

Neue Erkenntnisse über den geologischen Aufbau der Ozeanböden

Von Richard Weyl.

Die Geologie hat sich als Wissenschaft von der stofflichen Beschaffenheit, vom Aufbau und der Geschichte der Erde im Laufe der letzten zweihundert Jahre im kontinentalen Bereich entwickelt, wobei hier die bald festländischen, bald von Flachsee bedeckten Räume des Schelfes dem Kontinente zugerechnet werden. Die weiten ozeanischen Gebiete, und das sind über zwei Drittel der Erdoberfläche, blieben dagegen den Blicken der Geologen weitgehend entzogen, und nur gelegentliche Zufallsfunde gaben Hinweise auf die Beschaffenheit der Erdkruste am Meeresgrunde. So darf es nicht verwundern, wenn die Ozeanböden bis in unsere Tage ein Zufluchtsort für oft sehr gewagte Hypothesen und Spekulationen blieben — der Name „Atlantis“ mag als Hinweis genügen — oder weitgehend ignoriert wurden.

Auch die großen Tiefsee-Expeditionen des vergangenen Jahrhunderts, die so überraschende Erkenntnisse vom Leben in den lichtlosen Tiefen der Weltmeere vermittelten, konnten das geologische Bild der Ozeanböden nicht aufhellen, ja sie verursachten sogar infolge einer nur spärlichen Anzahl von Drahtlotungen irriige Vorstellungen ihrer morphologischen Beschaffenheit.

Seit rund 30 Jahren haben nun neue Untersuchungsmethoden, die teilweise für ganz andere Bedürfnisse wie etwa die der Seefahrt entwickelt wurden, die Möglichkeit gegeben, auch unter einer kilometertiefen Wassersäule Beobachtungen zu sammeln, die sich langsam zu einem einigermaßen zuverlässigen Bilde von der Oberflächenbeschaffenheit, der Sedimentdecke und vom inne-

Antrittsvorlesung vor der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Justus-Liebig-Hochschule, am 20. Juni 1956.

ren Aufbau der Ozeanböden verdichten. Leider sind diese Methoden in ihrer Anwendung recht kostspielig und an größere seegehende Fahrzeuge gebunden, so daß sie nur von reich dotierten Instituten oder in Gemeinschaftsarbeit durchgeführt werden können, Voraussetzungen, die sich in Deutschland nach dem ersten Weltkrieg erfüllen ließen und zu den großen Forschungsfahrten der „Meteor“ führten, während Versuche neueren Datums, aktiv an der Erforschung der Ozeane durch Ausrüstung einer Expedition mitzuwirken, bedauerlicherweise gescheitert sind.

Auf den genannten Meteorfahrten der zwanziger Jahre wurde in großem Maßstabe das Verfahren der Echolotung angewendet, das unsere Kenntnisse vom Relief des Atlantikbodens grundlegend gewandelt hat. Während die vorhergehenden Drahtlotungen einen flachen, kaum gegliederten Boden vortäuschten und vom mittelatlantischen Rücken nur eine sehr vage Vorstellung vermittelten, konnten die zahlreichen Profilmfahrten der Meteor eine starke Gliederung des Reliefs nachweisen. Besonders eindrucksvoll war etwa die Entdeckung der Südsandwich-Rinne, einer Tiefseerinne am Außenrand des Südsandwich-Inselbogens, deren Existenz Eduard Suess auf Grund geologischer Erwägungen vorausgesagt hatte. Der mittelatlantische Rücken wurde als ein gewaltiges, von Island bis in die antarktischen Gewässer sich erstreckendes Gebirge erkannt, dessen Länge und Höhe in der Größenordnung der größten Gebirgssysteme des Festlandes liegen.

Die Entwicklung des Echographen, der die Echolotungen laufend in Form von Echogrammen registriert, bedeutete einen weiteren wesentlichen Fortschritt in der Möglichkeit, die Oberflächengestaltung der Ozeanböden zu ermitteln. Durch zahlreiche, im Laufe der letzten zwanzig Jahre aufgenommene Echogramme ließ sich etwa auf dem mittelatlantischen Rücken ein Gebirgsrelief nachweisen, das an Mannigfaltigkeit der Gliederung und Steilheit der Hänge dem Relief der kontinentalen Hochgebirge nicht nachsteht. Ferner wurde erkannt, daß der Kontinentalabfall von einer Unzahl tief eingeschnittener, vielfach sich verästelnder Täler durchfurcht ist. Japanische und US-amerikanische Arbeiten, die im wesentlichen zu militärischen Zwecken ausgeführt wurden, brachten reiche Erkenntnisse über die morphologische Beschaffenheit

des Pazifikbodens, und es darf als ein schönes Zeugnis der Überwindung internationaler Konflikte gewertet werden, daß die Ergebnisse nunmehr in gemeinschaftlichen Veröffentlichungen der Wissenschaft zugänglich gemacht werden (Dietz 1955).

Hiernach gliedert sich der Boden des Pazifiks in weite, flache Schwellen und Becken, denen Gruppen und Reihen von untermeerischen Bergen (seamounts) aufgesetzt sind. Solche submarinen Berge, die nur in wenigen Fällen den Meeresspiegel erreichen oder über ihn aufragen, kommen zwar auch im Atlantik vor, doch bilden sie im Formenschatz des Pazifiks, dem ein Gebirgszug wie der mittelatlantische Rücken fehlt, einen besonders auffallenden Zug.

Wo die submarinen Berge den Meeresspiegel überragen, geben sie sich als Vulkane zu erkennen, die dem flachen Meeresgrunde aufgesetzt sind. Die Hawai-Inseln sind eine Gruppe solcher Vulkane von rund 9 000 Metern absoluter Höhe, vom Meeresboden an gerechnet. Andere sind in Höhe des Meeresspiegels eingeebnet und von Korallenriffen überzogen. Bohrungen durch den Untergrund ergaben Mächtigkeiten der Korallenkalke von mehr als 500 Metern über einem Sockel vulkanischer Gesteine. Da Riffforallen nur in den durchlichteten obersten 80 Metern des Meeres gedeihen, wird hiermit eine erhebliche Absenkung solcher erloschenen Vulkane angezeigt.

Eine Überraschung war nun die Entdeckung zahlreicher untermeerischer Tafelberge, die zu Ehren eines französischen Forschers den Namen „Guyot“ erhalten haben. In Tiefen bis zu 2 000 Metern liegt die Gipfelplattform dieser Guyots. Auf ihr wurden in Grundproben Gerölle gefunden, wie sie durch die Brandung erzeugt werden, und dazu Reste von Flachwasserorganismen, also eindeutige Zeugnisse, daß die Oberfläche einmal in Nähe des Meeresspiegels gelegen haben muß. Da aber Schwankungen des Meeresspiegels von wesentlich mehr als 100 Metern allen sonstigen geologischen Beobachtungen zuwiderlaufen würden, bleibt nur die Annahme, daß die Guyots einmal höher aufgeragt haben, im Bereich der Brandung gekappt wurden und dann abgesunken sind. Schweremessungen in ihrem Bereich haben einen erheblichen Schwereüberschuß nachweisen lassen, der in

Übereinstimmung mit der Form der Tafelberge auf Vulkanbauten schließen läßt und zugleich das Absinken als isostatischen Ausgleich verständlich macht. Flache Eindellungen, die sich in dem umgebenden Ozeanboden zeigten, mögen als Gebiete gedeutet werden, die noch in die Abwärtsbewegungen einbezogen wurden, und Funde von Korallen kreidezeitlichen Alters auf dem Gipfel eines Tafelberges geben einen Anhalt für Dauer und Geschwindigkeit — besser Langsamkeit — der Bewegungen, die in der Größenordnung von Millimetern bis einem Zentimeter im Jahrhundert liegen mögen. (H. H. Hess 1947, G. L. Shurbet u. L. Worzel 1955.)

Eine weitere Überraschung war die Entdeckung großer untermeerischer Steilränder, wie beispielsweise des „Mendocino Steilrandes“ (in freier Übersetzung des im englischen Schrifttum gebräuchlichen Namens „Mendocino Submarine Escarpment“) (Menard u. Dietz 1952).

In genau westlicher Richtung zieht sich vom Kap Mendocino an der Kalifornischen Küste ein submariner Rücken, der nach Norden flach, nach Süden dagegen außerordentlich steil abfällt und ein nördliches Gebiet relativ seichten Tiefseebodens von einem südlichen großer Tiefen trennt. Die Länge des Abfalles beträgt mindestens 1 200 Seemeilen und erstreckt sich in 40° nördlicher Breite über gut 25 Längengrade, die Neigung liegt im Mittel um 7 bis 10 Grad, doch treten auch Hangwinkel von 18 bis 24 Grad auf. Die Höhe des Abfalles schwankt zwischen 2 500 und 3 000 Metern. Submarine Erosion scheidet für die Herausbildung von Niveauunterschieden derartiger Größenordnungen aus, so daß nur eine tektonische Deutung möglich ist und wohl an Bruchbewegungen zu denken sein wird. Vor Durchführung umfassender geophysikalischer Vermessungen, auf die als Grundlage tektonischer Erwägungen insbesondere auf dem Ozeanboden und beim Fehlen unmittelbarer geologischer Beobachtungen nicht mehr verzichtet werden kann, bescheiden sich aber die Entdecker des Mendocino Steilrandes mit vorsichtigster Andeutung etwaiger Interpretationsmöglichkeiten: Aufschiebung, Horizontalverschiebung mit gewisser Vertikalkomponente oder eine dem Kontinentalabfall entsprechende Struktur, die hier ein nördliches Gebiet halbkontinen-

talen Baues von dem südlichen rein ozeanischen Untergrundes trenne. Doch wird hierbei bemerkt, daß auch die Natur des Kontinentalabhanges noch nicht geklärt ist.

In der Erörterung um den Kontinentalabhang, der vom Schelfmeergürtel der Kontinente aus 200 m Tiefe verhältnismäßig rasch auf den 4 000—6 000 m tiefen Ozeanboden führt, spielen die sub-marinen Cañons eine besondere Rolle.

Sie waren zwar in einzelnen Beispielen wie dem Kongo-Cañon schon bekannt, doch ließ die zunehmende Vermessungstätigkeit sie weltweit in großer Anzahl nachweisen und zeigte einen Formenschatz, wie er bisher nur aus subaerischen Tälern steilen Gefälles vertraut war. Eine subaerische Entstehung der Cañons infolge weltweiter Meeresspiegelschwankungen in der Größenordnung von 1 000 bis 2 000 Metern stößt ebenso wie die Deutung der Guyots durch derartige Spiegelschwankungen auf größte Schwierigkeiten, da der Verbleib der Wassermassen nicht befriedigend erklärt werden kann. Wenn man aber subaerische Erosion annehmen will — und die Formen sprechen hierfür — so bleibt nur der Schluß, daß sich im Gebiete des heutigen Kontinentalabhanges in erdgeschichtlicher Vergangenheit Senkungen größten Ausmaßes abgepielt haben, so daß ein subaerisch geschaffenes Relief unter den Meeresspiegel untertauchte. Den Schwierigkeiten, die mit dieser Hypothese verknüpft sind, entgeht die Annahme submariner Erosion, die durch schlammbeladene Wassermassen hervorgerufen werde, welche auf Grund ihres hohen spezifischen Gewichtes als sogenannte Trübestrome vom Schelfmeerboden den Kontinentalabhang hinunterfließen. Wenn auch das Auftreten derartiger Trübestrome als gesichert gelten darf und für den Sedimenttransport eine erhebliche Rolle spielt, wie wir noch sehen werden, so bleibt doch fraglich, ob sie im Stande sind, Erosionswirkungen so großen Ausmaßes auszuüben, wie es zum Einschneiden der submarinen Cañons erforderlich ist. Shepard (1951) hat daher die Ansicht vertreten, daß mehrere Ursachen für die Herausbildung der Cañons verantwortlich seien, eine subaerische Erosion bei höherem Niveau des heutigen Kontinentalabhanges und submarine Ausgestaltung und Offenhalten durch

Trübestrome bei gleichzeitiger Erhöhung des benachbarten Meeresbodens durch Sedimentation.

Die Diskussion um die Entstehung der submarinen Cañons zeigt eindringlich, daß die vermehrte Kenntnis des Reliefs der Ozeanböden eine Fülle neuer Probleme aufwirft, deren Beantwortung noch keineswegs als gesichert gelten darf, die auch nicht aus dem morphologischen Befund allein möglich sein wird, sondern sich der Ergebnisse ganz anderer Forschungsgebiete wie der Geophysik und Sedimentkunde bedienen muß.

Lassen Echolot und Echograph die Oberflächenformen der Ozeanböden erkennen und haben unsere Vorstellungen seit einer Generation grundlegend gewandelt, so geben uns die Methoden der Geophysik einen Einblick in den inneren Aufbau der Erdkruste, der besonders dort wichtig ist, wo sie sich der unmittelbaren geologischen Erforschung entzieht.

Altbekannt ist die durch zahlreiche neue Meßreihen bestätigte Feststellung, daß die Schwereverteilung auf der Erde — von einzelnen Störungsgebieten abgesehen — erstaunlich gleichmäßig ist, obgleich zwischen den Kontinenten mit ihren hoch aufragenden Gesteinsmassen und den Ozeanen mit ihrer relativ leichteren Wassersäule erhebliche Unterschiede zu erwarten wären. Man deutet diese Erscheinung in der Weise, daß man unter den Kontinenten, insbesondere ihren Hochgebieten Gesteine verhältnismäßig geringer Dichte bis in relativ große Tiefen annimmt, während umgekehrt unter den Böden der Ozeane besonders schwere Gesteine liegen, die das Schweredefizit der leichteren Wassermassen ausgleichen. Den so erreichten Gleichgewichtszustand nennt man *Isostasie*, und zu ihrer Veranschaulichung verwendet man gerne das Bild schwimmender Eisschollen oder Holzklötze, die ihrer Dicke entsprechend verschieden hoch aus dem Wasser aufragen und den Kontinenten und ihren Gebirgen entsprechen.

Eine Bestätigung fand diese Annahme in Beobachtungen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Oberflächenwellen (L-Wellen) der Erdbeben, die sich in ozeanischen Gebieten rascher fortpflanzen als auf den Kontinenten. Da nun ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Dichte der durchlaufenen Gesteine

steigt, bedeutet höhere Geschwindigkeit am Grunde der Ozeane, daß dort Gesteine höherer Dichte liegen als auf den Kontinenten.

Weiterhin hatte sich gezeigt, daß die longitudinalen (P) Wellen an einer zu Ehren ihres Entdeckers benannten Grenzfläche, der Mohorovičić-Grenzfläche, sprunghaft eine höhere Fortpflanzungsgeschwindigkeit annehmen. Die Mohorovičić-Grenzfläche wird daher als Untergrenze der Erdkruste angesehen, die unter den Kontinenten in einer Tiefe von etwa 30 km liegt, während sie unter den Ozeanen auf rund 10 km Tiefe ansteigt.

Innerhalb der Kontinente war eine zweite Grenzfläche zu verzeichnen, die in 10—20 km Tiefe gelegene Conrad-Fläche, die zu einer Gliederung in Unter- und Oberkruste führte, wobei man sich die Oberkruste aus den der unmittelbaren geologischen Beobachtung zugänglichen Gesteinen vom Typus der Granite und Gneise mit einer Dichte von 2,7 und die Unterkruste aus gabbroartigen Gesteinen von einer Dichte um 3,0 aufgebaut vorstellen darf. Für die Oberkruste wird auch der Ausdruck Sial oder Granitschicht, für die Unterkruste der Ausdruck Sima oder Gabbroschicht verwendet. Unterhalb der Mohorovičić-Grenzfläche beginnt dann der Mantel mit Material von der Dichte 3,3 und mehr, den man sich aus peridotitischem Material bestehend vorstellt.

Die Auffassungen über den Aufbau der Ozeanböden gingen aber noch bis in die letzten Jahre weit auseinander. Dem Atlantischen und Indischen Ozean wurde eine Oberkruste (Sial) zugesprochen, während sie auf dem Grunde des Pazifik gänzlich fehlen sollte. Nach anderer Auffassung hätte auch dieser eine 6—20 km mächtige Lage sialischer Gesteine aufzuweisen, während wieder andere Meinungen dahin gingen, daß keiner der Ozeane sialisches Material beherberge (Ewing 1952).

Hier scheinen Beobachtungen, die vor allem auf den amerikanischen Geologen und Geophysiker Ewing zurückgehen, eine Entscheidung zu ermöglichen. Ewing und nach ihm andere untersuchten den Verlauf künstlich erzeugter Erdbebenwellen, die durch Unterwassersprengungen hervorgerufen wurden, und es konnten mit Hilfe dieser refraktionsseismischen Messungen recht genaue Aussagen über die Tiefenlage der Grenzflächen unter dem Ozeanboden und über die Fortpflanzungsge-

schwindigkeit innerhalb der einzelnen, durch die Grenzflächen getrennten Krustenschichten gewonnen werden. Ein Vergleich mit sorgfältig überprüften kontinentalen Messungen bestätigte den grundsätzlichen Unterschied im Aufbau der Erdkruste zwischen Kontinenten und Ozeanen (Ewing u. Press 1955, Worzel u. Shurbet 1955).

Ewing unterscheidet folgende Schichten: Wasser mit der Dichte 1,03, Sedimente mit der Dichte 2,30, die Kruste mit der Dichte 2,84, die bei seinen Berechnungen nicht in Ober- und Unterkruste gegliedert erscheint, und den Mantel mit der Dichte 3,27. Aus den untersuchten Einzelprofilen werden jeweils Standardprofile für Kontinente und Ozeane aufgestellt, die folgendermaßen lauten:

Kontinent	Ozean
Kruste 33 km	Wasser 5 km
	Sedimente 1 km
	Kruste 4,5 km

Mohorovičić-Grenzfläche Mantel

Innerhalb der Ozeane sind hiernach keine grundsätzlichen Unterschiede mehr vorhanden, und die früher angenommene Sonderstellung des Pazifik wird nicht mehr aufrechterhalten. Die Mohorovičić-Grenzfläche steigt im Gebiet des Kontinentalabhanges von rund 33 km unter den Kontinenten auf rund 10 km unter dem Ozeanspiegel an, die Sedimentdecke, die im Gebiet des Schelfes besonders mächtig sein dürfte, dünnt in den ozeanischen Räumen auf nur etwa 1 km aus.

Versucht man nun noch, das so gewonnene Bild vom Aufbau der Kontinente und Ozeane in stofflicher Hinsicht zu ergänzen, so gibt die regionale Petrographie wertvolle Hinweise. Wir wissen, daß die Kontinente, abgesehen von einer Sedimentdecke sehr schwankender Mächtigkeit, aus kieselsäurereichen kristallinen Schiefen und magmatischen Gesteinen aufgebaut sind. Weiterhin haben wir Gründe zu der Annahme, daß sich mit zunehmender

Tiefe basische Gesteine einstellen. Dagegen herrscht in der Magmenförderung des Pazifischen wie des Atlantischen Ozeans basaltisches, also kieselsäurearmes schweres Material weitaus vor, und es sind keine Gesteine von kontinentalem Typ gefunden worden (wobei von den ihrem Aufbau nach zum Kontinent gehörenden Inselketten des West-Pazifik abzusehen ist). Der Indische Ozean hat dagegen eine Sonderstellung, insofern auf seinen Inseln kontinentale Gesteine vorkommen, und er nach unserer Kenntnis von der erdgeschichtlichen Vergangenheit der Südhalbkugel ein Teil des paläozoischen Gondwanakontinentes ist, der durch Versenken zum Ozeanboden wurde.

Schweremessungen in den ozeanischen Randgebieten der großen, noch aktiven zirkumpazifischen Gebirgsketten zeigten erstmalig in Indonesien, später vor den Philippinen, den Japanischen Inseln, den Aläuten und dem in den Atlantischen Raum vorspringenden Antillenbogen langgestreckte schmale Streifen starker negativer Anomalien (bis über 200 mgal). Zu Ehren ihres Entdeckers werden sie als Vening-Meinesz-Zonen bezeichnet. Als Ursache dieser Anomalien wurde eine örtliche Verdickung der leichteren Oberkruste angenommen, die Vening-Meinesz als Einknickung der Kruste, van Bemmelen als Anreicherung leichter Schmelzen im Untergrund deuten möchten.

Refraktionsmessungen über der Vening-Meinesz-Zone auf der Nordseite des Antillenbogens ergaben nun überraschend, daß hier im Bereich der Puerto-Rico-Rinne bis 12 km mächtige unverfestigte Sedimente von geringer Dichte liegen müssen, die allein genügen würden, die Schwereanomalie zu erklären. Eine Ansammlung so mächtiger Sedimente wird durch die Wirkung von Trübeströmen erklärt, auf die wir noch zu sprechen kommen (Ewing u. Worzel 1954).

Sollten sich derartige Beobachtungen auch anderwärts in den Vening-Meinesz-Zonen einstellen, so würde dies bedeuten, daß zahlreiche in den letzten Jahren lebhaft diskutierte Hypothesen über Gebirgsbau und Gebirgsbildung zu revidieren sind, da der leichte Tiefenwulst als „Wurzel der Gebirge“ in ihren Gedankengebäuden eine bedeutsame Rolle spielt.

Die systematische Untersuchung der Tiefseesedimente

begann 1872 mit der Challenger-Expedition. Sie fand ihren Niederschlag in vielfach ergänzten und berichtigten, im Prinzip aber gleichen Karten der marinen Sedimente, die sich auf die Oberfläche der Weltmeere bezogen wie folgt verteilen (nach Brinkmann 1956):

Flachseeabsätze		8%
Hemipelagische Absätze	Blauschlick	15%
	Grünschlick und Sand	1%
	sonstige	2%
Eupelagische Absätze	Globigerinenschlamm	36%
	Roter Ton	28%
	Radiolarienschlamm	2%
	Diatomeenschlamm	8%

Der Blauschlick findet sich am Kontinentalabhang in Tiefen zwischen 1 500 und 2 500 m und wird aus festländischen Abtragsprodukten verhältnismäßig rasch aufgeschüttet. Seine Farbe verdankt er einem Gehalt an Schwefeleisen. Globigerinenschlamm, der aus unzähligen kleinsten Kalkgehäusen planktonischer Organismen zusammengesetzt ist, bedeckt die flacheren Teile der Tiefsee zwischen 2 000 und 5 000 Metern. In größeren Tiefen gehen diese Schalen jedoch in dem kalten, CO₂-reichen und an Kalk untersättigten Tiefenwasser in Lösung, so daß hier als Rückstand der rote Tiefseeton vorherrscht. Er ist ein sehr feiner Schlick, dessen rotbraune Farbe auf vollständiger Oxydation der Eisenverbindungen beruht. Gelegentlich sind in ihm Kieselskelette von Radiolarien in so reichem Maße enthalten, daß es zur Bildung des ebenfalls auf die größten Tiefen der Weltmeere beschränkten Radiolarienschlammes kommt. Polarwärts gesellt sich zu diesen Sedimenten ein Gürtel von Diatomeenschlamm, der aus Kieselalgen aufgebaut wird, die in den kühleren Meeren günstige Lebensbedingungen finden.

Dieses klassische Bild der Sedimente des Tiefseebodens kann nun wesentlich ergänzt werden, nachdem es gelungen ist, mit Hilfe sinnreicher Apparaturen bis zu 20 m lange Sedimentkerne selbst aus größten Wassertiefen zu gewinnen. Es zeigt sich einmal, daß in der bisher bekannten Sedimentationsform eines kontinuier-

lichen Regens feinsten Partikel auf den Ozeanboden erhebliche Schwankungen vorkommen, die sich mit den Klimaschwankungen der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit in Zusammenhang bringen lassen, zum andern, daß eigenartige, zuvor unbekannt Typen klastischer Sedimente kontinentaler Abkunft in großen Meerestiefen auftreten, wo sie vielfach unter einer dünnen Decke „klassischer“ Tiefseesedimente verborgen liegen (Ericson, Ewing, Heezen, Wollin 1955).

Kerne, die nach Sedimentzusammensetzung und Fundort auf eine ungestörte Sedimentation schließen lassen, haben in einzelnen Fällen auf wenigen Metern Länge vollständige Abfolgen oligozäner bis pleistozäner Foraminiferenfaunen erbracht, und damit den Beweis für eine sehr langsame Sedimentation ozeanischer Sedimente geliefert, auf die man schon früher aus dem Vorkommen jungtertiärer Haifischzähne in den oberflächennahen Sedimenten geschlossen hatte.

Ferner konnte ein rhythmischer Wechsel von Foraminiferengesellschaften festgestellt werden (Schott 1952), die bald auf kühleres, bald auf wärmeres Wasser hinweisen. In anderen Kernen, die man aus der temperaturkritischen Grenzzone zwischen Globigerinenschlamm und rotem Ton entnommen hatte (Hough 1953), fand sich ein Wechsel zwischen Kalksedimentation und Tonablagerung, der ebenfalls einen Wechsel der Wassertemperaturen anzeigt. Die so in den Tiefseesedimenten aufgezeichneten Thermogramme stimmen mit dem Bilde der eiszeitlichen Klimaschwankungen weitgehend überein, die auf Grund erdweit verbreiteter Gletscherspuren und anderer Klimazeugnisse für das Pleistozän angenommen werden. Vermutlich ist sogar die Klima-abfolge der jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit in den Tiefseesedimenten sehr viel vollständiger und genauer aufgezeichnet, als in den meist lückenhaften Ablagerungen des Festlandes oder der Flachmeere. Ihre Auswertung kann zu den interessantesten Gegenwartsaufgaben der Geologie gerechnet werden.

Die Feststellung eines klimabedingten Schichtwechsels auf dem Ozeanboden ist die Bestätigung schon 1910 von Philippi, im Anschluß an die Gauss-Expedition erörterter Klimaeinflüsse auf die ozeanische Sedimentation. Er hatte auch schon einer ande-

ren Erscheinung seine Aufmerksamkeit zugewendet, den sogenannten Tiefseesanden, d. h. gröberen Sanden offensichtlich kontinentalen Ursprungs inmitten echter Tiefseesedimente und in weiter Entfernung von den Kontinentalrändern. Eine restlos befriedigende Erklärung dieser Tiefseesande konnte jedoch noch nicht gefunden werden.

Hier boten die seit 1940 systematisch gesammelten Kerne, die amerikanischen Expeditionen und der schwedischen Albatross-Expedition *Pettersson's* zu verdanken sind, ganz neue Beobachtungs- und Deutungsmöglichkeiten. In zahlreichen dieser Kerne fanden sich, meist unter einer Decke von Foraminiferenschlick grobklastische Sedimente. Sie bestehen z. T. aus durcheinandergemengten, wirr gelagerten Bruchstücken älterer Meeresabsätze, metamorphen und magmatischen Gesteinen, untermengt mit Resten von Flachseeorganismen, unter denen Mollusken, Kalkalgen und andere Pflanzenreste zu erwähnen sind. Derartige Ablagerungen können nur bei rascher, ja katastrophentypischer Zusammenschwemmung entstehen. Mit ihnen wechseln Sande, die deutlich nach der Korngröße in der Weise sortiert sind, daß sie mit grobem Korn im Liegenden einsetzen und nach oben zu feiner werden, also eine Schichtung aufweisen, wie man sie künstlich erzeugen kann, indem man eine Aufschwemmung von verschiedenkörnigem Material zunächst durcheinanderwirbelt und dann absitzen läßt („gradierte Schichtung“).

Für die Deutung dieser eigenartigen Sedimente ist der Fundort wesentlich. Sie kommen im Bereich der submarinen Cañons und auf ihrem flach geneigten ozeanischen Vorfelde vor, ferner in tiefen Becken und den Tiefseerinnen, fehlen dagegen auf isolierten Erhebungen des Ozeanbodens.

Von den Hypothesen, die zur Erklärung aufgestellt wurden, scheint sich die der Trübestrome (*turbidity currents*) zu bestätigen. Hiernach sollen in der Flachsee bei Stürmen erhebliche Sedimentmassen vom Meeresgrunde aufgewirbelt werden und eine spezifisch schwerere Wolke innerhalb des Wassers bilden, die am Kontinentalabhang abgleiten und sich in ihrem Vorfeld ausbreiten kann. Auch Seebeben sollen derartige Trübestrome auslösen. Sie hinterlassen sowohl die wirren Sedimentmassen wie

die Sande mit gradierter Schichtung. D a l y hat 1936 solche Trübestrome für die Erosion der submarinen Cañons herangezogen und dabei die Ansicht vertreten, daß durch eustatische Absenkung des Meeresspiegels während der Vereisungsphasen des Pleistozäns um rund 100 m eine verstärkte Abwirbelung von Sedimenten auf dem Schelf eingetreten sei. Demnach müßte die Masse der von den Trübestromen abgelagerten Sedimente der jüngeren geologischen Vergangenheit angehören, was sich mit der Beobachtung deckt, daß sie vielfach von normalen Tiefseesedimenten überlagert sind. K u e n e n (K u e n e n u. M i g l i o r i n i 1950) hat Trübestrome experimentell erzeugt und durch sie Sedimente erhalten, die erstaunlich gut mit denen der Natur übereinstimmen.

Einen drastischen Beweis für das Auftreten von Sedimentströmen auf dem Meeresgrund erbrachten Kabelbrüche, die sich 1929 infolge eines Seebebens im Gebiet südlich Neufundlands ereigneten. Während im Raume des Epizentrums sämtliche Kabel im Augenblick des Bebens unterbrochen wurden, brachen andere, auf dem vorgelagerten Kontinentalabhang gelegene Kabel erst im Verlauf von 13 Stunden, und zwar um so später, je weiter sie vom Epizentrum entfernt lagen. Sie wurden, wie sich bei der späteren Untersuchung des Gebietes herausstellte, unter Sedimenten begraben, die in einigen Kernen deutlich gradierte Schichtung erkennen lassen. Es liegt also der Schluß nahe, daß durch das Beben eine Sedimentwolke aufgewirbelt wurde, die im Laufe von Stunden den Kontinentalabhang hinunterglitt, dabei die Kabel zerbrach und unter den sich absetzenden Sedimenten begrub (H e e z e n, E r i c s o n u. E w i n g 1954).

Die Kenntnis der Trübestrome und der von ihnen hinterlassenen Sedimente ist für die Geologie von großer Bedeutung, da sie bisher schwer erklärbare Strukturen vorzeitlicher Meeresablagerungen und das unmittelbare Nebeneinander von Gesteinen erklären hilft, die nach ihrem Entstehungsorte nicht nebeneinander liegen dürften.

Die wenigen, hier erörterten Beispiele mögen zeigen, daß es neben der altüberlieferten Geologie der Flachmeere und Festländer heute eine „Geologie der Ozeane“ gibt, die in zunehmendem Maße dazu beitragen wird, unser Bild vom Aufbau der Erd-

kruste zu ergänzen und zu erweitern. Darüber hinaus ist sie in der Lage, Vorstellungen zu überprüfen, die auf dem Festlande gewonnen wurden, und Beobachtungen zu deuten, für die bisher befriedigende Erklärungen noch nicht gefunden waren.

Schriften

- Dietz, R. S.: Japanese Bathymetric Chart 6901. — Bull. Geol. Soc. Amer. **66**, 1955.
- Ericson, D., Ewing, M., Heezen, B. C., Wollin, G.: Sediment Deposition in Deep Atlantic. — Geol. Soc. America Spec. Paper **62**, 1955.
- Ewing, M., Press, F.: Geophysical Contrasts between Continents and Ocean Basins. — Geol. Soc. America Spec. Paper **62**, 1955.
- Ewing, M. u. Worzel, J. L.: Gravity Anomalies and Structure of the West Indies. — Bull. Geol. Soc. America **65**, 1954.
- Heezen, B. C., Ericson, D. B. u. Ewing, M.: Further evidence for a turbidity current following the 1929 Grand Banks Earthquake. — Deep-Sea Research **1**, 1954.
- Hess, H. H.: Drowned ancient islands of the Pacific Basin. — Smithsonian Report for 1947.
- Hough, J. L.: Pleistocene climatic record in a Pacific Ocean core sample. — Journ. Geol. **61**, 1953.
- Kuenen, Ph. H.: Marine Geology. New York 1950.
- Kuenen, Ph. H. u. Migliorini, C. I.: Turbidity currents as a cause of graded bedding. — Journ. Geol. **58**, 1950.
- Menard, H. W. u. Dietz, R. S.: Mendocino submarine escarpment. — Journ. Geol. **60**, 1952.
- Schott, W.: Zur Klimaschichtung der Tiefseesedimente im äquatorialen Atlantischen Ozean. — Geol. Rundschau **40**, 1952.
- Shepard, F. P.: Composite origin of submarine cañons. — Journ. Geology **60**, 1952.
- Shurbet, G. L. u. Worzel, J. L.: Gravity anomalies associated with seamounts. — Bull. Geol. Soc. America **66**, 1955.
- Tolstoy, I.: Submarine Topography in the North Atlantic. — Bull. Geol. Soc. America **62**, 1951.
- Worzel, J. L. u. Shurbet, G. L.: Gravity Interpretations from Standart Oceanic and Continental Crustal Sections. — Geol. Soc. Amer. Spec. Paper **62**, 1955.