

B. 8964

„METEOR“

FORSCHUNGSERGEBNISSE

Herausgegeben von der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Reihe A - No. 1

ALLGEMEINES
PHYSIK UND CHEMIE DES MEERES

Redaktion: G. Dietrich - Kiel

W. Hansen - Hamburg und J. Joseph - Hamburg



GEBRÜDER BORNTRAEGER · BERLIN-NIKOLASSEE

B. 8964



„METEOR“

FORSCHUNGSERGEBNISSE

Herausgegeben von der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Reihe A - No. 1

ALLGEMEINES

PHYSIK UND CHEMIE DES MEERES

Redaktion: G. Dietrich - Kiel

W. Hansen - Hamburg und J. Joseph - Hamburg

1. Reisebericht der Indischen Ozean Expedition
mit dem Forschungsschiff „Meteor“ 1964-1965
von Günter Dietrich, Gunther Krause, Eugen Seibold und Kurt Vollbrecht. Seite 1
2. Struktur des heißen salzreichen Tiefenwassers im zentralen Roten Meer
von Gunther Krause und Jochen Ziegenbein Seite 53
3. Trübungsmessungen im Persischen Golf und im Golf von Oman
von Jochen Ziegenbein Seite 59

1966

GEBRÜDER BORNTRAEGER · BERLIN-NIKOLASSE



Forschungsschiff „Meteor“ auf der Indischen-Ozean-Expedition 1964/65 vom Hubschrauber aus

Research vessel „Meteor“ on the Indian Ocean Expedition 1964/65 from the helicopter

Die Struktur des heißen salzreichen Tiefenwassers im zentralen Roten Meer

von

GUNTHER KRAUSE und JOCHEN ZIEGENBEIN
Institut für Meereskunde der Universität Kiel

The structure of the hot salty deep water in the central Red Sea

Summary

On her cruise to the Indian Ocean, R. V. "Meteor" worked a section through the Red Sea with stations in several deep holes. But only in the "Discovery deep" (St. 28) and in the area of the "Atlantis deep" (St. 384) (fig. 1) hot salty water occurred. The upper limits of the abnormal water were indicated by scattering layers (fig. 2). In both holes continuous temperature and transparency

measurements were carried out. On station 28 (fig. 4) the temperature rose within a thermocline of 45 m thickness from 21,6 °C to 44,8 °C. On station 384 (fig. 3) 3 layers were observed. The temperature first rose from 21,6 °C to 41,2 °C, then to 57,7 °C and finally to 58,4 °C near the bottom. On both stations the water was very turbid. Some chemical properties of the water are given.

For the explanation of the 3 different layers on station 385 it is suggested that water from different holes flows together and is stratified according to density.

Seitdem im zentralen Roten Meer in einem Gebiet um 21° 19' N, 38° 3' E bei hydrographischen Messungen das erste Mal im Verlauf der Schwedischen Albatross-Expedition 1947–1948 Wasser gefunden wurde, das sich sowohl hinsichtlich seiner Temperatur als auch seiner chemischen Zusammensetzung erheblich vom sonstigen Meerwasser unterscheidet, sind dort in den letzten Jahren eine größere Anzahl hydrographischer und geologischer Untersuchungen vorgenommen worden. Einen vollständigen Überblick über die wissenschaftlichen Beiträge über dieses Gebiet gibt A. R. MILLER et al. (1965). Besonders intensiv haben dort R. V. „Atlantis II“ (A. R. MILLER, 1964) und R. R. S. „Discovery“ (J. C. SWALLOW, J. CREASE, 1965) gearbeitet und zahlreiche Lotprofile aufgenommen, die Abb. 1 zugrunde liegen. Hieraus gehen die Tiefenverhältnisse und die Lage der wichtigsten Stationen hervor.

Um festzustellen, ob ähnliche Anomalien auch in anderen Gebieten des Roten Meeres auftreten, wurden auf dem Weg zum Indischen Ozean mit FS „Meteor“ die Stationen so gelegt, daß die hydrographischen Messungen besonders tiefe Senken erfassen konnten. Anomales Wasser wurde jedoch nur während des Hinweges auf Station 28 (28° 17,2'

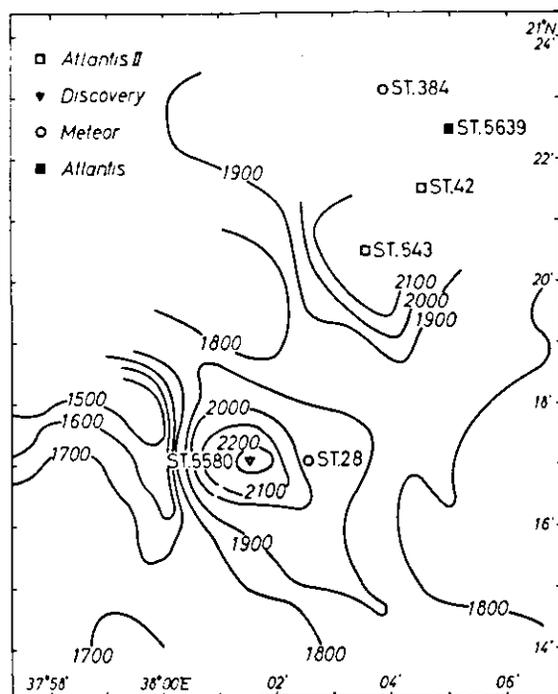


Abb. 1. Gebiet anomalen Bodenwassers im Roten Meer.
Map of the area investigated

N, 38° 2,5' E) gefunden, die in unmittelbarer Nähe der St. 5580 von R. R. S. „Discovery“ lag. Auf der Heimreise befand sich die Station 384 (21° 23' N, 38° 3,8' E) in einem Gebiet salzreichen warmen Bodenwassers, in dem vor allem R. V. „Atlantis II“ gearbeitet hat. Im weiteren sollen zunächst die Temperatur- und Trübungsmessungen sowie die chemische Analyse der hier gewonnenen Wasserproben mitgeteilt werden.

Beim Erreichen des Untersuchungsgebietes lieferte der Tiefsee-Echograph die ersten Hinweise auf das Vorkommen des anomalen Tiefenwassers durch Aufzeichnung von Echostreuschichten.

Auf Stat. 384 ergab sich ein Echogramm, wie es in den Abbildungen 2a—c wiedergegeben ist. Die Streifenbreite, von der in den Abb. 2 Ausschnitte dargestellt sind, umfaßt den Tiefenbereich von 1800—2200 m. Das Bodenecho ist in 1990—2000 m zu erkennen. Die vertikalen Markierungslinien sind im Abstand von 10 Min. eingegeben. Da das Schiff bei ausgesprochen ruhiger See und wenig Wind kaum versetzt wurde, mögen die Abb. 2a und 2b einen Eindruck von dem außerordentlichen scharfkantigen Bodenprofil geben, das sich auch schon durch das breite Bodenecho andeutet. Über diesem Echo zeichnen sich drei scharf ausgeprägte Echostreuschichten ab, von denen die oberste in 1936 m die schwächste ist. In 1944 m und 1976 m Tiefe folgen dann die beiden anderen Streuschichten. Die Tiefenangaben beziehen sich hier auf eine Schallgeschwindigkeit von 1500 m/s in Wasser. Abb. 2d zeigt das Echogramm der Stat. 28. Auch hier ist die Echostreuschicht deutlich, wenn auch schwächer als auf Stat. 384 zu erkennen.

Mit Hilfe eines Durchsichtigkeitsmeßgerätes (G. KRAUSE, 1963), das auch einen Temperaturmeßteil enthält, wurde eine kontinuierliche Temperatur- und Trübungsmessung von der Oberfläche bis zum Boden durchgeführt. Das Gerät war ferner im Fall der Messung auf Stat. 28 mit einer Bodenberühranzeige ausgerüstet, so daß bis unmittelbar über den Grund gemessen werden konnte (F. HOLZKAMM, 1964). Auf Stat. 384 wurde die Annäherung bis an den Boden durch einen Pinger kontrolliert.

Die Registrierung auf Stat. 384 ist in umgezeichneter Form in Abb. 3 wiedergegeben. Man erkennt den zunächst für das Seegebiet charakteristischen Verlauf; von etwa 25 °C an der Oberfläche sinkt die Temperatur bis auf etwa 21,6 °C in 300 m Tiefe ab und bleibt dann bis 1960 m Tiefe konstant. In 1962 m Tiefe erfolgt innerhalb eines Tiefenzuwachses von 20 m ein Temperatursprung auf 41,2 °C. In 2006 m Tiefe steigt die Temperatur weiter auf 57,7 °C und erreicht in 2038 m Tiefe den Endwert von 58,4 °C, der bis zum Boden konstant bleibt. Ein Vergleich dieser Registrierung mit den Echogrammen in Abb. 2a—c zeigt nach der Tiefenkorrektur (MATT-

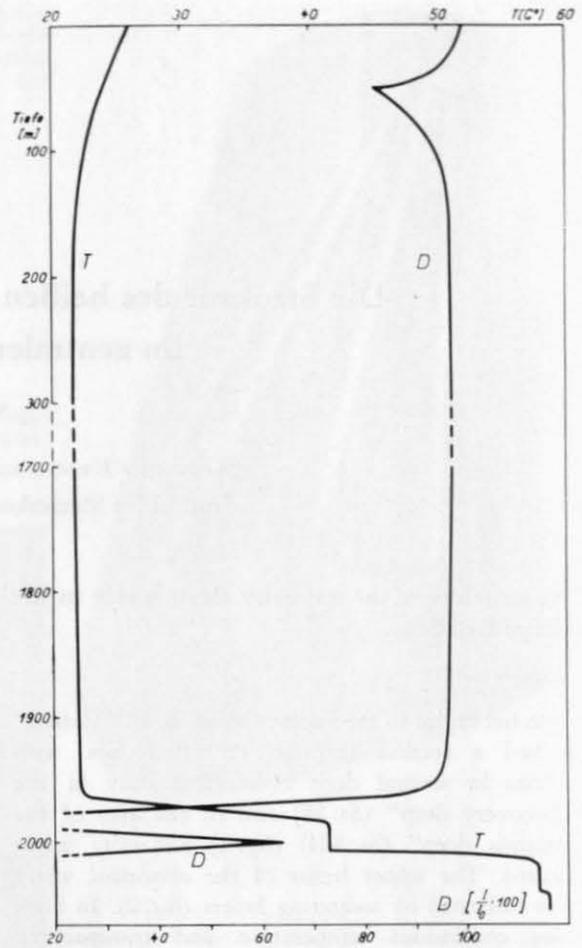


Abb. 3. Umgezeichnete Registrierung von Trübung (D) und Temperatur (T) auf Stat. 384.

Record of temperature (T) and transparency (D) at station 384

HEWS, 1939), daß zwei der drei Streuschichten mit Temperatursprungschichten zusammenfallen. Bemerkenswert ist jedoch, daß der erste Temperatursprung in 1962 m Tiefe keine Echostreuschicht hervorruft. Aus Abb. 3 ist zu ersehen, daß der erste Temperatursprung den kleinsten Gradienten aufweist und damit die für eine Schallreflexion notwendige Störstelle wahrscheinlich nicht scharf genug ausgebildet ist. Dagegen gehören zu den folgenden beiden Temperatursprüngen außerordentlich große Gradienten, die zu zwei ausgeprägten Streuschichten führen. Die erste (oberste) Streuschicht ist aber mit Hilfe der Trübungsmessung zu erklären, die ebenfalls in Abb. 3 dargestellt ist. Es ist daraus zu ersehen, daß die Trübung in der Tiefe des ersten Temperatursprunges schnell ansteigt und der Meßbereich innerhalb einer 20 m dicken Schicht sogar unterschritten wird. In 2000 m Tiefe erscheint die Trübungskurve wieder mit einem relativen Maximum, in dem noch knapp 65% derjenigen Lichtintensität die Photozelle des Meßgerätes erreichen, die sie im (klarereren) Oberflächenwasser empfängt. Innerhalb

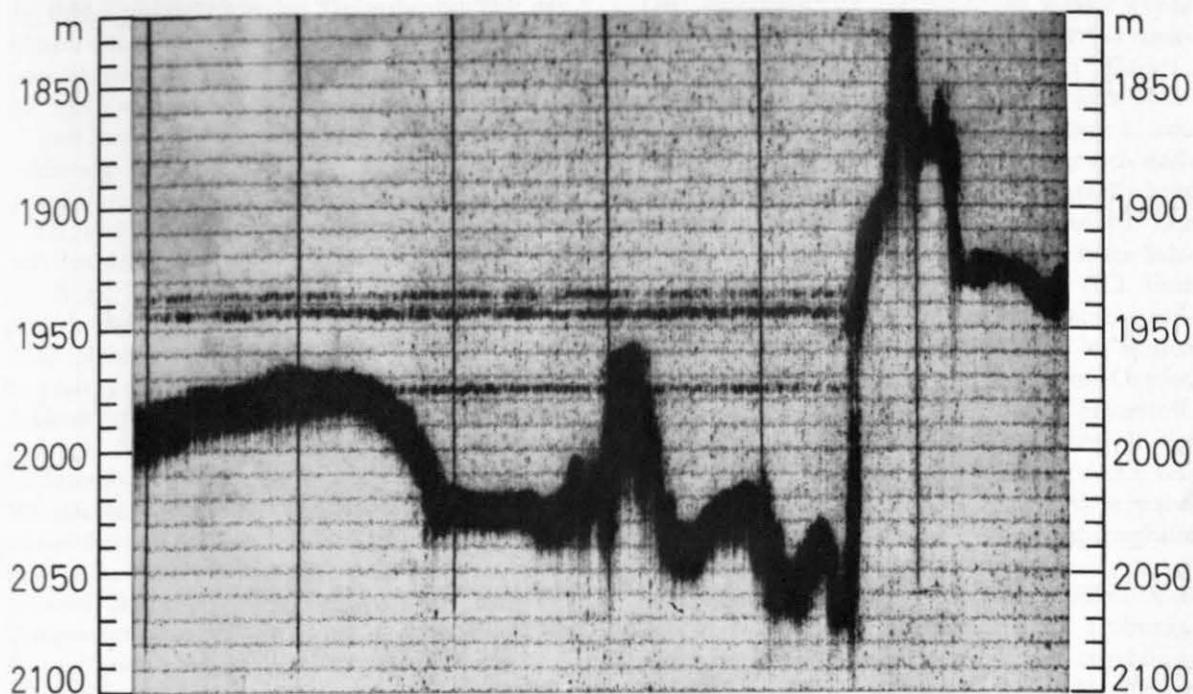


Abb. 2a. Echogramm der Stat. 384. Zu erkennen sind das zerklüftete Bodenprofil und die Echostreuschichten
Record of echo-sounder showing the limits of hot salty water by scattering layers at station 384. See also fig. 2b and 2c

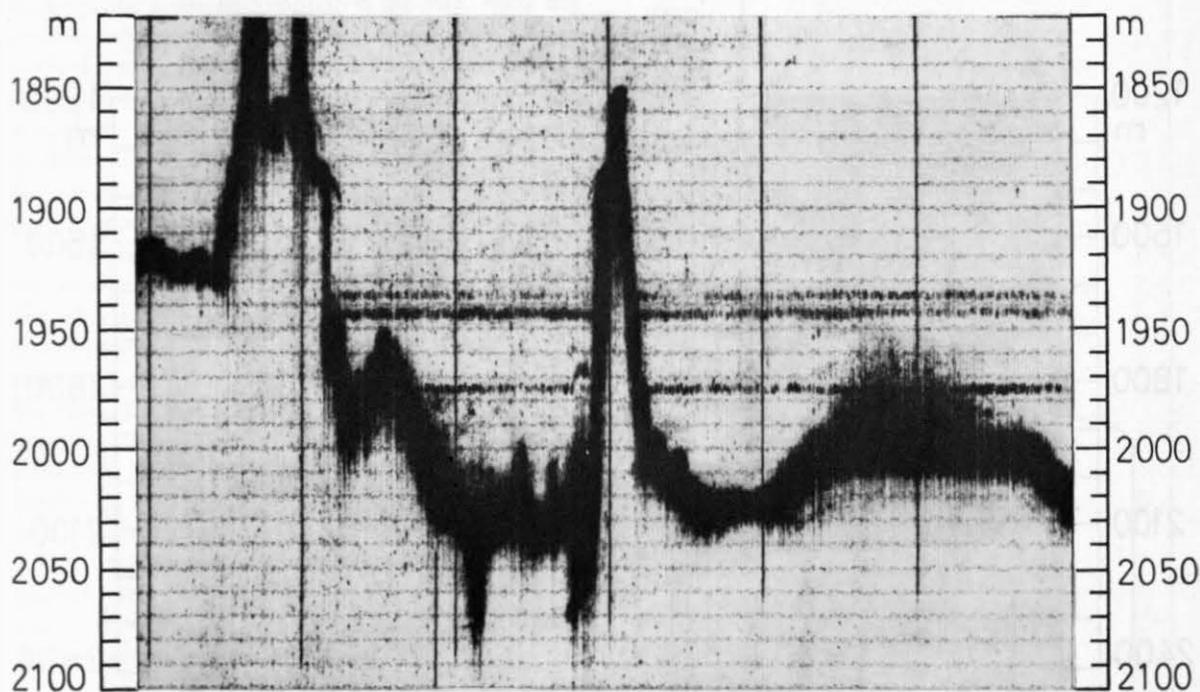


Abb. 2b. Echogramm der Stat. 384, wie oben
Record of echo-sounder at station 384

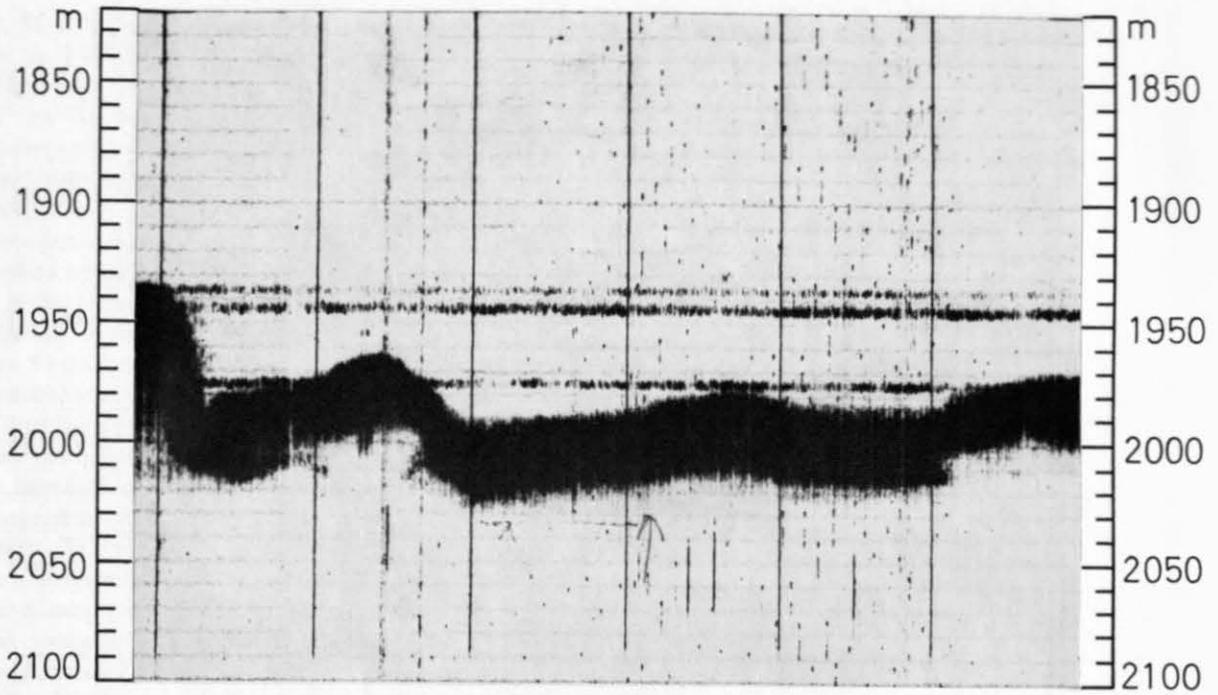


Abb. 2c. Echogramm der Stat. 384. Der Bereich zwischen den beiden Pfeilen gibt den Zeitpunkt der Messung mit dem D-Gerät an

Record of echo-sounder at station 384

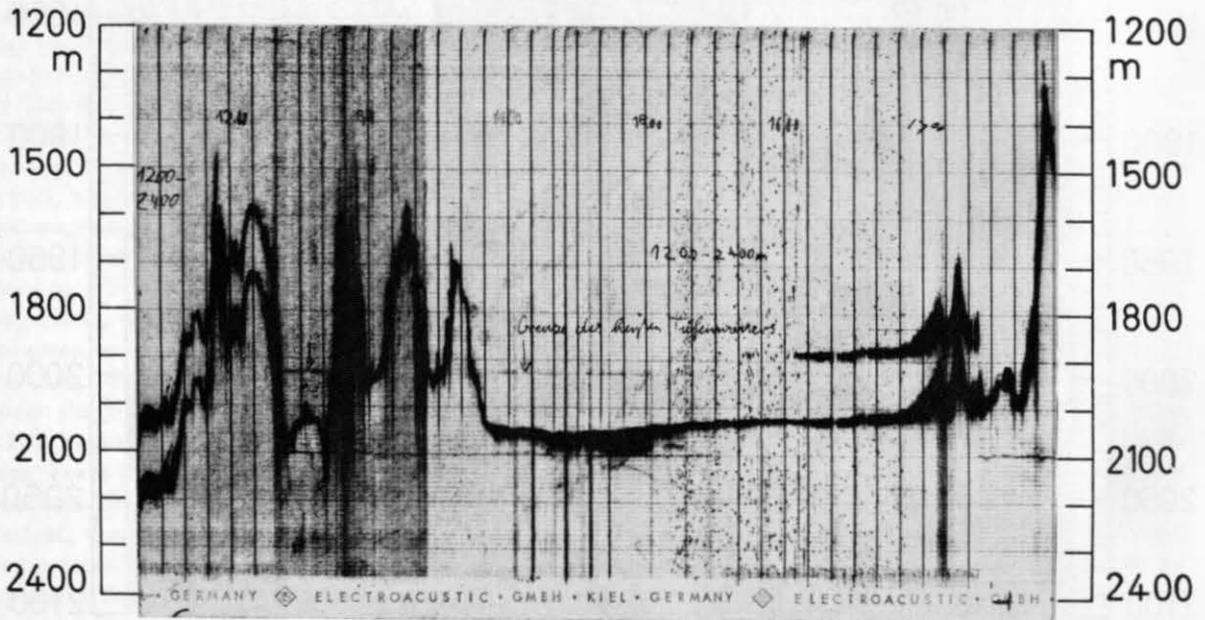


Abb. 2d. Echogramm der Stat. 28. Schwach angedeutet eine einzelne Echostreuschicht

Record of echo-sounder at station 28 showing only one scattering layer

der Fehlergenauigkeit in den Tiefenangaben fällt das relative Minimum genau mit der obersten und am schwächsten ausgebildeten Echostreuschicht zusammen, die somit durch die Reflexion des Schalls an kleinen Partikeln verursacht worden sein kann. Eine Erklärungsmöglichkeit für das Trübungsmaximum ist auf Seite 58 gegeben.

Vergleicht man die hier gemessenen Temperaturen mit den früheren Ergebnissen (Zusammenstellung bei A. R. MILLER et al., 1965), so bemerkt man einmal, daß bisher in dieser ausgeprägten Form keine Mehrfachschichtung beobachtet wurde (J. C. SWALLOW, 1965, erwähnt allerdings eine schwache Andeutung dreier Reflexionsschichten), zum anderen stellt die Bodentemperatur von 58,4 °C den höchsten bisher im Meer gemessenen Wert dar. Die Mehrfachschichtung ist wohl nur mit kontinuierlich messenden Geräten zu erfassen, da die Schichten z. T. nur wenige 10 m stark sind. Die von R. V. „Atlantis II“ auf Stat. 534 (MILLER, 1965) gemessene Temperatur kann entweder, hervorgerufen durch die Extrapolation bei der Tiefenkorrektur der ungeschützten Thermometer, etwas ungenau sein oder sie wurde in der mittleren Schicht bzw. im Übergangsbereich gemessen. Eine dritte Möglichkeit für die Abweichung der beiden Bodentemperaturen voneinander wird weiter unten gegeben. Ergänzend zu den Temperaturangaben sei mitgeteilt, daß in der Bodenprobe eines Backengreifers 20 Min. nach der Probenentnahme eine Temperatur von 61 °C gemessen wurde. Die uns für diese Messungen freundlicherweise von R. V. „Atlantis II“ überlassenen geschützten 60 °C-Thermometer konnten aus technischen Gründen nicht eingesetzt werden. Die elektrisch gemessenen Temperaturen können mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ °C angegeben werden.

In einem am D-Gerät befestigten Wasserschöpfer wurde eine 5-l-Wasserprobe aus 10 m über dem Boden, also gerade noch innerhalb der letzten Schicht, entnommen. Aus dem ursprünglich leicht braun gefärbten Wasser sonderte sich bereits wenige Minuten nach der Bergung des Schöpfers ein brauner, teils flockiger, teils kristalliner Niederschlag ab. Nach 6 Wochen, als im chemischen Labor des Kieler Instituts für Meereskunde mit der Analyse begonnen wurde, hatte sich am Boden des Behälters ein dicker braun-weißer Bodensatz abgelagert, der getrennt von dem darüber liegenden Wasser weiter untersucht wurde. Die chemische Analyse des Wassers ergab folgendes Bild:

Tabelle 1 Analyse der Wasserprobe auf Stat. 384

Cl-Gehalt	18,1%
NO ₂ -N	0,36 µgat/l
NO ₃ -N	0,90 µgat/l
SiO ₂	271 µgat/l
PO ₄ -P	+
Mn	++++

Der „Salzgehalt“ im überstehenden Wasser wurde nach einer Verdünnung auf 1:10 über die elektrische Leitfähigkeit gemessen, Ergebnis 32,65%.

Der bräunlich weiße Niederschlag ist kein Konzentrationsniederschlag. Da im Bodenwasser in situ reduktive Bedingungen herrschten, bildete sich nach der Probenentnahme infolge von Sauerstoffzutritt aus Fe II das schwerlösliche Fe-III-Hydroxyd. Der Niederschlag ist nicht löslich in $\frac{1}{100}$ normaler Salzsäure, löst sich dagegen in $\frac{1}{10}$ normaler HCl. Eine qualitative Analyse ergab außer den Hauptbestandteilen Fe III, Zink und Mangan noch in Spuren Aluminium und Magnesium in Form von Oxyden bzw. Hydroxyden und Carbonaten. Der Sauerstoffzutritt aus dem normalen Meerwasser oberhalb der ersten Temperatursprungschicht und die damit verbundene Ausfällung von Fe-III-Hydroxyd ist wahrscheinlich auch der Grund für die sprunghafte Zunahme der Trübung.

Auf Station 28 ergaben sich etwas andere Verhältnisse. In Abb. 4 ist Temperatur- und Trübungsverlauf dargestellt. Abb. 2d zeigt das zugehörige Echogramm, das den Tiefenbereich 1200–2400 m umfaßt. (Beim Vergleich der Registrierungen sind die verschiedenen Meßbereiche zu beachten.) Die höchste Temperatur betrug 44,8 °C, die Sprung-

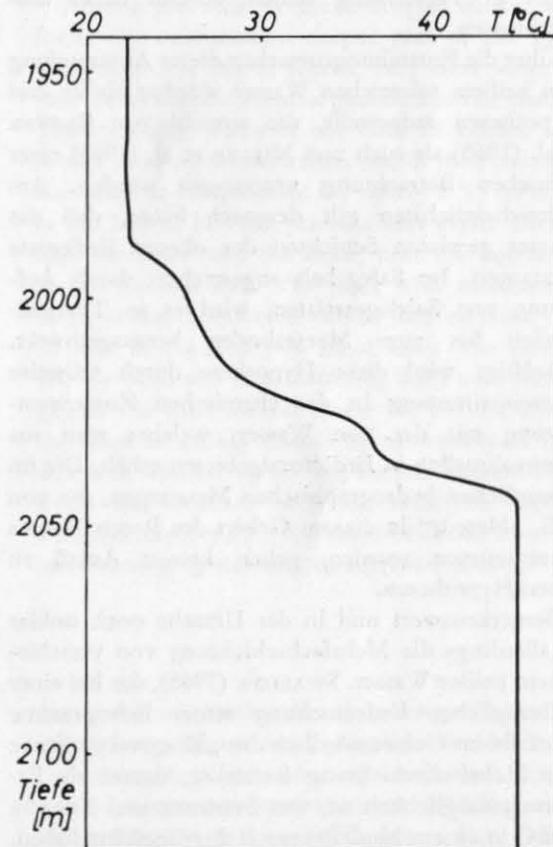


Abb. 4. Umgezeichnete Temperaturregistrierung auf der Station 28

Record of temperature at station 28

schichtdicke ca. 50 m. Die Trübung nahm in der Tiefe des Temperaturanstiegs sprunghaft zu und konnte wegen Unterschreitung des Meßbereichs des Gerätes nicht bis zum Boden verfolgt werden. Die Echostreuschicht ist hier nur schwach ausgebildet. Tabelle 2 zeigt chemische Daten dieses Wassers.

Tabelle 2 Analyse der Wasserprobe auf Stat. 28

NaCl	++++	Mg	+
Ca	++	Al	+
SO ₄ ²⁻	++	SiO ₂	128 µgat/l
K	+	PO ₄ -P	0,19 µgat/l

Das auf Stat. 28 entnommene Wasser zeigt nicht nur in der Temperatur Unterschiede zu dem Wasser auf Stat. 384. Ein zweiter Unterschied besteht darin, daß in der ersten Wasserart nach der Probenentnahme keine Absonderung irgendeines Niederschlages zu beobachten war. Außerdem zeigt ein Vergleich der Wasseranalysen, die BREWER, RILEY und CULKIN (1965) aus der „Discovery“-Senke gewonnen haben, mit den Ergebnissen der auf Stat. 384 erhaltenen Wasserprobe einige Abweichungen. In der Analyse von BREWER et al. (1965) fehlt z. B. jeder Hinweis auf das reichlich vorhandene Fe II bzw. Fe III. Daß die beiden Wasserkörper, d. h. im Fall der Stat. 384 die unterste Schicht, miteinander in Verbindung stehen, scheint daher ausgeschlossen.

Über die Entstehungsursachen dieser Ansammlung von heißem salzreichen Wasser wurden bisher drei Hypothesen aufgestellt, die sowohl von BREWER et al. (1965) als auch von MILLER et al. (1965) einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Am wahrscheinlichsten gilt demnach heute, daß das Wasser gewissen Schichten der oberen Erdkruste entstammt. Im Salzgehalt angereichert durch Auflösung von Salzlagern, wird es in Thermalquellen bis zum Meeresboden herausgedrückt. Bekräftigt wird diese Hypothese durch teilweise Übereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung mit der von Wasser, welches man aus Thermalquellen in Erdölfundgebieten erhält. Die im wesentlichen hydrographischen Messungen, die von F. S. „Meteor“ in diesem Gebiet des Roten Meeres unternommen wurden, geben keinen Anlaß zu neuen Hypothesen.

Bemerkenswert und in der Ursache noch unklar ist allerdings die Mehrfachschichtung von verschiedenem heißen Wasser. SWALLOW (1965), der bei einer nachträglichen Untersuchung seiner Echogramme ebenfalls im Gebiet nördlich der „Discovery“-Senke eine Mehrfachschichtung feststellte, deutet als Erklärungsmöglichkeit an, was STOMMEL und TURNER (1964) in einem Modellversuch durchgeführt haben. Die Autoren erhitzten vom Boden her eine in einem Wassertank befindliche Wasserschicht, die einen konstanten Salzgehaltsgradienten aufwies. Dabei

stellten sie fest, daß sich im Laufe der Zeit eine Mehrfachschichtung ausbildete. Ob diese Erscheinung auf das anomale Meerwasser übertragen werden darf, erscheint zweifelhaft, denn, wie die Autoren zeigen, ist dieser Vorgang instabil, d. h. Lage und Anzahl der Schichten im Tank verändern sich laufend, wobei sich die Schichten weiter nach oben schieben. Eine solche Veränderung konnte an den Echostreuschichten nicht beobachtet werden, obwohl zwischen den auf R. R. S. „Discovery“ und der auf F. S. „Meteor“ aufgenommenen Echogrammen ein dreiviertel Jahr vergangen war. Sowohl die relative Lage der Schichten zueinander als auch die absolute Tiefe stimmten in beiden Fällen überein. Wahrscheinlicher ist wohl die Annahme, daß hier anomale Wasserarten aus verschiedenen Senken zusammenlaufen und sich entsprechend ihrer Dichten schichten. Die oberste Schicht auf Stat. 384 weist mit 41,2 °C eine ähnliche Temperatur wie die in der „Discovery“-Senke auf. Möglicherweise befindet sich dann in der Nähe noch eine dritte Senke, die Wassertemperaturen von etwa 57,7 °C aufweist. Es muß hinzugefügt werden, daß infolge ungünstiger Sicht die Position von F. S. „Meteor“ auf dieser Station nicht mit der bestmöglichen Genauigkeit bestimmt werden konnte. Vielleicht handelt es sich bereits bei der „Atlantis“-Senke und der Senke, in der die Dreifachschichtung beobachtet wurde, um zwei verschiedene Stellen. Eine Klärung dieser Frage dürfte durch eine chemische Analyse des Wassers aus den drei Schichten erleichtert werden. Auf Station 384 war es aus Zeitmangel leider nicht möglich, eine Schöpferserie mit entsprechend dicht gehängten Schöpfnern durchzuführen.

Für die Überlassung der Ergebnisse der chemischen Analyse sei Herrn Dr. K. Graßhoff gedankt.

Literatur

- BREWER, P. G., J. P. RILEY & F. CULKIN, (1965): The Chemical Composition of the Hot Salty Water from the Bottom of the Red Sea. — Deep-Sea Research, 12
- HOLZKAMM, F. (1964): Bodenberührungsschalter für Geräte mit Einleiterkabeln. — Kieler Meeresf., 20: 136–137
- KRAUSE, G. (1963): Eine Methode zur Messung optischer Eigenschaften des Meerwassers in großen Tiefen. — Kieler Meeresf., 19: 175–181
- MATTHEWS, D. J. (1939): Tables of Velocity of Sound in Pure Water and Sea Water in Echo Sounding and Sound Ranging. — Hydrographic Department, Admiralty London
- MILLER, A. R. (1964): High Salinity in Sea-water. — Nature, 203: 590–591
- MILLER, A. R. et al. (1965): Hot Brines and Recent Iron Deposits in Depths of the Red Sea. Unpublished paper, Woods Hole, Mass. Reference No. 65–38
- SWALLOW, J. C. (1965): Hot Salty Water. — Oceanus, 11: 3–5
- SWALLOW, J. C. & J. CREASE (1965): Hot Salty Water at the Bottom of the Red Sea. — Nature, 205: 165–166
- TURNER, J. S. & H. STOMMEL (1964): A New Case of Convection in the Presence of Combined Vertical Salinity and Temperature Gradients. — Proc. Nat. Acad. Sci., 52: 49–53