XVII/1)

Band XVII, Heft 1 der Acta Hydrophysica, enthält im wesentlichen zwei theoretische Arbeiten zu Grundwasserproblemen.

In der ersten Arbeit erläutert Peter Mauersberger die Theorie der instationären Anströmungen eines vollkommenen Brunnens im inhomogenen Grundwasserleiter. Er zeigt auf, daß sich mathematisch-physikalische Brunnenmodelle besonders gut dafür eignen, die Einflüsse verschiedener Faktoren auf die Brunnenergiebigkeit quantitativ einzuschätzen, woraus sich wertvolle Hinweise für Theorie und Praxis ergeben.

Der Beitrag von Klaus Thiemer befaßt sich mit der Theorie der Planfiltration, die zur Berechnung großräumiger Grundwasserströmungsfelder benötigt wird, um eine rationelle Bewirtschaftung des natürlichen Grundwasserdangebotes zu erreichen.

Zwei kleinere Beiträge von W. Schröder über Begleitumstände und Auswirkungen der Sturmflut von 1825 und von M. Klose über magnetisiertes Wasser vervollständigen das Heft.

Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten



AKADEMIE-VERLAG
DDR — 108 Berlin, Leipziger Str. 3–4

CIRA 1972

Cospar International Reference Atmosphere 1972
Compiled by The Committee for the COSPAR International Reference
Atmosphere (CIRA) of COSPAR Working Group 4

(In englischer Sprache)

1972. XX, 450 Seiten — 119 Abbildungen — 39 Tabellen — gr. 8°
Leinen 58,— M
Bestell-Nr. 761 869 2 (6127)

CIRA 1972 wurde von einem Internationalen Autorenkollektiv im Auftrag von COSPAR erarbeitet und enthält in englischer Sprache mehrere Beiträge, in denen die auf verschiedene Weise (Satelliten, Sonden, Raketenmessungen) gewonnenen neuesten Meßdaten aus der Hochatmosphäre zusammengetragen und interpretiert werden. Das Werk enthält zahlreiche Diagramme und mittels EDV errechnete Tabellen sowie Erläuterungen dazu und liefert allen Wissenschaftlern, die sich mit der Atmosphärenforschung im weitesten Sinne befassen, Grundlagenwerte für die Standardatmosphäre.

CIRA 1972 stellt somit das einzige derzeit gültige Atmosphärenmodell für die Erde dar und bildet ein wichtiges und unentbehrliches Hilfsmittel für die Forschungsarbeiten in entsprechenden wissenschaftlichen Einrichtungen der ganzen Welt.

Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten



AKADEMIE - VERLAG
DDR — 108 Berlin, Leipziger Str. 3-4

Tafel I

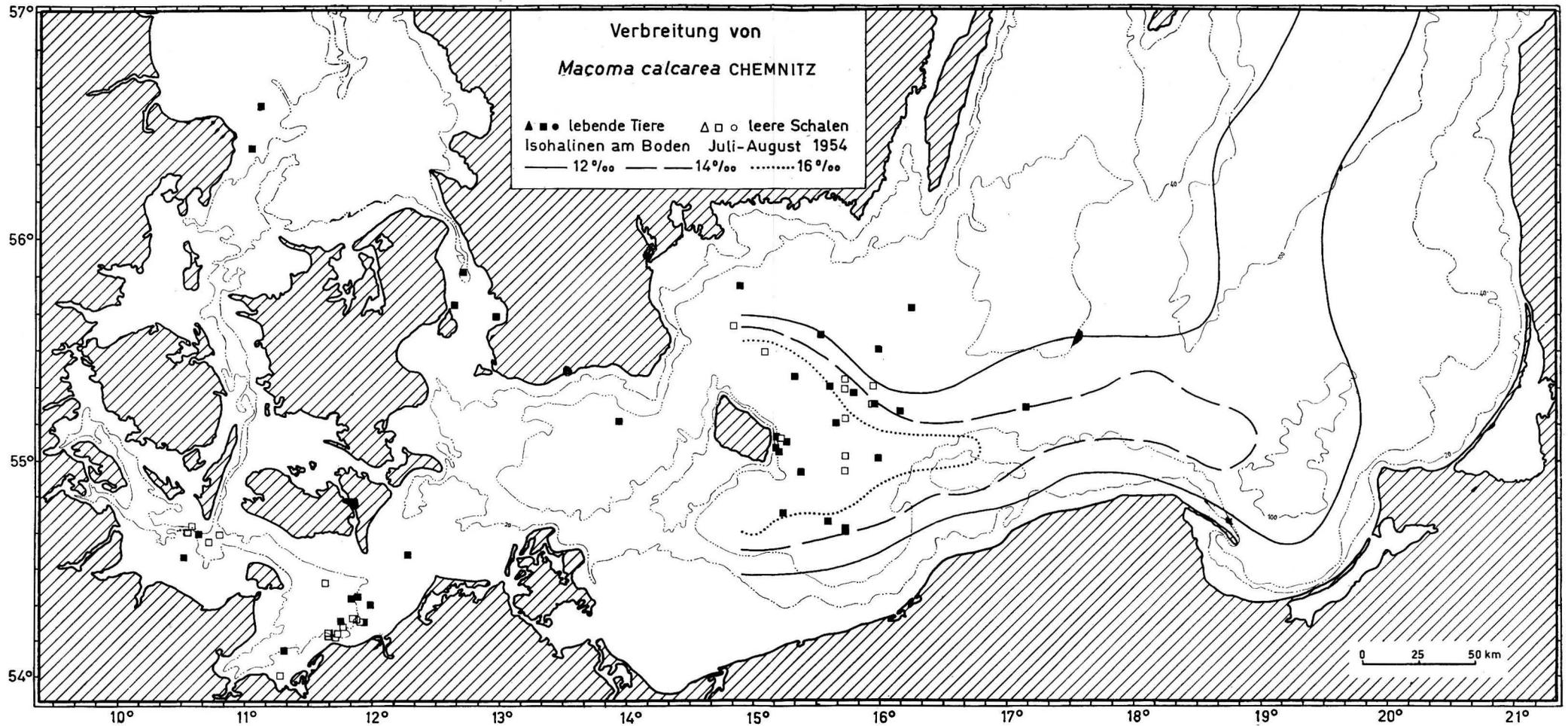


Abb. 3. Verbreitungskarte von *Macoma calcarea* CHEMNITZ, 1782

Beiträge zur Meereskunde, Heft 32: Artikel von Oertzen/Schulz

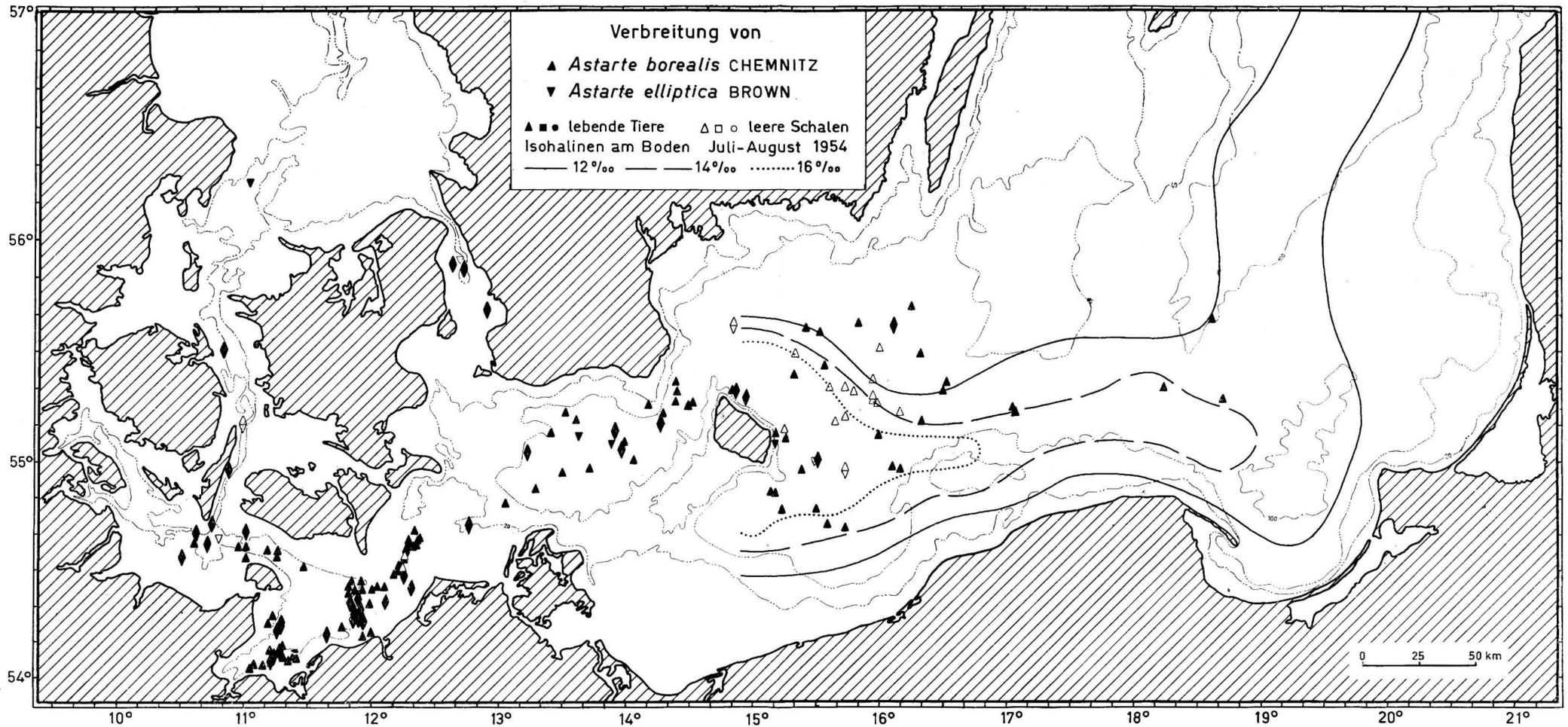


Abb. 4. Verbreitungskarte von *Astarte borealis* CHEMNITZ, 1782 (▲) und *Astarte elliptica* BROWN, 1827 (▼)

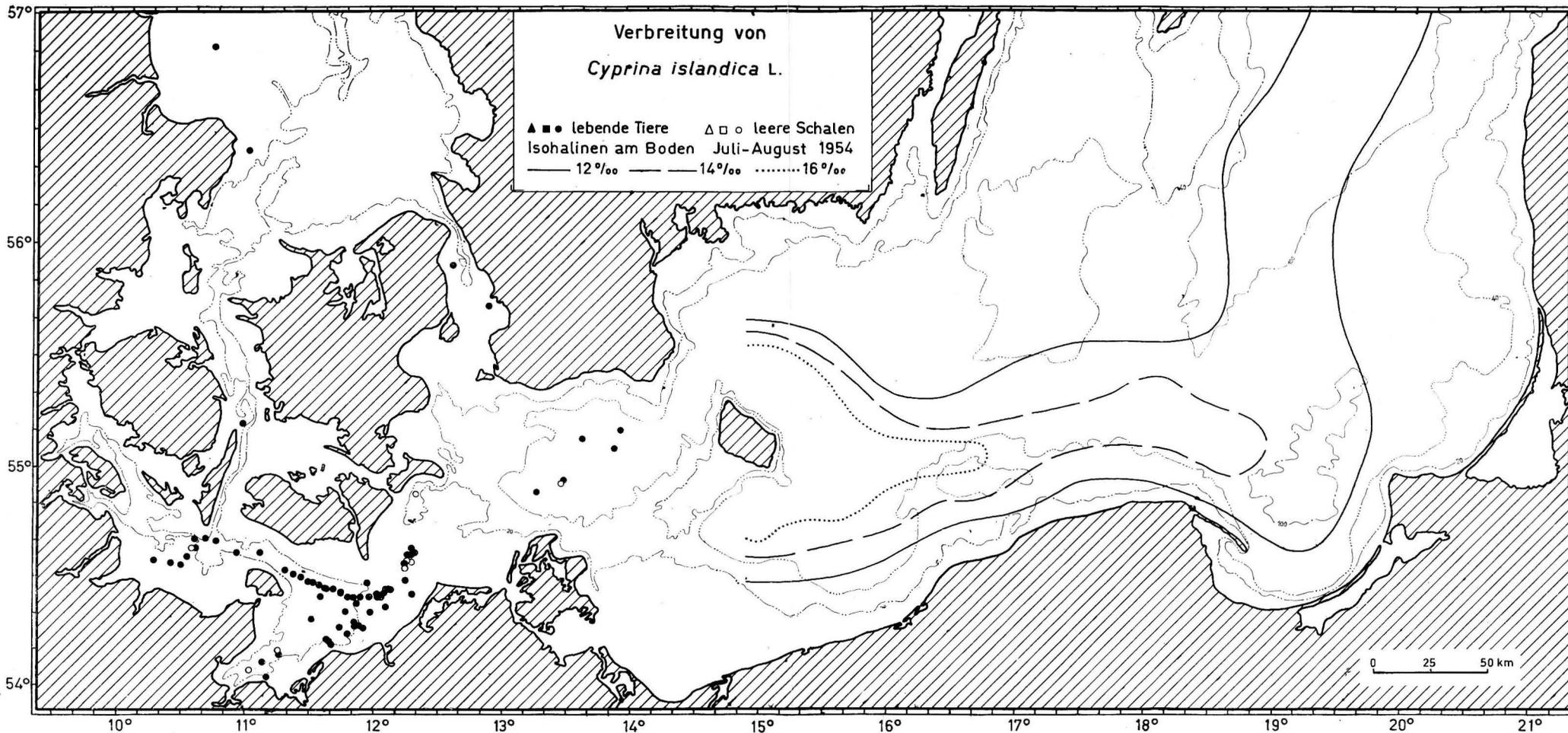


Abb. 5. Verbreitungskarte von *Cyprina islandica* LINNÉ, 1767 (●)

Beiträge zur Meereskunde, Heft 32: Artikel von Oertzen/Schulz

Tafel IV

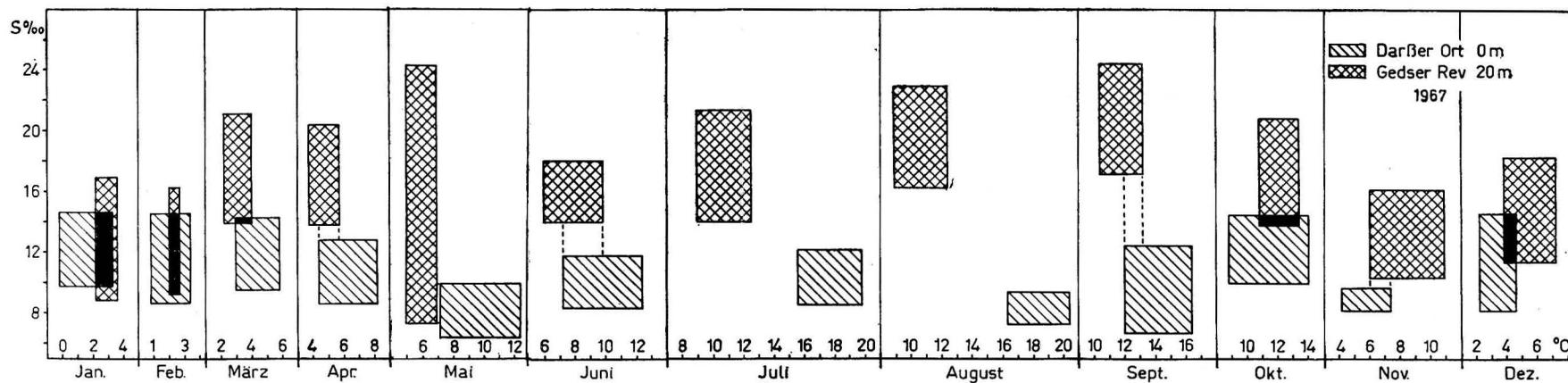


Abb. 7. Absolute monatliche Maximalschwankungen von Temperatur und Salzgehalt für Oberfläche und Boden