

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 Urheberrechtlichsinhabers. 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.

Aus dem Institut für Meereskunde der Universität Kiel.

Ozeanographische Ergebnisse einer Untersuchungsfahrt mit Forschungskutter „Südfall“ durch die Ostsee Juni/Juli 1954 (anlässlich der totalen Sonnenfinsternis auf Öland).

Von Georg Wüst und Willi Brogmus

1. Vorbemerkungen

Die Anregung zu der Untersuchungsfahrt mit Forschungskutter „Südfall“ durch die Ostsee von Kiel bis Öland war von den beiden Physikern der Kieler Universität, Prof. Dr. A. Unsöld und Prof. Dr. W. Lochte-Holtgreven, ausgegangen und durch das seltene Phänomen der totalen Sonnenfinsternis am 30. 6. 1954 gegeben, für deren Beobachtung nach den astronomischen Vorausberechnungen und nach den meteorologischen Wahrscheinlichkeiten auf der flachen und schmalen Insel Öland, d. h. in einer mit „Südfall“ leicht erreichbaren Nähe, relativ günstige Verhältnisse erhofft werden konnten. Von vornherein waren sich aber die beiden Physiker mit dem Ozeanographen darin einig, daß mit Rücksicht auf die Unsicherheit der meteorologischen Bedingungen, also im Hinblick auf die Fraglichkeit des Erfolges des astrophysikalischen Programms, die zusätzlichen, d. h. über den normalen Schiffsetat hinausgehenden Kosten¹⁾ möglichst gering gehalten werden sollten und durch die Kombinierung mit einem auf der Rückreise durchzuführenden ozeanographischen Beobachtungsprogramm auf jeden Fall ein lohnender wissenschaftlicher Ertrag der Untersuchungsfahrt sichergestellt werden sollte.

Das astrophysikalische Program sah Aufnahmen des Flashspektrums bei dem kleinen Hafensplatz Sandvik auf Öland, der genau auf der Zentrallinie der totalen Sonnenfinsternis gelegen war, vor und zwar mit Hilfe einer „Robot“-Kamera, an die im Kieler Universitätsinstitut für Experimentalphysik ein Objektiv von ca. 50 cm Brennweite und ein Prisma angesetzt waren. Solche Aufnahmen ließen einen Einblick in die bisher wenig erforschte Höhenvariation der starken Flash-Linien erwarten, d. h. in die hohen Schichten der Chromosphäre, in denen der Übergang zur Korona erfolgt und ein gewaltiger Temperatursprung (von etwa 4000⁰ auf etwa 1 Million Grad) anzunehmen ist.

Das ozeanographische Program sollte die Durchführung eines Längsprofils von ca. 20 Stationen vom westlichen Gotlandbecken bis zur Kieler Bucht mit engabständigen Reihenmessungen von Temperatur und Salzgehalt jeweils in den tiefsten Einsenkungen der Becken und der Schwellen umfassen. Hierbei sollten durch engabständige Beobachtungen mit Wasserschöpfern und Kippthermometern und — soweit es die Wetterlage zuließ — durch die gleichzeitige Verwendung eines neuartigen elektrischen Temperaturfühlers besonders die feinere Struktur der Schichtung im Tiefen- und Bodenwasser und die Ausbreitungsverhältnisse unterhalb der thermischen Sprungschicht erfaßt werden. Ferner wurden für die Mehrzahl der Stationen Fischbrutfänge mit dem Knüppelnetz und dem Eiernetz vorgesehen. Ein solches Längsprofil durch die Ostsee eröffnete zugleich die erwünschte Möglichkeit, die neuen ozeanographischen Maschinen, Apparate und Instrumente, die auf Forschungskutter „Südfall“ März/April 1954 installiert werden konnten, zu erproben, neue Erfahrungen über die See-Eigenschaften des Schiffes zu sammeln und auf diese Weise eine Art Vorexpedition für die in Ost- und Nordsee

¹⁾ Für die Gewährung einer Reisebeihilfe (von insgesamt DM 1400,—), die für die Beschaffung von Brennstoff, Seekarten und Seehandbüchern und apparative Ergänzungen sowie für Bordgelder, Unfallversicherung, Unkosten in den ausländischen Häfen der Untersuchungsteilnehmer usw. bestimmt war, sei auch hier der Deutschen Forschungsgemeinschaft gedankt.

geplante (auf etwa 5 Jahre veranschlagte) ozeanographisch-produktionsbiologische Gemeinschaftsaufgabe der verschiedenen Abteilungen des Instituts durchzuführen. Schließlich würde ein solches Längsprofil die Wiederholung einer ähnlichen Untersuchungsfahrt des Kieler Instituts für Meereskunde vom Sommer 1939, deren Ergebnisse Wattenberg (1) veröffentlichte, darstellen und geeignet sein, eine gewisse Vorstellung von den in den letzten 15 Jahren eingetretenen Veränderungen zu vermitteln.

2. Reiseweg und Stationen

Die Ausreise mit Forschungskutter „Südfall“ erfolgte am 26. Juni 1954 von Kiel aus. Es waren folgende fünf Wissenschaftler eingeschifft: Prof. Dr. G. Wüst (Ozeanograph und wissenschaftlicher Fahrleiter), Prof. Dr. A. Unsöld (Astrophysiker), Prof. Dr. W. Lochte-Holtgreven (Experimentalphysiker), Dr. W. Brogmus (Ozeanograph), cand. rer. nat. W. Pirwitz (Fischereibiologe und zugleich Reserve-Steuermann), ferner die aus vier Köpfen bestehende seemännische Besatzung (Kpt. Ohl, Bestmann Bröms, Seemaschinist Kupke und Decksmann und Koch Leonhardt), welche letztere nicht nur bei den nautischen Aufgaben, sondern auch bei der Absolvierung des wissenschaftlichen Beobachtungsprogramms voll eingesetzt wurde. Die Wetterverhältnisse waren während der ganzen Ausreise bis Öland nicht günstig. Es herrschte unfreundliches Schauerwetter mit starken Böen aus SW (mit Spitzenwerten von 7 Beaufort). „Südfall“ lag in der achterlichen See bemerkenswert gut und machte rasche Fahrt, so daß der dänische Hafen Allinge (Bornholm) bereits nach 21 Stunden am 27. Juni gegen 13 Uhr erreicht wurde. Nach einer 14stündigen Ruhepause ging „Südfall“ bereits um 3 Uhr früh in der folgenden Nacht wieder in See, erreichte nach 6 Stunden das Südende des Kalmarsundes und lief am 28. Juni gegen 17 Uhr im schwedischen Hafen von Borgholm (Öland) ein, wo unsere kleine Schiffsexpedition — wie auch in den dänischen Häfen — durch die Zoll- und Hafenbehörden eine freundliche Aufnahme fand und bereits die ersten Beziehungen zu den anderen deutschen und ausländischen astronomischen Expeditionen aufnehmen konnte. Auf Grund von örtlichen Erkundungen, die wir in den auf der Zentrallinie der Verfinsterung gelegenen Orten Persnäs und Sandvik (etwa 30 km nördlich des Haupthafens Borgholm) vornahmen, verlegten wir am Nachmittag des 29. Juni „Südfall“ in den kleinen Hafen von Sandvik, dessen schmale und seichte Einfahrt (mit 3 m Wassertiefe) gerade noch von unserem Schiff passiert werden konnte und der bei der herrschenden Wetterlage einen guten Liegeplatz bot. In nächster Nähe befand sich auch hinter der Mühle von Sandvik ein geeigneter Beobachtungsplatz für die von Prof. Unsöld und Prof. Lochte-Holtgreven geplanten astrophysikalischen Messungen.

Der Tag der totalen Sonnenfinsternis (30. Juni) begann wenig verheißungsvoll, da sich der Kern der uns nördlich unserer Route begleitenden Depression von Südnorwegen langsam nach Nordfinnland verlagert hatte und der Himmel infolge einer noch auf ihrer Rückseite wirksamen, ausgedehnten und flachen Randstörung von einer kaum durchlöcherten mittelhohen Stratusdecke ganz überzogen war. Diese ungünstigen Bevölkerungsverhältnisse hielten den ganzen Tag über an, ja gerade während der um 13.48 einsetzenden und 2¹/₂ min dauernden totalen Finsternis schob sich eine besonders schwarze Wolke vor die Sonne, so daß keinerlei Aufnahmen zu erhalten waren. Es war ein für die auf Öland versammelten Astronomen tragisches Mißgeschick, daß erst am folgenden Tage die Wirksamkeit dieser Kaltluftmassen der abziehenden Depression erlosch und eine längere Zwischenhochperiode mit völliger Aufklärung einsetzte. Prof. Dr. Lochte-Holtgreven trennte sich gleich nach der Sonnenfinsternis von unserer kleinen Expedition, um an einem Kongreß in Schweden teilzunehmen.

Bereits um 16.15 verließen wir bei mäßigem Wind und bedecktem Himmel mit „Südfall“ den Hafen von Sandvik und nahmen Kurs nach Norden, um die Nordspitze

der Insel Öland zu runden und die Station 1 unseres Längsprofils auf 110 m Wassertiefe in der Rinne der westlichen Gotlandsee südwestlich von Wisby zu erreichen. Infolge der Interferenz zweier starker Dünungssysteme rollte hier „Südfall“ beträchtlich (zeitweilig über 30°¹⁾), wodurch die Serienmessungen sehr erschwert wurden, und erst von Station 2 ab (östlich Öland) konnten wir bei fortschreitender Wetter- und Seegangsberuhigung, wie vorgesehen, alle 20 (später 10) sm eine ozeanographische Station mit engabständigen Meßpunkten (von t⁰, S^{0/100}), jeweils in den tiefsten Rinnen der durchfahrenen Becken (westliches Gotlandbecken, Bornholmbecken, Arkona-Becken, Mecklenburger und Kieler Bucht) und über die tiefsten Einsenkungen der Schwellen (Mittelbank, Bornholm-Schwelle, Darsser Schwelle) durchführen. Insgesamt wurde auf diese Weise ein lückenloses ozeanographisches Längsprofil vom westl. Gotlandbecken bis zur Kieler Förde durch die tiefste Talfurche mit 20 Stationen gewonnen, das an 7 Stationen mit (von cand. rer. nat. Pirwitz ausgeführten) Fischbrutfängen mit dem Knüppelnetz und dem Eiernetz verknüpft wurde. Diese Fänge sollten als Ergänzung zu früheren Untersuchungen von Prof. Dr. R. Kändler dazu dienen, eine Vorstellung von der Häufigkeit und Verbreitung der Eier und Larven von Dorsch, Sprott und Makrele zu erlangen und einige Angaben über die Verbreitung des Großplanktons (Quallen, Krebslarven usw.) im Einstromwasser aus dem Kattegat zu gewinnen. In der Nacht vom 1. zum 2. Juli wurde noch Hammerhaven auf Bornholm angelaufen, um den bei den Stationen pausenlos und voll beanspruchten Mitgliedern beider Stäbe etwas Nachtruhe zu geben. Wie schon erwähnt, hatte sich bald nach Verlassen der Insel Öland das Wetter sehr günstig entwickelt: es herrschten bis zur Darsser Schwelle ganz schwache Winde aus wechselnden, meist westlichen Richtungen bei vielfach klarem Himmel vor, welche die ozeanographischen Arbeiten auf den Stationen sehr erleichterten und im Bornholm- und Arkonabecken den Einsatz des elektrischen Temperaturfühlers bis zu den größten Tiefen gestatteten. Am 3. Juli 16 Uhr erreichte „Südfall“ nach Erledigung seiner 20. Station wieder den Kieler Hafen. Die Routen der Hin- und Rückfahrt sowie die Lage der Stationen auf dem Längsprofil ergeben sich aus Tafel 1.

3. Instrumente und Methoden

Bei diesen Untersuchungen haben sich in ausgezeichneter Weise die im Januar bis März 1954 während einer längeren Liegezeit auf der Kieler Howaldtwerft neu installierten Forschungseinrichtungen unseres Schiffes (ozeanographische Serienmaschine mit elektrischem Aggregat, Elac-Echograph, elektrischer Kühlschrank usw.), die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft in großzügiger Weise dem Institut für Meereskunde zur Verfügung gestellt worden waren, bewährt. Mit dieser Installation war auf der Howaldtwerft Kiel eine gründliche Überholung des Schiffskörpers mit teilweiser Erneuerung des Schiffsbodens sowie der Einbau einer Sprechfunkanlage (Hagenuk) verknüpft worden, wodurch die Sicherheit des Schiffes wesentlich erhöht wurde.

Februar 1954 ist der Forschungskutter „Südfall“, der seit 1946 durch das dankenswerte Entgegenkommen britischer Instanzen als Leihgabe bzw. durch Chartervertrag zur Verfügung stand, dank einer großzügigen Sonderbewilligung endgültig in das Eigentum des Landes Schleswig-Holstein (Kultusministerium) übergegangen, welches das Schiff dem Institut für Meereskunde zur Inventarisierung und Betreuung zuwies. Dem Kultusministerium, insbesondere dem Kurator der Christian-Albrechts-Universität, Herrn Min.-Rat Dr. Fehling, sei für seine stete Förderung der Aufgaben und der wissenschaftlichen Ausstattung des Forschungskutters „Südfall“ aufrichtig gedankt. Auch der

¹⁾ Das sonst sehr seetüchtige Forschungsschiff ist trotz 12 Schlingerflossen, die nach den dankenswerten Berechnungen der Firma Maierform G.m.b.H., Bremen, 1950 am Schiffskörper angebracht wurden, bei starker seitlicher See und stilliegendem Schiff starken Rollschwingungen ausgesetzt, also gerade bei den Stationen, bei denen es wegen der Präzision der Messungen besonders auf ruhigere Bedingungen ankommt und es öfter nicht gelingt, durch Maschinenmanöver das Schiff mit dem Kopf gegen die See zu halten. Andererseits ist durch diesen Einbau der Schlingerflossen bei hoher Fahrt des Schiffes eine merkliche Dämpfung der Rollschwingungen erzielt worden.

Deutschen Forschungsgemeinschaft und ihrem Präsidenten, Herrn Prof. Dr. Raiser, sei an dieser Stelle für die außerordentliche Hilfe gedankt, die sie durch die Zurverfügungstellung von wissenschaftlichen Maschinen, Apparaten und Instrumenten für die wissenschaftliche Ausstattung des Forschungskutters geleistet haben. Schließlich sei bei dieser Gelegenheit auch folgenden Persönlichkeiten der Industrie für die Hilfsbereitschaft und für die wertvolle Beratung bei der Verbesserung der Forschungs- und nautischen Einrichtungen unseres Schiffes aufrichtig gedankt: Herrn Direktor Kreuter (Reparaturabteilung der Howaldt-Werft Kiel), Herrn Dr. B. Goldschmidt (Hagenuk), Herrn Direktor Wolff (damals bei Electroacoustic) und Herrn Schulte-Max (Electroacoustic), Herrn Direktor Oberingenieur Buchwaldt und Herrn Ing. Heise (Siemens-Schuckert-Werke, Filiale Kiel), und schließlich Herrn Ing. G. Strüfing (Ingenieurbüro Kiel von Klöckner-Humboldt-Deutz), der schon seit Jahren in selbstloser Weise in allen technischen Fragen des Forschungskutters das Institut beraten und auch wertvolle Vorschläge für die Konstruktion der Serienmaschine gemacht hat.

Im folgenden seien einige nähere, allgemein interessierende Angaben über die Konstruktion der neuen ozeanographischen Serienwinde, über die bei den Temperaturmessungen angewandten Methoden, über die Tiefenbestimmungen mit dem Echographen sowie über die Salzgehalts- und Sauerstoffbestimmungen gemacht.

a) Ozeanographische Serienwinde

Für die Durchführung der ozeanographischen Serienbeobachtungen ist der Forschungskutter „Südfall“ nunmehr mit einer neuartigen, elektrisch angetriebenen Serienwinde ausgerüstet, die unter Berücksichtigung der vom Institut für Meereskunde gestellten technischen Anforderungen von den Siemens-Schuckert-Werken (Filiale Kiel) konstruiert und eingebaut worden ist.

Die ganze Anlage setzt sich zusammen aus:

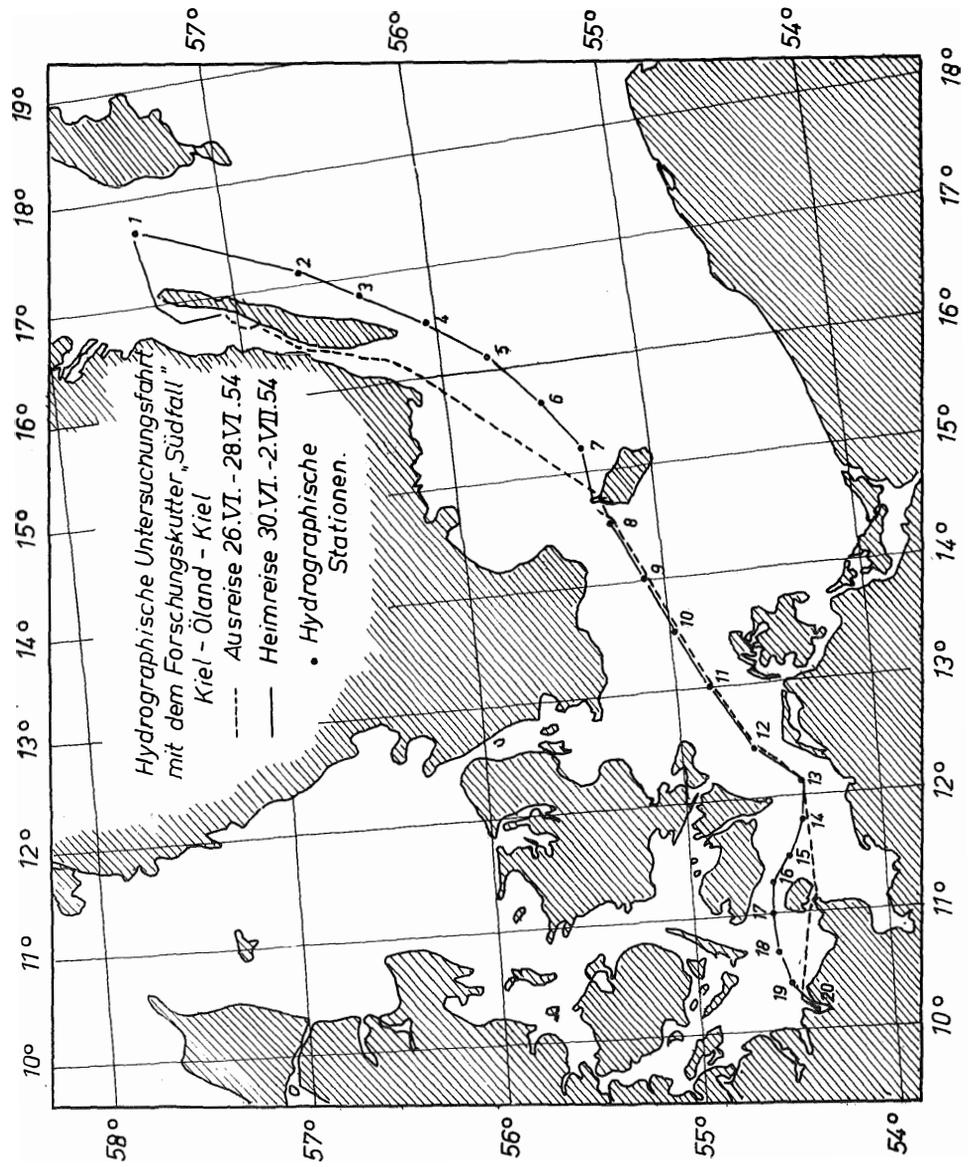
1. dem Diesellaggregat, bestehend aus einem luftgekühlten, 25 PS starken Zweizylinder-Viertakt-Dieselmotor, Fabrikat Deutz, und einem selbstregelnden 380 Volt Drehstromgenerator mit einer Leistung von 20,6 kVA,
2. dem Leonardumformer, bestehend aus einem 220 V Gleichstromgenerator von 3,6 kW und einem mit diesem auf einer gemeinsamen Grundplatte gekuppelten 380 Volt Drehstrommotor mit einer Leistung von 7,5 PS,
3. der eigentlichen Serienwinde, die von einem 220 Volt Gleichstrom-Doppelschlußmotor angetrieben wird, und schließlich
4. dem Umkehrregler für die Betätigung der Leonardsteuerung.

Die Serienwinde ist für eine Zugkraft von 75 kg und eine maximale Hiev- und Fiergeschwindigkeit von 180 Meter/Minute berechnet. Sie besteht aus einer großen und besonders breiten Seiltrommel (von 50 cm Durchmesser und 75 cm Länge), auf der 1600 Meter verzinkte, aus 28 Drähten bestehende Patent-Gußstahldrahtlitze von 3 mm Durchmesser (von Felten und Guilleaume) und einer Bruchfestigkeit von 200 kg/mm² in nur vier Lagen aufgewickelt sind. Das gleichmäßige Aufspinnen des Drahtes auf die Trommel wird durch eine Spinnvorrichtung, die mittels eines Kettenantriebs von der Trommelwelle angetrieben wird, ermöglicht. Der Schlitten der Spinnvorrichtung wird durch eine Kreuzspindel hin- und hergeführt und in den Endlagen selbsttätig umgeschaltet. Der Draht wird durch einen Ausleger, der zur Erleichterung des An- und Abschlagens der Wasserschöpfer mittels einer handbetriebenen Spindel leicht ein- und ausgeschwenkt werden kann, über die Reeling geführt.

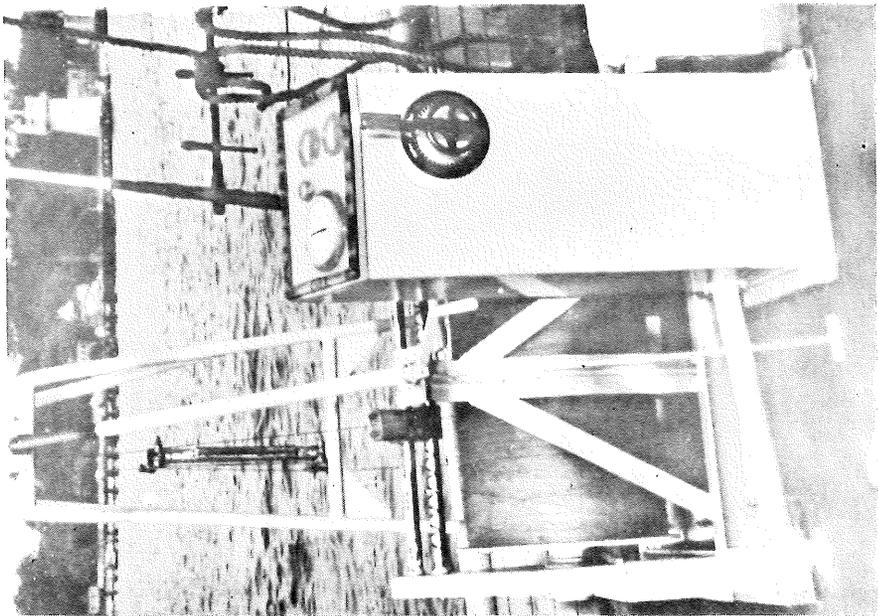
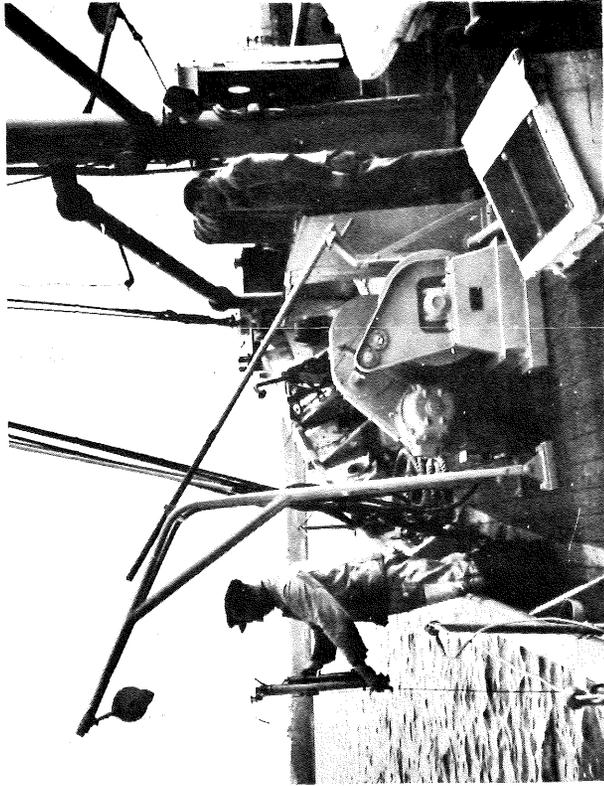
Da die Winde in der sog. Leonardschaltung — ein Novum bei ozeanographischen Winden — betrieben wird, bei der lediglich kleine Steuerströme geregelt werden, entfällt ein kompliziertes, störanfälliges Kontrollersystem mit Widerständen. An seine

Legende zu der nebenstehenden Tafel 1

Reiseweg, Stationen und Lage des Längsschnittes bei der Untersuchungsfahrt mit Forschungskutter „Südfall“ Juni/Juli 1954.



Tafel 1



Tafel 2

Stelle tritt der Umkehrregler, der zusammen mit einem Drehzahlmesser zur Messung der Seilgeschwindigkeit, einem Zählwerk zur Messung der abgelaufenen Meter des Drahtes, einem Strom- und Spannungsmesser zur Messung des Motorenstromes der Serienwinde sowie einer Kontrollampe zur Kontrolle des Betriebes des Leonardumformers in einem seewasserdichten Bedienungsstand direkt vor der Winde angebracht ist. Die Spindel des Auslegers befindet sich direkt neben dem Bedienungsstand, so daß die ganze Serienwinde bequem von einem Mann betätigt werden kann. Der Aufbau der Serienwinde ist aus Taf. 2 ersichtlich. Diese ganz neuartige Konstruktion hat alle Erwartungen erfüllt und gestattet nunmehr eine rasche und reibungslose Absolvierung der ozeanographischen Serienmessungen, wobei die Fier- und Hievgeschwindigkeit zwischen 0.5 und 3.0 m/sec gleitend und fast momentan variiert werden kann.

b) Temperaturmessungen mit dem elektrischen Temperaturfühler

Zur Messung der Wassertemperatur in situ wurde neben den üblichen, mit Kippthermometern (von Richter u. Wiese) ausgerüsteten Serienschöpfern und dem als Endsöpfer verwendeten 2-Liter-Isolierwasserschöpfer ein in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meereskunde von den Askania-Werken, Nautische Werkstätten, entwickelter widerstandselektrischer Temperaturfühler benutzt. Seine Wirkungsweise beruht auf der bekannten Eigenschaft der metallischen Leiter, ihren ohmschen Widerstand mit der Temperatur zu ändern. Innerhalb der im Meer vorkommenden Temperaturintervalle läßt sich die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes durch eine lineare Gleichung von der Form

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

beschreiben, worin α den Temperaturkoeffizienten des verwendeten metallischen Leiters und R bzw. R_0 seinen Widerstand bei der Temperatur t bzw. t_0 bedeuten.

Der Temperaturfühler besteht aus dem eigentlichen Meßelement mit Widerstandsdraht, einem Schaltkoffer mit Leitungsabgleichwiderständen, einem als Stromquelle dienenden Nickel-Stahl-Akkumulator, einem in Temperaturgraden geeichten, tragbaren Präzisionsohmmeter mit einem Meßbereich von 0° — 30° C sowie dem seewasserfesten, dreiadrigen Zuführungskabel von 100 Meter Länge, das mit der Hand weggefert und zur Bestimmung der Tiefenlage des Meßelements von Meter zu Meter mit Lenkerband gemarkt ist. Das Meßelement des hier verwendeten Temperaturfühlers besteht aus einem Platinwiderstandsdraht, der bifilar auf einem Quarzstab aufgewickelt und zur Isolierung gegen das Seewasser in eine dünne Glashaut eingeschmolzen ist. Zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen und zur Sicherstellung eines wasserdichten Abschlusses der Zuführungskabel ist das Platinwiderstandsthermometer von einer robusten metallischen Schutzhülle umgeben, die jedoch durch zahlreiche Durchbohrungen am unteren Ende dem Seewasser einen ungehinderten Zutritt zum eigentlichen Meßelement ermöglicht. Die Konstruktion des Temperaturfühlers ist aus der Taf. 3a ersichtlich. Die Genauigkeit der Temperaturmessungen mit dem Temperaturfühler beträgt $\pm 0,15^{\circ}$ C. Da der Widerstandsdraht von dem umgebenden Medium, dessen Temperatur bestimmt werden soll, nur durch eine dünne Glashaut getrennt ist und der Widerstandsdraht selbst nur eine geringe Wärmekapazität besitzt, ist eine schnelle Anpassung des Temperaturfühlers an die Temperatur der Umgebung auch bei plötzlichen Temperaturänderungen gewährleistet. Der Trägheitsbeiwert des

Legende zu der nebenstehenden Tafel 2
Die neue ozeanographische Serienwinde des Forschungskutters „Südfall“
a) Vorderansicht
b) Seitenansicht

Temperaturfühlers beträgt nur rd. 1,2—1,3 sec, so daß nach 0,8—0,9 sec („Halbwertszeit“) ein Temperaturgleich des Meßelements an die Temperatur der Umgebung von 50%, nach 3 sec bereits von 90% und nach 8 sec von 99,9% sichergestellt ist.

Zur Messung des Widerstandes mit dem in Temperaturgraden geeichten Anzeigegerät, Fabrikat Hartmann und Braun, wird eine Differentialmethode angewendet, indem je eine feste und eine bewegliche Spule, die sich in einem inhomogenen Magnetfeld befinden, ähnlich wie ein Differentialgalvanometer für die Widerstandsmessung geschaltet sind. Hierdurch wird erreicht, daß kleinere Spannungsabweichungen von der vorgesehenen Betriebsspannung in Höhe von 6 Volt die Größe des Zeigerauschlages nicht wesentlich beeinflussen. Zur Kompensation der temperaturbedingten Widerstandsänderungen der Kabelzuleitungen wurde die sogenannte „Dreileiterschaltung“ angewendet (Taf. 3a), bei welcher der eine Pol der Stromzuführung durch eine besondere Ader des Zuleitungskabels direkt an das eine Ende des Widerstandsthermometers geführt ist.

Außer dem Anschluß des Temperaturfühlers an das Anzeigegerät ist noch ein weiterer Anschluß für ein Registriergerät vorgesehen. Die zugehörigen Abgleichwiderstände für die verschiedenen Verstärkerstufen des Elektronenröhrenverstärkers, der zur Verstärkung des Stromes zwischen dem Temperaturfühler und dem Registriergerät geschaltet werden muß, sind zusätzlich im Schaltkoffer untergebracht. Ein Einsatz des Registriergerätes auf dieser Untersuchungsfahrt erfolgte nicht, da es in erster Linie für kontinuierliche Registrierungen der Oberflächentemperatur vom fahrenden Schiff aus gedacht ist.

Da das Zuleitungskabel infolge des Vertreibens des Schiffes und des Kabels, das ja einen wesentlich größeren Querschnitt als die üblichen ozeanographischen Litzen und Drähte besitzt, beim Aufenthalt an den Stationen häufig nicht „auf und nieder“ steht, bestehen fühlbare Abweichungen zwischen den durch die Kabelmarkierung gegebenen Solltiefen und den wahren Tiefenlagen des Meßelements, selbst wenn der Wind schwach und die See relativ ruhig ist. Bei starken Winden und hoher See verbietet sich wegen unkontrollierbarer Abdrift des Kabels in der Regel die Verwendung des Temperaturfühlers ganz.

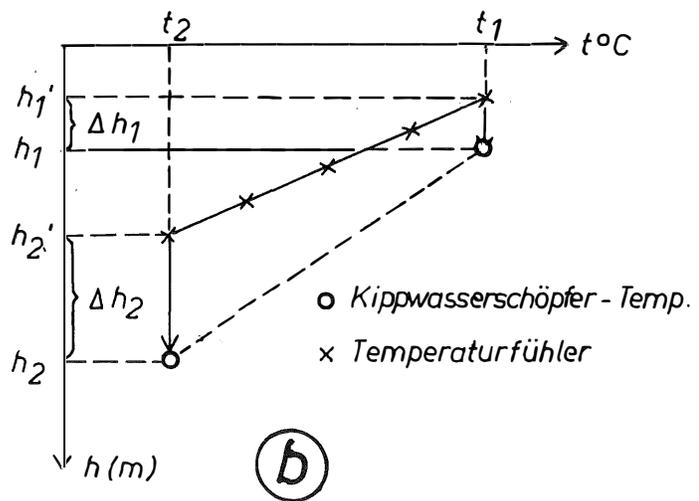
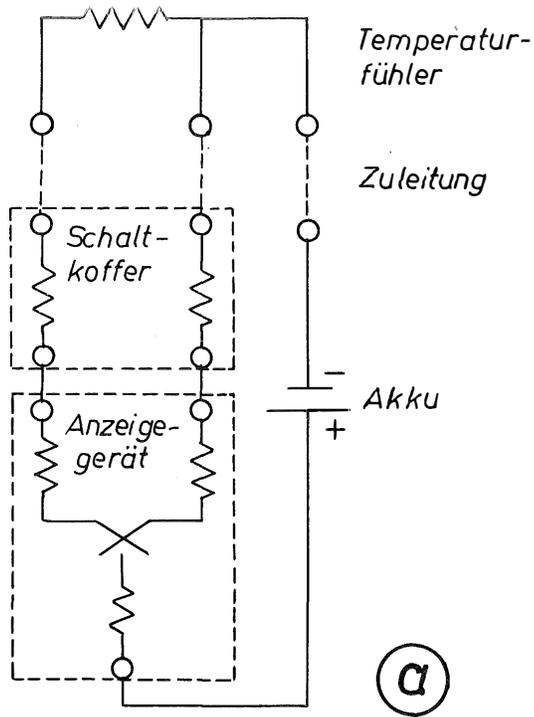
Um die gemessenen Temperaturwerte auf die zugehörigen wahren Tiefenstufen zu beziehen, wurden sie nach Anbringung der Eichkorrektur mit Hilfe der von den Serienschöpfern in den vorgegebenen Tiefenstufen gemessenen und in bekannter Weise korrigierten Temperaturen auf die wahre Tiefe reduziert, wobei folgendermaßen vorgegangen wurde (Taf. 3b): Bezeichnet man die aufeinanderfolgenden Tiefenstufen der Serienschöpfermessungen mit h_1 und h_2 und die in diesen Tiefen beobachteten Kippthermometertemperaturen mit t_1 und t_2 , ferner mit h_1^l bzw. h_2^l die Tiefenlagen der mit dem Temperaturfühler gemessenen gleichen Temperaturen t_1 bzw. t_2 , so ist an alle Tiefenwerte h^l der Temperaturfühlermessungen zwischen den Tiefenstufen h_1^l und h_2^l die Korrektur

$$\Delta h^l = \Delta h_1 + (\Delta h_2 - \Delta h_1) \cdot \frac{h^l - h_1^l}{h_2^l - h_1^l}$$

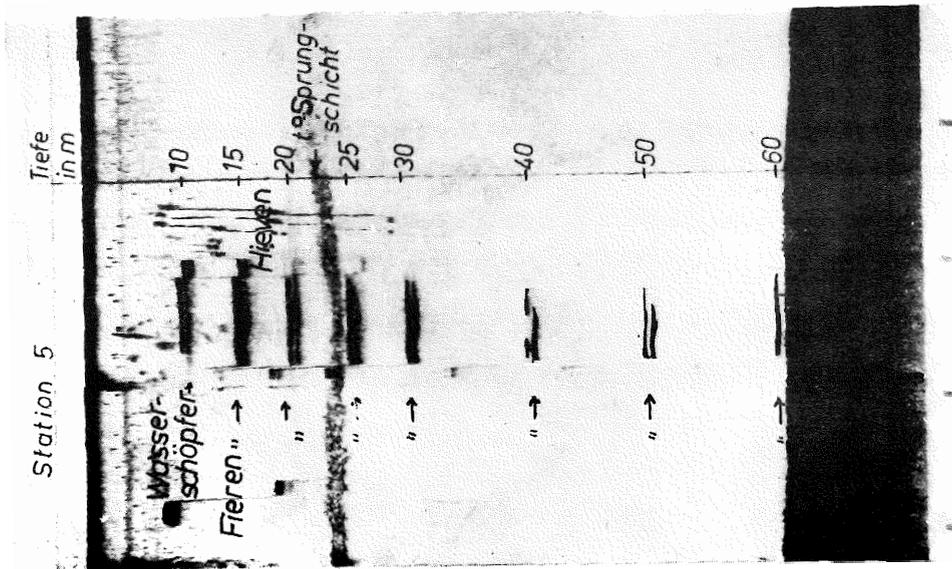
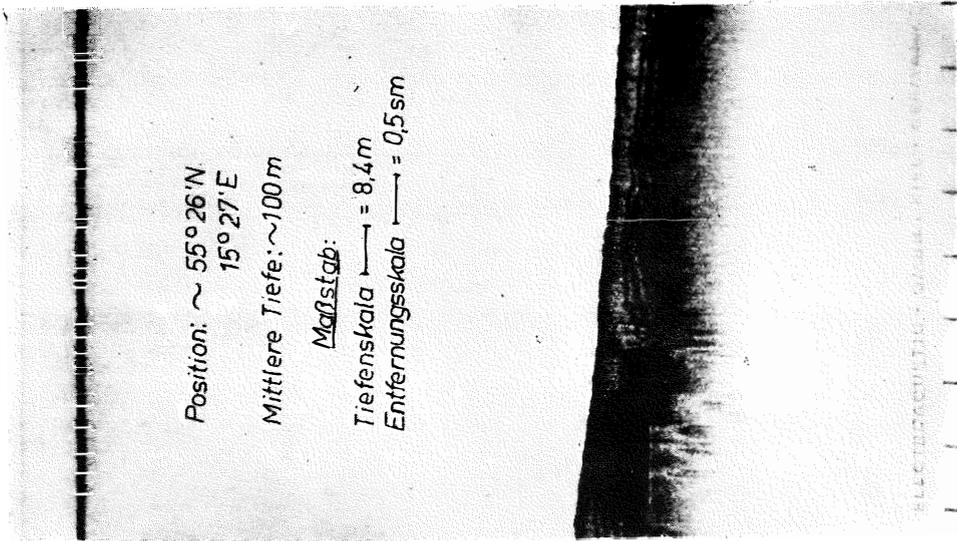
angebracht, worin $\Delta h_1 = h_1 - h_1^l$ und $\Delta h_2 = h_2 - h_2^l$ bedeuten. Durch diese lineare Tiefenreduktion lassen sich alle Tiefenwerte des Temperaturfühlers so auf die

Legende zu der nebenstehenden Tafel 3

- a) Schaltskizze für den Temperaturfühler
- b) Reduktion der mit dem Temperaturfühler festgestellten Temperaturen auf die (durch die Kippthermometer ermittelten) wahren Tiefen.



Tafel 3



Tafel 4

(als richtig angesehenen) Tiefenwerte des Kippwasserschöpfers¹⁾ beziehen, daß sich in den einzelnen Tiefenstufen übereinstimmende Temperaturwerte ergeben.

c) Tiefenbestimmungen mit Echographen

Zur Bestimmung und fortlaufenden Registrierung der Wassertiefe steht dem Forschungskutter „Südfall“ neben einem normalen Atlas-Echolot ein moderner Echograph, Fabrikat Elac, Typ Senior zur Verfügung. Dieser stellt ein sog. Ultraschallot mit einer Frequenz von 30 kHz dar und besitzt vier Haupt-, sowie vier Zwischenmeßbereiche. Die Hauptmeßbereiche umfassen die Tiefenstufen von 0—75, 0—150, 0—375 und 0—750 Meter, während durch die Zwischenmeßbereiche die Zwischentiefen 50—125, 100—250, 250—625 und 500—1250 erfaßt werden. Der Tiefenmaßstab ist für die einzelnen Meßbereiche verschieden (1 : 420 bis 1 : 4200), der Papiervorschub für die einzelnen Meßbereiche variabel einstellbar (0,6—18 mm pro Minute). Die Registrierung der durch Messung der Laufzeit des Ultraschalls ermittelten Lottiefen erfolgt auf elektrischem Wege, indem der von einem Empfangsverstärker kommende (Echo-) Stromstoß als Funke vom Schreibgriffel zum elektrisch leitenden Registrierpapier überspringt und durch Verbrennen der Oberflächenschicht eine Schwärzung erzeugt.

Zwei interessante Beispiele für Registrierungen mit dem Elac-Echographen, die außer der Wiedergabe des Bodenprofils noch deutlich die thermische Sprungschicht bzw. den geologischen Aufbau des Meeresbodens erkennen lassen, sind in Taf. 4 (in verkleinertem Maßstab) wiedergegeben. In Taf. 4a ist die Tiefenregistrierung während des Aufenthaltes an der Station 5 wiedergegeben. Außer der Registrierung der Tiefe des Meeresbodens (rd. 62 m) ist der von den Wasserschöpfern während der Durchführung der Serienmessungen reflektierte Ultraschall deutlich durch Schwärzungen des Registrierpapiers in den Tiefenstufen von 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 und 60 Meter zu erkennen. Der in fünf Meter Tiefe stehende Serienwasserschöpfer, der nur rd. 3,5 m unter dem am Schiffsboden angebrachten Schallgeber liegt, wird in dem Echogramm nicht wiedergegeben, da er sich bereits außerhalb des Schallkegels des Lotschwingers befindet. Das Wegfieren bzw. Einholen der Serienschöpfer zu Beginn und am Schluß der Messungen ist ebenfalls durch die schräg nach unten bzw. oben verlaufenden Schwärzungen erkennbar. Für die hydrographische Methodik ist die Wiedergabe der Tiefenlage der thermischen Sprungschicht auf dem Echogramm von besonderem Interesse. Wie aus den Temperaturmessungen an der Station 5 hervorgeht (Tab. 1), ist zwischen 20 und 25 m Tiefe ein ausgeprägter Temperatursprung vorhanden, dessen Größe sich auf fast 6°C beläuft. Im Echogramm wird diese Sprungschicht durch eine zwar nur schwach ausgeprägte, aber noch deutlich wahrnehmbare Schwärzung des Registrierpapiers in etwa 23 m Tiefe wiedergegeben. Da in der tiefer gelegenen Salzgehaltsübergangsschicht ein solches Echo nicht auftritt, kann man annehmen, daß nicht allein der resultierende Dichtesprung, sondern vielmehr vornehmlich eine Ansammlung von Plankton und Kleinfischformen, die direkt oberhalb der Sprungschicht offenbar günstige Milieubedingungen vorfinden, sowie von oberhalb der Sprungschicht schwebendem Detritus für die Reflexion des Ultraschalls in dieser Tiefenlage verantwortlich ist.

¹⁾ Der Instrumentendraht (mit den Wasserschöpfern und Kippthermometern) stand bei den betr. Reihenmessungen praktisch senkrecht.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 4

- a) Registrierung der Tiefenlage der Temperatur-Sprungschicht (sowie der Wasserschöpfer) durch den Elac-Echographen,
- b) Registrierung der unterschiedlichen Schallhärte verschiedener Sedimente am Meeresboden mit dem Elac-Echographen.

In Taf. 4b ist ein Echogramm wiedergegeben, das die unterschiedliche Schallhärte verschiedener Sedimente im Meeresboden und damit auch den geologischen Aufbau desselben deutlich erkennen läßt. Beim Auftreffen des Schalls auf ein Hindernis wird ein Teil des Schalls an der Grenzfläche reflektiert, während der andere Teil in das Hindernis eindringt. Bei gleicher Energie des Auftreffschalls hängt die Eindringtiefe nur von den Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Bodenart ab. Bei hoher Schallreflexion steht für die Fortpflanzung des Schalls in den Boden nur noch eine geringe Schallenergie zur Verfügung, so daß die Eindringtiefe im Vergleich zu schlecht reflektierenden Bodenarten gering ist. Ebenso nimmt die Eindringtiefe mit zunehmendem Absorptionsvermögen des Hindernisses ab, da hier die Schallenergie schon in den obersten Schichten in Wärmeenergie umgesetzt wird. Während der Schall am festen Untergrund fast völlig reflektiert wird und deshalb nur eine geringe Eindringtiefe aufweist, dringt er in weiches Material wegen seiner schlechteren Reflexionseigenschaften erheblich tiefer ein. Jedoch genügt auch hier der reflektierte Anteil der auftreffenden Schallenergie, um die Oberkante der weichen Schicht im Echogramm anzuzeigen. In Taf. 4b erkennt man deutlich das unruhige Bodenrelief des festen Untergrundes mit seinen zum Teil sehr steilen Böschungswinkeln, sowie die darüberliegende weiche Sedimentationsschicht, die sich im Laufe der geologischen Epochen abgesetzt und zu einer weitgehenden Verebnung des Meeresbodens geführt hat. Da die Schallgeschwindigkeiten, die von den physikalischen Eigenschaften des Mediums abhängig sind, im Sediment und im Wasser verschieden sind, wird die Dicke der Sedimentationsschicht von den (auf die mittlere Schallgeschwindigkeit im Wasser geeichten) Echoloten nicht genau wiedergegeben, so daß sich keine exakten Angaben über die sehr unterschiedlichen Sedimentdicken machen lassen. Man kann jedoch annehmen, daß ein auf die mittlere Schallgeschwindigkeit im Wasser geeichter Echograph wegen der vermutlich größeren Schallgeschwindigkeit im Sediment zu geringe Schichtdicken gegenüber der wahren Mächtigkeit des Sediments aufzeichnet. Ohne Berücksichtigung der vergrößerten Schallgeschwindigkeit im Sediment ergeben sich aus dem Echogramm Schichtdicken von 1 bis zu über 10 m mit niedrigen Werten über den Erhebungen und hohen Werten über den Senken und Rinnen des festen Untergrundes. Die weniger deutlich hervortretenden Echos innerhalb der Sedimentschicht selbst deuten auf Inhomogenitäten in den Materialkonstanten des Sediments hin und lassen auf die Existenz von Schichtungen innerhalb desselben schließen.

d) Salzgehalts- und Sauerstoffbestimmungen

Die Bestimmung des Salz- und Sauerstoffgehaltes der mit den Wasserschöpfern heraufgebrachten und in Spezialflaschen abgefüllten Wasserproben wurde nach Rückkehr des Forschungskutters im Institut für Meereskunde durch Fräulein E. Krey und Dr. M. Lümann vorgenommen. Zur Bestimmung des Salzgehaltes wurde das chlortrimetrische Verfahren von Mohr, zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes die Methode von Winkler angewendet. Zur Erzielung einer höheren Meßgenauigkeit wurde bei der Chlortitrierung statt der üblichen Büretten eine engrohrige Mikrobürette verwendet, die wegen der feineren Skaleneinteilung eine genauere Ablesung der abgelaufenen Silbernitratmenge gestattete. Durch zahlreiche, regelmäßig durchgeführte Kontrollmessungen mittels Normalwassers ist das Korrektionsglied für die Einstellung der Silbernitratlösung laufend bestimmt worden. Zur Ermittlung des Chlor- und Salzgehaltes aus den Ergebnissen der Chlortitrierung wurden die „Hydrographischen Tabellen“ benutzt. Die Bestimmung der Dichte und des (auf die Sättigung bezogenen) prozentualen Sauerstoffgehaltes wurde mit Hilfe der von K. Kalle und H. Thorade (2,3) berechneten Tabellen und Nomogramme vorgenommen.

Tab. 1. Die Reihenmessungen an den Stationen des Forschungskutters „Südfall“ im Juni/Juli 1954

| Tiefe m | Temperatur t °C | Salzgehalt S ‰ | Dichte σ_t | Sauerstoffgehalt O ₂ | | Tiefe m | Temperatur t °C | Salzgehalt S ‰ | Dichte σ_t | Sauerstoffgehalt O ₂ | |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----|--|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|----|
| | | | | ccm/l | % | | | | | ccm/l | % |
| Station 1. 57° 26,5' N; 17° 40,0' E. 30. 6. 1954, 21 ^h 45 ^m —22 ^h 30 ^m , Tiefe: 110 m, t _L = 12,8°C; SW 2; As, Ac ⁸ / ₈ | | | | | | Station 4. 56° 02,0' N; 16° 30,0' E. 1. 7. 1954, 11 ^h 05 ^m —11 ^h 15 ^m , Tiefe: 51 m, t _L = 11,6°C; SW 1; Cu, Ac ¹ / ₈ | | | | | |
| 0 | 13,84 | 7,39 | 5,02* | — | — | 0 | 11,16 | 7,68* | 5,62* | — | — |
| 5 | 13,46 | 7,38 | 5,08 | — | — | 5 | 9,84 | 7,72 | 5,82 | — | — |
| 10 | 13,45 | 7,38* | 5,08 | — | — | 10 | 6,54 | 7,76 | 6,12 | — | — |
| 15 | 13,32 | 7,39 | 5,10 | — | — | 15 | 5,24 | 7,83 | 6,24 | — | — |
| 20 | — | 7,41 | — | — | — | 20 | 4,85 | 7,86 | 6,28 | — | — |
| 25 | — | 7,45 | — | — | — | 25 | 4,36 | 7,88 | 6,32 | — | — |
| 30 | 5,45 | 7,39* | 5,92 | 8,06 | 95 | 30 | 4,36 | 7,94 | 6,36 | 8,01 | 92 |
| 40 | 4,05 | 7,50 | 6,02 | 8,01 | 91 | 40 | 3,49 | 8,37 | 6,72 | 8,41 | 94 |
| 50 | 2,61* | 7,57 | 6,08 | 7,66 | 84 | 48 | 2,98* | 9,92 | 7,97 | 7,69 | 86 |
| 60 | 3,56 | 8,30 | 6,67 | 5,90 | 66 | | | | | | |
| 70 | 4,60 | 10,25 | 8,19 | 1,65 | 19 | | | | | | |
| 80 | — | 10,64 | — | 1,52 | — | | | | | | |
| 90 | 4,92 | 10,84 | 8,63 | 1,21 | 14 | | | | | | |
| 100 | 4,92 | 10,91 | 8,69 | 1,10* | 13* | | | | | | |
| Station 2. 56° 40,0' N; 17° 09,0' E. 1. 7. 1954, 05 ^h 00 ^m —05 ^h 25 ^m , Tiefe: 82 m, t _L = 10,5°C; SW 1—2; Sc ⁷ / ₈ | | | | | | Station 5. 55° 47,5' N; 16° 07,0' E. 1. 7. 1954, 13 ^h 40 ^m —14 ^h 00 ^m , Tiefe: 62 m, t _L = 14,6°C; SW 1; Cu, Ac, Ci ³ / ₈ | | | | | |
| 0 | 9,21 | 7,57* | 5,75* | — | — | 0 | 14,26 | 7,74* | 5,24* | — | — |
| 5 | 8,65 | 7,59 | 5,82 | — | — | 5 | 13,22 | 7,76 | 5,42 | — | — |
| 10 | 7,43 | 7,61 | 5,93 | 7,80 | 96 | 10 | 12,20 | 7,70 | 5,51 | — | — |
| 15 | 7,06 | 7,61 | 5,96 | — | — | 15 | 11,63 | 7,67 | 5,52 | — | — |
| 20 | 6,37 | 7,61 | 6,00 | — | — | 20 | 11,08 | 7,63* | 5,59 | — | — |
| 25 | 4,74 | 7,68 | 6,14 | — | — | 25 | 5,13 | 7,79 | 6,21 | — | — |
| 30 | 4,38 | 7,72 | 6,19 | 8,22 | 94 | 30 | 4,37 | 7,92 | 6,35 | — | — |
| 40 | 4,19 | 7,83 | 6,27 | 8,66 | 99 | 40 | 3,84 | 8,03 | 6,44 | — | — |
| 50 | 3,50* | 8,21 | 6,60 | 6,47 | 73 | 50 | 3,05 | 10,32 | 8,29 | — | — |
| 60 | 4,45 | 9,92 | 7,93 | 1,70 | 20 | 60 | 2,94* | 13,55 | 10,86 | — | — |
| 70 | 4,70 | 10,41 | 8,31 | 1,37 | 16 | | | | | | |
| 80 | 4,67 | 10,50 | 8,38 | 0,78* | 9* | | | | | | |
| Station 3. 56° 23,0' N; 16° 46,5' E. 1. 7. 1954, 08 ^h 00 ^m —08 ^h 20 ^m , Tiefe: 72 m, t _L = 9,6°C; SW 1—2; Sc, Ac ⁷ / ₈ | | | | | | Station 6. 55° 32,5' N; 15° 41,0' E. 1. 7. 1954, 16 ^h 15 ^m —16 ^h 45 ^m , Tiefe: 82 m, t _L = 16,1°C; Stille; As, Cs ¹ / ₈ | | | | | |
| 0 | 7,99 | 7,70* | 5,78* | — | — | 0 | 15,13 | 7,77 | 5,13* | — | — |
| 5 | 7,47 | 7,74 | 6,04 | — | — | 5 | 14,80 | 7,77 | 5,18 | — | — |
| 10 | 6,90 | — | — | — | — | 10 | 14,65 | 7,77 | 5,21 | — | — |
| 15 | 4,64 | 7,83 | 6,26 | — | — | 15 | 14,62 | 7,77 | 5,21 | — | — |
| 20 | 4,25 | 7,86 | 6,30 | — | — | 20 | 14,62 | 7,77 | 5,21 | — | — |
| 25 | 3,65 | 7,92 | 6,37 | — | — | 25 | — | 7,76 | — | — | — |
| 30 | 3,41 | 7,95 | 6,39 | — | — | 30 | 13,85 | 7,76* | 5,32 | — | — |
| 40 | 3,36 | 8,08 | 6,49 | — | — | 40 | 4,54 | — | — | — | — |
| 50 | 3,50* | 8,80 | 7,06 | — | — | 50 | 2,95* | 8,12 | 6,54 | — | — |
| 60 | 4,46 | 10,08 | 8,04 | — | — | 60 | 4,84 | 11,47 | 9,14 | — | — |
| 70 | 4,46 | 10,17 | 8,12 | — | — | 70 | 2,75* | 14,40 | 11,54 | — | — |
| | | | | | | 80 | 5,63 | 16,56 | 13,10 | — | — |

| Tiefe m | Tempe- ratur t °C | Salz- gehalt S ‰ | Dichte σ _t | Sauerstoff- gehalt O ₂ | | Tiefe m | Tempe- ratur t °C | Salz- gehalt S ‰ | Dichte σ _t | Sauerstoff- gehalt O ₂ | |
|------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|
| | | | | ccm/l | % | | | | | ccm/l | % |

Station 7. 55° 19,0' N; 15° 12,8' E.
1. 7. 1954, 21^h 10^m—21^h 30^m, Tiefe: 114 m,
t_L = 14,4°C; ESE 1; Ac 7/8

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 14,84 | 7,79 | 5,19* | — | — |
| 10 | 13,82 | 7,79 | 5,35 | — | — |
| 15 | 13,72 | 7,79 | 5,36 | — | — |
| 20 | 5,27 | 7,77* | 6,20 | — | — |
| 30 | — | 7,83 | — | — | — |
| 40 | 3,74 | 7,97 | 6,41 | 8,78 | 99 |
| 50 | 2,60* | 12,23 | 9,81 | — | — |
| 60 | 5,12 | 15,64 | 12,41 | 6,65 | 82 |
| 70 | 6,13 | 17,21 | 13,57 | — | — |
| 80 | 6,29 | 17,43 | 13,73 | 6,51 | 83 |
| 100 | 6,20* | 17,65 | 13,91 | 5,88* | 75* |

Station 8. 55° 13,8' N; 14° 32,3' E.
2. 7. 1954, 12^h 05^m—12^h 20^m, Tiefe: 47 m,
t_L = 12,8°C, NNE 3; Cu, As, Ac 5/8

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|---|---|
| 0 | 12,38 | 7,81 | 5,58 | — | — |
| 3 | 12,22 | — | — | — | — |
| 5 | 11,88 | 7,83 | 5,65 | — | — |
| 8 | 11,47 | — | — | — | — |
| 10 | 9,58 | 7,83 | 5,92 | — | — |
| 13 | 8,14 | — | — | — | — |
| 15 | 6,87 | 7,83 | 6,15 | — | — |
| 20 | 5,51 | 7,83 | 6,22 | — | — |
| 23 | 5,47 | — | — | — | — |
| 25 | 4,89* | 8,24 | 6,57 | — | — |
| 28 | 5,18 | — | — | — | — |
| 30 | 5,46 | 8,82 | 7,01 | — | — |
| 40 | 7,52 | 12,21 | 9,53 | — | — |
| 45 | 7,15* | 18,04 | 14,13 | — | — |

Station 9. 55° 06,0' N; 14° 01,0' E.
2. 7. 1954, 14^h 40^m—15^h 00^m, Tiefe: 49 m,
t_L = 15,4°C; WNW 2; Ac, Cs 5/8

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|------|----|
| 0 | 14,34 | 7,86 | 5,32* | — | — |
| 5 | 14,05 | 7,86 | 5,37 | — | — |
| 10 | 13,23 | 7,85 | 5,48 | — | — |
| 15 | 11,67 | 7,79 | 5,65 | — | — |
| 20 | 8,56 | 7,81 | 6,01 | — | — |
| 25 | 5,60 | 7,97 | 6,34 | — | — |
| 30 | 5,55* | 8,17 | 6,50 | 8,07 | 95 |
| 40 | 8,77 | 15,66 | 12,14 | — | — |
| 47 | 6,03* | 19,65 | 15,50 | 4,82 | 61 |

Station 10. 54° 57,5' N; 13° 30,0' E.
2. 7. 1954, 18^h 15^m—18^h 25^m, Tiefe: 48 m,
t_L = 15,3°C; W 3; Ac, Ci, Cs 3/8

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|---|---|
| 0 | 14,60 | 8,03 | 5,40* | — | — |
| 5 | 14,17 | 8,03 | 5,47 | — | — |
| 10 | 12,92 | 8,12 | 5,73 | — | — |
| 15 | 9,95 | 7,94 | 5,97 | — | — |
| 20 | 8,12 | 7,92* | 6,13 | — | — |
| 25 | 6,23 | 7,94 | 6,28 | — | — |
| 30 | 7,43 | 8,87 | 6,93 | — | — |
| 40 | 6,08 | 18,78 | 14,80 | — | — |
| 45 | 5,64* | 20,23 | 15,99 | — | — |

Station 11. 54° 50,0' N; 13° 00,0' E.
2. 7. 1954, 20^h 55^m—21^h 10^m, Tiefe: 27 m,
t_L = 15,1°C; WNW 2; Ac, Cs 1/8

| | | | | | |
|----|--------|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 15,01 | 8,21* | 5,48* | — | — |
| 5 | 14,78 | 8,42 | 5,68 | — | — |
| 10 | 14,53 | 9,22 | 6,32 | 6,81 | 98 |
| 15 | 14,52 | 10,03 | 6,94 | 6,37* | 93* |
| 20 | 14,36 | 10,34 | 7,22 | 6,44 | 94 |
| 25 | 11,63* | 12,48 | 9,27 | 6,84 | 95 |

Station 12. 53° 38,0' N; 12° 28,0' E.
3. 7. 1954, 00^h 00^m—00^h 15^m, Tiefe: 17 m,
t_L = 14,8°C; W 2; Ac 1/8

| | | | | | |
|----|--------|-------|-------|---|---|
| 0 | 14,82 | 9,22* | 6,27* | — | — |
| 5 | 14,68 | 9,92 | 6,84 | — | — |
| 10 | 14,09 | 10,57 | 7,44 | — | — |
| 15 | 13,05* | 16,18 | 11,91 | — | — |

Station 13. 54° 24,5' N; 12° 07,5' E.
3. 7. 1954, 02^h 20^m—02^h 30^m, Tiefe: 23 m,
t_L = 14,8°C; WNW 2; Cb, Ci 2/8

| | | | | | |
|----|-------|--------|-------|------|----|
| 0 | 15,96 | 12,25* | 8,39* | — | — |
| 5 | 15,97 | 12,36 | 8,40 | 6,59 | 98 |
| 10 | 14,98 | 13,59 | 9,60 | — | — |
| 15 | 13,97 | 17,45 | 13,39 | 6,56 | 97 |
| 20 | 7,28* | 28,06 | 21,95 | 6,18 | 87 |

Station 14. 54° 23,3' N; 11° 47,6' E.
3. 7. 1954, 04^h 35^m—04^h 50^m, Tiefe: 22 m,
t_L = 14,2°C; W 2-3; Cu, Ci, Cs 2/8

| | | | | | |
|----|-------|--------|-------|---|---|
| 0 | 15,82 | 12,50* | 8,61* | — | — |
| 5 | 15,82 | 12,52 | 8,65 | — | — |
| 10 | 15,62 | 12,92 | 8,97 | — | — |
| 15 | 14,32 | 16,31 | 11,80 | — | — |
| 20 | 7,02* | 29,61 | 23,21 | — | — |

| Tiefe m | Temperatur t °C | Salzgehalt S ‰ | Dichte σ_t | Sauerstoffgehalt O ₂ | | Tiefe m | Temperatur t °C | Salzgehalt S ‰ | Dichte σ_t | Sauerstoffgehalt O ₂ | |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|-----|--|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|---|
| | | | | ccm/l | % | | | | | ccm/l | % |
| Station 15. 54° 28,8' N; 11° 31,0' E. 3. 7. 1954, 06 ^h 10 ^m —06 ^h 25 ^m , Tiefe: 26 m, t _L = 14,4°C; W 2—3; Cu, Ac, Cs ⁷ / ₈ | | | | | | Station 18. 54° 34,8' N; 10° 40,8' E. 3. 7. 1954, 11 ^h 20 ^m —11 ^h 30 ^m , Tiefe: 22 m, t _L = 14,6°C; W 3—4; Cu, Ac ⁷ / ₈ | | | | | |
| 0 | 15,73 | 12,79 | 8,85* | — | — | 0 | 15,53 | 14,58* | 10,25* | — | — |
| 5 | 15,32 | 12,70* | 8,85 | — | — | 5 | 15,42 | 14,60 | 10,29 | — | — |
| 10 | 14,09 | 17,34 | 12,62 | — | — | 10 | 14,78 | 15,90 | 11,40 | — | — |
| 15 | 13,50 | 18,35 | 13,51 | — | — | 15 | 11,82 | 24,13 | 18,23 | — | — |
| 20 | 8,37 | 28,51 | 22,17 | — | — | 20 | 8,20* | 29,31 | 22,81 | — | — |
| 24 | 7,84* | 29,09 | 22,69 | — | — | | | | | | |
| Station 16. 54° 34,8' N; 11° 16,8' E. 3. 7. 1954, 07 ^h 40 ^m —07 ^h 50 ^m , Tiefe: 28 m, t _L = 13,8°C; W 3—4; Cu, Sc ⁸ / ₈ | | | | | | Station 19. 54° 31,5' N; 10° 24,3' E. 3. 7. 1954, 12 ^h 43 ^m —12 ^h 50 ^m , Tiefe: 12 m, t _L = 15,2°C; W 3—4; Ac, Cb ⁷ / ₈ | | | | | |
| 0 | 15,14 | 15,52* | 11,05* | — | — | 0 | 15,44 | 14,90* | 10,51* | — | — |
| 5 | 15,02 | 15,53 | 11,08 | — | — | 5 | 15,28 | 14,90 | 10,54 | — | — |
| 10 | 13,79 | 18,21 | 13,36 | — | — | 10 | 8,83* | 22,32 | 17,28 | — | — |
| 15 | 11,75 | 21,47 | 16,20 | 6,72 | 99 | | | | | | |
| 20 | 7,66 | 29,34 | 22,91 | 6,58 | 94 | | | | | | |
| 26 | 6,87* | 30,41 | 23,56 | 6,48* | 92* | | | | | | |
| Station 17. 54° 36,2' N; 11° 01,5' E. 3. 7. 1954, 09 ^h 35 ^m —09 ^h 50 ^m , Tiefe: 36 m, t _L = 14,0°C; W 3—4; Cu, Ac ⁷ / ₈ | | | | | | Station 20. 54° 24,9' N; 10° 12,8' E. 3. 7. 1954, 14 ^h 05 ^m —14 ^h 13 ^m , Tiefe: 13 m, t _L = 15,4°C; W 1—2; Sc, Cb ⁷ / ₈ | | | | | |
| 0 | 14,94 | 15,86* | 11,35* | — | — | 0 | 14,15 | 16,40* | 11,89* | — | — |
| 5 | 14,50 | 16,71 | 12,07 | — | — | 5 | 13,29 | 16,76 | 12,32 | — | — |
| 10 | 13,20 | 20,01 | 14,84 | — | — | 8 | 9,33 | 20,25 | 15,61 | — | — |
| 15 | 12,03 | 23,01 | 17,34 | — | — | 12 | 7,40* | 23,37 | 18,27 | — | — |
| 20 | 7,88 | 29,07 | 22,68 | — | — | | | | | | |
| 25 | 7,69 | 29,34 | 22,90 | — | — | | | | | | |
| 30 | 7,54 | 29,67 | 23,19 | — | — | | | | | | |
| 35 | 7,48* | 29,79 | 23,28 | — | — | | | | | | |

Anmerkung: Maxima fett,
Minima *.

3. Die vertikale Verteilung der ozeanographischen Hauptfaktoren an den „Südfall“-Stationen

Die vertikale Verteilung der ozeanographischen Hauptfaktoren an den 20 „Südfall“-Stationen auf der Route vom westlichen Gotlandbecken bis zur Kieler Förde ergibt sich zunächst aus Tab. 1, in welche die mit den Kippwasserschöpfern und Kippthermometern (in 0 m mit Pütze und Oberflächenthermometer, in der größten Tiefe mit dem Isolierwasserschöpfer) beobachteten Werte von t°C, S ‰, σ_t und O₂ (letztere nur in Auswahltiefen) enthalten sind. Wir erkennen aus diesen Reihenmessungen und noch klarer aus den (hier nur z. T. reproduzierten) Vertikalkurven (Taf. 5) sowie aus den Längsschnitten (Taf. 6, 7, 8) die zwei bereits von Witting (4) unterschiedenen Haupttypen der sommerlichen Ostsee-Schichtung, die wir z. T. noch etwas schärfer unterteilen können:

- 1.) Typus der engen und flachen Gewässer (Beltsee, Darsser Schwelle und die westlichen flachen Randgebiete des Arkona-Beckens). Er ist durch zwei Wasserkörper gekennzeichnet:
 - a) ein relativ salzarmes und warmes Oberwasser und
 - b) ein relativ salzreiches und kühles Bodenwasser,

und durch eine fast völlige Deckung der (zwischen 10 und 25 m gelegenen) thermischen, halinen und Dichte-Sprungschicht. Diese Verhältnisse sind an den „Südfall“-Stationen 11—20 gegeben.

2.) Typus der relativ großen und tiefen Becken (Arkona-Becken, Bornholm-Becken, Gotlandbecken). Dieser ist durch eine dreifache, meist sogar vierfache Schichtung gekennzeichnet.

- a) ein warmes und brackiges Oberwasser,
- b) ein sehr kaltes und brackiges Zwischenwasser mit intermediärem Temperaturminimum oberhalb des Salzgehaltsgefälles,
- c) ein schräg einfallendes, ca. 20 m mächtiges, kühles Tiefenwasser innerhalb der Salzgehaltsübergangsschicht mit mehreren Temperaturinversionen und
- d) ein etwas wärmeres salzreiches Bodenwasser.

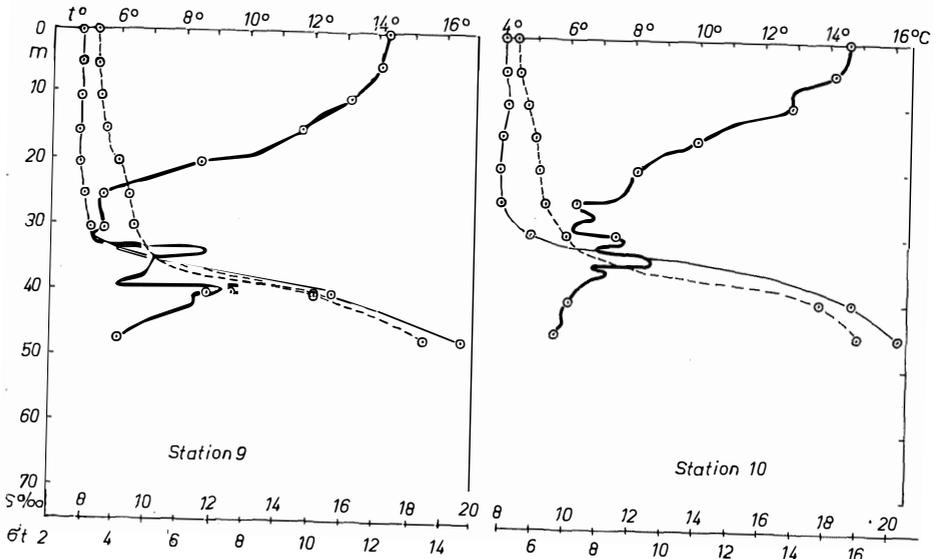
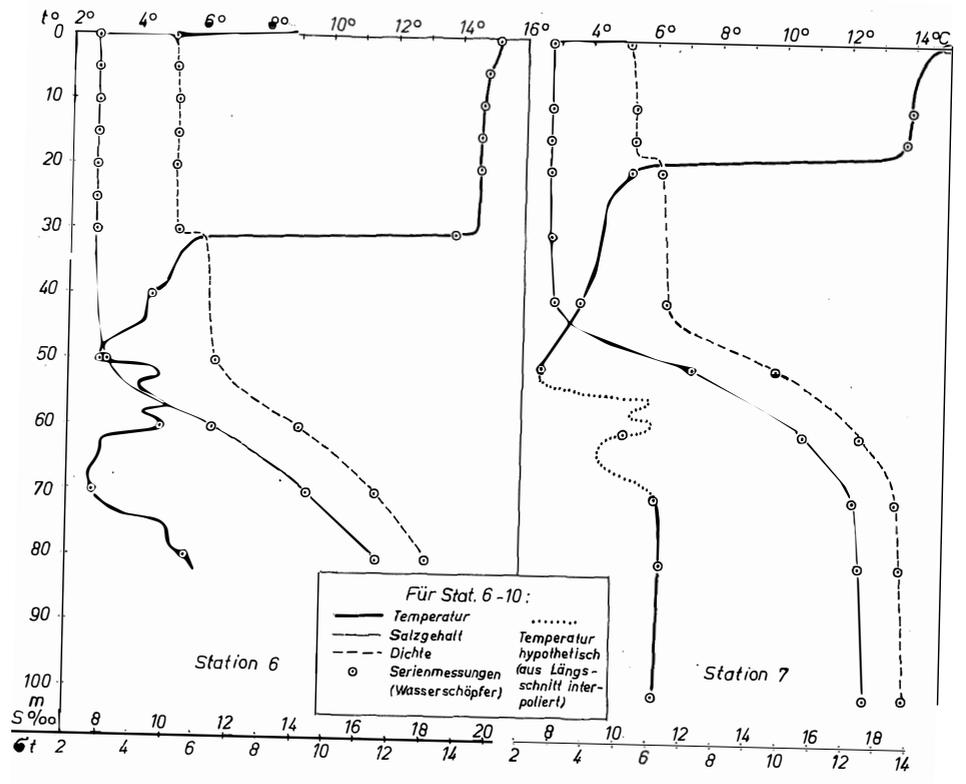
In diesem Typus existieren zwei Sprung- bzw. Übergangsschichten: die z. T. sehr scharfe thermische Sprungschicht in ca. 10—30 m Tiefe an der Untergrenze des Oberwassers, die in der Dichte-Vertikalkurve durch eine fast rechtwinklige schmale Stufe in Erscheinung tritt, und die haline und zugleich in der Dichte gut ausgebildete breite Hauptübergangsschicht¹⁾ in 40—70 m Tiefe. Diese drei- bzw. vierfache Schichtung ist besonders an den „Südfall“-Stationen 5—10 im Arkona- und Bornholm-Becken realisiert.

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. Zwar war bereits aus früheren Untersuchungen, besonders von O. Pettersson, Gehrke (5) und Wattenberg (1) bekannt, daß sich im Bornholm-Becken häufig im Sommer und Herbst in ca. 60 m Tiefe wärmeres Tiefenwasser (von fast 7°) in dünner Schicht einschleibt, so daß es zu einem intermediären Temperaturmaximum (einer Art „Spitze“ in der Vertikalkurve) innerhalb der Salzgehaltsübergangs- oder -sprungschicht kommt. Gehrke hat schon eine einleuchtende Erklärung für diese Erscheinung mit folgenden Worten gegeben: . . . „die Spitzen kommen gerade bei denjenigen Tiefen vor, in denen die Dichtigkeit (infolge des Salzgehaltsgefälles) am stärksten mit der Tiefe wächst, und wo somit die Vermischungen zwischen den Wasserschichten am schwierigsten vor sich gehen“. Die windschwache Wetterlage gestattete in diesen beiden Becken an den „Südfall“-Stationen 6, 7, 9, 10 und 11 den Einsatz des neuen Thermofühlers bis maximal 85 m Tiefe und dadurch kontinuierlich (von 1 m zu 1 m abgelesene) Aufnahmen von Zustandskurven der vertikalen Temperaturverteilung, wie sie — nach Elimination der Abtrift — in Tab. 2 enthalten sind. Wir erkennen aus diesen Zahlenreihen und noch besser aus den Vertikalkurven (Taf. 5), daß im Bornholm-Becken (Stat. 6) innerhalb der Salzgehalts-Übergangsschicht zwischen 52 und 60 m Tiefe nicht weniger als 3 intermediäre Temperaturmaxima (von fast 5°) vorhanden sind und daß in 50 und 68 m Tiefe zwei absolute Temperaturminima (von < 3°) existieren. An Stat. 7, wo wegen zu großer Abtrift des Kabels und Fühlers (durch Unterströmungen?) die Ablesungen aus Solltiefen von mehr als 50 m verworfen werden mußten, sind auf Grund von zwar hypothetischen Interpolationen aus dem Temperatur-Längsschnitt mit gewisser Wahrscheinlichkeit ebenfalls 3 Maxima (zwischen 55 und 75 m Tiefe) anzunehmen.

¹⁾ Sie ist östlich des Arkona-Beckens so breit und aufgefächert, daß wir hier vorziehen, nicht von einer „Sprungschicht“ zu sprechen.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 5

Vertikale Verteilung von Temperatur, Salzgehalt und Dichte an den „Südfall“-Stationen 6, 7, 9 und 10 unter Verwertung der mit dem Temperaturfühler festgestellten Zustandskurven.



Tafel 5

Im Arkona-Becken (Stat. 9, 10 und 11) wurden innerhalb der hier höher gelegenen Salzgehalts-Übergangsschicht zwischen 25 und 40 m Tiefe 2 bis 4 intermediäre Temperaturmaxima festgestellt. Auf die wahrscheinliche Entstehung dieser Temperaturinversionen, die auch durch die Ablesungen am Kippthermometer gelegentlich gestützt werden konnten, kommen wir bei der Betrachtung der Längsschnitte zurück. Hier soll nur noch auf die ungewöhnlich scharfe thermische Sprungschicht im Bornholm-Becken hingewiesen werden. Bei Stat. 6 erreicht der vertikale Temperaturgradient um 30 m Tiefe (zwischen 29,5 und 30,5 m) den gewaltigen Betrag von 8.0° pro 1 m, bei Stat. 7 zwischen 17 und 18 m immerhin noch 5,5° pro 1 m. Der vertikale Temperatur-

Tab. 2. Ergebnisse¹⁾ der Reihenmessungen mit dem Temperaturfühler an den „Südfall“-Stationen 6—11

| Tiefe (m) | Station | | | | | Tiefe (m) | Station | | | | |
|-----------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------|-------------|-------------|-------|-------|----|
| | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
| 0 | 15,1 | 15,85 | 14,35 | 14,6 | 15,0 | 41 | 4,45 | 3,65 | 8,45 | 5,9 | — |
| 1 | 15,05 | 14,45 | 14,25 | 14,6 | 15,0 | 42 | 4,40 | 3,6 | 8,4 | 5,8 | — |
| 2 | 15,0 | 14,25 | 14,15 | 14,55 | 14,95 | 43 | 4,3 | 3,55 | 8,15 | 5,9 | — |
| 3 | 14,9 | 14,1 | 14,15 | 14,5 | 14,9 | 44 | 4,1 | 3,2* | 7,1 | 5,7 | — |
| 4 | 14,85 | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,85 | 45 | 3,8 | 3,25 | 6,65 | 5,65* | — |
| 5 | 14,8 | 14,0 | 14,05 | 14,15 | 14,8 | 46 | 3,6 | 3,1 | 6,5 | — | — |
| 6 | 14,8 | 14,0 | 13,9 | 13,6 | 14,75 | 47 | 3,4 | 3,1 | 6,05* | — | — |
| 7 | 14,75 | 14,0 | 13,8 | 12,9 | 14,9 | 48 | 3,2 | 3,05 | — | — | — |
| 8 | 14,75 | 13,95 | 13,6 | 12,85 | 14,7 | 49 | 3,0 | 2,85 | — | — | — |
| 9 | 14,7 | 13,9 | 13,45 | 12,85 | 14,65 | 50 | 2,95* | 2,60* | — | — | — |
| 10 | 14,65 | 13,8 | 13,25 | 12,9 | 14,55 | 51 | 3,1 | — | — | — | — |
| 11 | 14,65 | 13,8 | 12,6 | 12,6 | 14,5 | 52 | 4,5 | — | — | — | — |
| 12 | 14,65 | 13,8 | 12,15 | 11,4 | 14,5* | 53 | 4,8 | — | — | — | — |
| 13 | 14,65 | 13,8 | 12,0 | 10,9 | 14,55 | 54 | 4,0* | — | — | — | — |
| 14 | 14,6 | 13,75 | 11,9 | 10,4 | 14,6 | 55 | 4,35 | — | — | — | — |
| 15 | 14,6 | 13,7 | 11,65 | 9,95 | 14,5* | 56 | 4,7 | — | — | — | — |
| 16 | 14,6 | 13,55 | 11,25 | 9,6 | 14,75 | 57 | 5,0 | — | — | — | — |
| 17 | 14,6 | 13,0 | 10,8 | 8,8 | 15,0 | 58 | 4,3* | — | — | — | — |
| 18 | 14,6 | 7,5 | 10,45 | 8,55 | 14,95 | 59 | 5,0 | — | — | — | — |
| 19 | 14,6 | 5,5 | 9,75 | 8,3 | 14,8 | 60 | 4,85 | — | — | — | — |
| 20 | 14,6 | 5,25 | 8,55 | 8,1 | 14,35 | 61 | 2,95 | — | — | — | — |
| 21 | 14,6 | 5,1 | 7,6 | 7,95 | 13,15 | 62 | 2,95 | — | — | — | — |
| 22 | 14,6 | 5,05 | 6,95 | 7,85 | 12,0 | 63 | 2,95 | — | — | — | — |
| 23 | 14,6 | 5,0 | 6,45 | 7,7 | 10,95* | 64 | 2,95 | — | — | — | — |
| 24 | 14,6 | 4,6 | 5,9 | 7,55 | 11,55 | 65 | 2,95 | — | — | — | — |
| 25 | 14,6 | 4,6 | 5,6 | 6,25* | 11,65 | 66 | 2,8 | — | — | — | — |
| 26 | 14,6 | 4,5 | 5,65 | 6,4 | — | 67 | 2,7 | — | — | — | — |
| 27 | 14,6 | 4,45 | 5,55 | 6,75 | — | 68 | 2,65* | — | — | — | — |
| 28 | 14,6 | 4,4 | 5,5 | 6,2 | — | 69 | 2,7 | — | — | — | — |
| 29 | 14,55 | 4,4 | 5,5 | 6,2* | — | 70 | 2,75 | — | — | — | — |
| 30 | 13,85 | 4,4 | 5,55 | 7,45 | — | 71 | 2,85 | — | — | — | — |
| 31 | 6,5 | 4,35 | 5,2* | 7,65 | — | 72 | 2,95 | — | — | — | — |
| 32 | 5,6 | 4,3 | 5,3 | 7,0* | — | 73 | 3,3 | — | — | — | — |
| 33 | 5,55 | 4,3 | 5,45 | 8,55 | — | 74 | 4,1 | — | — | — | — |
| 34 | 5,5 | 4,25 | 8,8 | 8,55 | — | 75 | 5,05 | — | — | — | — |
| 35 | 5,35 | 4,25 | 6,95 | 7,0 | — | 76 | 5,1 | — | — | — | — |
| 36 | 5,15 | 4,2 | 7,0 | 7,05 | — | 77 | 5,15 | — | — | — | — |
| 37 | 5,05 | 4,15 | 7,0 | 6,5 | — | 78 | 5,15 | — | — | — | — |
| 38 | 4,95 | 4,05 | 6,75 | 6,4 | — | 79 | 5,20 | — | — | — | — |
| 39 | 4,80 | 3,85 | 6,15* | 6,25 | — | 80 | 5,65 | — | — | — | — |
| 40 | 4,55 | 3,75 | 9,0 | 6,1 | — | | | | | | |

¹⁾ Tiefenkorrigierte Werte, bei denen die Effekte der Abtrift eliminiert sind (vgl. S. 8).
Maxima fett, Minima *.

gradient $\Delta t/1m = \sim 8^{\circ}$ dürfte einen in den deutschen Randmeeren in solcher Tiefe (30 m) bisher noch nicht beobachteten Rekordwert darstellen. Es ist bemerkenswert, daß der hiermit verknüpfte Dichtegradient $\Delta\sigma_t/1m$ ca. 0.7 beträgt, aber in dem σ_t -Längsschnitt nur schwach, in der Vertikalkurve hingegen durch eine fast horizontale Stufe in Erscheinung tritt. In Tab. 3 sind für markante Punkte der vertikalen Verteilung aus den Zustandskurven von t^0 und $S^{0/00}$ der Stationen 6, 7, 9, 10 und 11 (mit Temperaturfühler-Ablesungen) die Dichtewerte berechnet, welche der Konstruktion der σ_t -Vertikalkurven und des σ_t -Längsschnittes zugrundegelegt sind.

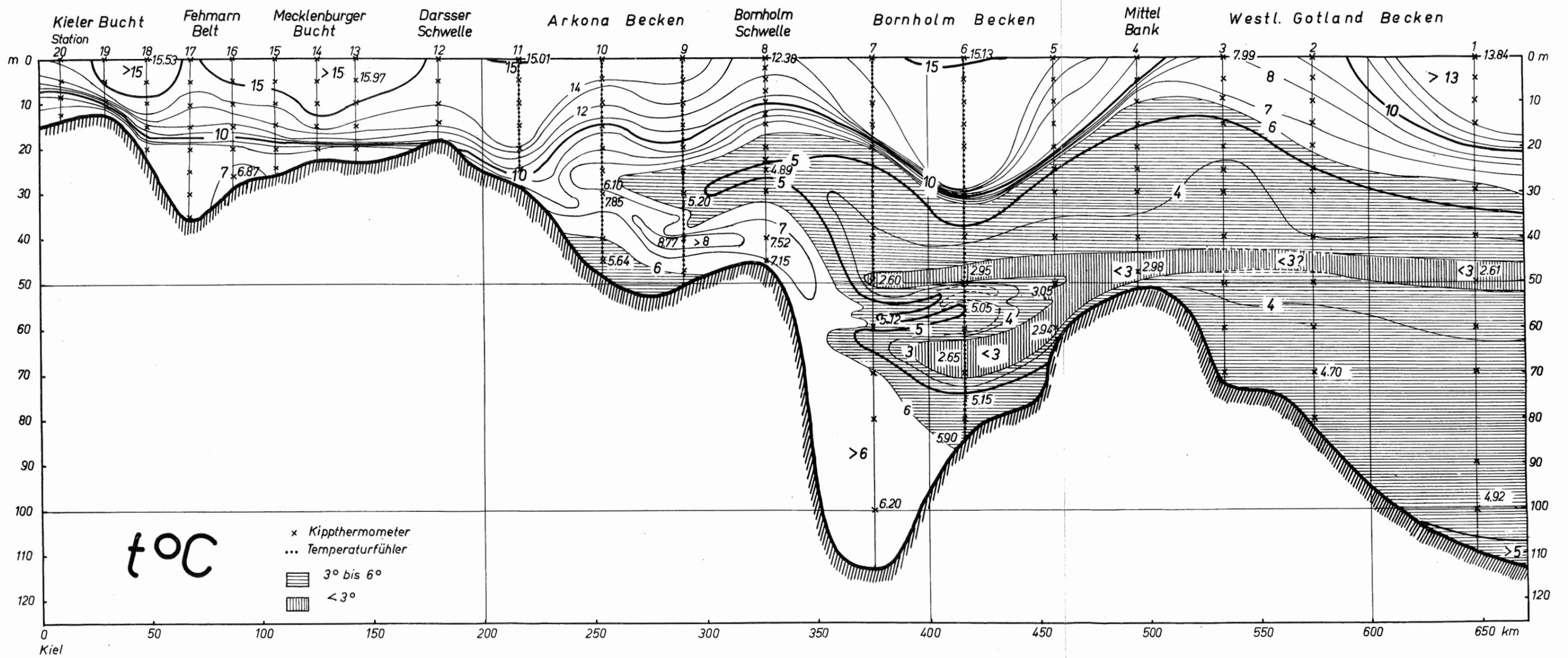
Die scharfen nur ca. 1 m mächtigen thermischen und Dichte-Sprungschichten im Bornholm-Becken haben fast den Charakter von Sperrschichten, was auch durch die sekundären Echos in den Echogrammen (Taf. 4a) bestätigt und bei „Südfall“-Station 5 infolge günstiger Einstellung des Echographen besonders deutlich wird. Ähnlich scharfe, wohl nicht so extrem ausgeprägte Temperatur- und Dichtesprünge, die durch einen sekundären Echostreifen in ihrer Tiefenlage verifiziert sind, hat Joseph auf den zwei Nordsee-Schnitten des Vermessungsschiffes „Gauss“ im August 1953 in ca. 25 m Tiefe mit Thermoelementen beobachtet, wie aus einer kürzlichen Veröffentlichung von Dietrich (6) hervorgeht.

4.) Die Längsschnitte der Temperatur, des Salzgehalts und der Dichte

Deuten bereits die Zustandskurven an den einzelnen Stationen auf seitliche Einschübe warmer bzw. kühler und salzarmer bzw. salzreicher Wassermassen, so geben erst die Längsschnitte der Temperatur, des Salzgehalts und der Dichte (Taf. 6, 7 und 8) ein geschlossenes Bild von den Schichtungs- und Ausbreitungsverhältnissen im Juni/Juli 1954 in den „Talwegen“ der betreffenden Becken und Schwellen der Ostsee. Zwar muß man sich darüber im klaren sein, was auch Wattenberg (1) betont hat, „daß die ange-troffenen Verhältnisse nicht nur einen im jahreszeitlichen Kreislauf periodisch wiederkehrenden Zustand, sondern zum Teil auch eine einmalige historische Situation widerspiegeln“. 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 fischer-reichlich von großem Werte sein würde. Man denke nur an die biologische Umstimmung der Ostsee in den letzten Jahrzehnten als eine Folge hydrographischer Wasserumschichtungen, auf die neuerdings wieder P. F. Meyer-Waarden und K. Kalle (7) oder auch die Arbeiten von Kändler (8) hingewiesen haben. Natürlich wird es erforderlich sein, wie auch Wattenberg (1) gezeigt hat, dabei eingehende Beobachtungen über die Minimumstoffe mit in das Programm aufzunehmen und im Sinne von J. Krey (9) u. a. alle wesentlichen Produktionsfaktoren (wie Chlorophyll, Eiweiß, und Fluoreszenz) für das Plankton zu bestimmen sowie durch meeresoptische Messungen die Verbreitung der Trübschichten usw. festzustellen. Unsere kleine Untersuchungsfahrt stellte, wie bereits betont, lediglich eine Art Vorexpedition zur Erprobung der neuen Forschungseinrichtungen unseres Schiffes dar und stand durch seine doppelte Aufgabe (astro-

Legende zu der nebenstehenden Tafel 6

Längsschnitt der Temperatur durch die Ostsee im Juni/Juli 1954 auf Grund der „Südfall“-Serienmessungen bei gleichzeitiger Verwertung der tiefenkorrigierten Ablesungen mit dem Temperaturfühler).



Tafel 6

Tab. 3. Berechnung der Dichte an markanten Punkten für die Stationen mit Temperaturfühlermessungen

| Station 6 | | | | Station 7 | | | | Station 9 | | | |
|-----------|-------|--------------------------------|----------------|-----------|-------|--------------------------------|----------------|-----------|-------|--------------------------------|----------------|
| Tiefe | Temp. | S ⁰ / ₀₀ | σ _t | Tiefe | Temp. | S ⁰ / ₀₀ | σ _t | Tiefe | Temp. | S ⁰ / ₀₀ | σ _t |
| 0,0 | 15,13 | 7,77 | 5,13 | 0,0 | 14,84 | 7,79 | 5,19 | 0,0 | 14,34 | 7,86 | 5,32 |
| 2,5 | 14,95 | 7,77 | 5,16 | 3,5 | 14,05 | 7,79 | 5,31 | 5,0 | 14,05 | 7,86 | 5,37 |
| 29,0 | 14,55 | 7,76 | 5,21 | 17,0 | 13,00 | 7,78 | 5,46 | 12,0 | 12,15 | 7,80 | 5,60 |
| 32,0 | 5,60 | 7,77 | 6,18 | 18,5 | 5,70 | 7,78 | 61,8 | 15,0 | 11,67 | 7,79 | 5,65 |
| 49,5 | 2,95 | 8,19 | 6,59 | 23,0 | 5,00 | 7,79 | 6,22 | 16,5 | 10,95 | 7,79 | 5,74 |
| 53,5 | 4,80 | 8,70 | 6,94 | 24,0 | 4,60 | 7,80 | 6,24 | 25,0 | 5,60 | 7,97 | 6,34 |
| 54,0 | 4,00 | 8,93 | 7,16 | 43,0 | 3,55 | 8,30 | 6,67 | 30,0 | 5,55 | 8,17 | 6,50 |
| 57,0 | 5,00 | 10,00 | 7,96 | 43,5 | 3,20 | 8,45 | 6,79 | 31,0 | 5,20 | 8,25 | 6,57 |
| 57,5 | 4,25 | 10,21 | 8,17 | 50,0 | 2,60 | 12,23 | 9,81 | 33,0 | 5,45 | 8,57 | 6,82 |
| 59,0 | 5,00 | 11,00 | 8,76 | 55,5 | 6,05 | 13,48 | 9,81 | 34,0 | 8,80 | 8,88 | 6,82 |
| 61,0 | 2,95 | 11,83 | 9,49 | 57,0 | 5,45 | 13,92 | 11,04 | 35,0 | 6,95 | 9,13 | 7,16 |
| 65,0 | 2,95 | 13,08 | 10,48 | 58,5 | 6,05 | 14,21 | 11,23 | 37,5 | 7,00 | 10,42 | 8,18 |
| 67,5 | 2,65 | 13,76 | 11,04 | 62,5 | 4,45 | 14,73 | 11,73 | 38,5 | 6,10 | 13,50 | 10,66 |
| 72,0 | 2,95 | 14,95 | 11,97 | 70,0 | 6,13 | 17,21 | 13,57 | 39,5 | 9,20 | 15,10 | 11,62 |
| 76,0 | 5,10 | 15,75 | 12,50 | 80,0 | 6,29 | 17,43 | 13,73 | 40,5 | 8,35 | 16,00 | 12,40 |
| 78,5 | 5,15 | 16,28 | 12,91 | 100,0 | 6,20 | 17,65 | 13,91 | 41,5 | 8,50 | 16,72 | 12,95 |
| 80,0 | 5,63 | 16,56 | 13,10 | | | | | 47,0 | 6,03 | 19,65 | 15,50 |

| Station 10 | | | | Station 11 | | | |
|------------|-------|--------------------------------|----------------|------------|-------|--------------------------------|----------------|
| Tiefe | Temp. | S ⁰ / ₀₀ | σ _t | Tiefe | Temp. | S ⁰ / ₀₀ | σ _t |
| 0,0 | 14,60 | 8,03 | 5,40 | 0,0 | 15,01 | 8,21 | 5,48 |
| 5,0 | 14,17 | 8,03 | 5,47 | 6,0 | 14,75 | 8,50 | 5,74 |
| 7,0 | 12,90 | 8,06 | 5,68 | 7,0 | 14,90 | 8,65 | 5,83 |
| 10,0 | 12,92 | 8,12 | 5,73 | 10,0 | 14,53 | 9,22 | 6,32 |
| 16,5 | 9,30 | 7,93 | 6,02 | 14,0 | 14,60 | 9,95 | 6,76 |
| 24,0 | 7,55 | 7,93 | 6,18 | 15,0 | 14,52 | 10,03 | 6,94 |
| 25,0 | 6,23 | 7,94 | 6,28 | 16,5 | 14,95 | 10,12 | 6,95 |
| 27,0 | 6,75 | 8,15 | 6,41 | 21,5 | 13,00 | 10,63 | 7,65 |
| 28,5 | 6,10 | 8,50 | 6,72 | 23,0 | 10,95 | 11,10 | 8,30 |
| 30,5 | 7,85 | 9,10 | 7,07 | 23,5 | 11,55 | 11,40 | 8,45 |
| 31,5 | 6,90 | 9,50 | 7,46 | 25,0 | 11,63 | 12,48 | 9,27 |
| 33,5 | 8,65 | 10,90 | 8,40 | | | | |
| 34,5 | 6,80 | 11,75 | 9,24 | | | | |
| 35,0 | 7,20 | 12,20 | 9,55 | | | | |
| 45,0 | 5,64 | 20,23 | 15,99 | | | | |

physikalische und ozeanographische) und mitten im Sommersemester für die eingeschifften Dozenten unter gewissem Zeitdruck, so daß die neueren chemisch-biologischen Methoden aus Zeitgründen nicht zur Anwendung gelangen konnten.

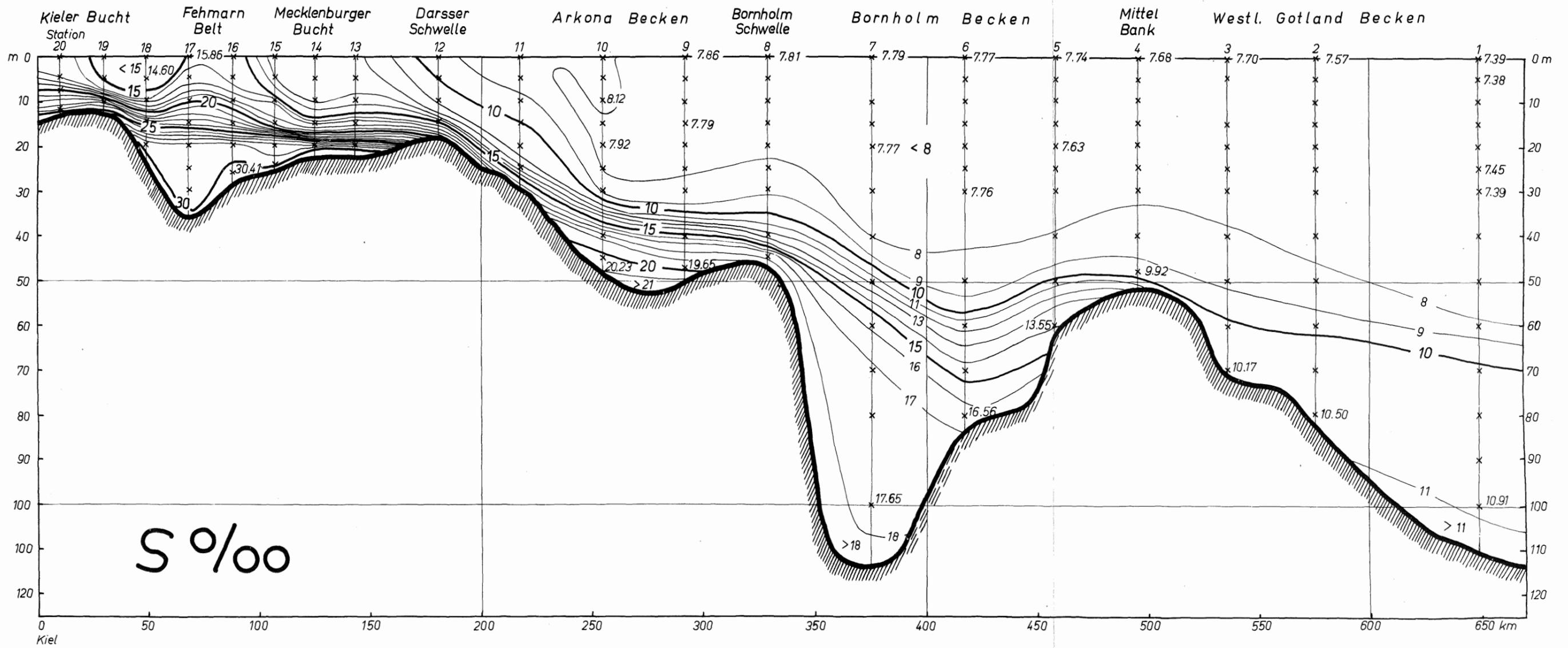
Es liegt nahe, unsere Längsschnitte mit den 15 Jahre zurückliegenden Profilen Wattenbergs (1), die zwar im Jahresablauf etwas später liegen, zu vergleichen, wobei man zwar bedenken muß, daß das Längsprofil des Kieler Instituts für Meereskunde damals durch das östliche Gotlandbecken und diesmal durch das westliche führt. In den großen Zügen zeigen beide Aufnahmen ähnliche Schichtungsverhältnisse. Entsprechend der vorgeschrittenen Jahreszeit lag damals die Temperatur der warmen Deckschicht im allgemeinen um 2⁰—4⁰ höher. Bemerkenswert ist, daß wir diesmal eine starke morphologische Beeinflussung der thermischen Sprungschicht feststellten mit einer Aufbiegung und Aufblätterung im Bereich der Schwellen und einer Abbiegung und Intensifikation im Bereich der tiefen Becken, während sie damals mehr horizontal

gelagert war. Im Salzgehaltsschnitt von 1954 ist ebenfalls eine stärkere morphologische Beeinflussung unverkennbar. Bemerkenswert ist, daß durchweg der Salzgehalt des Bodenwassers im Sommer 1954 — abgesehen vom Gotlandbecken — beträchtlich höher ist als 1939 (im Arkona-Becken um ca. 8⁰/₀₀, im Bornholm-Becken um ca. 2⁰/₀₀ höher), was auf einen stärkeren Einstrom von Nordsee- bzw Kattegatwasser schließen läßt.

Wir wenden uns nunmehr noch einmal den unerwartet komplizierten Temperaturverhältnissen zu, die wir unter Benutzung des Temperaturfühlers unterhalb der thermischen Sprungschicht — besonders im Arkona- und Bornholmbecken — im Juni/Juli 1954 festgestellt haben, und erkennen aus unserem Temperatur-Längsschnitt, daß offenbar durch quantenartig vordringende, von der Darsser Schwelle ausgehende wärmere Wassermassen sich 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, das in 50—70 m Tiefe den Rest der durch Vertikalkonvektion nach unten vorgedrungenen winterlichen Abkühlung darstellt, wird hierdurch in den beiden genannten Becken mehrfach aufgespalten. Entsprechend dem mittleren Salzgehalt der Oberschicht von 7,7⁰/₀₀ müßte die Temperatur dieses winterlichen Dichtemaximums des Oberwassers etwa bei annähernd 2,4⁰ liegen, unter dem Einfluß der Vermischung liegt die Temperatur der Kernschicht des großen Temperatur-Minimums in unserem Schnitt natürlich etwas höher (bei 2,6⁰ bis 2,9⁰). Im westlichen Bornholmbecken und im Arkonabecken weisen die Ausläufer dieses Winterwassers Temperaturen zwischen 5⁰ und 6⁰ auf. 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 (5) räumlich und zeitlich ziemlich beständig sind und verschiedenen Warmwasser- und Salzeinbrüchen bei dem wetterbedingten Wechsel von Einstrom- und Ausstromlagen ihre Entstehung verdanken. Unser Bild ist sicherlich noch in mancher Hinsicht hypothetisch, da der Stationsabstand zur Erfassung solcher Warmwasser- und Salzeinbrüche mit 20 sm noch zu groß ist und überdies an den Stationen 7 und 8 der Temperaturfühler in den größeren Tiefen nicht zur Anwendung gelangte. Eine detailliertere Aufnahme mit solchen thermo-elektrischen Methoden muß durchgeführt werden, wenn man die Warmwasser- und Kaltwasser-Ballen bzw. -Linsen in ihrer Intensität und Reichweite voll erfassen will.

Im Salzgehaltsschnitt sehen wir die bekannte Schichtung: östlich der Darsser Schwelle die salzarme, fast homohaline Oberschicht von 7,4 bis 8,0⁰/₀₀, deren vertikale Mächtigkeit in Abhängigkeit vom Relief zwischen 25 und 65 m schwankt. Die haline Übergangsschicht senkt sich von W nach E, ihr vertikaler Gradient mildert sich dabei mehr und mehr. Im westlichen Gotlandbecken erinnern nur noch die 3 Isohalinen von 8⁰/₀₀, 9⁰/₀₀ und 10⁰/₀₀ daran, daß hier 2 Wasserarten letzten Endes verschiedener Herkunft aneinandergrenzen. Die fortschreitende vertikale und horizontale Vermischung hat hier schon zu einem weitgehenden Ausgleich geführt. Aber im groben klimatologischen Mittel existiert im Endeffekt ein quasistationärer Zustand, und die salzreichen Wassermassen, die aus dem Kattegat in Quanten nachgeschoben werden, verlassen schließlich durch dieses an Ort und Stelle bestehende Gleichgewicht zwischen

Legende zu der nebenstehenden Tafel 7
Längsschnitt des Salzgehaltes durch die Ostsee im Juni/Juli 1954 auf Grund der „Südfall“-Serienmessungen.



Tafel 7

Salzwasser- und Süßwasserzufuhr, welche letztere auf die klimatische Beeinflussung ($N + Z - V$) zurückgeht, als salzarmes, nahezu brackisches Ostseewasser durch die dänischen Engen wieder unser Meer. Auffallend ist, daß in der Übergangsschicht und darunter keine Salzgehaltsinversionen (ähnlich den Temperaturinversionen) zur Beobachtung gelangt sind. Dieses beruht z. T. wahrscheinlich auf den stärkeren vertikalen Salzgehaltsgradienten, z. T. aber auch wohl darauf, daß eine dem Temperaturfühler ähnliche Registriermethode für den Salzgehalt noch nicht einsatzbereit ist. Bei kontinuierlichen Aufnahmen der Vertikalkurven des Salzgehalts (anstelle der punkweisen und weitabständigen mit den Wassers schöpfern) wird man wahrscheinlich auch (zwar schwächere) Salzgehaltsinversionen feststellen. Im übrigen haben wir in der Oberschicht durch unsere Titrierungen, wie Tab. 1 lehrt, an verschiedenen Stationen bereits kleine Salzgehaltsinversionen, die größer sind als die Fehlerquelle der chemischen Analyse, festgestellt. Von den Salzgehaltssprüngen, die Wattenberg (1) zwischen der homothermen Deckschicht und dem kälteren Wasser in etwa 20 m, d. h. in der Tiefe der thermischen Sprungschicht, im nördlichen Gotland-Becken gefunden hat, haben wir bei unseren südlicher gelegenen Reihenmessungen nichts bemerkt.

Der Dichte-Längsschnitt zeigt — abgesehen von der stärkeren morphologischen Beeinflussung in der Tiefenlage der Isopyknen — gegenüber den früheren Profilen keine neuen Züge. Er ist konstruiert unter Berücksichtigung der Messungen mit dem Temperaturfühler, die Tiefenlage der einzelnen Isopyknen an den einzelnen Stationen ist aus den Vertikalkurven entnommen, wie dies auch bei der Konstruktion des Temperatur- und des Salzgehaltsschnitts hinsichtlich der Tiefenlage der Isothermen und Isohalinen geschehen ist.

Die Sauerstoffbeobachtungen sind so wenig zahlreich, daß ein Sauerstoffschnitt nicht entworfen werden kann. Auffallend hoch sind die Sauerstoffwerte, die im Bodenwasser des Bornholm-Beckens mit 75% Sättigung und im Bodenwasser des Arkona-Beckens mit 61% Sättigung ermittelt wurden (gegenüber 20% bzw. 59% bei Wattenberg (1)). Wenn diese Beobachtungen gesichert sind, so muß geschlossen werden, daß im Juni/Juli 1954 eine wesentlich bessere Erneuerung bzw. Durchlüftung des Bodenwassers in den beiden genannten Becken stattgefunden hat als im August 1939. Ganz im Gegensatz zu diesen hohen Werten stehen die geringen Sauerstoffprozentage am Boden des westl. Gotlandbeckens, (Stat. 1: 13%, Stat. 2: 9%) was ältere Beobachtungen z. B. von Schulz (10) bestätigen und was sich aus der Abriegelung dieses Beckens durch die Mittelbank gegen einen direkten Einstrom erklärt.

Zusammenfassend kann aus unseren „Südfall“-Schnitten folgende wichtige Folgerung gezogen werden:

Die starke morphologische Beeinflussung der Schichtung in den Längsschnitten, die mehrfach übereinander gelagerten Warmwasser- und Kaltwasserlinsen — beides besonders im Bereich der Übergangsschicht — sowie die höheren Salzgehalte und die stärkere Durchlüftung im Bodenwasser (Sauerstoffprozentage im Arkona- und Bornholmbecken) im Vergleich zu den früheren Längsschnitten — all diese bisher in dieser Ausprägung nicht gemachten Feststellungen des Forschungskutters „Südfall“ Juni/Juli 1954 sprechen dafür, daß als Folge einer verstärkten atmosphärischen Zirkulation sowohl Ober- als Unterstrom in der Ostsee im Mittel der letzten Jahre beschleunigt sind und wir es in der Tat mit verstärkten Salzeinbrüchen und einer progressiven Wasserumschichtung, die auch biologisch höchst bedeutungsvoll ist, in unserem Meere zu tun haben. Auch die Untersuchungen von Wyrčki (11) über die Dynamik der Wasserbewegungen in Fehmarnbelt sowie über den großen Salzeinbruch im November und Dezember 1953 weisen in diese Richtung.

5. Die Wasserkörper nach den S/t-Diagrammen

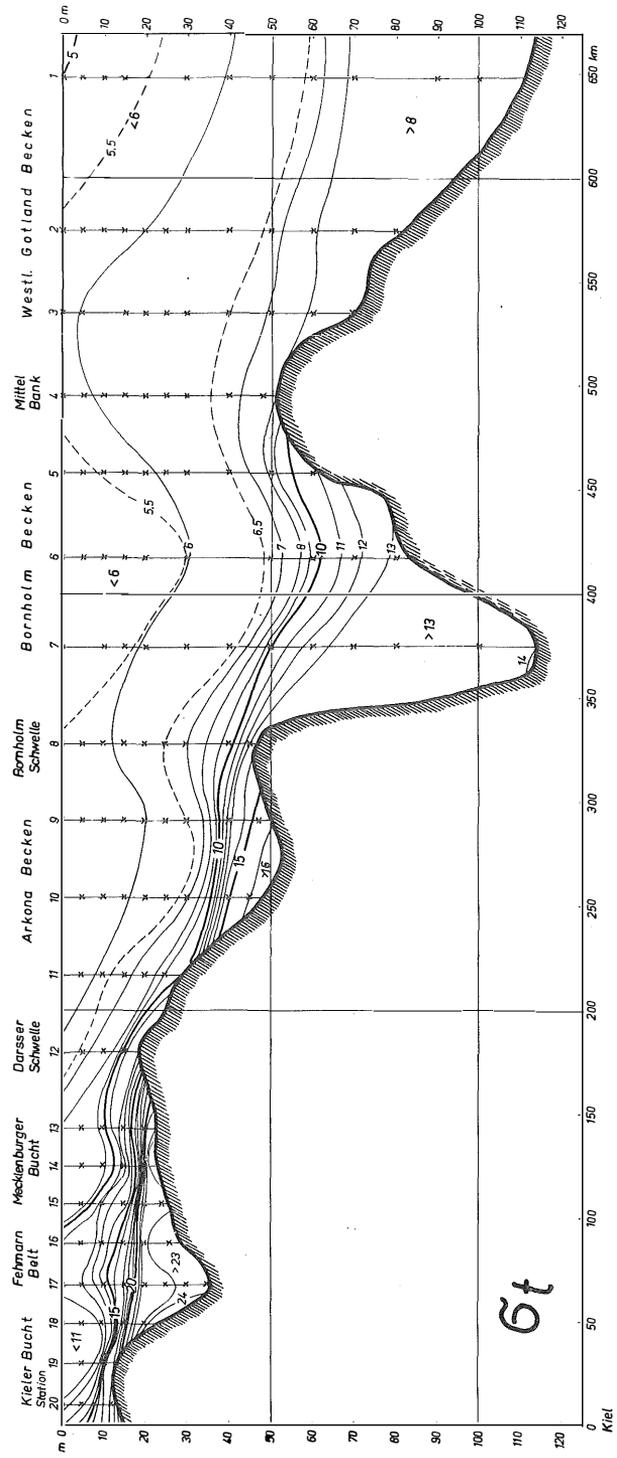
Einen Überblick über die Beziehungen zwischen Temperatur, Salzgehalt und Dichte in den vier durchfahrenen Becken der Ostsee gestatten die S/t-Diagramme (Taf. 9), in die wir auch die Schar der Dichtekurven eingezeichnet haben. In diesen Diagrammen haben wir nur die bei den Reihenmessungen (mit Wasserschöpfer und Kippthermometern) gemessenen und korrespondierenden Werte von Temperatur und Salzgehalt, die jeweils durch einen Punkt gekennzeichnet sind, eingetragen (haben also die Ableisungen am Temperaturfühler nicht berücksichtigt, da hierfür die korrespondierenden Salzgehaltswerte fehlen). Wir erkennen, daß sich die Meßpunkte in den S/t-Diagrammen der einzelnen Becken in gesetzmäßiger und typischer Weise in langgestreckten, schmalen Punktwolken anordnen, durch die man zwanglos gradlinige Kurvenstücke hindurchlegen kann. Aus den Arbeiten besonders von Helland-Hansen (12), Jacobsen (13) und Defant-Wüst (14, 15) ist bekannt, daß man aus der Lage der Wendepunkte dieser Beziehungsgeraden mit guter Annäherung die Eigenschaften der Hauptwasserkörper fixieren kann, durch deren Ausbreitung und Vermischung die Schichtung in den einzelnen Becken bestimmt und quasistationär erhalten werden. Es zeigt sich, daß wir es — wie schon aus den Vertikalkurven und Längsschnitten (Taf. 5—8) vermutet — tatsächlich mit zwei Haupttypen der sommerlichen Schichtung zu tun haben, 1.) dem Typus der engen und flachen Gewässer (Beltsee und Bereich der Darsser Schwelle), wo im wesentlichen nur zwei Wasserkörper existieren und 2.) dem Typus der großen und tiefen Becken (östlich des Bereichs der Darsser Schwelle), wo sich drei, ja vielfach vier Wasserkörper ausbreiten und in Vermischung treten. Wir haben diese Wasserkörper in unseren S/t-Diagrammen durch größere offene Quadrate gekennzeichnet und definieren aus den Mittelpunkten dieser Quadrate mit hinreichender Annäherung ihre Eigenschaften in Bezug auf Temperatur, Salzgehalt und Dichte. Bei der Streuung der Punkte kann eine solche notgedrungen schematische Ermittlung nur zu Näherungswerten führen. Besonders beim Tiefenwasser dürfte die Streuung noch wesentlich größer sein als in unseren S/t-Diagrammen, da ja die Temperaturfühler-Messungen Rücksprünge und Inversionen von mehr als 1° ergeben haben, und es dürfte dann noch schwieriger sein, die Eigenschaften dieses Wasserkörpers T genau zu fixieren. Unsere Bearbeitung be-

Tab. 4. Hauptwasserkörper in den Becken der Ostsee (Juni/Juli 1954).

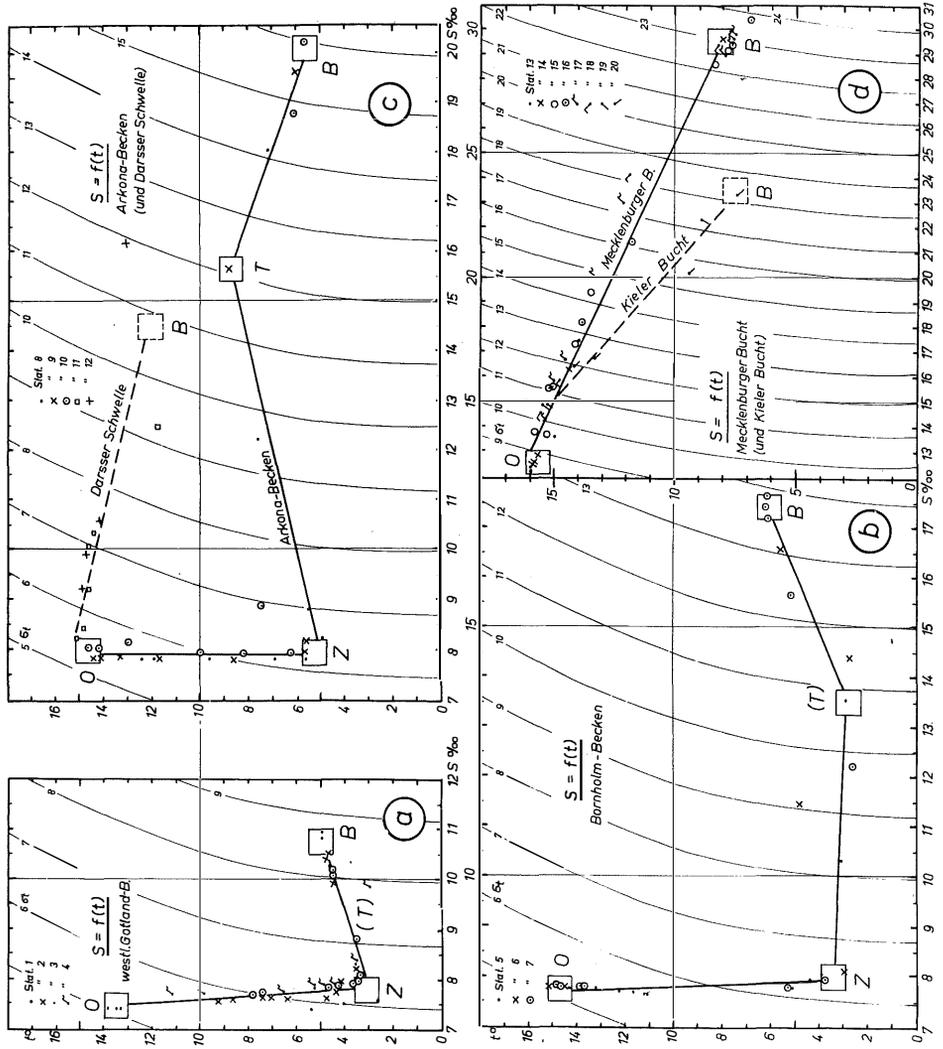
| Wasserart | westl. Gotlandbecken | | | Bornholm- Becken | | | Arkona- Becken | | | Bemerkungen |
|----------------|-------------------------|--------|----------------|------------------------|--------|----------------|-------------------|--------|----------------|-------------|
| | t° | S‰ | σ _t | t° | S‰ | σ _t | t° | S‰ | σ _t | |
| Oberwasser | 13,5 | 7,4 | 5,1 | 14,6 | 8,0 | 5,4 | 14,6 | 8,0 | 5,4 | } |
| Zwischenwasser | 3,0 | 7,8 | 7,3 | 3,4 | 8,0 | 6,4 | 5,2 | 8,0 | 6,4 | |
| Tiefenwasser | ? | ? | ? | (2,9) | (13,5) | (10,8) | (8,9) | (15,7) | (12,1) | |
| Bodenwasser | 5,0 | 10,8 | 8,6 | 6,1 | 17,4 | 13,7 | 5,6 | 20,1 | 15,9 | |
| Wasserart | Darsser Schwelle | | | Mecklenburger Bucht | | | Kieler Bucht | | | Bemerkungen |
| | t° | S‰ | σ _t | t° | S‰ | σ _t | t° | S‰ | σ _t | |
| Oberwasser | 15,0 | 8,2 | 5,5 | 15,6 | 12,8 | 8,9 | 15,3 | 15,0 | 10,4 | } |
| Bodenwasser | (12,0) | (14,5) | (10,8) | 8,0 | 29,5 | 24,0 | 7,5 | 23,5 | 18,4 | |

Legende zu der nebenstehenden Tafel 8

Längsschnitt der Dichte durch die Ostsee im Juni/Juli 1954 auf Grund der „Südfall“-Serienmessungen (unter Verwertung der mit dem Temperaturfühler festgestellten Zustandskurven).



Tafel 8



Tafel 9

stätigt aber in einer quantitativen Weise die aus den Vertikalkurven und Längsschnitten gewonnenen qualitativen Einteilungen der Schichtung. Man könnte noch einen Schritt weitergehen dadurch, daß man sich die gradlinigen Stücke O—Z, Z—T, T—B in 100 gleiche Abschnitte teilt und nach der Mischungsregel hierdurch den prozentischen Anteil der beiden Komponenten (d. h. der Hauptwasserkörper) an der Zusammensetzung der dazwischenliegenden Wassermassen an den verschiedenen Meßpunkten und Tiefen zahlenmäßig ermittelt. Hier soll uns die Charakterisierung der Hauptwasserkörper und die Feststellung genügen, daß alle dazwischenliegenden Wassermassen — entsprechend dem gradlinigen Verlauf der Beziehungskurven — durch die Ausbreitung und Vermischung jener als entstanden erklärt werden können.

Literaturverzeichnis

1. Wattenberg, H.: Der hydrographisch-chemische Zustand der Ostsee im Sommer 1939. Ann. d. Hydr. 1940, S. 185—194 (1940). — 2. Kalle, K. und H. Thorade: Tabellen und Tafeln für die Dichte des Seewassers (σ_t). Aus dem Archiv der D. Seewarte usw. 60, 2, Hamburg (1940). — 3. Kalle, K.: Einige Verbesserungen zur Bestimmung des gelösten Sauerstoffs im Meerwasser. Ann. d. Hydr. 67, S. 267—69 (1939). — 4. Witting, R.: Die Hydrographie der Ostsee. Zeitschr. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1912, Nr. 10, S. 721—738 (1912). — 5. Gehrke, J.: Beiträge zur Hydrographie des Ostseebassins. Publ. de circonstance 52 Kopenhagen (1910). — 6. Dietrich, G.: Einfluß der Gezeitenstromturbulenz auf die hydrographische Schichtung der Nordsee. Archiv f. Meteorologie Geophysik usw. Ser. A, 7, S. 391—405 Wien (1954). — 7. Meyer, P. F. und K. Kalle: Die biologische Umstimmung der Ostsee in den letzten Jahrzehnten — eine Folge hydrographischer Wasserschichtungen? Archiv f. Fischereiwissenschaft 2, 1/2, S. 1—9 Braunschweig (1950). — 8. Kändler, R.: Die Häufigkeit pelagischer Fischeier in der Ostsee als Maßstab für die Zu- und Abnahme der Fischbestände. Kieler Meeresforsch. VI Kiel (1949). — 9. Krey, J.: Die Untersuchungen des Eiweißgehalts an kleinen Planktonproben. Kieler Meeresforschungen VIII, 2. S. 164—172 Kiel (1952). — 10. Schulz, B.: Die Durchlüftung der Nord- und Ostsee. Naturwissenschaften 1924, H. 6, S. 105—120, Berlin. — 11. Wyrki, K.: Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I. Kieler Meeresforsch. Band IX, H. 2, S. 155—175 Kiel 1953. — Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt II. Kieler Meeresf. Band X, H. 2, S. 162—181, Kiel 1954. — Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. Kieler Meeresforsch. Band X, H. 1, S. 19—25, Kiel 1954. — 12. Helland-Hansen, Bj.: Nogen hydrografiska metoder. Skand. Naturforsker mötl. Kristiania (Oslo) 1916. — 13. Jacobsen, J. P.: Contribution to the hydrography of the North Atlantic. The „Dana“-Exp. 1921—22. Copenhagen (1920). — 14. Defant, A. und G. Wüst: Die Mischung von Wasserkörpern im System $S = f(t)$. Rapp. et Proc.-Verb. 67 Kopenhagen (1930). — 15. Wüst, G. und A. Defant: Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Wiss. Erg. d. D. Atl. Exp. „Meteor“, Bd. VI, 1. Berlin (1936).

Legende zu der nebenstehenden Tafel 9

S/t-Diagramme auf Grund der „Südfall“-Serienmessungen (mit Wasserschöpfern und Kippthermometern).

- a) Westliches Gotland-Becken
- b) Bornholm-Becken
- c) Arkona-Becken und Darsser Schwelle
- d) Mecklenburger Bucht (und Kieler Bucht).