

Geolog. Rundschau

11. 5. 6.

II. Besprechungen.

Über Sedimentbildung am Meeresboden.

Von **K. Andréé** (Königsberg i. Pr.).

4. Fortsetzung¹⁾.

Der Rote Tiefseeton.

Von den küstenfernen Ablagerungen abyssischer Tiefen ist der Rote Tiefseeton die am weitesten verbreitete und wohl auch bezeichnendste. Aber wie sie die größten Tiefen am weitesten entfernt von unseren Küsten, mit ihrem Hauptgebiete im Pazifischen Ozean, erfüllt, birgt sie auch noch die größten Geheimnisse irdischer Sedimentbildung. Als der »Challenger« zum ersten Male auf seinem Wege zwischen Teneriffa und Westindien im Jahre 1873 alle Tiefen von mehr als 4800 m mit einem eigenartigen Ton bedeckt sah, glaubte man hierin feinste kontinentale Zersetzungsprodukte sehen zu müssen, die lange im Meerwasser suspendiert blieben und von Strömungen bis in die zentralen Teile der Weltmeere transportiert wurden. WYVILLE THOMSON selbst, der Leiter der Expedition, hat eine Zeitlang die Ansicht vertreten, daß der r. T. einen organogenen Ursprung habe, und in ihm den unlöslichen Rückstand, gewissermaßen die Asche der kalkigen Hartgebilde des Globigerinenschlammes bei ihrer Auflösung durch das Meerwasser vermutet. Nachdem er sich jedoch überzeugt hatte, daß die Kalkschalen des Globigerinenschlammes Tonerdesilikate nicht enthalten, neigte er sich mehr der schon 1877 von J. MURRAY vertretenen und jetzt zur herrschenden gewordenen Ansicht zu, nach welcher der r. T. als Zersetzungsprodukt von tonerdehaltigen Silikaten und Gesteinen anzusehen ist, die durch subaerische und submarine Vulkanausbrüche über den Meeresboden ausgebreitet wurden und dort unverdünnt in Erscheinung treten, wo sie durch die Reste kalkschaligen Planktons nicht mehr maskiert werden. In zweiter Linie kommt aber auch die in einer Art kolloidalen Zustandes verbreitete, feinste tonige Materie chersogener Herkunft in Betracht. Die Zersetzung dieser tonerdehaltigen Muttersubstanzen erfolgte auf dem Meeresboden in situ, der r. T. stellt also gewissermaßen submarines Eluvium (vergleichbar dem subaerischen »residual clay« der nord-amerikanischen Autoren) dar.

¹⁾ Schließt an S. 144 dieses Bandes an.

Die Farbe des r. T. zeigt die verschiedensten Abstufungen. Im Nordatlantischen Ozean neigt sie wegen reichlicheren Gehalts an Eisenoxyd mehr zum Ziegelrot; die r. T.e des Brasilianischen Beckens, des Indischen und des Südpazifischen Ozeans sind mehr schokoladenbraun, weil hier die Beimengung von feinen Braunsteinkörnchen eine große ist; die Sedimente der Kapmulde und eine vom »Gauß« (242) in der Romanche-Tiefe gelotete Probe zeichnen sich, wahrscheinlich im Zusammenhange mit dem reicheren Gehalt an Mineralfragmenten, durch hellere Farben aus, die zwischen Graubraun und Gelbbraun liegen. In Landnähe endlich kann durch eingeschwemmtes frischeres Mineralmaterial die Farbe mehr bläulich als rot werden, wie das dort der Fall ist, wo der r. T. ohne Vermittlung des Globigerinenschlammes in den Blauschlick übergeht. Das gilt z. B. für große Strecken der Begrenzung der nordpazifischen Tiefsee vor den amerikanischen Kontinental- und den ostasiatischen Inselküsten, aber auch für die Gegend südlich von den Neufundlandbänken.

Der r. T. ist ein echtes Erzeugnis der wahren Tiefsee. Das mag folgende Zusammenstellung zeigen:

Rote Tone	Anzahl	Aus	Geringste Tiefe	Größte Tiefe	Mittlere Tiefe
der »Tuscarora«	97	nordpazifischem Ozean	—	—	5230 m
des »Albatroß« 1899/1900	26	tropisch-pazifischem Ozean	4142 m	—	4777 »
des »Albatroß« 1904/05	16	» » »	3575 »	5706 m	4396 »
des »Challenger«	70	allen drei Ozeanen	4069 »	7224 »	4993 »
der »Valdivia«	7	atlantischem u. ind. Ozean	4709 »	5911 »	5288 »
des »Gauß«	11	» » » »	4930 »	7230 »	5368 »

Die zuoberst liegende Schicht des r. T.s pflegt ein beweglicher, wässriger, oft heller gefärbter Schlamm zu sein; darunter aber liegt, vom »Gauß« einmal mit der Lotröhre bis zu 80 cm Tiefe durchsunken, ein sehr steifer, kompakter Ton. Im frischen, feuchten Zustande sehr plastisch und knetbar, wird die zähe Masse getrocknet sehr hart, läßt sich mit dem Finger nicht mehr zerteilen und leistet selbst dem Messer Widerstand, so daß man sie mit dem Hammer zerschlagen muß. Beim Anhauchen gibt das Sediment den charakteristischen Tongeruch von sich; nach dem Reiben mit dem Fingernagel wird es glänzend. Durch Brennen wird es grellrot; es bedarf großer Hitzegrade, um alles Wasser auszutreiben. Oft ist der r. T. in den einzelnen Lagen etwas abweichend gefärbt und auch chemisch verschieden zusammengesetzt, was uns später in einer besonderen Darstellung noch interessieren wird. Gefleckt zeigt er sich, wo sich Brocken von vulkanischem Glas, Bimsstein oder Lava darin zersetzt haben oder sich Manganknötchen dichter zusammendrängen. Meistens aber ist das von der Lotröhre heraufgebrachte Material

eine homogene Masse, die sich, zwischen den Fingerspitzen zerrieben, ganz fein und seifig anfühlt, aber auch härtere Teilchen wahrnehmen läßt, die sich unter dem Mikroskop als Mineralkörner erweisen. Dredscheproben jedoch zeigen, daß der r. T. in seiner Gesamtmasse doch ein gemischtes Sediment darstellt, welches, wie in einer Paste, eine Menge harter Fremdkörper birgt: Haifischzähne, Gehörknochen von Delphinen und Walfischen, große und kleine Brocken von Bimsstein und anderen vulkanischen Auswürflingen, alle mehr oder weniger (zersetzt und) stark eingehüllt in Krusten von Mangansuperoxyden, die für sich sogar ganze Manganknollen von Kartoffel- bis Faustgröße bilden.

An kohlen-saurem Kalk war in den 70 »Challenger«-Proben in 13 Fällen gar nichts, in 21 nur eine Spur nachzuweisen. Von den 7 »Valdivia«-Proben waren 4, von den 11 »Gauß«-Proben 3 gänzlich kalkfrei. Selten sind mehr als einige Prozent vorhanden; wo das doch der Fall ist, enthalten die Tone zumeist Kontinentalminerale und stellen Übergänge zum Globigerinenschlamm dar. Im übrigen gibt auch über den Kalkgehalt folgende Tabelle weiteren Aufschluß:

Kalkgehalt der Roten Tiefseetone	Minimum	Maximum	Mittel
des »Challenger«	0 %	28,88 %	6,70 %
der »Valdivia«	0 %	4,00 %	1,30 %
des »Gauß«	0 %	27,30 %	9,80 %

Das abweichende Verhalten der »Valdivia«-Proben rührt daher, daß die meisten r. T.e dieser Expedition aus dem Indischen Ozean stammen, in welchem schon in relativ geringer Tiefe völlige Kalkfreiheit eintritt, worauf später zurückzukommen sein wird.

Der Kalkgehalt der r. T.e ist in der Hauptsache auf pelagische Foraminiferen, weniger auf benthonische zurückzuführen. Ziemlich verbreitet scheinen auch winzige Fischzähne zu sein, seltener Echinodermenfragmente und Ostracodenschalen. Am seltensten sind Coccolithen oder gar Cephalopodenkiefer, sowie Ptero- und Heteropodenreste. Alle diese Kalkschalen sind häufig zerbrochen.

Besser erhalten sind in der Regel die Reste kieselschaliger Organismen. Wo solche, insbesondere Radiolarienschälchen, sich über größere Flächen der tropischen Meere hinweg anhäufen, geht der r. T. in die Fazies des Radiolarienschlammes über, dessen Hauptverbreitungsgebiete im Indischen und Pazifischen Ozean liegen. Neben den Radiolarienresten sind in den r. T.en Spongiennadeln sehr verbreitet; wohl selten ganz fehlend, schwankt indessen an den einzelnen Fundstellen ihre Häufigkeit sehr zwischen starker Anhäufung und nur vereinzeltem Auftreten. Die Kieselspongien scheinen demnach an enger begrenzte Bezirke des r. T.-Bodens geknüpft zu sein. In den 70 r. T.en des »Challenger« fanden sich Radiolarien 61mal, Spongiennadeln 49mal, Diatomeen 32mal; außerdem erwähnt der »Challenger«-Bericht noch agglu-

tinierende Foraminiferen der Familien der Astrorhizidae, Lituolidae und Textularidae 49mal. Wenn man aber bedenkt, daß der r. T. das Wohngebiet einer charakteristischen Fauna darstellt, die zwar nicht so volkreich ist wie die anderer pelagischer Sedimente, aber in der Dredsche doch reichlich erhalten wird, so muß es doch auffallen, wie verhältnismäßig wenig von den harten Gerüsten dieser Formen im r. T. selbst erhalten bleibt.

Behandelt man r. T. mit verdünnter Salzsäure, so bleibt ein unlöslicher Rückstand, welcher — außer aus den Resten der zuletzt genannten kieselschaligen bzw. agglutinierenden Organismen — noch aus Mineralkörnern und feinsten Abschlammungen besteht, welche letztere ihrerseits aus den allerfeinsten Bruchstücken von Kieselschälchen und Mineralkörnern und Tonsubstanz sich zusammensetzen. Während der ganze Rückstand bei den 70 r. T.en des »Challenger« sich im Durchschnitt auf 93,30% belief, machten kieselige Organismen im Durchschnitt 2,39, Mineralkörner über 0,01 mm Durchmesser 5,56 und feinstes Schlammprodukt 85,35% des Sedimentes aus. Die Mineralkörner sind sehr verschiedenen Ursprunges. Die Hauptmasse ist, wie schon das gröbere Dredschematerial zeigt, vulkanischer Herkunft; namentlich überwiegen Bimssteine in feinsten Splintern bis zu Dimensionen von Kopfgröße, frisch und in allen Stadien der Verwitterung. Daneben treten Körnchen von Sanidin, Plagioklas, Hornblende, Magnetit, basischen vulkanischen Gläsern und deren Umbildungsprodukt Palagonit, auch Brocken von Basaltgläsern und -laven, sowie Augitandesiten usw. auf. Wo solche vulkanische Komponenten vorhanden sind, stellen sich besonders gern und reichlich auch die Körnchen von Braunstein und Eisenoxyd ein und bilden sich vor allem um die Bimssteinbrocken die Manganknollen. In fast allen Proben sind auch kleine schwarze Magneteisenkugeln vertreten. Der nordatlantische r. T. enthält auch abgerollte Quarzkörnchen, welche als »Passatstaub« aus der afrikanischen Wüste über 40° w. L. hinaus entführt worden sein dürften. Ähnliche Quarzkörnchen fand GÜMBEL (51) in Sedimenten aus der Nähe der Fidschi-Inseln und in solchen des Indischen Ozeans, auch fehlen sie dem r. T. um Australien nicht. Besonders auffallende Mengen »kontinentaler« Mineralien (d. h. Quarz, Tiefengesteinsfeldspäte, gemeine Hornblende usw.) fand aber der »Gauß« mehrfach im Südatlantischen Ozean, wo die Menge der wägbaren Mineralkörner an einzelnen Stationen bis auf 35,6% stieg. Solchen »Tiefseesanden« wird später eine besondere Besprechung gewidmet werden. Sehen wir von diesen immerhin Ausnahmen bildenden Fällen ab, so war J. MURRAY bezüglich der jungvulkanischen Mineralkörner der Meinung, daß dieselben vorwiegend äolisch verfrachtete vulkanische Staub- und Aschenmassen darstellten, während sein Arbeitsgenosse RENARD mehr an submarine Eruptionen dachte. Es ist aber bis heute noch nicht möglich, mehr als Vermutungen darüber anzustellen, in welchem Verhältnis sich subaerisch und submarin geför-

derte vulkanische Substanzen an der Bildung des Sedimentes beteiligen. Die Verbreitung allem Anschein nach vulkanischer, submariner Kuppen auch im Bereiche des r. T. zeigt, daß submarine Vulkanausbrüche gar nicht so selten vorkommen; aber es müßte allerdings bei dem großen auf dem Tiefseeboden lastenden Wasserdrucke schon eine äußerst heftige Gasentbindung stattfinden, falls die Eruption überhaupt weithin sichtbar sein und von in der Nähe befindlichen Schiffen gemeldet werden sollte. Und wenn RUDOLPH (49) in seiner Liste von Seebeben eine Anzahl hierher gehöriger Wahrnehmungen aus neuerer Zeit in landfernen Gebieten zusammengestellt hat, so ist doch im allgemeinen zu sagen, daß wir nur über einen Bruchteil der wirklich stattfindenden submarinen Eruptionen unserer Zeit unterrichtet werden. Submarine Eruptionen im Bismarckarchipel und bei den Salomoninseln förderten im Frühjahr 1878 mehrfach so ungeheure Mengen von Bimsstein zutage, daß diese, gegen 2400 km nach Osten vertrieben, noch bei den Elliceinseln große Flächen bedeckten. Andererseits sind aber auch unzweifelhaft von ozeanischen Inselvulkanen vielfach ganz gewaltige Massen vulkanischer Asche in die Atmosphäre geschleudert und Bimssteine den Meeresströmungen überliefert worden. So mag auf die Ausbrüche des Coseguina 1835, des Krakatau 1883, der Soufrière auf St. Vincent und des Mont Pelé auf Martinique im Jahre 1902 verwiesen sein. Bimssteinfelder von der ersten Krakatau-Eruption im Mai 1883 wurden von der Sundastraße aus über 1500 km weit nach Westen (bis 6° S, 89° O) vertrieben, die der zweiten größeren Eruption noch erheblich weiter; die Besatzungen von Schiffen, die in diese schwimmenden Bimssteinmassen hineingerieten, waren mehrfach der Gefahr des Verhungerns ausgesetzt. Wind und Strömungen haben erst nach und nach diese Felder auseinander getrieben, und was nicht an die Küsten angespült wurde, muß dem Boden des Ozeans zugute gekommen sein. Bimssteine, die das Meer noch heute, z. B. an den ostafrikanischen Küsten auswirft, hat man noch auf jenen berühmten Ausbruch zurückführen wollen. Der Aschenfall der großen Explosion vom 26. August 1883 erstreckte sich nach Süden bis zur Kokosinsel, nach Norden bis Singapore. Der bei den Eruptionen dieses Vulkanes in die höchsten Atmosphärenschichten hinaufbeförderte allerfeinste Aschenstaub umkreiste die Erde zuerst über der ganzen Tropenzone, wurde später aber auch auf beiden Hemisphären polwärts vertrieben, wie aus den abnormen, auch an die Ausbrüche der genannten Antillenvulkane im Jahre 1902 anschließenden Dämmerungserscheinungen zu schließen war. Nach MURRAY und RENARD sind bei dem Krakatau-Ausbruch die leichten Splitter saurer vulkanischer Gläser für die äußere Zone des Aschenfalles bezeichnend gewesen, wie sie gerade auch im r. T. besonders häufig auftreten. Der Aschenfall der Soufrière 1902 betraf ein Gebiet von elliptischer Gestalt und über 3000 km Längserstreckung; einerseits wurde noch auf Jamaika, ca. 1800 km westlich von St. Vincent, vulkanische Asche von diesem Ausbruch beobachtet, andererseits konsta-

tierte das Schiff »Jupiter«, das sich damals ca. 1300 km östlich des Vulkanes befand, das Fallen vulkanischen Staubes. Nach Norden aber reichte die betroffene Fläche nicht über Santa Lucia, nach Süden nicht über Trinidad hinaus; die langgestreckte Gestalt des Aschenfalls, der zum größten Teile dem Meeresboden zugute kam, ist auf Wirkung der Passate und Antipassate zu setzen. Von der Eruption des Vesuvs am 8.—10. April 1906 wurden die feinsten Aschen nicht nur nach Dalmatien, sondern auch nach Paris und bis an die Ostsee nach Kiel und Neustadt in Holstein, also mindestens 1500 km weit durch die Atmosphäre vertrieben. R. BRAUNS (Zentralbl. f. Mineralogie usw. 1906, S. 325), der solche Asche von Neustadt untersuchte, fand sie wesentlich aus Splintern von Feldspat, braunem Glase, Leuzit, Olivin und Augit von 0,05 bis 0,005 mm und weniger zusammengesetzt; hierbei überwiegen gegenüber den in der Nähe des Vulkanes gefundenen Aschen bezeichnenderweise die farblosen Gemengteile (eine Erscheinung, die auch für die Asche des Vulkans Santa Maria in Guatemala festgestellt ist), während der Augit mehr zurücktritt. Diese auf Auslese nach dem spezifischen Gewichte während des Lufttransportes zurückzuführende Erscheinung erklärt auch die mehrfach angeführte Tatsache, daß die am Ende einer Eruption fallende Asche heller ist als die zuerst gefallene. Alles dieses zeigt uns, in welcher großen Menge jungvulkanisches Material auf den Boden der Tiefsee hinabgelangt und zum Aufbau der sich dort bildenden Sedimente mit zur Verfügung steht, ohne allzusehr von chersogenem Material maskiert zu werden.

Die chemischen Analysen von r. T., die von den verschiedenen Autoren angeführt werden, zeigen verständlicherweise große Verschiedenheiten, je nachdem die Proben im einfach getrockneten oder im entsalzten oder gar im entkalkten Zustande untersucht wurden, und ob die begleitenden Akzessorien, wie Mangankörner usw. vorher ausgesucht oder mit analysiert wurden. Schon J. B. HARRISON und A. J. JUKES-BROWNE (87) haben, wie es scheint, im Einverständnis mit J. MURRAY, gewichtige Bedenken gegen die Analysen BRAZIERS an den r. T.en des »Challenger« ausgesprochen. BRAZIER, dem allem Anschein nach nicht entsalzte Proben vorlagen, versäumte es, die im Ton enthaltenen Meerwassersalze und die Alkalien gesondert zu bestimmen, die vielmehr offenbar im Kieselsäuregehalt mit verrechnet worden sind. Dagegen lagen anderen Analytikern entsalzte »Challenger«-Tone vor, so daß schon die Analysen des »Challenger«-Berichtes nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind. CASPARI (236a) wiederum, dem wir die neuesten Analysen verdanken, analysierte die entkalkten Proben unter Außerachtlassung der Akzessorien, wie Manganknollen, Otolithen, Haifischzähne, Bimssteine, Palagonit usw., bestimmte die Alkalien besonders und legte überhaupt vor allem Gewicht auf die Feststellung der Konstitution der tonigen Matrix des Sedimentes. Dieselbe besteht nach seiner Ansicht aus zwei Hauptbestandteilen, aus amorphen wasser-

haltigen Silikaten tonigen Charakters und aus fein verteilten wasserfreien Silikaten, welche teils glasig, teils kristallin sind und als die Muttersubstanzen der ersteren zu gelten haben. Die amorphen wasserhaltigen Silikate besitzen, wie schon GEBBING (219) ein Jahr vor CASPARI feststellen konnte, keine feste chemische Zusammensetzung, insbesondere ist viel mehr Kieselsäure vorhanden, als der Kaolinformel, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, entspricht; und zwar schwankt nach GEBBING das Verhältnis $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ zwischen 2,1 und 4,8, während es im Kaolin 1,2 beträgt. Chemische und Färbemethoden erlaubten CASPARI die Feststellung der Kolloidnatur der amorphen »Tonsubstanz«, und diese ist wohl als Ursache der von GEBBING und CASPARI wahrscheinlich gemachten Adsorption von Ca, Mg und Alkalien anzusehen, deren Nichtberücksichtigung bei den älteren Analysen unvermeidlich zu Fehlern führen mußte. Insbesondere kann es jetzt als unrichtig bezeichnet werden, wenn BRAZIER das Mg als MgCO_3 berechnete, wodurch weiterhin ein bezüglich der Dolomitbildung ausgesprochener Gedanke A. G. HÖGBOMS (1894) sich als nicht der Wahrscheinlichkeit entsprechend erweist (vgl. auch diese Zeitschrift III. 1912. S. 354). Als Beispiel für die Zusammensetzung eines r. T. von ungefähr mittlerer Zusammensetzung mag eine neuere Analyse von GEBBING (219) mitgeteilt werden, der einen Teil der bei früheren Analytikern zu rügenden Fehler vermieden hat. GEBBING bestimmte zwar den NaCl-Gehalt, konnte aber wegen Substanzmangel die Alkalien nicht mehr quantitativ bestimmen und auch auf Phosphat nur qualitativ prüfen. Die Analyse bezieht sich auf einen r. T. von der »Gauß«-Station 96 in der Mauritius-Mulde in $25^\circ 8' \text{ S.}$, $56^\circ 7' \text{ O.}$ aus 4930 m Tiefe. Sie wurde im nicht entsalzten Zustande ausgeführt.

Hygroskopisches Wasser 10,8; Gesamtglühverlust (nach Trocknen bei 125°) 9,7. — NaCl 8,0; CaO 3,9; MgO 4,5; MnO 0,5; Fe_2O_3 11,7; Al_2O_3 18,2; SiO_2 50,1; CO_2 0,1; SO_3 0,8; Phosphatreaktion schwach; NH_3 0,006; Nitrate und Nitrite angegeben als NH_3 0,04; Glühverlust 2,7; Sa. 100,5.

Die genaue Analyse eines aus der Mischung von 51 verschiedenen r. T.en erhaltenen »Durchschnittstones«, welche F. W. CLARKE (185) besonders mit Rücksicht auf die Verbreitung seltenerer Elemente ausgeführt hat, wurde bereits früher (Teil I dieser Besprechung Bd. III dieser Zeitschr. 1912, S. 355, 356) mitgeteilt.

Von akzessorischen Bestandteilen des r. T. sind zunächst solche glazialer Herkunft zu nennen. Wenn der »Challenger« (70) auf Station 160 südlich von Australien in $42^\circ 42' \text{ S.}$, $134^\circ 10' \text{ O.}$ aus 4755 m Gneisgeschiebe im r. T. dredschte, so dürfte dieses Vorkommen unbedenklich auf moderne Eistrift zurückgeführt werden können, da noch im Jahre 1867 ganz in der Nähe Eisberge gesichtet worden sind; ebenso sind glaziale Geschiebe im r. T. südlich der Neufundlandbänke nicht weiter auffällig. Dagegen wird man bei einer Reihe anderer Geschiebefunde schwerlich anders können, als an die Eiszeit zu denken. Abgerundete

Fragmente von Granit und Arkose, welche ein Dreedschzug des »Challenger« in $32^{\circ}36' S$, $137^{\circ}43' W$ in 4343 m (Station 285), ein Granitgeröll von $7\frac{1}{2} \times 5 \times \frac{1}{2}$ cm, welches ebenfalls die Dreedsche auf der benachbarten Station 286 in $33^{\circ}29' S$, $133^{\circ}22' W$ in 4270 m erfaßte, können kaum anders als durch Treibeis während der Eiszeit um volle 10° nördlich von der heutigen Treibeisgrenze des südlichen Pazifischen Ozeans vertrieben worden sein. Einen anderen Fund hat AL. AGASSIZ in ca. 900 km Entfernung südwestlich von Point Concepcion der kalifornischen Küste in $28^{\circ}23' N$, $126^{\circ}57' W$ in 4331 m auf dem »Albatroß« machen können (vgl. 225 S. 9/10). Hier förderte am 27. August 1899 die Dreedsche in einem Zuge — außer etwa 8 Zentnern Manganknollen — einige größere Geschiebe von Hornblendeandesit, Serpentin, Sandstein und schwarzem Hornstein mit Quarzadern zutage, an denen nach der Mitteilung von MURRAY der englische Geologe J. J. H. TEALL unzweifelhafte Spuren von Eisbearbeitung erkennen konnte. Da die heutige nordpazifische Treibeisgrenze sich nur unbedeutend von den Küsten Kamtschatkas entfernt, können jene Geschiebe wohl nur während der Eiszeit, etwa aus der Gegend von Vancouver her, so weit nach Süden verfrachtet worden sein; dies um so mehr, als den benachbarten Küsten sumpfige Alluvionen und wasserreiche Flüsse abgehen, aus denen sie mit treibenden Waldinseln hergeführt worden sein könnten.

Während die glazialen Akzessorien auf die subpolaren Teile des Meeresbodens beschränkt bleiben, können andere fremde Eindringlinge als sehr bezeichnend für r. T. überhaupt gelten. Gemeint sind hierbei äußerst seltene und sehr kleine Körperchen kosmischer Herkunft, die als »kosmogone Komponente« bereits einmal kurze Erwähnung gefunden haben. Unter den mit dem Magneten abtrennbaren Komponenten des r. T. fanden sich nach J. MURRAY, der sie zuerst 1876 beschrieben hat, neben den mit kristallographischer Begrenzung versehenen Magnet- und Titaneisenteilchen aus irdischen Eruptivgesteinen auch unregelmäßig geformte, dunkle Körperchen, teilweise mit metallischem Kern, unter denen MURRAY und RENARD (70), die sie genauer untersuchten, zwei Arten unterschieden. Die erste Art sind schwarze, magnetische Kügelchen, deren Durchmesser selten über 0,2 mm hinausgeht. Sie zeigen eine metallglänzende, nicht ganz glatte Oberfläche und öfter auf der einen Seite eine näpfchenartige Einsenkung. Während die dunkle Rinde aus Magneteisen besteht, enthält der rein metallisch aussehende, stahlgraue, etwas körnige Kern Co und Ni; einzelne Kügelchen dürften das nur aus Meteoriten bekannte Mineral Schreibersit (Ni_2Fe_4P) enthalten, und ihre ganze Zusammensetzung weist sie zu den Holosideriten unter den Meteoriten. Indem dieselben aus dem Weltenraum durch die irdische Atmosphäre zu uns flogen, wurden sie geschmolzen, nahmen Tropfenform an und oxydierten sich, die kleinsten unter ihnen sogar so stark, daß ihnen der metallische Kern ganz abgeht. Bei der Abkühlung im Wasser soll sich dann die oxydierte

Rinde so zusammengezogen haben, daß die näpfchenförmige Einsenkung entstand. Die zweite Gruppe stellen braune Kügelchen silikatischer Zusammensetzung ohne metallischen Kern und von kristalliner Struktur dar, welche an die Chondrite unter den Steinmeteoriten erinnern. Sie sind unregelmäßig rundlich, zuweilen ebenfalls mit einer Depression versehen und durchschnittlich 0,5, selten über 1 mm Durchmesser groß. Ihre Oberfläche ist bräunlich mit Bronzeglanz infolge feinblättriger, kristallinischer Struktur; dieselbe ist, wie vielfach bei den Chondriten, zuweilen exzentrisch-blättrig. Die Kristallamellen deuten auf monoklines System hin und enthalten von Magnet- oder Titaneisen herrührende, kristallitenähnliche Einschlüsse, deren Anordnung an die in rhombischen Pyroxenen bekannten erinnert. Diese braunen Kügelchen sind in Salzsäure unlöslich; chemisch ließen sich Eisen, Magnesia und Kieselsäure nachweisen. Im übrigen sind die braunen Kügelchen viel seltener als die schwarzen. An und für sich sollte die Verteilung dieser kosmischen Körperchen über den Boden des Ozeanes eine allgemeine und gleichmäßige sein. Aber man findet sie am häufigsten in den r. T.en der landfernten zentralen und südlichen Teile des Pazifischen Ozeans. Wenn man ein Liter dieses Sedimentes genau absucht, finden sich 20—30 schwarze und 5—6 braune Körnchen; auch in der Rinde von Manganknollen des Tones finden erstere sich eingeschlossen. Dagegen wird man in einem Liter Globigerinenschlamm meistens keine, höchstens 1 oder 2, finden; sie sind also in diesem Sediment offenbar viel weitläufiger verteilt, aber nicht etwa, weil sie seltener gerade an von diesem Sediment eingenommene Stellen des Meeresbodens hingelangen, sondern weil sie im Globigerinenschlamm von mehr und von schneller sich anhäufendem Sedimentmaterial verdeckt, maskiert werden. Wenn sie dagegen im r. T. dichter gesät sind, so läßt sich hieraus ohne weiteres schließen, daß dieser sich viel langsamer bildet als der Globigerinenschlamm, ein Schluß, den auch die an tertiäre Typen erinnernden Hai-fischzähne, sowie die noch zu besprechenden Manganknollen und Phillipsitkristalle zu ziehen erlauben. Die Seltenheit dieser immerhin auffälligen und, wenn überhaupt vorhanden, nicht leicht zu übersehenden Objekte wird auch noch dadurch demonstriert, daß sie in den wenigen Proben von r.T., welche die »Valdivia« und der »Gauß« mitbrachten, nicht gefunden wurden; es wächst eben mit der Zahl der untersuchten Proben auch die Wahrscheinlichkeit des Antreffens. Noch schwerer als im Globigerinenschlamm werden die Meteoritenkügelchen in den hemipelagischen und litoralen Ablagerungen zu finden sein, wo zu der geringen Größe und der Überfülle maskierenden anderen Materiales noch die zerstörenden mechanischen Einwirkungen hinzukommen. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, Vergleichsobjekte für diese kosmischen Partikelchen des Tiefsetones zu finden. Aber MURRAY und RENARD (70) hielten die von NORDENSKJÖLD 1870 und 1883 auf dem grönländischen Inlandeis gesammelten, »Kryokonit« genannten Staubpartikeln (ebenso wie

E. WÜLFING in der Hauptsache) für tellurische Erzeugnisse. Auch die aus modernen Fabrikschlöten und Maschinenessen gelegentlich davonfliegenden und dem atmosphärischen Staub sich beimengenden Eisentropfchen haben eine gänzlich andere Gestalt und chemische Zusammensetzung; das gleiche gilt von sämtlichen bekannten irdischen vulkanischen Produkten, was im Gegensatz zu A. DAUBRÉE (68) betont werden muß, welcher die fraglichen Kügelchen des Tiefseetones auf feine Zerstäubung vulkanischen Gesteins durch hochgespannte vulkanische Gase zurückführen wollte. Vielmehr können tatsächlich solche meteorischen Niederschläge ein Schiff treffen: am 11. November 1856 fiel auf das amerikanische Schiff Joshua Bates etwa 450 km südlich von Java (10°38' S, 117°49' O) ein Niederschlag fester Körper, wie feinstes Vogelschrot. Durch MAURYS Vermittlung erhielt EHRENBERG eine Probe davon, und es ergab sich, daß dieselbe aus lauter sehr festen, aber hohlen Kügelchen von Eisenoxyd bestanden, welche nach der späteren Untersuchung durch den Freiherrn VON REICHENBACH (Poggendorfs Annalen 106. 1859. S. 476—490) nur von der Explosion und Verbrennung eines großen Holosideriten herrühren konnten. Magnetische Hohlkügelchen haben ST. MEUNIER und G. TISSANDIER (26) übrigens auch aus Küstenablagerungen von Tunis, Algier und der Possessionbay (Patagonien) bekannt gemacht; doch sind dieselben, worauf MURRAY und RENARD (70) aufmerksam machen, von den beschriebenen Elementen des r. T. durchaus verschieden.

Diagenetische Neubildungen sehr merkwürdiger Art stellen die Phillipsite dar, welche in äußerst kleinen (0,027—0,005 mm Durchmesser habenden), frei im Sediment schwebenden, farblosen Kristallen, Durchkreuzungszwillingen und -drillingen oder kugeligen Aggregaten besonders in eupelagischen Sedimenten der pazifischen und indischen Tiefsee auftreten, ohne für r. T. als solchen charakteristisch zu sein. Mitten im Pazifischen Ozean von den Hawaiiinseln an über Tahiti nach Juan Fernandez hin fand der »Challenger« (70) stellenweise 20% des Sedimentes aus diesem Zeolith bestehend; ähnlich fanden es »Albatroß« (225) und »Nero« (168a) im Pazifischen, »Egeria« im Indischen Ozean. Gerade die beiden vorletztgenannten Expeditionen haben aber Phillipsite nicht nur im r. T., sondern, wenn auch seltener, im Globigerinenschlamm festgestellt, wie MURRAY und LEE (225), sowie FLINT (168a) mitteilen. Häufiger sind sie auch im Radiolarienschlamm. Die Bestimmung dieser kleinen Elemente als Phillipsit stützt sich außer auf die leichte Zersetzbarkeit durch Salzsäure (wobei, wie bei den meisten Zeolithen gallertige Kieselsäure gebildet wird) auf die Kristallform und die Analyse. Da die Kriställchen sehr häufig feine Überzüge von Mangan- und Eisenoxyden haben, solche auch, neben der feinen tonigen Matrix des Sedimentes, eingeschlossen enthalten, so zeigen auch die Analysen meistens einen Gehalt an Fe_2O_3 und MnO ; auch das Al in einem anderen Verhältnis, als der Formel des Phillipsit (den man früher wohl als

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$, jetzt als isomorphe Mischung von $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} + 6 \text{H}_2\text{O}$ und $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 3 \text{H}_2\text{O}$ auffaßt, wobei das Ca mehr oder weniger durch Na_2 und K_2 ersetzt ist) entsprechen würde. Die folgende Analyse bezieht sich auf Material von »Challenger«-Station 275 zwischen den Sandwichinseln und Tahiti in $11^\circ 20' \text{ S}$, $150^\circ 30' \text{ W}$ aus 4773 m Tiefe.

Glühverlust 7,35; SiO_2 49,88; Al_2O_3 16,52; Fe_2O_3 5,54; MnO 0,44;
 CaO 1,38; MgO 1,20; K_2O 5,10; Na_2O 4,59; H_2O 9,33; Sa. 101,33.

Die Tatsache des steten Zusammenfallens des Vorkommens der Phillipsite und der jungvulkanischen Materialien der Tiefseeschlamme spricht sehr für die Ansicht von MURRAY und RENARD (70), daß jene Zeolithe aus der Verwitterung dieser, insbesondere der feinsten Aschen- und der Tuffmassen, hervorgehen und palagonitische Substanzen eine Etappe auf ihrem Bildungsgange bilden; die Phillipsite erscheinen danach gleichsam als regenerierte Mineralien. Zum besseren Verständnis dieses Vorganges muß auf die rezenten vulkanischen Komponenten der Tiefseesedimente noch etwas näher eingegangen werden, wobei an das früher über die Bimssteine Gesagte angeknüpft sei. Am häufigsten kommen die Liparitbimssteine vor, während Andesitbimssteine seltener sind. Bimssteine von basaltischen Eruptivgesteinen sind nur in beschränkten Gebieten vertreten, z. B. bei Neubritannien und an den Hawaiiinseln, von wo sie schon COHN beschrieb. Häufiger, wenn auch mit beschränktem Verbreitungsgebiete, kommt sodann unter den Produkten submariner Vulkane basisches vulkanisches Glas vor, das aus früheren geologischen Perioden und von noch tätigen subaerischen Vulkanen nur in untergeordnetem Maße bekannt ist. Dieses Glas ist kompakt, wenn frisch braun oder rot und neigt sehr zu oberflächlicher Verwitterung, wobei es ein mattes Aussehen bekommt. Die walnuß- bis erbsengroßen Stücke kommen sehr häufig mit Manganknollen zusammen vor; schon das unveränderte Glas enthält Mangan, meist aber sind die Stücke noch von einer Manganrinde umgeben. Das frische Glas hat die Härte 5, die zersetzte Rinde nur 4. Kristalleinschlüsse von Plagioklasen und Olivin zeigen die Zugehörigkeit zu olivinführenden Basalten. Die Kristallelemente sind bei poröser Glasbasis besser entwickelt als bei kompakter Beschaffenheit derselben, wodurch ein Übergang zu Limburgiten eingeleitet wird. Die durch Zersetzung aus diesem basischen Glase entstehende Substanz wird von MURRAY und RENARD (70) mit dem Palagonit SARTORIUS VON WALTERSHAUSENS identifiziert. Palagonit oder Palagonitfels ist nach der Definition von H. ROSENBUSCH ein lockeres, gelblichbraunes bis schwarzes, auch grünlichschwarzes, oft reichlich von Zeolithen durchzogenes und durchtränktes Gestein, auf dessen frischem Bruch pechglänzende rundliche und eckige Durchschnitte hervortreten, welche allenthalben von hellen, erdig-matten, schmaleren oder breiteren Rinden umgeben werden, in denen auch oft wieder matte runde kleine Flecken auftreten. Die ganze Gesteinsmasse löst sich

außerordentlich leicht in Salzsäure und hinterläßt einen kleinen Rückstand von vorwiegend Augit- und Plagioklasmikrolithen. Die selten übererbsengroßen pechglänzenden Körner sind die ursprünglichen Aschenteilchen und Lapilli, welche Sideromelan heißen und ein mehr oder weniger wasserhaltiges Basaltglas mit spärlichen mikrolithischen Bildungen darstellen. Dieser Sideromelan geht durch Verwitterung in eine äußerst wasserreiche, teils amorphe, teils kryptokristalline, sphärolithische Substanz über; das sind die helleren, erdig matten Teile des Gesteins, die eigentliche Palagonitsubstanz; sie ist bei den uns hier interessierenden Tiefseeproben im Schlicke von roter, brauner oder auch milchweißer Farbe und in ersteren Fällen oft mit schöner Diffusionsbänderung versehen, wodurch sie ein Aussehen ähnlich der Schalenblende erhält. Der Palagonit ist oft mit Zeolithen zu Aggregaten vereinigt oder wird von solchen durchtränkt. Der vom basischen Glase zur Palagonitbildung führende Umwandlungsprozeß läßt sich am besten an der Hand zweier Analysen verfolgen. Von diesen bezieht sich I auf ein kompaktes, schwarzes, basisches Glas mit kleinen Olivinkristallen von der »Challenger«-Station 276 im Südpazifischen Ozean in 13°28' S, 149°30' W aus 4298 m Tiefe, II auf die zu Palagonit umgewandelte Rinde, welche dieses Glas umgibt.

	I	II
SiO ₂	46,76	44,73
Al ₂ O ₃	17,71	16,26
Fe ₂ O ₃	1,73	14,57
FeO	10,92	—
MnO	0,44	Mn ₂ O ₃ 2,89
CaO	11,56	1,88
MgO	10,37	2,23
K ₂ O	0,17	4,02
Na ₂ O	1,83	4,50
H ₂ O	—	9,56
	101,49	100,64

Diese beiden Analysen zeigen, daß die Bildung der palagonitischen Rinde in der Hauptsache eine Oxydation der Oxydule des Fe und Mn und eine Wegführung von Ca und Mg darstellt, wofür Wasser und Alkalien des Meerwassers aufgenommen werden; »the transformation seems to tend the formation of a zeolitic substance«.

Auch breccienartige Gebilde, »Palagonittuffe«, kommen im r. T. vor. Auch sie sind von Zeolithen begleitet. Die häufig daneben auftretenden Basaltlapilli, die nicht selten die Zentra von Manganknollen bilden, sind in der Regel weniger zersetzt als die Gläser, da sie mehr kristallisierte Elemente enthalten. Dagegen wurde Limburgit in mehr oder weniger palagonitisertem und zeolithisiertem Zustande im südlichen Indischen Ozean und Augitandesit mit rhombischen Pyroxenen dort und im Südpazifischen gefunden. Fügen wir hinzu, daß — abgesehen von den

Bimssteinen — Lapilli und Gläser von sauren Eruptivgesteinen viel seltener als die von basischen sind, und daß es unsicher bleiben muß, ob die an einigen Stellen im Sediment relativ häufig auftretenden Splitter von Sanidin, Hornblende, Quarz und sauren Gläsern auf submarine Eruptionen eines trachytischen Magmas oder auf die Zerstörung allochthon herverfrachteten liparitischen Bimssteins zurückzuführen sind, so sind wir nunmehr in der Lage, uns auf besserer Grundlage als vorher ein Bild von der Entstehung der so merkwürdigen Phillipsite der eupelegischen Sedimente zu machen.

Hierbei kommt uns noch ein Fund zustatten, welchen AL. AGASSIZ am 27. August 1899 auf Station Nr. 2 des »Albatros« in ca. 900 km Entfernung südwestlich von Point Concepcion der kalifornischen Küste in 28°23' N, 126°57' W machte. Hier förderte die Dredge zusammen mit einer großen Masse Manganknollen und den schon früher erwähnten, eisbearbeiteten Geschieben Platten und eimergröße Blöcke eines cremeweißen, mürben Palagonittuffes zutage, dessen Substanz beim Zerreiben zu einem mehligem Puder zerfällt. Zahlreiche kleine schwarze Mangankörner sind in der Masse enthalten, deren unregelmäßig warzige Oberfläche von einem dünnen Film gleicher Substanz bedeckt wird. Die meisten Fragmente des Tuffs sind von Würmern angebohrt, deren Gänge von r. T. erfüllt sind. Unter dem Mikroskop erscheint die weiße Substanz von amorpher bis mikrokristalliner Beschaffenheit, doch konnte W. A. CASPARI (225, Appendix A) durch Trennung mit Bromoform einige unzersetzte Mineralpartikel, hauptsächlich Oligoklas, grüne Splitter vulkanischen Glases, zu einer amorphen, roten Substanz zersetzten? Olivin und ein wenig Magnetit, nachweisen. Mit Wasser befeuchtet, verliert die Masse den Zusammenhang und nimmt eine hell gelbbraune Farbe an, beim Trocknen wird sie wieder weiß. Sie bäckt sich nicht hart und läßt sich selbst noch nach dunkler Rotglut mit den Fingern zerreiben, ganz im Gegensatz zu tonigen Substanzen. Die chemische Analyse ergab hohen Alkaligehalt und auch in den übrigen Bestandteilen auffallende Übereinstimmung mit den im »Challenger«-Werk mitgeteilten Analysen von Phillipsit. Zum Vergleich seien die von CASPARI für den fraglichen palagonitischen Tuff (I) und (nach dem Durchschnitt von drei Analysen) für Phillipsit von »Challenger«-Station 275 (II) gefundenen Zahlen (auf wasserfreie Substanz umgerechnet) nebeneinander gestellt.

	I	II
SiO ₂	63,40	58,60
Al ₂ O ₃	19,82	20,55
Fe ₂ O ₃	3,72	7,03
MnO ₂	0,52	0,41
CaO	0,98	2,52
MgO	3,65	1,39
K ₂ O	5,14	5,92
Na ₂ O	3,49	4,98
	<hr/> 100,72	<hr/> 101,40

Auch im Verhalten gegen Säuren, an die sie ohne weiteres Al und Alkalien abgibt, stimmt die Palagonitsubstanz dieses Fundortes durchaus mit Zeolithen überein. Ähnliche Massen fand übrigens schon der »Challenger«, vor allem auch als Kerne von Manganknollen. In allen Fällen scheint die Entstehung aus jungvulkanischem Material sicher gestellt; und wenn bei der eingehend beschriebenen »Albatroß«-Probe eine ziemlich reine Feldspatsubstanz das Ursprungsmaterial gewesen zu sein scheint, so mag dieselbe, wie CASPARI vermutet, unter dem ausschlämmenden Einfluß einer Strömung aus einer niederfallenden vulkanischen Asche entstanden sein. Im übrigen deutet einmal die Seltenheit solcher zeolithhaltigen Substanzen in größeren Platten, andererseits aber ihr häufigeres Erhaltensein im Inneren von Manganknollen darauf hin, daß es sich um sehr labile Zustände handelt; und es liegt daher nichts näher als anzunehmen, daß hier Produkte vorliegen, welche den Übergang von in Zersetzung begriffener vulkanischer Substanz in Zeolithe, insbesondere Phillipsit, anzeigen. Daß diese Phillipsite sich aus dem in solcher Matrix nur in äußerst langsamer Zirkulation befindlichen marinen »Grundwasser«, also auf dem Umwege über eine Auflösung ausscheiden, dafür würde die Vorliebe sprechen, mit welcher sie Steinkerne von Globigerinenschalen bilden, in denen sie wie hineingesogen erscheinen. Andererseits möchte bei der chemischen Ähnlichkeit der »Palagonit«-Substanz mit den Phillipsiten auch eine molekulare Umlagerung nach Art einer Entglasung im Bereiche der Möglichkeit liegen.

Nach alledem läßt sich unsere bisherige Kenntnis der Bildungsbedingungen der Phillipsite der eupelagischen Sedimente wie folgt zusammenfassen. Vulkanische Aschen basischer Eruptive werden am Tiefseeboden durch palagonitische Zersetzung zu amorphen, gelartigen Substanzen, welche teilweise ausgezeichnete Diffusionsbänderung erkennen lassen und mitunter eine chemische Zusammensetzung haben, welche derjenigen von Zeolithen, insbesondere Phillipsit, sehr nahekommt. Diese Umbildung erfolgt unter Oxydation der vorhandenen Eisen- und Manganverbindungen und unter Ausmerzung der in den ursprünglichen Silikaten vorhanden gewesenen Kalk- und Magnesiaverbindungen, wofür andererseits, wohl infolge eines Adsorptionsvorganges, Alkalien und Wasser aufgenommen werden. Aus dieser, durch einen Verwitterungsvorgang chemisch vorbereiteten, amorphen, metastabilen Substanz gelangen unter dem Einfluß des in diesen Tiefen hohen Wasserdruckes und im Laufe längerer geologischer Zeit gewisse Teile zu kristalliner Individualisierung, die von einzelnen Kristallisationszentren aus zu zentrifugal wachsenden Kristallen bzw. Kristallbündeln und Zwillingsverwachungen führen, welche in der umgebenden Substanz schweben, ganz im Gegensatz zu allen übrigen sonst bekannten Vorkommnissen von Zeolithen, welche ausnahmslos aufgewachsen erscheinen. Es müßte hiernach eine anziehende Aufgabe sein, den Bildungsbedingungen des Phillipsits, die hier wesentlich vom geologischen Standpunkte aus dargelegt

wurden, auch vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus nachzuforschen, wobei schon hier auf die wahrscheinliche Bedeutung des Druckes hingewiesen sein mag. Dann dürften auch die Beziehungen klar werden, welche zu den in verwitternden oder hydrothermal veränderten Basalten zusammen mit Kluftüberzügen von Manganoxiden vorkommenden Phillipsiten bestehen, und endlich auch Fragen beleuchtet werden, die mit den so viel umstrittenen »Bodenzeolithen« zusammenhängen. Ob aber — um auf die Phillipsite der Tiefsee zurückzukommen — unterseeische Vulkanausbrüche und die damit verbundene örtliche Erwärmung des sonst so kalten Tiefenwassers für die kristallinische Individualisierung der Phillipsitsubstanz nötig sind, wie KRÜMMEL (187) angesichts der örtlichen Anhäufung derselben annehmen möchte, muß durchaus dahingestellt bleiben.

(Schluß folgt.)

Zur Deutung der Vertikalbewegungen der Festländer und Meere.

Von Franz E. Sueß.

Fortsetzung.

E. Horste und Gräben.

Unter dem Begriffe der epirogenetischen Bewegungen behandeln viele Schriften oft auch die Frage nach dem Anteile der vertikalen Aufwärtsbewegung bei der Bildung der Horste zwischen Gräben. Sie ist abzutrennen von der Frage nach den Hebungen und Senkungen der Kontinente. Sind die typischen Horste, wie Schwarzwald und Vogesen, der Harz und das französische Zentralplateau seit ihrer Entstehung in unveränderter Lage verblieben, oder wurden sie gegenüber ihrer Umgebung nach aufwärts gerückt? Blieb ihr Abstand vom Erdmittelpunkte im wesentlichen unverändert oder wurde er durch tektonische Vorgänge vergrößert? Der unmittelbare Vergleich mit den Nachbargebieten gibt nur Aufschluß über das relative Ausmaß, nicht über den absoluten Sinn der Bewegung. Auch diese Frage würde entschieden sein, wenn es feststünde, daß der Spiegel der Ozeane im Laufe der Zeiten keine bedeutenden Veränderungen erfahren hat; dann könnte kein Zweifel darüber bestehen, daß der alte Horst der Vogesen mit den transgredierenden Resten der Trias und Juraformation in 750 und 1000 m S.H. um mehr