

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Zum Problem der starken Veränderlichkeit der Schichtungs- verhältnisse im Arkona-Becken

(Ergebnisse einer quasisynoptischen Aufnahme des Arkona-Beckens im August 1958)

von I. HELA und W. KRAUSS

I. Einführung (Von I. HELA)	125
II. Fahrtbericht (Von I. HELA und W. KRAUSS)	127
III. Allgemeine Beschreibung der hydrographischen Schnitte (Von I. HELA)	128
IV. Analyse der Ankerstation H. W. 47 (Von W. KRAUSS)	136
V. Deutung auf der Basis der internen Wellen (Von W. KRAUSS)	138

I. Einführung

Diese Untersuchung ist auf die Anregungen von Herrn Professor Dr. GEORG WÜST zurückzuführen, der nach einer Forschungsfahrt im Sommer 1954 mit dem damaligen Forschungskutter „Südfall“ schrieb (G. WÜST und W. BROGMUS, 1955): „Es wäre eine dankenswerte und vielversprechende Aufgabe der „Internationalen Meeresforschung“, wenn die in ihr vereinigten Randstaaten der Ostsee in regelmäßigen Intervallen (etwa zu den Hochständen der Jahreszeiten) solche Längsprofile unter Verwendung moderner Registriermethoden (Thermofühler oder Bathythermograph, Salinograph) in den „Talwegen“ der Ostsee aufnehmen würden, um Material zur klaren Trennung der periodischen und unperiodischen Bestandteile des physikalisch-chemischen Aufbaus der Wassermassen zu gewinnen, was auch biologisch und fischereilich von großem Werte sein würde.“

Während der ersten Tagung der baltischen Ozeanographen in Helsinki im März 1957 hat er wiederholt die Veränderlichkeit der Schichtungsverhältnisse besonders im Arkona-Becken betont und als die einzige Möglichkeit, dieselben zu untersuchen, schnell durchführbare, kontinuierliche und von mehreren Forschungsschiffen gleichzeitig aufgenommene Messungen erwähnt. Zu demselben Ziel trugen auch seine veröffentlichten interessanten Ergebnisse bei. (G. WÜST und W. BROGMUS 1955, WÜST 1957; dazu auch K. BANSE 1957 und J. KREY 1957.)

Obwohl eine multiple Operation der baltischen Forschungsschiffe zur Lösung der oben genannten Probleme bis jetzt nicht durchgeführt werden konnte, faßten wir in Helsinki später den Entschluß, im Arbeitsprogramm der „Aranda“ eine kürzere Zeitspanne im August 1958 für die Aufnahme des Arkona-Beckens zu reservieren. Zur gleichen Zeit arbeitete „Hermann Wattenberg“ vom Institut für Meereskunde der Universität Kiel im Arkona-Becken. Wie die folgenden Resultate zeigen, erwies sich diese quasisynoptische Zusammenarbeit fruchtbringend.

Schon R. WITTING (1912) hat eine „geschichtliche Übersicht der Entwicklung unseres Wissens über die Hydrographie der Ostsee bis Anfang der internationalen Meeresforschung“ gegeben. Dabei betont er unter anderem: „Im Gegenteil zu dem, was im allgemeinen angenommen worden ist, zeigt es sich bei einer solchen Rückschau, daß recht viel jetzt vergessene Arbeit ausgeführt worden ist, und daß in den Ansichten, die früher herrschten, ein innerer Zusammenhang und eine fortlaufende Entwicklung gespürt werden können.“

Dasselbe trifft auch zu einem gewissen Maße auf seine eigenen Resultate zu, denn schon er hat u. a. in seiner obigen Schrift die für das Baltische Meer charakteristische Verteilung der Temperatur und des Salzgehaltes aufgezeigt, ihre jahreszeitlichen Veränderungen erklärt und dazu die richtigen physikalischen Ursachen angegeben. Dessenungeachtet kann man die von ihm gegebene zusammenfassende Übersicht in vieler Hinsicht ergänzen und verbessern, und zwar vor allem durch die größeren Möglichkeiten der modernen Instrumentation und der neuen analytischen Methoden.

Dabei müssen wir ganz besonders die Rolle des auf mechanischer Grundlage arbeitenden Bathythermographen (A. F. SPILHAUS, 1938) herausheben, dessen allgemeiner Gebrauch sehr viel zu unserem Wissen über die thermische Struktur der oberflächennahen Schichten der Meere beigetragen hat. Ferner wurde im August 1958 auf „Hermann Wattenberg“ ein neues Gerät zur Schnellregistrierung des Druckes, der Temperatur und des Salzgehaltes (H. HINKELMANN, 1956) angewandt, wobei die Temperaturmessung ebenfalls über eine Messung des elektrischen Widerstandes erfolgt. Durch die Messungen mit dem sog. Temperaturfühler haben G. WÜST (1955 und 1957) sowohl im Arkona-Becken als auch östlich von Bornholm und I. HELA (1958) mit dem Bathythermographen in der Åland-See eine blättrige Mikrostruktur der Temperatur festgestellt. Mittels eines Thermoelements, das als „Schlierenmesser“ benutzt wurde, hat K. KALLE (1942 und besonders 1953) die Mannigfaltigkeit der inneren thermischen Unruhe des Baltischen Meeres gezeigt. Seine Meßmethode ist vielversprechend, Voraussetzung ist aber eine ruhige See und dazu natürlich gewöhnliche Vergleichsmessungen der Temperatur.

Sowohl die vertikale Schichtung der Wassermassen als auch die thermische Unruhe, d. h. vor allem die blättrige Struktur der vertikalen Verteilung der Temperatur, scheinen mit advektiven Strömungen verbunden zu sein, die im Arkona-Becken wenigstens teilweise mit den Strömungen durch die Dänischen Gewässer in Beziehung sein müssen. Die Geschichte der Erforschung jener Strömungen ist wechselvoll und mannigfaltig. Dieselben Erscheinungen, teilweise den angrenzenden Einwohnern schon seit je her wohl bekannt, sind von mehreren Autoren unabhängig von einander „entdeckt“ worden. Deswegen kann eine kurze geschichtliche Übersicht kaum ganz objektiv sein. Auf jeden Fall kann festgestellt werden, daß schon am Ende des siebzehnten Jahrhunderts englische Seeleute in den dänischen Sunden Beobachtungen gemacht hatten, welche auf eine Gegenläufigkeit von Oberflächen- und Bodenstrom schließen ließen (Vgl. R. WITTING 1912 und auch *The Philosophical Transactions and Collections*, Abridg. Vol. II, 1665—1700, S. 288, und Vol. VI, 1720—35, P. II, S. 113). Von den klassisch gewordenen Arbeiten genügt es, hier diejenigen von M. KNUDSEN (u. a. 1901) und J. P. JACOBSEN (1925) zu erwähnen. W. MANEGOLD (1936) hat in einer Arbeit, die als eine Fortsetzung einer Untersuchung von Kapitän REINICKE (1906) betrachtet werden kann, die Wetterabhängigkeit der Oberflächenströmungen in den Pforten der Ostsee untersucht, wobei vor allem herausgekommen ist, daß ein starker Ausstrom bei einem Hoch über Nordosteuropa stattfindet und daß der Einstrom durch ein Tief hervorgerufen wird, sobald es die Linie Eisland—Jütland überschritten hat.

Schließlich gelten auch die Untersuchungen von H. WATTENBERG (1941) als eine wichtige Unterlage für unsere Arbeit. Er stellte fest, daß sich der Übergang vom Nordsee- zum Ostseewasser sprunghaft in zwei Schritten vollzieht, und daß diese Grenzen alle Eigenschaften besitzen, die die Bezeichnung als hydrographische Front rechtfertigen. Außerdem erwähnt er folgendes: „Die beiden Fronten bewegen sich nun unter dem Einfluß der Wetterlage und der dadurch erzeugten Niveaudifferenzen bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Die langen Perioden von Ein- und Ausstromfällen haben den größten Einfluß auf die Verteilung des Salzgehaltes, da sie imstande sind, die Ostseefront entweder — im Ausstromfall — bis weit ins Kattegat vorzuschieben,

oder — im Einstromfall — bis zur eigentlichen Ostsee zurückzudrängen. Da beim Absinken des salzreichen Kattegatwassers unter das Ostseewasser eine starke Konvergenz an der Oberfläche entsteht, so muß die Übergangszone von der einen zur anderen Wasserart auf einen schmalen Streifen zusammengedrängt werden und die Front besonders scharf erscheinen, im Gegensatz zu der Auflockerung, die sie im Kattegat erfährt.“ — Schließlich sei noch die quantitative Bedeutung der obigen Strömungen für den Wasserhaushalt der Ostsee entsprechend den Arbeiten von I. HELA (1944) und K. WYRTKI (1954) herausgehoben.

II. Fahrtbericht

Die Beobachtungen im Arkona-Becken, die auf „Aranda“ durchgeführt wurden, waren Teil einer hydrographisch-marinegeologischen Fahrt Helsinki—Kopenhagen—Helsinki vom 18.—30. 8. 1958. Die hydrographische Arbeitsgruppe bestand aus Prof. Dr. I. HELA (Fahrtleiter), Dr. F. KOROLEFF und den Herren S. NORDSTRÖM, A. VOIPIO und G. ÅBERG. (Die meeresgeologische Arbeitsgruppe bestand aus Dr. H. IGNATIUS und den Herren N.-O. LAURELL und M. SIPPOLA.)

Die hydrographische Ausstattung der „Ara da“ ist im wesentlichen schon von G. GRANQVIST (1955) gegeben worden. Die Beobachtungswerte für den Sommer 1958 werden demnächst in den Schriften des Instituts für Meeresforschung von I. HELA und F. KOROLEFF veröffentlicht. Auf „Aranda“ wurde hydrographisch im oder nahe dem Arkona-Becken zwischen dem 21. und 28. August gearbeitet. „Hermann Wattenberg“ verließ am 18. 8. Kiel und kehrte am 29. 8. 59 zurück. Die Arbeitsgruppe bestand aus Dr. W. KRAUSS und sechs Studenten.

Am Abend des 21. August trafen sich die beiden Fahrtleiter in Rönne auf Bornholm, nachdem „Hermann Wattenberg“ bereits zwei hydrographische Quer- und ein Längsprofil im Arkona-Becken durchgeführt hatte. Die weiteren hydrographischen Arbeiten, insbesondere die Abstände zwischen den Stationen, wurden abgestimmt; Einzelheiten sind in den folgenden Kapiteln zu erkennen. Die beiden Fahrtleiter trafen gegen Ende der gemeinsamen Arbeit am 27. August noch einmal auf See zusammen, wobei die Resultate verglichen und die Bearbeitung besprochen wurden.

Im Prinzip gab es nur einen größeren Unterschied in den Arbeitsmethoden der zwei Forschungsschiffe: Auf „Aranda“ wurde ein Bathythermograph (Wallace & Tiernan, Inc.) benutzt, während auf „Hermann Wattenberg“ eine Bathysonde (H. HINKELMANN 1956) eingesetzt wurde. Der Bathythermograph kann in jedem Wetter angewendet werden, und nachfolgende Tiefenkorrekturen sind unnötig. Die Bathysonde hat dagegen den Vorteil, daß sie schneller selbst die schärfsten Gradienten der Temperatur registriert. Weil aber der Bathythermograph mit einer Minimumgeschwindigkeit der Winde geführt wurde, und die Messungen mittels der Bathysonde hinsichtlich der Tiefe korrigiert wurden, kann man die aufgenommene Temperaturverteilung als völlig vergleichbar betrachten. Durch eine gleichzeitige Anwendung von Bathythermograph und Temperaturfühler ist auf „Aranda“ später festgestellt worden, daß die Abweichungen belanglos waren.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1—8: Die Entwicklung der Wetterlage vom 19.—26. August 1958.

III. Allgemeine Beschreibung der hydrographischen Schnitte

a. Witterungsverhältnisse

Weil die Hydrographie des Untersuchungsgebietes aufs stärkste durch die veränderlichen Witterungsverhältnisse beeinflusst wird, ist eine kurze Zusammenfassung derselben notwendig als Grundlage für die weiteren Schlüsse.

Die Witterungsverhältnisse der Beobachtungsperioden sind aus den Abbildungen 1—8 (Tafel 1) ersichtlich. In den „Großwetterlagen Mitteleuropas“ (Deutscher Wetterdienst, HOFMANN) wird festgestellt, daß „auch im August wie schon im Juli die nordatlantische Frontalzone zu südlich lag, und daß bei überwiegend zonaler Zirkulationsform für Mitteleuropa eine schwache zusätzliche Südkomponente wirksam war . . . Die schon erwähnte zonale Zirkulationsform hielt mit einem Wechsel zwischen zyklonalen Westlagen und antizyklonalen Westlagen bzw. kurzen Hochdrucklagen bis nahe zum Ende des Monats an. Erst mit der Ausbildung einer antizyklonalen Südlage am 28. 8. endete die zonale Phase, es bildete sich eine meridionale Zirkulationsform und damit eine ungewöhnlich warme Nachsommerperiode aus.“

Nach der Analyse von Dr. HESS werden die Tage vom 19.—22. 8. durch einen Trog über Westeuropa gekennzeichnet („Bei Zufuhr frischer Meeresluft vielfach stark bewölkt, meist ergiebige Niederschläge, nur mäßig warm“). Die Tage vom 23.—26. 8. werden hingegen durch eine zyklonale Wetterlage charakterisiert („Bei Zufuhr gealterter polarmaritimer Luftmassen wechselnd bis stark bewölkt, verbreitet Regen, allgemein zu kühl“).

Aus den beiliegenden Wetterkarten (Tafel 1) kann man noch besser die direkte Wirkung des Luftdruck- und Windfeldes auf die Meeresoberfläche sowohl im Gebiet der Nordsee als auch in der Ostsee ersehen. Die Periode mit dem Trog über Westeuropa ist in unserem Arbeitsgebiet durch ein sehr langsam nordwärts ziehendes, teilweise lückenhaftes Regengebiet gekennzeichnet. Erst am 23. 8.— als ein Zeichen für die werdende zyklonale Westlage — kann man das Entstehen der Zyklone nahe Bornholm feststellen. Das Einsetzen des starken westlichen Windes wurde auf „Aranda“ nahe der Darßer Schwelle in den ersten Morgenstunden des 24. 8. beobachtet. Die entstandene Zyklone bewegte sich später langsam gegen Norden.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Periode vom 19. 8.—23. 8. durch allmählich stärker werdende östliche Winde gekennzeichnet ist, wohingegen nach dem 23. 8. anfangs ziemlich starke und allmählich abflauende westliche Winde vorherrschend waren. Die obige Änderung der Windverhältnisse muß auch die Hydrographie eingehend beeinflusst haben.

b. Die Salzgehalts- und Stromverhältnisse im Großen Belt und Sund

Der Einfluß der veränderlichen Wind- (und Luftdruck-)verhältnisse ist am einfachsten im Salzgehalt und in den Strömungen des Großen Beltes und des Sundes zu erkennen. (Vgl. Abb. 9, die auf originalen Beobachtungen beruht, die Herr Doktor HELGE

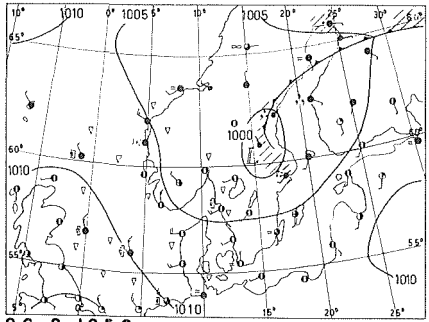
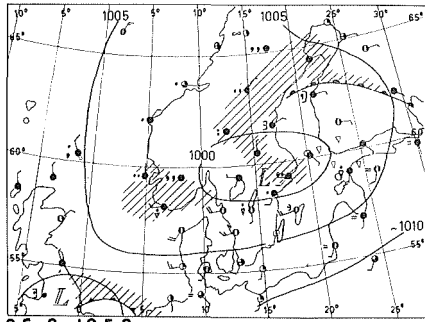
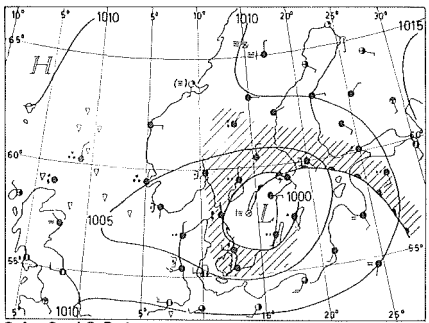
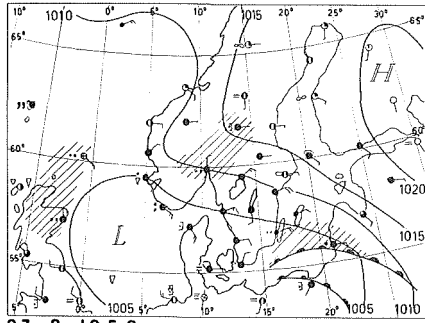
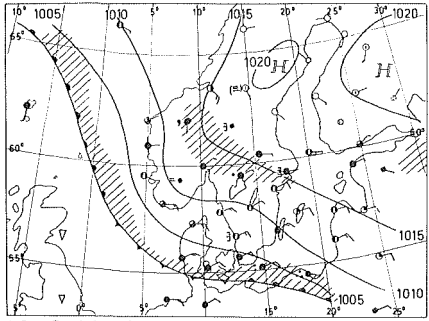
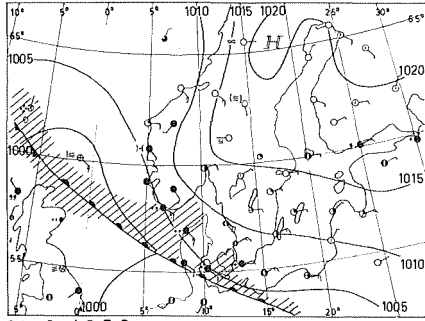
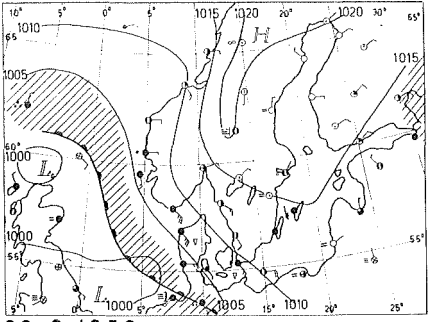
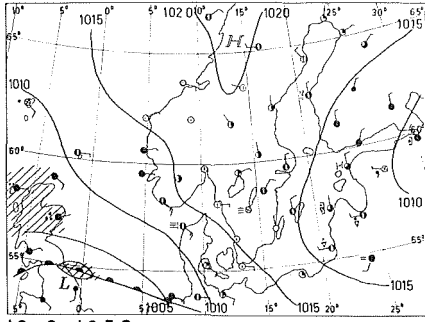
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 9: Die Salzgehalts- und Strömungsverhältnisse im Bereich des Großen Beltes (Halsskov Rev und Gedser Rev) sowie im Bereich des Sundes (Lappegrund und Drogden) in der Zeit vom 15.—29. August 1958.

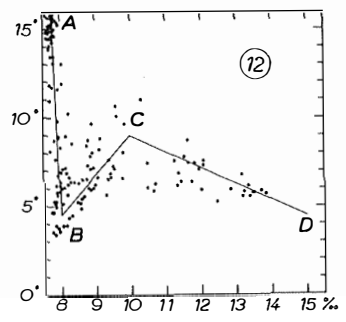
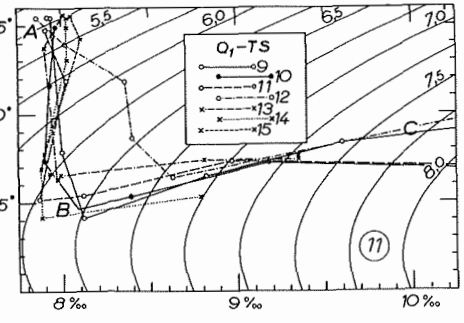
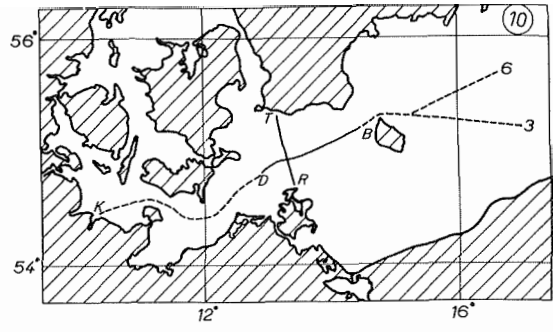
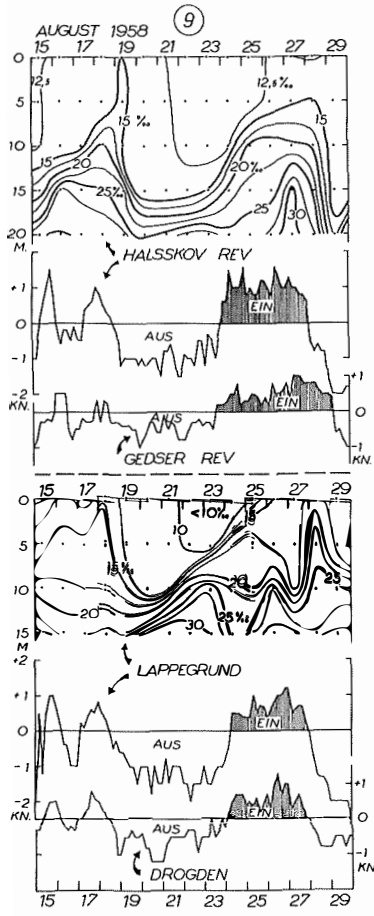
Abb. 10: Die Lage der Quer- und Längsschnitte.

Abb. 11: Das t/S-Diagramm für den ersten Querschnitt Q₁.

Abb. 12: Das t/S-Diagramm für die Beobachtungen im Arkona-Becken.



Tafel 1



Tafel 2

THOMSEN mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat.) Das Feuerschiff „Halsskov Rev“ ist im Großen Belt ($55^{\circ}20,2' \text{ N.}, 11^{\circ}02,8' \text{ E.}$) zwischen Fyn und Sjaelland gelegen. Nahe „Gedser Rev“ ($54^{\circ}27,2' \text{ N.}, 12^{\circ}11,0' \text{ E.}$), in der unmittelbaren Nähe der Kadet-Rinne, müssen die hydrographischen Verhältnisse diejenigen des Großen Beltes wieder spiegeln. „Lappegrund“ ist in der engsten Stelle des Sundes ($56^{\circ}03,6' \text{ N.}, 12^{\circ}37,8' \text{ E.}$) gelegen, während „Drogden“ auf der Drogden-Schwelle ($55^{\circ}32,2' \text{ N.}, 12^{\circ}42,9' \text{ E.}$) südlich des Sundes liegt.

Von den vierstündigen Strombeobachtungen läßt sich feststellen, daß an der Oberfläche während unserer Beobachtungsperiode bis zum 23. 8. Ausstrom herrschte. Der Strom kenterte nahe „Gedser Rev“ schon etwa um 14 Uhr (23. 8.) und nahe „Halsskov Rev“ etwa um 22 Uhr (23. 8.), nahe „Drogden“ etwa um 2 Uhr (24. 8.) und nahe „Lappegrund“ etwa um 6 Uhr (24. 8.). Die täglichen Salzgehaltsbestimmungen für die verschiedenen Tiefen zeigen wieder einmal, daß während einer Periode mit einem Einstrom auch in der obersten Wasserschicht die isohalinen Flächen gegen die Meeresoberfläche ansteigen. Unsere eigenen Beobachtungen können in enge Beziehung mit den obigen Salzgehalts- und Stromverhältnissen gebracht werden.

c. Das durchgeführte hydrographische Programm

Die Arbeiten umfassen Querschnitte (Vgl. Abb. 10, Tafel 2) zwischen Rügen und Trelleborg (R—T), Längsschnitte zum größten Teil zwischen der Darßer Schwelle und Bornholm (D—B), z. T. auch bis zur Kieler Bucht (K) oder bis zur Mittel-Bank (3, 6) verlängert, und eine 69-stündige Dauerstation („Hermann Wattenberg“) im Schnittpunkt von Quer- und Längsschnitt. Die Schnitte wurden teils nach morphologischen teils navigatorischen Gesichtspunkten angelegt. Die Hauptgründe zu dieser Wahl sind jedoch in den früheren Untersuchungen zu sehen.

G. WÜST und W. BROGMUS (1955) stellten nach einer Untersuchungsfahrt unter anderem folgendes fest: „Wir wenden uns noch etwas näher den Schichtungen im Arkona- und Bornholm-Becken zu, die nach den „Südfall“-Beobachtungen eine wesentlich kompliziertere thermische Feinstruktur besitzen, als man bisher angenommen hat“ . . . Es müssen sich „offenbar quantenartig vordringende, von der Darßer Schwelle ausgehende wärmere Wassermassen innerhalb der Salzgehalts- und Dichteübergangsschicht in blättriger Struktur entsprechend ihrer speziellen Dichte eingeschoben und über weite Strecken (ca. 250 km bis zur Mittelbank) und wahrscheinlich auch längere Zeiträume erhalten haben. Das ausgedehnte intermediäre Temperaturminimum . . . wird hierdurch . . . mehrfach aufgespalten . . . Die sich von der Darßer Schwelle aus in verschiedenen Etagen des weiten Dichte-Intervalls der Salzgehalts-Übergangsschicht einschiebenden wärmeren Wassermassen lösen sich mehr und mehr in einzelne Warmwasser-Linsen auf, die offenbar infolge der Herabsetzung der Turbulenz und Vermischung in der Dichteübergangsschicht im Sinne von GEHRKE (1910) räumlich und zeitlich beständig sind und verschiedenen Warmwasser- und Salzeinbrüchen bei dem wetterbedingten Wechsel von Einstrom- und Ausstromlagen ihre Entstehung verdanken.“

Die erwähnte Arbeit kann noch zum Teile als ein vorläufiger Versuch betrachtet werden. Trotzdem sind ihre wichtigsten hydrographischen Ergebnisse durch eine umfassendere Forschungsfahrt vom Jahre 1956 (G. WÜST 1957*, K. K. BANSE 1957 und J. KREY 1957 [* Die Feststellung: „Mit Hilfe des Bathythermographen hat das Finnische Institut für Meeresforschung 1954 auch im östlichen Gotland-Becken an Stationen des Forschungsschiffes „Aranda“, aber oberhalb der Dichte-Sprungschicht, bisher unbekannte Temperatur-Inversionen beobachtet“, muß jedoch ein Mißverständnis sein]) bestätigt worden, wie folgendes zeigt: „Die Vertikalkurven für das Arkona-Becken weisen in Bezug auf die Temperatur . . . jeweils zwischen 10 und 50 m Tiefe fünf unter-

einander gelagerte intermediäre Maxima auf, die eine verschiedene Ausprägung und nur eine geringe vertikale Mächtigkeit (von 2,5 bis 10 m) besitzen. Man kann hier in der Tat von einer blättrigen thermischen Struktur sprechen, die offenbar auf quantenförmige Warmwasser-Intrusionen zurückgeführt werden muß. Besonders großes Ausmaß (bis zu 2°) erreichen diese Temperatur-Inversionen im Bereich der halinen und Dichte-Sprungschicht. Aber auch in der Deckschicht und in der Bodenschicht treten kleinere Temperaturinversionen auf . . . Das Arkona-Becken stellt . . . die bedeutendste Mischpfanne der Ostsee dar, in der durch quantenweise Einschübe schmalere wärmere Wasserkörper unterhalb der salzarmen Deckschicht bis zu vier intermediäre Temperaturmaxima auftreten.“

Wir haben mit unseren Quer- und Längsschnitten die oben erwähnten Ergebnisse teilweise bestätigen, teilweise ergänzen wollen. Dabei wurde besonders auf folgende Punkte Rücksicht genommen:

— Die oben zitierten Resultate beruhen nur auf zwei einmaligen Situationen: 2. bis 3. 7. 1954 und 10.—11. 8. 1956, weswegen zusätzliche Messungen sich fruchtbringend zeigen würden.

— Um die Allgemeingültigkeit eines Längsschnittes zu prüfen, waren Messungen im Rahmen eines Querschnittes notwendig.

— Der Abstand zwischen den Stationen im Arkona-Becken war im Sommer 1954 20 Seemeilen und im Sommer 1956 10 Seemeilen gewesen. Um die Einzelheiten der Hydrographie genauer untersuchen zu können, haben wir Abstände von 3 oder 5 Seemeilen benutzt.

— Sowohl der Längsschnitt als der Querschnitt sollten mehrere Male wiederholt werden, um die Veränderlichkeit der Verhältnisse zu prüfen.

— Die Schnitte sollten mit den kontinuierlichen Messungen einer Dauerstation ergänzt werden.

d. Die quasipermanenten Wasserarten

Um Ordnung in die Mannigfaltigkeit der Temperatur- und Salzgehaltsverteilung zu bringen, müssen wir Definitionen für die verschiedenen quasipermanenten Wasserarten der Ostsee geben. G. Wüstr (1955) führt folgende Definitionen der Wasserarten (A—D, oft nur A—C) an:

A: warmes und brackiges Oberwasser.

B: sehr kaltes und brackiges Zwischenwasser mit intermediärem Temperaturminimum oberhalb des Salzgehaltsgefälles.

C: schräg einfallendes, ca. 20 m mächtiges, kühles Tiefenwasser innerhalb der Salzgehaltsübergangsschicht mit mehreren Temperaturinversionen.

D: etwas wärmeres salzreiches Bodenwasser.

Wenn es sich speziell nur um das Arkona-Becken handelt, können die folgenden Ausdrücke für die obigen Wasserarten gegeben werden, die sich auf deren Ursprungsgebiet beziehen:

A: baltisches Oberwasser.

B: baltisches Zwischenwasser.

C: verhältnismäßig neues Mischwasser (vom Westen).

D: salzreiches (normalerweise altes) Wasser (vom Westen).

Weil man mit dem Ausdruck „Wassermasse“ gewöhnlich Wasser mit einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Salzgehalt meint, beide allerdings innerhalb

eines begrenzten Intervalls, ist der Ausdruck „quasipermanente Wasserart“ eingeführt worden. Die große Veränderlichkeit der Qualität der obigen Wasserarten C und D im Arkona-Becken wird am besten aus der folgenden Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1
Zur Definition der quasipermanenten Wasserarten

Wassermassen (A—D) und Autor	Temperatur	S (‰)	σ_t	O ² (‰)
A. Wüst (1954)	14,6°	8,0	5,4	100
Wüst (1956) ¹⁾	(15,4°)	(7,8)	(5,1)	
HELA (1958)	15,0°	7,8	5,2	
B. Wüst (1954)	5,2°	8,0	6,4	90
Wüst (1956) ¹⁾	(4,5°)	(8,0)	(6,4)	
HELA (1958)	4,5°	8,0	6,4	
C. Wüst (1954)	8,9°	15,7	12,1	75
Wüst (1956) ¹⁾	(12,0°)	(13,0)	(9,7)	
HELA (1958)	9,0°	10,0	7,7	
D. Wüst (1954)	5,6°	20,1	15,9	30
Wüst (1956) ¹⁾	(8,6°)	(15,8)	(12,2)	
HELA (1958)	4,5°	15,0	12,0	

¹⁾ Diese Werte sind nach den originalen t/S-Diagrammen geschätzt worden.

Das t/S-Diagramm für den ersten Querschnitt Q₁, jedoch die bodennahe Schicht ausgenommen, ist als Abb. 11 wiedergegeben, worin man die Wasserarten A, B und C erkennen kann. Nur auf der Station 12, östlich der Möen Bank, ist das Winterwasser weniger deutlich erkennbar. Abb. 12 gibt das t/S-Diagramm für alle Beobachtungen im Arkona-Becken wieder, die Dauerstation jedoch ausgenommen. Das Zeichnen der gebrochenen Linie der Abbildung entspricht einem idealisierten Lauf der t/S-Kurve, wobei der zentrale Teil jeder einzelnen Geraden den durchschnittlichen Wert kennzeichnet, die Wendepunkte dagegen idealisierte Extreme sind. Von dieser Abbildung sind die obigen Temperatur- und Salzgehaltswerte für die verschiedenen Wasserarten des Arkona-Beckens abgelesen worden.

Baltisches Oberwasser, A, finden wir auf jeder Station. Die obigen idealisierten Definitionen des baltischen Winterwassers, B, und des „verhältnismäßig neuen Mischwassers vom Westen“, C, entsprechen nur den Kernen derselben, weil auf mehreren Stationen diese intermediären Wasserarten natürlich durch vertikale Mischungsvorgänge weniger ausgeprägt sind, was sich in Form von abgerundeten Ecken im wahren t/S-Diagramm bemerkbar macht. Nahe der schwedischen Küste reicht die Tiefe des Arkona-Beckens

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)¹⁾

- Abb. 13: Der Temperatur-Querschnitt Q₁. („Hermann Wattenberg“)
- Abb. 14: Der Temperatur-Querschnitt Q₂. („Hermann Wattenberg“)
- Abb. 15: Der Temperatur-Querschnitt Q₃. („Aranda“)
- Abb. 16: Der Temperatur-Querschnitt Q₄. („Aranda“)
- Abb. 17: Der Temperatur-Querschnitt Q₅. („Aranda“)
- Abb. 18: Der Temperatur-Querschnitt Q₅. („Aranda“) (Die Stationen sollten die Nummern 95 bis 106 haben.)

¹⁾ Die Lage der Längs- und Querschnitte in den Tafeln 3—7 ist aus Abb. 10 ersichtlich. Die Übertiefung ist 1250-fach.

oft nicht einmal bis zur Wasserart C. Salzreiches, normalerweise altes Wasser vom Westen, D, trifft man nur an den tiefsten Stellen des Beckens. Hierbei soll auf eine Arbeit von K. KALLE (1943) hingewiesen werden, in der er unter anderem die Bildung der obigen Wasserart D erklärt: „... daß das Tiefenwasser (D) ... durch den stetigen Aussüßungsvorgang inzwischen so leicht geworden ist, daß eine neue von Westen hereindringende schwerere ozeanische Wassermasse das alte Tiefenwasser (D) verdrängt und aus dem Becken ausräumt, so daß das Spiel der langsamen Aussüßung der allmählich alternden Wassermasse von neuem beginnen kann.“

e. Die Querschnitte

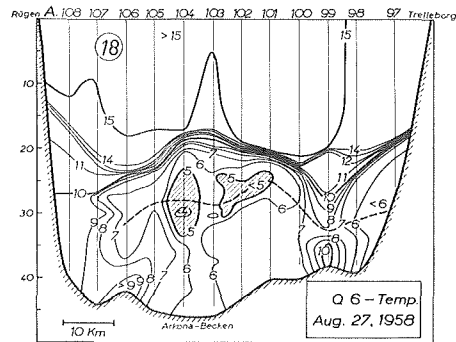
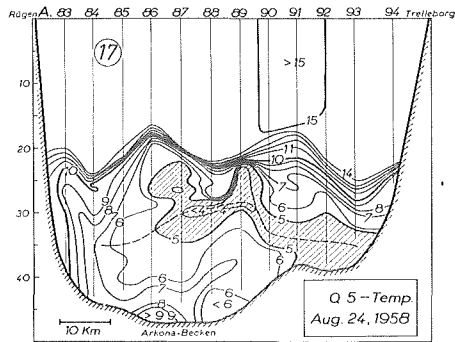
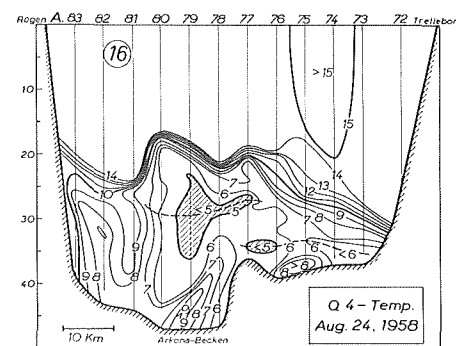
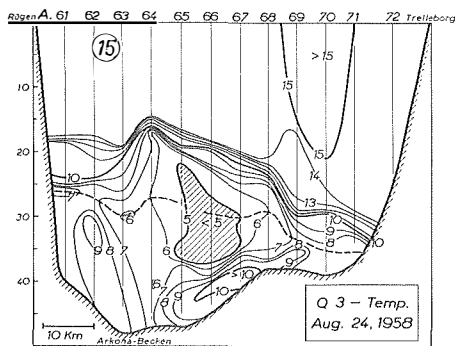
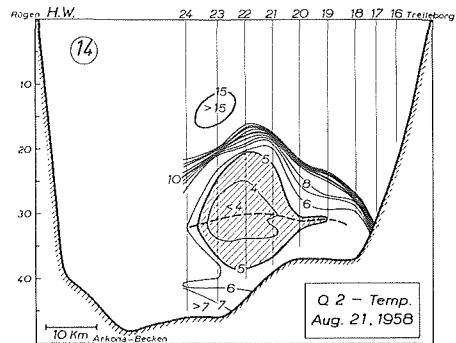
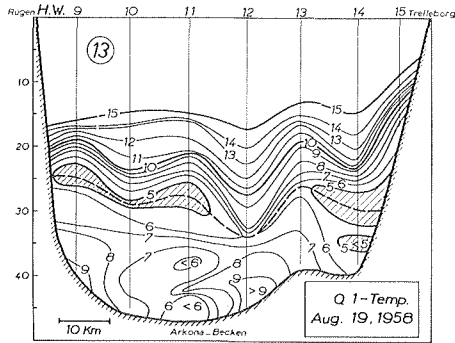
In der folgenden Betrachtung der hydrographischen Verhältnisse des Arkona-Beckens können jetzt die Wasserarten als brauchbare Ausdrücke benutzt werden, allerdings mit den obigen Begrenzungen. In Tafel 3 werden zuerst die sechs Temperatur-Querschnitte für den 19., 21., 24., 24., 24. und 27. 8. gegeben. Die Reihenfolge der Stationen gibt gleichzeitig die Laufrichtung des entsprechenden Schiffes. Es muß angedeutet werden, daß die „Aranda“-Schnitte am 24. 8. so durchgeführt wurden, daß der Q_3 vom Süden nach Norden, der Q_4 vom Norden nach Süden und der Q_5 wieder vom Süden nach Norden lief. Deswegen ist das Zeitintervall zwischen dem dritten und dem fünften Querschnitt ungefähr konstant und zwar 10,5 Stunden, wohingegen das Zeitintervall zwischen den einzelnen Punkten des dritten und vierten sowie des vierten und fünften Schnittes zwischen 0 und 11 Stunden variiert. Die schraffierten Flächen entsprechen dem Wasser mit Temperaturen unter 5°C . Die gebrochenen Linien geben die Lage des Kernes des baltischen Winterwassers wieder. In vielen Fällen hat es normalerweise mehrere Möglichkeiten gegeben, die Isothermen zu zeichnen. Wie jeder erfahrene Leser ersehen kann, ist diese Wahl der Kurvenkonstruktion im Zusammenhang mit den Querschnitten viel einfacher gewesen als mit den Längsschnitten. Es muß auch darauf hingewiesen werden, daß die 1250-fache Übertiefung in all den folgenden Tafeln normalerweise das Aussehen der Warmwasser- und Kaltwasserschichten mehr oder weniger linsenartig oder sogar ballenartig macht. In der Wirklichkeit handelt es sich natürlich um sehr dünne „Blätter“.

Man kann sofort feststellen, daß man ziemlich verschiedene Verteilungen der Temperatur an verschiedenen Tagen, ja, sogar an demselben Tage findet. Die Abweichungen längs des Querschnittes zeigen auch, daß nicht besonders allgemeingültige Schlüsse mittels eines Längsschnittes (oder nur eines Querschnittes) gezogen werden können. Es sei auch erwähnt, daß der vertikale Verlauf der Temperatur auf vielen Stationen auf die blättrige Struktur der Schichtung deutet, wie auch aus den Schnitten ersichtlich ist.

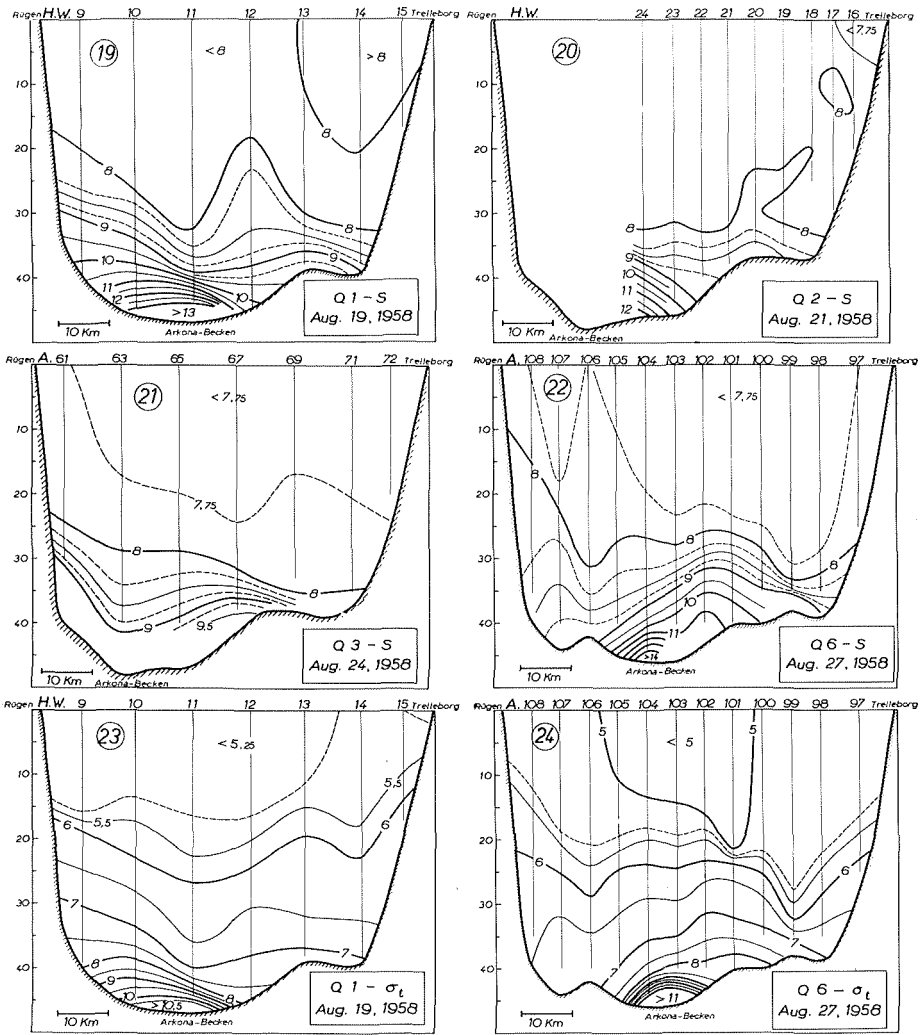
Die untere Grenze des baltischen Oberwassers ist durch die Temperatur-Sprungschicht, zum Beispiel durch die 10° -Isotherme, definiert. Diese Sprungschicht scheint in

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

- Abb. 19: Der Salzgehalt-Querschnitt, Q_1 . („Hermann Wattenberg“)
 Abb. 20: Der Salzgehalt-Querschnitt, Q_2 . („Hermann Wattenberg“)
 Abb. 21: Der Salzgehalt-Querschnitt, Q_3 . („Aranda“)
 Abb. 22: Der Salzgehalt-Querschnitt, Q_6 . („Aranda“) (Die Stationen sollten die Nummern 95 bis 106 haben.)
 Abb. 23: Der Dichte-Querschnitt, Q_1 . („Hermann Wattenberg“)
 Abb. 24: Der Dichte-Querschnitt, Q_6 . („Aranda“) (Die Stationen sollten die Nummern 95—106 haben.)



Tafel 3



Tafel 4

jedem Querschnitt eine wellige Form zu haben. Die Sprungschicht ist am 19. 8. ziemlich aufgelockert und hat verhältnismäßig kleine Werte der vertikalen Gradienten, wird aber schon vor dem 21. 8. durch die östlichen Winde ganz scharf und bleibt so während der ganzen Periode der Messungen.

Der Kern des baltischen Winterwassers, der durch die gebrochene Linie angedeutet ist, scheint im großen und ganzen den internen Schwankungen der Temperatur-Sprungschicht zu folgen. Am 19. 8. wird der Kern nur im Süden und im Norden des Schnittes, aber nicht ebenso deutlich in der Mitte, beobachtet. Schon am 21. 8. ist das Bild gänzlich anders geworden. Der Kern des baltischen Winterwassers befindet sich jetzt nördlich der Mitte des Schnittes; dabei ist seine Tiefenlage unverändert geblieben. Inzwischen ist der Wind östlich und mäßig gewesen. Noch drei Tage später, am 24. 8. früh am Vormittag, als der Wind vom Westen zeitweise mit einer Stärke von 8 Bft. weht, finden wir den Kern des Winterwassers genau in der Mitte des Schnittes. Aber schon am demselben Abend, als der Wind nur noch eine Stärke von 5 bis 4 Bft. zeigt, hat der Kern sich von der Mitte bis zu der schwedischen Küste verbreitert. Die Änderungen in der Lage des kältesten Wassers deuten also auf sehr schnelle advektive transversale (und wohl auch longitudinale) Vorgänge.

Jeder Querschnitt zeigt die Existenz des Tiefenwassers C etwa unterhalb der Tiefe von 35 m. Bodenwasser, das im August 1958 als altes und sauerstoffarmes Wasser auftrat, treffen wir eigentlich nur in folgenden Fällen: Q_1 —St. 11, (Q_2 nahe St. 24), Q_3 —St. 64, Q_5 —St. 88, Q_6 —St. 103—104, und überall unterhalb der Tiefe von 43 m. Dadurch wird ersichtlich, daß das Bodenwasser kaum irgendwelchen advektiven Vorgängen unterworfen war. Der große Dichtesprung oberhalb des Bodenwassers zusammen mit der normalerweise fehlenden Advektion erklärt das Altern des Bodenwassers, was aus den niedrigen Sauerstoffwerten zu ersehen ist (Vgl. Abb. 25).

In Tafel 4 sind zunächst die Salzgehalt-Querschnitte für den 19., 21., 24., und 27. 8. wiedergegeben. Es ist eindeutig, daß die Verteilung des Salzgehaltes viel einfacher ist als diejenige der Temperatur, sie ist durch einen positiven Gradienten gekennzeichnet. Die untere Grenze des baltischen Winterwassers kann man in diesem Falle durch die 9‰ -Isohaline ziehen. Desgleichen könnte man die Grenze zwischen den Wasserarten C und D längs der 12‰ -Isohaline ziehen. Schon G. Wüst (1957) hat erwähnt: „In den Zustandskurven des Salzgehaltes und der Dichte verraten sich diese thermischen Diskontinuitäten lediglich durch treppenförmige Milderungen des vertikalen Gradienten.“ Wenn wir noch hinzufügen, daß es sich meistens um Temperaturen nahe derjenigen des Dichtemaximums handelt, wird es klar, daß der Einfluß einer Temperatur-Diskontinuität auf die Dichte äußerst gering und deswegen einfach zu kompensieren ist.

In Tafel 4 sind ferner die Dichte-Querschnitte Q_1 und Q_6 gegeben. Die obigen Grenzen der fraglichen Wasserarten entsprechen den σ_t -Werten 5,5, 7 und 9. Schließlich erkennt man auch in der Verteilung des Sättigungsgrades des Sauerstoffes (Abb. 25,

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 25: Der Sauerstoff-Querschnitt Q_6 . („Aranda“) (Die Stationen sollten die Nummern 95—106 haben.)

Abb. 26: Die Änderungen in der vertikalen Verteilung der Temperatur zwischen den Querschnitten Q_3 und Q_5 , d. h. in 10,5 Stunden. („Aranda“)

Abb. 27: Der Temperatur-Längsschnitt L_1 , Kieler Bucht—Darßer Schwelle. („Hermann Wattenberg“)

Abb. 28: Der Salzgehalts-Längsschnitt L_1 , Kieler Bucht—Darßer Schwelle. („Hermann Wattenberg“)

Abb. 29: Der Dichte-Längsschnitt L_1 , Kieler Bucht—Darßer Schwelle. („Hermann Wattenberg“)

Tafel 5) dieselben Wasserarten. Die Grenze zwischen den Wasserarten B und C ($\sigma_t \sim 7$, Abb. 24) fällt zusammen mit dem starken Gefälle des Sauerstoffes (etwa 80%). Diese untere Grenze der winterlichen Durchlüftung ist schon durch R. WITTING (1912) bekannt, erst K. BANSE (1957) hat aber auf die Stärke des Gefälles die Aufmerksamkeit gerichtet.

Die Querschnitte Q_3 und Q_5 wurden an demselben Tage und in derselben Reihenfolge der Stationen durchgeführt. Die Zeitspanne zwischen den Schnitten war 10 bis 11 Stunden. Deswegen ist es interessant, nachzusehen, welche Temperaturänderungen vorgekommen sind (Abb. 26, Tafel 5). Zuerst muß man sich jedoch daran erinnern, daß der Westwind während der Meßperiode von Stärke 8 auf 4 abflaute. Die beobachteten Temperaturänderungen sind recht mannigfaltig und größer als das, was man hätte vermuten können: an der Temperatur-Sprungschicht zwischen dem baltischen Oberwasser und dem baltischen Winterwasser wird sie größer als $+6^\circ$ bzw. -6° , und sogar am Boden größer als -4° . Die Änderungen an der Temperatur-Sprungschicht deuten darauf hin, daß die Temperatur während des Tages im Süden gestiegen und im Norden gefallen ist, das heißt, die Sprungschicht ist am Morgen mehr geneigt gewesen als am Abend. (Am Morgen lag sie im Süden in 18 m, im Norden in 30 m; am Abend in ca. 25 m Tiefe auf beiden Seiten.) Die unerwartete Anfangsneigung der Sprungschicht und auch des Kernes des baltischen Winterwassers könnte man vielleicht sogar als eine Folge von dem reichlichen Einströmen des wärmeren westlichen Wassers unterhalb des Winterwassers und vor allem längs der deutschen Küste erklären, wodurch die Sprungschicht angehoben wurde. Es ist jedoch offensichtlich, daß die große Anfangsneigung — trotz des momentan starken westlichen Windes — nicht die mit einer Westlage verbundene stationäre Neigung ist, sondern eine Neigung, die auf die früher vorherrschend gewesenen schwachen östlichen Winde und auf die nahezu normalen (d. h. durchschnittlichen) Strömungsverhältnisse zurückzuführen ist. Erst die Null-Neigung am Abend desselben Tages ist durch die westlichen Winde und die hierdurch bedingten Strömungen verursacht worden. Interessant ist auch die Tatsache, daß die Sprungschicht trotz der Neigungsänderungen ihre wellige Form beibehält. Mit dieser Schwingung der Sprungschicht ist auf jeden Fall auch die oben erwähnte rasche, lokale nordwärts gerichtete Verbreitung des baltischen Winterwassers verbunden (Vgl. Abb. 17).

Während desselben Meßintervalles, das in Bezug auf jede Station nur 10,5 Stunden beträgt, sank die Temperatur am Boden um mehr als 4° . Diese Temperaturänderung ist dadurch entstanden, daß sich am Morgen des fraglichen Tages (Abb. 15) neues „Kattegatwasser“ mit einer Temperatur höher als 10° keilförmig gegen Osten bewegte. Während des Tages wurde aber dieser Keil durch älteres und kälteres „Kattegatwasser“ wieder zur Seite geschoben.

f. Die Längsschnitte

In Tafel 5 sind die „Hermann Wattenberg“-Längsschnitte zwischen der Kieler Bucht und der Darßer Schwelle wiedergegeben (und ebenso als Abbildungen 38 und

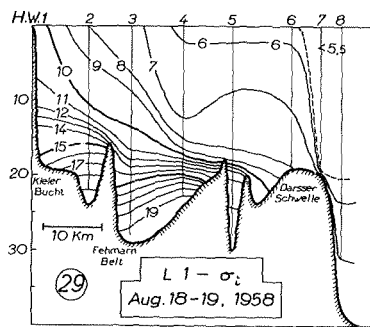
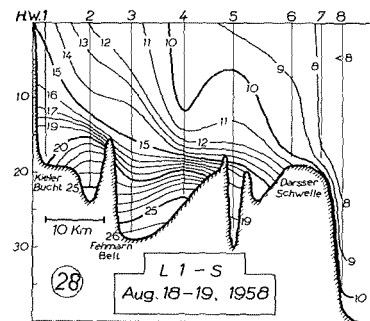
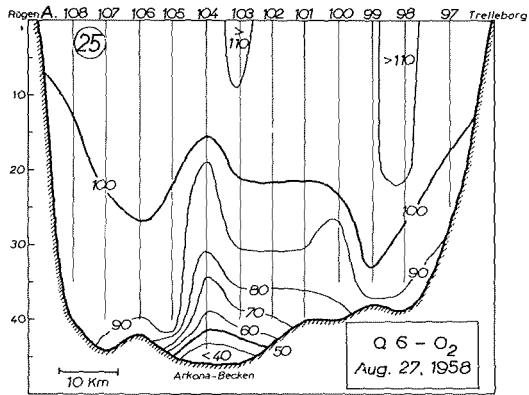
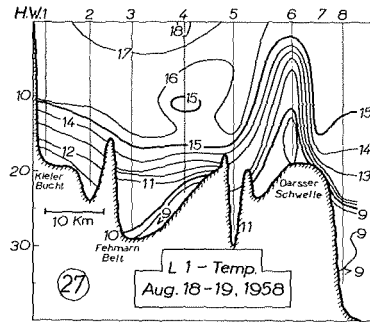
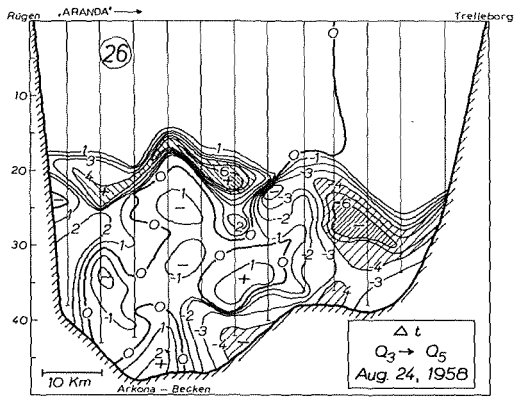
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

Abb. 30: Der Temperatur-Längsschnitt L_2 , Darßer Schwelle—nahe Bornholm. („Hermann Wattenberg“)

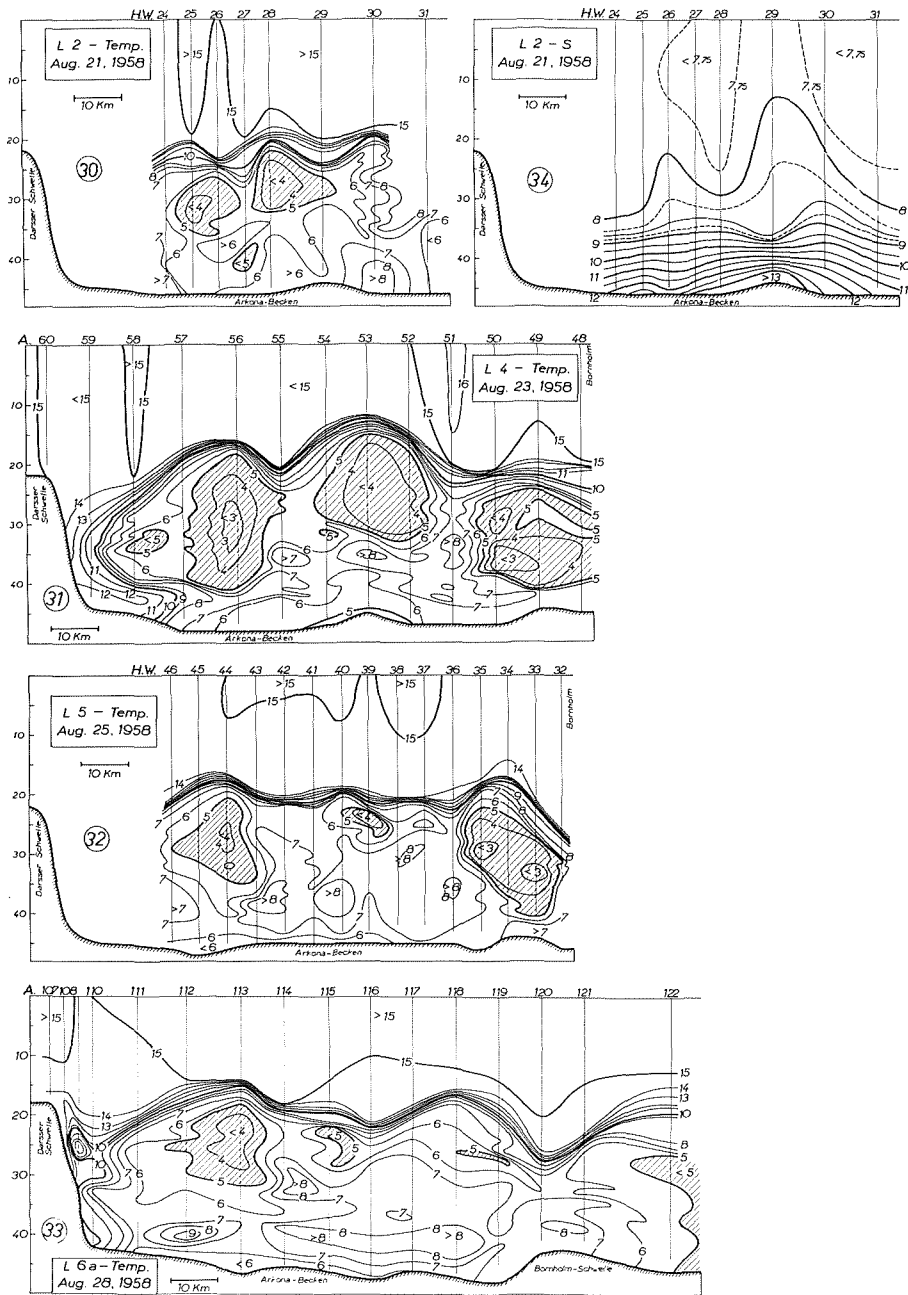
Abb. 31: Der Temperatur-Längsschnitt L_4 , Darßer Schwelle—Bornholm. („Aranda“)

Abb. 32: Der Temperatur-Längsschnitt L_5 , Darßer Schwelle—Bornholm. („Hermann Wattenberg“)

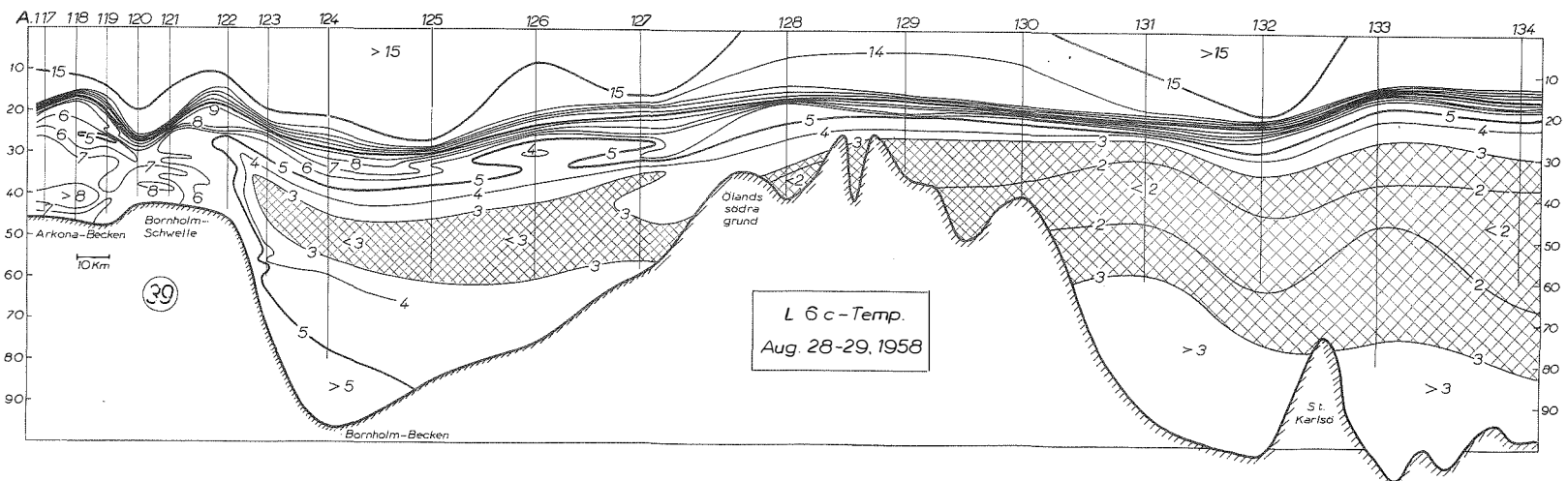
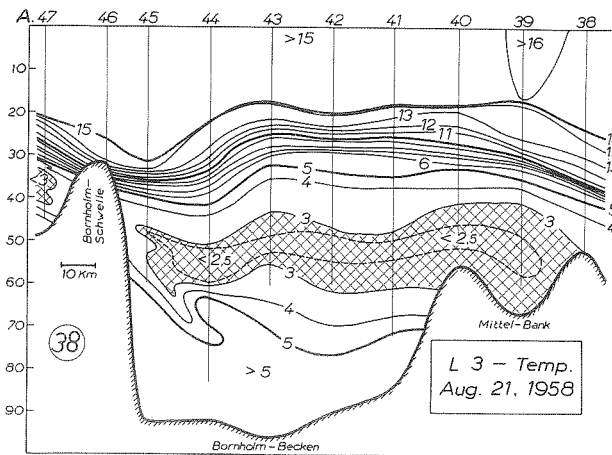
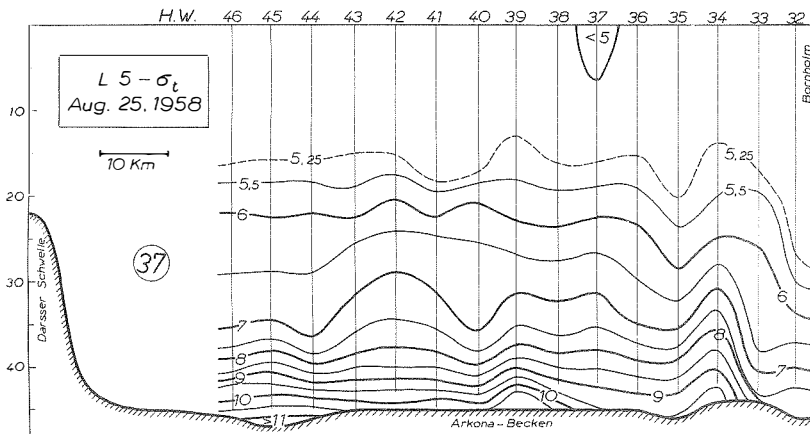
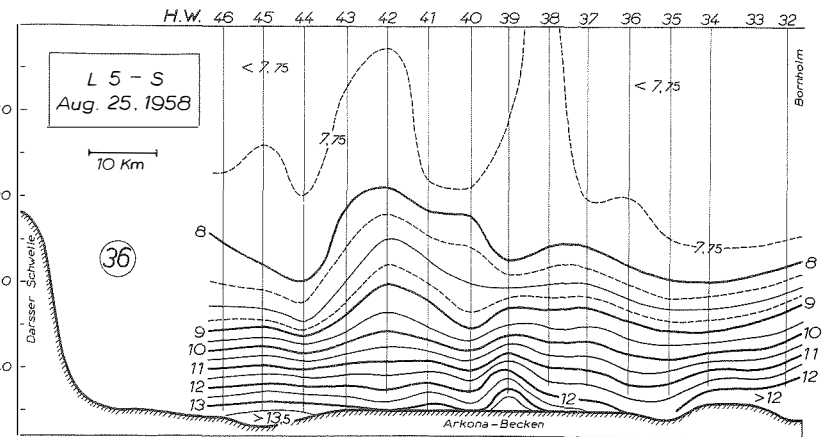
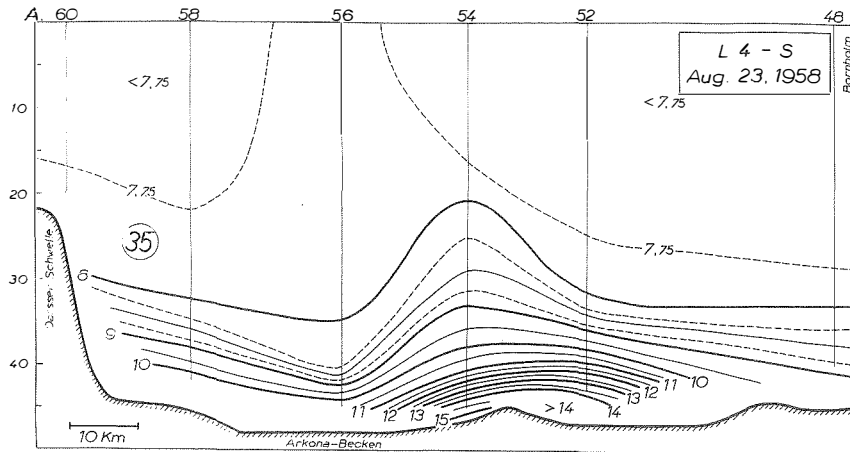
Abb. 33: Der Temperatur-Längsschnitt L_{6a} , Darßer Schwelle—Bornholm Schwelle. („Aranda“)



Tafel 5



Tafel 6



39 der Tafel 7 die Temperatur-Längsschnitte der „Aranda“ östlich der Bornholm-Schwelle), um die Erscheinungen des Arkona-Beckens im Rahmen des ganzen südlichen Teiles der Ostsee auswerten zu können. Genau in derselben Weise wie G. Wüst (1957) schon beobachtet hat, können auf den seichten Schwellen nur Baltisches Oberwasser, A, und Tiefenwasser, C, vorkommen. Das im Winter überall entstehende baltische Winterwasser wird später nach der Formation des Oberwassers durch die beschleunigten advektiven Vorgänge schnell von den Schwellen weggeschoben. Das Bodenwasser, D, kriecht nur in Ausnahmefällen über die Schwellen. — In den Abbildungen 27—29 kommt das Einfließen des neuen Mischwassers vom Westen in das Arkona-Becken deutlich zum Ausdruck.

Die eigentlichen Längsschnitte (Tafel 6) wurden am 21., 23., 25. und 28. 8. durchgeführt. Im Typus sind die Längsschnitte einander ähnlich und durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet:

- auch in der longitudinalen Richtung wellige Form der Temperatur-Sprungschicht;
- Eindringen des neuen Mischwassers vom Westen [in der Tiefe von 42 m (Abb. 31) oder von 30 m und 40 m (Abb. 33)];
- altes stagnierendes Wasser am Boden;
- „tropfenweise“ Vorkommen des baltischen Winterwassers;
- eine große Anzahl von Wasser-„Blättern“ verschiedener Art (d. h. eine vertikale thermische „Unruhe“ auf den meisten Stationen).

Das Vorkommen jener Tropfen, verbunden mit entsprechenden Wellen der Sprungschicht deutet auf interne Wellen, wobei allerdings die Anzahl der Schnitte zu begrenzt und die Zeitintervalle zwischen ihnen zu willkürlich waren, um rein empirische Betrachtungen der Wellen zu ermöglichen. Die entsprechenden Salzgehalts-Längsschnitte L_2 , L_4 und L_5 sind in der Tafel 7 wiedergegeben. Man ersieht aus der vertikalen Verteilung des Salzgehaltes und der Dichte (Abb. 37) ungefähr dasselbe, was schon im Zusammenhange mit den Querschnitten gesagt worden ist.

g. Allgemeine Schlüsse

Schließlich haben wir noch die Abbildungen 38 und 39 (Tafel 7), die die vertikale Verteilung der Temperatur östlich der Bornholm-Schwelle zeigen. Gemäß dieser Längsschnitte gibt es keine direkte Verbindung zwischen dem baltischen Winterwasser ($< 3^\circ$) des Bornholm-Beckens (oder der eigentlichen Ostsee) und demjenigen des Arkona-Beckens. Allerdings fehlt uns ein Querschnitt zwischen Bornholm und der schwedischen Küste, um ganz sicher über das Fehlen der direkten Verbindung sein zu können. Dessen ungeachtet müssen wir feststellen, daß im August 1956 die kälteste beobachtete Temperatur im baltischen Winterwasser des Arkona-Beckens $7,3^\circ$, im August 1958 dagegen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 7)

- Abb. 34: Der Salzgehalt-Längsschnitt L_2 , Darßer Schwelle—nahe Bornholm. („Hermann Wattenberg“)
- Abb. 35: Der Salzgehalt-Längsschnitt L_4 , Darßer Schwelle—Bornholm. („Aranda“)
- Abb. 36: Der Salzgehalt-Längsschnitt L_5 , Darßer Schwelle—Bornholm. (Hermann „Wattenberg“)
- Abb. 37: Der Dichte-Längsschnitt L_5 , Darßer Schwelle—Bornholm. („Hermann Wattenberg“)
- Abb. 38: Ter Temperatur-Längsschnitt L_3 , Bornholm Schwelle—Mittel-Bank. („Aranda“)
- Abb. 39: Der Temperatur-Längsschnitt L_6c , Bornholm Schwelle—Mittel-Bank und weiter nach Norden zwischen Öland und Gotland. („Aranda“)
- Die Lage der Längsschnitte ist aus Abbildung 10 ersichtlich. (L_5 : D—B, L_3 : B—3, L_6c bis zur Station 127: B—6.) Die Übertiefung ist 1250-fach.

nur 2,8° betrug. Daraus ersieht man, daß die Änderungen von Jahr zu Jahr auch in dieser Hinsicht bedeutend sein können.

Obwohl man vielleicht aus der ziemlich unveränderten Tiefenlage des baltischen Winterwassers den Schluß ziehen könnte, daß dasselbe sich nicht viel bewegen kann, zeigen unter anderem die Querschnitte schnelle und beträchtliche advective Verschiebungen. Es ist wohl kaum möglich, daß sich dieses kalte Zwischenwasser in jener flachen "Mischpfanne der Ostsee" seit der vorigen winterlichen Vertikal-Konvektion bis Ende August hin und her verschieben könnte, ohne mit dem umgebenden Wasser gemischt zu werden. Obwohl die vertikalen Dichtegradienten ziemlich beträchtlich sein können, muß man wohl doch annehmen, daß die obigen „Tropfen“ des baltischen Winterwassers (im Arkona-Becken) aus dem Bornholm-Becken stammen. Schon K. KALLE (1953) hat auf diese Möglichkeit hingewiesen: „Aus den auf der gleichen Untersuchungsfahrt angestellten Messungen in den benachbarten Meeresgebieten geht einwandfrei hervor, daß das eigentliche Gebiet der Kaltwassermasse wie üblich weiter östlich im Bornholm-Becken (und in der freien Ostsee) liegt. Es hat demnach den Anschein, als ob bei den Schwingungen, denen die Wassermassen der Ostsee als Ganzes sowie die ihrer einzelnen Becken unterliegen, ständig eine „Zunge“ dieses kalten Zwischenwassers aus dem Bornholm-Becken über die zwischen der Nordwest-Ecke Bornholms und der schwedischen Küste liegende Schwelle in das Arkona-Becken hineingepreßt und mit der Gegenschwingung wieder zurückgezogen wird ... daß das Vordringen dieser Kaltwassermasse nicht in geschlossener Front vor sich geht, sondern daß in dem Übergangsgebiet eine äußerst fein durchgearbeitete geradezu fingerförmige Verzahnung der Warm- und Kaltwassermassen vorliegt, wobei die Dicke dieser einzelnen Verzahnungsäste bis auf Größenordnungen von weniger als einem Meter heruntergehen kann.“ Es scheint, als ob wir in unseren Längsschnitten im Arkona-Becken sowohl die sommerlichen Warmwasserintrusionen über die Darßer Schwelle als auch die abgerissenen Teile der (nach dem vorigen Winter herangestoßenen) „Zunge“ des Kaltwassers (im Sinne von K. KALLE) gefunden hätten.

Schließlich kann noch festgestellt werden, daß das Arkona-Becken sicherlich die Mischpfanne der Ostsee genannt werden kann (G. WÜST 1957), wie auch die obigen Betrachtungen gezeigt haben. Die Mischungsvorgänge laufen jedoch in noch komplizierterer Weise ab als früher angenommen worden ist. Die zeitlichen Veränderungen im Meere, also besonders in der Ostsee, können anscheinend viel schneller vor sich gehen und viel beträchtlicher sein, als im allgemeinen vermutet wird. Dessenungeachtet darf man doch das Geschehen im Arkona-Becken nicht als charakteristisch für die ganze Ostsee ansehen.

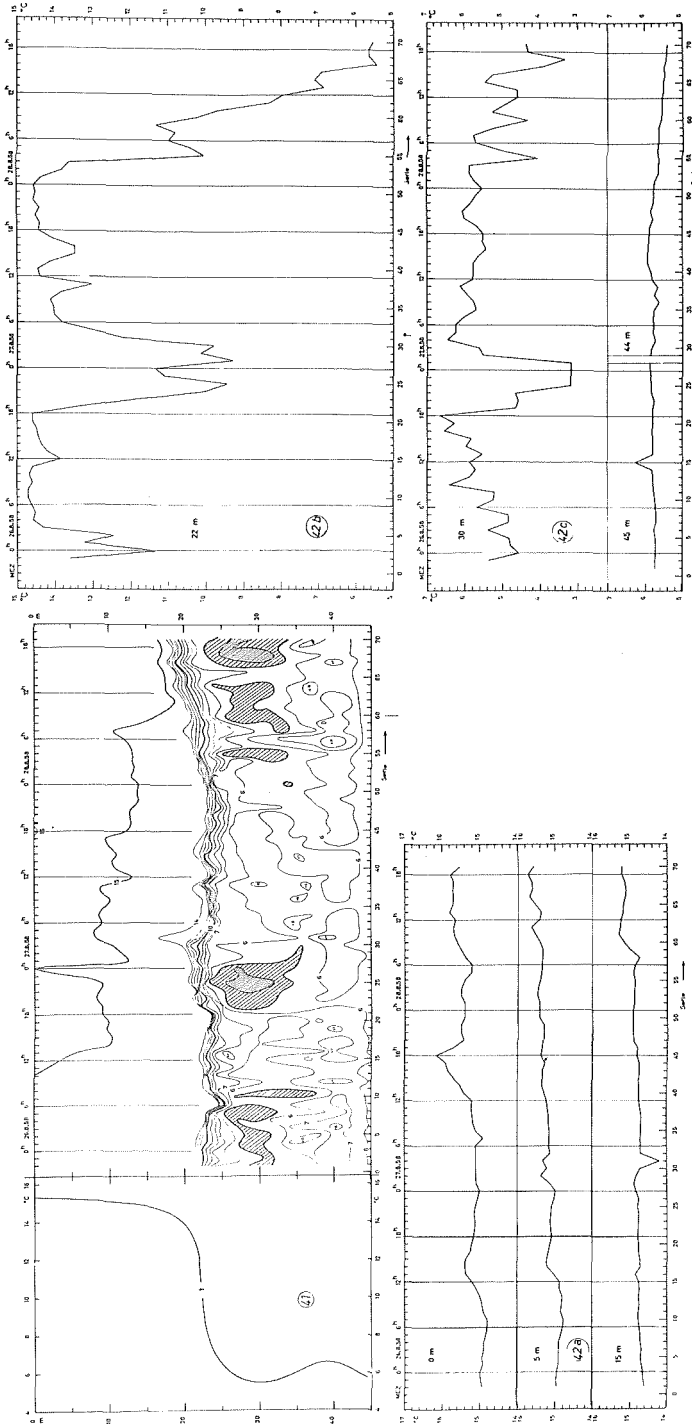
IV. Analyse der Ankerstation H. W. 47

Bei der Planung der Ankerstation war davon ausgegangen worden, daß in der Ostsee in Zusammenhang mit den bekannten Seiches der Meeresoberfläche interne Schwingungen zu erwarten seien, deren Wellenlänge evtl. auf den hydrographischen Schnitten zu erkennen sein würde und deren Periode sich aus den zeitlichen Verlagerungen der Isothermen auf der Ankerstation berechnen ließe.

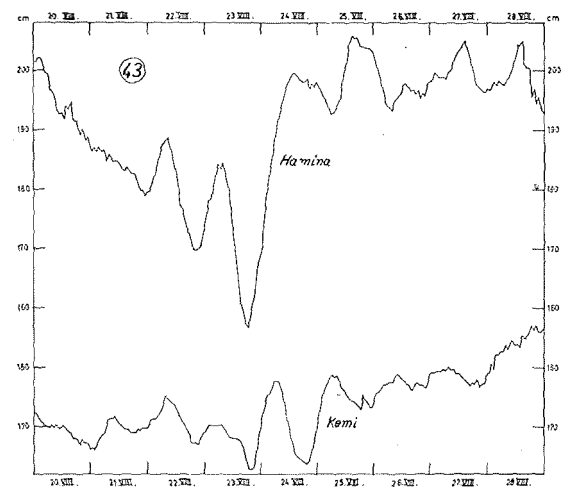
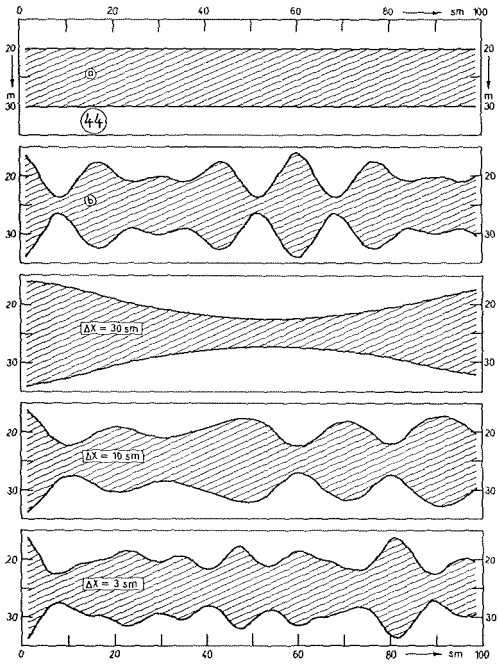
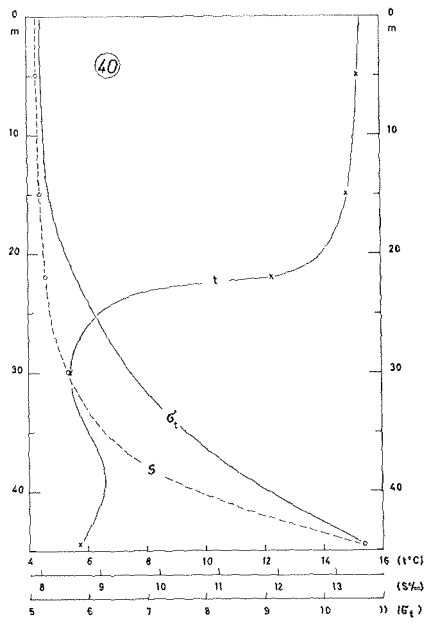
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

Abb. 41: 69-stündiger Mittelwert der Temperatur sowie Isoplethenbild der Temperaturverteilung für den 69-stündigen Zeitraum auf Ankerstation H. W. 47.

Abb. 42 a—c: Zeitliche Änderung der Temperatur in 0, 5, 15, 22, 30 und 45 m Tiefe während der 69-stündigen Ankerstation H. W. 47.



Tafel 8



Tafel 9

a. Das Material

„Hermann Wattenberg“ ankerte in der Zeit vom 25. August 1958, 22^h bis 28. August 1958, 19^h auf der Position $\varphi = 54^{\circ}54,8'N$ und $\lambda = 13^{\circ}19,7'E$ nahe dem Schnittpunkt des Längs- und Querprofiles. Die Wassertiefe betrug 46 m. Im einstündigen Abstand, beginnend um 22^h wurde jeweils eine hydrographische Serie mit den Solltiefen 0, 5, 15, 22, 30 und 45 m sowie eine kontinuierliche Registrierung von Temperatur, elektrischer Leitfähigkeit und Druck mittels Bathysonde durchgeführt. Die Witterungsverhältnisse sind im Abschnitt III a beschrieben worden; soweit die besonderen lokalen Verhältnisse für die Ankerstation von Bedeutung sein können, sind sie in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2
Wind und Luftdruck während der Ankerstation H. W. 47 in
 $54^{\circ}54,8'N$; $13^{\circ}19,7'E$

Datum	Zeit (MEZ)	Windrichtung und -stärke	Luftdruck (mb)
25. 8. 1958	20.00	SW 4	1006
	24.00	SW 2	1006
26. 8. 1958	5.00	SW 2	1007
	8.00	SW 2	1008
	12.00	SW 3	1009
	16.00	WSW 5	1010
	20.00	W 4	1012
	24.00	WNN 5	1014
27. 8. 1958	4.00	W 5	1015
	8.00	NW 4	1016
	12.00	NW 3	1018
	16.00	NNW 2	1018
	20.00	SW 3	1019
	24.00	SW 2	1019
28. 8. 1958	4.00	SW 2	1019
	8.00	ESE 2	1020
	12.00	ESE 3	1020
	16.00	ESE 5	1020
	20.00	E 5	1019

Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit konnten während dieses ersten systematischen Einsatzes der Bathysonde leider nicht als Basis einer kontinuierlichen Salzgehaltsregistrierung dienen. Daher wurde bei der Auswertung der Meßergebnisse der Schwerpunkt auf die Temperaturen gelegt, zumal die Messungen völlig auf die thermische Sprungschicht und deren Verhalten ausgerichtet waren. Um die zeitlichen Schwankungen genau zu erfassen, wurden die Temperaturregistrierungen der Bathysonde zusammen mit den Temperaturwerten der hydrographischen Serien großmaßstabig aufgetragen und etwaige Fehler eliminiert.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 9)

- Abb. 40: 69-stündige Mittelwerte der Temperatur, des Salzgehaltes und der Dichte auf der Ankerstation H. W. 47.
Abb. 43: Schwankungen des Wasserstandes bei den finnischen Stationen Hamina und Kemi in der Zeit vom 20. 7.—28. 7. 1958.
Abb. 44: Aufnahmen der Grenzflächenwellen in einem Dreischichtenmodell bei wechselndem Stationsabstand.

Abb. 40 (Tafel 9) gibt das 69-stündige Mittel der vertikalen Verteilungen von Temperatur t , Salzgehalt S und Dichte σ_t auf Grund der hydrographischen Messungen in den Solltiefen (NANSENSche Wasserschöpfer) wieder. Dem Verlauf der Dichte ist zu entnehmen, daß die Temperatursprungschicht — wie bereits oben erwähnt — trotz des Temperaturabfalles von nahezu 10°C nur von untergeordneter Bedeutung für die Schichtung ist. Diese wird vielmehr eindeutig vom Salzgehalt bestimmt. Wie wenig jedoch eine solche mittlere Verteilung repräsentativ ist, zeigt — in Ergänzung zu den Längs- und Querprofilen — Abb. 41 Tafel 8, in welcher die Temperatur unter Berücksichtigung der Bathysondenregistrierungen für die gesamte Dauer der Ankerstation dargestellt ist. Weit schraffierte Gebiete bezeichnen Temperaturen unter 5°C , eng schraffierte solche unter 4°C . Im linken Teil der Abbildung ist die mittlere Temperaturkurve angegeben.

Während des Beobachtungszeitraumes stieg die Temperatur in der Deckschicht, wie dem Verlauf der 15° -Isotherme zu entnehmen ist, allmählich an. Die Temperatursprungschicht weist ebenfalls, insbesondere am Schluß des Beobachtungszeitraumes, eine deutliche Hebung auf. Besonders auffällig ist das Auftreten und Verschwinden des baltischen Winterwassers in Tiefen um 30 m. Temperaturen unter 4°C werden während eines Zeitintervalles von 39 Stunden nicht gemessen (27. 8. 1958 1^{h} bis 28. 8. 1958, 15^{h}). Der Abbildung ist ferner zu entnehmen, daß Perioden starker vertikaler Temperaturschichtung mit solchen geringer Schichtung abwechseln, ein Vorgang, der auf gegenläufige Bewegungen in den oberen und unteren Schichten schließen läßt.

Um ein klareres Bild von den zeitlichen Schwankungen der Temperatur zu erhalten, wurde für die Solltiefen 0, 5, 15, 22, 30 und 45 m die Temperatur als Funktion der Zeit dargestellt (Abbildungen 42a, b, c). An der Meeresoberfläche ist der 28-stündige Abstand der beiden Temperaturmaxima (26. 8. 1958 14^{h} und 27. 8. 1958 18^{h}) auffallend, da dies mit der bekannten Seichesperiode Ostsee—Finnischer Meerbusen übereinstimmt. Obgleich durch den gleichlaufenden Tagesgang der Temperatur diese Periode eine Verstärkung erfährt, kann man ihre Realität für die oberen Schichten doch als gesichert annehmen, denn die zu diesen Maxima gehörenden Minima (27. 8. 1958, 4^{h} und 28. 8. 1958, 8^{h}) sind in 15 m Tiefe durch markante Einschnitte in dem sonst fast geradlinigen Verlauf deutlich erkennbar.

In 22 m Tiefe, d. h. in der Sprungschicht, erreichen die Temperaturschwankungen ihre maximalen Beträge. Am 28. 8. 1958 fällt dort die Temperatur im 16 Stunden um mehr als 9°C ab. Während auch in dieser Tiefe wiederum eine Periode von 25 bis 28 Stunden dominiert (ausgeprägte Minima am 25. 8. 1958, 0^{h} ; 27. 8. 1958, 1^{h} ; 28. 8. 1958, 4^{h}), scheinen in 30 m Tiefe neben dieser auch kürzere Perioden aufzutreten. Darauf soll im Einzelnen später eingegangen werden.

V. Deutung auf der Basis der internen Wellen

a. Die Oberflächenseiches der Ostsee

In einer grundlegenden Arbeit hat G. NEUMANN (1941) die Perioden der Oberflächenseiches der Ostsee ermittelt. Wie in jedem abgeschlossenen oder nahezu abgeschlossenen Meeresraum führen die Wassermassen der Ostsee unter dem Einfluß der Wind- und Luftdruckschwankungen Eigenschwingungen durch. Die Schwingungsformen werden durch die Bodentopographie und durch den Küstenverlauf maßgebend beeinflusst. Ohne direkte Berücksichtigung der Erdrotation erhält G. NEUMANN für das Meeresgebiet Ostsee — Finnischer Meerbusen eine Periode von $27,5 \pm 0,7$ Stunden für die Grundschwingung und $17,6 \pm 0,6$ Stunden für die erste Oberschwingung. Ferner ergeben sich Anzeichen für eine zweite Oberschwingung von 11,5 Stunden. Das System Ostsee—

Bottnischer Meerbusen hat nach G. NEUMANN im Falle der Grundschiwung eine Periode von $39,0 \pm 0,4$ Stunden.

Die genannten Werte weichen recht erheblich von denen W. DUBOWS (1935) ab, der experimentell für das System Ostsee—Finnischer Meerbusen die Werte $30^h 12^m$, $24^h 13^m$ und $13^h 43^m$, für das System Ostsee—Bottnischer Meerbusen $48^h 13^m$ erhielt. Da aber die Resultate G. NEUMANNs nach zwei voneinander unabhängigen numerischen Methoden [A. DEFANT (1918) und (1925) sowie K. HIDAHA (1936)] erhalten wurden, außerdem auch die Ausgangsgleichung von G. CHRYSTAL (1905) zumindest die Bodentopographie und den Küstenverlauf ausreichend erfaßt, dürften die NEUMANNschen Resultate zutreffender sein. Neuerdings hat allerdings E. LISITZIN (1959) Ergebnisse vorgelegt, die für den Finnischen Meerbusen und für die polnische Küste auf eine Grundschiwung von 26,2 Stunden (an Stelle von 27,5 Stunden) schließen lassen. Es scheinen somit zwar noch kleinere Unsicherheiten hinsichtlich der Periodenlängen zu bestehen, zumal im Westen der Ostsee die Perioden eher noch länger sind als von G. NEUMANN angegeben, für die Ostsee als Ganzes sehen wir jedoch die von ihm errechneten Werte als die z. Z. sichersten an.

Für die Dauer der Ankerstation lassen sich diese Schwingungen am deutlichsten an Hand der beiden finnischen Stationen Hamina (Finnischer Meerbusen) und Kemi (Bottnischer Meerbusen) erläutern (Abb. 43), da sich im westlichen Teil der Ostsee wegen der Meeresstraßen oftmals zusätzliche Effekte überlagern.

Der Tafel 1 ist zu entnehmen, daß in der Zeit vom 20. 8.—22. 8. anhaltende östliche Winde das Wasser aus dem Finnischen Meerbusen heraustrieben, wodurch offenbar das Schwingungssystem Ostsee—Finnischer Meerbusen angeregt wurde. Entsprechend sinkt in Hamina der Wasserstand vom 20. 8.—23. 8. stark ab und weist insbesondere vom 21. 8. bis zum 23. 8. ausgeprägte Eigenschwingungen auf. Diese Schwingung dürfte den Bottnischen Meerbusen zum Mitschwingen angeregt haben, sodaß dessen Wasserstände die gleichen Periodenlängen zeigen.

Am 23. 8. erfolgte der bereits erwähnte Umschlag der Windrichtung, wodurch nunmehr das System Ostsee—Bottnischer Meerbusen in Schwingung geriet. In Hamina steigt der Wasserstand deshalb sprunghaft an, die alte Periode wird völlig ausgelöscht und es zeigt sich nunmehr die neue Periode, nämlich ca. 37 Stunden, was der NEUMANNschen Periode von 39 Stunden entspricht.

In Kemi überlagern sich fortan die alte (26 Std.) und die neue Schwingung (37 Std.).

Entsprechend sind für interne Vorgänge im Gebiet der Ostsee Perioden dieser beiden Schwingungen (mit Oberschwingungen) zu erwarten.

b. Die internen Seiches der Ostsee

Im geschichteten Wasser sind Oberflächenwellen langer Periode nicht möglich ohne entsprechende Reaktionen der internen Massenverteilung; jede Wasserstandsänderung und jede damit verbundene Strömung führt zu entsprechenden Verlagerungen der Isothermen und Isohalinen. Entwickelt man den Bewegungsvorgang in eine Reihe von Eigenfunktionen, so stellt die Wasserstandsschwankung (Oberflächenwelle) die interne Welle nullter Ordnung dar; die verbleibende Summe von Eigenfunktionen charakterisiert den Schwingungsvorgang im Inneren. Dieser hängt in sehr komplizierter Weise von der Dichteverteilung ab. Theoretische Analysen liegen hierüber vor (F. J. FJELDSTAD, 1933, P. GROEN 1948, W. KRAUSS 1959). Neben der Dichteverteilung ist jedoch auch hier der Einfluß der Tiefenverteilung sowie der Küstenkonfiguration nicht zu vernachlässigen. Durchgeführte Rechnungen für abgeschlossene oder teilweise abgeschlossene Meeresräume sind noch nicht veröffentlicht worden; W. MUNK (1941) hat einen ersten Ansatz gegeben. Insbesondere ist die Form der Wellen noch nahezu unbekannt.

Aus der Theorie geht hervor (W. KRAUSS 1957/58), daß die Wellenlängen im allgemeinen kleiner als 50 km sein müssen, so daß auch bei den Querschwingungen im Arkona-Becken noch ein bis zwei volle Wellenzüge erkennbar sein müßten. Daß dies der Fall ist, zeigen insbesondere die Abbildungen 13 und 17.

Auf die große Rolle, die interne Schwingungen offenbar in den sehr komplizierten Bewegungsabläufen der Abbildungen 13 bis 26 und 30 bis 39 spielen, weisen auch die linsenförmigen Temperaturminima des baltischen Winterwassers hin. In einem nicht periodisch gestörten Meer würde diese Wassermasse, auch wenn sie nicht im Arkona-Becken gebildet wurde sondern aus dem Bornholm-Becken schubweise vorgedrungen ist, sehr bald in der ihr äquivalenten Tiefe eine zusammenhängende Schicht ergeben, da man nur schwerlich eine das gesamte Arkona-Becken erfassende Westströmung voraussetzen kann, die diese Massen in ihrer ursprünglichen Form nach Westen weitertransportiert. Es hat vielmehr den Anschein, als sei die Linsenstruktur des kalten baltischen Winterwassers die unmittelbar sichtbare Folge des Einflusses der internen Wellen. Faßt man nämlich die beiden Wasserarten C und D zu einer Schicht gleichen Dichtegradientens (s. Abbildung 40) zusammen, so verbleibt hinsichtlich der Schwingungsform der Wassermassen in erster Näherung, ein Dreischichtenmodell:

1. konstante Dichte in der Deckschicht (0—20 m)
2. konstanter Dichtegradient in der Mittelschicht (20—30 m)
3. konstanter Dichtegradient in der Unterschicht.

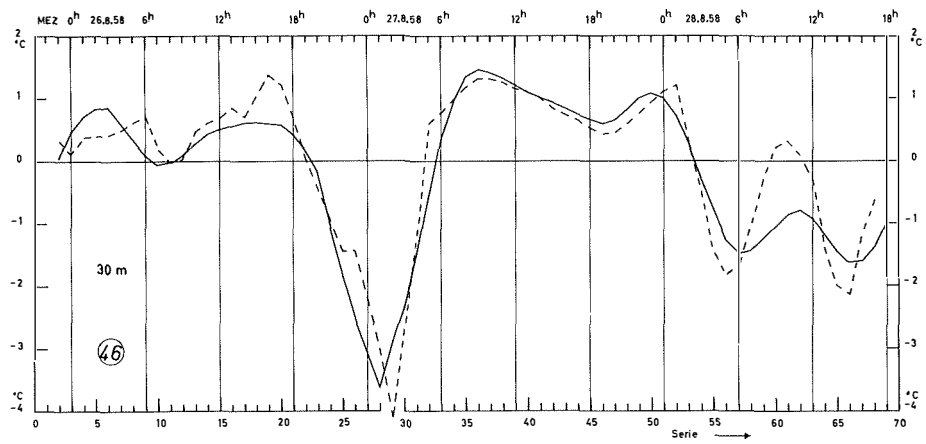
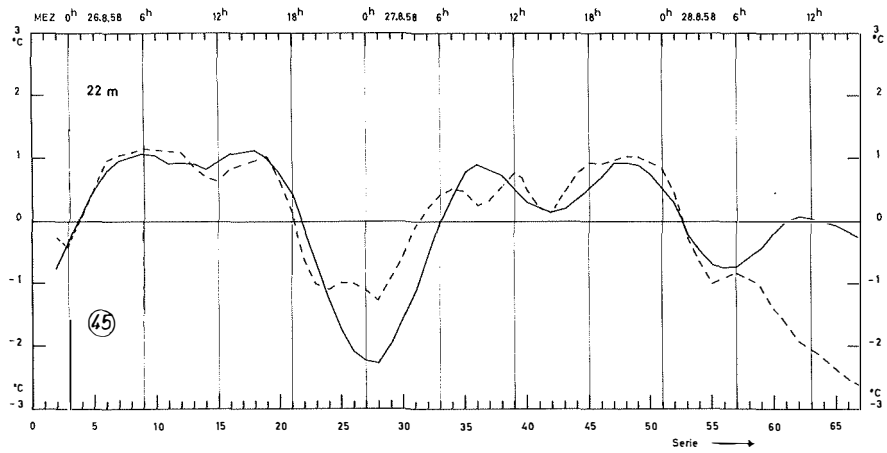
In einem solchen Modell würden Ober- und Unterschicht gegeneinander schwingen. Wären die Amplituden hinreichend groß, könnte die Mittelschicht in den Gebieten der Schwingungsbäuche zu den Zeiten maximaler Elongation völlig abgeschnitten werden. Abb. 44 vermittelt einen Eindruck von der Form der Mittelschicht (baltisches Winterwasser). In 44a ist die Mittelschicht im Ruhezustand gezeichnet, 44b gibt ihre Form unter dem Einfluß einer 27- und einer 18-Stunden-Seichesschwingung wieder, wenn deren Wellenlängen 20 und 15 sm betragen. Voraussetzung für die Beobachtung dieser Wellen ist eine völlig synoptische Aufnahme. Da jedoch ein Forschungsschiff, je nach Stationsabstand und Geschwindigkeit, die einzelnen Punkte zu verschiedenen Zeiten erreicht, ergeben sich z. B. bei einem Stationsabstand von 30 sm, 10 sm und 3 sm jeweils völlig verschiedene Bilder. Keines entspricht der realen (synoptischen) Form der Wellen; je engabständiger die Messungen erfolgen, um so besser erkennt man jedoch die Existenz der internen Seicheswellen.

Nach den Beobachtungen der finnischen Stationen Kemi und Hamina sind während des Beobachtungszeitraumes auf der Ankerstation H. W. 47 sowohl die Seiches des Raumes Ostsee–Finnischer Meerbusen als auch die des Raumes Ostsee–Bottnischer Meerbusen zu erwarten. Somit könnten im Beobachtungsmaterial alle von G. NEUMANN angegebenen Perioden enthalten sein. Darüber hinaus wären Trägheitsschwingungen als Folge der direkten Windeinwirkung denkbar. Um diese Konzeption zu prüfen, wurde der Temperaturverlauf auf der 69-stündigen Ankerstation in 22 m Tiefe und 30 m Tiefe harmonisch analysiert. Auf die mannigfachen Schwierigkeiten, die bei solchen Rechnungen unter Zugrundelegen der unmittelbaren Beobachtungswerte entstehen können, ist bereits früher ausführlich hingewiesen worden (W. KRAUSS 1957/58). Da die Messungen

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 10)

Abb. 45: Harmonische Analyse (ausgezogene Kurve) des Temperaturverlaufes (gestrichelte Linie) in 22 m Tiefe der Ankerstation H. W. 47.

Abb. 46: Harmonische Analyse (ausgezogene Kurve) des Temperaturverlaufes (gestrichelte Linie) in 30 m Tiefe der Ankerstation H. W. 47.



Tafel 10

in 22 m Tiefe asymmetrisch zur Sprungschicht liegen, mußten zunächst die negativen Abweichungen vom Mittelwert der Temperatur in 22 m Tiefe derart reduziert werden, daß beim Durchgang einer wellenartigen Störung Wellenberg und Wellental im Temperaturverlauf die gleiche Elongation besitzen. In 30 m Tiefe liegen die Verhältnisse noch komplizierter. Hier würde beim Durchgang einer Welle sowohl im Wellenberg als auch im Wellental die Temperatur erhöht, da entsprechend Abb. 40 die Temperatur in 30 m Tiefe ein absolutes Minimum aufweist. Um die wirklichen Wellen zu erhalten, muß man daher vor der Analyse jedes zweite Maximum umkehren. Der Ruhelage der Wassermassen entspräche danach das Temperaturminimum. Davon ausgehend wurde jedes zweite Maximum „umgeklappt“, d. h. als Wellental interpretiert.

Die Ergebnisse sind in Tafel 10 (Abbildungen 45 und 46) wiedergegeben. Die gestrichelte Kurve in Abbildung 45 gibt die unmittelbaren Differenzen vom Temperatur-Mittelwert in 22 Tiefe wieder, die ausgezogene Linie stellt die Summe der folgenden periodischen Störungen dar:

1. 39 Stundenwelle (Grundschiwingung Ostsee—Bottnischer Meerbusen):

$$T_1 = 0,27 \sin \left(\frac{2\pi}{39}t - 1^h 46^m \right)$$

2. 28 Stundenwelle (Grundschiwingung Ostsee—Finnischer Meerbusen):

$$T_2 = 0,80 \sin \left(\frac{2\pi}{28}t + 2^h 00^m \right)$$

3. 19 Stundenwelle (1. Oberschiwingung Ostsee—Finnischer Meerbusen):

$$T_3 = 0,36 \sin \left(\frac{2\pi}{19}t + 12^h 45^m \right)$$

4. 14 Stundenwelle (Trägheitsschiwingung für $\varphi \sim 55^\circ N$)

$$T_4 = 0,70 \sin \left(\frac{2\pi}{14}t + 8^h 44^m \right)$$

In analoger Weise kennzeichnet die gestrichelte Kurve in Abbildung 46 die Abweichungen vom Temperatur-Mittelwert in 30 m Tiefe, jedoch mit der oben genannten Korrektur, daß jedes zweite Temperaturmaximum als Wellental interpretiert wurde. Da diese Extreme in einer linearen Temperaturverteilung zwischen Meeresoberfläche und Boden als Temperaturminima erscheinen würden, wurden sie als negative Abweichungen gezeichnet. Der Unterschied zur direkten Beobachtung ergibt sich aus einem Vergleich mit Abb. 42. Der Darstellung 46 ist ferner zu entnehmen, daß sie nach dieser Korrektur im Verlauf weitgehend mit dem Temperaturgang in 22 m Tiefe übereinstimmt. Die kürzeren Schwiwungsperioden in den direkten Beobachtungen in 30 m Tiefe sind somit nur vorgetäuscht.

Abbildung 46 enthält — wie Abbildung 45 — ferner die Summe folgender periodischen Störungen:

1. 39 Stundenwelle (Grundschiwingung Ostsee—Bottnischer Meerbusen):

$$T_1 = 0,97 \sin \left(\frac{2\pi}{39}t + 8^h 14^m \right)$$

2. 28 Stundenwelle (Grundschiwingung Ostsee—Finnischer Meerbusen):

$$T_2 = 0,65 \sin \left(\frac{2\pi}{28}t + 19^h 11^m \right)$$

3. 19 Stundenwelle (1. Oberschwingung Ostsee—Finnischer Meerbusen):

$$T_3 = 0,77 \sin \left(\frac{2\pi}{19}t + 5^h 55^m \right)$$

4. 14 Stundenwelle (Trägheitsschwingung für $\varphi \sim 55^\circ\text{N}$)

$$T_4 = 0,73 \sin \left(\frac{2\pi}{14}t + 10^h 36^m \right)$$

Sowohl in 22 m als auch in 30 m Tiefe lassen sich die Beobachtungen durch die Seichesperioden der Ostsee unter Hinzuziehung der Trägheitsperiode hinreichend gut approximieren. Auffallend ist (siehe Tabelle 2) daß die Abweichungen zwischen Beobachtung und Berechnung in den Perioden auffrischenden Windes größer werden. Wegen der Übereinstimmung der Kurven in Abb. 45 und 46 liegt die Deutung nahe, daß die internen Seiches der Ostsee, die in Zusammenhang mit den wohlbekannten Schwankungen der Meeresoberfläche stets auftreten müssen, im Arkona-Becken eine beherrschende Rolle spielen. Sie scheinen dort überaus günstige physikalische Voraussetzungen für relativ große Elongationen vorzufinden. Die intensiven vertikalen Temperaturgradienten lassen sie in diesem Meeresraum besonders deutlich erscheinen, obgleich die Dichteverteilung, die allein für sie bestimmend ist, völlig vom Salzgehalt beherrscht wird. Dieser aber weist ebenfalls starke Unterschiede zwischen der Meeresoberfläche und dem Boden auf und erzeugt somit ein „stark geschichtetes Medium“. Wind- und Luftdruckschwankungen regen in diesem Gebiet die Wassermassen immer wieder zu Schwingungen an, und es ist anzunehmen, daß selbst in den meteorologisch ruhigen Zwischenzeiten die Wassermassen nur selten in einen völlig schwingungsfreien Zustand gelangen. Die Form der Wellen wird wahrscheinlich vom Meeresboden und dem Küstenverlauf entscheidend beeinflusst. Wir haben zur Zeit noch nicht ausreichend viele Beobachtungen, um wenigstens erste Anhaltspunkte geben zu können. Weitere Ankerstationen und quasisynoptische Schnitte werden notwendig werden. Insbesondere auch, um die mannigfachen sonstigen Prozesse, die sich sicherlich den reinen Schwingungsformen überlagern und diese beeinflussen, genauer analysieren zu können. Erst dann wird es möglich sein, die hydrographischen Eigenheiten, durch die sich das Arkona-Becken von anderen Meeresräumen der Ostsee unterscheidet und jene Charakteristika, die es mit den anderen gemeinsam hat, schärfer zu trennen.

Literaturverzeichnis

BANSE, K., 1957: Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956. II. Die Verteilung von Sauerstoff, Phosphat und suspendierter Substanz. Kieler Meeresf. Bd. XIII, Heft 2, S. 186—201. — CHRYSTAL, G., 1905: On the Hydrodynamical Theory of Seiches. Trans. R. Soc. Edinburgh, Vol. XLI, III No. 25. — DEFANT, A., 1918: Neue Methoden zur Ermittlung der Eigenschwingungen (Seiches) von abgeschlossenen Wassermassen (Seen, Buchten usw.). Ann. d. Hydrogr. 46, Heft II. — DEFANT, A., 1925: Gezeitenprobleme des Meeres in Landnähe. Probleme d. kosm. Physik VI, Hamburg. — DUBOW, W., 1935: Die Seiches der Ostsee und deren Zusammenhang mit den Leningrader Überschwemmungen. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de l'URSS. Tom 1, Vol. 1, Nr. 1, S. 41. — FJELDSTAD, J. E., 1933: Interne Wellen. Geofys. Publikasj. Vol. X. — GEHRKE, J., 1910: Beiträge zur Hydrographie des Ostseebassins. Publ. de circonst. No 52. S. 1—191. — GRANQVIST, G., 1955: The summer cruise with m/s Aranda in the Northern Baltic 1954. Merentutk. Julk. 166. 1—56. — GROEN, P., 1948: Contribution to the theory of internal waves. Mededel. en Verhandeling, Serie B, 2, No. 11. — HELA, I., 1944: Über die Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit besonderer Berücksichtigung des Wasser-austausches durch die dänischen Gewässer. Ann. Acad. Sc. Fenn. A I 28. S. 1—108. — HELA, I., 1958: A hydrographical survey of the waters in the Åland Sea. Geophysica 6: 3—4. S. 219—242. — HIDAKA, K., 1936: Application of Ritz's Variation Method to the Determination of Seiches in a Lake. Memoires Imp. Marine Obs. Vol. VI, Nr. 2, Kobe. — HINKELMANN, H., 1956: Ein Gerät zur Schnell-

registrierung des Druckes, der Temperatur und des Salzgehaltes für Anwendungen in der Ozeanographie. Kieler Meeresforschungen, Bd. XII, Heft 2, S. 200—201. — JACOBSEN, J. P., 1925: Die Wasserumsetzung durch den Öresund, den Großen und den Kleinen Belt. Medd. fra Komm. for Havunders. Hydr. Bd. II, Nr. 9., S. 1—72. — KALLE, K., 1942: Über die innere thermische Unruhe des Meeres. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol. 70. Jg., Heft XII. S. 383—387. — KALLE, K., 1943: Die große Wasserumschichtung im Gotland-Tief vom Jahre 1933/34. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol. 71. Jg., Heft IV/VI. S. 142—146. — KALLE, K., 1953: Zur Frage der inneren thermischen Unruhe des Meeres. Deutsche Hydr. Zeitschr. Bd. 6, Heft 4/5/6. S. 144—170. — KNUDSEN, M., 1901: Der baltische Strom und der Salzgehalt im Kattegat und im westlichen Teile der Ostsee. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol. 29. Jg., Heft V. S. 226—231. — KRAUSS, W., 1959: Theorie der internen Mitschwingungswellen. Kieler Meeresf. Bd. XV, 1. — KRAUSS, W., 1957/58: Interne Wellen großer Amplitude, Teil I-III, Dtsch. Hydrogr. Z. Bd. 10, 5, Bd. 11, 5 u. 6. — KREY, J., 1957: Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956. III. Die Verteilung des Gesamtphosphors. Kieler Meeresf. Bd. XIII, Heft 2, S. 202—211. — LISITZIN, E., 1959: Beitrag zur Kenntnis der Eigenschwingungen der Ostsee. Berichte d. Konferenz Balt. Ozeanogr. Kiel. — MANEGOLD, W., 1936: Die Wetterabhängigkeit der Oberflächenströmungen in den Pforten der Ostsee. Archiv d. Deutschen Seewarte. Bd. 54, Nr. 4, S. 1—40. — MUNK, W., 1941: Internal waves in the Gulf of California. J. Marine Research. IV, 1. — NEUMANN, G., 1941: Eigenschwingungen der Ostsee. Archiv d. Seewarte u. Marineobs. Bd. 61, 4. — REINICKE, (Deutsche Seewarte), 1906: Oberflächenströmungen im Kattegat, Sund und in der westlichen Ostsee. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorologie. 34. Jg. S. 265—278, 313—325 u. 374—385. — SPILHAUS, A. F., 1937/38: A bathythermograph. J. Marine Research. Vol. I, Nr. 2, S. 95—100. — WATTENBERG, H., 1941: Über die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol. 69. Jg., Heft IX, S. 265—279. — WITTING, R., 1912: Zusammenfassende Übersicht der Hydrographie des Bottnischen und Finnischen Meerbusens und der nördlichen Ostsee nach den Untersuchungen bis Ende 1910. Finl. Hydr.-Biol. Unters. No. 7. S. 1—82. — WÜSR, G. und BROGMUS, W., 1955: Ozeanographische Ergebnisse einer Untersuchungsfahrt mit Forschungskutter „Südfall“ durch die Ostsee Juni—Juli 1954 (anlässlich der totalen Sonnenfinsternis auf Öland). Kieler Meeresf. Bd. XI, Heft 1, S. 3—22. — WÜSR, G. 1957: Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956. I. Die Verteilung von Temperatur, Salzgehalt und Dichte. Kieler Meeresf. Bd. XIII, Heft 2, S. 163—185. — WYRTKI, K., 1954: Schwankungen im Wasserhaushalt der Ostsee. Deutsche Hydr. Ztschr. Bd. 7, Heft 3/4. S. 91—129.