

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-NIKOLASSE

B. 8904



„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

... during the second part of the expedition ...
 ... and only 27 months ...
 ... and ...
 ...

In brief the program of the expedition ...
 ... and ...
 ...

Trübungsmessungen im Persischen Golf und im Golf von Oman

VON

JOCHEN ZIEGENBEIN

Institut für Meereskunde der Universität Kiel

Transparency-measurements in the Persian Gulf and Gulf of Oman

Summary

The results discussed in this paper refer to investigations with a beam transmission meter, which have been carried out during the "Meteor"-expedition in the northern part of the Gulf of Oman and in the eastern part of the Persian Gulf in March and April 1965. The area is a small strip parallel to the Persian coast, 80 km broad and 700 km long, beginning with the Street of Hormuz in the south and ending near the Isle of Khark at 29.5°N. The temperature measurements which have been taken simultaneously with the optical attenuation have been used only in some cases for interpreting the results of the turbidity measurements. As a detailed discussion of the temperature and salinity distribution, which will be written by P. Koske e. a., is not yet ready, a comparing interpretation of the results of light attenuation measurements and other hydrographic results cannot be made.

In the area of the Street of Hormuz a relative high turbidity can be observed in the surface layer. This is mainly caused by the high content of biological matter. The high light attenuation found in the bottom layer

is significant for the sediment transport by the bottom current which is going southward. Across the continental shelf at a depth of 220 m this bottom current raises and can be observed as a current layer which at a distance of 200 sm off the Strait of Hormuz is still 80 m mighty showing higher turbidity and temperatures being nearly 2 °C higher than the environmental temperatures.

Around the axis of the U-shaped valley, which forms the northeastern deeper part of the Persian Gulf up to the Isle of Khark, very clear water with only a very small content of plankton can be observed. The incoming water of the Gulf of Oman, which in this season is warmer than that of the Persian Gulf decreases its temperature for nearly 2 °C on its way to the North, but still remains very clear. Turbidity only increases near the coast, near the bottom and in the thermoclines. The layer with increased turbidity in the thermocline can be derived from a high content of plankton. In most cases this layer can also be observed as a scattering layer with the echograph. The high turbidity near the bottom and near the coast is mainly caused by mineralogical matter which is whirled up by the bottom current respectively the breakers. Sediment transport occurs in a bottom layer with a thickness of about 25 to 30 m as a function of the bottom current velocity.

A. Einleitung

Zu den Fundamentalgrößen des Meerwassers, Temperatur, Salzgehalt und Druck rechnet man in zunehmendem Maße auch eine Größe, die die optischen Eigenschaften des Meerwassers wiedergibt. Den Empfehlungen des „Committee on Radiant Energy in the Sea“ (1963) folgend, das sich für die standardisierte Begriffsbildung auf dem Gebiet der optischen Erforschung des Meeres einsetzt, ist mit

dieser neuen optischen Fundamentalgröße die Lichtschwächung (attenuance) gemeint, die sich aus der Lichtabsorption (absorbance) und den Streuverlusten (scatterance) zusammensetzt. Die Messung der Lichtschwächung sowie die Trennung ihrer Ursachen in Streuung und Absorption ist außerordentlich kompliziert und gibt Anlaß zu einer großen Anzahl von Problemen. Eine große Schwierigkeit besteht

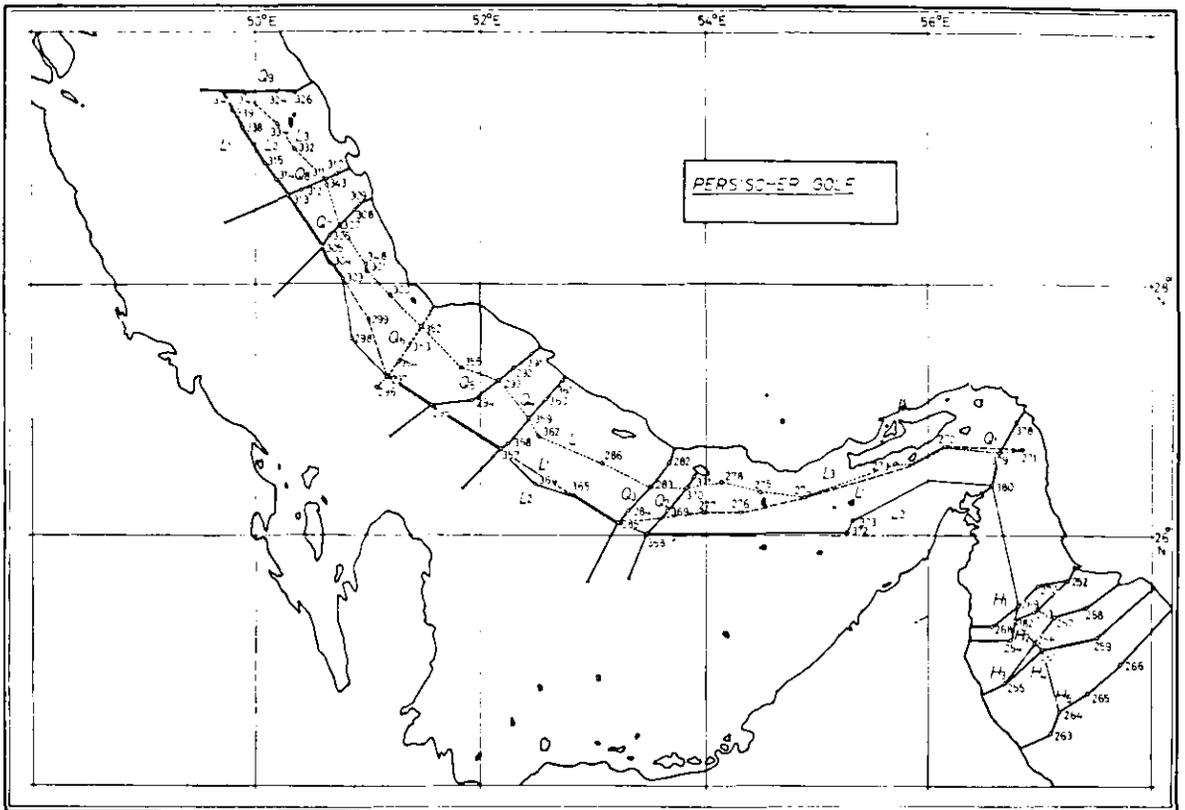


Abb. 1. Stationskarte mit den für Längs- und Querprofile ausgewählten Stationen
Positions of stations used for transparency sections

z. B. darin, eine absolut gültige Standardgröße als Einheit zu definieren. Dies läßt sich schon aus der Vielzahl der verschieden dimensionierten und definierten optischen Parameter ersehen, die die einzelnen Bearbeiter dieses Gebietes angeben. Eine umfangreiche Zusammenstellung der Literatur über die optische Ozeanographie geben G. DIETRICH (1957) sowie N. G. JERLOV (1963). Infolge des Fehlens einer standardisierten Einheit für den optischen Parameter des Meerwassers, ist es bei der Angabe und Bewertung von Meßergebnissen über die Lichtschwächung unbedingt erforderlich, einige Angaben zu der technischen Durchführung der Messung, d. h. zum Meßinstrument selbst, zu machen.

Das für die Untersuchungen im Golf von Oman und im Persischen Golf benutzte Durchsichtigkeitsmeßgerät (D-Gerät), besser bezeichnet mit Gerät zur Messung der Abschwächung eines Lichtstrahls (beam transmission meter), ist von G. KRAUSE (1963), der dieses Instrument entwickelt hat, beschrieben worden. Ein möglichst paralleler Lichtstrahl von 10 mm Durchmesser wird in einem druckfesten Lampengehäuse erzeugt. Im Abstand von 50 cm vom Austrittsfenster befindet sich das Eintrittsfenster eines zweiten Druckgehäuses, durch das der Lichtstrahl auf einen photoelektrischen Widerstand ge-

langt. Der Widerstandswert ist eine Funktion der Helligkeit. Befindet sich das Gerät in Luft, so ergibt sich bei einer bestimmten konstanten Helligkeit der Lichtquelle ein Widerstandswert, der als Luftwert im weiteren immer gleich 100 gesetzt wird. Nach dem Eintauchen in Wasser ändert sich infolge der sich verringernden Helligkeit am Photowiderstand der Widerstandswert. Dieser Wert, der in dieser Form kein absolutes Maß für die Lichtschwächung ist, wird auf den Luftwert bezogen und in Prozenten angegeben. N. G. JERLOV (1957) untersucht die Änderungen der Ausbreitungsbedingungen in Luft und Wasser an einem von ihm entwickelten Gerät genauer. Beim Eintauchen des Gerätes in Wasser treten in den Ausbreitungsverhältnissen des Lichtstrahls zwei Änderungen mit verschiedenem Vorzeichen auf: Erstens eine Lichtschwächung durch Absorption und Streuung. Zweitens ergeben sich infolge der Änderung des Brechungsindex im Wasser an den Grenzflächen Glas-Wasser und Wasser-Glas geringere Reflexionsverluste als in der Luft. Außerdem verbessert sich die Bündelung des Lichtstrahls, so daß die Schwächung bis zu einem gewissen Grade wieder ausgeglichen wird. Erhält man also z. B. im Wasser einen Helligkeitswert von 80%, bezogen auf den Luftwert, so wird die durch

echte Lichtschwächung verlorengegangene Helligkeit, bezogen auf den Luftwert, im allgemeinen größer als 20% sein. Bei dem von G. KRAUSE entwickelten Gerät wird Rotlicht entsprechend dem Rotfilter RG 2 der Fa. Schott verwendet. Die Intensitäts-Frequenz-Kennlinie in Luft ist parabelförmig mit einem Maximum bei 6600 Å und einer Halbwertsbreite von 1000 Å. Unter Benutzung der für reinstes Wasser im Labor gemessenen Lichtschwächung kommt man zu dem Ergebnis, daß der mit dem hier benutzten Meßgerät erhaltene Luftwert etwa dem Meßwert entspricht, den man in klarstem Wasser erhalten würde, d. h. in klarem destilliertem Wasser werden (nur im Falle dieses Gerätes) die Lichtverluste infolge Absorption und Streuung aufgehoben durch die Veränderung des optischen Weges. Das mag einen Anhalt dafür geben, wie die im folgenden wiedergegebenen Meßwerte zu bewerten sind.

Ein Meßwert von 80% bedeutet also, daß das untersuchte Wasser den Lichtstrahl des Meßgerätes um 20% mehr schwächt als dies in klarstem Wasser geschehen würde. Die Ursachen der Lichtschwächung

— im weiteren wird auch der Begriff Trübung dafür benutzt — sind vielfältig und kompliziert. Verantwortlich können gelöste Substanzen, z. B. Gelbstoffe, sein, die eine sehr stark frequenzabhängige Absorption hervorrufen, wie J. JOSEPH (1955) festgestellt hat. Ferner kommen kolloidale und suspendierte Teilchen in Frage, die vor allem eine starke Streuung bewirken. Hierzu gehören neben mineralischen Partikeln auch die Klein- und Kleinstlebewesen wie Plankton. Eine einwandfreie Trennung der einzelnen Anteile ist nicht möglich. Dennoch lassen sich aus einer Trübungsregistrierung einige Einzelheiten erkennen. Sehr große Teilchen, wie sie vor allem im Plankton vorliegen, ergeben eine sehr zackige und unruhige Spur (Abb. 5b), während sich eine Trübung, hervorgerufen durch mineralische, suspendierte Teilchen, an einem ruhigen Verlauf der Schreibspur erkennen läßt, wie dies in Abb. 5b unterhalb einer Tiefe von 30 m der Fall ist. Auf diese Weise lassen sich die Aufwirbelungen von Bodenströmungen gut erfassen, eine Tatsache, die vor allem im Zusammenhang mit Fragen nach dem Sedimenttransport von Bedeutung ist.

B. Trübungsmessungen

a. *Dauerstation.* Die Lage der Stationen und Profile ergibt sich aus der Abb. 1, die die Stationenkarte wiedergibt. Der Übersichtlichkeit wegen sind nur Stationen aufgeführt, deren Meßergebnisse bei der Auswertung in Form von Längs- und Querprofilen berücksichtigt wurden. Infolge äußerer Umstände mußte der langfristig vorausgeplante Expeditionsverlauf unmittelbar vor dem Einlaufen in den Persischen Golf abgeändert werden. Damit ergab sich zunächst auf Stat. 251 südlich von Stat. 271 die Möglichkeit zu einer 19stündigen Dauerstation. Es erfolgten hier 13 Messungen mit etwa stündlichem Abstand. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 wiedergegeben. Abb. 2a zeigt mit der 100%-Linie den Verlauf des Trübungsminimums der einzelnen Registrierungen. An diese Linien schließen sich nach oben und nach unten die Linien an, die den Verlauf der jeweils um 10% höheren (bezogen auf das Trübungsminimum) Trübungswerte bedeuten. Aus technischen Gründen konnte der Boden in 65 m Tiefe nicht ganz erreicht werden. Man erkennt aber deutlich an der Zusammendrängung der Linien verschiedener Helligkeit mit zunehmender Tiefe, daß vom Boden her sehr viel Sediment aufgewirbelt wird. Die Störung, die um 1800 (GMT) herum auftritt und sich zeitlich verzögert bis an die Oberfläche fortpflanzt, ist nicht ohne weiteres zu erklären. Der Rhythmus dieser Störung beträgt etwa 2 Stunden. Hierüber werden vielleicht Strömungsmessungen Aufschluß geben, deren Auswertung noch nicht vorliegt. Um einen

Eindruck von der Änderung der Gesamtstruktur im Trübungsverlauf zu vermitteln, sind in Abb. 2b zwei Registrierungen wiedergegeben. Die linke Registrierung wurde am 25. 3. 1965 um 16.30 GMT

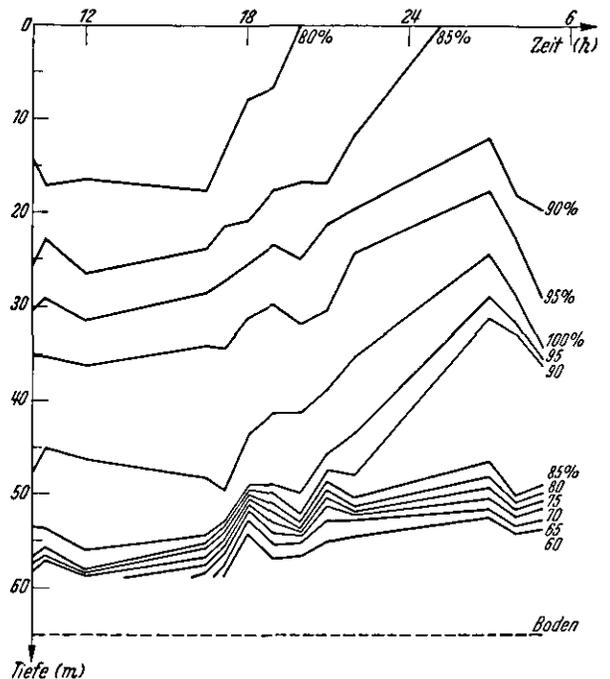


Abb. 2a. Isoplethendarstellung einer stündlichen Trübungsmessung auf Station 251

Isolines of transparency of hourly measurements at station 251

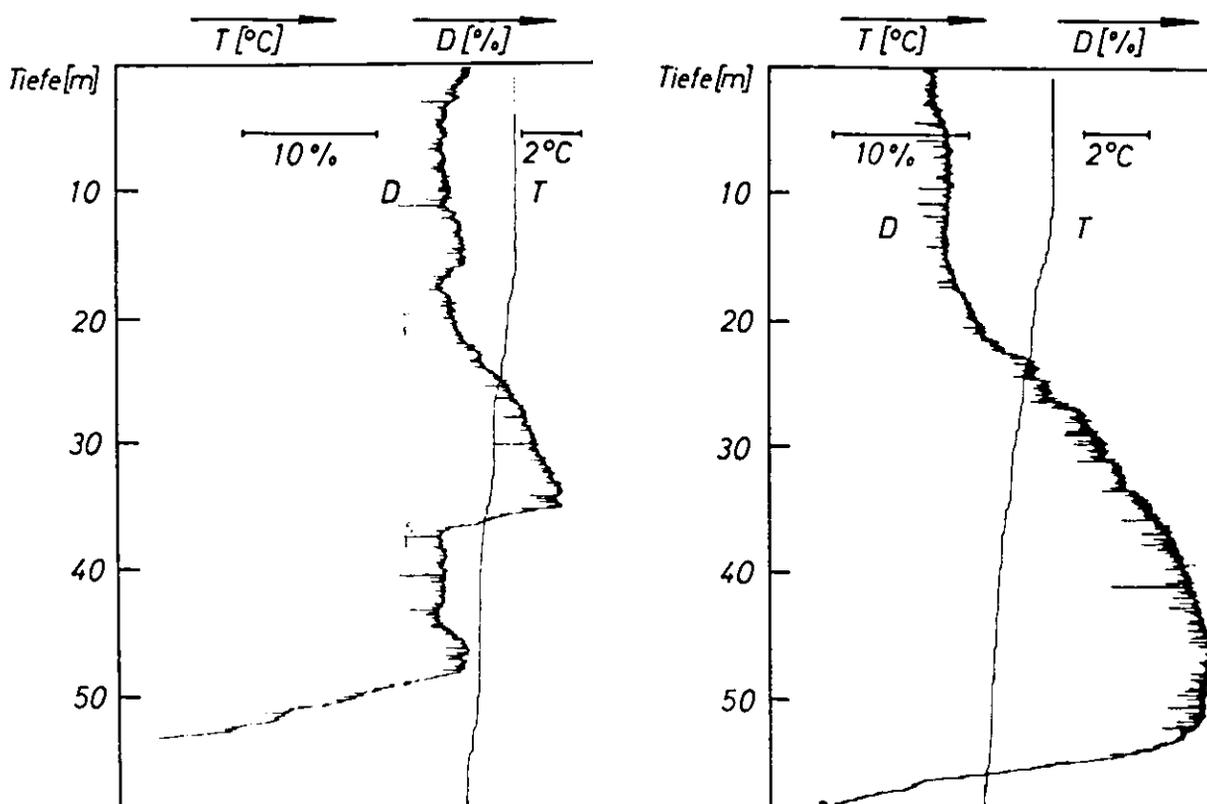


Abb. 2b. Zwei zu verschiedenen Zeiten auf Stat. 251 aufgenommene Registrierungen von Trübung (D) und Temperatur (T)

Two records of transparency (D) and temperature (T) at station 251 at different times

und die rechte am 26. 3. um 05.00 GMT aufgenommen. Die Stat. 251 liegt am östlichen Rand der Straße von Hormuz im Einstromgebiet des Wassers aus dem Golf von Oman in den Persischen Golf. Dort wurde eine sehr starke zusätzliche Gezeitenströmung beobachtet. Der mit der Gezeitenstromrichtung wechselnden Unruhe der Schreibspur ist zu entnehmen, daß mit südwärts fließendem Gezeitenstrom in einer etwa 5 m mächtigen Oberflächenschicht mehr Plankton aus dem Persischen Golf heraus transportiert wird als im umgekehrten Fall des nordwärts gerichteten Gezeitenstroms mit hereingebracht wird. Das im Rahmen der Gezeitenströme in den Persischen Golf einfließende Oberflächenwasser enthält also nicht so viele Kleinstlebewesen wie das ausfließende Wasser.

b. Golf von Oman. Im Golf von Oman dienen die fünf Querschnitte $H_1 - H_5$ sowie der Längsschnitt L_2 , der sich durch den Persischen Golf hindurch fortsetzt, u. a. der Erforschung des in den Persischen Golf einströmenden Oberflächenwassers sowie des ausströmenden salzreichen und warmen Bodenswassers. Das auf der Ostseite der Straße von Hormuz aus dem Golf von Oman einströmende Oberflächen-

wasser wies hinsichtlich Temperatur und Trübung keine besonderen Kennzeichen auf. Hierzu sei aber bemerkt, daß eine eingehende Interpretation der mit Schöpferserien gewonnenen hydrographischen Werte von den entsprechenden Bearbeitern durchgeführt wird. Soweit in dieser Arbeit Temperaturmessungen mit herangezogen werden, handelt es sich um Meßergebnisse, die der zum D-Gerät gehörende Temperatur-Meßteil lieferte.

Wesentlich kennzeichnendere Resultate brachten die Untersuchungen des aus dem Persischen Golf ausfließenden Bodensstroms. Dieser Bodensstrom, erstmals festgestellt auf der John-Murray-Expedition (THOMPSON and GILSON, 1937), findet seine Parallelen u. a. im Ausstrom des Roten Meer-Wassers in den Indischen Ozean durch die Straße von Bab el Mandeb und im Mittelmeerausgang, der Straße von Gibraltar. Das ausströmende salzreiche und wärmere Bodenswasser konnte auf nahezu allen Stationen im Golf von Oman aufgrund eines mehr oder weniger stark ausgeprägten positiven Temperaturgradienten sowie an einer höheren Trübung festgestellt werden. Der Kern des Ausstroms verläuft am Südwestrand des Golfs von Oman und ist ungefähr durch die Linie des L_2 -Längsschnittes mit der Station 264 und

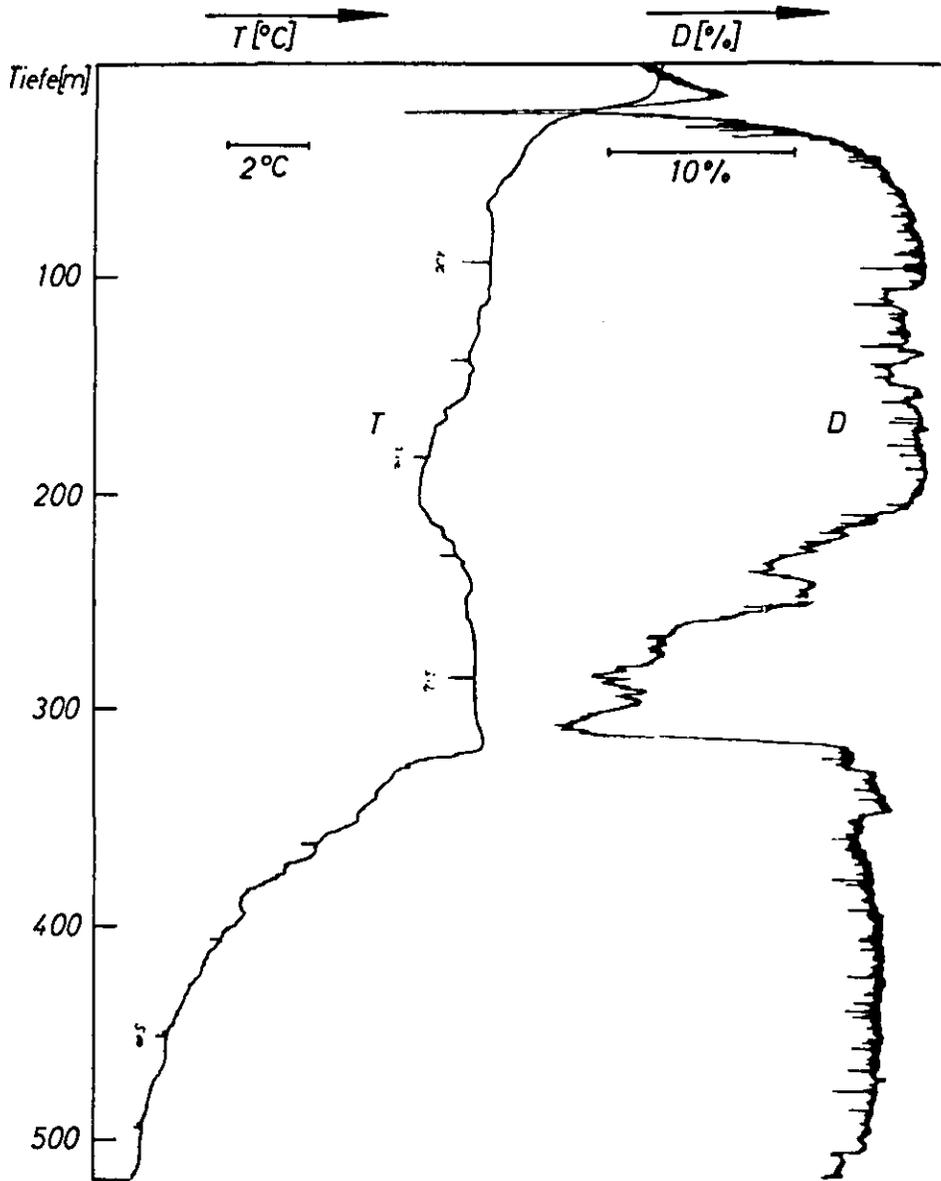


Abb. 3. Registrierung von Temperatur (T) und Trübung (D) auf Stat. 261
Record of temperature (T) and transparency (D) at station 261

der Station 261 gekennzeichnet. Die Registrierung auf Station 261 ist in Abbildung 3 wiedergegeben. Die Dicke der Stromschicht beträgt hier 130 m und liegt mit dem Zentrum in etwa 290 m Tiefe. Man erkennt an dem Verlauf der Trübungsregistrierung, daß innerhalb der Schicht mit zunehmender Tiefe die Trübung um nahezu 20% fast linear zunimmt und an der Stromuntergrenze von einem Maximum sprunghaft fast bis auf den Wert oberhalb der Stromschicht wieder abnimmt. Dies bedeutet einen klaren Hinweis darauf, daß dieser Strom dauernd Trübungstoffe mit sich führt, und zwar, da ein Absinken durch die untere Stromgrenze hindurch offenbar kaum

erfolgt, bis in sehr große Entfernungen. Die Trübungstoffe sind zum überwiegenden Teil mineralischer Herkunft oder stammen von abgestorbenen Kleinlebewesen, wie sich aus der auf Sedimentation hindeutenden Trübungszunahme innerhalb der Stromschicht schließen läßt. Der Bodenstrom löst sich am Abhang des Kontinentalschelfs in 220 m Tiefe vom Boden ab. Aus dem nahezu rechteckigen Temperaturprofil erkennt man die außerordentlich scharfe vertikale Begrenzung dieser Unterstromschicht. In der horizontalen Richtung läßt sich eine Begrenzung nicht so zwingend erkennen. So konnten noch auf der Stat. 259, der Stat. 257 und der Stat. 267

am wechselnden Temperaturgradienten Ausläufer dieses Unterstroms eindeutig nachgewiesen werden. Auf der oben zitierten John-Murray-Expedition wurde die Stromschicht anhand des erhöhten Nitratgehalts bis in eine Entfernung von 800 sm von der Str. v. Hormuz verfolgt. Im Rahmen der „Meteor“-Expedition lag die Stat. 248 mit einer Entfernung von 200 sm von der Str. v. Hormuz am weitesten südlich. Hier zeichnet sich die Stromschicht noch in einer Tiefe von 350 m mit einer Schichtdicke von 80 m durch einen sehr scharfen Temperatursprung von $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ gegen das umgebende Wasser ab, so daß mit großer Sicherheit auch in größerer Entfernung noch ein Nachweis möglich ist. Die Trübung vergrößert sich hier zwar um einen geringeren Betrag als auf den weiter nordwärts liegenden Stationen, ist aber noch eindeutig größer als im umgebenden klaren Wasser des Golfes von Oman bzw. des Arabischen Meeres.

Zusammenfassend sind die Trübungsmessungen im Golf von Oman und in der Str. v. Hormuz in den Abbildungen 4a — d wiedergegeben. Die Darstellungen zeigen 4 Querprofile $H_1 - H_5$, H_1 , der am weitesten nördlich gelegene Querschnitt, zugleich der flachste, erstreckt sich über den Kontinental-schelf. Im Bereich der Küsten, im Südwesten der Küste von Oman, im Nordosten der iranischen Küste, findet man sehr starke Trübungen, hervorgerufen durch die Verschmutzung infolge der Aufwirbelung des Sediments im Flachwasser durch Brandung. Die auf den Stat. 269, Stat. 270 und Stat. 252 in etwa 20 m Tiefe beobachtete Trübungszone zeigt sich auch als Echostreuschicht und findet ihre Ursache in einer Ansammlung von Kleinstlebewesen. Unterhalb dieser Trübungszone befindet sich im Bereich der Stat. 252 sehr klares Wasser bis in die grabenartige Vertiefung hinab. Im Gegensatz dazu erscheint besonders auf Stat. 269 eine sehr hohe Trübung am Boden, die zweifellos auf eine Strömung, den Ausstrom, hinweist, der hier noch auf dem Boden aufliegt. Die sehr geringe Trübung auf Stat. 268 kennzeichnet das Wasser aus dem Golf von Oman.

Das Profil H_3 , Abb. 4b, verläuft etwas weiter südlich, etwa parallel zu H_1 . Hier fehlen ausgesprochene Echostreuschichten. Dafür ist die Trübung des Oberflächenwassers bis in 20 m Tiefe sehr viel größer, hervorgerufen im küstennahen Bereich durch mineralische Trübungsstoffe, im mittleren Teil überwiegend durch Plankton. Charakteristisch ist im mittleren Bereich die große Trübung am Boden, die sich außerordentlich scharf gegen das darüber liegende klare Wasser abhebt, wieder ein Hinweis auf den südwärts fließenden Bodenstrom, der sich hier viel weiter östlich ausdehnt als man aufgrund des Coriolis-Gesetzes vermuten sollte. Infolge der verhältnismäßig großen Oberflächentrübung sind

die Trübungsmaxima an der Temperatursprungschicht auf diesem Profil nicht sehr ausgeprägt.

Auf dem sich nach Süden anschließenden Querprofil H_4 (Abb. 4c) — auf H_3 sind die Trübungsmessungen unvollständig — haben sich die Verhältnisse an der Oberfläche verändert. Die ufernahe Trübungszone wurde auf der iranischen Seite nicht erreicht und ist auf der westlichen Seite noch verhältnismäßig stark ausgeprägt. Unter dem klaren Oberflächenwasser hat sich, mit der Temperatursprungschicht zusammenfallend, eine scharf begrenzte Trübungszone gebildet, die sich über den ganzen Golf erstreckt. Daran schließt sich mit Ausnahme bei Stat. 259 sehr klares Wasser an. Auf Stat. 255 und Stat. 261 sehr deutlich erkennbar, befindet sich zwischen 200 m und 300 m Tiefe die Stromschicht, in der das trübe, warme und salzreiche Wasser aus dem Persischen Golf südwärts abfließt. Entsprechend der sich aus Salzgehalt und Temperatur ergebenden Dichte hat sich der Bodenstrom vom Kontinentalabhang gelöst und in eine Tiefe entsprechender Dichte eingeordnet. Die auf Stat. 259 bis in größere Tiefen reichende Trübung kann ohne Kenntnis der biologischen und bakteriologischen Messungen nicht erklärt werden.

Diese Zone höherer Trübung findet auf Stat. 266 im südlichsten Profil H_5 , Abb. 4d, ihre Fortsetzung, erreicht dort aber nicht mehr die große Tiefe. Auch sonst unterscheiden sich die beiden Profile H_4 und H_5 nicht viel voneinander. Unter der etwas trüben Oberflächenschicht findet man wieder an der Temperatursprungschicht ein Trübungsmaximum, hervorgerufen durch die sich hier konzentrierenden Kleinstlebewesen. Auf Stat. 264 erkennt man ebenfalls die Ausstromschicht, die hier weniger gekennzeichnet ist durch die Trübung, als durch den nahezu rechteckig in 220 m Tiefe ansteigenden und in 320 m Tiefe ebenso scharf wieder abfallenden Temperaturverlauf.

Die tiefen Echostreuschichten (deep scattering layers), die in Abhängigkeit von der Tageszeit in etwa 400 m Tiefe bis in Oberflächennähe zu finden sind, deuten sich in der Trübung nicht an. Im gesamten Gebiet des Golfes von Oman konnten diese Streuschichten in den Echogrammen festgestellt werden, während nicht eine einzige Trübungsmessung einen Hinweis darauf zeigte. J. JOSEPH (1959) kommt zu dem Ergebnis, daß zumindest im Bereich des nördlichen Atlantischen Ozeans die Tiefenstreuschichten nicht auf einen Anstieg in der Trübung zurückzuführen sind. Diese Feststellung läßt sich demnach ausdehnen auf den Bereich des Indischen Ozeans und des Golfes von Oman und scheint damit ein allgemein für die Tiefenstreuschichten geltendes Ergebnis zu sein. Während die Lebewesen in den oberflächennahen Echostreuschichten, die sich an den Temperatursprungschichten bilden, an dem

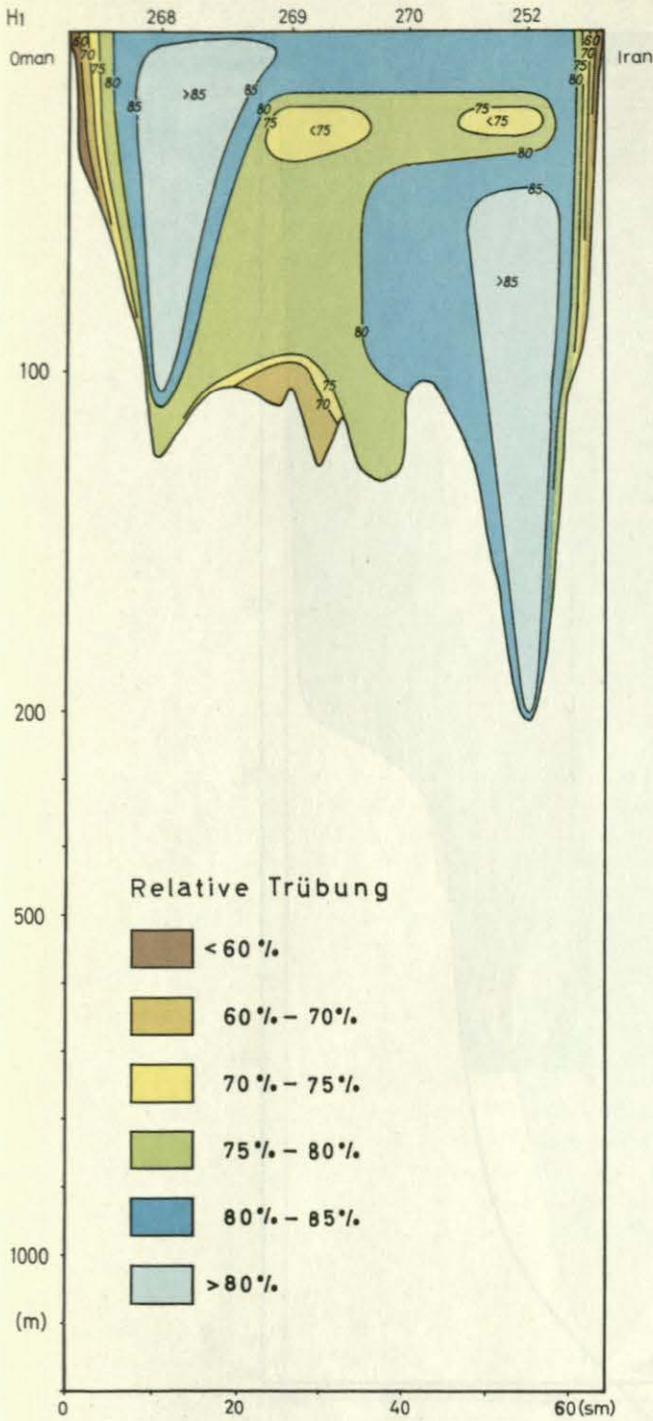


Abb. 4a. Trübungsmessungen im Golf von Oman. Querprofil H₁
 Transparency measurements in the Gulf of Oman. Section H₁.

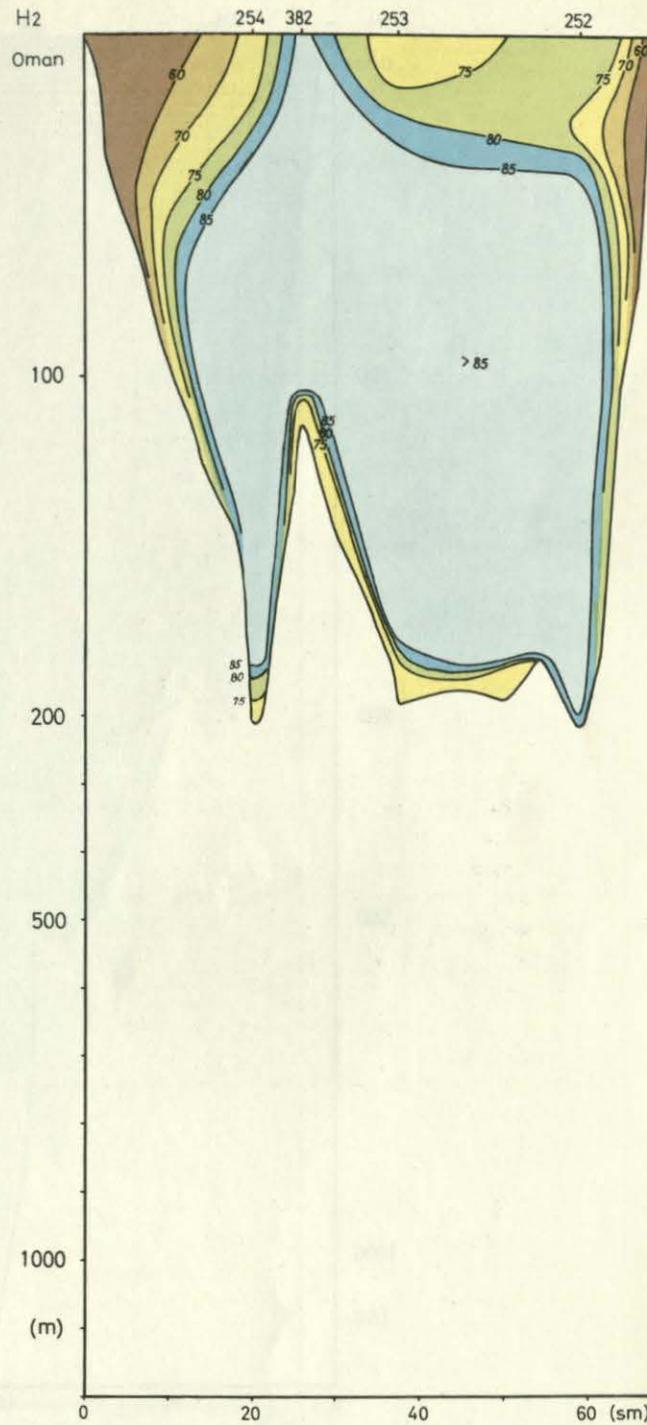


Abb. 4b. Trübungsmessungen im Golf von Oman. Querprofil H₂
 Transparency measurements in the Gulf of Oman. Section H₂.

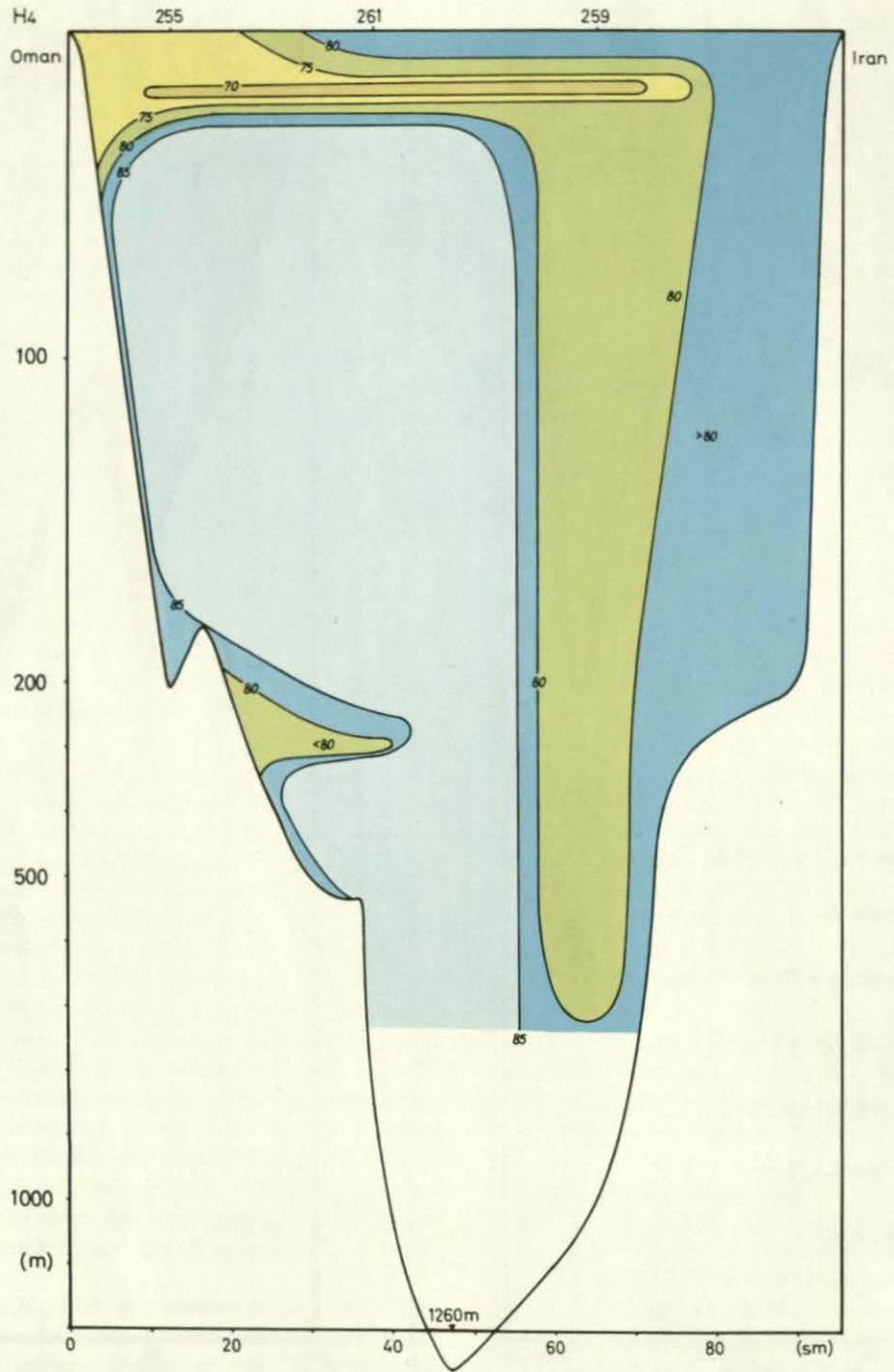


Abb. 4c. Trübungsmessungen im Golf von Oman. Querprofil H₄
 Transparency measurements in the Gulf of Oman. Section H₄.

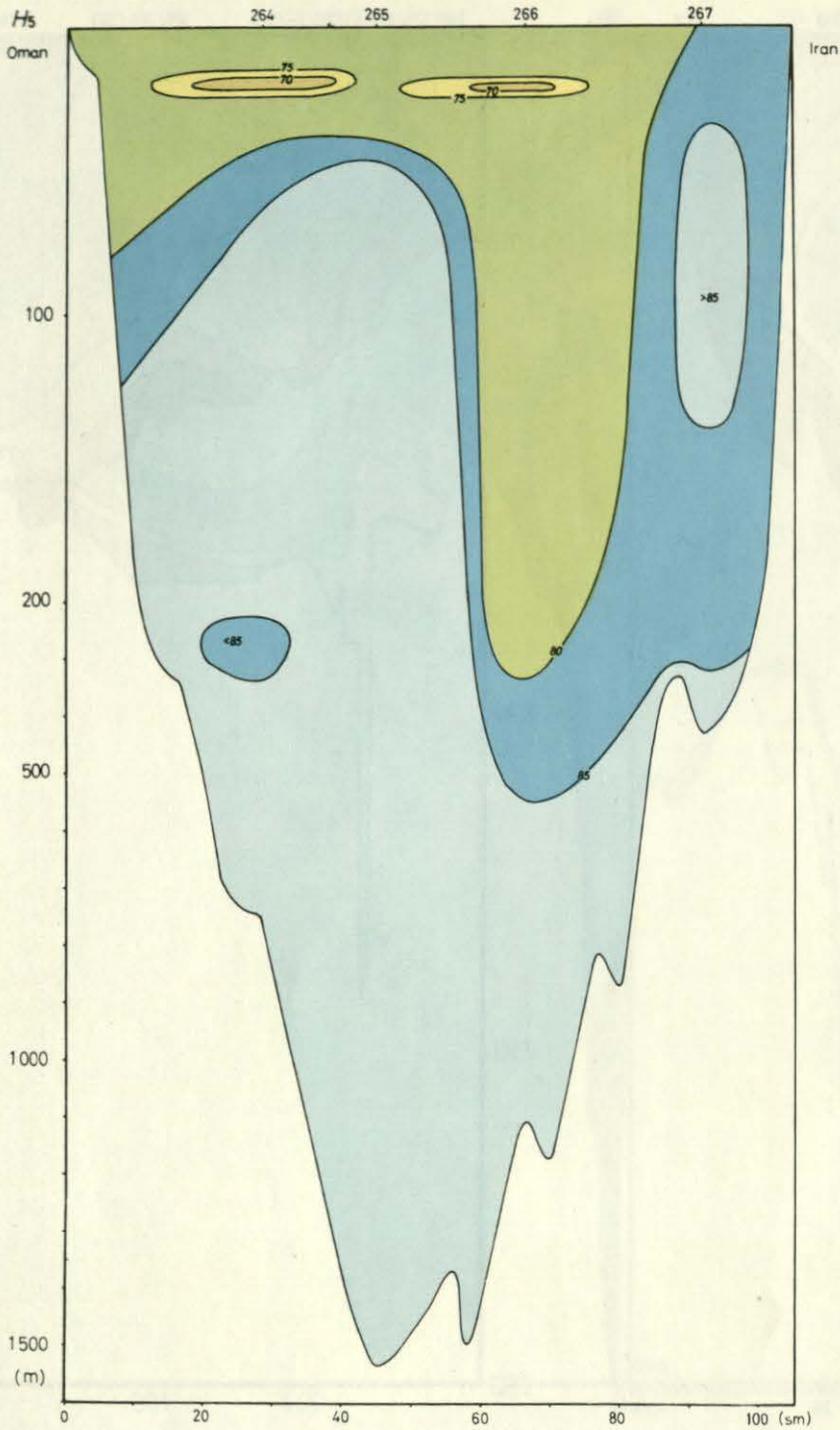


Abb. 4d. Trübungsmessungen im Golf von Oman. Querprofil H₅
 Transparency measurements in the Gulf of Oman. Section H₅.

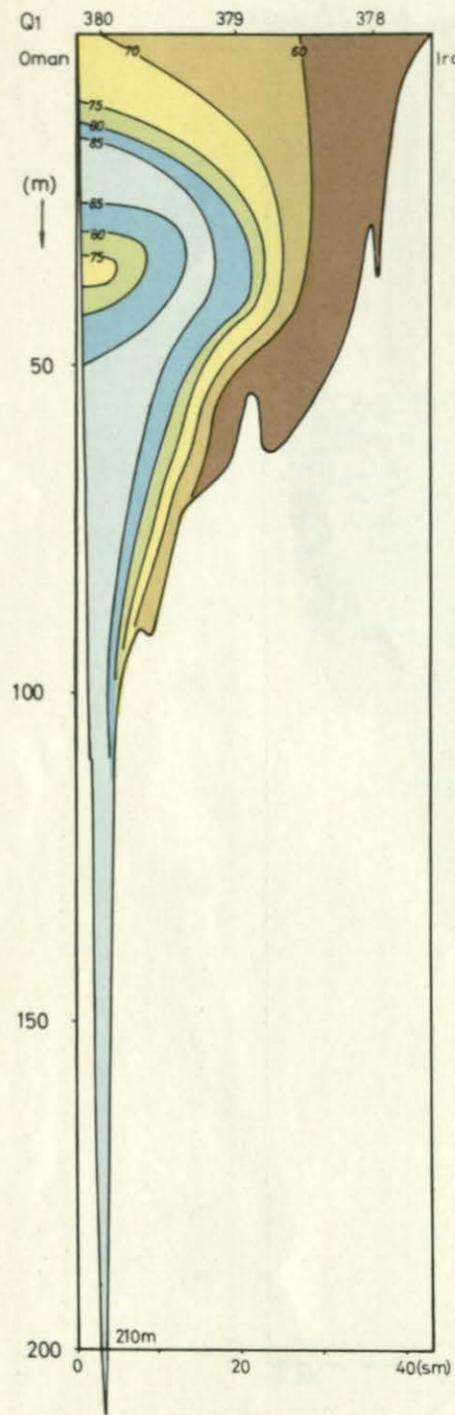


Abb. 5a. Trübungsmessung Straße von Hormuz. Querprofil Q₁
 Transparency measurements in the Strait of Hormuz. Section Q₁.

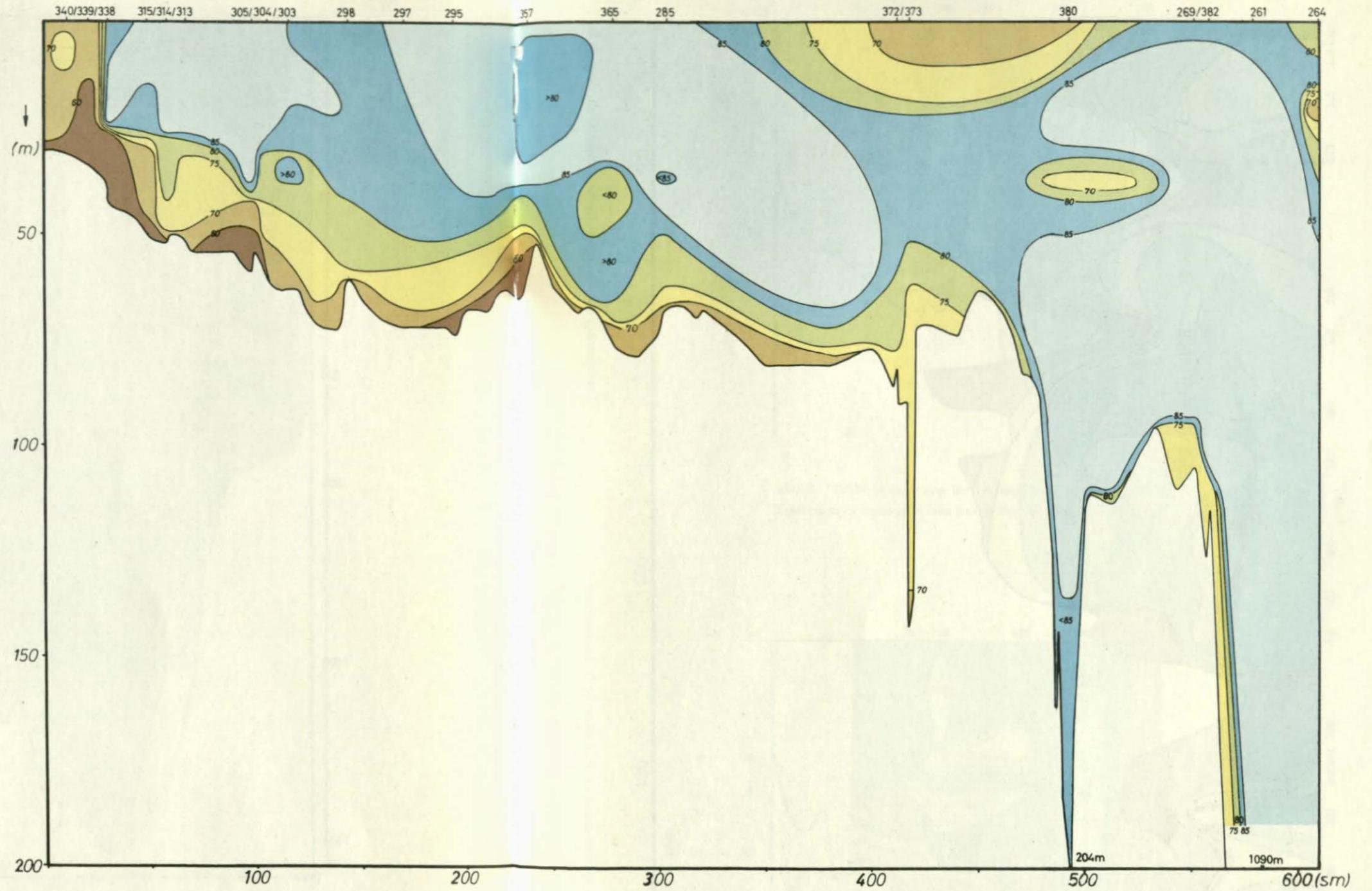


Abb. 6. Trübungsmessungen im Persischen Golf. Längsschnitt L₂
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section L₂.

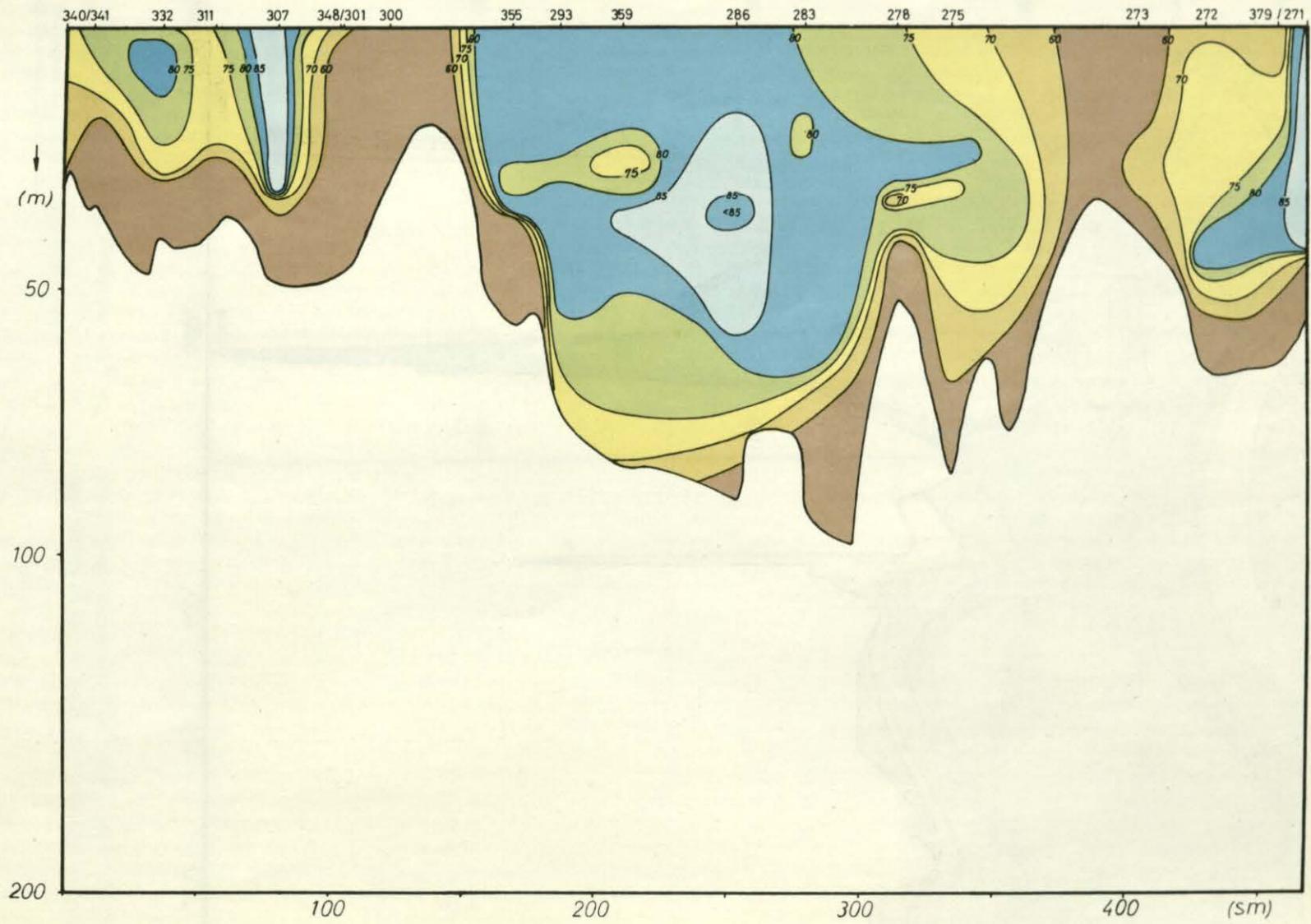


Abb. 7. Trübungsmessungen im Persischen Golf. Längsschnitt L₁

Transparency measurements in the Persian Gulf. Section L₁.

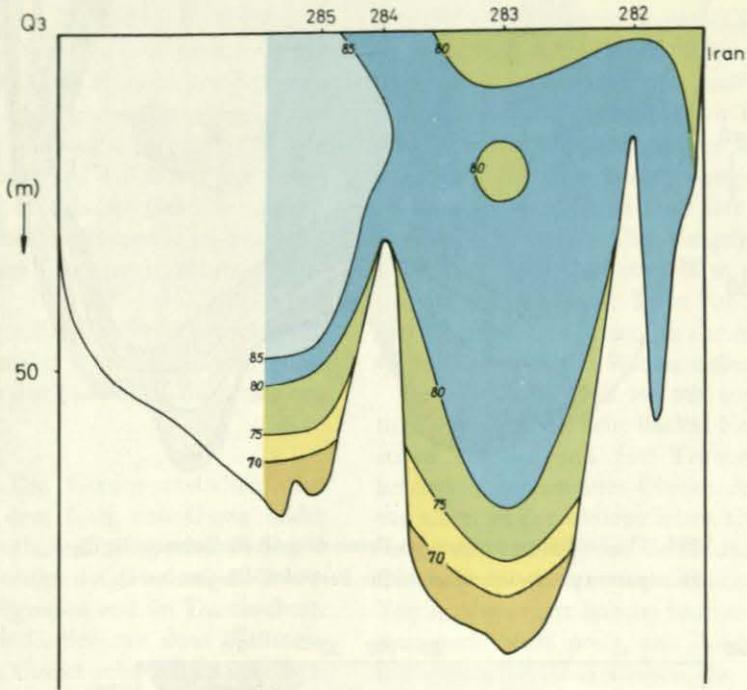


Abb. 8. Trübungsmessung im Persischen Golf. Querschnitt Q₃
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section Q₃.

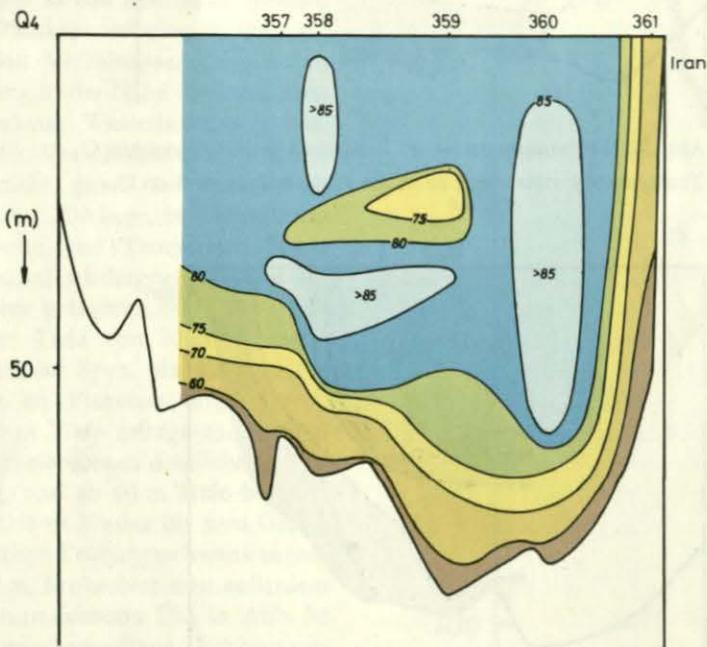


Abb. 9. Trübungsmessung im Persischen Golf. Querschnitt Q₄
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section Q₄.

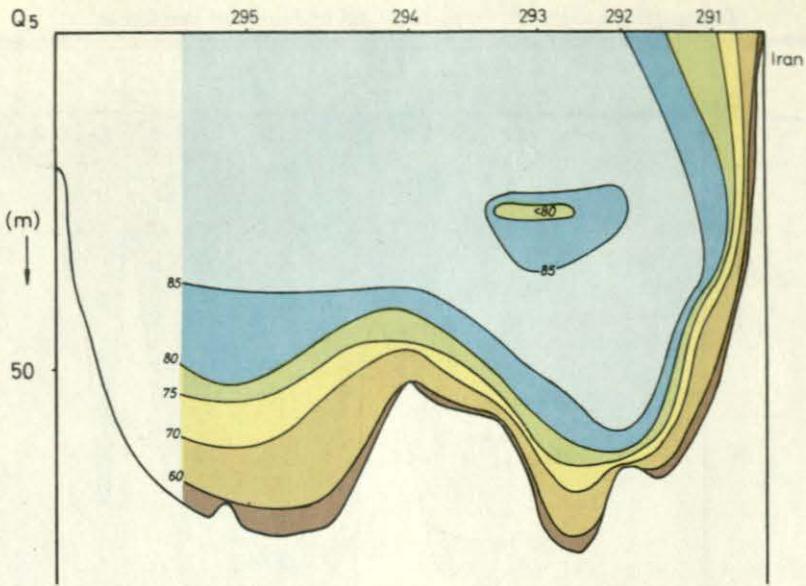


Abb. 11. Trübungsmessung im Persischen Golf. Querschnitt Q₅
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section Q₅.

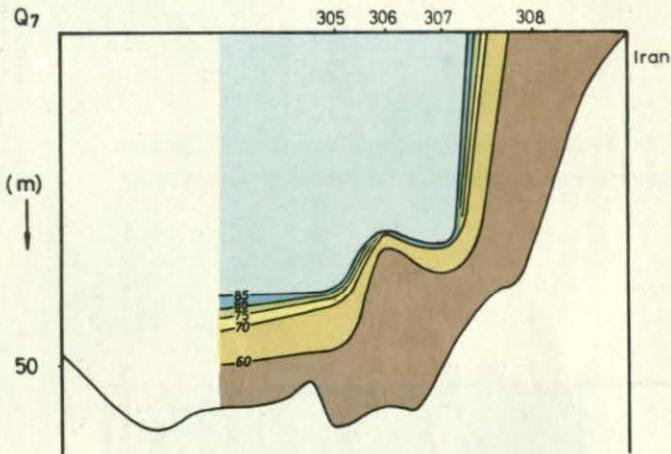


Abb. 12. Trübungsmessung im Persischen Golf. Querschnitt Q₇
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section Q₇.

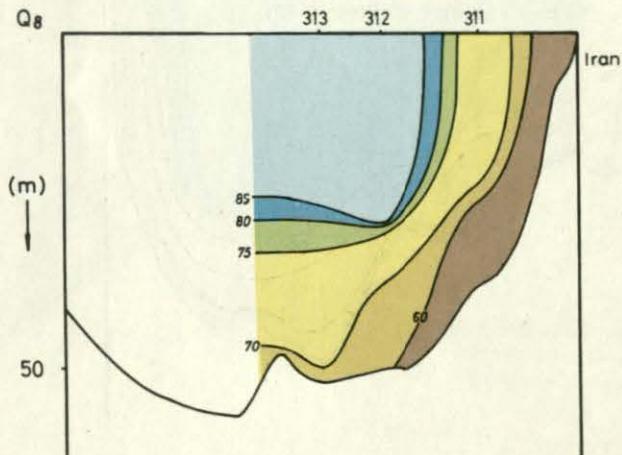


Abb. 14. Trübungsmessung im Persischen Golf. Querschnitt Q₈
 Transparency measurements in the Persian Gulf. Section Q₈.

unruhigen und zackigen Verlauf der Trübungsregistrierung leicht zu erkennen sind, fehlt im Falle der Tiefenstreichschichten jeder Hinweis auf derartige Lebewesen. Das kann aber im wesentlichen an der geringen Anzahl von Lebewesen pro cm^3 und vor allem an der Tatsache liegen, daß sich diese Lebewesen z. T. mit recht erheblicher Geschwindigkeit aktiv bewegen können. Sie können also vor dem verhältnismäßig langsam (ca. 1 m/s) gefierten Meßgerät flüchten.

Der Teil des Längsprofils L_2 , der sich durch den Golf von Oman erstreckt, wird an anderer Stelle im Zusammenhang mit den Messungen im Persischen Golf behandelt.

c. Persischer Golf. Die Grenze zwischen dem Persischen Golf und dem Golf von Oman bildet die mit 55 km Breite verhältnismäßig schmale Straße von Hormuz. Diese Straße, die die einzige Verbindung des 239 000 km^2 großen und im Durchschnitt 31 m tiefen Persischen Golfes mit dem Weltmeer darstellt, ist daher ein Gebiet sehr starker horizontaler Strömungen wechselnder Richtung und, infolge des Zusammentreffens verschiedener Wasserkörper, gekennzeichnet durch umfangreiche Verwirbelungs- und Vermischungsvorgänge (K. O. EMERY, 1956). Das Oberflächenwasser wird mit Nitraten und Phosphaten angereichert und bildet somit die Grundlage für ein üppiges Planktonwachstum.

Das Querprofil Q_1 , welches durch die Straße von Hormuz verläuft, ist in Abb. 5a wiedergegeben. Die sehr große Trübung in den oberen 20 Metern, hervorgerufen durch Plankton, ist eine Bestätigung der oben beschriebenen Verhältnisse. Desgleichen weist die starke Trübung in der Nähe der iranischen Küste auf sehr turbulente Wasserbewegung hin. Zur Verdeutlichung der Verhältnisse sind von der Stat. 381, die zwar nicht genau auf dem Profil, aber in der Nähe der Stat. 380 liegt, in Abb. 5b das Diagramm der Trübung und Temperatur sowie das Echogramm (Abb. 5c) wiedergegeben. Wie auf der ein wenig nördlicher gelegenen Stat. 380 erhält man hier bis zu einer Tiefe von 30 m eine sehr unruhige und verwaschene Spur, ein Zeichen für einen reichen Gehalt an Plankton und anderen Kleinlebewesen. In 45 m Tiefe erfolgt nach einem ausgeprägten Minimum ein ebenso deutliches Maximum in der Trübung, und ab 60 m Tiefe befindet sich dann wieder sehr klares Wasser bis zum Grund hin. Im Bereich der starken Trübungsschwankungen, besonders bei etwa 60 m, beobachtet man außerdem ein relatives Temperaturmaximum. Das in Abb. 5c von dieser Station wiedergegebene Echogramm zeigt mit den Schichten starker Trübungsschwankungen zusammenfallende Echostreichschichten, deren Tiefe, wahrscheinlich infolge interner Wellen, mit einer Frequenz von etwa 1 Schwingung pro 6 min.

um mehrere Meter schwankt. Die starke Trübung in 45 m Tiefe wird durch feinste mineralische Trübungsstoffe verursacht und stellt nicht etwa eine der mit Plankton angereicherten Temperatursprungschichten dar. Die sehr geringe konstante Trübung von 60 m bis zum Boden deutet darauf hin, daß in dieser Schicht keine oder nur eine sehr geringe Strömung herrscht. Die Umgebung der Stat. 381 weist nur Tiefen von etwa 60 m auf, womit die auf der Station gemessene Tiefe von 105 m eine kesselartige Senke andeutet, in der sich unterhalb von 60 m Tiefe ruhendes Wasser befindet.

Der Persische Golf ist mit einer Durchschnittstiefe von 31 m ein sehr flaches Nebenmeer des Indischen Ozeans und für Trübungsmessungen ein besonders interessantes Objekt. An seinen Rändern, vor allem an der südwestlichen Küste, befinden sich einige der ergiebigsten Erdölfundgebiete der Welt. Dieses Erdöl stammt aus Sedimenten, die sich im Tertiär abgelagert haben. Sedimentation beobachtet man auch heute noch, und Art, Umfang und Entstehung dieser Ablagerungen, die man hier heute noch untersuchen kann, gestatten vielleicht einmal, einen genauen Einblick in die Entstehungsgeschichte des hier gefundenen Erdöls zu geben. Im Hinblick

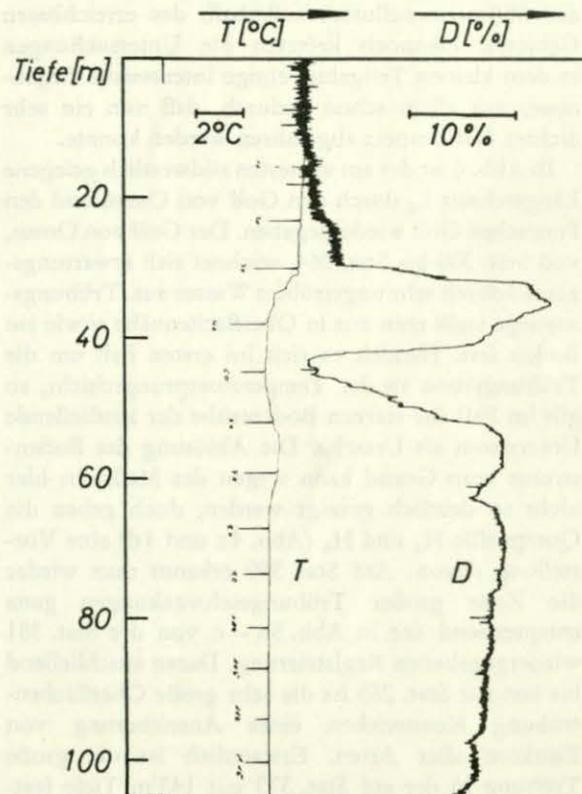


Abb. 5b. Registrierung von Trübung (D) und Temperatur (T) auf Station 381

Record of transparency (D) and temperature (T) at station 381

hierauf galt es u. a. auch die Frage nach dem Sedimenttransport durch die Zuflüsse, den Schat el Arab bzw. Euphrat, Tigris und Karun, zu untersuchen. Diese Flüsse führen vor allem in der Regenzeit von November bis April Wasser, so daß gerade um den Zeitpunkt der Expedition herum die Beobachtungen, wie weit und in welchem Umfange Sinkstoffe mitgeführt würden, einige Aufschlüsse versprachen. Weiterhin findet man in den Sedimenten Oöliten, deren Entstehung man einer direkten chemischen oder biochemischen Ausfällung von Calciumkarbonat aus dem Wasser zuschreibt. Diese Gebiete könnten sich durch anomale Trübungsverhältnisse auszeichnen und sich damit identifizieren und in ihrem Umfang bestimmen lassen.

Leider zwangen äußere Umstände dazu, die Untersuchungen im Persischen Golf auf ein Viertel der Gesamtfläche zu beschränken. Das untersuchte Gebiet umfaßt einen Streifen von 80 km Breite und 700 km Länge, der sich parallel zur iranischen Küste von der Straße von Hormuz bis nördlich der Insel Khark auf eine Breite von 29°30'N erstreckt. Die nordöstliche Begrenzung bildet das iranische Ufer selbst, im Südwesten schließt das Untersuchungsgebiet mit dem Verlauf der größten Tiefe in der Rinne ab, die den tiefen Teil des Persischen Golfes bildet. Insbesondere bleibt also der Einflußbereich des Süßwasserzuflusses außerhalb des erreichbaren Gebietes. Dennoch lieferten die Untersuchungen in dem kleinen Teilgebiet einige interessante Ergebnisse, vor allem schon dadurch, daß nun ein sehr dichtes Stationsnetz abgefahren werden konnte.

In Abb. 6 ist der am weitesten südwestlich gelegene Längsschnitt L_2 durch den Golf von Oman und den Persischen Golf wiedergegeben. Der Golf von Oman, von Stat. 380 bis Stat. 264, zeichnet sich erwartungsgemäß durch sehr ungetrübtes Wasser aus. Trübungsanstiege stellt man nur in Oberflächennähe sowie am Boden fest. Handelt es sich im ersten Fall um die Trübungszone an der Temperatursprungschicht, so gilt im Fall der starken Bodentrübe der ausfließende Unterstrom als Ursache. Die Ablösung des Bodenstroms vom Grund kann wegen des Maßstabs hier nicht so deutlich gezeigt werden, doch geben die Querprofile H_4 und H_5 (Abb. 4c und 4d) eine Vorstellung davon. Auf Stat. 380 erkennt man wieder die Zone großer Trübungsschwankungen ganz entsprechend der in Abb. 5a — c von der Stat. 381 wiedergegebenen Registrierung. Daran anschließend bis fast zur Stat. 285 ist die sehr große Oberflächentrübung Kennzeichen einer Anreicherung von Plankton aller Arten. Erstaunlich ist die große Trübung in der auf Stat. 373 mit 143 m Tiefe festgestellten Senke. Im Gegensatz zu der auf Stat. 381 (Abb. 5) festgestellten Senke nimmt hier das tiefe Wasser an Strömungen teil, wodurch Bodenablagerungen aufgewirbelt werden und das tiefe Boden-

wasser getrübt wird. Auf Stat. 372 findet man von 65 m Tiefe bis zum Grund in 84 m bereits den aus warmem salzreichen Wasser des Persischen Golfes bestehenden Grundstrom, der sich durch einen Temperaturanstieg von etwa 0,4 °C gegen das darüber lagernde klare Wasser des Golfes von Oman abzeichnet.

Von Stat. 285 an in Richtung Nordwesten wurde ausgesprochen klares Wasser festgestellt, das in seiner Durchsichtigkeit nahe an das Wasser des Golfes von Oman heranreicht. Gelegentliche Störungen, wie auf Stat. 365, im mittleren Tiefenbereich gehen auf die Trübungszonen an der Temperatursprungschicht und damit auf Kleinstlebewesen zurück. Ein sehr viel feinsten Staub mitführender Sturm, ein Shamal, der zwischen dem 4. 4. und dem 7. 4., d. h. während der Stationen 298 — 308 wehte, wirkte sich auf die Trübung selbst im Oberflächenwasser nicht aus. Am nördlichen Ende des Profils, beginnend mit der Stat. 338, erkennt man bereits den Einfluß der in der Nähe liegenden Insel Khark. Die Temperaturregistrierungen zeigen in diesem Gebiet eine völlige Durchmischung des Wassers vom Boden bis zur Oberfläche an. Die außerordentlich hohe Trübung, die sich auch an der schmutzig-grauen Färbung der Wasseroberfläche erkennen ließ, wird durch aufgewühlte Bodenablagerungen hervorgerufen. Durch die Brandung am Ufer wird diese Trübung durch mineralische Trübungsstoffe noch verstärkt. Die große Trübung im Bereich der Stat. 305 — Stat. 303 ist wahrscheinlich auf einen scharf nach oben begrenzten Bodenstrom zurückzuführen. Ein Querprofil in diesem Gebiet wird weiter unten besprochen.

Parallel zu diesem Längsschnitt und wesentlich weiter in Nähe der persischen Küste verläuft ein zweiter Längsschnitt, L_1 , der in Abb. 7 wiedergegeben ist. Beginnend mit sehr klarem Wasser aus dem Golf von Oman, setzt in der Straße von Hormuz (Stat. 379) eine sehr große Trübung ein, die in etwa 35 — 40 m Tiefe noch einmal durch klares Wasser abgelöst wird, während in etwa 50 m Tiefe die Trübung wieder sprunghaft zunimmt. Die große Oberflächentrübung ist allerdings im Bereich der Stat. 379 nur zum Teil auf Plankton zurückzuführen, mineralische Trübungsstoffe tragen hier in gleichem Maße zur Erhöhung der Trübung bei. Dieses Gebiet, in dem der Einstrom des (klaren) Oberflächenwassers aus dem Golf von Oman stattfindet, gehört mit zu den Gebieten größter Trübung, auch wenn man von dem unmittelbar an das Ufer angrenzenden Flachwasserstreifen absieht. Stat. 273 liegt dicht unter Land an der Küste der Insel Qeshm, woraus sich die hohe Trübung sofort erklärt. Mit Stat. 278 beginnt ein Gebiet relativ klaren Wassers. Schwankungen in der Trübung sind auch hier auf die Trübungszonen an den Temperatursprungschichten zurückzuführen.

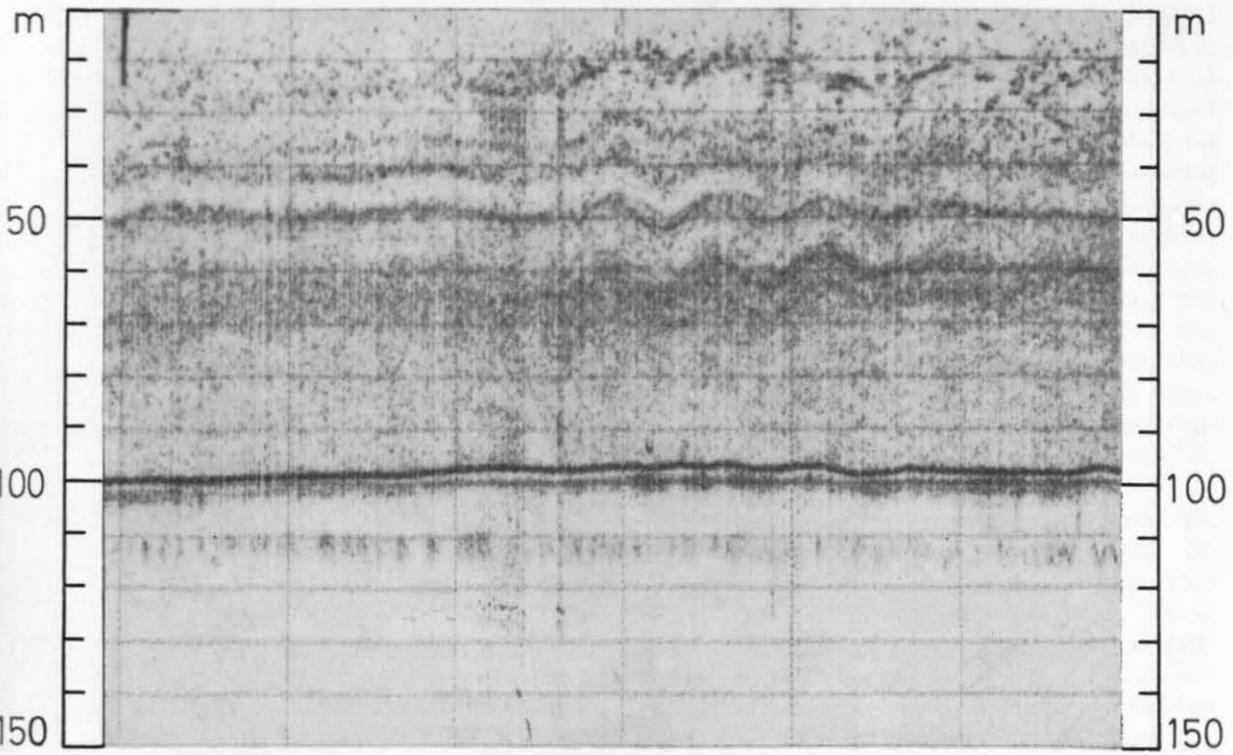


Abb. 5c. Echogramm auf Stat. 381, Echostreuschichten der Trübung
Record of echo-sounder at station 381, showing scattering layers due to turbidity

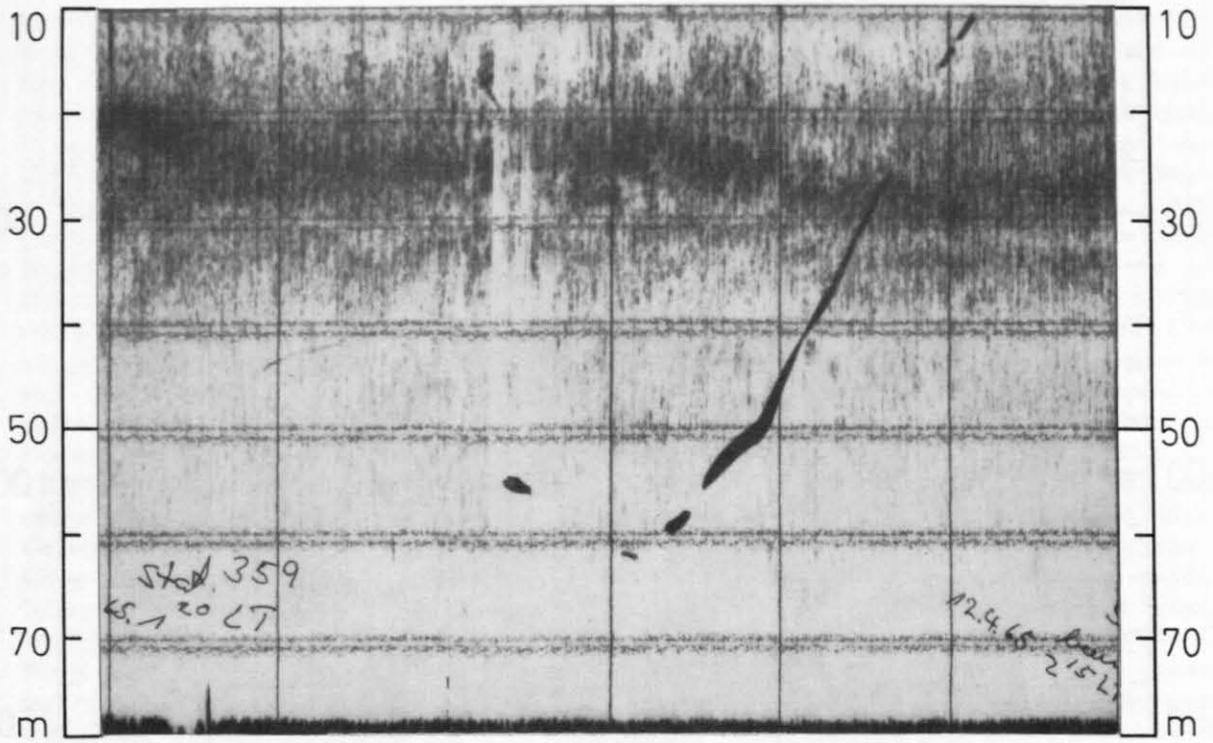


Abb. 10b. Echogramm der Stat. 359, Echostreuschicht durch Plankton
Record of echo-sounder at station 359, showing scattering layers caused by plankton

Es zeigt sich hier aber schon, daß mit abnehmender Entfernung von der Küste die Schichten großer Trübung, d. h. hier großen Planktonreichtums, wachsen. Dies wird in den Querprofilen recht deutlich. Außerdem steigt die Trübung am Boden im Vergleich zu den in Profil L_2 (Abb. 6) gezeigten Verhältnissen erheblich an und wird durch z. T. außerordentlich hohe Sprünge scharf gegen das darüber liegende klare Wasser abgegrenzt. Die flache Stat. 300 zeigt wegen der geringen Tiefe eine gleichmäßig durchmischte Wasserschicht sowohl im Hinblick auf die Trübung als auch auf die Temperatur. Wie bereits im Längsschnitt L_2 , so schließt sich auch hier zum Nordende hin mit Annäherung an die Insel Khark trüber werdendes Wasser an. Auffallend sind hier die starken Schwankungen in der Trübung.

Im Anschluß an die Längsprofile sollen als Ergänzung noch einige der in Abb. 1 eingezeichneten Querprofile besprochen werden. Die Profile wurden unter Berücksichtigung aller hydrographischen und biologischen Messungen aus der Gesamtzahl der Stationen ausgewählt, um die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen besser vergleichen zu können. Aus technischen Gründen sind die Trübungsmessungen auf drei Profilen im Persischen Golf unvollständig. Auf diese Profile wird daher verzichtet, wodurch sich in der Numerierung dieser Profile eine Abweichung von der Anzahl ergibt.

Der auf das Profil Q_1 (Abb. 5a) in der Straße von Hormuz folgende Querschnitt Q_3 (Abb. 8) weist zwei Besonderheiten auf. Auf Stat. 284 und Stat. 282 befanden sich unter der Wasseroberfläche Korallenriffe, auf denen noch einige lebende Korallen beobachtet wurden. Die Spitzen dieser Korallenriffe liegen in sehr klarem Wasser, so daß die Unterwasserfernsehkamera mit Erfolg eingesetzt werden konnte. Da das Trübungsmeßgerät die Meßergebnisse sofort liefert, wurde auch im folgenden der Einsatz der Fernsehkamera immer davon abhängig gemacht, welche Trübung im D-Gerät angezeigt wurde. Erfahrungsgemäß war bei einer Lichtschwächung im D-Gerät auf 60% und mehr keine brauchbare Fernsehbeobachtung mehr möglich.

Das klarste Wasser ist auf diesem Profil im Südwesten anzutreffen. Gegen die iranische Küste ist eine leichte Trübungszunahme festzustellen, auf Stat. 283 erkennt man wieder eine Trübungszone an der Temperatursprungschicht. Die Trübung unmittelbar über dem Boden ist etwas unsicher, da das Meßgerät nicht bis auf den Grund gefiert werden konnte. Ebenfalls dürfte unmittelbar an der iranischen Küste die Trübung höher sein. Der nach Norden hin anschließende Querschnitt Q_4 , Abb. 9, zeigt eine wesentlich höhere Trübungsschwankung. Grund hierfür ist eine ausgedehnte Trübungszone an der Temperatursprungschicht. Die auf Stat. 359 gewon-

nene Registrierung ist in Abb. 10a wiedergegeben. Zum Vergleich ist in Abb. 10b das Echogramm hinzugefügt. Die Kurve des Trübungsverlaufs ist charakteristisch für den Persischen Golf. Im oberen Teil zeigt sich eine geringe bis mäßige Unruhe im Kurvenverlauf, daran schließt sich zwischen zwanzig und dreißig Metern Tiefe eine sprunghaft ansteigende Trübung an. Die vielen kleinen Zacken, die zu einer Verbreiterung der Schreibspur führen, werden u. a. hervorgerufen durch eine starke Ansammlung von Rhizosolenia mit einem Durchmesser von 5–15 μ und Längen bis 500 μ , wie ein gezielt in dieser Tiefe vorgenommener Fang mit dem Planktonnetz ergab. Weiterhin erkennt man, daß die Temperatursprungschicht hier nicht besonders stark ausgeprägt ist. Auch das ist zu dieser Jahreszeit in diesem Teil des Persischen Golfes ein häufig gewonnenes Ergebnis, obwohl sich auch Gegenbeispiele finden lassen. Im Anschluß an das Trübungsmaximum erkennt man an dem verhältnismäßig ruhigen und klaren Verlauf der Registrierkurve (Abb. 10a), daß als Trübungsteilchen im überwiegenden Maße suspendierte mineralische Teilchen, also wesentlich kleinere Teilchen als Plankton, in Frage kommen. Weiterhin liest man aus Abb. 9 eine sehr starke Bodentrübung und Ver-

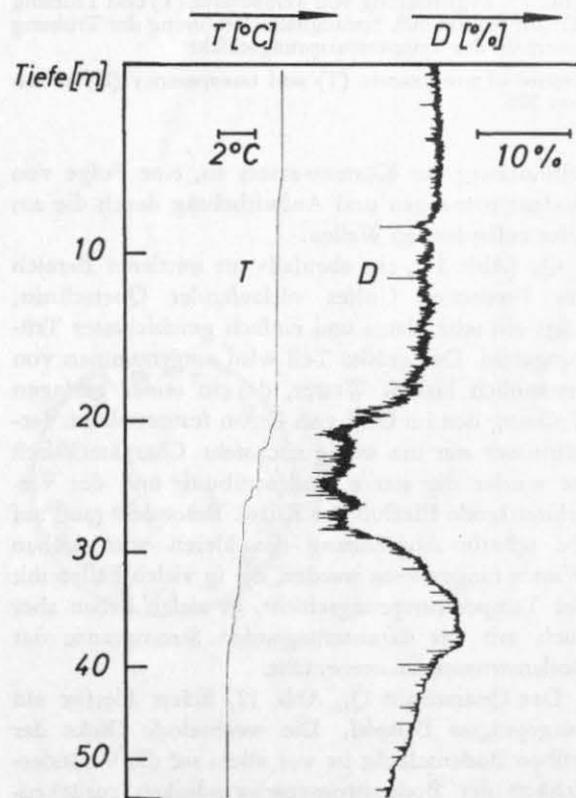


Abb. 10a. Registrierung von Temperatur (T) und Trübung (D) auf Station 359

Record of temperature (T) and transparency (D) at station 359

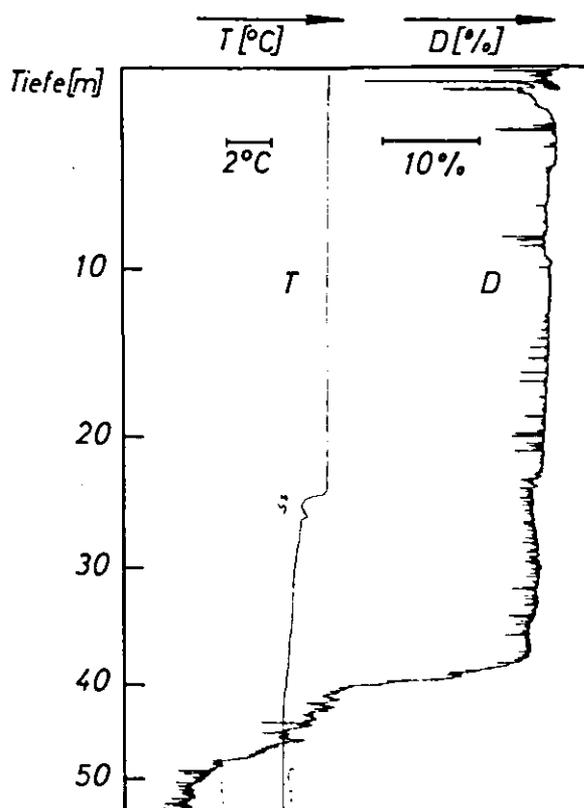


Abb. 13. Registrierung von Temperatur (T) und Trübung (D) auf Station 305. Sprunghafte Erhöhung der Trübung unterhalb der Temperatursprungschicht

Record of temperature (T) and transparency (D) at station 305

schmutzung des Küstenwassers ab, eine Folge von Bodenströmungen und Aufwirbelung durch die am Ufer auflaufenden Wellen.

Q₅ (Abb. 11), ein ebenfalls im mittleren Bereich des Persischen Golfes verlaufender Querschnitt, zeigt ein sehr klares und einfach geschichtetes Trübungsbild. Der größte Teil wird eingenommen von erstaunlich klarem Wasser, das in seiner geringen Trübung den im Golf von Oman festgestellten Verhältnissen nur um wenig nachsteht. Charakteristisch ist wieder die starke Bodentrübung und der verschmutzende Einfluß der Küste. Besonders muß auf die scharfe Abgrenzung des klaren vom trüben Wasser hingewiesen werden, die in vielen Fällen mit der Temperatursprungschicht, in vielen Fällen aber auch mit der darunterliegenden Stromgrenze des Bodenstromes zusammenfällt.

Der Querschnitt Q₇, Abb. 12, liefert hierfür ein ausgeprägtes Beispiel. Die wechselnde Dicke der trüben Bodenschicht ist vor allem auf die Veränderlichkeit der Bodenstromgeschwindigkeit zurückzuführen. Zu dem kontinuierlich südwärts in Richtung Straße von Hormuz abfließenden Bodenwasser addiert sich mit veränderlichem Vorzeichen der Gezeitenstrom. Die Registrierung der auf diesem

Profil liegenden Stat. 305 ist in Abb. 13 wiedergegeben. Sie dient als Beispiel für den sehr scharf ausgeprägten Sprung in der Trübung etwa 15 m unterhalb der Temperatursprungschicht. Wenn auch hier die Trübungsänderung nicht mit der Temperatursprungschicht zusammenfällt, so erkennt man doch an der in dieser Tiefe zunehmenden Unruhe in der Registrierkurve (Abb. 13), daß hier zwei verschiedene Wasserkörper aneinander grenzen.

Das Bild von Profil Q₇ wiederholt sich in dem Querschnitt Q₈, Abb. 14, bis fast in die Einzelheiten. Dieser für die Trübungsmessungen nördlichste Querschnitt zeigt immer noch zu einem beträchtlichen Umfang sehr klares Wasser von der Oberfläche bis zur Temperatursprungschicht. Abb. 15 zeigt die Registrierung auf Stat. 312. Sehr klares Oberflächenwasser mit ausgesprochen wenig Plankton erfährt an der Temperatursprungschicht eine scharfe Begrenzung durch das gleichmäßig trübe Bodenstromwasser. Zeigt sich noch in der Abb. 14, d. h. auf Stat. 305, auch in der Bodenschicht ein starker Gradient in der Trübung, so können die Verhältnisse auf Stat. 312 als Beweis dafür angesehen werden, daß die aufgewirbelten Sedimente zu bestimmten Zeitpunkten im Ablauf der täglichen Schwankungen der Stromgeschwindigkeit gleich-

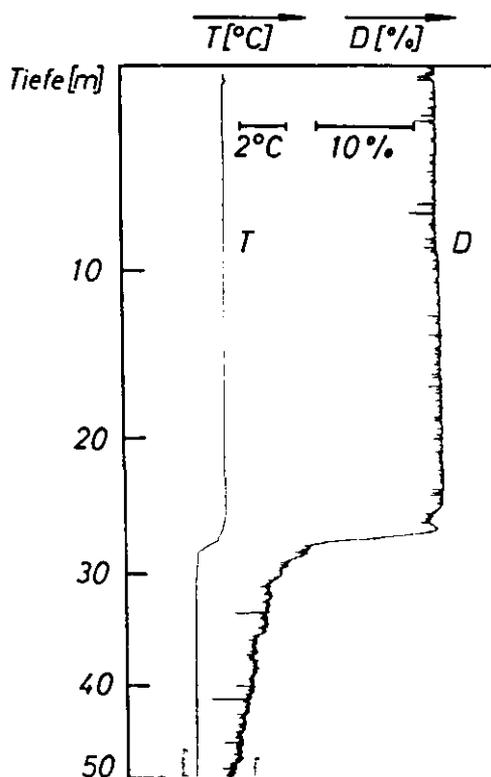


Abb. 15. Registrierung von Temperatur (T) und Trübung (D) auf Station 312. Sprunghafte Erhöhung der Trübung in der Temperatursprungschicht

Record of temperature (T) and transparency (D) at station 312

mäßig in der ganzen Schicht verteilt sind, aber eben auch auf diese Schicht infolge der Sperrwirkung der Temperatursprungschicht begrenzt bleiben.

Der Querschnitt Q_0 , der den nördlichen Abschluß des Untersuchungsgebietes darstellt, ist in der Auswertung der Trübungsmessungen nicht mehr enthalten. Zwei der vier Stationen auf diesem Profil,

Stat. 324 und Stat. 326, zeigten eine so große Trübung, daß der Meßbereich des Instruments unterschritten wurde. Das Wasser war durch aufgewirbelte Bodenablagerungen schmutzigbraun gefärbt. Auf den beiden anderen, Stat. 340 und Stat. 341, ergab sich eine nahezu gleichmäßige Trübung von etwa 60% vom Boden bis zur Oberfläche.

Literaturverzeichnis

- DIETRICH, G. (1957): Allgemeine Meereskunde, Gebr. Borntraeger — Berlin, 1957, 2. Aufl. 1965, S. 62—79
- EMERY, K. O. (1956): Sediments and Water of the Persian Gulf. The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 40, No. 10: 2354—2383
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY (1963): Standard Terminology on Optics of the Sea, Göteborg
- JERLOV, N. G. (1957): A Transparency Meter for Ocean Water, Tellus, 9, No. 2: 229—233
- (1963): Optical Oceanography, Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 1963, 1: 89—114

- JOSEPH, J. (1955): Extinction Measurements to Indicate Distribution and Transport of Water Masses. — Proc. of the Unesco Symposium on Physical Oceanography, Tokio, p. 59—75
- (1959): Vertikale Temperatur- und Trübungsregistrierungen in einer 500 m mächtigen Deckschicht. — Dt. Hydr. Z., Ergänzungsheft Reihe B (4°) (3): 48—55
- KRAUSE, G. (1963): Eine Methode zur Messung der optischen Eigenschaften des Meerwassers in großen Meeresstiefen. — Kieler Meeresforsch. (2): 175—181
- THOMSON, E. F. and GILSON, H. C. (1937): Chemical and Physical Investigations: Introduction, Scientific Reports of the John Murray Expedition 1934, 2, No. 2: 15—81

