

Untersuchungen zur inneren hydrographischen Struktur des südlichen und mittleren Atlantiks (0–2000 m Tiefe) mit zoogeographischen Anmerkungen¹

Von WALTER LENZ

Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Seefischerei, Hamburg

Eingang des Ms. 15. 11. 1974

Im März/April 1971 wurde mit FFS „Walther Herwig“ auf einem West-Ost- und auf einem Süd-Nord-Schnitt die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt gemessen. Ein wesentliches Ergebnis war das Feststellen von großräumigen Verwirbelungen im südwestlichen Atlantik, die als permanente Erscheinung des auslaufenden Brasilstromes anzusehen sind und ihre Analogie am Ende des Golfstromes haben. Des weiteren wurde eine markante Grenze zwischen süd- und nordatlantischem Wasser vor Nordwestafrika auf ca. 18° N gefunden, die zoogeographisch von Bedeutung ist. Eine weitere Verbreitungsgrenze zwischen 30° und 35° S läßt sich aus dem ausschließlich zonalen Charakter der Zirkulation in jenen Breiten erklären. Auf die Notwendigkeit, die hydrographische Terminologie zu vereinheitlichen, wird besonders hingewiesen.

Abstract

Investigations on the hydrographic structure in the South and Middle Atlantic Ocean (0–2000 m depth) under zoo-geographic aspects. In March/April 1971 measurements of the vertical distribution of temperature and salinity have been done by the FRV „Walther Herwig“ on a west to east and a south to north section. One of the main results of this survey was the discovery of large eddy-like phenomena in the southwestern Atlantic, which must be a permanent feature of the outflow of the Brasil Current analogous to the meander and eddies of the Gulf Stream. A marked border between North and South Atlantic waters was found off Northwest Africa at about 18° N, which is important for zoo-geographical aspects. One further zoo-geographical border at 30°–35° S can be explained by the east-west character of the circulation at those latitudes. It is pointed out that a standardization of the hydrographical terminology is needed.

Resumen

Investigaciones acerca la estructura hidrográfica del Atlántico austral y central (0–2000 m profundidad), con anotaciones zoogeográficas. En marco/abril de 1971 se midió con el barco «Walther Herwig» la distribución de la temperatura y de la salinidad en un corte oeste-este y en otro sur-norte. Fue un resultado principal constatar amplios torbellinos en el Atlántico del Sur-Oeste, que se deben indudablemente considerar como fenómeno permanente de la corriente del Brasil en su última etapa y que tienen su correspondencia al final de la corriente Golfo. Además se encontró, frente al África del nor-oeste y aproximadamente a 18° N un límite marcado entre aguas del Atlántico del Sur y del Norte que tiene relevancia zoográfica. Otro límite, entre 30° y 35° S se puede explicar por el carácter exclusivamente zonal de la circulación en tal latitud. Se esta haciendo hincapié en la necesidad de unificar la terminología hidrográfica.

¹ Ergebnisse der Forschungsreisen von FFS „Walther Herwig“ nach Südamerika, Veröff. Nr. 37.

Originalbeiträge...
ihrer hydrobiologischen
Schriftleitung...
der gleichzeitig
(Tel. (Tel.

Verwertungsgesellschaft
Anstaltsstelle

1. Einleitung

Im Anschluß an die dritte Südamerika-Reise von FFS „Walther Herwig“ in das Schelfgebiet vor Argentinien im Südsommer 1971 wurde ein biologisch-hydrographischer Schnitt von Mar del Plata (Argentinien) quer durch den Südatlantischen Ozean nach Kapstadt (4. 3.–29. 3. 1971) und ein zweiter Schnitt durch den subtropischen und tropischen Atlantik von Kapstadt bis Madeira (30. 3.–22. 4. 1971) gelegt (Abb. 1). Sinn dieser Untersuchung war es, die Tierwelt im Meso- und Bathypelagial zu erfassen, für die verschiedenen Arten geographische Grenzen der Verbreitung festzustellen und für die Ausbreitungsfähigkeit Kriterien zu finden.

Zwei frühere Expeditionen waren 1966 und 1968 unternommen worden, in deren Zusammenhang jedesmal ein Schnitt durch den tropischen und südwestlichen Atlantik gelegt wurde. Auf jenen beiden Fahrten wurden neben den Fängen auch hydrographische Messungen durchgeführt, jedoch war damals der Abstand der Stationen und auch der Meßtiefen so groß, daß sich bei einer genauen Durchsicht der Daten keine weiterführenden Erkenntnisse ergaben, als z. B. schon bei SVERDRUP u. a. (1942) beschrieben wurde. Deshalb wurde auf jene Daten in dieser Arbeit auch nicht näher eingegangen.

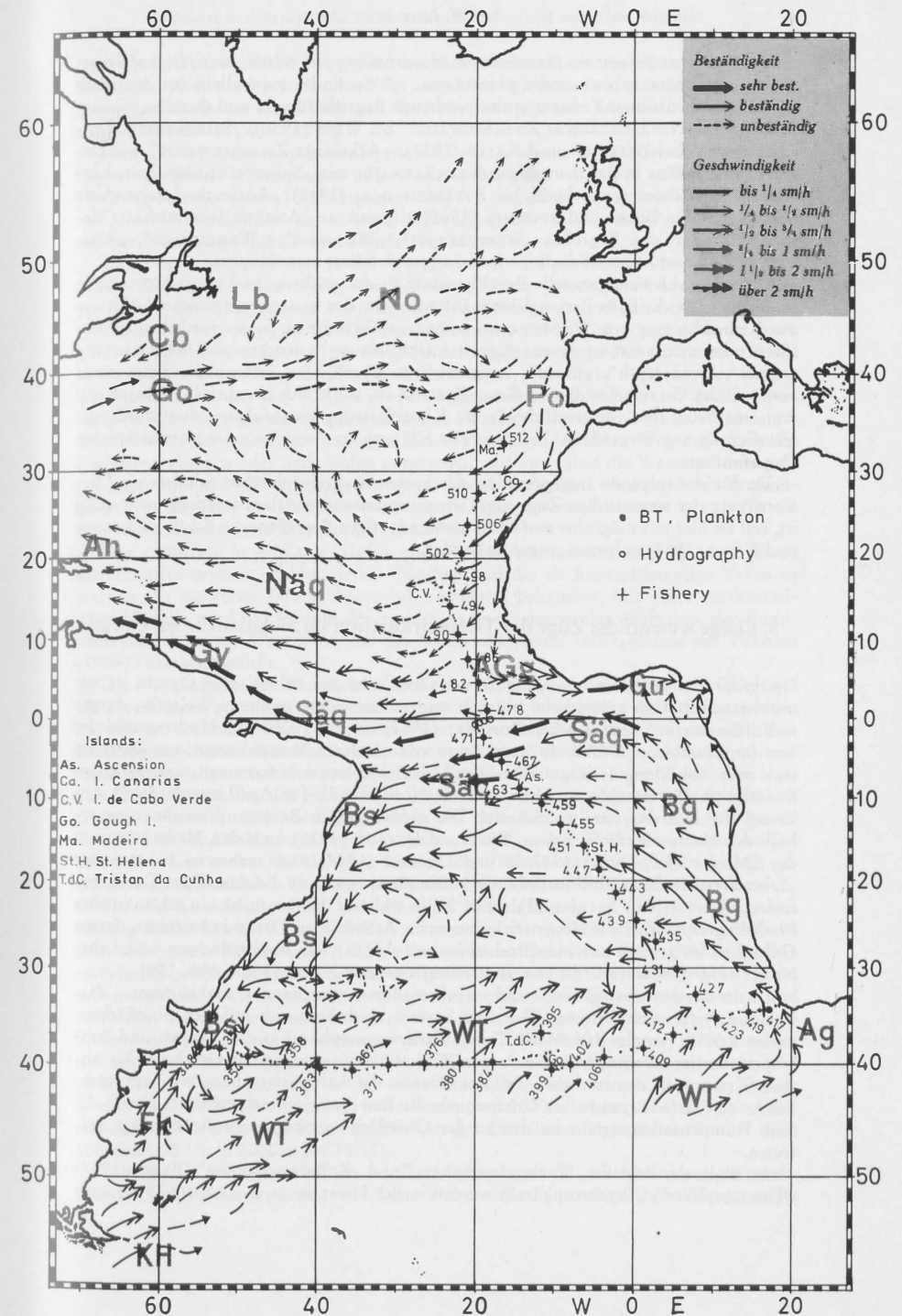
Erfaßt wurde auf den beiden Schnitten 1971 ein Tiefenbereich von 0–2200 m, und dies nicht nur mit den hydrographischen Meßgeräten, sondern auch mit einem in der kommerziellen Fischerei gebräuchlichen 1600-Maschen-Schwimmschleppnetz (maximal 700 m² Netzöffnung) zur Erfassung des ozeanischen Makroplanktons und Nektons.

In der vorliegenden Arbeit wird die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt auf diesen Schnitten eingehend dargestellt, da aus dem südlichen Atlantik nur wenige Untersuchungen dieser Art vorliegen und ein relativ enger Abstand der Stationen mit einer kontinuierlichen Registrierung der Temperatur bis über 2000 m Tiefe eine interessante Auflösung der vertikalen Struktur gebracht haben. Um diese Strukturen zu deuten, werden zunächst einige wesentliche Fakten der Tiefenzirkulation im Atlantischen Ozean aufgeführt, deren Beschreibung nicht ganz leicht fällt, weil die Terminologie, mit der in der Literatur die spezifischen Elemente dieser Zirkulation beschrieben werden, nicht eindeutig festliegt.

2. Kritische Anmerkungen zur hydrographischen Terminologie

In den dreißiger Jahren wurden die Tiefenzirkulationen im Atlantischen Ozean grundlegend beschrieben (WÜST und DEFANT 1936; DEACON 1937) und hierfür Begriffe eingeführt. Spätere und genauere Messungen in ausgewählten Teilen des Atlantiks (z. B. in Gebieten der Polarfronten, des Golfstromes, des Auftriebes und in Äquatornähe) haben jedoch die Unterscheidungsmerkmale von Wassermassen und deren Ausbreitung differenzierter werden lassen durch die Berücksichtigung zusätzlicher chemischer und biologischer Parameter (chemische Spurenstoffe, künstlich eingebrachte Radioaktivität, biologische Driftkörperchen). Jedoch muß man bei neuen Erkenntnissen entweder alte Begriffe neu definieren oder aber neue Begriffe wählen. Andernfalls entsteht die Gefahr der Verwirrung beim Leser. Man muß aber mit COOKSA (1972) sagen:

Abb. 1. Stationskarte mit Stationsnummern der 3. Südamerika-Reise, Teil III von FFS „Walther Herwig“ (4. 3.–22. 4. 1971); mit in die Karte aufgenommen sind die mittleren Oberflächenströmungen für März (Südatlantik) und April (Nordatlantik) aus den Monatskarten für den Süd- bzw. Nordatlantischen Ozean (DHI 1972 bzw. 1967)



„... we have at present no classification encompassing the whole multiplicity of large-scale quasistationary intraocean phenomena...“ So findet man allein bei deutschen Ozeanographen sich z. T. sogar widersprechende Begriffe für ein und dieselbe Wassermasse, z. B. „Nordatlantisches Zwischenwasser“ bei WÜST (1936), „Subarktisches Zwischenwasser“ bei DIETRICH und KALLE (1957), „Arktisches Zwischenwasser“ bei DEFANT (1961). Was in der deutschsprachigen Literatur mit „Subantarktisches Zwischenwasser“ bezeichnet wird, heißt bei SVERDRUP u. a. (1942) „Antarctic Intermediate Water“ und bei BOLIN und STOMMEL (1961) allgemeiner „Atlantic Intermediate Water“. Auch mit den Begriffen „Wasserkörper“, „Wasserart“, „Wassermasse“, „Wassertyp“, „Wasser“ oder „Schicht“ wird häufig undefiniert umgegangen.

Dazu hat sich eine generelle Begriffsteilung in der englisch- und russischsprachigen Literatur entwickelt: In der englischen Literatur werden u. a. geographische Adjektive zur Kennzeichnung von Wassermassen benutzt, während man in der russischen Literatur – oder zumindest in deren englischer Übersetzung – strukturelle Adjektive wie „upper“, „mid-depth“, „lower“, „intermediate layer“ oder „intermediate structural zone“ findet. So unbefriedigend dieser Zustand ist, sollte sich ein einzelner Autor hüten, eine neue, ihm vermeintlich klarere Klassifizierung einzuführen; dies würde die Verwirrung nur vergrößern. Die generelle Klärung ist Aufgabe einer internationalen Organisation.

Da für die folgende Interpretation der beiden hydrographischen Schnitte eine Beschreibung der wesentlichen Züge der Tiefenzirkulation im Atlantik jedoch notwendig ist, soll sie hier mit möglichst einfachen und eindeutigen Begriffen, die sich an DIETRICH und KALLE (1957) anlehnen, versucht werden.

3. Einige wesentliche Züge der Tiefenzirkulation im Südatlantischen Ozean

Die großräumige Wasserbewegung an der Oberfläche des Atlantischen Ozeans ist zumindest schematisch ausreichend bekannt und in fast jedem größeren Weltatlas dargestellt. Genauere Angaben geben BOISVERT (1967) oder das Deutsche Hydrographische Institut, Hamburg (1967 u. 1971) in Form von mittleren Monatskarten; aus letzteren ist die in Abbildung 1 dargestellte Oberflächenzirkulation entnommen, und zwar im Südatlantik für den Monat März und im Nordatlantik für April entsprechend den Zeiten der hier dargestellten Schnitte. Die großräumigen Bewegungsvorgänge unterhalb der Meeresoberfläche haben WÜST und DEFANT (1936) nach den Meßergebnissen der „Meteor“-Expedition 1927/28 und DEACON (1937) nach mehreren Fahrten der „Discovery“ in den südlichen Atlantik beschrieben, soweit es die damaligen Daten zuließen. WÜST (1950) hat daraufhin mit Hilfe weiterer Erkenntnisse ein schematisches Blockdiagramm über die Gesamtzirkulation im Atlantischen Ozean konstruiert, dessen Gültigkeit im großen unwidersprochen ist und das in viele Beschreibungen und Lehrbücher aufgenommen wurde, so z. B. bei DIETRICH und KALLE (1957, Abb. 199).

Darin werden zwei große – und im wesentlichen voneinander unabhängige – Zirkulationssysteme beschrieben: Das eine System beschränkt sich auf den oberflächennahen Bereich (wenige 100 Meter Tiefe, Warmwassersphäre) in den Tropen und Subtropen, wo im wesentlichen Winde den Wassermassentransport verursachen. Das andere System füllt den restlichen Teil des Ozeans, die Kaltwassersphäre, wo hauptsächlich in der Tiefe thermohaline Unterschiede die Bewegung aufrechterhalten, aber z. T. auch Kompensationsströme zu den an der Oberfläche erzwungenen Strömungen auf-treten.

An Stelle der Begriffe „Warmwassersphäre“ und „Kaltwassersphäre“ (BRUUN 1957: „Thermosphäre“, „Psychosphäre“) werden in der Literatur (z. B. DEFANT 1961) auch

„ozeanische Troposphäre“ bzw. „Stratosphäre“ verwendet in Anlehnung an die Meteorologie. Dies muß jedoch unbedingt abgelehnt werden, da der begriffliche Inhalt der meteorologischen Ausdrücke auf das Meer bezogen nicht identisch, sondern z. T. entgegengesetzt ist (Wüst 1949).

Nun gibt es geographisch bestimmte Gebiete, in denen beide Zirkulationssysteme ihre mitgeführten Wassermassen miteinander vermischen, so daß es zu einer Art Auf-frischung kommt. Solche Kontaktgebiete sind für den mittleren und südlichen Atlantik vor allem im Bereich der subtropischen Konvergenz und z. T. in den Auftriebsgebieten vor der Westküste von Süd- und Nordafrika zu suchen.

Daneben wird das Wasser in der Warmwassersphäre permanent von unten her erneuert. Dies kann mengenmäßig eine Bedeutung haben, jedoch nicht biologisch, da dieser Prozeß nur sehr langsam vor sich geht (Auftriebsgeschwindigkeit in der Größenordnung von 1 m pro Jahr nach BOLIN u. STOMMEL 1961). Um von der Menge einen Eindruck zu bekommen, seien hier einige geschätzte Zahlen angeführt (SVERDRUP 1942): In der Schicht des subantarktischen Zwischenwassers, also direkt unterhalb der Warmwassersphäre werden auf 30° S zwischen Südamerika und Südafrika 9 Mill. m³/sec nach Norden transportiert, während es am Äquator nur noch 2 Mill. m³/sec sind, d. h. über 3/4 der Menge hat zwischen diesen Breitengraden ihren Weg außerhalb des Zwischenwassers wieder nach Süden angetreten, und zwar sind die Wasserteilchen aufgestiegen infolge der Erwärmung von oben. Dieses Aufsteigen wird regelrecht erzwungen, da in die Tiefe des Zwischenwassers mehr Wärme von oben eindringt, als für ein Aufsteigen überhaupt nötig wäre (WYRTKI 1961).

Das *upwelling* in größeren Tiefen und die damit zusammenhängende Ausbildung der Temperatursprungschicht, deren Ursachen und die sie kontrollierenden Faktoren werden seit mehreren Jahren theoretisch eingehend behandelt. Mit Hilfe mathematischer Modelle wird der Einfluß der vertikalen und horizontalen Diffusion, der Randbedingungen an der Oberfläche und am Boden analysiert. Teilergebnisse hat VERONIS (1969) zusammengefaßt.

Die Vorgänge in den Auftriebsgebieten des Atlantiks sind Gegenstand vielfältiger Untersuchungen gerade in der Gegenwart, so daß hier nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht. Nähere Untersuchungen über die Mechanismen in den südlichen Konvergenzgebieten sind erst in Zukunft zu erwarten, weshalb mit Abbildung 2 versucht wurde, schematisch den prinzipiellen Vorgang der meridionalen Zirkulation darzustellen, wie man ihn sich im freien südatlantischen Ozean – ungestört durch die Kontinente – vorstellt. Die Abbildung basiert auf dem Schema von DEACON (1937); die Temperatur- und Salzgehaltsangaben sind an Hand neuerer Daten zusammengetragen und sollen nur grobe Anhaltswerte bieten; die Tiefenskala wurde logarithmisch gewählt, weil dies erlaubt, Vorgänge in Oberflächennähe ausführlicher darzustellen.

Für die Betrachtung dieser meridionalen Zirkulation ist es äußerst wichtig, sich ständig dessen bewußt zu sein, daß es sich nur um die meridionale Komponente handelt. Die zonale Komponente ist bis mindestens in Tiefen von über 1500 m um ein mehrfaches größer! Findet man noch in älteren Arbeiten die Vorstellung, daß sich das subantarktische Zwischenwasser unterhalb der sogenannten Warmwassersphäre – und von deren Strömungssystemen unbeeinflusst – zunächst in nordwestlicher Richtung ausbreitet, so haben neuere Berechnungen (BUSCAGLIA 1971; KOSHYLAKOV 1973) ergeben, daß sehr wohl eine Koppelung der Zirkulationssysteme in beiden Sphären besteht, und zwar in der Weise, daß der an der Oberfläche bekannte subtropische, antizyklonale Wirbel im Südatlantik mindestens bis in Tiefen von 2000 m reicht; dabei ist seine Achse mit der Tiefe schräg nach Süden gestellt (an der Oberfläche liegt sie bei 20°–24° S, in 500 m bei 28° S, in 2000 m bei 34° S).

Dies würde bedeuten, daß im mittleren Südatlantik in der Tiefe des subantarktischen Zwischenwassers auf ca. 30° S das Wasser sich so gut wie gar nicht (Zentrum des

Wirbels), nördlich davon sich nach Westen und südlich davon sich nach Osten bewegt. Das subantarktische Zwischenwasser gelangt also vom Entstehungsgebiet über Umwege vor den südamerikanischen Kontinentalabhang und von dort weiter nach Norden.

Zum zweiten darf man sich mit dem in der Abbildung 2 angegebenen Bereich der subtropischen Konvergenz nicht ein Gebiet vorstellen, in dem die nördlichste bzw. südlichste Lage einer echten Konvergenzlinie – wie es z. B. viel eher für die antarktische

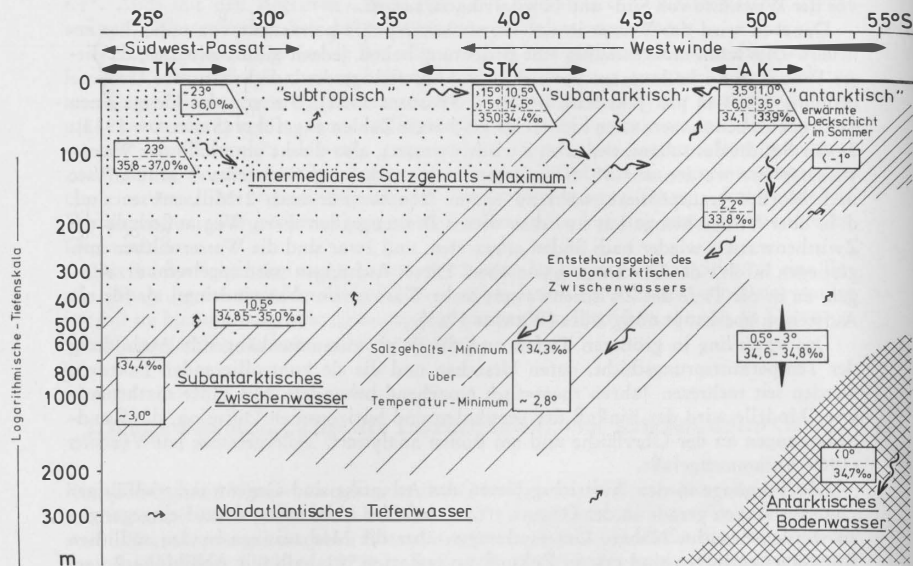


Abb. 2. Schema der meridionalen Zirkulation im südlichen Südatlantik (nach DEACON 1937, unter Hinzunahme neuerer Kenntnisse)

Konvergenz zutrifft – zu finden ist, an der subtropisches (relativ warm und salzreich) und subantarktisches (relativ kalt und salzarm) Oberflächenwasser aufeinanderstoßen, sondern in diesem Gebiet vermischen sich beide Wasserarten in einer noch nicht näher bekannten Weise, wie es BOLTOVSKOY (1970) an Hand von in der oberflächennahen treibenden Foraminiferen subtropischen und subantarktischen Ursprungs gezeigt hat. Seine Feststellungen schließen jedoch nicht aus, daß man bei einem Nord-Süd-Durchqueren dieses Gebietes auch auf Fronten mit Temperatur- und Salzgehaltssprüngen treffen kann (DEACON 1937), nur sind diese Erscheinungen vermutlich mehr lokal begrenzt und deuten auf Vermischungsprozesse großräumiger Wasserkörper hin (bis 100 m Durchmesser). BOLTOVSKOY spricht von „Buchten“, „Zungen“, „Flecken“, „Fransen“ und gibt als ungefähre Grenzen dieses Konvergenzgebietes für den westlichen Südatlantik (40°–55° W) folgende Zahlen an, d. h. bis wohin nur reine subtropische bzw. subantarktische Foraminiferen angetroffen wurden: im August 29° bis 30° S bzw. 47°–48° S und im Januar 34° S bzw. 48°–49° S. Dies gilt jedoch nur für die oberflächennahen Schichten. Nach seinen Untersuchungen reichen diese Vermischungsprozesse nicht tiefer als 150 m.

4. Meßmethoden und Material

Folgende hydrographische Meßmethoden wurden auf den beiden Schnitten eingesetzt: hydrographische Serie mit Wasserschöpfern und Umkippthermometern, kontinuierliche Registrierung der vertikalen Temperaturverteilung mit einem in unserem Institut entwickelten Temperaturmeßfühler (Genauigkeit $\pm 0.1^\circ \text{C}$; Tiefenbereich 0–2200 m, Länge des verfügbaren Einleiterkabels), Bathythermograph, kontinuierliche Registrierung der Oberflächentemperatur, Oberflächenproben zur Temperatur- und Salzgehaltsbestimmung. Letztere geschah für alle anfallenden Proben mit einem induktiven Salinometer (BECKMANN) an Bord.

Der Abstand der Serienstationen betrug ein Etmaal (ca. 200 m); sie wurden in Zusammenhang mit den abendlichen pelagischen Tiefenholts gemacht. Da für jede Station eine vertikale kontinuierliche Temperaturregistrierung vorlag, konnten wir wegen der klaren T/S-Beziehung im offenen Atlantik (WÜST 1965) die Schöpfertiefen innerhalb einer Serie mehr nach zu erwartenden Extremwerten als nach Standardtiefen auswählen.

Zwischen den abendlichen Fischerei- und Serienstationen wurde um 6 und 12 Uhr ein Bathythermograph bis 275 m Tiefe gefahren und mit einer Oberflächenprobe kontrolliert.

Ab Station WH-494 mußte der Einsatz von Wasserschöpfern wegen Zeitmangels stark reduziert werden.

Alle hydrographischen Daten wurden vom Deutschen Ozeanographischen Datenzentrum (Hamburg) übernommen.

5. Interpretation des hydrographischen West-Ost-Schnittes

Der Schnitt verläuft durch den Südatlantik auf der kürzesten Verbindung (Großkreis) zwischen Mar del Plata (Argentinien) und Kapstadt (Südafrika), Abbildung 1. Für die Strecke wurden 25 Tage benötigt (5. 3.–29. 3. 1971), wobei aus technischen und terminlichen Gründen das Schiff von der Station 414 direkt nach Kapstadt lief und von dort aus den Schnitt in südwestlicher Richtung vervollständigte, so daß zwischen Station 414 und 423 ein Zeitsprung von 7 Tagen liegt.

Die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt sind in Abbildung 3 a, b dargestellt; die Tiefenskala ist ab 800 m halbiert. Als erstes fällt der unruhige Verlauf der Isolinien auf. Dies ist ungewöhnlich, weil ein Vergleich mit früheren Schnitten etwas Ähnliches nicht vermuten ließ, wo in der gleichen Gegend die Isolinien eine weitgehend horizontale Schichtung andeuten: „Meteor“-Atlas (WÜST u. DEFANT 1936), Schnitte auf 32°–35° S; IGY-Atlas (FUGLISTER 1960), südlichster Schnitt auf 32° S.

Diese Unruhe, besonders in den Isothermen, erklärt sich nicht allein damit, daß im vorliegenden Fall das Auflösungsvermögen größer ist wegen engerer Stationsabstände (ca. 70 m; im „Meteor“-Atlas sind es ca. 250 m, im IGY-Atlas ca. 100 m und im 0–240-m-Tiefenbereich ca. 10 m), sondern für eine Erklärung wichtiger ist die Tatsache, daß dieser Schnitt genau im Gebiet der subtropischen Konvergenz liegt (s. Abb. 2), was für die anderen erwähnten Schnitte nicht so eindeutig zutrifft. Neueste brasilianische Messungen (Atlas Oceanográfico, Atlântico sul – costa sul do Brasil, 1972) haben auf einem Schnitt auf 38° S, der vor der Küste bis 45° W reicht, ein sehr ähnliches Alternieren der Isolinien wie beim „Walther Herwig“-Schnitt ergeben; der Stationsabstand betrug 60 m. Die Art der Temperatur- und Salzgehaltsverteilung auf dem West-Ost-Schnitt legt bei der Interpretation zunächst eine Aufteilung in einen westlichen, mittleren und östlichen Abschnitt nahe:

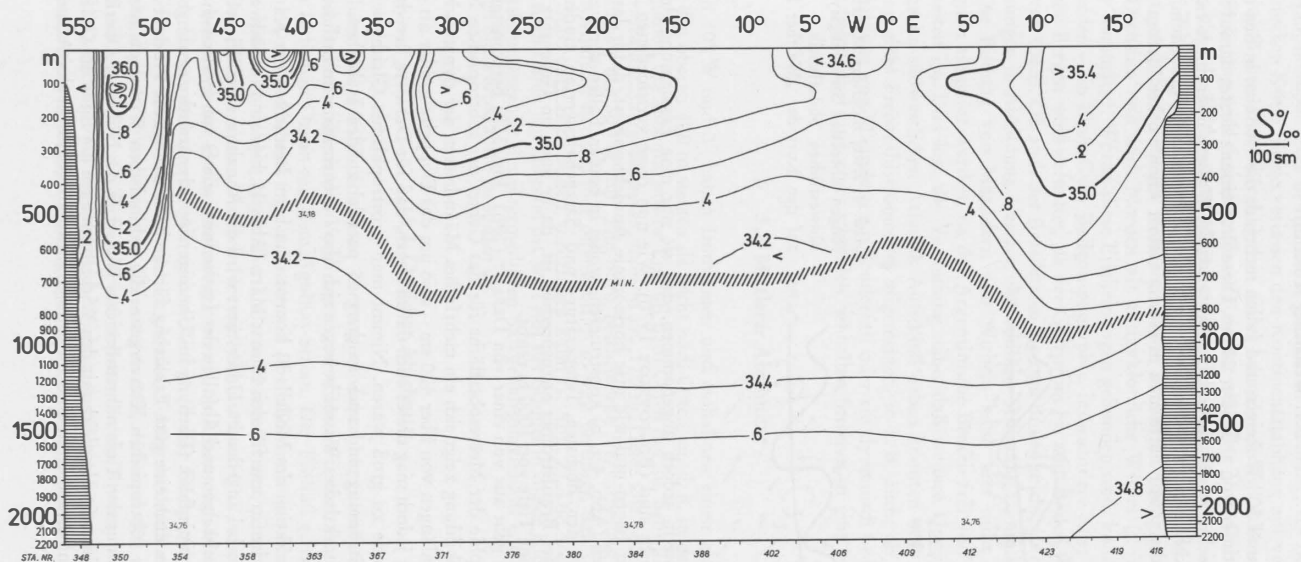
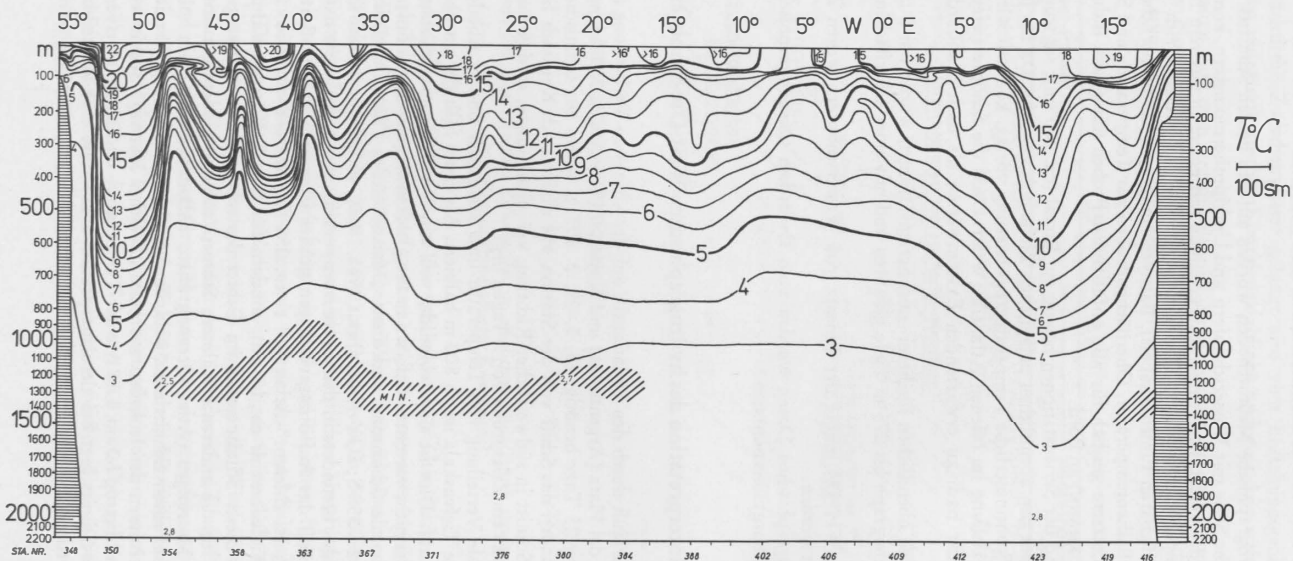


Abb. 3. Vertikale Verteilung von a (oben) Temperatur und b (unten) Salzgehalt auf dem West-Ost-Schnitt durch den Südatlantik. Die Schraffur zeigt die Tiefenlage von Minimumwerten an

5.1. Westlicher Abschnitt

Zwischen 55° W und 30° W steigen und fallen mehrfach die Isolinien in den obersten 500 m mit Amplituden von z. T. über 200 m. Diese Erscheinung deutet darauf hin, daß das Schiff abwechselnd subtropische und subantarktische Wasserkörper mit je ca. 100 sm Durchmesser durchfahren hat – ein Gebiet also, in dem intensive, großräumige Vermischung stattfindet. Zwar hatte man in diesem Gebiet schon vorher Flecken gleichen

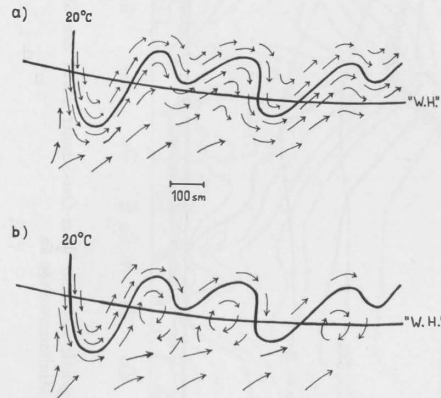


Abb. 4. Zwei mögliche Modellvorstellungen über das Strömungssystem im südwestlichen Südatlantik – bezogen auf den Kurs der „Walther Herwig“

Ausmaßes festgestellt, jedoch angenommen, daß sie nur eine Erscheinung der oberflächennahen Schicht sind (BOLTOVSKOY 1970). Wie nun diese verschiedenen Wasserkörper zueinander liegen und wie ihre horizontale Ausdehnung ist, dafür lassen sich zwei Möglichkeiten (Abb. 4 a, b) konstruieren, wobei in beiden Fällen der westlichste Wasserkörper mit den höchsten Temperatur- und Salzgehaltswerten eindeutig als Hauptausläufer des Brasilstromes anzusprechen ist, da er auch im Gegensatz zu den folgenden bis in eine Tiefe von 1000 m reicht.

Das Modell a) geht aus von einer von DEFANT (1961, Fig. 308) berechneten dynamischen Topographie der Meeresoberfläche für das Gebiet der subtropischen Konvergenz. In jener Abbildung zeigt sich ein mehrfaches Mäandrieren der dynamischen Isobathen mit Wellenlängen von über 400 sm – also um das Doppelte größer als im vorliegenden Modell; jedoch mag dieses auch daran liegen, daß für DEFANTS Berechnungen die Stationsabstände zu groß waren. Nimmt man geostrophisches Gleichgewicht an, dann verlaufen Strömung und auch Isothermen parallel zu den Isobathen. Subtropisches und subantarktisches Wasser bewegen sich also nebeneinander in östlicher Richtung.

Auf die Konstruktion des Modells b) kommt man beim Betrachten der Karten der mittleren Oberflächenströme für den Monat März (Abb. 1), hier sind im südwestlichen Atlantik einige Wirbel angedeutet. Unterstützt wird die Annahme eines Wirbelmodells durch das steile Aufsteigen und Abfallen der Isothermen, wie es von zyklonischen Wirbeln auf der Südhemisphäre (Drehung im Uhrzeigersinn) dynamisch erzwungen wird. Hiermit hätte man auch eine gute Erklärung für die hohe biologische Produktivität in diesem Gebiet der subtropischen Konvergenz: die zyklonischen Wirbel pumpen quasi in ihrem Zentrum aus der Tiefe nährstoffreiches Wasser in die Nähe der Oberfläche.

Es drängt sich hier ein Vergleich mit den Wirbelbildungen am Ende des Golfstromes auf: Golfstrom und Brasilstrom sind im großen Zirkulationssystem des Atlantiks die

beiden Hauptkomponenten der polwärts gerichteten Strömung, vor der nord- und süd-amerikanischen Küste. Beide verlassen den Kontinentalabhang auf vergleichbarer geographischer Breite. Der Übergang von einem schmalen Freistrahlsstrom in eine breite, östliche Strömung wird deshalb auch vergleichbar ablaufen. Vom Golfstrom weiß man, daß dies über die Bildung von Mäandern geschieht, aus denen sich in der Regel selbständige Wirbel (Durchmesser in der Größenordnung von 100 sm) lösen können, und zwar nach Süden in das wärmere Wasser hinein mit linksgerichtetem (zyklonischem) Drehsinn und nach Norden als antizyklonische Wirbel (s. The Gulf Stream Monthly Summary). Woran diese Erscheinungen gebunden sind, konnte noch nicht geklärt werden – ein Einfluß der Bodentopographie, insbesondere einer Kette von untermeerischen Bergen wird vermutet, da der Golfstrom bis zum Boden (> 5000 m) reicht (FUGLISTER 1963). Ob auch der Brasilstrom bis zum Boden reicht, ist noch unbekannt – die Messungen in Abbildung 3 zeigen eine südliche Strömung zumindest bis in 1500 m Tiefe. Die Bildung von Mäandern und Wirbeln kann hier nicht von der Bodentopographie ausgelöst werden, da das Argentinische Becken frei von größeren Bodenunebenheiten ist. Dies legt die Vermutung nahe, daß weitere Untersuchungen dieser Vorgänge im südwestlichen Atlantik Aufschluß geben könnten über die Prozesse der Auflösung eines Freistrahlsstromes im allgemeinen, so z. B. auch, ob im offenen Meer die Ausbildung von Mäandern ein Sonderfall oder ein dynamisch bedingtes Zwischenglied ist beim Übergang eines schmalen, schnellen Stromes in eine breite, träge Strömung.

5.2. Mittlerer Abschnitt

Zwischen 30° W und 0° haben Isothermen und Isohalinen einen gleichmäßigen Verlauf. In den oberen 400 m steigen sie leicht nach Osten an, d. h. in dem durchfahrenen Wasser nimmt der subantarktische Einfluß nach Osten hin zu. Sehr klar ausgeprägt ist das *intermediäre Salzgehaltsmaximum* in ca. 120 m Tiefe. Die höchsten Salzgehaltswerte tauchen bei 30° W auf. Die oben beschriebene Verwirbelung von Brasilstrom und Westwindtrift hat sich hier offensichtlich so weit beruhigt, daß salzreiches Wasser aus den Subtropen nach Süden vordringen kann (s. Abb. 2). Die Werte im Maximum nehmen nach Osten hin langsam ab, weil sich der Schnitt in dieser Richtung weiter von dem Entstehungsgebiet des intermediären Salzgehaltsmaximums entfernt, das im subtropischen Südwestatlantik zu suchen ist.

5.3. Östlicher Abschnitt

Der östliche Teil des Schnittes von 0° geographischer Länge bis zur Südspitze von Afrika ist bestimmt durch das Vordringen von wärmerem und salzreicherem Wasser aus dem Indischen Ozean mit dem Agulhas-Strom. Der Einfluß geht bis in eine Tiefe von ca. 800 m und scheint in der Breite mit über 600 sm ungewöhnlich weit in den Atlantik hinein zu reichen gegenüber anderen Darstellungen (DIETRICH 1935; DHI 1971). Der Kern liegt im „Walther Herwig“-Schnitt bei 11° E, also ca. 400 sm südwestlich von Kap der Guten Hoffnung entfernt; es könnte sich hier jedoch auch um einen sich abtrennenden antizyklonischen Wirbel (linker Drehsinn) handeln, wie es z. B. bei DEFANT (1961, Fig. 308) und im „Meteor“-Atlas in den Karten der horizontalen Salzgehaltsverteilung für die Tiefenstufen 200, 400 und 600 m angedeutet ist, wodurch die Isolinien in die Tiefe gedrückt werden. Solche Abtrennungen von Wirbeln hat auch SHANNON (1970) erwähnt; er bezeichnet das Gebiet südwestlich von Kapstadt wegen dieser Vermischungsvorgänge „Agulhas/Atlantic mixing area“.

5.4. Subantarktisches Zwischenwasser

Unterhalb der 5°-Isotherme ist die Verteilung von Temperatur und Salzgehalt gleichförmiger, Vermischungs- und Ausbreitungsvorgänge haben weniger turbulenten als linearen Charakter. Fast auf dem gesamten Querschnitt tritt sowohl ein Salzgehaltsminimum als auch ein Temperaturminimum in Tiefen zwischen 450 und 950 m als auch ein Temperaturminimum in Tiefen zwischen 950 und 1300 m. Die beiden Minima stellen die obere bzw. die untere Grenze des subantarktischen Zwischenwassers dar, das sich in Höhe der antarktischen Konvergenz unterhalb der Oberfläche bildet (s. Abb. 2).

Die unterschiedliche Tiefenlage der beiden Minima erklärt sich folgendermaßen: Unter dem subantarktischen Zwischenwasser liegt nordatlantisches Tiefenwasser wegen seiner größeren spezifischen Dichte, die nicht nur in der geringeren Temperatur begründet ist, sondern besonders in seinem größeren Salzgehalt, so daß der Einfluß durch Vermischung und Diffusion im Salzgehalt höher hinauf reicht als in der Temperatur (s. auch Abb. 5).

Daß auf der östlichen Hälfte des Schnittes kein Temperaturminimum mit den eingesetzten Geräten gemessen wurde, war an Hand von „Meteor“- und IGY-Atlas zu erwarten, wo auch trotz genauerer Messungen nur selten Andeutungen eines Temperaturminimums gefunden wurden. Die niedrige Temperatur im subantarktischen Zwischenwasser wird u. a. verursacht durch Einflüsse aus dem Weddel-See, die im Südostatlantik der größeren Entfernung entsprechend geringer sind.

5.5. Über die Stationarität des vorgefundenen Zustandes

Ein Vergleich mit früheren Daten aus dem südlichen Südatlantik kann etwas darüber aussagen, inwieweit der hier dargestellte West-Ost-Schnitt einen mittleren Zustand beschreibt. Zwar ist für die obersten 500 m, besonders im westlichen Teil, ein Vergleich im einzelnen wegen Mangel an geeigneten Daten nicht möglich, jedoch ist eine Aufstellung aller „Walther-Herwig“-Daten aus diesem Schnitt in einem T/S-Diagramm (Abb. 5) sehr aufschlußreich; einmal, um etwas über die angetroffenen Wassermassen auszusagen, und zum anderen, um diese Daten als Gesamtheit mit früheren zu vergleichen. Als Beispiele wurden in die Abbildung 5 Daten der „Discovery“-Station 77 vom 6. 6. 1926, 60 sm nördlich von WH-367 und ein von DIETRICH (1950 u. 1957, Abb. 79) angegebenes T/S-Feld für den Atlantischen Ozean unterhalb der oberflächennahen Störungsschicht aufgenommen.

Wie man sieht, ordnen sich im T/S-Diagramm die Daten aus einer Tiefe größer als 400 m in der erwarteten Weise an, und das subantarktische Zwischenwasser läßt sich eindeutig identifizieren. Die Werte liegen auf dem linken Rand des T/S-Feldes für den Atlantik, d. h. der Schnitt verläuft auf der südlichen Grenze des eigentlichen² Atlantischen Ozeans. Nur die Daten von Station WH-348 fallen aus dem Schema, sie gehören zum Falkland-(Malvinen-)Strom, der als Ausläufer des subantarktischen, zirkumpolaren Wasserringes anzusehen ist.

Es bestätigt sich hier, was FUGLISTER (1960, Preface) nach der Wiederholung von „Meteor“-Profilen bemerkt hat: „... The distribution of temperature and salinity are virtually identical to those found over thirty years earlier ...“ Desgleichen hat WÜST (1965) bei einem ausführlichen Vergleich von IGY- und „Meteor“-Daten gefunden:

² In der ozeanographischen Literatur wird das Gebiet südlich des subtropischen Konvergenzgebietes wegen seiner zirkumpolaren Eigenschaften als Antarktischer Ozean bezeichnet, jedoch hat das Internationale Hydrographische Bureau in Monaco den geographischen Begriff „Südatlantischer Ozean“ festgelegt für das gesamte Meeresgebiet bis hin zum antarktischen Kontinent.

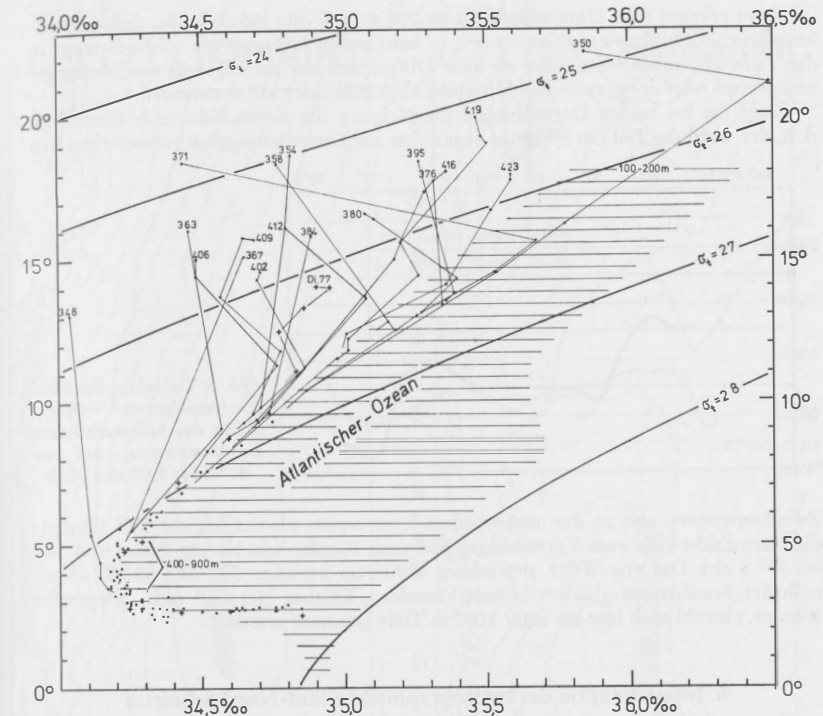


Abb. 5. T/S-Diagramm für die „Walther-Herwig“-Daten aus dem West-Ost-Schnitt; die Schraffur gibt das von DIETRICH (1957) bestimmte T/S-Feld für den gesamten Atlantik wieder (+ Di 77 = Daten einer „Discovery“-Station vom 6. 6. 1926)

Stationarität in den Kernschichten des subantarktischen Zwischenwassers, des nordatlantischen Tiefenwassers und des antarktischen Bodenwassers in bezug auf die Salzgehaltswerte. Wohlbermerkt, Stationarität in den Werten heißt nur, daß die Werte an einem vorgegebenen Ort dieselben bleiben; dies darf nicht etwa mit Bewegungslosigkeit verwechselt werden. Im einzelnen gibt Wüst als Differenzen im Salzgehalt des subantarktischen Zwischenwassers Werte zwischen 0,03 und 0,06 ‰ an für die Breitenzone 32°–34° S. Die hier vorgelegten Daten fallen in diesen Rahmen.

Die T/S-Werte aus der oberflächennahen Schicht sind in dem Diagramm sehr breit gestreut, eine klare Differenzierung von Wassermassen ist nicht möglich, wie es auch dem anfangs beschriebenen Bild von dem subtropischen Konvergenzgebiet entspricht (s. Abschn. 5.1 bis 5.3).

Wenn in der Kernschicht des subantarktischen Zwischenwassers Temperatur- und Salzgehaltswerte auch über viele Jahre die gleichen bleiben, so scheint dies nicht ohne weiteres für die Tiefenlage der Kernschicht zuzutreffen:

Wüst (1936) hat für den Atlantischen Ozean eine Karte der Tiefenlage dieser Kernschicht erarbeitet; als Indikator diente das Salzgehaltsminimum. Entnimmt man aus dieser Karte die Tiefen, die unserem Schnitt zuzuordnen wären, und vergleicht sie mit den von „Walther Herwig“ gefundenen Tiefen, wie es in Abbildung 6 geschehen

ist, dann erkennt man Unterschiede bis zu 200 m. Ob dies jedoch heißt, daß das subantarktische Zwischenwasser zumindest in bestimmten Gebieten um solche Beträge in der Tiefe schwanken kann, oder ob diese Differenzen nur ein Ergebnis von Meßungenauigkeiten oder der graphischen Mittelung sind, läßt sich nicht entscheiden.

Gleich ist bei beiden Darstellungen die Neigung der Kernschicht nach Osten hin, d. h. der westliche Teil des Schnittes liegt näher am Entstehungsgebiet subantarktischen

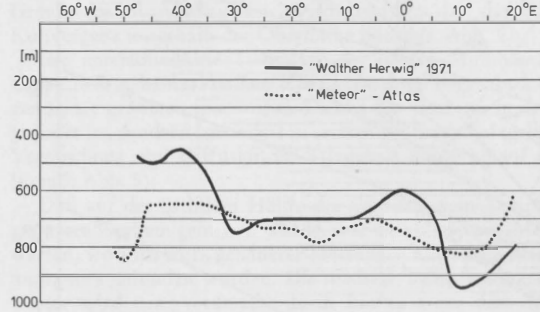


Abb. 6. Tiefenlage des Salzgehaltsminimums (Kernschicht des subantarktischen Zwischenwassers) auf ca. 40° S für 1925 und 1971

Zwischenwassers, also an der antarktischen Konvergenz als der östliche Teil (Grund: die Kernschicht fällt vom Entstehungsgebiet nach Norden hin bis zur Breite von 30° bis 35° S ab). Das von Wüst angegebene Minimum zwischen 50° und 55° W unterhalb des Brasilstromausläufers konnte von der „Walther Herwig“ nicht festgestellt werden, obwohl auch hier bis unter 1000 m Tiefe gemessen wurde.

6. Interpretation des hydrographischen Süd-Nord-Schnittes

Dieser Schnitt (s. Abb. 1) führt von einem Punkt (Station WH 423) ca. 400 sm südwestlich von Kapstadt aus in fast gerader Linie an den Inseln St. Helena und Ascencion vorbei zu der Inselgruppe der Kap Verden, läuft durch den östlichen Teil dieser Inselgruppe und westlich an den Kanarischen Inseln vorbei bis Madeira. Direkt unter dem Äquator wurde der Schnittverlauf unterbrochen durch vier hydrographische Serienmessungen in der Tiefe der Romanche-Rinne. Für die gesamte Strecke wurden 24 Tage (30. 3.–22. 4. 1971) benötigt.

Die vertikale Temperatur- und Salzgehaltsverteilung auf diesem Schnitt zeigen die Abbildungen 7 a, b. Im Gegensatz zum West-Ost-Schnitt ist hier die Schichtung klar und eindeutig. Beide Abbildungen geben die bekannte Struktur des Atlantischen Ozeans im Tiefenbereich von 0–2000 m wieder. Vergleicht man die von „Walther Herwig“ gefundenen Werte mit dem „Meteor“-Atlas oder den Horizontalkarten bei SVERDRUP (für 0, 200, 400 m, 1942), so findet man gute bis sehr gute Übereinstimmungen mit einigen Ausnahmen an der Oberfläche, die jahreszeitlich bedingt sind.

6.1. Agulhas-Strom

Am südlichen Ende (der linken Seite) des Schnittes steigen Isothermen und Isohalinen zunächst steil nach oben bis ca. 33° südlicher Breite, d. h. der im West-Ost-Schnitt tiefgreifende Einfluß des Agulhas-Stromes hat bereits bei 33° S offensichtlich aufgehört.



Abb. 7. Vertikale Verteilung von a (oben) Temperatur und b (unten) Salzgehalt auf dem Süd-Nord-Schnitt durch den südlichen und mittleren Atlantik. Die Schraffur zeigt die Lage ein intermedären Temperaturminimums unter dem Äquator an

6.2. Warmwassersphäre

Unter Warmwassersphäre sei hier der Bereich verstanden, der die homogene Deckschicht und die darunter liegende Temperatursprungschicht erfaßt – die Definition ist hier bewußt vage gehalten entsprechend den Ausführungen unter 2; je weiter man sich jedoch von den Tropen entfernt, desto unklarer werden diese Erscheinungen, so kann man auch allgemeiner alles das unter Warmwassersphäre verstehen, was wärmer als 10–15° C ist (s. Abb. 2). Diese Sphäre ist nach den Abbildungen etwa symmetrisch zum Äquator strukturiert; sie reicht auf der Nordhemisphäre tiefer als im Süden, dagegen liegen hier an der Oberfläche die Temperaturwerte der Jahreszeit (Südherbst) entsprechend höher.

Die ungewöhnlichen Turbulenzen im Temperaturprofil nördlich von 16° N deuten auf großmaßstäbige Vermischungskörper hin, die mit dem Kanarenstrom (s. Abb. 1) nach Süden treiben. Hier liegt ein Grenzgebiet zwischen nord- und zentralatlantischen Wassermassen. Daß im Salzgehaltsprofil nicht ähnlich starke Turbulenzen erscheinen, liegt vermutlich nur daran, daß diese Größe nicht kontinuierlich mit der Tiefe gemessen wurde.

Die Salzgehaltsmaxima in den nördlichen und südlichen Subtropen entsprechen in ihren Werten und Ausdehnungen mittleren Angaben (SVERDRUP 1942; DHI-Atlas 1971). Entsprechend der größeren Nähe zum Entstehungsgebiet (zentraler Nordatlantik) ist das nördliche Maximum stärker ausgeprägt; das Entstehungsgebiet des südlichen Maximums liegt mehr auf der Westseite des Südatlantiks. Interessant ist die Ausbreitung des intermediären Salzgehaltsmaximums in Tiefen zwischen 60–100 m in der Nähe des Äquators: Bei genauer Betrachtung des Salzgehaltsprofils ist zu erkennen, daß zwischen den Stationen WH 467 und WH 471 dieses Maximum unterbrochen ist, obwohl diese Unterbrechung gar nicht durch Salzgehaltmessungen belegt ist! Jedoch muß nach DEFANT (1961, „Meteor“-Daten) und WILLIAMS (1966, EQUALANT-I-Daten) hier wie auch bei 10° N je ein Streifen ohne intermediäres Salzgehaltsmaximum liegen. Es handelt sich hier um Grenzen der meridionalen Zirkulation in Oberflächennähe. DEFANT vermutet in diesen Streifen auftriebsartige Vertikalbewegungen, WILLIAMS hält dies jedoch wegen zu großer vertikaler Dichtegradienten (infolge der abnehmenden Temperatur) für widersprüchlich. Das intermediäre Salzgehaltsmaximum zwischen diesen Streifen stammt aus Gebieten vor der brasilianischen Küste und treibt mit dem äquatorialen Unterstrom nach Osten (COCHRANE 1965), wobei es nur wenig im Salzgehalt verliert, was eben nur möglich ist, wenn kein nennenswerter Austausch mit der äußeren Umgebung dieses Unterstromes stattfindet.

6.3. Subantarktisches Zwischenwasser

Im Salzgehaltsprofil zeigt sich unterhalb der Warmwassersphäre sehr anschaulich der Einflußbereich des subantarktischen Zwischenwassers. Nachdem im Süden die Ausläufer des Agulhas-Stromes den Kern des Salzgehaltsminimums nicht mehr in größere Tiefen drücken (s. auch Abb. 3b) breitet sich das subantarktische Zwischenwasser mit einer Mächtigkeit von mehreren hundert Metern in einer konstanten Tiefe (Kern in ca. 750 m) über den Äquator bis ca. 20° N aus, wie schon öfters gefunden (DIETRICH und KALLE 1957).

Im Temperaturprofil jedoch ist das subantarktische Zwischenwasser nicht zu erkennen – abgesehen von einem kleinen Gebiet in der Nähe des Äquators. Dies ist nicht verwunderlich, denn aus Abbildung 3 a läßt sich entnehmen, daß im östlichen Teil des südlichen Südatlantiks auch gar kein Temperaturminimum gebildet wird, das sich nach Norden als Untergrenze des subantarktischen Zwischenwassers ausbreiten könnte. Das

schwache Minimum südlich und unter dem Äquator ist eindeutig erklärbar als Zufluß aus weiter westlich liegenden Gebieten. Dies bestätigt frühere Annahmen (DEFANT 1961), daß das in diesem Schnitt angetroffene subantarktische Zwischenwasser nicht direkt aus dem Süden, sondern aus südwestlicher bis westlicher Richtung stammt. Daß ein Teil des subantarktischen Zwischenwassers unter dem Äquator direkt nach Osten fließt, entgegen seiner sonstigen Tendenz, auf der Westseite des Atlantiks nach Norden vorzudringen, muß wie bei dem äquatorialen Unterstrom in Oberflächennähe erklärt werden und mit dem Verschwinden der Corioliskraft am Äquator, da dies über alle Tiefen gilt.

6.4. Europäisches Mittelmeerwasser

Auf der rechten Seite, also im Norden des Salzgehaltsprofils taucht ein Salzgehaltsmaximum in Tiefen zwischen 800–1300 m auf, das auf dem Weg nach Süden weiter absinkt. Dieses Wasser stammt aus dem europäischen Mittelmeer und breitet sich seiner Dichte entsprechend nach Westen und Süden aus. Es ist mit genaueren Meßmethoden wesentlich weiter zu verfolgen als in dieser Abbildung dargestellt.

6.5. Über die Stationarität des vorgefundenen Zustandes

Wie für den Schnitt durch den Südatlantik in Abbildung 5 sind für den Süd-Nord-Schnitt alle gemessenen Temperatur- und Salzgehaltswerte in einem T/S-Diagramm in Abbildung 8 zusammengetragen und stationsweise miteinander verbunden. Da aus Gründen der Zeitknappheit auf den nördlichsten Stationen (WH 494, 502, 506, 510, 512) nur Salzgehaltspuren aus der Oberfläche und aus den Fangtiefen genommen werden konnten, sind diese Werte für die Zwischentiefen an Hand von älteren Daten mit Hilfe der kontinuierlichen Temperaturregistrierung nachkonstruiert worden. Daß dieses Verfahren zulässig ist, hat WÜST (1965) nachgewiesen (s. auch Abschn. 5.5). Eine Strichelung kennzeichnet diese Stationen.

Zur besseren Orientierung enthält das Diagramm wiederum wie in Abbildung 5 das von DIETRICH (1950) angegebene T/S-Feld für den gesamten Atlantischen Ozean unterhalb der Deckschicht. Fast alle Wertepaare fallen in dieses Feld; diejenigen, die dies nicht tun, stammen zum größten Teil aus Oberflächennähe. Man sieht, wie die meisten Stationen im linken Teil des Feldes bleiben, dessen Rand wir in Abschnitt 5.5 als charakteristisch für den südlichsten Teil des Atlantischen Ozeans erkannt haben. Dies jedoch braucht nicht zu verwundern, wenn man bedenkt, daß der Süd-Nord-Schnitt über weite Teile Wassermassen erfaßt, die von Süden her beeinflußt werden (Benguelastrom, Atlantischer Südäquatorialstrom, subantarktisches Zwischenwasser). Ab ca. Station WH 494 tritt in der Tiefe der Einfluß des aus dem europäischen Mittelmeer vordringenden Wassers deutlich in Erscheinung.

Eine sehr markante Trennung innerhalb der T/S-Beziehung erscheint zwischen allen Stationen südlich von WH 494 und denen nördlich von WH 502, also gerade nördlich der Kapverdischen Inseln (um 18° N). Hier trifft der Schnitt auf Wassermassen, die aus nördlichen Gebieten stammen und mit dem Kanarenstrom nach Süden transportiert werden. Der Ort dieser Begrenzung von südlichen und nördlichen Wassermassen steht jedoch im Widerspruch zu den Angaben über die Strömungsverhältnisse an der Oberfläche (DHI-Atlas 1967; BOISVERT 1967), nach denen der Kanarenstrom gerade im Winter noch bis zu zehn Breitengrade südlicher das Stromsystem vor der nordwestafrikanischen Küste beherrscht. Zieht man zu dieser Frage ältere Daten heran, so findet man immer wieder, daß in der Tiefe die Begrenzung bei 18° N liegt, d. h. der südliche Teil des Kanarenstromes beschränkt sich auf eine ganz dünne Oberflächenschicht (we-

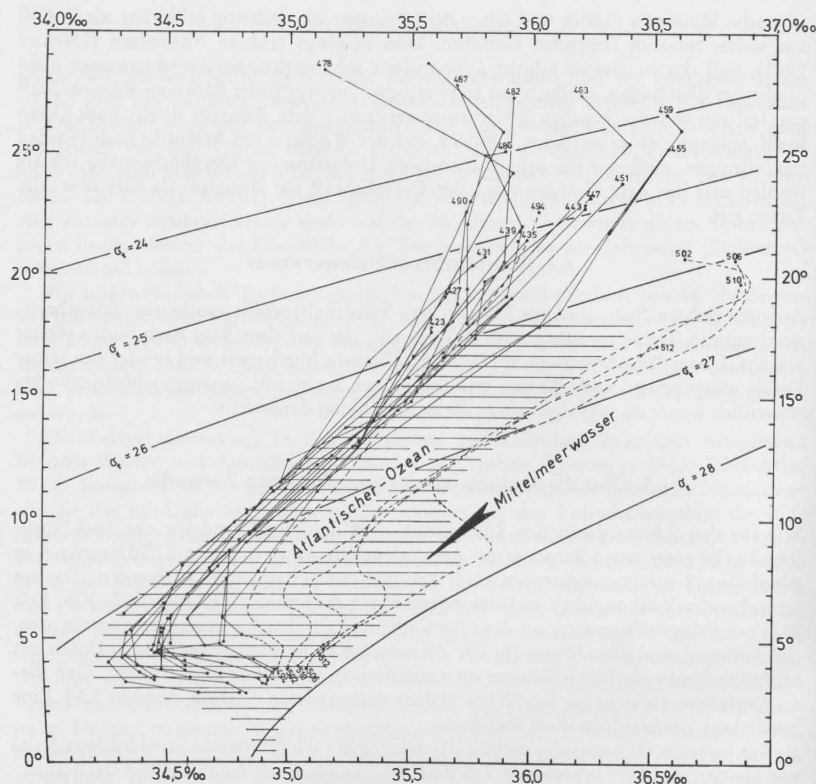


Abb. 8. T/S-Diagramm für die „Walther-Herwig“-Daten aus dem Süd-Nord-Schnitt. Die Schraffur gibt das von DIETRICH (1957) bestimmte T/S-Feld für den gesamten Atlantik wieder

niger als 100 m). Ob die Kapverdischen Inseln eine so bedeutende Trennungsfunktion haben ist zweifelhaft, weil die Inseln nur ganz schmale Säulen darstellen; zwischen ihnen beträgt die Wassertiefe mehr als 2000 m.

7. Diskussion unter zoogeographischen Aspekten

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wurden während dieser Expedition zahlreiche Proben des bathy- und mesopelagischen Nekton bis aus 2000 m Tiefe sowie des Neuston genommen. Zusammen mit den Fängen zweier früherer Expeditionen von FFS „Walter Herwig“ in den Südatlantik (1966 und 1968) lassen sich danach für den mittleren und südlichen Atlantik bestimmte zoogeographische Grenzen im Bathy- und Mesopelagial angeben (KREFFT 1974). Die beiden markantesten zonalen Grenzen im Bereich der Atlantikdurchquerungen können mit hydrographischen Gegebenheiten, wie sie hier beschrieben wurden, erklärt werden:

a. Nördlich der Kapverdischen Inseln um 18° N: Obwohl in den Karten der Oberflächenströmungen (s. Abb. 1) hier keine Begrenzungen auftreten, zeigt ein T/S-Diagramm (Abb. 8) für die Wassermassen unterhalb der Deckschicht (100 m) bis in eine Tiefe von ca. 1000 m, daß hier Wasser aus dem Südatlantik auf solches aus dem Nordatlantik trifft. Der Kanarenstrom als östlicher Teil der großräumigen, antizyklonalen Zirkulation im zentralen Nordatlantik transportiert Wasser – auch in größeren Tiefen – aus diesem System in südlicher Richtung bis zu den Kapverdischen Inseln. Von dort nehmen diese Wassermassen ihren Weg nach dem Westen, und nur an der Oberfläche stößt dieses Wasser, vom Nordost-Passat getrieben, weiter nach Süden vor (bis ca. 10° N).

Neuere Untersuchungen im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika haben gezeigt, daß in Küstennähe südatlantisches Wasser sogar noch weiter nach Norden vordringt, und zwar in ca. 250 m Tiefe vor dem Kontinentalabhang in einer Breite von weniger als 60 sm bis mindestens in Höhe von Cabo Bojador auf 26° N (HUGHES u. BARTON 1974).

b. Nördlicher Teil des Gebietes der subtropischen Konvergenz um 30° S: Es ist hier interessant festzustellen, daß nicht etwa das subtropische Konvergenzgebiet als Ganzes eine zoogeographische Grenze darstellt, sondern dessen nördlicher Teil. Dieser ist nach BOISVERT (1967) an der Oberfläche zugleich die nördliche Begrenzung des südatlantischen Stromes (nördlicher Teil der Westwinddrift). Damit zusammenhängend findet man hier auch ein deutliches Süd-Nord-Gefälle in der Primärproduktion in Oberflächennähe. Nun stellt das Gebiet der subtropischen Konvergenz das Teilstück der ozeanischen Zirkulation im Südatlantik dar, in dem die Wassermassen an der Oberfläche nach Osten transportiert werden. Die Achse dieses großräumigen Wirbels jedoch verlagert sich mit zunehmender Tiefe nach Süden (sie liegt in 2000 m Tiefe bei ca. 34° S), so daß also unterhalb des Gebietes der subtropischen Konvergenz – und zwar unterhalb der nördlichen Zone – auch Wassermassen nach Westen transportiert werden. Daraus können für zoogeographische Kriterien u. a. folgende Schlüsse gezogen werden:

Lebt ein Tier im Gebiet der subtropischen Konvergenz hauptsächlich in Oberflächennähe, dann wird es nach Osten verfrachtet und später, d. h. im Südost-Atlantik, auch z. T. nach Norden, wo das Wasser jedoch durch klimatische Einflüsse in Temperatur und Salzgehalt stark verändert wird. Vermutlich wird es nach Süden und Westen zu entkommen versuchen. Lebt ein Tier nur in großen Tiefen und läßt sich wiederum treiben, dann lebt es beim Rücktransport nach Westen etwas weiter nördlich in fast unveränderter physikalischer Umgebung, und doch gibt KREFFT (1974) für einige Arten im Mesopelagial als Verbreitungsgrenze die Breite 35° S an.

Denkt man nun an das bekannte Verhalten von Fischarten in Küstennähe, wo die Tiere sich im Aufwuchsstadium mit der Strömung treiben lassen und später zum Laichen wieder aktiv gegen die Strömung zurückwandern, dann böte sich hier eine Parallele, indem dieses Zurückwandern für tiefer lebende Arten eben nur südlich von 34° S stattfindet, während flacher lebende Arten dies auch weiter nördlich (bis ca. 30° S) tun, weil da die östliche Strömung auch weiter nach Norden reicht.

Es ist also zu vermuten, daß für eine Reihe von pelagischen Arten bestimmte Einzelteile der ozeanischen Zirkulation die geographische Verbreitung bestimmen. Es gibt jedoch auch Beispiele, die mit unserem Stand der Kenntnis über diese Zirkulation nicht in Übereinstimmung gebracht werden können. So z. B. scheint bei 10° S auch eine zoogeographische Grenze zu liegen, obwohl hier keine Strömungsgrenze bekannt ist, sondern nur eine verstärkte Abnahme der Stromgeschwindigkeit unterhalb der Deckschicht, d. h. nördlich dieser Zone scheinen die Wasserbewegungen relativ schwach zu sein, was sich auch in der Abnahme des gelösten Sauerstoffs zwischen 50 m und über 1000 m Tiefe zeigt (VISSER 1970).

In der Literatur über die Verbreitungsgrenzen von Arten im Weltmeer werden als

Kriterien manchmal bestimmte Temperaturen in bestimmten Tiefen angegeben, insbesondere die Temperatur in 200 m Tiefe. Der Grund hierfür liegt nicht etwa in einem inneren logischen Zusammenhang beider Erscheinungen, sondern darin, daß man auf der Suche nach hydrographischen Grenzen, die denen der gefundenen Grenzen ähneln, Karten der horizontalen Verteilung der Temperatur im Ozean zu Hilfe nahm (z. B. bei SVERDRUP et al. für 200 m bzw. 400 m Tiefe, 1970). Und hier scheinen in der Tat Ähnlichkeiten aufzutreten, so daß mit Recht vermutet werden kann, daß dieselbe Ursache für die Verbreitung bestimmter Arten und für die Temperaturverteilung verantwortlich ist, nämlich das ozeanische Strömungssystem, dessen innere Struktur und zeitliche Änderung noch zu wenig bekannt sind für eingehendere Erklärungen zoogeographischer Grenzen.

Danksagung

Bei der Auswertung der Daten und bei den graphischen Darstellungen in dieser Arbeit hat das Deutsche Hydrographische Institut in Hamburg wesentliche Hilfe geleistet. Besonders dem Leiter der Abteilung für Meereskunde, Prof. Dr. H. WALDEN, sei hier gedankt für ständige Unterstützung. Für anregende Diskussionen über zoogeographische Probleme und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes danke ich Dr. G. KREFFT und Dr. M. STEHMANN aus der Ichthyologischen Arbeitsgruppe im Institut für Seefischerei der Bundesforschungsanstalt für Fischerei und Frau H.-M. BORSUTZKY aus demselben Institut für das Fertigstellen des Manuskriptes.

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit einer Untersuchung der Tierwelt im Meso- und Bathypelagial im südlichen und mittleren Atlantik wurde die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt bis in 2000 m Tiefe gemessen. Die Daten wurden auf einem West-Ost- und einem Süd-Nord-Schnitt (Abb. 1) gesammelt. Die Interpretation der Meßergebnisse geschieht unter besonderer Berücksichtigung der großräumigen Zirkulation, jedoch fällt es schwer, deren wesentliche Merkmale in hydrographischer Sicht zu beschreiben, wegen Fehlens einer eindeutigen Terminologie – eine internationale Klassifizierung ist nötig! Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung sind folgende:

1. Im südwestlichen Atlantik wurde eine Reihe großräumiger Verwirbelungserscheinungen gefunden, die eine horizontale Ausdehnung von ca. 100 km hatten und bis in 500 m Tiefe reichten. Diese große Eindringtiefe legt die Vermutung nahe, daß es sich um dynamische Prozesse handelt, die durch den auslaufenden Brasilstrom verursacht werden, wie es vom Golfstrom schon bekannt ist.
2. Unter dem Äquator in ca. 1000 m Tiefe liegt ein Temperaturminimum, dessen Ursache in einer schmalen West-Ost-Strömung liegt, die eine ähnliche Erscheinung zu sein scheint wie der äquatoriale Unterstrom.
3. Es wurden auf dieser und zwei früheren Reisen von FFS „Walther Herwig“ in den Südatlantik einige Verbreitungsgrenzen der Tierwelt festgestellt (KREFFT 1974). Die beiden markantesten liegen auf ca. 18° N bzw. zwischen 30° und 35° S. Diese lassen sich hydrographisch erklären:
Bei 18° N vor Westafrika liegt unter der Oberfläche die Grenze zwischen süd- und nordatlantischem Wasser. Im anderen Fall handelt es sich um den nördlichen Rand des Gebietes der subtropischen Konvergenz, wo die Strömungen ausschließlich zonal verlaufen, und zwar in der Nähe der Oberfläche nach Osten und in größeren Tiefen nach Westen.

Allgemein hat sich bestätigt, daß das großskalige Temperatur- und Salzgehaltsfeld unter der Deckschicht nahezu stationär ist. Dies trifft jedoch nicht zu für die Kernschicht des subantarktischen Zwischenwassers in dessen Entstehungsgebiet.

Summary

As part of an investigation of the fauna in the meso- and bathypelagic Atlantic Ocean, temperature and salinity were measured down to a depth of 2000 m. The data were collected on two transoceanic profiles, one running from west to east, the other from south to north (Fig. 1). The interpretation of the results considered the main features of the Atlantic circulation; this, however, is made difficult by the lack of clear hydrographic definitions – an international classification is needed!

The main results of this survey are as follows:

1. In the southwestern Atlantic, a series of large scale eddy-like phenomena was found. They were about 100 nautical miles in diameter and up to 500 m deep. This great depth of penetration suggests that they are a result of dynamic processes caused by the Brasil Current as it turns from the continental slope into the open ocean, a phenomenon which is known from the Gulf Stream.
2. At about 1000 m beneath the equator, a temperature minimum was found, which originates from a narrow west-east current, one similar to the Equatorial Undercurrent near the surface.
3. During this and two earlier cruises by the FRV „Walther Herwig“ in the South Atlantic, some zoo-geographical borders were discovered (KREFFT 1974). The two most well-defined lie at about 18° N and between 30° and 35° S. These can be explained hydrographically: At 18° N off West Africa, there is the subsurface border between South and North Atlantic water. At the northern margin of the area of the sub-tropical convergence the currents run exclusively east-west: near the surface to the east and at greater depths to the west.

In general it has been confirmed that the large scale temperature and salinity field under the mixed layer is practically stationary. This, however, does not hold true for the core of the sub-antarctic intermediate water at its origin.

Literatur

- BOISVERT, W. E., 1967: Major currents in the North and South Atlantic Oceans between 64° N and 60° S. Techn. Rep. 193, Naval Oceanogr. Off., Washington.
- BOLIN, B.; STOMMEL, H., 1961: On the abyssal circulation of the World Ocean – IV: Origin and rate of deep ocean water as determined with the aid of tracers. Deep-Sea Res. 8, 95–110.
- BOLTOVSKOY, E., 1970: Masas de agua (característica, distribución, movimientos) en la superficie del Atlántico Sudoeste, según indicadores biológicos – Foraminíferos. Servicio de Hidrografía Naval H. 643, Buenos Aires.
- BRUUN, A. F., 1957: Deep sea and abyssal depth. Geol. Soc. Am., Mem. 67, 641–672.
- BUSCAGLIA, J. L., 1971: On the circulation of the intermediate waters in the Southwestern Atlantic Ocean. J. Mar. Res. 29, 245–255.
- COCHRANE, J. D., 1965: Equatorial currents in the Western Atlantic. Ref. 65–17T, Texas A&M Univ. 6–19.
- COOKSA, I. V., 1972: On the classification of the ocean intermediate layers. The 2nd Int. Ocean. Dev. Conf. in Tokyo, 1, 255–261.
- DEACON, G. E. R., 1937: The hydrology of the Southern Ocean. Discovery Rep. 15, 1–124.
- DEFANT, A., 1961: Physical Oceanography 1, 556–707.
- DIETRICH, G., 1935: Aufbau und Dynamik des südlichen Agulhas-Stromgebietes. Veröff. d. Inst. Meeresk., Berlin, H. 27.
- 1950: Kontinentale Einflüsse auf Temperatur und Salzgehalt des Ozeanwassers. Dtsch. hydrogr. Z. 3, 33–39.
- KALLE, K., 1957: Allgemeine Meereskunde. Berlin.
- FUGLISTER, F. C., 1960: Atlantic Ocean atlas of temperature and salinity profiles and data from the IGY of 1957/58. Woods Hole Oceanogr. Inst., Atlas series I.
- 1963: Gulf Stream '60. Progr. in Oceanogr. 1, 265–383.
- HUGHES, P.; BARTON, E. D., 1974: Stratification and water mass structure in the upwelling area off north west Africa in April/May 1969. Deep-Sea Res. 21, 611–628.
- KOSHYLAKOV, M. N., 1973: Objective analysis of the density field in ocean in application to deep levels of the South Equatorial Atlantic. Atm. and Ocean. Phys., Acad. Sc. USSR 9, 520–538.
- KREFFT, G., 1974: Investigation of midwater fish in the Atlantic Ocean. Ber. dt. Wiss. Kommn. Meeresforsch. 23, 226–254.
- SHANNON, L. V., 1970: Oceanic circulation off South Africa. Div. Sea Fish., S.A., Fish. Bull. No. 6, 27–33.
- SVERDRUP, H. V.; JOHNSON, M. W.; FLEMMING, R. H., 1942: The oceans (Neuaufgabe 1970).
- VERONIS, G., 1969: On theoretical models of the thermohaline circulation. Deep-Sea Res., Suppl. 16, 301–323.
- VISSEER, G. A., 1970: The oxygen minimum layer between the surface and 1000 m in the north eastern South Atlantic. Div. Sea Fish., S.A., Fish. Bull. No. 6, 10–22.
- WILLIAMS, R. G., 1966: An investigation of the intermediate salinity maximum in the Equatorial Atlantic during EQUALANT I. Geophys. Sci. Lab. Rep. Dep. Met. Oceanogr. N.Y. Univ. No. 66–4, 11, 93 S.

- Wüst, G., 1949: Über die Zweiteilung der Hydrosphäre. Dtsch. hydrogr. Z. 2, 218-225.
— 1950: Blockdiagramme der atlantischen Zirkulation auf Grund der „METEOR“-Ergebnisse. Kieler Meeresforsch. 7, 24-34.
— 1965: Zur Frage stationärer Verhältnisse in der Makrostruktur der Kaltwassersphäre des Atlantischen Ozeans. Kieler Meeresforsch. 21, 12-21.
— DEFANT, A., 1936: Atlas zur Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Wiss. Ergebn. dtsh. atlant. Exped. „Meteor“ 6 (2).
WYRTKI, K., 1961: The thermohaline circulation in relation to the general circulation in the oceans. Deep-Sea Res. 8, 39-64.
Monatskarten für den Nordatlantischen Ozean, 1967 DHI - No. 2420.
Monatskarten für den Südatlantischen Ozean, 1954. DHI - No. 2421 (Neuaufgabe 1972).
The Gulf Stream Monthly Summary. U.S. Naval Oceanogr. Off. (seit 1966).
Atlas Oceanográfico, Atlântico sul condições no verão de 1972 - Marinha do Brasil-Hidrografia e Navegação.

Anschrift des Verfassers: W. LENZ, Universität Hamburg, SFB 94 Meeresforschung, 2 Hamburg 13, Von-Melle-Park 6 XIII

capture
faites