

ZUR BODENGESTALT DES INDISCHEN OZEANS

Bericht über den gegenwärtigen Stand der Forschung

THEODOR STOCKS

Mit 2 Abbildungen

Diesen Beitrag widmet der Verfasser Herrn Prof. em. Dr. Georg Wüst in Kiel zum 70. Geburtstag (15. Juni 1960)

*Summary: On the Submarine Topography of the Indian Ocean. A Report on the Present State of Exploration.*

Similar to the Atlantic ocean floor, also the Indian ocean floor shows a central ridge with a longitudinal extension of some 13 000 km and with its major axis trending S/N; it takes its origin in the neighbourhood of the Gaussberg in the South (Antarctica) and, while varying its course from SE to NW and SW to NE, it extends with differing width as far as beyond the equator; here it splits into two branches: the Chagos-Laccadive ridge, which joins the Indian peninsula in the latitude of Goa, and the so called "Carlsberg" (north-western Indian-) ridge, which, after having described a wide curve via Sokotra, turns to NE until it becomes merged in the Asiatic continent in the region of the Indus-delta, apparently in the Khirdar mountains. There are no soundings available proving the existence of the central part of the ridge between the 30th° and the 20th° S; the particular features proper to the distribution of the bottom water suggest, however, the presence of this part of the ridge.

The Indian ridge divides into several remarkable branches. Between the Kerguelen islands — up to this point it is named the Kerguelen-Gaussberg ridge — and the Crozet islands there is, f. i., a ridge interrupted by a depression at two places in about 60° E; following its plateau-like widening, we find the Crozet ridge, which trends W, interrupted by a passage near the Agulhas shelf at a depth of abt. 4500 m, then follows the Madagascar ridge with a northern trend and apparently without any depressions or passages within a depth range of 4000 m, and at last, another ridge to the NE which so far has not been given a name; this branch ends without any continuation S of Rodriguez island, and separates the Madagascar basin from the South-West Indian basin. The gap between the Atlantic and the Indian ridge in 50° S, 30° E is generally known.

As a counterpart to the Atlantic-Indian ridge, we may regard the apparently very broad plateau-like elevation which begins in the region between the Kerguelen islands and the group of the St. Paul- and New-Amsterdam islands; this elevation extends to the East until it reaches the eastern border of the Indian ocean, viz. the system of the Tasman- and the Macquarie ridges. It has a passage in about 120° E, that has recently been confirmed by soundings and that is of great importance to the distribution of the bottom water. Several smaller branches of the South-Indian ridge have altered the conception, held heretofore, of the bottom configuration of the Indo-Australian basin, which was considered to be characterized by the absence of any sort of bottom elevations. Thus we now find rise-like connections in about 40° S, 110° E in the direction of Cape Leeuwin (South-Western Australia), in 35° S in the direction of Perth, and, at last, in 25° S, 100° E in the direction of the Cape Cuvier ridge (Western Australia).

As a new feature in the bottom configuration of the NE part of the Indian ocean and as a counterpart to the Laccadive ridge we may consider the ridge that comes from the Nicobar islands and in about 90° E trends S; whether or not this ridge may be connected to the respective branch

of the South Indian basin within the depth range of 4000 m, may be left out of account for the present. The conception with regard to the structure of ridges and rises or sills respectively in the region of the Keeling-(Cocos-) and Christmas islands — how incomplete in its details it ever may be — nevertheless permits to draw the conclusion that the water of the Sunda trench system as a sea region which shows the characteristics of the Pacific ocean, is separated from the Indian ocean by a distinctive rise.

*Zusammenfassung.* Der Indische Ozeanboden zeigt ähnlich wie der Atlantische einen S-N-verlaufenden Zentralrücken von etwa 13 000 km Länge; er beginnt im S (Antarktika) in der Nähe des Gaussberges und erstreckt sich in wechselnder Breite und mit Richtungen, die zwischen SE → NW und SW → NE wechseln, bis über den Äquator; hier teilt er sich in zwei Äste: den Tschagos-Lakkadiven-Rücken, der in der Breite von Goa an die vorderindische Halbinsel Anschluß findet, und den sog. „Carlsberg“- (nord-westlichen Indischen) Rücken, der über Sokotra ausholend und dann wieder NE drehend, in der Gegend des Indus-Deltas, vielleicht im Khirdar-Gebirge, im asiatischen Kontinentalblock aufgeht. Das Mittelstück dieses Rückens, etwa zwischen 30 und 20° S, ist nicht durch Lotungen belegt, vielmehr wird seine Existenz durch die Besonderheiten der Ausbreitung des Bodenwassers gefordert.

Mehrere bemerkenswerte Abzweigungen des Indischen Rückens sind vorhanden: so zwischen den Kerguelen — bis hierher spricht man vom Kerguelen-Gaussberg-Rücken — und der Crozet-Gruppe, mit einem oder 2 Durchlässen bei etwa 60° E; vor dieser plateauartigen Verbreiterung strebt die Crozet-Schwelle nach W, hier aber vor dem Agulhas-Schelf mit einem etwa 4500 m tiefen Durchlaß, ferner der Madagaskar-Rücken nach N, vermutlich ohne irgendwelche 4000-m-Unterbrechungen, sowie ein bisher nicht benannter Rücken nach NE, der südlich von Rodriguez frei endet und das Madagaskar- und Südwestindische Becken trennt. Die Lücke zwischen dem Atlantisch-Indischen Rücken bei 50° S, 30° E ist bekannt; ebenso der Maskarenen-Rücken, der durch die Rodriguez-Schwelle mit dem Tschagos-Rücken in Verbindung steht.

Das Gegenstück zum Atlantisch-Indischen Rücken ist die offenbar sehr breite plateauartige Erhebung, die aus der Gegend zwischen den Kerguelen und der Inselgruppe St. Paul — Neumsterdam nach E streicht bis zur östlichen Ozeangrenze: dem System des Tasmanischen und des Macquarie-Rückens. Allerdings besitzt diese Schwelle eine vom Standpunkt der Bodenwasserausbreitung sehr wichtige Lücke bei etwa 120° E, die jetzt durch Lotungen bestätigt ist. Mehrere kleinere Abzweigungen dieses Südindischen Rückens geben dem nach bisheriger Auffassung ungliederten Indisch-Australischen Becken ein neues Gesicht, so bei etwa 40° S, 110° E, wo in Richtung auf Kap Leeuwin (SW-Australien), ferner auf 35° S, wo in Richtung auf Perth, und schließlich bei 25° S, 100° E, wo zum Cuvier-Rücken (W-Australien) schwellenartige Verbindungen zu bestehen scheinen.

Ein neuer Zug im NE-Teil des Indischen Ozeans dürfte in dem Rücken zu erblicken sein, der — ein verblüffendes Gegenstück zum Lakadiven-Rücken — aus der Gegend der Nikobaren kommend auf etwa 90° E nach S streicht, ob mit oder ohne 4000-m-Anschluß an den betreffenden Ast des Südindischen Rückens, mag bis auf weiteres dahingestellt bleiben. Ein in Einzelheiten noch nicht genügend geklärtes Bild der Rücken-Schwellenstruktur im Bereich der Keeling-(Kokos-) und der Christmas-Inseln läßt indessen schon jetzt darauf schließen, daß die Gewässer des Sundagraben-Systems als ein pazifische Merkmale aufweisendes Seegebiet gegen den übrigen Indischen Ozean durch eine deutliche Schwelle abgetrennt sind.

#### A) Einleitung

Die Erarbeitung plausibler Darstellungen der Topographie des Meeresbodens in kleineren Maßstäben hat sich immer mehr zu einer Spezialaufgabe entwickelt, die viele Probleme in sich birgt. Das Aufspüren und Sichten des Quellenmaterials — in Form von listenmäßig oder in Kartenform veröffentlichten Lotreihen —, das Heranziehen von wissenschaftlich fundierten Regionaldarstellungen, auch älteren Datums, die Berücksichtigung ozeanographischer, geologischer und geophysikalischer Argumente und das Koordinieren der Unterlagen bei sehr ungleichförmiger Verteilung zu einem fundierten Gesamtbild ist eine langwierige mühevoll arbeit, und mit dem Anschwellen des Materials wachsen neue Probleme heran. Das ist in besonderem Maße der Fall beim Indischen Ozean.

Unter den sieben Weltmeeren, den drei Ozeanen und den vier Mittelmeeren, hat der Indische Ozean in wissenschaftlicher Beziehung

lange als terra incognita gegolten. Während sich im Atlantischen Engländer, Amerikaner, Skandinavier und Deutsche, im Pazifischen Amerikaner und Japaner respektable Verdienste gesichert haben, hat der Indische, obwohl lange Zeit eine Art Mare nostrum des Britischen Empire, in auffallender Weise auf der Schattenseite der Erforschung gestanden — wenn man von den dänischen und holländischen Unternehmungen besonders im Austral-asiatischen Mittelmeer, den britisch-ägyptischen im Arabischen Meer und einigen anderen absieht.

#### B) Entwicklung der morphologischen Ansichten

Aus der Zeit vor der „Challenger“- und der „Gazelle“-Expedition (1874—1876) sind unsere Kenntnisse über die Topographie des Indischen Meeresbodens unbedeutend, von Nebenmeeren, z. B. dem Roten Meer, abgesehen. Von einer Gliederung ist auf den Atlaskarten dieser Zeit nichts zu bemerken, und zusammenfassende Darstellungen sind vor O. KRÜMMEL 1881 bzw. A. SUPAN 1889 nicht vorhanden. KRÜMMELS Karte, mit einigen Verbesserungen von SUPAN, erschienen 1891, wurde im Atlas „Indischer Ozean“ der Deutschen Seewarte mit 2000-m-Äquidistanz zugrunde gelegt und läßt nur den von SW nach NE ungliedert abfallenden Meeresboden erkennen, mit Tiefen über 5000 m, der sogenannten Austral-Indischen Tiefe, mit einem steilen Anstieg gegen die Großen Sunda-Inseln einerseits und gegen die australische Süd- und Westküste andererseits. Mit dem Atlantischen Ozean besteht eine 3000—4000 m tiefe Verbindung, mit dem Pazifischen eine solche von über 4000 m südlich von Tasmanien, wo allerdings die mögliche Existenz eines Tasmanischen Rückens etwa auf dem 145. Längengrad angedeutet wird. Von einem indischen Zentral-Rücken keine Spur; die Kerguelen und Neumsterdam-Gruppen bilden in gleicher Weise wie die Rodriguez-, Mauritius-, Seychellen-, Tschagos-Gruppen u. a. isolierte begrenzte Sockel ohne Zusammenhang.

Es blieb SIR JOHN MURRAY vorbehalten, in den „Challenger“ Reports im Jahre 1895 eine sehr schöne Tiefenkarte des Indischen Ozeans herauszubringen. In 1000-Faden-Äquidistanz entworfen, zeigt er u. a. die Trennung der Austral-Indischen Tiefe in 3, über 3000 Faden tiefe Becken (Maclear-, Wharton-, Jeffrey-Deep), und die Annahme eines weniger als 1000 Faden tiefen Tasmania-Plateaus sowie die Zusammenfassung der nordöstlich von Madagaskar liegenden Atoll-Gruppen von Réunion bis Mauritius zu einem Seychellen-Plateau sind als Fortschritte zu bezeichnen, während KRÜMMELS Andeutung

eines aus dem Golf von Bengalen kommenden Rückens, auf den noch zurückzukommen sein wird, bei MURRAY wieder getilgt ist. Gegen den Atlantischen trennt er den Indischen durch eine Art Crozet-Schwelle mit weniger als 2000 f. ab.

Ein erstaunlich sicheres Gefühl führte schon im Jahre 1900 auf Grund der Ergebnisse der „Valdivia“-Expedition dem Ozeanographen G. SCHOTT die Feder; Andeutungen zahlreicher Formen, die wir heute begrifflicher Weise besser kennen, sind schon bei ihm vorhanden — so der Nordwestindische (Carlsberg-) Rücken, der Rodriguez-Rücken, das Kerguelen-Gaussberg-Plateau, die Crozet-Schwelle, der Südaustralische Rücken u. a. mehr. Anstelle der Java-Doppel-Rinne kannte SCHOTT aber schon 1900 den nordwestlichen Teil dieses Grabensystems, den Mentawai-Graben. Auch der Bengalische (Carpenter-) Rücken ist zum mindesten an zwei Stellen eindeutig festgehalten.

Im Jahre 1903 begann die Monaco-Karte zu erscheinen, deren erste Ausgabe trotz des relativ beschränkten Lotmaterials die pflegliche Hand eines kritischen Bearbeiters verrät. Schon diese Ausgabe, also bereits aus den Jahren vor dem ersten Weltkrieg, zeigte manche Einzelheiten, die später z. T. wieder verloren gingen. So war schon damals ein Teil des sogenannten Carlsberg-Rückens zu erkennen, auch das Vorhandensein der Crozet-Schwelle (Seuil de Crozet) wird betont, man hat schon damals klar erkannt, welche hydrographische Bedeutung dem Durchlaß zwischen Kerguelen und Crozet-Schwelle, also der Verbindung des Atlantisch-Indischen Südpolarbeckens mit dem nördlich gelegenen Becken zukommt, und WÜST hat viele Jahre später diese Rolle als overflow-Weg des kalten Bodenwassers an dieser Stelle, dem „Vallée des Kerguelen“ gefordert.

Zum ersten Mal erscheint auf dieser Karte ein nur zwischen 2000 und 2500 m tief liegendes, wie durch ein „Rift valley“ gespaltenes Bergland in etwa 15° S, 87—89° E Länge, dessen bastionsartige Figur sich durch alle späteren Darstellungen bis heute erhalten hat. Dieser „Monaco-Bastion“ kommt, wie wir später sehen werden, eine besondere Bedeutung zu. Interessant ist jedenfalls auch, daß die Bearbeiter der ersten Monaco-Ausgabe für eine besonders interessante Form, den Carpenter-Rücken im Golf von Bengalen den Ansatz und weiter südlich einen Teil des Gerippes dieses Rücken gefunden hatten.

Einen Markstein bildet die Karte von MAX GROLL 1911. Dieser für seine Sorgfalt und Kritik bekannte Bearbeiter zeigt wohl als erster einige wesentliche Merkmale des Indischen Ozeanbodens, so den Tasman-, den Macquarie-, den

Kerguelen-Gaussberg-New Amsterdam- und den südindischen Ost-West-Rücken, der die Gewässer südlich Australiens in zwei Becken teilt: das Indische Südpolarbecken, das er freilich noch mit dem Tasmanischen Becken in Verbindung bringt, und das Südaustralische Becken mit dem Jeffrey Deep. Auch den sehr deutlichen Bengalischen Rücken, d. h. den Ansatz des Carpenter-Rückens und Ansätze des zentralen und nordwestlichen Indischen Rückens, jedoch in bescheidenerer Form als Monaco, das Somali-Becken, die Crozet-Schwelle, den Natal- und den Madagaskar-Rücken und das Maskarenen-Becken läßt GROLLS Karte erkennen.

Die von GROLL erarbeiteten Fortschritte bildeten auf lange Zeit für alle geophysikalischen, ozeanographischen und geologischen Erörterungen die einzig brauchbare Karte; diese gab bekanntlich auch eine vorzügliche Unterlage ab für die Errechnung der bathymetrischen Grundwerte durch KOSSINA sowie für Erörterungen über eine natürliche Abgrenzung und Unterteilung des Ozeans, kennt freilich auch nur ein sehr großes Indisch-Australisches Becken, das fast den halben Ozean einnimmt.

Für die 20er bis 30er Jahre sind an Unternehmungen, die über die Morphologie des Indischen Ozeans neue Erkenntnisse brachten, mehrere Gruppen erwähnenswert. An Expeditionen — außer den polaren und subpolaren der Engländer mit „Discovery II“, der Australier und Neuseeländer unter MAWSON — ist besonders erwähnenswert das unter dem Namen „Sir-John-Murray-Expedition“ bekannt gewordene britisch-ägyptische Gemeinschaftsunternehmen im Nordwestsektor des Ozeans mit „Mabahiss“ 1936; die von WISEMAN diskutierten morphologischen und geologischen Ergebnisse (z. B. das Rift-Valley im sogenannten Carlsberg-Rücken) sind bekannt. Für dieses morphologisch und ozeanographisch gut abgegrenzte einheitliche Seegebiet liegen also beachtliche Darstellungen vor, nachdem der Nordwestindische Rücken schon vorher durch das dänische Forschungsschiff „Dana“ an mehreren Stellen abgelotet und gut abgegrenzt werden konnte.

Ebenfalls in diese zwei Dezennien fallen die Beobachtungen der Niederländer auf der Aus- und der Heimreise des „Willebrord Snellius“, dem ja die vorzüglichen Darstellungen des Austral-asiatischen Mittelmeeres zu danken sind; daneben muß erwähnt werden die U-Boot-Expedition von VENINGMEINESZ, dessen Schwere-messungen an Bord von „K XVIII“ i. J. 1935 gerade im wenig bekannten inneren Teil des Ozeans ganz neue Erkenntnisse brachten. In bathymetrischer Hinsicht ist erwähnenswert eine

Ost-West-Lotreihe etwa auf der Breite 30—35° S mit einem bis auf etwa 1100 m aufragenden Querrücken. „K XVIII“ hat auffallend wichtige, aber bisher wenig beachtete Beiträge zur Morphologie geleistet, auch in den Randgewässern südlich der Sunda-Inseln.

Überraschend sind neben diesen Forschungsreisen nun die Ergebnisse britischer und deutscher Auslandskreuzer, u. a. „Berlin“, „Emden“ und „Karlsruhe“. Trotz der für heutige Begriffe noch primitiven Echolottechnik haben diese Schiffe erstaunliche Beiträge geliefert, so „Berlin“ die 6800 m Tiefe im Nordaustralischen Becken. Obwohl durch diese Auslandskreuzer manche Lücke geschlossen werden konnte, gerade auch in bisher wenig bekannten Gebieten (so durch „Emden“ zwischen den Seychellen und Sumatra), so ergeben diese Lotungsreihen in Verbindung mit den regional begrenzten Forschungs Expeditionen und sporadischem Kabelleger-Untersuchungen doch noch keinen, den ganzen Ozean mehr oder weniger gleichmäßig überdeckenden Kenntnisstand; davon sind wir auch heute noch weit entfernt. Lediglich der Golf von Aden, das Arabische und das Somali-Meer sowie das Bengalische Meer und die Andamanen-See nebst den Gewässern südlich der Sunda-Inseln können als hinreichend bekannt angesehen werden.

In diese Jahre fallen nun ozeanographische Arbeiten besonderer Art, die sich als geeignet erwiesen, an lotungsarmen Stellen mit großer Sicherheit Durchlässe in den Schwellen sowohl örtlich festzulegen wie auch ihre Tiefenlagen zu bestimmen, nämlich durch die von Wüstr, anfangs im „Meteor“-Werk und später auch in Anwendung auf die anderen Ozeane entwickelte Methode der Ausbreitungsrichtung des kalten Bodenwassers mit Hilfe der potentiellen Temperaturen. Unter potentieller Temperatur versteht man bekanntlich die Reduzierung der gemessenen in situ-Temperaturen, speziell am Meeresboden, durch Eliminierung der Temperaturerhöhung infolge des Drucks der Wassersäule; hierdurch erhält man komparable Werte, die etwa  $\frac{1}{2}$ —1° C niedriger sind als die in situ-Temperaturen und sich besser eignen, die Schwellentiefen festzulegen.

### C) Die neueste Zeit seit 1945

Das Erforschungstempo änderte sich erst nach dem 2. Weltkriege. Die ersten waren 1948/49 die Schweden (unter Leitung von H. PETERSSON) auf dem Forschungsschiff „Albatross“. KOCZY hat die uns interessierenden Lotungsergebnisse bearbeitet und diskutiert; obwohl der SN-Kurs des Schiffes u. a. auf dem Meridian 90° Ost in ein für die Bathymetrie höchst aktuelles Gebiet

führte, konnte man sich vielfach nicht entschließen, die erzielten Tiefenangaben in Verbindung mit bereits vorhandenen zu einem plausiblen Bild des Meeresbodens zusammenzufügen. Geringere Tiefen z. B. auf diesem Track sah man meist als eine Art von Seamount an, also als isolierte Erhebungen; wir werden später sehen, was diese Kuppen wirklich zu bedeuten haben.

Auch die Franzosen haben im südwestlichen, im zentralen Teil (Profil des „Charcot“ von W nach E auf 40 bis 45° S-Breite), im Bereich des Tasman- und des Macquarie-Rückens sowie auf einem SE-NW-Profil zwischen Fremantle und den Tschagos-Inseln sehr wertvolles Material beigebracht.

Die Dänen, deren Hauptarbeitsgebiet — in Fortführung der „Dana“-Tradition — der Pazifische Ozean ist, haben neuerdings ebenfalls im Indischen Ozean gute Lotungsreihen erzielt mit ihrer „Galathea“ 1950—1952, obwohl das Schwerkraft der Forschung der Hydrobiologie galt. Für den Indischen Ozean liegen sieben Karten der „Galathea“ in verschiedenen Maßstäben vor, die den zu Grunde gelegten Seekarten entsprechen und die unbeschiedenen Lotungszahlen enthalten nebst beigegebenen Profilen in starker Überhöhung.

Schon vor dem Geophysikalischen Jahr stand begrifflicherweise der Süden des Ozeans, vornehmlich die subantarktischen Gewässer im Blickpunkt des Interesses mehrerer Nationen; Briten, Australier, Neuseeländer und Franzosen sind bereits erwähnt worden, neu hinzugetreten sind hier die Sowjets mit „Ob“. Lotungen und ozeanographische Stationen liegen jetzt teilweise auch in bisher als wenig bekannt geltenden Seegebieten vor, vor allem in den zentralen Teilen des Ozeans. Einige Lotreihen haben schlagartig Licht in topographische Verhältnisse gebracht, deren scheinbar widerspruchsvolle Tiefenzahlen oft nur schwer sinnvoll geordnet werden können.

Trotzdem muß hier mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß der Indische Ozean noch weite Gebiete hat, in denen keine einzige verlässliche Tiefenzahl einen Anhalt bietet. Es gibt noch zahlreiche Eingradfelder ohne eine einzige Messung, und häufig bilden diese Eingradfelder zusammenhängende Gebiete von einer Größe, die das Areal der Bundesrepublik um ein vielfaches überschreitet.

In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg ist nun das Interesse an der Bodengestaltung des Ozeans auch auf Seiten anderer Wissenschaftszweige gestiegen, so der Geophysiker (erwähnt seien GUTENBERG-RICHTER mit ihren Arbeiten über die Verbreitung von Flach- und Tiefbebenherden auf der Erde), der Geologen und Tektoniker

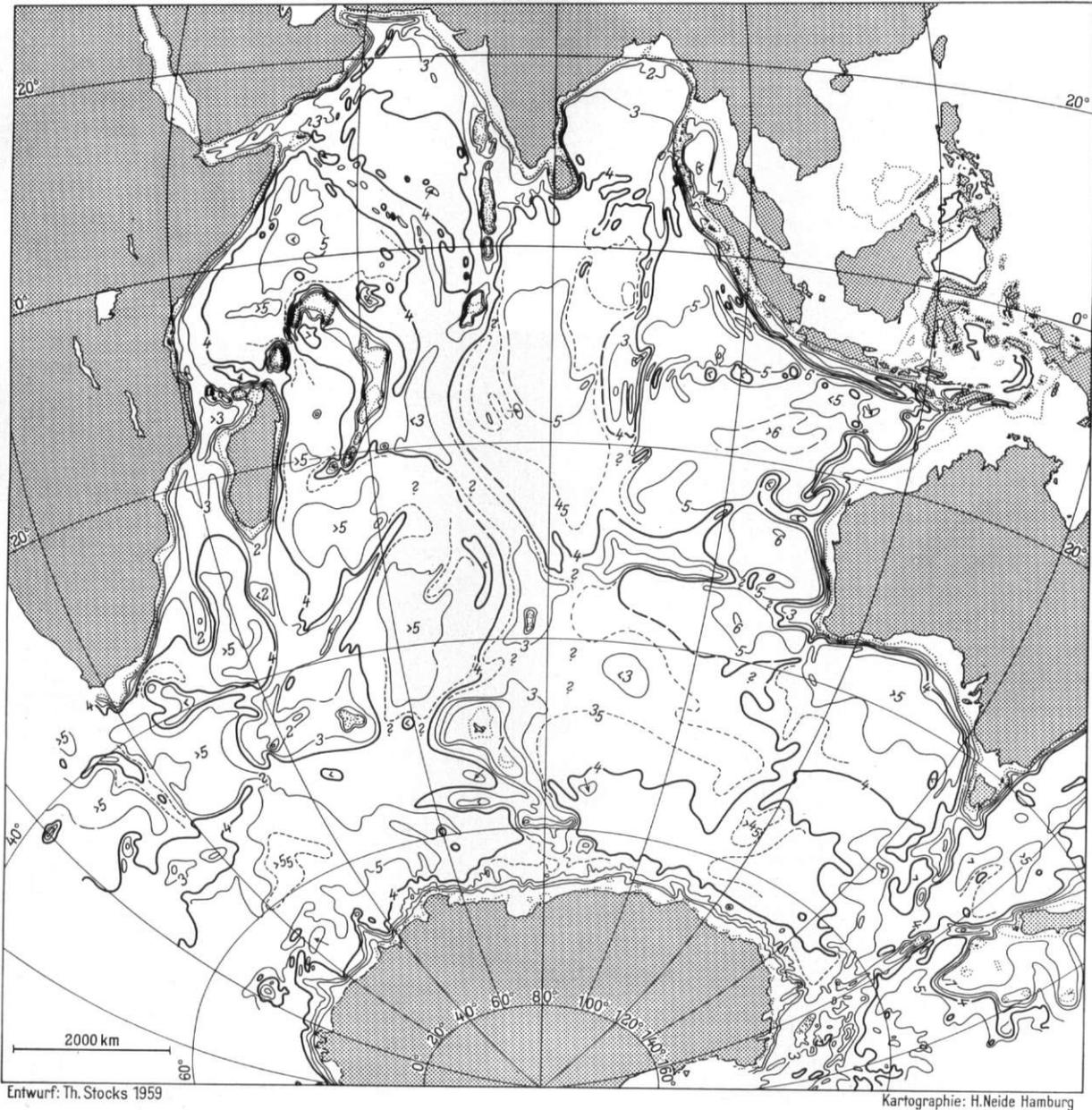


Abb. 1: Skizze der Tiefenverhältnisse des Indischen Ozeans.

Punktierte Linien: Schelfgrenze (200 m); ausgezogene Linien: von 1000 zu 1000 m; die Zahlen bedeuten 1000 m. 4000-m-Linie: kräftig ausgezogen; lang gestrichelte Linien: unsicherer Verlauf der Isobathe; kurz gestrichelte Linien: 500-m-Isobathen als Zwischenlinien.

(CLOOS, STILLE und neuerdings FAIRBRIDGE); um so dringender scheint es deshalb notwendig zu sein, gerade jetzt sozusagen eine Bestandsaufnahme der Kenntnisse der Morphologie des Meeresbodens zu versuchen. Wie schon vorher angedeutet, haben sich die Anschauungen nicht nur im Sinne einer Vervollkommnung und stetigen Verfeinerung gewandelt, was man eigent-

lich als normal erwarten sollte; sie haben auch auffallenderweise ausgesprochene Rückschritte — man möchte fast sagen: wider besseres Wissen — vollzogen, und das ist auffallend. Gerade die fortschreitende geophysikalische und geologische Erforschung der Kontinente will und darf an den Küsten nicht haltmachen, sie will wissen, ob und welche Argumente der Topo-

graphie des Meeresbodens zur Erklärung des Baus der Erdrinde herangezogen werden müssen. Mit Recht ist daher von Geographen wie MECKING, JESSEN, MACHATSCHKE auf diese Fragen immer wieder hingewiesen worden.

*D) Zusammenfassende Übersicht über die Becken-Struktur*

1. Die Becken. Wir sahen, daß der Indische Ozean lange Zeit als ein Gebiet angesehen wurde, das hinsichtlich seiner Becken-Schwellen-Struktur von ganz anderer Art sei als der Atlantische, den wir ja in dieser Beziehung schon seit langem hinreichend kennen. Heute wissen wir, daß auch der Indische zahlreiche Becken hat, auf die besonders WÜST mit hydrographischen Argumenten hinwies. Innerhalb der konventionellen Grenzen des Ozeans unterschieden SCHOTT 1935 und WÜST 1936:9 Becken, SVERDRUP 1942:11 Becken, FAIRBRIDGE 1954: 17, aber wir müssen wohl mit jetzt 20 selbständigen Tiefseebecken, z. T. mit mehreren Unterteilen rechnen (vgl. Tabelle und Abb. 2). So muß wohl z. B. das zwar kleine aber morphologisch selbständige Oman-Becken besonders erwähnt werden, ebenso das Natal-Becken, das anscheinend keine Verbindung zum Madagaskar-Becken hat. Gegenüber WISEMAN u. a. scheint das Somali-Becken ein Ganzes zu sein, allenfalls aus einem nördlichen und einem südlichen Teil bestehend, die aber anscheinend nicht durch einen durchgehenden Rücken getrennt sind. Die wichtigsten Änderungen dürfte aber der bis jetzt als Indisch-Australisches Becken bezeichnete Großteil des östlichen Indischen Ozeans erfahren; der erste, der darauf hinwies, ist FAIRBRIDGE. Es spricht alles dafür, daß man diesen Teil des Ozeans in ein Zentralindisches Becken (einschl. des Golfs von Bengalen), ein Keeling-Becken, ein Nordwestaustralisches, ein Südwestindisches Becken mit mehreren kleineren, aber tiefen Randbecken (alle mit großen Tiefen bis über 6000 m) untergliedern muß, so das Nordaustralische Becken (Maximaltiefe 6800 m), das Cuvier-Becken, das Westaustralische Becken (Maximaltiefe 6350 m) das Südostindische Becken (Maximaltiefe 6300 m); alle Teile stehen miteinander in Tiefseeverbindung. Die Sunda-Rand-Tiefen, ihrem Charakter nach eine pazifische Form, bestehen aus mehreren parallelen schmalen Rinnen mit einer Maximaltiefe von etwa 7500 m. Das Wharton Deep und das Jeffrey Deep haben keine eigentlichen Becken-Merkmale, sondern sind jeweils nur die tiefsten Dellen am Boden des Nordwestaustralischen bzw. des Südaustralischen Beckens.

2. Die Rücken. Dem etwa 13 000 km langen Gebirgszug, der aus der Gegend des Gauss-

berges in Antarktika in wechselnden Richtungen nach N bzw. NW streicht, kommt wohl eine ähnliche Bedeutung zu wie dem Atlantischen Rücken, er ist gewissermaßen sein indisches Gegenstück. Vieles scheint dafür zu sprechen, daß in etwa 30—40° S-Breite der Kerguelen-Gaussberg-Rücken, der südlichste Teil des Zentralrückens, sich plateauartig erweitert (Neuamsterdam-Plateau) und von hier aus mehrere markante Querrücken aussendet, so die Crozet-Schwelle nach W, den Südindischen Rücken nach SO, den K XVIII-Rücken (die Tiefen kulminieren im Niveau von 1000 m!) nach Osten. Der nach NW streichende Ast hat Verbindung mit dem Maskarenen- und dem Rodriguez-Rücken, aber auch nach SW mit der Crozet-Schwelle (die Tiefen kulminieren südostwärts von Madagaskar in 2200 m). Zwischen 30 und 20° S ist der Zentral-Rücken zwar durch keine Lotung belegt, aber mindestens mit 4000 m, wahrscheinlich mit < 3500 m aus hydrographischen Gründen als existierend anzunehmen. Im weiteren Verlauf nach N und NW (Abzweigung des Tschagos-Malediwen-Rückens zum westlichen Dekan) ist der Nordwestindische Rücken (meist Carlsberg-Rücken genannt) vielfach abgetastet, oft mit Tiefen von < 2000 m, aber auch mit Rift Valley-artigen Einsenkungen. Gegen die Arabische Halbinsel trennt er das kleine Oman-Becken ab.

In diesem westlichen Teil des Indischen Ozeans dürften am bemerkenswertesten sein: 1) der Madagaskar-Rücken, bisher bei 34° S endend angenommen (kulminiert in etwa 1500 m Tiefe), ist jetzt etwa 6 Breitengrade südlicher durch die Franzosen mit 2000 m bestätigt worden; 2) die Natalschwelle (kulminiert bei etwa 1300 m) ist sowohl von den Franzosen wie auch von den Dänen und Briten südwärts bis etwa 36° S bestätigt worden; hier muß sich aber ein Durchlaß befinden.

Im östlichen Teil des Ozeans dürfte der von FAIRBRIDGE mit dem Carpenter- (besser wohl Bengalischen) Rücken bezeichnete Gebirgszug das hervorstechendste neue Merkmal sein, das entlang dem 90° O mehrfach, so von „Albatross“, von „Ob“ und von „Commandant Charcot“ u. a. abgetastet worden ist. Die eingangs erwähnte schon lange bekannte „Monaco-Bastion“ ist heute nur noch als ein Teilstück und noch nicht einmal als das südlichste des Gesamtrückens anzusehen; jetzt kennen wir Gipfel dieses langen Gebirges von weniger als 3000 m in 1° S, 5° S, 7° S, 11° S, 15° S und sogar in 18° S (1800 m „Cdt. Charcot“).

Östlich dieses Rückens liegen kompliziertere, noch nicht in restlos zufriedenstellender Weise identifizierbare Gebiete vor; Tiefen von > 6000

stehen nach Ausweis der „Dana“, des „Albatross“ u. a. neben Echolotungen von  $< 4000$  m, die anscheinend nach E zu bis südlich Sumba, allerdings mit Unterbrechungen zu verfolgen sind; hier im östlichsten Teil durch „K XVIII“ und „Berlin“ einwandfrei bestätigt. Parallel zur Mentawai-Gruppe haben die Dänen einen SO streichenden Rücken festgestellt bzw. bestätigt. Die Kompliziertheit der Formen in diesem Gebiet dürfte im pazifischen Typus des Gebirgsbaus erklärbar sein.

Für die Existenz der aus dem australischen Festland nach N, NW, W und S ausstreichenden kürzeren Rücken gibt wieder FAIRBRIDGE plausible Erklärungen und Namen an, so Exmouth Rise, West-Australian Ridge, South West Australian Ridge und Leeuwin Sill.

Die konventionelle Ostgrenze des Ozeans (entlang dem Meridian vom Südkap Tasmaniens) ist durch ein System mehrerer ausgeprägter Rücken mit z. T. bis auf  $< 1000$  m aufragenden Gipfeln auch als Naturgrenze untermauert, so durch den Tasmanischen und den Maquarie-Rücken, in der Tat ein verwirrendes System von Gebirgszügen mit eingesenkten kleineren Becken, recht gut belegt durch Lotungen.

3. Die hydrographisch wichtigen Durchlässe in der Becken-Schwellen-Struktur des Indischen Ozeans sind, wie erwähnt, von WÜST mehrfach erörtert worden; es fragt sich nun, inwieweit das Bild der topographischen Verhältnisse, wie es hier (vgl. Abb. 1) gezeigt wird, übereinstimmt mit dem von WÜST entworfenen Bild. Hier ergeben sich folgende Erkenntnisse:

a) Es muß mit WÜST, wie schon erwähnt, angenommen werden, daß der Indische Zentralrücken in der Tat durchgeht, auch zwischen  $20$  und  $30^{\circ}$  S, daß also auch der Indische Ozean wie der Atlantische eine West- und eine Ostmulde besitzt; hierbei ist es gleichgültig, ob im Tschagos-, Lakkadiven- oder im Carlsberg-Rücken das nördlichste Ende dieses Rückens erblickt werden muß; das Arabische und das Oman-Becken bleiben vom Zustrom kalten antarktischen Bodenwassers frei.

b) In der Westmulde erfolgt der Zustrom antarktischen Bodenwassers aus dem Atlantisch-Indischen Südpolar-Becken, sowohl durch die Öffnung der Schwelle südwestlich der Prince Edward-Insel ins Agulhas-Becken nach Westen wie auch über den oder die Durchlässe zwischen Crozet und Kerguelen nach N ins Südwestindische Becken und von dort ins Madagaskar-Becken. Die Zunge wärmeren Bodenwassers südöstlich der Südspitze Madagaskars wird durch den neuen Rücken verständlich, der hier nordost-

wärts streicht; es bedarf lediglich einer Art Umpolung der Isothermen an dieser Stelle, für die wohl die wenigen Stationen Spielraum lassen.

c) Nach den Lotungen muß angenommen werden, (das wird auch von SVERDRUP bestätigt), daß die Crozet-Schwelle vor Erreichen des afrikanischen Festlandblocks einen Durchlaß von  $> 4500$  m besitzt, durch den aus dem Agulhas-Becken antarktisches Bodenwasser ins Natal-Becken einströmen und sich beiderseits der Natal-Schwelle nach N ausbreiten kann. Dem scheinen die relativ hohen Temperaturen südlich von Durban zu widersprechen, nicht aber der Isothermenverlauf vom übrigen Natal-Becken im Süden anfangend bis in den nördlichsten Teil des Somali-Beckens.

d) Während WÜST in  $15^{\circ}$  S die Rodriguez-Schwelle in bezug auf das kalte Bodenwasser an den Maskarenen-Rücken anschließt, gestatten die zwar wenigen, aber sehr wechselnden Lotungen diesen Schluß noch nicht; hier müssen aber die potentiellen Temperaturen entscheiden, und zwar im Sinne eines Durchlasses.

e) In der Ostindischen Mulde kann vom Standpunkt der Lotungen aus bestätigt werden, daß der Abschluß des Südaustralischen Südpolarbeckens nach E zum Pazifischen Ozean vollkommen ist, und ferner daß der Südaustralische Rücken in etwa  $50^{\circ}$  S den von WÜST geforderten Durchlaß von  $> 4000$  m hat, was auch durch neue Lotungen des „Ob“ — allein drei in dieser Lücke! — bestätigt wird. Zwei neue Bodentemperaturen im Südteil dieses Beckens — in situ  $-0.40$  und  $-0.42$  in  $2600$  resp.  $4000$  m — bestätigen die Rolle dieses Beckens als Entstehungsgebiet des kalten Bodenwassers.

f) Die weitere Ausbreitung des Bodenwassers nach N durch die Becken der Ostmulde wird zwar durch die neu bekanntgewordenen Rücken modifiziert, bleibt aber im WÜSTschen Sinne bestätigt, mit Ausnahme der  $> +1.00^{\circ}\text{C}$ -Gebiete im NW-Teil der Mulde. Es dürfte indessen ein leichtes sein, unter Berücksichtigung des Carpenter-Rückens dem Isothermenverlauf hier ein plausibles Bild zu geben.

Abschließend darf zu diesem Komplex gesagt werden, daß das neue Isobathenbild anscheinend grundsätzlich keine, zu dem Ausbreitungsvorgang des kalten Bodenwassers in Widerspruch stehende Züge wiedergibt, zumal wenn man in Betracht zieht, daß bisher nur wenige Stationen geeignetes ozeanographisches Material beizusteuern in der Lage sind.

Zur Erhärtung dieses Isobathenbildes gäbe es zweifellos noch zahlreiche Belege, z. B. aus der Geologie oder der Geophysik. Hier mag nur auf einige interessante Parallelen aus dem Be-

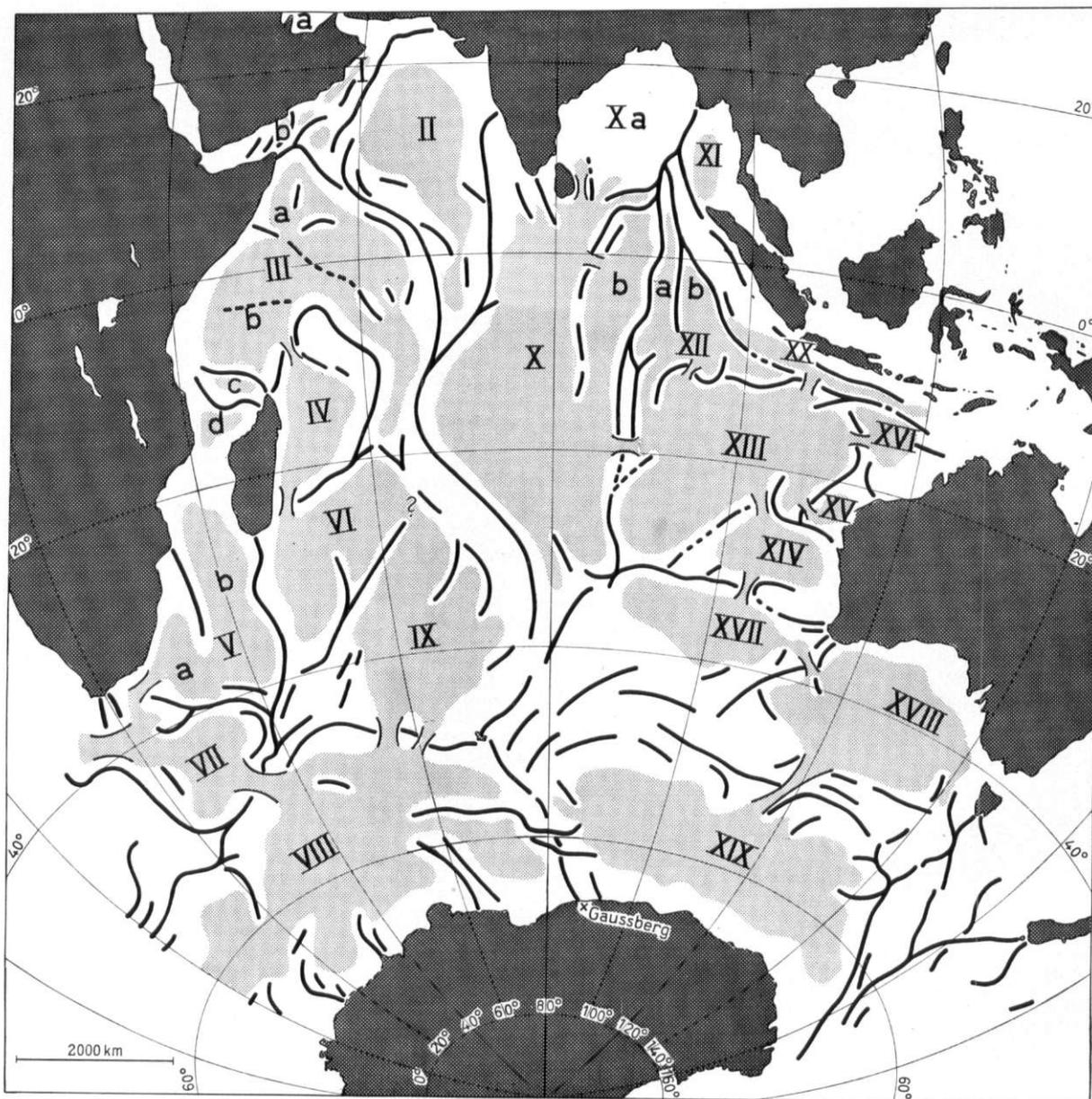


Abb. 2: Schematische Übersicht der Becken-Schwellen-Struktur des Indischen Ozeans.  
Namen der Becken: vgl. Tabelle.

reich der Seismik, nach den Aufstellungen von GUTENBERG und RICHTER verwiesen werden. Von diesen Verfassern werden in auffälliger Weise außer dem Zentralindischen Rücken u. a. der von Crozet nach NE streichende Rücken bis nördlich von  $30^{\circ}$  S (das ist die Stelle, wo wir keinen Anschluß an den Zentralrücken vermuten, sondern einen Durchlaß), ferner der Carpenter-Rücken von N bis fast  $10^{\circ}$  S, und besonders das Tasman-

Macquarie-Rücken-System sowie der Südindische Rücken mit Flachbeben-Epizentren belegt, stellenweise mit auffälliger Dichte.

#### E) Schluß

Hinter uns liegen acht Jahrzehnte einer bemerkenswerten Entwicklung der Tiefenkarten des Indischen Ozeans; eigentlich eine relativ lange Zeit, die nicht so mit sensationellen Höhe-

Tabelle: Die Beckengliederung des Indischen Ozeans (vgl. Abb. 2)

Nach SVERDRUP 1942	Nach FAIRBRIDGE 1954	Nach neuerer Auffassung 1959	Größte Tiefe
—	Oman Basin	I. Oman-Becken, mit a) Persischer Golf b) Golf von Aden	4153 Schelf 5029
I. Arabian Basin	Arabian Basin	II. Arabisches Becken	5126
II. Somali Basin	North Somali Basin	III. Somali-Becken a) Nördliches Somali-Becken	5695
	South Somali Basin (or East African Basin)	b) Südliches Somali-Becken	
		c) Komoren-Becken	4353
		d) Mozambik-Becken	3639
III. Mascarene Basin	Mascarene Basin	IV. Maskarenen-Becken	5349
	Natal Basin	V. Natal-Becken	5739
		a) westliches	
		b) östliches	
IV. (N-Teil des) Madagascar Basin	Mauritius Basin (or Madagascar Basin)	VI. Madagaskar-Becken (oder Mauritius-Becken)	6400
—	Agulhas Basin	VII. Agulhas-Becken	5716
V. Atlantic Indian South Polar Basin	Atlantic-Indian Antarctic Basin (or African Antarctic Basin)	VIII. Atlantisch-Indisches Südpolar-Becken	5875
IV. (S-Teil des) Madagascar Basin	South West Indian Basin	IX. Südwestindisches Becken	5605
VI. (Teil des) India-Australia Basin	India-Australia Basin	X. Zentralindisches Becken	6000
		a) Golf von Bengalen	
		b) —	
VI. (Teil des) India-Australia Basin	Andaman Basin (Teil des) India-Australia Basin	XI. Andamanen-Becken	4177
VI. (Teil des) India-Australia Basin	(Teil des) India-Australia Basin	XII. Keeling-Becken	6335
Wharton Deep: 6460 m		XIII. Nordwestaustralisches Becken	6460
VI. (Teil des) India-Australia Basin	Westaustralian Basin	XIV. Westaustralisches Becken	6000
VI. (Teil des) India-Australia Basin	Cuvier Basin	XV. Cuvier-Becken	5431
VI. (Teil des) India-Australia Basin	North Australian Basin	XVI. Nordaustralisches Becken (mit Berlin-Tiefe)	6840
—	South East Indian Basin	XVII. Südostindisches Becken	6000
VII. South Australia Basin	South Australian Basin	XVIII. Südaustralisches Becken	5852
Jeffreys Deep: 5640 m		XIX. Indisch-Antarktisches Becken (oder östliches Indisches Südpolar-becken)	5143
VIII. Eastern Indian Basin	Australian-Antarctic Basin (or Eastern Indian-Antarctic Basin)	XX. Sunda-Graben (mit Planet-Tiefe)	7455
VI. (Teil des) India-Australia Basin; Sunda Trench	{ Java Trench Sumatra Trench Mentawai Trench		

punkten gespickt ist wie die Entwicklung bei den anderen Ozeanen, dennoch nicht frei von einigen Episoden, die auch den deutschen Anteil erkennen läßt:

1. die ersten beiden Tiefenkarten,
2. die lange Zeit als größte Tiefe des Ozeans geltende Lotung von 7000 m (SMS. „Planet“, das 1906 den Javanischen Graben entdeckt hat),
3. außerhalb des pazifisch beeinflussten Be-

reiches die größte Tiefe, die mit 6840 m von dem deutschen Kreuzer „Berlin“ 1928 gemessen worden ist,

4. die Entdeckung des Kerguelen-Gaussberg-Rückens durch E. v. DRYGALSKI.

Schon lange hat sich also das deutsche ozeanographische Interesse der Erforschung dieses Ozeans zugewandt, und es ist nur zu begrüßen, wenn jetzt umfassende Pläne auf internationaler Basis der Verwirklichung entgegenreifen.

## Schrifttum

Für alle herangezogenen Quellen, die bis 1930 erschienen sind, vgl.:

SCHOTT, G. (1935): Geographie des Indischen und Pazifischen Ozeans, Hamburg.

Die neuere Literatur wird hierunter nur auszugsweise angeführt:

*Oberkommando der Kriegsmarine* (1930—1939): Beihefte z. d. Nachr. f. Seefahrer Nr. 10 (1930), Nr. 12 (1931), Nr. 51 (1932), Nr. 25 (1934), Nr. 21 (1933), Nr. 19 (1936), Nr. 7 (1938, Nr. 19 (1939), Berlin.

*Hydrographic Department* (1930—1950): Lists of Oceanic Depths, London.

*Discovery Committee* bzw. *National Institut of Oceanography* (seit 1932): "Discovery" Reports — Station Lists. Cambridge.

VALLAUX, C. (1933): Géographie Générale des Mers. Paris. S. 279.

WÜST, G. (1934): Anzeichen von Beziehungen zwischen Bodenstrom und Relief in der Tiefsee des Indischen Ozeans. Naturwissenschaften 22. Berlin, S. 241.

*Carlsberg Foundation* (1934): Introduction to the Reports from the Carlsberg Foundation's oceanographical Expedition round the World 1928/30; Station List "Dana" Reports 1. Kopenhagen. S. 17.

GREVE, Sv. (1934): Echo Soundings, with introductory Remarks. "Dana" Reports 1. Kopenhagen. S. 79.

SEWELL, R. B. SEYMOUR (1935): Introduction and List of Stations; The John Murray Expedition 1. 1. London.

WÜST, G. (1935): Die Ausbreitung des antarktischen Bodenwassers im Atlantischen und Indischen Ozean. Ztschr. f. Geophysik 11. Braunschweig. S. 40.

FARQUHARSON, W. J. (1936): Topography. The John Murray Expedition, Scientific Rep. 1. 2. London. S. 43.

THOMPSEN, H. (1937): Hydrographical Observations made during the "Dana" Expedition 1928/30. "Dana" Reports 12. Kopenhagen.

WISEMAN, J. D. (1937): The Floor of the Arabia Sea. Geological Magazine 74. London. S. 219.

WÜST, G. (1938): Bodentemperatur und Bodenstrom in der atlantischen, indischen und pazifischen Tiefsee. Gerl. Beitr. z. Geophysik 54. Leipzig. 5. 1.

GREVE, Sv. (1938): Echo Soundings, an analysis of the Results. "Dana" Reports 14. Kopenhagen.

*Bureau Hydrographique International* (1938—1957): Carte Générale bathymétrique des Océans, 3. Aufl. 1:10 Mill., Bl. A IV (1938), A III (1 = 40), A' IV (1938), A' III (1942), B' IV (1954), B' III (1954), Monte Carlo.

CAMPBELL, S. A. C. *et alii* (1939): Soundings; B. A. N. Z. Antarctic Research Exp. Reports 3. 1. Adelaide.

MOSBY, H. (1940): Nomenclature of the Submarine Features of the Southern Seas I. A. P. O. Publ. Scient. 8. Liverpool. S. 95.

VAUGHAN, TH. W. (1940): General Discussion and Lists of Names applied to Submarine Features. I. A. P. O. Publ. Scient. 8. Liverpool. S. 100.

SEWELL SEYMOUR, R. B. (1940): The Indian Ocean. I. A. P. O. Publ. Scient. 8. Liverpool. S. 81.

MECKING, L. (1940): Ozeanische Bodenformen und ihre Beziehungen zum Bau der Erde. Pet. Mitt. Gotha.

STOCKS, TH. (1941): Die Tiefenverhältnisse des Golfs von Aden. Ztschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin. S. 207.

VENING MEINESZ, F. A. (1941, 1948): Gravity Expeditions at Sea. 3. 4. Delft.

SVERDRUP, H. U. *et alii* (1942): The Oceans, their Physics, Chemistry and general biology. Englewood Cliffs. N. J. 6. Aufl.

ROUCH, J. (1943): Traité d'Océanographie Physique. Paris. S. 231.

STOCKS, TH. (1944): Zur Bodengestaltung des nordwestlichen Indischen Ozeans. Ztschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin. S. 115.

*Comité central d'Océanographie* (seit 1948): Bulletin d'Information (Cahiers océanographiques). Paris.

STILLE, H. (1948): Ur- und Neuozeane. Abh. d. Dt. Akad. d. Wiss. Mathem.-Naturwiss. Klasse. Jahrg. 1945/46. Berlin.

BOURCART, J. (1949): Géographie du fond des Mers. Paris.

GUTENBERG, B. und C. F. RICHTER (1949): Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton. N. J.

DOUGUET, M. (1950): Rapport sur les observations faites par le "Commandant Charcot" 1948/49. Paris.

WÜST, G. (1951): Über die Fernwirkungen antarktischer und nordatlantischer Wassermassen in den Tiefen des Weltmeeres. Naturwiss. Rundsch. Stuttgart. S. 97.

(N.N. 1953): Recent French Bathymetrical operations in the Antarctic Ocean. Int. Hydr. Rev. 30. 1. Monaco. S. 65.

DIETZ, R. S. (1953): Possible Deep-Sea turbidity-current Channels in the Indian Ocean. Bull. Geol. Soc. Am. 64. S. 375.

FAIRBRIDGE, RH. W. (1954/55): Some bathymetric and geotectonic features of the eastern part of the Indian Ocean. Deep-Sea Research. 2. London. New York. S. 161.

*ders.* (1954): Report on Limits of the Indian Ocean. Proc. Pan Indian Ocean. Congress. Sect. F. Perth. S. 18.

WISEMAN, J. D. and G. P. D. HALL (1955/56): Two recently discovered features on the floor of the Indian Ocean: Andrew Tablemount and David Seaknoll. Deep-Sea Research. 3. London. New York. S. 262.

NARES, J. D. (1955/56): Leeuwin Sill. Deep Sea Research 3. London. New York. S. 150.

KOCZY, F. F. (1956): Echo Soundings. Reports of the Swedish Deep Sea Expedition 1947/48 (ss "Albatross") 4, 2. Göteborg.

DIETRICH, G. (1957): Allgemeine Meereskunde. Berlin.

BRUNN, A. F. (1957): General introduction to the Reports and Lists of Deep-Sea Stations. "Galathea" Report 1. Kopenhagen.

TEICHERT, C. (1958): Australia and Gondwanaland. Geolog. Rundschau 47. S. 562.

KORT, W. S. (1958): Hydrological, hydrochemical, geological and biological studies Research Ship "Ob" 1955/56. I. G. Y. Rep. of the Complex Antarctic Expedition of the Acad. of Sciences of the USSR. Leningrad. (In russ. Sprache.)

KILIERICH, A. (1959): Echo soundings taken from the Danish Research Ship "Galathea" 1957. (7 Karten in verschiedenen Maßstäben.) Kopenhagen.

KRAUS, E. (1959): Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane. Berlin. S. 178.

EWING M. and BR. C. HEEZEN (1960): Continuity of Mid-oceanic Ridges and Rift Valley in Southwest Indian Ocean, Confirmed on „Vema“ Expedition „Science“ (im Druck).