

Die
verschiedenen Ansichten über das
Innere der Erde.

Von

PROFESSOR DR. FRANZ TOULA.

Vortrag, gehalten am 5. April 1876.



„Das Innere unseres Planeten, so sagt Naumann, ist unserer unmittelbaren Wahrnehmung so unerreichbar, dass man es auf den ersten Blick für ein verwegenes und fruchtloses Beginnen halten möchte, irgend etwas Bestimmtes über seine Beschaffenheit ausmitteln zu wollen.“

Nichtsdestoweniger haben sich gar viele hervorragende Forscher dem „Drang nach Mehrung der Erkenntniss“ Folge leistend, an die Lösung der grossen Frage gewagt: In welchen Zuständen befinden sich die ungeheuren Massen die das Erdinnere erfüllen?

Obwohl sich Jeder eingestehen musste, dass unserer unmittelbaren Anschauung die Tiefen unseres Planeten ewig verschlossen bleiben werden, boten sie doch alle ihre Geisteskraft auf, und ihren Speculationen ist es gelungen die schwierige Frage von den verschiedensten Seiten zu beleuchten und — wenn das sichere Endresultat auch vielleicht noch nicht errungen ist — so ist doch so Vieles auf das Eingehendste überdacht und erwogen, dass wir die Hoffnung nicht aufzugeben brauchen, dem forschenden Geiste des Menschen werde es doch noch gelingen, eine befriedigende Lösung dieser Frage zu gewinnen. — Was in dieser Beziehung bisher geschehen ist, will ich ver-

suchen in gedrängter Ueberschau zu entwickeln. Dabei will ich vorerst von dem thatsächlich Erkannten ausgehen und dann erst die verschiedenen Ansichten erörtern, die im Laufe der Zeit gehegt und ausgesprochen wurden. Es sind zumeist gar kühne Gebäude.

Von den älteren Phantasiegebilden über die Beschaffenheit des Erdinnern, will ich nur eine anführen. Leslie beschreibt das Innere unseres Planeten als eine Hohlkugel, angefüllt mit unwägbaren Stoffen von ungeheurer Repulsivkraft.¹⁾ Humboldt erzählt uns im Kosmos sehr anziehend, wie diese Ansicht von Phantasten ausgebaut wurde, wie sie den Hohlraum mit Pflanzen und Thieren bevölkerten und eine gleichmässige Wärme in den inneren Erdräumen herrschen, ja selbst kleine Planeten: Pluto und Proserpina, ein sanftes Licht verbreitend kreisen liessen, welches übrigens ganz entbehrlich sein könnte, da die Luft durch die Pressung selbstleuchtend wäre. Der Eingang in die Hohlkugel müsse unter dem 82° nördl. Breite liegen, dort wo das Polarlicht ausströmt.

War es ein Wunder, wenn sogar Expeditionen dahin in Vorschlag gebracht wurden, deren Ausführung man sich wohl in der Art dachte, wie es uns der an Phan-

¹⁾ An dieser Stelle will ich erwähnen, dass auch in neuester Zeit die Annahme ausgesprochen wurde, dass sich im Inneren unseres Planeten ein „sehr dichter, gasförmig verbliebener Kern“ befinde, eine Ansicht, auf welche ich noch an einer anderen Stelle in Kürze zurückkommen will. (Moldenhauer: Zur Entwicklungsgeschichte des Erdballes. Gaea 1875.)

tasie überreiche Jules Verne in seiner „Reise nach dem Mittelpunkte der Erde“ mit so viel Humor und Scharfsinn vorgegaukelt hat.

So leicht geht die Sache nicht, doch stehen uns glücklicher Weise Aushilfsmittel zur Verfügung, welche die Handhaben bieten um die heikle Frage anfassend zu können. Drei Reihen von Thatsachen heben uns über manche Schwierigkeit hinweg.

Sie betreffen erstens die Gestalt der Erde, zweitens die Dichte derselben und drittens die Erdwärme.

Dass unserem Planeten die Form eines von einer Kugel nur wenig abweichenden Rotations-Ellipsoides zukömmt, ist als bekannt vorauszusetzen. (Aequatorial-Durchmesser = 1719, Axenlänge = 1713 M.) ¹⁾ Es ist dies die Form, welche von rotirenden Flüssigkeiten angenommen wird, die den Einwirkungen von Aussen entzogen, nur den ihrer eigenen Masse innewohnenden Anziehungskräften unterworfen sind; wir schliessen daraus, dass unsere Erde einst eine Flüssigkeitskugel gewesen sein müsse. Von dem französischen Physiker Plateau wurde der Vorgang der Abplattung durch einen überraschend schönen Versuch auch experimentel gezeigt. ²⁾

¹⁾ Die Abplattung dürfte mit $\frac{1}{289}$ am Genauesten angegeben sein.

²⁾ Olivenöl, in Weingeist von gleicher Dichte gebracht, zeigt die reine Kugelform, welche durch Umdrehung der Oelmasse um so mehr abgeändert wird, je schneller dieselbe gedreht wird.

An dieser Stelle möchte ich auch auf einen anderen interessanten Versuch hinweisen, der von E. Sacher über das Erstarren geschmolzener Kugeln (Walrat) in einem flüssigen Medium (Weingeist) kürzlich angestellt wurde. Dieselben erstarren an der Oberfläche und beginnen zu rotiren, wenn eine einseitige Erstarrung eintritt. Die Rinde ist anfangs ein glattes, dünnes Häutchen, wird jedoch bei zunehmender Dicke uneben und es entstehen Faltungen. Neuerdings gelang es Herrn Sacher auch geschmolzene Schwefelkugeln in heisser Schwefelsäure zum Schweben zu bringen. Auch hier zeigten sich beim Erstarren Einschrumpfungen der Rinde und Trichterbildung. ¹⁾

Andere dagegen versuchten die Möglichkeit darzulegen, dass die Abplattung der Erde eine Folge der Thätigkeit des Wassers sein könnte. So nahm Playfair an, die Erde sei ursprünglich eine ruhende, feste, von einem Ocean rings umgebene Kugel gewesen, die in Folge der eintretenden rotirenden Bewegung, durch die nagende und nivellirende Thätigkeit des Wassers, die sphäroidische Gestalt erhalten habe, eine Ansicht, die von Henessy (im Jahre 1848) weiter ausgeführt wurde.

Fr. Mohr in seiner Geschichte der Erde (1875) sagt Seite 435, „dass es sehr zu bezweifeln sei, ob unsere Erde ohne Gletscherbildung und Verwitterung durch Frost und ohne Meer eine so regelmässige Kugelgestalt

¹⁾ Verhandl. d. k. k. geol. R.-Anst. 1875, pag. 261, und 1876, pag. 80.

haben würde, als sie in Wirklichkeit zeigt“, ja er geht so weit, die Abplattung der Erde an den Polen durch diese Verwitterung und Gletscherabscheuerung erklären zu wollen. ¹⁾

Für die weitaus grössere Anzahl der Menschen, die über die Form der Erde nachgedacht haben, bezeugt diese, die Art der Entstehung aus einem Material, das sich ursprünglich in einem flüssigen Zustande befunden haben muss, worauf ich bald näher zurückkommen werde.

Was die Dichte der Erde anbelangt, so ist besonders nach den sorgfältigsten diesbezüglichen Untersuchungen mit der empfindlichen Drehwage ²⁾ die

¹⁾ Es steht übrigens nach Allem was wir über die wahre Gestalt der Erde wissen, fest, dass sie „durch keinen bestimmten mathematischen Körper dargestellt werden kann“. Es finden sich Unregelmässigkeiten die sich durch keine Rechnungsfehler erklären lassen. Wurde doch die scheinbar so widersprechende Thatsache, dass Pendelmessungen auf Inseln die fern von Küsten liegen auf eine grössere Wirkung der Schwerkraft weisen, als ihrer Lage am Niveau des Meeres entsprechend schien, erst neuerlichst durch die schöne Abhandlung Fischer's: „Untersuchungen über die Gestalt der Erde“ (Darmstadt 1868) dadurch erklärt, dass das Meeresniveau an den Küsten der Continente im Mittel um 700 bis 900 Meter höher ist als im weiten offenen Meere. cfr. P. A. Conrads: Grösse, Gestalt und Dichte der Erde. Köln 1874.

²⁾ Ein horizontal schwingendes und dadurch der störenden Einwirkung der Schwere entzogenes Pendel, aus dessen Schwingungsdauer und Schwingungsweite die Masse der Erde berechnet werden kann.

mittlere Dichte mit circa 5·6 gefunden worden¹⁾, d. h. die Erde ist 5·6 Mal schwerer als eine gleich grosse Wassermenge. Bedenkt man nun, dass die mittlere Dichte der festen Erdkruste, so weit sie uns bekannt geworden, nur etwa 2·7 beträgt, ja dass wir mit Hinzuziehung der Oceanbedeckung nur 1·6 als die mittlere Dichte der Gesamt-Oberfläche erhalten, so ergibt sich mit zwingender Nothwendigkeit, dass die Dichte des Erdinneren noch viel grösser als 5·6 sein müsse. Laplace kommt unter der Annahme einer Dichtigkeitszunahme in arithmetischer Progression auf eine Dichte des Kernes = 10·047, Plana unter Annahme einer Oberflächen-dichte von 1·877 sogar auf 16·73.

Diese Rechnungen legen uns die Annahme nahe, dass die Massen der Erde sich so angeordnet haben dürften, wie wir es etwa beim Zusammenmischen verschieden dichter Flüssigkeiten sehen, wo immer die dichteste die tiefste, unterste Lage einnimmt. Wobei

1) Cavendish fand (1798) auf diesem Wege die Dichte der Erde = 5·48 (nach Hutton's Rechnungen $D = 5·32$), Reich fand zu Freiburg 1837 die Dichte = 5·47 und bei späteren Untersuchungen = 5·58, Bayly in London 1842 nach mehr als 2000 Beobachtungen $D = 5·67$.

Etwas geringere Werthe fanden auf Grund der Ablenkung des Bleiloches in der Nähe von Gebirgszügen Maskelyne und neuerlichst James, ersterer berechnete die Dichte $D = 4·71$, letzterer $D = 5·136$.

Auf etwas grössere Werthe kam dafür der englische Astronom Airy (1854), gestützt auf den Satz, dass ein im Innern der Erde befindliches Pendel, wegen der gerin-

freilich nicht ausser Acht gelassen werden darf, dass die Erde kein ruhig stehender, sondern ein in Rotation begriffener Körper ist. Gegen obige Annahme ist nun freilich wieder ein Einwurf gemacht worden, indem man hervorhob, dass dieselben Stoffe durch Druckkräfte auf eine grössere Dichte gebracht werden können. Man hat berechnet, dass z. B. atmosphärische Luft in einer Tiefe von 7·6 Meilen die Dichte des Wassers, in 11 Meilen Tiefe aber die des Platins haben würde, oder dass das Wasser in 20 Meilen Tiefe seine Dichte etwa verdoppeln, in 80 Meilen Tiefe aber so schwer werden würde wie Quecksilber, und Herschel berechnete für den Erdmittelpunkt einen Druck von 300.000 Atmosphären (d. i. auf 1 □ Cm. 3,099.000 Kilogramm), wodurch Stahl auf ein Viertel seines Volumens zusammengedrückt würde. Dieser Einwurf ist jedoch nicht stichhältig, da sich die Körper nicht ohne Grenze zusammendrücken lassen und auch die Ausdehnung durch die grössere Temperatur der Tiefe, der zusammendrückenden Kraft entgegenwirkt.

Der Amerikaner J. D. Dana¹⁾ kommt, gestützt auf die Thatsache, dass sich die erwähnte mittlere

geren Anziehung durch die Masse der Erde, langsamer schwingen müsse als auf der Erdoberfläche. (Er stellte seine Untersuchungen zu Harton in 383 Meter Tiefe an.) Er fand die mittlere Dichte der Erde $D = 6·566$.

1) James D. Dana: On some results of the Earth's contraction from cooling. Amer. Journ. Juni-Sept. 1873 und Manual of Geology. 2nd ed. pag. 735 ff.

Dichte der Erde recht gut unter der Annahme ergebe, dass das Innere, der Kern, aus Eisen bestehe (Dichte des Eisens circa 7.4), zu der Meinung, dass etwa zwei Drittel der Erdmasse aus Eisen bestehen dürften und dass der eiserne Kern schon in etwa 500 engl. Meilen (108 d. M.) Tiefe beginnen müsste. Die ungemein grosse Verbreitung des Eisens in den verschiedenen eruptiven, d. h. aus dem Schmelzflusse erstarrten Gesteinen (vier Fünftel derselben sind reich an Eisen), brachte ihn auf diesen Gedanken. Die thatsächlich hochwichtige Rolle, welche das Eisen in den Meteorsteinen spielt, und noch mehr, die ganz aus gediegenem Eisen bestehenden Meteorereisenmassen, die aus dem Welt- raume so häufig auf die Erde niederfallen, unterstützen diese Ansicht. Die Meteoriten sind ja offenbar auf kleine Gestirne zurückzuführen, „die ähnlich gebaut waren wie unsere Erde“. ¹⁾

Mit Dana hätten wir anzunehmen: Eine centrale dichte Masse, vielleicht einen Eisenkern, eine äussere Kruste und zwischen Kruste und Kern eine zähflüssige, warme Schichte, welche ungefähr 7 bis 8 Meilen unter der Erdoberfläche liegen dürfte. Eine Annahme, welche schon Franklin angedeutet hat, indem er die Erde mit einer Nuss verglich.

Die Erdwärme gewährt uns eine Hauptstütze um die Frage nach dem Zustande des Inneren unseres

¹⁾ Vergl. Tschermak: Die Bildung der Meteoriten etc. Sitzb. d. k. Ak. d. W. 1875 pag. 8.

Planeten zu beantworten. Wo immer man bis jetzt tiefer in die Erde eingedrungen ist, überall hat man im Grossen und Ganzen dieselben Beobachtungen anstellen können. Zuerst nimmt man, in unserer Breite, eine allmälige Temperaturabnahme wahr, bis zu einer Tiefe von 20 bis 30 Meter. So weit erstreckt sich die Einwirkung der jährlichen Temperaturschwankungen (während die täglichen Veränderungen sich nur 1 bis 2 Meter tief nachweisen lassen).

Von dieser, durch Beständigkeit des Wärmegrades ausgezeichneten Grenze, nimmt die Temperatur immer mehr zu, je tiefer wir eindringen. Die Wärmezunahme ist übrigens nicht an allen Orten dieselbe, denn sie hängt nicht nur von der Tiefe allein ab, sondern auch von verschiedenen anderen Umständen, z. B. von der Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Gesteine. In Bergwerken und in Bohrlöchern aller Art, sowohl bei der Anlage artesischer Brunnen, als auch beim Suchen nach nutzbaren Stoffen der Erdkruste, hat man vielfach Gelegenheit gehabt derartige Beobachtungen anzustellen.

Die grösste in neuester Zeit erreichte Schacht-Teufe ist die im Albertischachte in Pörschitz, wo im Mai 1874 die Tiefe von 1000 Meter erreicht wurde.

Hier ergab sich als Gesteinstemperatur in einer Tiefe von:

74·5 Meter . . .	9·44 ° C.
145·0 „ . . .	11·52
190·7 „ . . .	11·97
286·3 „ . . .	13·75

359·8 Meter.	. . .	14·16 ⁰ C.
432·7	„ . . .	15·14
505·6	„ . . .	16·52
581·5	„ . . .	17·77
661·8	„ . . .	19·16
737·3	„ . . .	20·41
832·2	„ . . .	21·11
889·3	„ . . .	21·80

Berechnet man daraus die geothermische Tiefenstufe, d. h. die Tiefenstufe, der eine Temperaturzunahme um 1⁰ C. entspricht, so entfällt für die einzelnen aufeinanderfolgenden Strecken eine Zunahme der Wärme um einen Grad auf: 34, 97, 53, 172, 74, 52·8, 68·7, 57·7, 55·9, 135·5, 82·7 Meter, was für eine sehr verschiedenartige Wärmevertheilung spricht, wollte man für die ganze Strecke eine mittlere geothermische Tiefenstufe annehmen, so würde diese circa 65 Meter betragen. Es ist dies eine auffallend grosse Stufe, wenn man sie mit Angaben von anderen Werken vergleicht; so fand man beispielsweise für den Bohrbrunnen von la Grenelle in Paris (532 Meter tief) 30 Meter, für den Bohrbrunnen von Neusalzwirk in Westphalen (679 Meter tief) 29 Meter als geothermische Tiefenstufe.

Der tiefste bis jetzt durch Bohrung erreichte Punkt, liegt in Preussen (5¹/₂ Meilen südlich von Berlin) im Bohrloche von Sperenberg, es ist 1271·2 Meter tief und ist auf 1193 Meter durch Salz geführt. Die Bohrungen ergaben folgende Temperaturen: bei 1000' 23⁰ C., bei 2000' 33⁰ C., bei 3000' 43⁰ C., bei 4042' 48⁰ C., die

geothermische Tiefenstufe beträgt hier (nach Dunker) 98·5 oder etwas über 31 Meter.

Ausführliche Angaben hat auch J. Roth angegeben. ¹⁾ Die mittlere Jahrestemperatur von Sperenberg wie zu Berlin mit 7·18⁰ R. angenommen, ergaben sich folgende Temperaturen für die Tiefe von:

	Die Zunahme der Wärme für 100' beträgt:
700 Fuss = 15·654 ⁰ R.	
900 „ = 17·849	1·097 ⁰ R.
1100 „ = 19·943	1·047
1300 „ = 21·947	0·997
1500 „ = 23·830	0·946
1700 „ = 25·623	0·896
1900 „ = 27·315	0·846
2100 „ = 28·906	0·795
3390 „ = 36·756	0·608

für 4042 Fuss Tiefe würden die Rechnungen 39·13⁰ R. ergeben.

Die auffallend grosse geothermische Tiefenstufe für Příbram stimmt mit der schon längst bekannten Thatsache überein, dass die Temperaturzunahme in Erzgruben stets sehr allmählig erfolgt. ²⁾

Aehnliche Messungen wurden auch in Indien, Sibirien ³⁾ und Nordamerika angestellt und überall

¹⁾ Ueber die Temperaturbeobachtungen in dem Bohrloche von Sperenberg. Pogg. Ann. 148 Bd. pag. 168.

²⁾ Pogg. Ann. Bd. 22 (1831), pag. 497.

³⁾ In Jakutsk, wo der Boden bis zu 200 Meter Tiefe das ganze Jahr über gefroren ist, steigt nach Middendorf die Temperatur in 130 Meter von — 17·12⁰ C. auf — 2·9⁰ C.

lieferten sie den untrüglichen Beweis für eine Zunahme der Wärme mit zunehmender Tiefe.

Einen Beweis für die „Allgegenwart“ der inneren Erdwärme liefern uns die ungemein zahlreichen und allgemein verbreiteten schwachen Thermen, d. s. Quellen, deren Temperatur nur wenig höher ist, als die mittlere Temperatur ihres Ausflusortes. Die zahlreichen heissen Quellen aber zeigen uns, dass in den Erdtiefen noch viel viel höhere Temperaturgrade herrschen müssen, als wir in Bergwerken und Bohrlöchern beobachten konnten. ¹⁾

Doch lassen Sie uns, ehe wir weiter gehen, das wahrscheinliche Gesetz der Wärmezunahme, wie es aus den erwähnten Messungen hervorgeht, kurz erörtern.

Die Temperaturzunahme mit zunehmender Tiefe steht ausser allem Zweifel fest, und zwar geht aus den Beobachtungen hervor, dass die geothermischen Tiefenstufen in grösseren Tiefen etwas grösser werden, als sie näher der Erdoberfläche sind, oder mit anderen Worten, die Wärmezunahme erfolgt allmählig langsamer und langsamer, bis endlich ein grösster Werth erreicht wird, der dann vielleicht bis zum Erdmittelpunkt anhält. ²⁾

¹⁾ Das Wasser des Geysirs auf Island hat in einer Tiefe von 32 Meter im Canal über 125⁰ C. Die Springquelle Tetarata auf Neu-Seeland am Rande 84⁰ C. Die Temperatur von Aquas de Comangillas in Mexico wird zu 96·4⁰ C., die von Hamman-mes-kutin in Algier zu 95⁰ C. angegeben.

²⁾ Dass die Wärmezunahme auch von der Beschaffenheit der Gesteine abhängt, ist selbstverständlich. In manchen

Dass dieser grösste Werth ein ganz ansehnlich hoher sein muss, das beweisen uns ausser den heissen Quellen, die mindestens aus Tiefen von 3- bis 4000 Meter heraufkommen müssen, in noch höherem Grade die als Lava bei vulkanischen Ausbrüchen emporgetriebenen, geschmolzenen Gesteinsmassen. Um glasige Lava zu schmelzen, sind schon circa 900° C. nothwendig, dem entspräche unter der Annahme einer gleichmässigen Wärmezunahme eine Tiefe von fast vier deutschen Meilen; Steinlava (basaltische Lava) schmilzt erst bei etwa 1700° C. oder unter derselben Annahme in einer Tiefe von $7\frac{3}{4}$ d. M.

Die Lava entsteigt als eine geschmolzene Gesteinsmasse dem Erdinnern, ebenso wie die siedend heissen Quellen. Die Temperatur der Lava in der Tiefe dürften wir immerhin mit 2000° C. annehmen. Darin liegt übrigens, so hoch die Zahl auch ist, nichts Ungeheueres, bringen wir es doch, freilich unter Anwendung von, bis auf 300° C. erhitzter Gebläseluft, bis über 2800° C.

Wenn wir bedenken, dass der Schmelzpunkt durch vermehrten Druck um ein erhebliches erhöht werden

schieferigen Gesteinen ist eine grössere Wärmezunahme beobachtet worden, als in krystallinischen Massengesteinen (z. B. im Granit); in einem Steinsalzlager wird wegen des hohen Grades des Wärmeleitungsvermögens (Salz ist diatherman), eine andere Wärmezunahme wahrzunehmen sein, als in einem Steinkohlenbergwerke, wo noch eine grosse Wärmeentwicklung durch Zersetzung der Kiese hinzukommen kann, so dass man nicht immer gleich genöthigt ist, eine grössere oder geringere Nähe des Wärmeherdens anzunehmen.

dürfte, so ist die Annahme von 2000⁰ C. vielleicht noch etwas zu gering, da nun überdies eine gleichmässige Wärmezunahme (in arithmetischer Progression) offenbar nicht stattfindet, sondern wie erwähnt, die geothermischen Tiefenstufen immer grösser und grösser werden, je tiefer wir hinabsteigen, so werden wir vielleicht erst in 30, oder 40, oder noch mehr Meilen Tiefe, überall auf geschmolzene Masse treffen, von hier an bis zum Mittelpunkt sind wir dann aber nicht mehr gezwungen, ein viel weiteres Steigen der Temperatur anzunehmen (wie es früher üblich war, wodurch man Temperaturgrade von 200.000 bis 250.000⁰ C. herausgerechnet hat). „Denn“, so sagt Naumann (Geologie I, 59), „ist das Innere wirklich flüssig, so braucht auch die Temperatur jenseits der Grenze des flüssigen Kernes nicht viel höher zu steigen, während sie innerhalb desselben ziemlich constant sein kann, weil dort nothwendig Strömungen stattfinden müssen, durch welche sich die etwaigen Differenzen mehr und mehr ausgleichen.“

Eine derartige Dicke der Kruste würde unserer Erde die nöthige Stabilität geben, freilich würde dadurch auch die Communication des Innern mit der Oberfläche sehr erschwert, aber auch dies widerspräche den That-sachen nicht, denn wäre die Stabilität eine weniger grosse, so würden die Ausbrüche der gluthflüssigen Massen gewiss viel häufiger und grossartiger sein müssen als sie gegenwärtig sind. Dass die Kruste aber von jeher so dick gewesen sei, wird hiermit auch nicht behauptet, sondern ich füge sogar schon jetzt, den ferneren

Ausführungen vorgreifend, hier an, dass die Dicke der Erdrinde in früheren Zeiten eine viel geringere gewesen ist und dass damals auch wirklich viel grossartigere Hindurchbrüche der geschmolzenen Innenmasse stattgefunden haben. Die Verbreitung der heute noch thätigen Vulkane ist übrigens eine derartige, dass wir zu dem Schlusse berechtigt sind, dass sie sich an Stellen befinden wo der innige Zusammenhang der Krustentheile gestört ist. Sie finden sich, hier noch thätig, dort in Ruinen, anderswo wieder nur durch Analogieschlüsse noch erkennbar, an Punkten und Linien, welche auf Riesenklüfte und Spalten, auf Risse in der Kruste schliessen lassen, wodurch ein Durchbrechen der flüssigen Massen erleichtert wird und wurde. An solchen Stellen würde man gewiss eine raschere Temperaturzunahme nach Innen finden und weniger tief steigen müssen um auf den Herd der vulkanischen Thätigkeit zu stossen, als dort wo der Zusammenhang nicht gestört, oder der einst gestörte Zusammenhang wieder vollkommen hergestellt worden ist.

Wir kommen auf diese Weise zu Wärmeannahmen im Innern der Erde, die eine ganz immense Wärmequelle erfordern, und wir müssen uns fragen: woher stammen diese Wärmemengen.

Diese Frage wurde von den verschiedensten Standpunkten aus erörtert und zu lösen gesucht.

Keine der vielen Theorien entspricht aber in so hohem Grade allen Anforderungen, wie die Theorie von dem einstigen „feurigflüssigen Zustande“ des Erdballes,

welche zuerst von Leibnitz in seiner Protogäa (1680) ausgesprochen wurde, der auch die Entstehung der festen Erdkruste durch oberflächliche Erstarrung annahm. Diese Anschauung wurde aber erst durch den Ausbau der Kant-Laplace'schen Theorie logisch gegliedert. — Kant sprach (1755) die Ansicht aus, dass eine gleichförmige Gasmasse einst das Weltall erfüllte, aus welcher, durch Anziehung der Elemente, Ansammlungen der Materie stattfanden.

Laplace (1795) nahm diesen Gedanken auf und führte ihn für unser Planetensystem weiter aus. Eine ungeheure Gasmasse, die „Ursonne“, hat sich weit über die Grenzen unseres heutigen Planetensystemes hin ausgedehnt, die alle Stoffe des letzteren in sich enthielt. Durch fortwährende Verdichtung der Masse unter Mitwirkung der Abkühlung entstand ein centraler Kern, die Sonne. Eine Folge der Verdichtungsvorgänge war offenbar die Rotation ¹⁾, welche bei fortschreitender Condensation allmählig beschleunigt wurde. Dadurch erklärt sich die Steigerung der Fliehkraft, die bis zur Ablösung von Nebelringen führte, aus denen sich durch

¹⁾ Ueber den Beginn der Rotation und die Kraft, wodurch sie hervorgerufen, besitzen wir keinerlei sichere Anhaltspunkte, so dass Newton hierin den Finger Gottes sah. Andere denken an eine momentane Kraft, etwa einen Stoss, oder an eine nur kurze Zeit wirkende continuirliche Kraft, oder man nimmt eine ursprüngliche (ursachlose) Bewegung an. (H. J. Klein, Studien und Kritiken pag. 70.)

die Wirkung der Molekularkräfte die Planeten bildeten. Diese bestanden also ursprünglich aus „geballter“ Dunstmasse. War diese gross genug, so bildeten sich unter ähnlichen Vorgängen die Trabanten oder Monde heraus, oder die Ringe bestehen fort, wie es beim Saturn der Fall ist. „Die wichtigsten und entscheidendsten Beweise für die Richtigkeit der Laplace'schen Theorie hat erst die neueste Zeit geliefert. Hierher gehören: das Erkennen des Sonnenballes als einer noch gegenwärtig feurig flüssigen Masse; die Uebereinstimmung der auf spectral-analytischem Wege gefundenen stofflichen Zusammensetzung der Sonne aus Elementen, die der Erde nicht fremd sind; die Gleichartigkeit der Grundstoffe in den niederfallenden Meteoriten mit denjenigen unseres Planeten; die Nichtconsistenz der Saturnringe und der höchst wahrscheinlich dunst- oder wolkenartige Zustand der Oberflächen der äusseren Planeten überhaupt.“ (H. J. Klein: Entwicklungsgesch. d. Kosmos.)

Ganz neuerlichst hat der ausgezeichnete Physiker Prof. Zöllner in Leipzig, durch seine photometrischen Untersuchungen, die Richtigkeit der Laplace'schen Theorie mehrfach beleuchtet und durch den dermaligen Bestand der Dinge im Universum weiter ausgeführt. Er führt fünf Entwicklungsstadien als noch gegenwärtig nachweisbar an: Erstens: Das Stadium des glühend gasförmigen Zustandes, in dem sich die planetarischen Nebel befinden, (John Herschel gibt 1864 etwa 5000 Nebelflecken an). Zweitens, das Stadium des gluth-flüssigen Zustandes, durch die meisten Fixsterne repräsentirt.

Diese gluth-flüssigen Massen überziehen sich im dritten Stadium bei weitergehender Abkühlung oberflächlich stellenweise mit Schlackenkrusten. Unsere Sonne soll sich nach Zöllner in diesem Entwicklungsstadium befinden. (Andere nehmen an, dass sich auch die Sonne noch im zweiten Stadium befinde.) Umhüllt diese Schlackenkruste endlich den ganzen gluthflüssigen Körper mit einer dünnen Hülle, so ist die vierte Periode der Entwicklung erreicht. Diese dünne Kruste wird zeitweilig durch ungeheure Revolutionen zersprengt, Sterne die schon unsichtbar geworden, erscheinen plötzlich wieder als „neue Sterne“, um alsbald zu erblasen und unter einer neugebildeten dickeren Kruste zu verschwinden. ¹⁾ Wird diese so mächtig, dass sie nicht mehr in ihrer Gänze zerstört werden kann, so tritt das letzte Stadium, das der vollendeten Oberflächen-Erkaltung ein, in dem sich die der Sonne näheren Planeten und auch unsere Erde befinden.

In diesem Verlaufe ist zugleich auch ein Theil der Entwicklungsgeschichte der Erde gegeben, wie uns dieselbe Bernhard von Cotta in seinem „Entwicklungsgesetz der Erde“ (1866) entworfen hat. (Geologie d. Gegenw. IV. Auflage, pag. 184 bis 211.) Nur fallen die Stadien 3, 4 und 5 mit Cotta's drittem Stadium zusammen, auf welche noch die durch die Thätigkeit des Wasser, die Entstehung der organischen Welt, der Bil-

¹⁾ Hierher gehört auch der, am 31. Jänner 1875, von R. Falb entdeckte neue Stern im Sternbilde des Orion.

dung von Klimazonen und den Beginn der Wirkung des Eises, sowie die, durch die Entwicklung des Thierreiches, bis zu einer Krönung durch die Ausbildung des geistigen Lebens im Menschen charakterisirten Entwicklungsstadien folgen.

Die ganze Erde, so müssen wir demnach schliessen, war einst flüssig.

Für die Wahrheit dieses Satzes könnten noch mehrere terrestrische Zeugnisse gebracht werden. Rudolf Falb hat sie in seinen „Gedanken und Studien über den Vulkanismus“ (Graz, 1875) übersichtlich zusammengestellt: so müssen die Massen, aus denen die Erde besteht, im Allgemeinen nach den für Flüssigkeiten geltenden Gesetzen angeordnet sein. Wäre dies nicht der Fall, sondern würden plötzliche Uebergänge auftreten, so würde dies durch die Pendelbeobachtungen gefunden worden sein. Auch gewisse Unregelmässigkeiten im Mondlaufe, so wie das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präcession liessen sich nur unter obiger Annahme mit grosser Sicherheit berechnen. Die unter dieser Annahme berechnete Abplattung der Erde stimmt mit der durch geodätische Messungen gefundenen sehr gut überein ($\frac{1}{303}$ und $\frac{1}{304}$ zu $\frac{1}{294}$).

Die Kugelform der Erde ist durch die Einwirkung der Schwerkraft bestimmt und nur durch die Erdrotation gestört worden und zwar in einem Betrage, der sich unter der Annahme einer gesetzmässigen Dichtigkeitszunahme mit grosser Genauigkeit rechnen liess. („Unter

der Annahme, dass sich das Quadrat der Dichte wie der Druck ändere, findet man die Abplattung = $\frac{1}{293}$.“)

Thomson ¹⁾ kam zu dem Schlusse, dass die Wirkungen der aus der Rotation resultirenden Kräfte, gegen das Centrum der Erde hin immer grösser werden und somit unter der Annahme, dass die Erde aus einer Anzahl von concentrisch liegenden Ellipsoiden bestünde, auch die Abplattungen derselben immer grösser werden müssten. (Dabei ist vorausgesetzt, dass keine Zugkräfte auf die Theilchen der betreffenden Oberflächen einwirken.)

Alle Umstände fügen sich demnach so gut zum Ganzen, dass wir den Satz: Die Erde befand sich einst im glühenden Schmelzflusse, getrost als feststehend annehmen können, denn nur durch Wärme können alle die Erde zusammensetzenden Stoffe in den gasförmigen und tropfbarflüssigen Zustand versetzt worden sein. Dadurch haben wir aber auch die Erklärung der inneren Erdwärme, als einen Rest der ursprünglichen Ballungswärme, gefunden.

Redtenbacher versuchte in seiner Schrift „Ueber die anfänglichen und gegenwärtigen Erwärmungszustände der Weltkörper“ (Mannheim 1861) den Ursprung der Sonnenwärme aus rein mechanischen Vorgängen bei der Ballung der Urnebelmassen, unter der Einwirkung der Anziehungskräfte, zu erklären. „Alle Massen“, so

¹⁾ Theor. Physik. Deutsch v. Helmholtz u. Wertheim. I. Bd. 2. Abth. pag. 413.

sagt er, „näher sich anfangs, so lange sie noch weit von einander entfernt sind, nur langsam, aber allmählig schneller und schneller und stürzen zuletzt mit einer Hast, die jede Phantasievorstellung übersteigt, nach dem gemeinsamen Schwerpunkt des ganzen Massensystems hin“, und dadurch müsse Licht und Wärme entstehen. Die ursprüngliche Sonnentemperatur wurde mit $178,000.000^{\circ}$ C. berechnet, Professor Zöllner nimmt jedoch nach Protuberanzen-Beobachtern für den inneren Theil der gegenwärtigen Sonne nur noch etwa 75.000° C. an.

Man hat sich nun bemüht, theils durch Versuche, theils durch Rechnung, über die Abkühlungsvorgänge und besonders über ihre Dauer eine Vorstellung zu erlangen. So hat

Bischof in seiner Wärmelehre (1837) eine Reihe von Versuchen beschrieben, die er angestellt, um eine Grundlage für die Berechnung dieser Vorgänge zu erhalten. Er schmolz nämlich Basalkugeln von verschiedener Grösse, untersuchte von 288° C. abwärts (bei höheren Hitzegraden gelangen die Temperaturbestimmungen nicht) die Temperaturabnahme und wendete die gemachten Erfahrungen auf die Erde an, wodurch er auf das freilich sehr problematische Ergebniss kam, dass die Erde, um von 288° C. auf die Temperatur des Weltraumes abgekühlt zu werden, über 350 Millionen Jahre erfordert hätte. Eine so weitgehende Abkühlung ist übrigens in Folge der Erwärmung durch die Sonne nicht möglich. Seit etwa 2000 Jahren aber kann

sich die Erdtemperatur nur um 0.00425° C. vermindert haben.

Sir William Thomson — der das grosse Verdienst hat, der zu weit gehenden Lehre von der äussersten Gleichförmigkeit in der Geschichte des Entwicklungsganges unserer Erde entgegen getreten zu sein, indem er die Ansicht ausspricht, dass das Spiel der Kräfte einst ein ganz anderes gewesen sein müsse, als wir es heute verfolgen können — hat es versucht, für die Abkühlungsvorgänge einen mathematischen Ausdruck zu finden.

Gestützt auf Fourier's Wärmetheorie¹⁾ und eine Schmelzhitze von 7000° Fahr. (circa 3900° C.) voraussetzend, kommt er zu der Meinung, dass die Erstarrung einer Felsmasse von der Grösse unserer Erde vor etwa 98 oder rund 100 Millionen Jahren stattgefunden haben dürfte, um die jetzigen Verhältnisse zu zeigen. Er findet nämlich, dass die Temperaturzunahme mit zunehmender Tiefe nach seinen Voraussetzungen

40.000 Jahre nach der Erstarrung	1° Fahr. pr. Fuss				
160.000	„	„	„	„	$\frac{1}{2}$ „ „ „
4,000.000	„	„	„	„	$\frac{1}{10}$ „ „ „
100,000.000	„	„	„	„	$\frac{1}{50}$ „ „ „

betragen haben würde, welche letztere Angabe mit der heute wirklich zu beobachtenden Wärmezunahme ganz gut übereinstimmt. Dabei würde die Dicke der Erd-

¹⁾ Fourier, *Théorie analytique de la chaleur*. Paris 1822.

rinde „allmählig von ein Fünftel ihrer jetzigen Grösse zu dieser letzteren zugenommen haben. ¹⁾)

Diese Zeitangabe ist nicht auffallend gross im geologischen Sinne, doch kam Helmholtz auf einen noch kleineren Betrag, nämlich auf nur etwa 68 Millionen Jahre, indem er von der Temperatur der Urnebelmasse ausging. Nach den Berechnungen von Adams und Delaunay über die Verlangsamung der Erdrotation, schloss Klein auf einen Zeitraum von 2000 Millionen Jahren, der seit der ersten Bildung der festen Kruste verlaufen sei, eine Angabe, die freilich einen weiteren Spielraum gewährt.

Die Frage, woher denn die Innenwärme der Erde stammen könne, wurde von den Gegnern der Ansicht, dass sie ein Rest der ursprünglichen Ballungswärme sei, auf sehr verschiedene Weise zu lösen gesucht. Der hochverdiente Dr. Ami Boué sagt von ihnen (Volger, Mohr, Karl Vogt u. A.), in einer seiner neuesten Publicationen wohl mit vollem Rechte, dass sie unfähig gewesen seien, einen genialen Gedanken an Stelle

¹⁾ Als Grenzwerte gibt Thomson an, dass die Erstarrung vor nicht weniger als 20 Millionen Jahren und vor nicht mehr als 400 Millionen Jahren stattgefunden haben könne. Diese Ansichten hat Thomson zuerst in den *Transact. of the Royal Society of Edinburgh* im Jahre 1862 niedergelegt. Diese Arbeit ist aber auch in dem Lehrbuch der theoret. Physik von Thomson und Tait (deutsch von Helmholtz und Wertheim) im I. Bd. 2. Abth. von Seite 434 bis 453 enthalten unter dem Titel: Ueber die säculare Abkühlung der Erde.

der rationellen Theorie der Himmelskörperbildung zu setzen. ¹⁾

Volger ²⁾ ist der Meinung, dass die Erdwärme einerseits das Product des Druckes sei, den die übereinander liegenden Gesteinsschichten auf ihre Unterlage ausüben, andererseits aber auf Rechnung des stetig vor sich gehenden Stoffumsatzes und der in Folge dessen eintretenden Bewegung zu setzen sei. Ob unter dem dünnen „Oberhäutchen“ der Erde Eiseskälte oder Gluthitze herrsche, könne man nicht wissen.

Andere lassen sie von der Sonne stammen. So sagt Mohr, ³⁾ die Erdwärme sei die in Wärme umgesetzte Arbeit der Sonne. Das unter der Einwirkung der Sonnenwärme verdampfende Wasser falle als destillirtes Wasser wieder auf die Erde nieder, es dringe verschieden tief ins Innere derselben ein und komme mit Bestandtheilen der Erde beladen, aus ihr wieder hervor. Die in Folge des Auswaschens der Erde nothwendig entstehenden Senkungsbewegungen sollen nun die innere Erdwärme erzeugen. Auch an eine directe Aufsammlung der Wärmestrahlen der Sonne wurde gedacht.

Andere wieder (z. B. de la Rive und Lyell) wollen die innere Erdwärme aus chemischen Processen erklären, welche durch elektrische Strömungen angeregt werden

¹⁾ Boué: Ueber die Methode in der Auseinandersetzung geol. Theorien. Sitzb. d. kais. Akad. d. Wissensch. 1875. März-Heft.

²⁾ Volger: Erde und Ewigkeit. 1857, pag. 156—162.

³⁾ Mohr: Geschichte der Erde, II. Aufl. 1875. pag. 201 ff.

sollen. Da „in den uns erreichbaren Tiefen, so intensive und allgemein verbreitete chemische Prozesse nicht bekannt sind, aus welchen sich die dort beobachtete Wärme erklären liesse“, so beruht diese elektro-chemische Ansicht, wie Naumann (l. c. I, pag. 63) mit Recht sagt, auf einer weit complicirteren Hypothese, als die, welche die Innenwärme unseres Planeten als den Rest der ursprünglichen Ballungswärme betrachtet.

Sir William Thomson sagt,¹⁾ dass diese Ansicht, wenn sie auch nicht unmöglich sei, nur dann als nicht unwahrscheinlich anzusehen wäre, wenn sich die Wärmezunahme nur in isolirten Gegenden ergeben hätte, eine allgemein verbreitete chemische Wärmequelle erscheine ausserordentlich unwahrscheinlich und es sei „beim gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft offenbar die weniger hypothetische Ansicht vorzuziehen, nach welcher die Erde nichts als ein chemisch unthätiger, in der Abkühlung begriffener warmer Körper sei“. Thomson sprach zuerst im Jahre 1862²⁾ eine ganz andere Meinung über die Ursache der Erdwärme aus. Er nahm, gestützt auf eine im folgenden noch näher zu besprechende Theorie an, „dass die Erde zu einer Zeit aus einem festen Kern bestand, der überall mit einem sehr tiefen Ocean geschmolzener Felsmassen bedeckt und der Abkühlung durch Ausstrahlung in den Welt-raum überlassen war“.

1) Theor. Physik l. c. pag. 438.

2) Theor. Physik l. c. pag. 447 ff.

In diesen Zustand soll ein kalter fester Körper, der viel kleiner als unsere Erde war, durch den Zusammenstoss mit vielen kleineren kalten Körpern gekommen sein; durch dieses Zusammentreffen sei so viel Wärme entwickelt worden, dass eine theilweise Schmelzung der Massen die natürliche Folge war. Ja es sei sogar als specieller Fall die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die ganze Erdmasse, durch den Zusammenstoss zweier nahezu gleich grosser Massen in einen vollständig geschmolzenen Zustand übergeführt worden sein könnte. Es ist dies ein ähnlicher Vorgang, wie ihn schon J. R. Mayer zur Erklärung des plötzlichen Aufleuchtens einzelner Sterne angenommen hat.

Die beim Zusammenstoss zweier Massen erzeugte Wärme ist auf jeden Fall sehr bedeutend. So führt Professor Tschermak ¹⁾ an, dass „eine Masse, welche bei einer Geschwindigkeit von drei geographischen Meilen mit einem anderen Körper zusammentrifft und dabei vollständig zur Ruhe kommt“ unter der Annahme, dass die Hälfte der Wärme durch Strahlung und Leitung verloren geht (und die specifische Wärme einer Meteorsteinmasse = 1 sei) eine Temperaturerhöhung von 29.800 ° C. erfahre.

Diese, auf die mechanische Wärmetheorie basirte höchst geistreiche Ansicht setzt Vorgänge im Weltall

¹⁾ G. Tschermak in seiner Abhandlung über die Bildung der Meteoriten. Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. April 1875, pag. 4.

voraus, für welche erst der Beweis erbracht werden müsste. Weltrevolutionen der fürchterlichsten Art müssten vor sich gegangen sein, gegen welche die für die Entwicklungsgeschichte der Erde, während der ersten Kindheit der geologischen Wissenschaft angenommenen allgemeinen Erdrevolutionen, als ein wahres Kinderspiel erscheinen. Was müsste da für ein entsetzlicher Meteoriten-Hagelschlag von allen Seiten auf den kalten kleineren Erdkörper niedergegangen sein, um schliesslich einen Feuerocean von 50 bis 100 engl. Meilen Tiefe zu erzeugen! Wären aber grössere Massen zusammengestossen, so müsste ein solches Ereigniss, wie Falb mit Recht hervorhebt, wenigstens „eine bleibende Spur, eine grosse Excentricität der Erdbahn“ erzeugt haben, wenn die zusammenstossenden Massen nicht vielmehr, trotz der Schmelzung oder gar Verdampfung an der Berührungsstelle, einer Zertrümmerung unterworfen, und die Trümmer nach den verschiedensten Richtungen zerstreut worden wären. Auch gewinnt diese Anschauungsweise nicht an Wahrscheinlichkeit, wenn man die übrigen Planeten unseres Sonnensystems mit ihren verschiedenen Entwicklungszuständen und ihren im Grossen und Ganzen überraschend gleichartigen Bewegungserscheinungen in den Bereich der Betrachtung zieht.

Noch zwei andere sehr geistreiche Hypothesen über den Ursprung der inneren Erdwärme und damit zugleich über den Zustand der Dinge im Erdinnern selbst, erlaube ich mir anzuführen; die eine ist vor vier

Jahrzehnten von dem französischen Physiker Poisson,¹⁾ die zweite vor ganz kurzer Zeit von dem Engländer Mallet²⁾ dargelegt worden.

Poisson geht von der Annahme eines einstmaligen feurig flüssigen Zustandes unseres Planeten aus.

Er ist jedoch der Meinung, dass bei der Erkaltung durch Strahlung gegen das die Erde umgebende Mittel, die an der Oberfläche zuerst erstarrten Theile hinabgesunken seien und dass durch einen doppelten ab- und aufsteigenden Strom eine wahre Circulation, ein Ausgleich der Temperatur stattgefunden haben müsse. Die Erstarrung, so meint er, dürfte wegen des grossen Druckes im Innern (30 Millionen Atmosphären) in den, dem Mittelpunkte nähern Partien angefangen haben, während an der Peripherie, wo der Druck sehr gering ist, ein Festwerden erst bei viel niedrigerer Temperatur eintreten konnte. Auf diese Weise sei dann die Erde im Laufe der Zeiten durch und durch starr geworden und auch erkaltet. Die nach innen zunehmende Wärme aber sei eine Folge der Bewegung unseres Sonnensystems im Weltraum. Wie ein am Aequator durchgewärmter Felsblock in die Polarregion gebracht, von aussen nach innen abgekühlt werde, so verhalte es sich

¹⁾ Poisson: *Théorie mathématique de la chaleur*, 1835.

²⁾ Robert Mallet: *Volcanic energy: an attempt to develop its true origin and cosmical relation*. *Phil. Transact.* Vol. 163, I. pag. 147—227, 1873. Deutsch von Dr. A. v. Lasaulx (*Verhandl. d. naturw. Vereins d. preuss. Rheinlande etc.* XXXII. n. Folge. II. Bd. pag. 125—269).

auch mit der Erde: sie sei mit dem ganzen Planetensystem, in einer vergangenen Epoche, durch einen hochtemperirten Weltraum gewandert, wodurch sie auf einen hohen Wärmegrad gebracht wurde, der jetzt bei Durchwanderung einer kälteren Region natürlich wieder allmählig schwindet und zwar von aussen nach innen. Das könne sich dann wieder einmal ändern und eine heisse Region zu passiren sein, worauf dann die erkaltete Erde eine hohe Temperatur an der Oberfläche und eine Abnahme derselben mit der zunehmenden Tiefe zeigen würde.

Es ist dies gewiss eine grossartige Idee; doch werden die Verhältnisse dadurch nur viel verwickelter und anstatt einer Hypothese erhalten wir deren mehrere.

Thomson hat (l. c. pag. 439) die Mangelhaftigkeit der Poisson'schen Hypothese auch durch die Rechnung nachgewiesen.

Von einem ganz anderen Gesichtspunkte fasste der englische Astronom Hopkins die Frage nach der Beschaffenheit des Erdinnern auf. In seinen, mit Anwendung der höheren Mathematik durchgeführten Abhandlungen¹⁾ geht er von der Betrachtung der Grösse der Nutation der Erdachse und der Präcession der Nachtgleichen aus und kommt zu dem Resultat, dass sich diese Unregelmässigkeiten der Erdbewegung verschie-

¹⁾ Researches in physical geology: In den Philosoph. Transact. of the Royal Soc. of London 1839, II, pag. 311; 1840, I, pag. 193 und 1842, I, pag. 43, sowie im VI. Bande d. Cambridge Philos. Transact. 1847. Im Auszuge in Klöden: Handb. d. physisch. Geogr. I. Bd. pag. 432 ff.

den gross, ergeben, je nachdem man die ganze Erde als einen starren Körper oder als einen durchaus gleichartigen flüssigen, oder als einen flüssigen, mit einer starren Kruste versehenen sphäroidischen Körper annimmt. Um den in der That bestehenden Werthen der erwähnten Störungen am besten zu entsprechen, müsse man eine Erdkrustendicke im Betrage des vierten oder wenigstens des fünften Theiles des Erdhalbmessers annehmen, also eine 172 bis 215 geographische Meilen dicke Kruste.

Dadurch erscheint selbstverständlich ein directer Zusammenhang des Erdinnern mit der Erdoberfläche nicht sehr wahrscheinlich, weshalb Hopkins zu der Annahme geführt wird, dass die flüssigen Producte der thätigen Vulkane in unterirdischen, grossen, aber wenig tiefen, mit geschmolzenen Gesteinsmassen erfüllten Seen angesammelt seien, die nahe der Erdoberfläche liegen.

Hopkins kommt jedoch zu noch weiter gehenden Schlüssen. Er geht bei seinen Betrachtungen über die ersten Entwicklungszustände der Erde, gleichfalls von dem Stadium der durch grosse Hitze entstandenen flüssigen Form der ganzen Erdmasse aus und nimmt die grösste Hitze im Centrum der kugeligen Masse an, lässt uns aber bedenken, dass zweierlei Abkühlungsprocesse möglich sind. Er weist nämlich auf den Umstand hin, dass der Temperaturgrad des Erstarrens durch Druck erhöht wird, d. h. dass eine geschmolzene Materie, die bei gewöhnlichem Atmosphärendruck bei einem Abkühlungsgrade von gewisser Höhe erstarrt, unter Einwirkung von bedeutenderen Druckkräften schon

bei höherer Temperatur in den festen Zustand übergehen können. Da aber die Temperatur des gedrückten Körpers selbst, gleichfalls durch den Druck erhöht wird, so hängt es nun davon ab, ob die erstere oder die letztere Temperaturerhöhung die grössere ist. Da sich zu diesen Veränderungen noch die Volumenänderungen beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand, die durch die Wärme bedingte Ausdehnung überhaupt, nebst anderen verwickelten Verhältnissen gesellen, so wird die Frage, ob man den Beginn der Erstarrung an der Oberfläche oder im Centrum annehmen solle und könne, selbstredend nicht ganz leicht zu lösen sein.

Im ersteren Falle trat nach der Ansicht Hopkins in der noch flüssigen Erdmasse die von Poisson angenommene Circulation ein, d. h. die oberflächlich erkaltenden Massentheilchen werden dichter und müssen in die Tiefe sinken, während aus den centralen Regionen die heisseren Theile nach aufwärts streben. Dieser Process wird im Anfange ein ungemein reger und lebhafter gewesen sein, hat jedoch eine stete allgemeine Abnahme der Gesamttemperatur und dadurch eine Contraction und zugleich Vermehrung der Druckkräfte im Gefolge. Nehmen wir nun an, die Wirkung der centralen Hitze überwiege, so würde dieses Spiel so fortgehen, bis ein Zustand der Halbflüssigkeit die leichte Verschiebbarkeit der Theilchen unmöglich machen würde, und nun könnte und müsste die Erstarrung an der Oberfläche beginnen und nach Innen vorschreiten. — Bei dieser Erklärung ist aber ein sehr wichtiger

Umstand ausser Acht gelassen worden, nämlich der, dass, wie schon hervorgehoben wurde, in jeder Flüssigkeit eine Anordnung der Theile in Bezug auf ihre Dichtigkeitsverhältnisse eintreten wird, dass die Theile also, je näher dem Mittelpunkte, um desto dichter sein werden, und dass dadurch die Circulation in der aus verschiedenen dichten Massen bestehenden Flüssigkeit erschwert und wesentlich modificirt werden muss.

Ganz denselben Einwand können wir auch für den zweiten Fall in Bereitschaft halten, für die Annahme nämlich, dass der das Festwerden begünstigende Druck die Oberhand behalten soll. In diesem Falle würde nach Hopkins, sobald der Moment des Ueberwiegens des Druckes eintritt, die Erstarrung im Centrum beginnen und nach aussen fortschreiten. In der erstarrten Partie beginnt nach Aufhören der Abkühlung durch Circulation, die durch Leitung. In der um den festen Kern herum befindlichen immer kleiner werdenden flüssigen Masse, wird die Circulation jedoch fort-dauern, bis die freie Beweglichkeit dem Zustande der Halbflüssigkeit weicht, worauf nun endlich eine Erstarrung der Oberfläche beginnen soll. Erstarrung nach aussen vorschreitend und Erstarrung nach innen dringend, begegnen sich endlich und haben schliesslich nur die unterirdischen Lava-Reservoirs zurückgelassen. Wenn eine freie Circulation annehmbar, dann ist diese geistreiche Speculation vielleicht berechtigt, wenn nicht, wenn also auch in der ursprünglichen flüssigen Erdmasse, sobald sie tropfbar geworden, wegen der gegen

das Centrum hin zunehmenden Dichte, die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung erfolgen musste, so kann die Erstarrung nur an der Oberfläche begonnen haben.

Freilich soll auch unter diesen Verhältnissen das Festwerden vom Centrum aus vorgeschritten sein, wie der hochberühmte englische Physiker Sir William Thomson ¹⁾ behauptet.

„Wenn die Erstarrung“, so sagt er (l. c. pag. 451), „wirklich an der Oberfläche begann, so müsste, so lange nicht die ganze Kugel erstarrt war, die fest gewordene Oberflächenschichte zerbrochen und zum Centrum hin gesunken sein“. Dort sollen nun diese erstarrten Stücke, „einen Kern bilden, wenn ein solcher nicht schon vorhanden ist, so dass bei ihm die Erstarrung beginnen könnte“.

Wie weit, so kann man hier fragen, könnte denn überhaupt das starr gewordene Krustenstück — angenommen es wäre wirklich um ein bedeutendes dichter als die halbflüssige Masse auf der es aufliegt — in die Tiefe sinken? „Die Annahme einer solchen Circulation“, so sagt Falb, ²⁾ „bis zu Ende gedacht, ergibt das Resultat, dass in der vollständig erstarrten Erde die Dichte der Schichten von Aussen nach Innen abnehmen“ müsste, die äusserste Rinde müsste also die grösste, der Mittelpunkt aber die geringste Dichte haben.

¹⁾ Transact. of the Royal Society of Edinbourg 1862. Theoretische Physik I. Bd. II. Abth. pag. 452.

²⁾ Rudolf Falb: Gedanken und Studien über den Vulkanismus, 1875. pag. 169.

Sir William Thomson kommt schliesslich zu folgendem Resultate: „Die Erde ist nicht, wie gewöhnlich vorausgesetzt wird, ganz flüssig bis auf eine dünne feste Schale von 30 bis 100 (engl.) Meilen Dicke, sondern sie ist im Ganzen sicherlich von grösserer Starrheit, als eine continuirliche Glaskugel von demselben Durchmesser, und wahrscheinlich auch starrer als eine eben so grosse Stahlkugel“ (l. c. pag. 453).

Von der Hopkins'schen Vorstellung unterscheidet sich die von Poulett Scrope¹⁾ hauptsächlich dadurch, dass dieser nicht einzelne getrennte Lavaseen, sondern eine continuirliche Schichte unvollständig flüssiger Felsmassen zwischen einem festen Kern und einer starren Kruste annimmt. Auch betont er, dass die Festigkeit des Erdkernes nur eine bedingungsweise und von dem Drucke abhängige sei, so dass durch ein Nachlassen der Druckkräfte früher feste Massen in den flüssigen Zustand übergehen müssten, wodurch das Aufsteigen der geschmolzenen Massen in höhere, der Oberfläche näher liegende Regionen erklärlich werde. Es ist dies eine Anschauungsweise, die auch von Constant Prevost und Faye ausgesprochen wurde.

Hier soll auch angeführt werden, dass Halley am Ende des siebzehnten Jahrhunderts, also lange vor Hopkins und Poulett Scrope bei seinen Studien über den Erdmagnetismus zur Annahme eines festen Erdkernes geführt wurde. Er dachte sich zwei magnetische

¹⁾ On Vulcanoes und im Geological Magazin (Dec.) 1868.

Pole in der äusseren starren Kruste und zwei andere in einer inneren Masse, welche letztere von der Aussen-schichte durch ein flüssiges Mittel geschieden und in etwas langsamerer Umdrehung begriffen sei als diese, eine Annahme, die auch von Hansteen gemacht wurde. Zu ganz ähnlichen Schlüssen kam auch Lamont bei Gelegenheit seiner im Herbste 1854 ausgeführten magnetischen Messungen ¹⁾. Er sagt, „die Erde besteht aus einem kugelförmigen, compacten, magnetischen Kern mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen“, — es werden „Berge und Bergzüge“ angenommen, wegen des stärkeren Hervortretens des Magnetismus an einzelnen Stellen — „dann aus einem dünnen Ueberzuge von lockerem Gefüge“. Der Kern ist nach Lamont von den Substanzen der Oberfläche völlig verschieden, vielleicht metallisch oder von zahlreichen Adern von Eisen und anderen Metallen durchzogen „etwa so wie es bei manchen Meteorsteinen der Fall ist“.

Ein Gegner der im vorstehenden erörterten Ansicht, dass das Innere der Erde von einem festen Kern eingenommen werde, ist der Astronom Delaunay²⁾, der dieselbe an der Wurzel angreift, indem er gleichfalls auf die Grössen der Präcession und Nutation zurückgreift und darauf hinweist, dass diese Störungen im Verhältniss zu der Hauptbewegung der Erde nur unge-

¹⁾ Lamont in Poggendorff Annalen 1855, Bd. 95, pag. 476—481.

²⁾ Académie des Sciences, Juli 1868, und Geolog. Magazin V. Bd.

mein langsam erfolgen, so dass die flüssigen Massen im Innern gewiss Zeit genug hätten, der auf die Kruste ausgeübten Bewegungsstörung zu folgen, so dass sich die Erde auch unter der Voraussetzung, dass das Innere flüssig sei, so verhalten würde als ob sie durchaus fest wäre. Diese Annahme gewinnt noch dadurch an Wahrscheinlichkeit, dass die flüssige Innenmasse unseres Planeten nicht unmittelbar an der festen Kruste liegt, etwa so wie Wasser in einer Glaskugel, sondern dass ein allmäliger Uebergang aus dem festen Zustand, durch eine halbflüssige Masse zum flüssigen Kern stattfinden dürfte.

J. Phillips ¹⁾ kommt darauf hin zu der Ueberzeugung, dass, wie plausibel auch die Hopkins'sche Ansicht von unterirdischen Lavaseen sei, wir durchaus nicht genöthiget seien, dieselben anzunehmen.

Aber auch in Beziehung auf die von Hopkins so überaus mächtig angenommene Erdkruste ist zu erwägen, dass die bei Annahme des flüssigen Kernes aus Mond- und Sonnenanziehung nothwendig resultirende innere Fluthwelle in ihrer Grösse nicht überschätzt werden darf, auch wird sie überdies bei der gegen die Kruste hin angenommenen halbflüssigen Beschaffenheit vielfach beschränkt werden. Ist der Betrag ihrer Einwirkung jedoch ein kleiner, so zwingt uns nichts, eine Krustendicke von 172 bis 215 geographische Meilen voraus zu setzen.

¹⁾ J. Phillips: Vesuvius 1869.

Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen der durch Mond- und Sonnenanziehung auf das flüssige Erdinnere nothwendiger Weise ausgeübten Störungen und den dadurch erzeugten Rüttelungen an der starren Kruste wurde übrigens schon von mehreren Forschern mehr oder weniger eingehend erörtert, haben doch Perrey ¹⁾ in Dijon, R. Falb ²⁾ und neuerlich auch Dr. J. Schmidt ³⁾ in Athen darauf hingewiesen, dass die Erdbeben und Vulkanausbrüche mit der Stellung des Mondes und der Sonne in Verbindung stehen. — Doch verwarft sich Herr Alexis Perrey in seiner neuesten Schrift (*Comptes-Rendus* 1875), eine Erdbeben-theorie aufgestellt zu haben, und betont, dass er nur zu dem Schluss gekommen sei, „dass seit einem und einem Viertel Jahrhundert die Erdbeben in den Sycygien viel häufiger seien als in den Quadraturen“. — Die Erscheinung der Erdbeben sei eine zusammengesetzte und innig verbunden mit der vulkanischen Thätigkeit und entspringe in ihrer Gesammtheit aus mehreren Ursachen. Rudolf Falb nimmt dagegen an, dass man alle Erdbeben durch eine Ursache erklären könne. Seine Erdbeben-theorie lässt sich kurz folgendermassen aussprechen: Die flüssige Innenmasse unseres Planeten

¹⁾ Perrey: *Propositions sur les tremblements de terre etc.* Paris 1863.

²⁾ Falb: *Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben*, Graz 1868 und: *Gedanken und Studien über den Vulkanismus*. Graz 1875.

³⁾ J. Schmidt: *Studien über Erdbeben*, Leipz. 1875 (p. 14.)

wird in Folge der Mond- und Sonnenanziehung, besonders zur Zeit der Hochfluth, gegen die starre Kruste andrängen, in Spalten und Canäle eindringen, dort zu erstarren beginnen, wodurch Gasexplosionen und dadurch Erderschütterungen eintreten werden. (Gedanken und Studien, pag. 108—114.)

Dr. Julius Schmidt der früher „nie an einen grossen Einfluss der Gravitation des Mondes geglaubt“ hat, kommt auf Grund seiner Zusammenstellung der Erdbeben seit hundert Jahren zu dem Resultate, „dass in der Erdnähe des Mondes die Erdbeben häufiger seien als in der Erdferne“, dass sich also „die mit dem Abstände veränderliche Anziehungskraft des Mondes in der veränderlichen Häufigkeit der Erdbeben kundgebe (l. c. pag. 13 und 14).

Von früheren Autoren, die auf Fluthphänomene im flüssigen Erdinnern zu sprechen kamen, seien erwähnt: Ampère, der sich die Wirkung der inneren Fluth auf die feste Kruste ganz grossartig vorstellt, während Poisson¹⁾ den Impuls für unbedeutend hielt, „da ja selbst im freien Meere die Wirkung eine sehr geringe sei“. Humboldt²⁾ sagt darüber: „Ist das Erdinnere flüssig, wie im Allgemeinen nicht zu bezweifeln ist, da trotz des ungeheuren Druckes die Theilchen doch verschiebbar bleiben, so sind in dem Erdinneren dieselben Bedin-

¹⁾ Théorie de la terre, Revue des deux Mondes 1833. Dabei ist der Einfluss der grösseren Dichte auf die Fluthhöhe ausser Acht gelassen.

²⁾ Fr. Humboldt's Kosmos IV, pag. 488.

gungen enthalten, welche an der Oberfläche die Fluth des Weltmeeres erzeugen Wenn die feste Erdrinde diesem Bestreben einen Widerstand entgegengesetzt, so wird das Erdinnere an diesen Stellen nur einen Druck gegen die Erdrinde ausüben“ und es wird keine Fluth entstehen.

Thomson und Tait ¹⁾ sprachen dagegen die Meinung aus, „dass die Kruste der Erde, wenn sie keine bedeutende Dicke hätte, in nahezu derselben Masse den Einflüssen der Fluth erzeugenden Kräfte nachgeben müsste, ja, dass sogar eine continuirliche feste Kugel von derselben Masse und demselben Durchmesser der Erde, wenn sie homogen und von derselben Starrheit wie Glas oder Stahl wäre, in ihrer Gestalt den Fluthwirkungen, beziehungsweise drei Fünftel oder ein Drittel Mal so viel nachgeben würde, wie eine vollkommen flüssige Kugel“.

Viel Aufsehen hat vor Kurzem, besonders in England, die von Robert Mallet aufgestellte neue Theorie über „die vulkanische Kraft“ oder die Ursache der vulkanischen Erscheinungen hervorgerufen, welche ich, da sie besonders unsere Frage nach dem Ursprung der Erdwärme auf das innigste berührt, in Kürze skizziren will.

Mallet geht von der herrschenden Ansicht aus, dass die Erde eine in Abkühlung begriffene und in Folge dessen sich zusammenziehende Kugel sei, entstanden

¹⁾ Thomson und Tait: l. c. I. Bd. II. Abth. pag. 406 und 407.

aus einer geschmolzenen Masse. Diese Abkühlung müsse, so schliesst er, an den Polen am grössten gewesen sein, wodurch eine Circulation der Flüssigkeit eingetreten sei, und zwar seien die an den Polen erkalteten Massen gegen das Centrum hin, längs der Rotationsaxe, gesunken, um in der Aequatorialregion wieder zur Oberfläche aufzusteigen und nach den Polen hin abzufließen. Eine Circulation also, ähnlich der, wie sie Carpenter als im Ocean vorgehend annimmt.

Oberflächlich erstand dann, so fährt Mallet fort, ein halbflüssiger Zustand und begann endlich eine oberflächliche Erstarrung und zwar zuerst in den Polarregionen, von wo die Krustenbildung als gegen den Aequator hin vorschreitend angenommen wird.

Mallet unterscheidet vier Perioden in der Erstarrungsgeschichte unseres Planeten, und zwar:

1. Die Periode der Bildung und Umbildung einer dünnen biegsamen Kruste, auf der zähen oder flüssigen Innenmasse;

2. diese Kruste zersplittert und bricht; durch die ersten Wasserniederschläge und Ansammlungen tritt eine Unregelmässigkeit in der weiteren Abkühlung der theilweise noch rothglühenden Kruste ein; mit dem Innern mögen noch Verbindungen offen stehen; Spannungen und Pressungen begleiten stellenweise diese Vorgänge;

3. die Kruste wird dicker und stärker, die bei der Zusammenziehung vertikal nach einwärts wirkenden Kräfte, werden durch den Widerstand der Kruste in

tangentialer Richtung, durch die Kruste selbst fortgepflanzt und erzeugen Faltungen und Runzelungen in der Kruste, wodurch sich die Entstehung der Bergketten erklärt; die Festlandsgestaltung, die Vertheilung der Oceane und Wasserläufe und die ersten Anfänge der Klimate wird begründet, „die einer Entwicklung der Lebensformen günstig waren“.

4. Die Kruste ist ausserordentlich dick, Abkühlung und Contraction gehen nur langsam vor sich, der durch die schnellere Contraction des heissen Erdkernes, in Folge der Erkaltung und durch das mehr oder weniger freie Nachsinken der Kruste durch ihre Schwere, erzeugte tangentiale Druck wird an Stellen, wo die Widerstandsfähigkeit geringer ist, zur Zerdrückung des Materiales der Kruste führen; die durch diesen Druck und die, in Folge der Zerquetschung eintretende Bewegung geleistete Arbeit, wird an günstigen Stellen in Wärme umgesetzt, so dass nicht nur Rothgluth, sondern sogar ein Zusammenschmelzen des zerdrückten Gesteins und der aufeinander pressenden Wände eintreten soll.

Auf diese Weise erklärt also Mallet sowohl die Innenwärme der Erde, als auch die vulkanische Thätigkeit derselben; diese ist somit „zwar nicht das unmittelbare Product ursprünglicher Schmelzhitze, aber sie ist doch mittelbar hervorgerufen durch die Abnahme dieser Hitze, die die einfache Folge der Erkaltung unserer Erde und der erkannten Gesetze der Schwere ist“. (Lassaulx's Uebers. l. c. pag. 162.)

Gegen diese Theorie wurden nun schon viele Bedenken laut. Besonders der letzte wichtigste Punkt ist mehr als zweifelhaft, da, wie Otto Lang ¹⁾ nachwies, die, den mathematischen Auseinandersetzungen zu Grunde liegende Formel, unrichtig ist.

Lang sagt, er müsse die vorliegende mathematische Deduction für „Blendwerk der Hölle“ und die grossen Integrale für grosse Irrwische erklären. Mallet kommt nämlich, unter Anwendung des Lagrange'schen Satzes: „Wenn eine gebogene Oberfläche [von der Natur einer hohlen Schale oder einer Membrane] im Gleichgewichte ist, und darauf Kräfte einwirken, die überall normal zur Oberfläche gerichtet sind, dann ist der normale Druck an jedem Punkte gleich der Kraft in der Richtung der Oberfläche der Schale an diesem Punkte, multiplicirt mit der Summe der Reciproken des Hauptkrümmungsradius“ ²⁾ — und unter Annahme einer Rindendicke von einer Meile Dicke auf einen tangentialen Druck von 952.666 Tonnen, was mehr als 472 mal das Gewicht sei, um Granit oder Porphyr zu zermalmen. Da jedoch diese Zahl durch Multiplication von Längsmassen [Meilen] mit Gewichten [Tonnen] erhalten ist und überdies, wie Lang nachrechnet, „nach den Mallet'schen Angaben der etwas sonderbare Fall auftreten müsste, dass die Erdkruste bei „nur ein Fuss Dicke sich selbst tragen könne, während sie bei einer

1) 1875. Göttinger Anzeiger, pag. 1627 ff.

2) Mallet (Lasaulx l. c. pag. 173).

englischen Meile oder 6000 Fuss Dicke durch tangentialen Druck zermalmt“ werden würde, — kann den, auf solchen Voraussetzungen fussenden Folgerungen, keinerlei Werth zuerkannt werden. So viel des Interessanten und Anregenden die Mallet'sche Schrift auch enthält, schliesse ich mich doch vollinhaltlich dem Ausspruche an, zu dem J. Roth in seiner Besprechung der neuen Theorie ¹⁾ kommt:

„Fasst man Alles zusammen, so erscheint es weder bewiesen, dass durch die Zerdrückung der Gesteine und durch die daraus mittelst Umsetzung gewonnene Wärme die vulkanische Thätigkeit bedingt werde, noch ist der Nachweis geliefert, dass die bisherigen Theorien so unzureichend seien, um die Annahme einer neuen Ursache nothwendig erscheinen zu lassen.“

Roth kommt sodann zu dem Schlusse, dass die hohe Temperatur des Erdinnern und der Zutritt des Wassers zu demselben mittelst Capillarspalten genügen, wenn auch nicht Alles auf genaue Zahlen zurückgeführt werden könne, zur Erklärung der explosiven vulkanischen Erscheinungen.

Einen Vorläufer hatte Mallet, wie er selbst anführt ²⁾ in dem Professor Giuseppe Belli zu Pavia ³⁾. Dieser nimmt die feste Erdkruste mit einer Dicke von

¹⁾ Zeitschrift d. d. geol. Gesellsch. XXVII. Bd. 3. Heft (1875), pag. 572 und 573.

²⁾ Mallet (Lasaulx) pag. 181—183.

³⁾ In den Verhandl. des Institutes der Lomb. (Giornale dell' Inst. 1850 und 1856.)

mehr als dreissig italienischen Meilen (69 Kilometer) an. Diese ruhe auf dem Kerne sanft auf, welcher ihrem Niedersinken einen nur sehr geringen Widerstand entgegensetzt. Da der Druck, den die Massen der Kruste nach abwärts ausüben, ein so ungeheurer sein müsse, dass kein Materiale demselben widerstehen könne, so könne sich die feste Erdrinde „nicht wie ein im Gleichgewichte befindliches Gewölbe tragen“, sondern müsse durch den flüssigen Kern getragen werden, auf dem sie schwimmt. Durch den Druck — und dies ist der grosse Gegensatz der Ansichten — der einsinkenden Krustentheile aber werde das flüssige Innere stellenweise in die Höhe gedrückt, um als Lava zu Tage zu treten. — Diesen Aussprüchen entgegengesetzt ist auch die von Stark ausgesprochene Ansicht, dass die Erdkrustenwölbung, wenn sie durch ungleiche Contraction vom Erdkerne getrennt würde, durch ihre eigene Festigkeit als ruhendes Gewölbe verbleiben könne.

Fast gleichzeitig mit der Arbeit Mallet's erschien im Januar-Hefte 1873 der Zeitschrift für die ges. Naturwissenschaften eine Abhandlung von H. O. Lang über „die Bildung der Erdkruste“, deren Inhalt ich in kurzen Zügen anführen will.

Aus der im feurigflüssigen Zustande befindlichen, nach der Dichte angeordneten Erdmasse („die Schwere ist die Ordnerin aller Theile“), die sich in einer mässigen Fluctuation in Folge der Abkühlung befindet, bilden sich die ersten Krustentheile, unter der Annahme, dass auch für die, aus dem flüssigen Magma erstarrenden

Theile, eine Volumenvergrößerung im Momente des Festwerdens eintrete, — (Thomson behauptet gestützt auf Bischof's Versuche das Gegentheil), — wie es für Eis und Eisen bekannt sei. Die peripherischen Theile müssen schon an und für sich die leichtesten gewesen sein. Diese dürften, so meint Lang, da die erstarrenden Theile hauptsächlich nur dem Atmosphärendrucke ausgesetzt waren, (freilich muss dabei bedacht werden, dass dieser in jenem Zeitpunkte ein viel viel grösserer gewesen sein muss als heute), eine schlackige Beschaffenheit gehabt haben, während die inneren, langsam erstarrenden Theile desselben Magmas, in Folge der bei der Erstarrung auftretenden Druckkräfte, das krystallinische Gefüge erhalten haben. Nach Bildung der Erdkruste wird die Abkühlung der Erde nicht mehr allseitig gleichmässig erfolgen, ja es wird endlich ein Minimum der Erdabkühlung eintreten müssen, das G. Bischof schon jetzt für eingetreten annimmt, da die Verminderung der Erdwärme eine merkbare Veränderung in der Erdrotation zur Folge haben müsste. (Laplace berechnete für die Abnahme der Erdwärme um 1° C. eine Verminderung der Dauer der Erdrotation um 0.2 Sekunden.)

An der Innenseite der zuerst gebildeten Kruste schreitet, so nimmt Lang an, die Erstarrung nach einwärts vor, und es bilden sich so „endogäe“ (innerirdische) Gesteinsmassen, „unter vorzüglicher Einwirkung eines einseitigen Druckes“. (Die Druckerscheinungen in Folge der Anziehungs- oder Schwerkraft haben die erstarrenden Theilchen angeordnet.)

Lang spricht sodann die Ansicht aus, dass das Raumbedürfniss des entogä erstarrten Gesteins allein schon genüge, die vulkanischen Erscheinungen zu erklären. Die Frage, welches denn wohl das älteste entogä gebildete Gestein sei, beantwortet er dahin, dass dieses mit dem ältesten eruptiven Massengestein, dem Granite, in Bezug auf seine chemische Constitution übereinstimmen müsse, somit kein anderes sein könne als das unter dem Namen Gneiss bekannte älteste krystallinische Gestein mit Parallelstructur. Es ist dies eine Ansicht, welche wohl Manches voraus hat vor der Annahme einer Entstehung dieses Gesteines durch Umwandlung (Metamorphose) aus sedimentären Gesteinen, da diese ja immer ältere, schon früher dagewesene Gesteine voraussetzen. Bedenkt man die ungemein weite Verbreitung und die oft immense Mächtigkeit der Gneissgesteine — sie finden sich ja in allen Zonen und überall mit einer staunenswerthen Uniformität der Gesteinscharaktere, — bedenkt man ferner, wie schon erwähnt, dass sie die ältesten Bildungen der bekannten Erdkruste sind, so wird man unwillkürlich zu der Annahme geführt, dass sie zu einer Zeit entstanden sein müssten, „wo — um mit Naumann zu sprechen — auf der ganzen Oberfläche des Planeten von einem Pol zum anderen noch völlig gleiche Umstände und Bedingungen herrschten“.

Wir können nun aber, hier angelangt, zwei Wege einschlagen, die zur Erklärung führen können, erstlich den von Lang gewählten, und die ältesten (krystallini-

schen) Schiefergesteine direct als entogäe Gesteine auffassen — (solche Bildungen müssen, wenn unsere Vorstellung von der Erdkrustenbildung durch äussere, nach innen fortschreitende Erstarrung richtig sind, entstanden sein und noch entstehen) — oder den von Naumann (Geognosie 1852, II. Bd. pag. 156) angedeuteten, wonach wir annehmen könnten, „dass die Aussenseite unseres Planeten, während und nach ihrer Erstarrung, einem langwierigen und tief eindringenden Conflict mit heissem Wasser und Wasserdampf ausgesetzt wurde, bei welchem eine sehr mächtige, den ganzen Planeten umgebende Hülle von heissflüssigem Schlamm entstand, der das Material zur Bildung der primitiven Gesteine lieferte“. Dieser Schlamm wäre jedoch nur als das ursprüngliche Material aufzufassen, „aus welchem sich durch einen wahrscheinlich sehr langsam fortschreitenden Krystallisationsprocess“ jene „ältesten Gesteine“ herausbildeten.

Den letzteren Weg hat auch H. Credner in seinen „Elementen der Geologie“ (Leipzig 1876, Seite 310) eingeschlagen. Dabei ist jedoch hervorzuheben, dass auch hier immer eine, wenn auch noch in der Bildung begriffene Erstarrungskruste vorausgesetzt wird.

Diese Betrachtungen führen uns auf eine weitere Hauptrichtung der Erklärungsversuche, welche ich schliesslich noch ins Auge fassen will. Ich meine die chemische Richtung, die in dem Amerikaner Sterry Hunt einen ihrer Hauptvertreter hat, dessen Vorstellung von dem Sachverhalte in Kürze folgendermassen lautet:

Die Erde besteht aus einem festen wasserfreien Kern und einer festen äusseren Kruste, zwischen beiden befindet sich eine Lage von theilweise flüssigen Massen, welche aber nicht als ein noch nicht festgewordener Rest der ursprünglichen feurig flüssigen Materie aufzufassen wäre, sondern aus Theilen der im Laufe der Zeiten durch chemische und mechanische Kräfte zerstörten, primitiven Massen besteht, die reichlich mit Wasser imprägnirt, in so tief gelegene Regionen gelangten, dass sie in einen eigenthümlichen Zustand übergeführt wurden, den er den „feurig-wässerigen Schmelzfluss“ (igneo-aqueous fusion) nennt.

Diese Meinung wurde schon lange vorher von Keferstein in seiner „Naturgeschichte des Erdkörpers“ (1834) und von John Herschel in einem Briefe an Charles Lyell (1836, Proc. geol. Soc. London II.) angedeutet, gerieth aber in Vergessenheit, bis sie im Jahre 1858 von Sterry Hunt wieder aufgegriffen und weiter ausgeführt wurde.

Sterry Hunt¹⁾ versucht die Abkühlungs- und Entwicklungsgeschichte der Erde aus chemischen Vorgängen, in den das Erdganze zusammensetzenden Stoffen, zu erklären.

Dabei geht er von einer ursprünglich homogenen gasförmigen, heissen und wenig leuchtenden Nebelmasse, von der Gestalt einer enormen rotirenden Kugel aus.

¹⁾ Sterry Hunt: The Chemistry of the primeval earth. Geolog. Mag. 1868 und „Ueber den wahrscheinlichen Sitz der vulkanischen Kraft“. Geol. Mag. 1869.

Er ist dabei selbst der Meinung, dass die Temperatur, welche nothwendig wäre, um alle die Stoffe der Erde in den gasförmigen Zustand zu versetzen, so immens gross sein müsste, dass wir uns nur schwer eine auch nur annähernd richtige Vorstellung davon machen können. Bei so hohen Hitzegraden konnten chemische Verbindungen nicht bestehen, die Verhältnisse der Affinität der Stoffe müssen ganz andere gewesen sein als bei geringeren Hitzegraden. Die durch Abkühlung condensirten Theile strebten nach dem Mittelpunkt der ganzen Masse, wo sie wieder erhitzt wurden, es begann so eine Circulation der ganzen Masse und das endliche Resultat war die Entstehung einer flüssigen Kugel, in der sich auch von einem gewissen Stadium an, Verbindungen der verschiedenen in der ursprünglichen chaotischen Masse vertheilten Elemente ansammeln konnten, und zwar in einer ihren Dichtigkeitsverhältnissen entsprechenden Anordnung.

Hunt denkt sich als die ersten gebildeten Verbindungen die Oxyde von Silicium, Aluminium, Calcium, Magnesium und Eisen. Doch dürften sich, bei fortschreitender Abkühlung, noch andere Elemente aus der damaligen Atmosphäre der flüssigen Kugel beigesellt haben. Sodann kommt Hunt auf die Frage: Wo begann die Erstarrung? Er acceptirt die Hopkins'schen Annahmen vom Beginn des Festwerdens in den centralen Regionen. Die Oberfläche blieb aber noch im geschmolzenen Zustande und hier begann nun in Folge der, wenn auch, wegen der Dichtigkeit der Atmosphäre, sehr langsam

vor sich gehenden Abkühlung, und unter Einwirkung eines Druckes, der das siebenfache des heutigen Atmosphärendruckes ausmacht, ein über alle Begriffe grossartiges Spiel der chemischen Kräfte.

Als ihr erstes Resultat nimmt Sterry Hunt einen Brei an, der an die Schlacken unserer Hochöfen oder an vulkanische Gläser erinnert und alle diejenigen Stoffe enthält, die nicht mehr in der Dampfform bestehen können.

Weiterhin erstarrt nun die Oberfläche dieses Breies und nun kann auch alsbald eine Condensation des Wassers eintreten, und zwar wird diese, immer unter der Wirkung des viel bedeutenderen Atmosphärendruckes, schon bei einer vielleicht doppelt so hohen Temperatur erfolgen können als heutzutage, und werden überdies die niederstürzenden überhitzten Wassermassen, (vielleicht 160 bis 200° C. heiss), ungemein reich sein an verschiedenen Säuren (besonders an Schwefel- und Salzsäure). Zerstörend und wieder neubildend treten diese Niederschläge in Action. Verbindungen von Basen mit Chlor und Schwefelsäure werden gebildet werden, das Wasser der dazumaligen Oceane wird eine Unmenge von Kalk-Magnesia- und Natron-Chloriden und Sulphaten enthalten.

Lange Zeiträume hindurch wird dieser Zustand währen, dann aber wird auch der immense Kohlensäuregehalt der Atmosphäre handelnd auftreten. Ungemein langsam, aber stetig, wird die Kohlensäure auf die schon

gebildeten Gesteine einwirken und in grossen Mengen gebunden werden.

Besonders die kieselsauren Verbindungen (Silikate) der Erdkruste werden der Zerstörung unterworfen sein und das Resultat wird die Bildung von thonigen Gesteinen sein, während kohlen saure Verbindungen (besonders Kalk- und Magnesia-Carbonate) in Auflösung dem Urmeere zugeführt werden. Kalksteine und Steinsalz werden gebildet. Dieser Kohlensäurereichthum der Atmosphäre wird aber andererseits eine über alle Begriffe üppige Vegetation begünstigen, bis endlich auch das animalische Leben, das bisher als nur im Meere bestehend angenommen werden mag, auch auf der festen Erde günstige Verhältnisse vorfindet, um sich daselbst zu verbreiten. — Doch sehen wir zu, was nach Hunt unter der festen Erstlingskruste weiter erfolgte. Weiter und weiter schritt die Erstarrung fort bis endlich die ganze Erde fest und starr wurde.

Der Kern der Erde wäre demnach äusserlich von einer mächtigen, durch Erstarrung aus dem Gluthocean entstandenen, durch chemische und mechanische Einflüsse zersetzten, mit Wasser durchtränkten Kruste bedeckt. Die dabei entstandenen Zerstörungsproducte haben sich im Laufe der Zeit in ungeheuren Mengen angesammelt und ihre tieferen Lagen gelangen endlich, durch den Druck der immer wieder neu gebildeten Ablagerungen, in den Bereich der von Innen heraus wirkenden Hitze. Diese hohe Temperatur (und die Wärmezunahme nach einwärts war da-

mals eine viel bedeutendere als heute) bewirkt nun, dass die herabgepressten Massen in einen Schmelzfluss ganz eigenthümlicher Art übergehen, indem das Wasser mit daran Theil nimmt und ein sogenannter „wässeriger Schmelzfluss“ eintritt. Wir wären demnach genöthiget, zwischen dem festen heissen Erdkern und der starr gewordenen Kruste, eine im wässerigen Schmelzflusse befindliche Zwischenlage anzunehmen, in der wir den Sitz der vulkanischen und der diesen vorausgegangenen Massen-Eruptionen zu suchen hätten, indem die hinabgedrückten geschmolzenen Kalke, Sande, Thone, Salze u. s. w., die Lava, — die gleichzeitig frei werdenden hochgespannten Dampf- und Gasmassen aber, die nöthige vulkanische Kraft liefern, um die erstere, an Stellen, die es erlauben, empor zu pressen und Vulkanausbrüche zu insceniren. —

Dass chemische Prozesse in der Erdkruste vorgehen und seit jeher vorgegangen sind, daran kann kein Zweifel bestehen, und es war auf jeden Fall ein verdienstliches Bemühen, solche auch für die geschilderten grossen Vorgänge anzuwenden, ob aber der von Sterry Hunt eingeschlagene Weg (v. Hochstetter nennt die Sterry-Hunt'sche Ansicht die „hydro-plutonische Theorie“) der richtige ist, darüber bestehen gar grosse Zweifel.

Aus Sedimenten, also aus Sandsteinen und Sanden, aus Thonen und Salzen, sollen durch ein Einsinken, über dessen Vorgehen in dem grossartigen Masse, wie es die Hunt'sche Theorie will, wir uns kaum eine Vorstellung

zu machen im Stande sind, nicht nur der Gneiss, sondern auch Grünsteine und Granite, entstanden sein. Durch welche Kräfte soll nun dieses in-die-Tiefe-sinken erklärt werden? und woher stammen denn alle die ungeheuren Mengen von Sedimenten, die immer und immer wieder abgelagert werden? Das führt ja nothwendiger Weise zu der Annahme eines ewigen Ringelreigens der aus der ersten Kruste entstandenen Zerstörungsproducte. Auch will mir nicht recht gefallen, dass gar keine Spur dieser ersten Erstarrungskruste zu erkennen sein soll, die doch eine ganz mächtige Entwicklung gehabt haben musste, um die Unmasse von Sedimenten zu bilden. ¹⁾

Liegt nicht auch ein grosser Widerspruch in der Annahme, dass Sedimente, wenn sie eine gewisse Tiefe erreichen — und es soll nochmals betont werden, dass diese Tiefe eine ganz beträchtliche sein muss ²⁾ — durch die Innenwärme unseres Planeten geschmolzen werden sollen, während die Möglichkeit, dass die in jenen, oder in noch grösseren Tiefen ursprünglich vorhandenen Massen im geschmolzenen Zustande sich befinden könnten, bestritten wird. Auch die Angabe, dass Granit aus Sandstein entstehen soll, erscheint mir nicht plau-

¹⁾ Freilich spricht Sterry Hunt nur von einem seichten Gluthocean oder wie er sagt, von einem wenig tiefen „liquiden Bad“.

²⁾ Erreicht ja, selbst unter Annahme einer Wärmezunahme in arithmetischer Progression, die Temperatur erst in circa vier Meilen Tiefe den Grad, der nothwendig ist, um die leichtflüssige glasige Lava zu schmelzen (bei etwa 900° C.).

sibel, denn der Haupteinwand gegen seine Entstehung auf „feurigem“ Wege, den die Chemiker stets bereit haben, das Vorhandensein des krystallinisch ausgeschiedenen Quarzes, steht auf schwachen Füßen, gibt es doch so viele Porphyre, die reich an Quarzkrystallen sind; freilich will man auch diesen auf „wässerigem“ Wege entstehen lassen, doch sind derer, die dies annehmen, schon weniger und für diese Wenigen kann man sodann den Quarztrachyt ins Feuer führen, seine vulkanische Natur wird ihm Niemand bestreiten. Konnte aber im Quarztrachyt freier Quarz sich abscheiden, warum sollte unter gewissen Modificationen der herrschenden Verhältnisse nicht auch der Quarz des Granites auf plutonischem Wege entstanden sein? — Ja, man könnte fragen, woher stammt denn der Quarz der Sande und Sandsteine? Die Antwort wird lauten müssen: aus krystallinischen Gesteinen — und diese sollten aber aus den Sandsteinen entstanden sein. Da wären wir in einem noch unsinnigeren Ringelreigen.

Wenn Sterry Hunt anführt: Seine gewiss überaus geistreiche Ansicht stimme „auf das beste“ mit den Lehren der Physik und Chemie überein, so ist er mit diesem seinem Ausspruche auch nicht alleinstehend, denn auch die Anhänger der anderen Theorien sagen dies von den ihrigen, und es ist hier wohl zu erwägen, welche der Hypothesen auf den meist berechtigten Annahmen aufgebaut erscheint.

Auf eine gar eigenthümliche Weise will Theodor Moldenhauer zur Erklärung der Erdkrustenbildung

gelangen ¹⁾, indem er beim Ballungsvorgange ein Stadium annimmt, in welchem in der Aussenregion der geballten, von Innen nach Aussen an Dichte abnehmenden, „durchwegs“ gasförmigen Kugel eine Association der „Stoffe“ und ein „Niederschlagsprocess“ ganz eigenthümlicher Art begonnen habe.

Aehnlich so, wie wir heut zu Tage Regen-, Hagel- und Schneefälle vorgehen sehen, sollen früher Quarzregen, untermischt mit Glimmer- und Hornblende-Hagel, oder Feldspath-Schneefälle vorgekommen sein, wobei die herabfallenden Mineralstoffe, die bis zu einem gewissen Grade flüssig gewesen, bis in jene Gasregion gefallen sein sollen, deren Dichte ein Weiterfallen unmöglich machte, wodurch dann eine Ansammlung derselben in Form einer gluthflüssigen, späterhin starrwerdenden Hülle oder Rinde, 850 Meilen vom Centrum entfernt, um einen äusserst dichten, gasförmigen und vorwiegend metallischen „Kern“ stattgefunden haben müsse.

Auf diese Weise erklärt Moldenhauer nicht nur die ursprüngliche Bildung von Basalt, resp. „granitischem“ und „porphyrischem Gestein“, und von krystalinischen Schiefersteinen aller Art, sondern auch Kalke, Thone und Sandstein sollen zum Theil auf diese Art entstanden sein. So erklärt z. B. Moldenhauer die aufrechten Stammrudimente, die zuweilen in den Steinkohlensandsteinen gefunden werden, auf die Weise, dass er annimmt, dieselben seien durch gewaltige atmosphä-

¹⁾ In einer Reihe von Artikeln in der Gaea 1875.

rische Niederschläge von Quarzkörnern umhüllt und so in ihrer ursprünglichen Stellung erhalten worden. Glücklicherweise hat die Atmosphäre endlich ihre letzten Thon-, Kalk- und Quarzmassen abgegeben, sie enthält nur noch „Wasserdämpfe“, sonst wären wir vielleicht noch immer in Gefahr, eines schönen Tages in einen tüchtigen „Quarzniederschlag“ eingehüllt und auf kürzestem Wege versteinert zu werden. —

Fassen wir das in dem Vorstehenden Erörterte schliesslich zusammen, so ergibt sich daraus, dass hauptsächlich zwei Ansichten über das Innere der Erde einander gegenüberstehen, deren eine einen festen Kern annimmt, während die zweite immer noch an dem schmelzflüssigen Erdinnern festhält. Darüber sind die beiden Meinungen übrigens einig, dass sich in der Centralregion die dichtesten Stoffe befinden müssten. (nach Dana wäre es Eisen). In Bezug auf das Vorhandensein einer, zwischen dem Kern und der Kruste befindlichen, beweglichen, heissen Umhüllung des Erdkernes, gehen die Anhänger der ersteren Ansicht wieder auseinander. Die Einen fassen diese Zwischenschichte als einen Rest der ursprünglichen schmelzflüssigen Gesamtmasse der Erde auf (Hopkins und P. Scrope), die Anderen lassen sie entweder durch chemische (Sterry Hunt) oder mechanische Kräfte (Mallet), aus festen Erdmassen nachträglich entstehen. — Wieder andere dachten sich die Erstarrung bis zu Ende durchgeführt und stellten sich die ganze Erde als eine völlig erstarrte Masse vor. — (Poisson.)

Nach Allem können wir uns die Erde als aus verschiedenen Hüllen bestehend vorstellen, deren erste äusserste die Atmosphäre, deren zweite unvollkommene die Hydrosphäre, und deren dritte die Lithosphäre oder Steinsphäre genannt wurde. Uns interessirte für diesmal nur die Lithosphäre, die Steinschale unseres Planeten und was unter ihr sich findet.

Im oberen Theil der Lithosphäre finden wir die Zeugen organischen Lebens, Reste von Thieren und Pflanzen. Auch diese Region ist nicht ununterbrochen. Man nennt sie die Biosphäre. Die tieferen Partien sind uns, wie wir gesehen haben, noch nicht bekannt, doch schlossen wir auf grössere Dichte und höhere Erwärmung. Man hat sie mit Recht die Barysphäre, die Sphäre des Schweren genannt, ob sie sich aber im festen Zustande befindet, wie die Einen wollen, oder ob sie vielmehr, durch die Wirkung der immer noch gewaltigen Innenwärme, im Zustande des Schmelzflusses erhalten wird, eine Ansicht, zu welcher ich mich immer noch bekennen will, das können wir nach dem gegenwärtigen Stande unserer Erkenntniss nicht entscheiden.

Der „friedliche“ Wettkampf der Geister, wird unermüdlich weiter gekämpft, bis die eine oder andere Ansicht als die richtigere, als Siegerin aus dem Kampfe hervorgehen wird, d. h. als die, den zur Verfügung stehenden Mitteln und Thatsachen vollkommen entsprechende.