

Verschiedene Ansichten
über das
Innere der Erde.

Von
Hofrath Dr. Franz Toula
Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien.



Wien 1899.

Verlag der „Allgemeinen bergmännischen Zeitschrift“.
Commissionsverlag der Buchhandlung Huber & Lahme (Ed. Turba), Wien, I. Herrengasse 6.
Druck von Johann N. Vernay.

„Das Innere unseres Planeten,“¹⁾ 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 an die Lösung der grossen Frage gewagt: In welchen Zuständen befinden sich die ungeheuren Massen, die das Erdinnere ausmachen?

Obwohl sich Jeder eingestehen musste, dass unserer unmittelbaren Anschauung die Tiefen unseres Planeten ewig verschlossen bleiben werden, boten doch gar Viele ihre Geisteskraft auf, und ihren Speculationen ist es gelungen, die schwierige Frage von den verschiedensten Seiten zu beleuchten und — wenn das sichere Endresultat auch 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, einer befriedigenden Lösung dieser Frage näher zu kommen. — Was in dieser Beziehung bisher geschehen ist, soll im Nachfolgenden versucht werden, in gedrängter Ueberschau zu entwickeln.

Von den älteren Phantasiegebilden über die Beschaffenheit des Erdinnern will ich nur eine anführen. Leslie (1766 bis 1832) beschrieb das Innere unseres Planeten als eine Hohlkugel, ange-

¹⁾ Am 5. April 1876 hielt ich im Vereine zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien einen Vortrag über die verschiedenen Ansichten über das Innere der Erde. Seither sind, im Laufe von mehr als 23 Jahren, viele neue Untersuchungsergebnisse und darauf gegründete neue Hypothesen bekannt geworden, die bei der neuen Behandlung des Gegenstandes berücksichtigt werden mussten, um in dem vorliegenden Aufsätze eine wesentlich vervollständigte Ueberschau über die bei dieser Frage in Betracht kommenden Verhältnisse zu bieten. Die Fülle des Stoffes nöthigte zu gedrängter Kürze, so dass der vorliegende Aufsatz nichts weiter bieten kann, als eine orientirende Uebersicht.

füllt mit unwägbaren Stoffen von ungeheurer Repulsivkraft.²⁾ Humboldt erzählt uns im „Kosmos“ sehr anziehend, wie diese Ansicht von Phantasten ausgebaut worden sei; wie diese 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 Phantasie überreiche Jules Verne in seiner „Reise nach dem Mittelpunkt 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 anfassen zu können. Mehrere Reihen von Thatsachen heben uns über manche Schwierigkeit hinweg.

Sie betreffen die Gestalt der Erde, die Unregelmässigkeiten der Bewegungsvorgänge, die Dichte der Erde und die Erdwärme.

1. Dass für unseren Planeten die Form eines von einer Kugel nur wenig abweichenden Rotations-Ellipsoides angenommen wurde, ist bekannt. Es ist dies die Form, welche rotirende Flüssigkeiten annehmen, 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 bekanntlich der Vorgang der Abplattung durch einen überraschend schönen Versuch auch experimentell gezeigt.

Olivenöl, in Weingeist von gleicher Dichte gebracht, zeigt die reine Kugelform, welche durch Umdrehung der Oelmasse umso 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) vor einiger Zeit angestellt wurde. Die Kugeln erstarren an der Oberfläche und beginnen zu rotiren, wenn eine einseitige Erstarrung eintritt. Die Rinde ist anfangs ein glattes,

²⁾ An dieser Stelle sei schon erwähnt, dass auch in neuester Zeit die Annahme nicht ohne einigen Erfolg vertreten wurde, dass sich im Inneren unseres Planeten ein „sehr dichter, gasförmiger Kern“ befinde.

dünnes Häutchen, wird jedoch bei zunehmender Dicke uneben und es entstehen Faltungen. Später gelang es Herrn Sacher auch, geschmolzene Schwefelkugeln in heisser Schwefelsäure zum Schweben zu bringen. Auch hier zeigten sich beim Erstarren Einschrumpfungen der Rinde und Trichterbildungen.³⁾

Andere dagegen bemühten sich, 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 infolge der eintretenden rotirenden Bewegung, durch die nagende und nivellirende Thätigkeit des Wassers, die sphäroidische Gestalt erhalten habe.

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 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.

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, in der schönen 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 *m* höher ist, als im weiten offenen Meere.

Eine der gründlichsten neueren Arbeiten über „die Figur der Erde“⁴⁾ hat H. Bruns herausgegeben. Derselbe hat die Ergebnisse der geodätischen Untersuchungen (Triangulation, Nivellements) mit jenen der Schweremessungen in Verbindung gebracht, um aus den wahren Niveauflächen der Erde, das „Geoïd“, festzustellen. Als Ergebniss seiner Berechnungen hat er gefunden, dass der Abstand des Geoïdes vom Sphäroïde 547 *m*, ja unter Umständen selbst bis gegen 1000 *m* betragen könne. Derselbe hängt ab von der Massenvertheilung auf und innerhalb der Erde, welche wir mit Hilfe des Lothes zu ermitteln⁵⁾ vermögen. Diesen

³⁾ Verhandl. d. k. k. geol. Reichs-Anst. 1875, pag. 261, und 1876, pag. 80.

⁴⁾ Berlin 1878.

⁵⁾ Ablenkungen des Lothes von der Verticalen.

Weg hat auch F. R. Helmert⁶⁾ eingeschlagen und auf demselben hochwichtige Erkenntnisse erzielt. Er hat gezeigt, dass nicht nur an Gebirgen und Meeresküsten, sondern auch in Ebenen Lothabweichungen eintreten. Aus zahlreichen mittels astronomischer Nivellements bestimmten Lothablenkungen liess sich z. B. vom Meridian des Brockens (im Harz) für diesen Theil der Erdoberfläche die wirkliche Form des Geoïdes feststellen. Die Erhebung über das angenommene Ellipsoid ergab sich am Brocken mit 4 *m*, bei Mittewald mit 10 *m*. — In einem späteren Berichte Helmert's wird erwiesen, dass die Gestalt der Erde in der Richtung des 56. Parallelkreises zwischen Feaghmain und Saratow eine grössere Unregelmässigkeit zeigt, als in der Richtung des Meridians. Die Erhebung des Geoïdes auf der Linie des 52. Parallels wurde auf rund 300 *m*, gegenüber dem zum Vergleiche herbeigezogenen Ellipsoide, bestimmt. Als solches wurde das von Clarke angenommen, mit dem Abplattungswerthe von $\frac{1}{203}$ des Aequatorialdurchmessers von 1276 *Mm*. — (Häufig wird auch die Abplattung mit $\frac{1}{207}$ oder $\frac{1}{206}$ angenommen.) — Es wird noch sehr lange währen, bis ein so dichtes Netz von Lothabweichungen zur Verfügung stehen wird, dass erstlich an die Construction des Geoïdes wird gegangen werden können.

2. Was die Dichte der Erde anbelangt, so ist von A. Cornu und J. B. Baille, nach den sorgfältigsten Untersuchungen mit der Drehwaage,⁷⁾ die mittlere Dichte mit circa 5.56 gefunden worden.⁸⁾ Bedenkt man nun, dass die mittlere Dichte der Gesteine der festen Erdkruste, so weit sie uns bekannt geworden, nur etwa 2.6 bis 2.7 beträgt, ja dass wir mit Hinzuziehung der Oceanbedeckung nur 1.6 als die mittlere Dichte der Gesamtoberfläche erhalten, so ergibt sich mit zwingender Nothwendigkeit, dass die Dichte des Erdinneren noch viel grösser

⁶⁾ Helmert's Lehrbuch: „Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie.“ Leipzig 1884.

⁷⁾ Ein horizontal schwingendes und dadurch der störenden Einwirkung der Schwere entzogenes Pendel, aus dessen Schwingungsdauer und Schwingungswerte die Masse der Erde berechnet werden kann.

⁸⁾ Cavendish fand (1798) auf diesem Wege die Dichte der Erde = 5.48 (nach Hutton's Rechnungen = 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 = 5.67.

Etwas geringere Werthe fanden auf Grund der Ablenkung des Bleiloths in der Nähe von Gebirgszügen Maskelyne und neuerlichst James; Ersterer berechnete die Dichte = 4.71, Letzterer = 5.136.

Auf etwas grössere Werthe dagegen kam der englische Astronom Airy (1854), gestützt auf den Satz, dass ein im Innern der Erde befindliches Pendel, wegen der geringeren Anziehung durch die Masse der Erde, langsamer schwingen müsse als auf der Erdoberfläche. (Er stellte seine Untersuchungen zu Harton in 383 *m* Tiefe an.) Er fand die mittlere Dichte der Erde = 6.566.

als 5·5 sein müsse. Laplace kam unter der Annahme einer Dichtigkeitszunahme in arithmetischer Progression auf eine Dichte des Kernes = 10·047, Plana unter der Annahme einer Oberflächendichte von 1·877 sogar auf 16·73.

Jolly in München⁹⁾ hat durch ein auch von Paynting in Manchester angewendetes sinnreiches Verfahren, indem er grosse Bleikugeln unter der Waage anbrachte, und die dadurch erfolgende Gewichtsvermehrung bestimmte, die Benützbarkeit derselben zur Bestimmung der Masse der Erde wesentlich erhöht. Nach seinen Untersuchungen beträgt die mittlere Dichte der Erde $5·692 \pm 0·068$, läge also zwischen 5·624 und 5·76. Erwähnenswerth ist auch R. v. Sterneck's¹⁰⁾ Dichtigkeitsbestimmung, die er in dem damals 1000 *m* tief gewordenen Adalbert-Schachte in Pörschitz in Böhmen nach dem Airy'schen Verfahren, mittels des Pendels ausführte, indem er an der Oberfläche und in der Tiefe, sowie an zwei Zwischenstationen gleichzeitig die Schwingungsdauer feststellte. Er ermittelte die mittlere Dichte der Erde auf diese Weise mit 5·77, was durch Helmert's Rechnungen auf 5·71 verbessert wurde. Ein neueres Untersuchungsergebniss basirt auf langjährigen Messungen (mittels einer Doppelwaage) von Richarz und Krigar Menzel¹¹⁾, wonach die mittlere Dichte mit ca. 5·5 angenommen werden dürfte. — (Wilsing hatte dieselbe auf Grund seiner Pendelversuche mit $5·579 \pm 0·012$ bestimmt.¹²⁾

F. R. Helmert (l. c. 492) hat unter der Annahme, die Erde sei ein homogen geschichtetes Rotationssphäroid, die Veränderung berechnet, welche die Schwerkraft in verschiedenen Tiefen der Erde erfahren müsste. Er zeigte, dass dieselbe zunehmen müsse bis zur Tiefe von 0·18 des Erdhalbmessers (d. i. bis zur Tiefe von 1148 *km*); hier erreicht sie ihr Maximum (=1·05 jener an der Meeres-Oberfläche), weiterhin nimmt sie dann stetig ab bis zum Mittelpunkte.

Diese Rechnungen könnten uns immerhin die Annahme nahelegen, dass die Massen der Erde sich so angeordnet hätten, wie wir es etwa beim Zusammenmischen verschieden dichter Flüssigkeiten sehen, wo immer die dichteste die tiefste, unterste Lage einnimmt. 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 dürften. Muncke¹³⁾ hat berechnet, dass z. B. atmo-

⁹⁾ Ann. d. Physik. 5. Bd. 1878 und 14. Bd. 1881.

¹⁰⁾ Mitth. des k. u. k. milit.-geogr. Inst. 1882 und 1883.

¹¹⁾ Sitzb. Berl. Ak. 1896.

¹²⁾ Astron. Observ. Potsdam 1889.

¹³⁾ Gehler's phys. Wörterbuch III. S. 1071.

sphärische 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 dicht werden würde wie Quecksilber, und Herschel berechnete für den Erdmittelpunkt einen Druck von 300.000 Atmosphären (d. i. auf 1 cm^2 3,099.000 kg), wodurch Stahl auf ein Viertel seines Volumens zusammengedrückt werden soll. Dieser Einwurf ist jedoch, was noch weiter erörtert werden wird, nicht stichhältig, da sich die Körper nicht ohne Grenze zusammendrücken lassen und auch die Ausdehnung, in Folge der grösseren Temperatur der Tiefe, der zusammendrückenden Kraft sicherlich entgegenwirkt.

Der Amerikaner J. D. Dana¹⁴⁾ kam, gestützt auf die Thatsache, dass sich die erwähnte mittlere Dichte der Erde recht gut unter der Annahme ergebe, dass das Innere, der Kern, aus Eisen bestehe (Dichte des Eisens ca. 7·4), zu der Meinung, dass etwa zwei Drittel der Erdmasse aus Eisen bestehen dürften und dass der eiserne Kern schon in etwa 500 englischen Meilen (ca. 800 km) Tiefe beginnen müsste. Die ungemein grosse Verbreitung des Eisens in den verschiedenen eruptiven, d. h. aus dem Schmelzflusse erstarrten Gesteinen, 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 Meteorisenmassen, die aus dem Weltraume auf die Erde niedergefallen sind, unterstützen diese Ansicht. Die Meteoriten sind ja offenbar auf kleine Gestirne zurückzuführen, die „ähnlich gebaut waren wie unsere Erde“.¹⁵⁾ Dabei muss auch darauf hingewiesen werden, dass die, die Meteoriten zusammensetzenden Stoffe auch auf der Erde bekannt sind.

Neuerlichst hat auch E. Wiechert in seiner Abhandlung über die Massenvertheilung im Innern der Erde¹⁶⁾ dem Gedanken an einen Eisenkern der Erde wieder Ausdruck gegeben. Unter etwas anderen Annahmen — eine mittlere Dichte der Erde gleich 5·58, eine mittlere Dichte des Gesteinsmantels der Erde mit 3·2, die Abplattung mit $\frac{1}{297}$ oder $\frac{1}{296}$, eine Dichte des zusammengepressten Eisens etwas über 7·8 — kommt er zu dem Rechnungsergebniss, dass die Erde aus einem Eisenkern von etwa 10.000 km Durchmesser und einem Gesteinsmantel von etwa 1500 km Dicke

¹⁴⁾ 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.

¹⁵⁾ Vergl. Tschermak: Die Bildung der Meteoriten etc. Sitzb. d. k. Ak. d. W. 1875, pag. 8.

¹⁶⁾ Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1897, 221—243.

bestehe. Der Mantel würde sonach etwas mehr als $\frac{1}{4}$ des Erdhalbmessers, dem Volumen nach etwa die Hälfte des Gesamtvolumens, der Masse nach aber etwa $\frac{3}{10}$ der Gesamtmasse ausmachen. Eine scharfe Grenze zwischen Kern und Mantel dürfte kaum anzunehmen sein, der Mantel dürfte im Gegentheil gegen den Kern zu immer reicher an Eisen werden, dafür spricht schon die angenommene ziemlich grosse mittlere Dichte des Mantels, da die uns erreichbaren Tiefengesteine der überwiegenden Menge nach eine geringere Dichte aufweisen.

3. Die Erdwärme gewährt uns eine Hauptstütze, um der Frage nach dem Zustande des Inneren unseres Planeten näher zu treten. Wo immer man bis jetzt tiefer in die Erde eingedrungen ist, überall hat man im Grossen und Ganzen dieselben Beobachtungen anstellen können. Die Einwirkungen der jährlichen Temperaturschwankungen erstrecken sich an verschiedenen Orten der Erde verschieden weit in die Tiefe, bis zu einem Punkte mit unveränderlicher Temperatur, welche der mittleren Jahrestemperatur des Ortes entspricht; diese Tiefe, die der „invariablen“ oder „neutralen“ Fläche, liegt in der Regel nicht unterhalb 30 *m*. Ihre Lage hängt von der geographischen Breite ab, sie liegt am Aequator am wenigsten tief, an den Polen am tiefsten. In Sibirien traf man noch weit unter 100 *m* Eisboden!¹⁷⁾ Die täglichen Veränderungen lassen sich zumeist nur bis 1 *m*, in extremen Fällen vielleicht bis 3 *m* tief nachweisen.

Jenseits der, durch Beständigkeit des Wärmegrades ausgezeichneten Grenze, nimmt die Temperatur fortdauernd zu, je tiefer wir eindringen. Diese Wärmezunahme ist wieder 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 Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Gesteine. In Bergwerken und in Bohrlöchern aller Art hat man vielfach Gelegenheit gehabt, auf diese Frage bezügliche Beobachtungen anzustellen.

Die grösste erreichte Schachtteufe war lange Zeit die im Albertschachte in Příbram, wo schon im Mai 1874 die Tiefe von 1000 *m* erreicht wurde. Heute ist derselbe 1070 *m* tief. [Die tiefsten, mir bekannt gewordenen Schächte sind gegenwärtig: der Schacht Princess Dagmar in den Gruben des Bendigo Gold-districtes (Australien) mit 5238 Fuss (d. s. 1596·5 *m*), der Red Jacket-Schacht in der Calumet- und Hecla-Mine (N.-Amer.) mit 4900 Fuss (d. s. 1493·6 *m*), der Kohlenschacht St. Henriette bei

¹⁷⁾ In Jakutsk, wo der Boden bis zu 200 *m* Tiefe das ganze Jahr über gefroren ist, steigt nach Middendorf die Temperatur in 130 *m* (von — 17·12° C.) auf — 2·9° C.

Flenu in Belgien mit 1150 *m*]. In Pöibram ergab sich als Ge-
steinstemperatur in einer Tiefe von:

74·5 <i>m</i>	9·44° C.
145·0 "	11·52° "
190·7 "	11·97° "
286·3 "	13·75° "
359·8 "	14·16° "
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 1° 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 *m*, was für eine sehr verschiedenartige Wärmevertheilung spricht; wollte man für die ganze Strecke eine mittlere geothermische Tiefenstufe annehmen, so würde diese circa 65 *m* betragen. Es ist dies eine auffallend grosse Stufe, wenn man sie mit den Angaben von anderen Werken vergleicht; so fand man beispielsweise für den Bohrbrunnen von La Grenelle in Paris (532 *m* tief) 30 *m*, für den Bohrbrunnen von Neusalzwerk in Westphalen (679 *m* tief) 29 *m* als geothermische Tiefenstufe.

Die tiefsten, bis jetzt durch Bohrung erreichten Punkte sind: Sperenberg (S. v. Berlin) 1273 *m*, Eu bei Stassfurt 1293 *m*, Lieth bei Altona 1338 *m*, Schladebach (zwischen Merseburg und Leipzig) 1748 *m* und Paruschowitz bei Rybnik in der Provinz Schlesien 2003 *m*. Im Bohrloche von Sperenberg, dem in Bezug auf die thermischen Verhältnisse best studirten (es ist auf 1193 *m* durch Salz geführt), ergaben sich folgende Temperaturen: bei 1000 Fuss 23° C., bei 2000 Fuss 33° C., bei 3000 Fuss 43° C., bei 4042 Fuss 48° C., die geothermische Tiefenstufe beträgt hier (nach Dunker) 98·5 Fuss oder etwas über 31 *m*.

Ausführliche Angaben hat auch J. Roth gemacht.¹⁸⁾ Die mittlere Jahrestemperatur von Sperenberg, wie für Berlin, mit 7·18° R. angenommen, ergaben sich folgende Temperaturen für die Tiefe von:

¹⁸⁾ Ueber die Temperaturbeobachtungen in dem Bohrloche von Sperenberg. Pogg. Ann. 148. Bd., pag. 168.

	Die Zunahme der Wärme für 100 Fuss beträgt:
700 Fuss = 15·654° R.	
900 " = 17·849 "	1·097° 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 39·13° R. ergeben.

Die Temperaturverhältnisse im Schladebacher Bohrloche hat Dunker gleichfalls untersucht.¹⁹⁾ Die geothermische Tiefenstufe ergab sich bis zu 1716 *m* Tiefe mit 35·7 *m*, in den Tiefen zwischen 1266 bis 1716 *m* aber mit 39·55 *m*. Diese Zahl erscheint als die verlässlichste, da die oberen Messungen erst nachträglich erfolgt waren.

Wie verschieden die geothermische Tiefenstufe in verschiedenen Werken ist, mag aus folgenden Angaben erhellen.

In dem Bohrloche zu Pechelbronn im Unterelsass (in einem Erdölgebiete) beträgt dieselbe nach Daubrée, bei 305 *m* Tiefe, 12·2 *m* und nimmt bis in 620 *m* auf 8·2 *m* ab. Ein ganz abnormes Verhalten, eine förmliche Anomalie! Eine ungewöhnliche Wärmezunahme hat man auch in dem Bohrloche zu Neuffen in Württemberg beobachtet. Dasselbe ist 516 *m* tief und wurde in dieser Tiefe eine Temperatur von 47° C. angetroffen, woraus W. Branco²⁰⁾ die geothermische Tiefenstufe mit 13·9 *m* bestimmte, was auf die vulcanische Natur des Gebietes zurückgeführt wurde. Aehnlich so verhält es sich mit dem Bohrloche bei Macholles bei Riom im französischen Centralplateau, und zwar im altvulcanischen Gebiete, wo in 1160 *m* Tiefe eine Temperatur von 79·1° C. ermittelt wurde, woraus durch Michel Lévy eine Tiefenstufe von 14·16 *m* abgeleitet worden ist. In dem Bohrloch zu Randow bei Gleiwitz in Preussisch-Schlesien dagegen fand man in 700 *m* Tiefe nur 31·33° C.

Die auffallend grosse geothermische Tiefenstufe für Příbram stimmt mit der schon längst bekannten Thatsache überein, dass die Temperaturzunahme in gewissen Erzgruben in der Regel sehr allmählig erfolgt.²¹⁾

Ein recht auffallendes Beispiel eines ganz anderen Verhaltens geben uns die sehr genauen Untersuchungsergebnisse in dem Comstock-Lode-Revier in der Sierra Nevada, wo in circa 2000 Fuss Tiefe 54·6 bis 59·7° C. angetroffen wurden, während die Wasser-

¹⁹⁾ Neues Jahrbuch 1889, I., 29.

²⁰⁾ Jahrb. Ver. f. vaterl. Naturk. f. Württemberg, 1897, 28 bis 55.

²¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 22 (1831), pag. 497.

temperaturen in den Zuflüssen der Tiefe auf 65·6 bis 69·4° C. anstiegen, ja in 800 *m* Tiefe auf 78° C.! Church hat diese Verhältnisse gleichfalls auf vulcanische Einflüsse zurückgeführt.

Für Schemnitz in Ungarn wurden Wärmezunahmen im Betrage von 1 : 30·3 bis 1 : 51·1 (im Mittel 1 : 41·4) nachgewiesen, während in den Kohlengruben von Anzin in Nordfrankreich eine Temperaturzunahme um 1° C. auf 15·4 bis 25·9 *m* Tiefenzunahme entfiel. In der Steinkohle von New-Castle ist dieses Verhältniss mit 1 : 26·9, in den Kohlengruben in Süd-Wales mit 1 : 41·7 bestimmt worden. Druckverhältnisse, Trockenheitsverschiedenheiten, Gasgehalt u. dgl. beeinflussen offenbar die Ergebnisse. In Triassandsteinen von Liverpool wurden in einem Bohrloche die Verhältnisse 1 : 66·4 bis 1 : 71·9 gefunden; ja in einem amerikanischen Kupferbergwerke wurde die Tiefenstufe mit 1 : 122·8 angegeben (!).

Interessante Ergebnisse wurden auch bei der Ausführung des Tunnels durch den St. Gotthard gefunden. Nach Stapff's Angaben wurden dort an der Nordseite und zwar 658 *m* unter Tag 22·4° C., an einer anderen Stelle an der Südseite, in 1074 *m* Tiefe, aber 27·3° C. gemessen und überhaupt eine sehr unregelmässige Vertheilung der Wärme nachgewiesen, indem sich unter der Andermattter Ebene Tiefenstufen von 21·75, 58 und 54·3 ergaben. Stapff berechnete die Temperatur für den Scheitel des Tunnels auf 32·84 ± 2·55 voraus, doch wurden daselbst (1882) nur 30·42° C. thatsächlich gemessen.

Eine übersichtliche Zusammenstellung über 530 Stationen hat J. Prestwich (1887) veröffentlicht und hat dabei die geothermische Tiefenstufe im Mittel bestimmt mit 1 : 27·5 für Steinkohlengruben, mit 1 : 26 für Bergwerke und mit 1 : 28·1 für artesische Brunnen. Daraus leitete er einen allgemeinen Mittelwerth von 1 : 26·5 ab, den er noch als zu gross annahm und auf 1 : 25 herabminderte.

Alle Temperaturmessungen, wo sie auch angestellt wurden, lieferten, bei aller Verschiedenheit, den untrüglichen Beweis für eine allgemeine Zunahme der Wärme mit zunehmender Tiefe.

Einen Beweis für die „Allgegenwart“ der inneren Erdwärme liefern uns auch die ungemein zahlreichen und allgemein verbreiteten schwachen Thermen, das sind Quellen, deren Temperatur nur wenig höher ist, als die mittlere Temperatur ihres Ausflussortes. 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. ²²⁾

²²⁾ Das Wasser des Geysirs auf Island hat in einer Tiefe von 32 *m* im Canal, unter dem Drucke der darüberstehenden Wassersäule, über 125° C.

An dieser Stelle möge nun das wahrscheinliche Gesetz der Wärmezunahme, wie es aus den erwähnten Messungen hervorgeht, kurz erörtert werden.

Die Temperaturzunahme mit zunehmender Tiefe steht ausser allem Zweifel, das Gesetz dieser Temperaturzunahme ist jedoch noch nicht sichergestellt und nur hypothetische Versuche einer Fassung der Rechnungsergebnisse in ein Gesetz liegen bis nun vor.

Ausser den thatsächlichen Beobachtungsreihen haben wir nur noch die Ergebnisse der von G. Bischof schon vor mehr als 60 Jahren ausgeführten Untersuchungen an gegossenen Basaltkugeln in Betracht zu ziehen. An einer solchen Kugel von $27\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser wurden 48 Stunden nach dem Gusse die Temperaturen gemessen, dabei fand man im Mittelpunkte 154° R., $4\frac{1}{2}$ Zoll nach aussen 136° R. in $6\frac{3}{4}$ Zoll Entfernung vom Mittelpunkte 125° R. und 9 Zoll davon entfernt 110° R. Daraus ergab sich eine nach innen abnehmende Progression der Wärmezunahme. Die Tiefenstufen für 1° Zunahme betragen in der äusseren Hälfte 0.172, in der inneren 0.257 Zoll. Daraus konnte in einer durch Wärmeleitung und Wärmeabstrahlung sich abkühlenden Kugel auf nach innen zu immer grösser werdende geothermische Tiefenstufen geschlossen werden. Damit stimmt auch die mathematische Ableitung, wie sie von Fourier (1807 und 1822) aufgestellt worden ist und wonach die Temperaturzunahme gegen innen anhält, aber immer grösser wird, d. h. immer allmählicher erfolgt, überein. Ed. Dunker hat sich, gestützt auf seine Beobachtungen (s. o.), mit diesen Fragen eingehend beschäftigt²³⁾ und hat festgestellt, dass in den erreichbaren Tiefen die Temperaturzunahme den Tiefen proportional ist. Die Verlangsamung der Zunahme, entsprechend der Fourier'schen Ableitung, würde erst in Tiefen erfolgen, die uns nie zugänglich werden können und sicherlich immer noch zu ganz enormen Hitzegraden im Kerne der Erde führen würden.

Dass die Wärmezunahme auch von der Beschaffenheit der Gesteine abhängt, ist selbstverständlich. In manchen schieferigen Gesteinen ist eine grössere Wärmezunahme beobachtet worden, als in krystallinen 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

²³⁾ Ueber die Wärme im Innern der Erde, Stuttgart 1896. Eine sehr ausführliche Zusammenfassung findet sich in der Zeitschrift für praktische Geologie 1896, Novemberheft. M. vergl. Thomson und Tait „Theoretische Physik“, II. 450.

Kiese hinzukommen kann, so dass man nicht immer gleich genöthigt ist, eine grössere oder geringere Nähe des Wärmeherdes anzunehmen.

Es ist unter Anderem auch erkannt worden, dass in Schiefergesteinen die Wärmeleitung in der Richtung der Schieferung eine viel grössere ist, als normal dazu.

Dass jene grösste Temperatur in der Kernregion der Erde eine ganz ansehnlich hohe sein muss, das beweisen uns ausser den heissen Quellen, die aus Tiefen von 3000 bis 4000 *m* heraufkommen dürften, in noch höherem Grade die als Lava bei vulkanischen Ausbrüchen emporgetriebenen, geschmolzenen Gesteinsmassen. Um glasige Lava zu schmelzen, sind schon ca. 900° C. nothwendig, dem entspräche, unter der Annahme einer gleichmässigen Wärmezunahme, eine Tiefe von etwa 30 *km*; Steinlava (basaltische Lava) schmilzt erst bei etwa 1700° C. oder unter derselben Annahme in einer Tiefe von fast 60 *km*.

Die Lava entsteigt als eine geschmolzene Gesteinsmasse dem Erdinnern, ebenso wie das Wasser der siedend heissen Quellen. Die Temperatur der Lava in der Tiefe der Ausbruchsschote dürften wir vielleicht mit 2000° C. annehmen. Darin liegt übrigens, so hoch die Zahl auch ist, noch lange nichts Ungeheueres, denn, brachten wir es früher in Hochöfen, unter Anwendung von bis auf 300° C. erhitzter Gebläseluft, bis über 2800° C., so liefert uns der Moissan'sche elektrische Schmelzofen,²⁴⁾ mittels des elektrischen Lichtbogens experimentell Temperaturen, die noch weit höher sind, und zwischen 3000 und 4000° C. liegen, so dass dadurch Eisen, Uran, Kupfer und Platin, aber auch Silicium und Kohlenstoff zum Verdampfen gebracht werden. Nur neue Verbindungen von Bor, Silicium und Kohlenstoff mit Metallen widerstehen diesen Temperaturen. Goldschmidt (in Essen an d. Ruhr) hat die schon von Wöhler, Deville und Anderen erkannte Eigenschaft verbrennender Gemenge von Aluminium und Metalloxyden, grosse Wärmemengen frei werden zu lassen, vor Allem dadurch zur Erreichung von Temperaturen von 2900 bis 3000° C. benützt, dass er in mit Magnesia ausgekleideten Thontiegeln Aluminium und Baryumsuboxyd lediglich im Inneren des Reactionsgefässes, d. h. ohne jede äussere Erwärmung in Brand setzte.²⁵⁾

Wenn wir bedenken, dass der Schmelzpunkt durch vermehrten Druck um ein Erhebliches erhöht wird, so ist die Annahme von 2000° C. vielleicht noch etwas zu gering. Da nun

²⁴⁾ M. vgl. etwa die deutsche Ausgabe „Der elektrische Ofen von Henri Moissan“, Berlin 1897.

²⁵⁾ Zeitschrift für angewandte Chemie 1898, S. 821.

überdies eine gleichmässige Wärmezunahme (in arithmetischer Progression) in grossen Tiefen vielleicht doch nicht mehr anzunehmen ist, sondern die geothermischen Tiefenstufen allmählig immer grössere und grössere werden dürften, je weiter wir von einer gewissen Tiefe aus in Geiste vordringen, so werden wir vielleicht erst in 100 oder 200, oder noch mehr Kilometer Tiefe, überall auf geschmolzene Massen treffen; von hier an bis zum Mittelpunkt werden wir dann vielleicht eine noch allmähligere Temperaturzunahme annehmen dürfen. Man würde dann auch nicht mehr auf so hohe Hitzegrade kommen, wie man früher angenommen hat, als man Temperaturgrade von 200.000 bis 250.000° C. herausrechnete. „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.“

Wäre für die ganze Kruste die gleichmässige Temperaturzunahme anzunehmen, so würde man natürlich weit geringere Krustendicken erhalten, und in der That schwanken die Annahmen bei den verschiedenen Autoren zwischen 40 (Élie de Beaumont) und wenig über 100 *km*. Nach Henrich's Rechnungen würde in 84 *km* Tiefe schon eine Temperatur von 2500° C. herrschen. Interessant ist vielleicht ein Versuch, die Dichte der Erde mit der Temperaturzunahme in Verbindung zu bringen, um Schlussfolgerungen für die Bestimmung der Krustendicke zu gewinnen. Helmert, der unsere Erfahrung über die Dichte der Erde wesentlich erweiterte, hat unter der Annahme, die Erde bestehe aus Kugelschalen von gleicher Dichtigkeit, eine Formel aufgestellt, nach welcher man die wahrscheinliche Dichte in verschiedenen Tiefen berechnen kann.²⁶⁾ Die Dichte des Centrums der Erde ist dabei mit 11·2, die mittlere Dichte der festen Kruste mit 2·6 angenommen. Diese Formel hat A. Penck durch Transformation benützt, um zu berechnen, aus welcher Tiefe gewisse Gesteine von bestimmter Dichte stammen dürften.²⁷⁾ Er hat auf diese Weise gefunden, dass trachytische Gesteine mit einer Dichte von 2·7 bis 2·8 aus Tiefen von 73 bis 117, Basalte mit einer Dichte von 2·9 bis 3 aus Tiefen von 169 bis 221 *km* stammen

²⁶⁾ Theorien (1888) II. S. 475: $D_h = 11\cdot2 \left[1 - \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 + 0\cdot23 \left(\frac{a}{a_0} \right)^4 \right]$,
 a_0 = Aequatorialhalbmesser; a = Radius der fraglichen Schichte.

²⁷⁾ Morphologie der Erdoberfläche (1894) I. 442:

$$h = r \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sqrt{0\cdot821 D_h + 0\cdot08}}{0\cdot46}} \right) \cdot h = \text{Tiefe der fraglichen Schichte,}$$

$$r = \text{Erddhalbmesser.}$$

sollen. Dabei käme man unter Annahme des Schmelzpunktes von 1200° bereits in 73 km Tiefe auf Gesteinsschmelzflüsse, was einer geothermischen Tiefenstufe von 61 m entsprechen würde. — Dabei fällt immerhin vielleicht ins Gewicht, dass bei der Bestimmung der mittleren Dichte der festen Kruste mit 2·6 dieselbe etwas zu gering bemessen sein dürfte, und dass anderseits die genannten Gesteine: Trachyte und Basalte, in die Bestimmung dieser mittleren Krustendichte einbezogen erscheinen, da sie ja in recht beträchtlichem Ausmasse an der Krustenbildung theilnehmen. Auch das Resultat der ermittelten Tiefenstufe von 1 : 61 m erscheint etwas zu gross, da es der Erfahrung über die anzunehmende Tiefenstufe innerhalb der Kruste nicht völlig entspricht. Aus dieser Erwägung könnte gefolgert werden, dass die von Penck gerechneten Tiefen der Ursprungsstellen zu gross ausgefallen sein möchten. Es hängt, wie auch dieses Beispiel lehrt, bei allen derartigen Folgerungen alles von den gemachten Annahmen ab. Würde man die mittlere Dichte der Kruste mit 2·7 oder 2·8 annehmen und (Helmert hat auch letztere Zahl in Rechnung gezogen), so käme man sofort auf ganz andere und vielleicht zutreffendere Ergebnisse.

Alle die angegebenen directen Beobachtungen beziehen sich auf einen im Verhältniss zum Ganzen winzigen Theil des Erdganzen; die Tiefe des Paruschowitzer Bohrlochs beträgt ja nur $\frac{1}{3200}$ des Erdradius!

J. Hann²⁸⁾ war es, der der Ueberzeugung Bahn zu brechen gesucht hat, dass das, was wir thatsächlich über die Temperaturzunahme in der Erde wissen, vollkommen unzulänglich sei, um auf grössere Tiefen ausgedehnt zu werden. Messungsergebnisse im Bohrloche von Sperenberg lassen nur auf eine gleichmässige Zunahme schliessen. W. Thomson hat berechnet, dass wir erst in 40 oder in 4 km Tiefe eine wirkliche Zunahme der geothermischen Tiefenstufe erwarten dürften — je nachdem die Abkühlung des gluthflüssigen Balles vor 100 Millionen oder vor einer Million Jahren ihren Anfang genommen hat — unter der Annahme natürlich, dass die innere Erdwärme in der That als der Rest der Wärme eines schmelzflüssigen Balles betrachtet werden dürfe. — Unter verschiedenen Annahmen für die Temperatur des schmelzflüssigen Balles, für die Wärmeleitung und für die geothermische Tiefenstufe hat er Zeiträume zwischen 20 und 400 Millionen Jahren gefunden, welche seit Beginn der Abkühlung verflossen sein müssten. Auch G. Darwin²⁹⁾ hat sich mit

²⁸⁾ Zeitschrift für österr. Meteorol. 1878, S. 21.

²⁹⁾ Geogr. Jahrb. 1880, S. 49.

dieser Frage beschäftigt und gefunden, dass das Abkühlungsmaximum im Verlaufe der Zeit in die Tiefe rücke und dass dasselbe für die Erde in ca. 150 *km* Tiefe anzunehmen sei, wenn diese — vor 200 Millionen Jahren begonnen hätte sich abzukühlen.

Schon eine Dicke der Kruste von 30 bis 60 *km* würde unserer Erde die nöthige Stabilität geben, freilich würde dadurch auch die Communication des Innern mit der Oberfläche sehr erschwert. Dass die Kruste aber von jeher so dick gewesen sei, wird hiermit durchaus nicht behauptet, sondern es sei schon jetzt, den ferneren Ausführungen vorgreifend, hier angeführt, dass die Dicke der Erdrinde in früheren Zeiten eine viel geringere gewesen sein müsse, und dass damals grossartigere Einpressungen und Hindurchbrüche der geschmolzenen Innenmassen stattgefunden haben. Die Verbreitung der heute noch thätigen Vulcane ist übrigens eine derartige, dass wir zu dem Schlusse berechtigt sind, dass diese sich vielfach an Stellen befinden, wo der innige Zusammenhang der Krustentheile gestört ist. Sie finden sich, hier noch thätig, dort in Ruinen, an Punkten und Linien, welche auf Riesenklüfte und Spalten, auf Risse in der Kruste schliessen lassen, wodurch ein Durchbrechen der flüssigen Massen erleichtert wurde. An solchen Stellen wird man gewiss (man gedenke der oben angeführten Beispiele) eine raschere Temperaturzunahme nach Innen finden und weniger tief eindringen müssen um auf den „Herd der vulcanischen Thätigkeit“ zu stossen, als dort, wo der Zusammenhang nicht gestört, oder der einst gestörte Zusammenhang wieder vollkommen innig geworden ist.

Freilich ist uns gerade in neuester Zeit an gewissen Erscheinungsformen von Vulcanen durch W. Branco ³⁰⁾ eindringlich und überzeugend dargelegt worden, dass Vulkandurchbrüche auch in ungestörten Gebieten, ohne vorhergegangene Aufklaffung der Kruste erfolgen konnten, was wir, allein schon gestützt auf die Erkenntniss der hohen Innentemperaturen, begreiflich finden können.

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

4. 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 ehemaligen gasförmigen und später ganz oder doch theilweise „gluthflüssigen

³⁰⁾ Schwabens 125 Vulcan-Embryonen, Stuttgart 1894.

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

Laplace (1795) führte diesen Gedanken für unser Planetensystem weiter aus. Eine ungeheure Gasmasse, die „Ursonne“, habe sich weit über die Grenzen unseres heutigen Planetensystemes ausgedehnt, alle Stoffe des letzteren in sich enthaltend. Durch fortwährende Verdichtung der Masse sei unter Mitwirkung der Abkühlung ein centraler Kern, die Sonne, entstanden. Eine Folge der Abkühlungs- und Verdichtungsvorgänge war offenbar die Rotation³¹⁾, welche bei fortschreitender Condensation allmählig beschleunigt worden sei. Dadurch erkläre sich die Steigerung der Fliehkraft, die bis zur Ablösung von Nebelringen geführt habe, aus denen sich die Planeten gebildet hätten. Diese hätten also nach dieser Vorstellung ursprünglich aus „geballter“ Dunstmasse bestanden. War diese Masse gross genug, so bildeten sich unter ähnlichen Vorgängen die Trabanten oder Monde heraus. „Die wichtigsten und entscheidendsten Beweise für die Richtigkeit der Laplace'schen Theorie hat erst die neueste Zeit geliefert. Hieher gehören: der gegenwärtige Zustand des Sonnenballes, der von einigen als eine noch gegenwärtig gluthflüssige Masse angesehen wird³²⁾; 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 Saturnringe³³⁾ und der höchst wahrscheinlich dunst- oder wolkenartige Zustand der Oberflächen der

³¹⁾ Ueber den Beginn der Rotation und die Kraft, wodurch sie hervorgerufen wurde, 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 Bewegung als Folge der Ballungs- oder Abkühlungsvorgänge an.

³²⁾ Nach Secchi müssten wir freilich an einen enorm heissen Gasball denken. Der Secchi'schen Annahme einer Temperatur, die sich nur in Millionen Graden ausdrücken lassen sollte, stehen heute Messungsversuche entgegen, welche zwischen 6200 und 10.000° C. schwanken, immer noch genug, an nichts Festes bestehend denken zu lassen. Dabei ist noch ein Hauptgewicht auf die Erkenntniss der geringen mittleren Dichte der Sonne (ca. 1.5) zu legen.

³³⁾ Heute wird sehr häufig mit Keeler angenommen, dass die Ringe des Saturn als Anordnungen kosmischer Körperchen zu betrachten seien, die sich nach Art der Meteoritenschwärme um den Planeten herum bewegen.

äusseren Planeten überhaupt.“ (H. J. Klein: Entwicklungsgeschichte des Kosmos.)

In neuerer Zeit (1865) hat der (1882 gestorbene) Physiker Zöllner in Leipzig durch seine photometrischen Untersuchungen die Richtigkeit der Laplace'schen Theorie mehrfach beleuchtet und durch die hypothetische Betrachtung des dermaligen Bestandes der Dinge im Universum weiter auszuführen gesucht. Er führte fünf Entwicklungsstadien als noch gegenwärtig nachweisbar an. Erstens: Das Stadium des glühend gasförmigen Zustandes, in dem sich die planetarischen Nebel befinden sollen. Zweitens, das Stadium des gluth-flüssigen Zustandes; durch die meisten Fixsterne repräsentirt. Diese gluth-flüssigen Massen überzogen sich im dritten Stadium bei weitergehender Abkühlung oberflächlich stellenweise mit Schlackenkrusten (er suchte auf diese Weise die Flecken der Sonnenoberfläche zu erklären). Unsere Sonne soll sich nach Zöllner in diesem Entwicklungsstadium befinden. (Vorherrschend ist jedoch noch immer die Annahme, dass sich auch die Sonne noch im zweiten Stadium befinde.) Umhüllt diese Schlackenkruste endlich den ganzen gluth-flüssigen 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 erblassen und unter einer neugebildeten dickeren Kruste zu verschwinden. Wird diese so mächtig, dass sie nicht mehr in ihrer Gänze zerstört werden kann, so tritt das letzte Stadium, das der vollendeten Oberflächenerkaltung, ein, in dem sich die der Sonne näheren Planeten und auch unsere Erde befinden.

In diesem Verlaufe wäre zugleich auch ein Theil der wahrscheinlichen Entwicklungsgeschichte der Erde gegeben.

Die Anschauungen Zöllner's über die Natur des Sonnenkörpers sind, wie schon aus dem Gesagten hervorgeht, nicht allgemein angenommen worden, sondern es besteht nach wie vor die Annahme des gasförmigen Zustandes für die Sonne mit gewissen Abänderungen fort. — Die Erklärungsversuche über die Ursachen der hohen Temperaturen auf der Sonne könnten auch zur Erklärung der innerirdischen Verhältnisse herbeigezogen werden.

Die ganze Erde, so müssen wir nach Allem schliessen, war einst in gasförmig flüssigem Zustande.

Eine Vorstellung über die in einem solchen Gasballe sich abspielenden Vorgänge könnten wir aus den von K. Braun³⁴⁾ und E. v. Oppolzer³⁵⁾ gemachten Ausführungen entnehmen.

³⁴⁾ München 1889.

³⁵⁾ Sitzsb. d. Wiener Akad. d. W. Bd. 102, S. 393.

Ersterer schildert die Strömungen, in radialem Sinne, welche nahe der Oberfläche eines solchen Gasballes — er hat die Sonne im Auge — eintreten müssten; wie infolge des Wärmeverlustes dichter gewordene Aussentheile einsinken müssten, bis sie in die Region mit der gleichen Dichte gelangen und wie anderseits der Ersatz für die einsinkenden Theile von unten her erfolge, während vulcanartige Ausbrüche Theile der Tiefe in grosse Höhen empor-treiben müssten. — Oppolzer betrachtete die Sonnenflecken als dunkle und kühle Gasmassen.

Eine inhaltreiche Darstellung über die Verhältnisse und Vorgänge in einem derartigen Gasballe hat A. Ritter³⁶⁾ gegeben, indem er dabei von der Annahme ausging, dass dies Gase seien, welche auch bei den höchsten Druckwirkungen und höchsten Temperaturen den Gesetzen von Mariotte (1679) und Gay-Lussac (1802) Folge leisten, d. h. dass 1. deren Volumen sich im umgekehrten Verhältnisse mit den Druckkräften ändert und 2. dass das Volumen und die Expansivkraft proportional mit der Temperaturerhöhung zunehmen. Unter diesen Annahmen würden sich, in einer gleichmässigen Gaskugel von der Grösse der Erde und bei gleicher Temperaturzunahme, wie sie in den obersten Schichten der Erde bekannt geworden ist, die Temperatur des Erdmittelpunktes auf etwas über 100.000°, der Druck aber auf nicht weniger als drei Millionen Atmosphären (ca. 32 Mill. Tonnen auf das Quadratmeter) berechnen lassen. Das sind jedoch Verhältnisse zwischen Druck- und Wärmewirkung, für welche uns keinerlei Erfahrungen zu Gebote stehen. Die bekannten Gesetze auf solche Verhältnisse auszudehnen, ist mehr als gewagt und die Schlussfolgerungen sind daher höchst zweifelhaft. — Der kritische Punkt der Temperatur der Gase, bei welchem diese trotz aller Druckvermehrung als Gase verharren, würde für alle denkbaren Stoffe der Erde, bei so hochgradiger Erhitzung weit übertroffen und würde dies in der That für die Anschauung sprechen, dass das Innere der Erde im gasförmigen Zustande sich befinde. Eine weitere Gedankenfolge Ritter's ergibt sich durch Heranziehung der Thatsache, dass Wärmeabgabe nach aussen im Zusammenhange mit einer Zusammenziehung erfolgen müsse. Die dabei geleistete Arbeit würde eine weitere Temperaturerhöhung des Erdinneren in nicht unbeträchtlichem Masse ergeben: der Wärmeverlust würde im fünffachen Masse durch die Wärmevermehrung aufgewogen; — die Abkühlung würde also eigentlich höhere Erhitzung zur Folge haben (wohl bis ins Unendliche!).

In der That ist die Vorstellung, das Erdinnere befinde sich in einem auf jeden Fall höchst eigenthümlichen gasförmigen

³⁶⁾ Anwend. d. mechan. Wärmetheorie auf kosmologische Probleme. Hannover 1879.

Zustande, eine der schon frühzeitig ausgesprochenen.³⁷⁾ Es wurde schon der Leslie'schen Anschauung gedacht (Humboldt, Kosmos, I., 177). Aber auch Franklin und Lichtenberg haben diese Meinung vertreten. S. Günther nimmt den gasförmigen Zustand als „wahrscheinlich“ an. Wenn im Kerne der Erde in der That ein „einatomiges Gas“ von einer Dichte von 143 („oder bedeutend geringer!“) sich befinden sollte, so würden dies die Schwermessungen wohl haben ausweisen müssen! Alle diese Anschauungen stehen und fallen mit der Richtigkeit der Annahme, dass in der That im Kerne der Erde so enorme Hitzegrade herrschend seien, wie oben angegeben wurde. Zweifler an dieser Richtigkeit gibt es noch bis zur Stunde. E. Olivero³⁸⁾ sprach z. B. die Meinung aus, dass man für das Erdinnere kaum eine allzu hohe Temperatur anzunehmen brauche. Bei 1700° C. schmelze ja schon der Granit. Als die Quelle dieser Wärme wird von diesem Autor freilich — die thermodynamische Arbeit der Molecüle infolge der Axendrehung angenommen. —

Jenes „geringer“ müsste in der That ein sehr bedeutendes sein. Helmert's Rechnungen kommen, wie oben angeführt worden ist, für das Centrum der Erde nur auf eine Dichte von 11.2. Gegen jene enorme Dichte im Centrum sprechen, wie gesagt, die Schwermessungen, deren Ergebnisse unter Allem, was wir von verlässlichem Wissen über das Erdinnere besitzen, sicherlich relativ am verlässlichsten sind. Jede Hypothese, welche damit in Widerstreit geräth, ist mit der allergrössten Vorsicht zu betrachten.

Hierher sollen, an schon Angeführtes anknüpfend, die Aussprüche gesetzt werden, zu welchen Helmert gekommen ist (I. c., S. 491). Er sagt: „Welchen Aggregatzustand das Innere der Erde gegenwärtig hat, ist noch nicht aufgeklärt. Die Ansichten stehen sich zur Zeit (1884) diametral gegenüber.“ „A. Ritter folgerte aus der mechanischen Wärmetheorie einen gasförmig flüssigen Zustand, während W. Thomson und G. H. Darwin aus den Erscheinungen der Präcession und Nutation und aus dem Mangel an Fluthen des Erdkörpers auf eine Festigkeit schlossen, die bei irdischen Stoffen sonst unbekannt ist.“ „Vielleicht,“ meint Helmert, „beruht der Widerspruch nur darauf, dass bei sehr hohen Temperaturen und starken Drucken der Aggregatzustand, obwohl wir ihn gasförmig nennen, doch nicht mehr die wesentliche Eigenschaft der Leichtbeweglichkeit der Gase hat.“ (Auch heute fehlt uns darüber die Erkenntniss,

³⁷⁾ M. vgl. S. Günther, Jahrb. d. geogr. Ges. in München, XIV. (1892). S. 1 ff. — Geophysik I. 1897, S. 354 ff.

³⁸⁾ Boll. soc.-geol. Ital. 1893, S. 669 ff.

wir wissen nicht genug über das Verhalten der Stoffe unter derartigen Annahmen.) „Die Massenvertheilungen im Erdinnern entsprechen“, so sagt Helmert weiter (l. c., S. 492) „sehr gut der Voraussetzung eines flüssigen Zustandes.“

S. Günther hat in seinem grossen Lehrbuche (I., 357) folgende hypothetische Reihenfolge der Aggregatzustände im Erdinnern angenommen, vor Allem gestützt auf A. Ritter's Vorstellungen und die Ausführungen, welche K. Zöppritz³⁹⁾ über diese Fragen gegeben hat. 1. Eine mässig dicke Erdkruste, deren Starrheit gegen einwärts einer gewissen Verschiebbarkeit der Theilchen Platz macht. Im oberen Theile herrschen Zug-, im unteren aber Druckspannungen vor. In dieser Kruste befinden sich, nach einer Ausführung an anderem Orte (l. c., S. 426) Magmabehälter, von welchen aus die Vulcaneruptionen oder die Emporpressungen magmatischer Massen erfolgen sollen. 2. Eine Zone latenter Plasticität, die gegen innen zunimmt bis zur Flüssigkeit. 3. Das Magma, ein Silicatrei zähflüssiger Natur, der jedoch nicht zur festen Erdrinde vordringen kann, da in der latentplastischen Zone (nach Löwl) keine Spalte offen bleibt. Diese Zone geht 4. über in eine Zone gewöhnlicher Flüssigkeit. Dann folgt 5. eine Zone der gewöhnlichen Gase (die Temperaturerhöhung übertrifft die Druckzunahme) und 6. eine Zone der überkritischen Gase, in der jedes Gas sein Sonderdasein führt. Der Centralball endlich besteht aus einem einatomigen förmlich homogenen Gase. — Zöppritz bezeichnete den Zustand der centralen Region mit Helmert als einen überkritischen, gasähnlichen. Die freie Beweglichkeit der Theilchen hat aufgehört, sie haben keinen Spielraum mehr, wir können uns dieselben als absolut starr vorstellen. — Das sind die äussersten Consequenzen dieser Vorstellung: ein gasähnlicher Zustand, der schier die grösste denkbare Dichte aufweist, ein Gas, so sehr comprimirt, dass „der ganze Energievorrath in potentieller Energie bestehen muss“.

Auch 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 sagt er, „näheren 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“. Dadurch müsse Licht und Wärme entstehen.

³⁹⁾ Verh. d. Ersten Geographentages, Juni 1881. (Berlin 1882, S. 15)

Die ursprüngliche Sonnentemperatur wurde von ihm mit 178,000.000° C. berechnet, Professor Zöllner dagegen nahm nach Protuberanzenbeobachtungen für den inneren Theil der gegenwärtigen Sonne nur noch etwa 75.000° C. an! (M. vgl. hiezu weiter oben.)

5. Man hat sich bemüht, theils durch Versuche, theils durch Rechnung, über die Abkühlungsvorgänge und besonders über ihre Dauer, eine Vorstellung zu erlangen. So hat, wie schon ausgeführt worden ist, G. Bischof in seiner Wärmelehre (1837) eine Reihe von Versuchen beschrieben, die er anstellte, um eine Grundlage für die Berechnung dieser Vorgänge zu erhalten. Die dabei gemachten Erfahrungen versuchte er dann auf die Erde anzuwenden, wodurch er zu dem freilich sehr problematischen Ergebnisse kam, dass, um die Erde von 288° C. auf die Temperatur des Weltraumes abzukühlen, über 350 Millionen Jahre erforderlich wären. Eine so weitgehende Abkühlung ist übrigens infolge der Erwärmung durch die Sonne nicht möglich. Seit etwa 2000 Jahren kann sich die Erdtemperatur, wie man gefunden haben will, nur um 0.00425° C. vermindert haben.

In neuerer Zeit stellten Ayrton und Perry⁴⁰⁾ ähnliche Versuche mit grossen sich abkühlenden Steinkugeln an⁴¹⁾ und stellten darauf gestützt Curven her, welche die Temperaturabnahme in verschiedenen Tiefen zur Anschauung brachten. J. Milne verglich diese Ergebnisse mit jenen Thomson's und Fourier's und erkannte, dass der gleichzeitige Wärmeverlust in verschiedenen Tiefen sehr verschieden sei und in einer gewissen Tiefe ein Maximum erreiche.

Sir William Thomson⁴²⁾ — der das grosse Verdienst hat, der zu weit gehenden Lehre von der äussersten Gleichförmigkeit in der Geschichte des Entwicklungsganges unserer Erde entgegenzutreten zu sein, indem er die Ansicht aussprach, 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 Wärmetheorie⁴³⁾ und eine Schmelzhitze von 7000° Fahr. (circa 3900° C.) voraussetzend, kam 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⁾ Phil. Mag. 1878, 241.

⁴¹⁾ Geol. Mag. 1880, 99.

⁴²⁾ Theor. Physik (Deutsch v. Helmholtz u. Wertheim), I., 2. Abth.

⁴³⁾ Fourier, Théorie analytique de la chaleur. Paris 1822.

40 000	Jahre nach der Erstarrung	1 ^o	Fahr. per 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 annähernd übereinstimmt. Dabei würde die Dicke der Erdrinde „allmählig von ein Fünftel ihrer jetzigen Grösse, bis zu dieser letzteren zugenommen haben.“⁴⁴⁾

Diese Zeitangabe ist nicht auffallend gross im geologischen Sinne, doch kam Helmholtz wieder auf einen anderen 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 hat Klein auf einen Zeitraum von nicht weniger als 2000 Millionen Jahren geschlossen, der seit der ersten Bildung der festen Kruste verlaufen sei, eine Angabe, die freilich einen weiteren Spielraum gewähren würde.

6. 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. Dr. Ami Boué sagt von diesen Gegnern (Volger, Mohr, Karl Vogt u. A.), in einer seiner letzten Publicationen wohl mit vollem Rechte, dass sie unfähig gewesen seien, einen genialen Gedanken an Stelle der rationellen Theorie der Himmelskörperbildung zu setzen.⁴⁵⁾

Volger⁴⁶⁾ war 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 infolge dessen eintretenden Bewegungen zu setzen sei. Ob unter dem dünnen „Oberhäutchen“ der Erde Eiskälte oder Gluthitze herrsche, könne man nicht wissen.

⁴⁴⁾ 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. Bande, 2. Abth., von Seite 434 bis 453 enthalten, unter dem Titel: Ueber die säculare Abkühlung der Erde.

⁴⁵⁾ Boué: Ueber die Methode in der Auseinandersetzung geologischer Theorien. Sitzb. d. kais. Akad. d. Wissensch. 1875. Märzheft.

⁴⁶⁾ Volger: Erde und Ewigkeit. 1857, pag. 156 bis 162.

⁴⁷⁾ Mohr: Geschichte der Erde, II. Aufl. 1875, pag. 201 ff.

Andere liessen die Erdwärme von der Sonne stammen. So sagte Mohr, ⁴⁷⁾ 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 infolge des Auswaschens der Erde nothwendig entstehenden Senkungen 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 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 elektrochemische Ansicht, wie schon Naumann (l. c. I, pag. 63) mit Recht sagte, auf einer weit complicirteren Hypothese, als die, welche die Innenwärme unseres Planeten als den Rest der ursprünglichen Ballungswärme betrachtet.

Sir William Thomson (seit 1892 Lord Kelvin) sagt, ⁴⁸⁾ 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 1862⁴⁹⁾ 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 Weltraum überlassen war“.

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 gewesen sei. Ja es sei sogar als specieller Fall die Möglichkeit nicht

⁴⁸⁾ Theor. Physik l. c. pag. 438.

⁴⁹⁾ Theor. Physik l. c. pag. 447 ff.

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 Prof. Tschermak⁵⁰⁾ 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 gehe (und die spezifische 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 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 würden. Was müsste da für ein entsetzlicher Meteoriten-Hagel schlag von allen Seiten auf den kalten kleineren Erdkörper niedergegangen sein, um schliesslich einen Schmelzfluss-Ocean von 50 bis 100 engl. Meilen Tiefe zu erzeugen! Wären aber grössere Massen zusammengestossen, so müsste ein solches Ereigniss wenigstens „eine bleibende Spur, eine grosse Excentricität der Erdbahn“, erzeugt haben. (R. Falb.) — Diese Anschauungsweise gewinnt auch 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.⁵¹⁾

Noch eine andere, sehr geistreiche Hypothese über den Ursprung der inneren Erdwärme und damit zugleich über den Zustand der Dinge im Erdinnern sei angeführt, welche vor mehr als sechs Jahrzehnten von dem französischen Physiker Poisson⁵²⁾ dargelegt worden ist.

⁵⁰⁾ G. Tschermak in seiner Abhandlung „Ueber die Bildung der Meteoriten“. Sitzgsb. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, April 1875, pag. 4.

⁵¹⁾ Ein ähnlicher Gedankengang wie jener Tschermak's liegt der geistvollen Abhandlung William Siemens-Worms zu Grunde: „Ueber die Erhaltung der Sonnenenergie“ (Berlin 1885), in welcher er den in die Sonne stürzenden Meteoritenschwärmen eine Hauptrolle zuschreibt, sie als eine Art Heizmaterial der Sonne betrachtete.

⁵²⁾ Poisson: *Théorie mathématique de la chaleur*, 1835.

Poisson geht von der Annahme eines ehemaligen glutflüssigen 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 in die Tiefe 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 (3 Millionen Atmosphären) in den, dem Mittelpunkte näheren 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 Weltraume. Wie ein am Aequator durchgewärmter Felsblock, in die Polarregion gebracht, von aussen nach innen abgekühlt werde, so verhalte es sich auch mit der Erde: sie sei mit dem ganzen Planetensystem, in einer vergangenen Epoche, durch einen hoch temperirten Weltraum gewandert, wodurch sie auf einen hohen Wärmegrad gebracht worden sei, 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 übrigens (l. c. pag. 439) die Mangelhaftigkeit der Poisson'schen Hypothese auch durch die Rechnung nachgewiesen. —

7. Von einem wieder ganz anderen Gesichtspunkte aus fasste der englische Astronom Hopkins die Frage nach der Beschaffenheit des Erdinnern auf. In seinen, mit Anwendung der höheren Mathematik durchgeführten Abhandlungen⁵³⁾ geht er von der Betrachtung der Grösse der schon vorübergehend erwähnten Nutation der Erdachse und der Präcession der Tag- und Nachtgleichen aus, und kommt zu dem Resultate, dass sich diese Unregelmässigkeiten der Erdbewegung verschieden gross ergeben,

⁵³⁾ Researches in physical geology: In den Philos. 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.

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, müsste man eine Erdkrustendicke im Betrage des vierten oder wenigstens des fünften Theiles des Erdhalbmessers annehmen, also eine 172 bis 215 geographische Meilen (ca. 1300 bis 1600 *km*) dicke Kruste.

Da dadurch ein directer Zusammenhang des Erdinnern mit der Erdoberfläche nicht sehr wahrscheinlich würde, kam Hopkins zu der Annahme, dass die flüssigen Producte der thätigen Vulcane in unterirdischen, grossen, aber wenig tiefen, mit geschmolzenen Gesteinsmassen erfüllten Hohlräumen angesammelt seien, die nahe der Erdoberfläche liegen.

Hopkins kam jedoch zu noch weiter gehenden Schlüssen. Er ging 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 nahm die grösste Hitze im Centrum der kugeligen Masse an, liess uns aber bedenken, dass zweierlei Abkühlungsprocesse möglich seien. Er wies nämlich auf den Umstand hin, dass der Temperaturgrad des Erstarrens durch Druck erhöht werde, d. h. dass eine geschmolzene Materie, die bei gewöhnlichem Atmosphärendruck bei einem Abkühlungsgrade von gewisser Höhe erstarre, unter Einwirkung von bedeutenderen Druckkräften schon bei höherer Temperatur in den festen Zustand übergehen könne. Da aber die Temperatur des gedrückten Körpers selbst gleichfalls durch den Druck erhöht werde, so hänge es nun davon ab, ob die erstere oder die letztere Temperaturerhöhung die grössere sei. 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, nicht ganz leicht zu beantworten 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 wurden dichter und mussten in die Tiefe sinken, während aus den centralen Regionen die heisseren Theile nach aufwärts strebten. Dieser Process werde im Anfange ein ungemein reger und lebhafter gewesen sein, habe jedoch eine stete allgemeine Abnahme der Gesammttemperatur 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 Halbfüssigkeit 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 angenommene Circulation in der aus verschieden dichten Massen bestehenden Flüssigkeit des Erdinnern erschwert und wesentlich modificirt worden sein musste.

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 sollte. In diesem Falle würde nach Hopkins, sobald das Ueberwiegen des Druckes eingetreten wäre, die Erstarrung im Centrum begonnen haben und nach aussen fortgeschritten sein. In der erstarrten Partie hätte nach Aufhören der Abkühlung durch Circulation, die durch Leitung begonnen. In der um den festen Kern herum befindlichen, immer kleiner werdenden flüssigen Masse würde die Circulation jedoch fortauern, bis die freie Beweglichkeit dem Zustande der Halbfüssigkeit gewichen wäre, worauf nun endlich eine Erstarrung der Oberfläche begonnen haben soll. Erstarrung nach aussen vorschreitend und Erstarrung nach innen dringend, begegneten sich endlich und hätten schliesslich nur die unterirdischen Lavareservoirs zurückgelassen. Wenn eine freie Circulation annehmbar ist, dann ist diese geistreiche Speculation vielleicht berechtigt, wenn nicht, wenn also auch in der ursprünglich flüssigen Erdmasse, sobald sie tropfbar geworden, wegen der gegen das Centrum hin zunehmenden Dichte die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung erfolgen musste, so könnte die Erstarrung wohl nur an der Oberfläche begonnen haben.

Freilich soll auch unter diesen Verhältnissen das Festwerden vom Centrum aus vorgeschritten sein, wie der berühmte englische Physiker Sir William Thomson ⁵¹⁾ behauptet hat.

„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

⁵¹⁾ Transact. of the Royal Society of Edinbourg 1862. Theoretische Physik, I. Bd., II. Abth., pag. 452.

sollen nun diese erstarrten Stücke einen Kern gebildet haben, „wenn ein solcher nicht schon vorhanden war, so dass bei ihm die Erstarrung beginnen konnte“.

Wie weit, so kann man hier fragen, könnte denn überhaupt das starr gewordene Krustenstück in die Tiefe sinken? — Angenommen es wäre wirklich dichter als die halbfüssige Masse, auf der es aufliegt (darüber soll später noch gesprochen werden), so kann von einem Einsinken bis zum Kerne wegen der nach innen zunehmenden Dichte sicher keine Rede sein.

Sir William Thomson kam 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 ebenso grosse Stahlkugel“ (l. c. pag. 453).

Von der Hopkins'schen Vorstellung unterscheidet sich die von Poulett Scrope ausgesprochene⁵⁵⁾ 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 würde. Es ist dies eine Anschauungsweise, die auch von Constant Prevost und Faye ausgesprochen worden ist.

Hier soll auch angeführt werden, dass Halley schon 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 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 Herbst 1854 ausgeführten magnetischen Messungen.⁵⁶⁾ Er sagte, „die Erde besteht aus einem kugelförmigen, compacten, magnetischen Kern mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen“ — es werden „Berge und Bergzüge“ angenommen, wegen des stärkeren Hervor-

⁵⁵⁾ On Vulcanoes und im Geological Magazin (Dec.) 1868.

⁵⁶⁾ Lamont in Pogendorff's Annalen 1855. Bd. 95, pag. 476 bis 481.

tretens des Magnetismus an einzelnen Stellen — „dann aus einem dünnen Ueberzuge von lockerem Gefüge“. Der Kern wäre 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“.

In neuerer Zeit ist die Anschauung, der Kern des Erdinneren müsse als starr angenommen werden, wiederholt vertreten worden. In einer gedankenreichen Schrift: „Beitrag zur Fysik der Eruptionen und der Eruptivgesteine“⁵⁷⁾ geht Ed. Reyer von derselben Annahme aus, indem er sich auf Hopkins und Thomson stützt. Schon Ampère habe den Gedanken ausgesprochen, „das Erdinnere könne nicht flüssig sein, weil sonst unter dem Einflusse der Mondanziehung gewaltige Fluthwellen an der festen Kruste zu beobachten sein müssten“. Thomson habe gezeigt, dass man in der That indirect diese Einwirkung nachweisen könne, indem die oceanische Fluthwelle durch die Rechnung grösser gefunden wurde, als sie in der That ist. Die Erde könne sonach nicht ganz starr sein, da sie der Mondeinwirkung Folge leiste, freilich in keinem grösseren Masse, als wenn sie in ihrer Gänze aus Glas oder Stahl bestünde. Reyer nimmt an, dass der mit der Tiefe zunehmende Druck über die Wirkung der mit der zunehmenden Tiefe immer weniger steigenden Temperaturzunahme das Uebergewicht erhalte, so dass das Erdinnere, „das Magma“, durch die annähernde Wirkung des Druckes in einer bestimmten Tiefe der Erstarrung anheim fallen und von da an bis zum Centrum an Starrheit zunehmen müsse. Dies sei jedoch nur eine „bedingte Starrheit“. Bei einer örtlichen Verminderung des Druckes werde der entlastete Theil wieder seine Beweglichkeit erhalten. Auf diese Weise gelangte Reyer zu einer Erklärung der Ausbruchsfähigkeit des Magma bei vulcanischen Vorgängen.

Um die Wechselbeziehungen zwischen Druck- und Temperaturerhöhungen zu studiren, hat in neuerer Zeit Karl Barus⁵⁸⁾ Versuchsreihen ausgeführt. Er hat zu diesem Zwecke Diabas benützt, für den er feststellte, dass er bei 1170° schmelze und bei 1100° wieder starr werde. — Er wandte Druckkräfte zwischen 20 und 400 Atmosphären an und berechnete daraus, unter der Annahme dass die Ergebnisse auch für weit grössere Druckkräfte ihre Geltung hätten, den Schmelzpunkt desselben Diabases in verschiedenen Tiefen der Erde und im Erdmittelpunkte. Er fand auf diese Weise Folgendes:

⁵⁷⁾ Wien 1877.

⁵⁸⁾ Philos. Mag. 1893.

Diabas schmilzt an der Erdoberfläche

	bei 1.170° C.	Druck
in 0.99 des Erdradius (63.8 km tief)	1.600° "	17.400 Atmosph
" 0.98 " " (127.6 " ")	2.060° "	35.600 "
" 0.96 " " (215.2 " ")	3.030° "	74.500 "
" 0.94 " " (382.8 " ")	4.080° "	116.400 "
" 0.90 " " (638 " ")	5.210° "	199.000 "
" 0.80 " " (1276 " ")	14.000° "	497.000 "
" 0.60 " " (2552 " ")	33.000° "	1,260.000 "
" 0.20 " " (5104 " ")	71.000° "	2,770.000 "
im Centrum der Erde (6380 " ")	76.000° "	3,020.000 "

Hergesell in seiner Besprechung dieser Arbeit⁵⁰⁾ erklärt es für nicht statthaft, aus den Beobachtungszahlen für verhältnissmässig geringe Druckkräfte Schmelzpunktbestimmungen für so hohe Druckkräfte abzuleiten. Er meint jedoch schliesslich, dass „die Existenz einer flüssigen Schichte in einer gewissen Tiefe, durch diese Rechnung „eine gewisse Wahrscheinlichkeit“ gewinne.

In neuerer Zeit ist besonders G. H. Darwin in einer ganzen Reihe von Arbeiten der Thomson'schen Gezeitenfrage näher getreten, indem er (1883) die in Indien seit Langem verzeichneten Pegelstände einer neuen Rechnung unterzog, wobei er zu dem Schlusse kam, deren geringere Abweichung von den aus der Gleichgewichtstheorie hervorgehenden Werthen beruhe auf einer geringeren Unbeweglichkeit der Erde und es müsse diese daher eine Starrheit besitzen, weit grösser als die des Stahles. Schon K. Zöppritz in seinen Berichten über die Fortschritte der Geophysik⁶⁰⁾ hat darauf hingewiesen, dass dabei die Annahme gemacht sei, die Erdmasse entbehre der Zusammendrückbarkeit. Wenn die Innenmassen der Erde sich im Zustande jenseits der kritischen Temperatur befinden sollten, so könne ihnen von den Eigenschaften der Gase nur noch die Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit geblieben sein, eine Verschiebbarkeit der Theilchen aber müsse ganz verloren gegangen sein. — In einer späteren Arbeit Darwin's (1886) zeigte er selbst, dass die Resultate der Rechnung bei einem Oceane von 1200 Faden recht beträchtlich, für grössere Tiefen aber viel weniger von den Vorausbestimmungen nach der Gleichgewichtstheorie abweichen, was Hergesell⁶¹⁾ zu dem Ausspruche veranlasste, dass diese Rechnungen Darwin's es kaum als statthaft erscheinen lassen, die Starrheit der Erde mit Hilfe der Gezeiten unter Zugrundelegung der Gleichgewichtstheorie zu beweisen.

Auch die von Hopkins ausgesprochene Anschauung über die Bedeutung der Nutation für die Frage nach dem Zustande

⁵⁰⁾ Wagner's geogr. Jahrb. XVIII 1895, S. 349.

⁶⁰⁾ Behm's geogr. Jahrb. für 1884, S. 10.

⁶¹⁾ In demselben Jahrbuche für 1889, S. 121.

des Erdinnern hat neuerliche Beleuchtung erfahren; so haben es Newcomb⁶²⁾ und P. Rudsky⁶³⁾ unternommen, die Polhöhen-schwankungen für diesen Zweck in Rechnung zu ziehen und kam der Erstere zur Annahme einer Starrheit, grösser als Stahl, der Letztere zu der Starrheit „fast doppelt so gross“ als Stahl.

Etwas früher schon (1889) hat sich Schiaparelli⁶⁴⁾ mit diesen Fragen beschäftigt, indem er ganz allgemein die Drehbewegungen der Erde in Betracht zog und zwar ähnlich so wie Hopkins für verschiedene Annahmen, und zwar: 1. für den Fall einer gänzlich starren Erde; 2. einer Erde aus leicht verschiebbaren Theilchen, und 3. einer solchen, deren Theilchen erst bei Erreichung einer gewissen Grösse der Spannungen eine neue Gleichgewichtslage annehmen. — Schiaparelli kam dabei zu dem Schlusse, dass Bewegungen der Pole möglich seien. Die Beständigkeit der Pole sei nur bei einem Erdkörper denkbar, der eine gewisse Starrheit besitze. Geologische Vorgänge könnten die Bedingungen der Beständigkeit zerstören „und zu Polbewegungen mit bedeutendem Ausmasse Veranlassung geben, sofern die Erde nicht absolute Starrheit besitzt“. — Die Verschiedenartigkeit der Annahmen des berühmten Mailänder Astronomen lässt das Fragwürdige und Voreilige allzukühner Annahmen klar erkennen. — Eine Kritik der Annahme eines starren Erdinnern hatte übrigens früher schon M. E. Wadsworth geliefert⁶⁵⁾ und er kam dabei zu dem Schlusse, dieselbe sei nicht erwiesen und der Geologe möge nach wie vor jede Annahme über das Innere der Erde machen, welche mit den geologischen Beobachtungen in Einklang stehe.

Als ein Gegner der Ansicht, dass das Innere der Erde von einem festen Kern eingenommen werde, ist schon viel früher der Astronom Delaunay⁶⁶⁾ aufgetreten, der dieselbe an der Wurzel angriff, indem er gleichfalls auf die Grössen der Präcession und Nutation hinwies und darauf, dass diese Störungen im Verhältniss zu der Hauptbewegung der Erde nur ungemein langsam erfolgen, so dass selbst flüssige Massen im Innern gewiss Zeit genug hätten, den auf die Kruste ausgeübten Bewegungsstörungen 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 offenbar nicht unmittelbar an der festen

⁶²⁾ Astron. Nachr., 130. Bd.

⁶³⁾ Phil. Mag. 38. Bd., 1894, 281.

⁶⁴⁾ St. Petersburg 1889, vgl. d. Darstellung Hergesell's in Peterm. geog. Mitth. 1882, S. 42.

⁶⁵⁾ Am. Natural. 1884. 18. Bd.

⁶⁶⁾ Académie des Sciences, Juli 1868, und Geolog. Magazin, V. Bd.

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. (M. vergleiche weiter unten!)

J. Phillips⁶⁷⁾ kam darauf hin zu der Ueberzeugung, dass, so plausibel auch die Hopkins'sche Ansicht von unterirdischen Lavaseen sei, wir durchaus nicht genöthigt seien, dieselben anzunehmen.

Auch in Beziehung auf die von Hopkins so überaus mächtig angenommene Erdkruste ist festzuhalten, dass die bei Annahme des flüssigen Kernes aus Mond- und Sonnenanziehung nothwendig resultirende innere Fluthwelle in ihrer Grösse nicht überschätzt werden darf. Ist der Betrag ihrer Einwirkung jedoch ein kleinerer, so zwingt uns nichts, eine Krustendicke von 172 bis 215 geographischen Meilen vorauszusetzen.

Die Frage nach dem Zusammenhange zwischen der durch Mond- und Sonnenanziehung auf das flüssige Erdinnere nothwendigerweise ausgeübten Störungen und den dadurch erzeugten Rüttelungen an der starren Kruste wurde übrigens schon von mehreren Forschern mehr oder weniger eingehend erörtert; haben doch Perrey⁶⁸⁾ in Dijon, R. Falb⁶⁹⁾ und etwas später auch Dr. J. Schmidt⁷⁰⁾ in Athen darauf hingewiesen, dass die Erdbeben und Vulcanausbrüche mit der Stellung des Mondes und der Sonne in eine gewisse Verbindung zu bringen seien. Doch verwahrte sich Herr Alexis Perrey in einer späteren Schrift (*Comptes rendus* 1875), eine Erdbebentheorie aufgestellt zu haben, und betonte, dass er nur zu dem Schluss gekommen sei, „dass seit einem und einem Viertel Jahrhundert die Erdbeben in den Syzygien viel häufiger seien als in den Quadraturen“. — Die Erscheinung der Erdbeben sei eine zusammengesetzte und innig verbunden mit der vulcanischen Thätigkeit, entspringe aber in ihrer Gesammtheit aus mehreren Ursachen. — Rudolf Falb nahm dagegen irrthümlich an, dass man alle Erdbeben durch eine Ursache erklären könne.

Dr. Julius Schmidt kam 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).

⁶⁷⁾ J. Phillips: *Vesuvius*. 1869.

⁶⁸⁾ Perrey: *Propositions sur les tremblements de terre etc.* Paris 1863.

⁶⁹⁾ Falb: *Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben*, Graz 1868 und: *Gedanken und Studien über den Vulcanismus*. Graz 1875.

⁷⁰⁾ J. Schmidt: *Studien über Erdbeben*, Leipzig 1875 (p. 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 vorstellte, während Poisson⁷¹⁾ den Impuls für unbedeutend hielt, „da ja selbst im freien Meere die Wirkung eine sehr geringe sei“. Humboldt⁷²⁾ sagte darüber: „Ist das Erdinnere flüssig, wie im Allgemeinen nicht zu bezweifeln ist, da trotz des ungeheuren Druckes die Theilchen doch verschiebbar bleiben, so sind im Erdinnern dieselben Bedingungen enthalten, welche an der Oberfläche die Fluth des Weltmeeres erzeugen. . . . Wenn die feste Erdrinde diesem Bestreben einen Widerstand entgegensetzte, so werde das Erdinnere an diesen Stellen nur einen Druck gegen die Erdrinde ausüben“ und es werde keine Fluth entstehen.

Thomson und Tait⁷³⁾ sprachen dagegen die Ueberzeugung 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“.

Osmond Fisher, der in seiner Physik der Erdkruste⁷⁴⁾ aus den Faltungsvorgängen der Erdkruste auf die unerlässliche Annahme einer dichteren flüssigen Masse unterhalb der Kruste gekommen ist, hat auch die Gezeitenfrage wiederholt in den Bereich seiner Auseinandersetzungen gezogen, zuletzt in einer gegen die obenangegebenen Ausführungen in der Arbeit von Karl Barus⁷⁵⁾ gerichteten Schrift. Er bestreitet es darin, dass die Annahme der Starrheit des Erdkörpers eine ausgemachte Thatsache sei. Die Gezeitentheorie erlaube es nicht, sichere Schlüsse in dieser Hinsicht zu ziehen; schon die Wärmemengen, welche im Erdinnern infolge der Gezeiten frei werden müssten, lassen an ein Festwerden der Innenmassen nicht denken. In einer früheren Abhandlung hat er überdies die Rolle der als im Magma absorbirt anzunehmenden Gase und Dämpfe (vor Allem Wasserdampf) in ihrem Zustande über der kritischen Temperatur hypothetisch

⁷¹⁾ Théorie de la terre, Revue des deux Mondes 1833. Dabei ist der Einfluss der grösseren Dichte auf die Fluthhöhe ausser Acht gelassen.

⁷²⁾ Humboldt's Kosmos IV, pag. 488.

⁷³⁾ Thomson und Tait, l. c. I. Bd. II. Abth. pag. 406 und 407.

⁷⁴⁾ London 1881. 2. Auflage, London 1889.

⁷⁵⁾ Amer. Journ. of Sc. 1893, Nr. 272 und an anderen Orten.

erörtert⁷⁶⁾ und in geistreicher Weise gezeigt, wie diese Folgen der inneren Fluth und Ebbe auf die feste Kruste durch ihre Verminderung und Vermehrung sich entgegenwirken müssten, indem die Gase während der Ebbe massenhaft frei und während der Fluth wieder absorbirt werden müssten.

8. Nun soll noch auf die verschiedenen Anschauungen über die Abkühlungsvorgänge eingegangen werden, im Anschlusse an gelegentliche Angaben, die bereits in den früheren Ausführungen gemacht worden sind.

Viel Aufsehen hat vor einiger Zeit, besonders in England, die von Robert Mallet⁷⁷⁾ aufgestellte neue Theorie über „die vulcanische Kraft“ oder die Ursache der vulcanischen Erscheinungen hervorgerufen, welche hier, da sie besonders auch unsere Frage nach dem Ursprung der Erdwärme auf das Innigste berührt, in Kürze skizzirt werden soll, als interessantes Beispiel für den Zusammenbruch einer — scheinbar — durch grossen mathematischen Aufwand gestützten Theorie.

Mallet ging von der herrschenden Ansicht aus, dass die Erde eine in Abkühlung begriffene und infolge dessen sich zusammenziehende Kugel sei, entstanden aus einer geschmolzenen Masse. Diese Abkühlung müsse, so schloss er, an den Polen am grössten gewesen sein, wodurch eine Circulation in der Flüssigkeit eingetreten sei, und zwar seien die an den Polen erkalteten Massen längs der Rotationsachse gegen das Centrum hin gesunken, um in der Aequatorialregion wieder zur Oberfläche aufzusteigen und nach den Polen hin abzufließen. Es wäre dies also eine Circulation, ähnlich jener, wie sie z. B. Carpenter als im Ocean vorgehend angenommen hat.

Oberflächlich, so fährt Mallet fort, entstand ein halbflüssiger Zustand und später eine oberflächliche Erstarrung, und zwar zuerst in den Polarregionen, von wo diese Krustenbildung als gegen den Aequator hin vorschreitend angenommen wird.

Mallet unterschied 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 zersplitterte und brach. Durch die ersten Wasserniederschläge und Wasseransammlungen sei eine Unregelmässigkeit in der weiteren Abkühlung der theilweise noch roth-

⁷⁶⁾ Proc. Cambr. Philos. Soc. 1886, 19.

⁷⁷⁾ 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).

glühenden Kruste eingetreten. Mit dem Innern mögen noch Verbindungen offen bestanden haben; Spannungen und Pressungen begleiteten diese Vorgänge.

3. Die Kruste wurde dicker und stärker, die bei der Zusammenziehung vertical nach einwärts wirkenden Kräfte, wurden, durch den Widerstand der Kruste, in tangentialer Richtung durch die Kruste selbst fortgepflanzt und erzeugten Faltungen und Runzeln in derselben. Dadurch wurde die Entstehung der Bergketten erklärt.

4. Die Kruste wurde auf diese Weise ausserordentlich dick, Abkühlung und Contraction konnten nun nur noch langsam vor sich gehen. Der durch die schnellere Contraction des heissen Erdkernes, infolge der Erkaltung und durch das infolge der Schwerewirkung mehr oder weniger freie Nachsinken der Kruste erzeugte tangential Druck soll nun an Stellen, wo die Widerstandsfähigkeit geringer war, zur Zerdrückung des Materiales der Kruste geführt haben; die durch diesen Druck und die infolge der Zerquetschung eingetretene Bewegung geleistete Arbeit sei an günstigen Stellen in Wärme umgesetzt worden, so dass nicht nur Rothgluth, sondern sogar ein Zusammenschmelzen des zerdrückten Gesteins eingetreten sein soll.

Auf diese Weise versuchte also Mallet sowohl die Innenwärme der Kruste, als auch die vulcanische Thätigkeit in derselben zu erklären. Diese vulcanische Thätigkeit wäre somit „zwar nicht das unmittelbare Product ursprünglicher Schmelzhitze, aber sie wäre doch mittelbar hervorgerufen durch die Abnahme dieser Hitze, die die einfache Folge der Erkaltung unserer Erde und der erkannten Gesetze der Schwere ist“.

Gegen diese Theorie, u. zw. gegen die letzten Folgerungen derselben wurden Bedenken laut, da, wie Otto Lang⁷⁸⁾ nachgewiesen hat, die den mathematischen Auseinandersetzungen zu Grunde liegende Formel unrichtig ist.

J. Roth in seiner Besprechung der Mallet'schen Theorie⁷⁹⁾ kam zu folgendem Schlusse: „Fasst man Alles zusammen, so erscheint es weder bewiesen, dass durch die Zerdrückung der Gesteine und durch die daraus vermittelt Umsetzung gewonnene Wärme die vulcanische 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.“

⁷⁸⁾ 1875. Göttinger Anzeiger, pag. 1627 ff.

⁷⁹⁾ Zeitschrift d. d. geol. Gesellsch. XXVII. Bd., (1875), pag. 572 und 573.

Einen Vorläufer hatte Mallet, wie er selbst anführt⁸⁰⁾, in dem Professor Giuseppe Belli zu Pavia.⁸¹⁾ Dieser nahm die feste Erdkruste mit einer Dicke von mehr als dreissig italienischen Meilen (69 *km*) an. Diese ruhe auf dem Kerne sanft auf, welcher ihrem Niedersinken einen nur sehr geringen Widerstand entgegenseetze. 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 Gegensatz der Ansichten — der einsinkenden Krustentheile aber werde das flüssige Innere stellenweise in die Höhe gedrückt, um als Lava zu Tage zu treten. Diesen Anschauungen entgegengesetzt ist die von Stark ausgesprochene Ansicht, dass die Erdkrustenvölbung, 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 gesammten Naturwissenschaften eine Abhandlung von H. O. Lang über „die Bildung der Erdkruste“, deren Inhalt gleichfalls in kurzen Zügen angeführt werden soll.

Aus der im gluthflüssigen Zustande befindlichen, nach der Dichte angeordneten Erdmasse („die Schwere ist die Ordnerin aller Theile“), die sich in einer mässigen Fluctuation infolge 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 behauptete, 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, infolge der bei der Erstarrung auftretenden Druckkräfte, das krystallinische Gefüge erhalten haben. (Heute haben wir über die Entstehung der krystallinischen Ausbildung der Gesteine eine

⁸⁰⁾ Mallet (Lasaulx) pag. 181—183.

⁸¹⁾ In den Verhandl. des Institutes der Lomb. (Giornale dell' Ist. 1850 und 1856).

andere Vorstellung, die den allmäligen, ruhigen Verlauf bei der Erstarrung zur Erklärung herbeizieht). Nach Bildung der Erdkruste werde die Abkühlung der Erde nicht mehr allseitig gleichmässig erfolgt sein, ja es werde endlich ein Minimum der Erdabkühlung eintreten müssen, das G. Bischof schon jetzt für eingetreten angenommen hat, 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 Secunden.)

An der Innenseite der zuerst gebildeten Kruste schreite, so nahm Lang weiter an, die Erstarrung nach einwärts vor, und es bilden sich so unterirdische Gesteinsmassen, „unter vorzüglicher Einwirkung eines einseitigen Druckes“. (Die Druckerscheinungen infolge der Anziehungs- oder Schwerkraft hätten die erstarrenden Theilchen angeordnet.)

Lang spricht weiters die Ansicht aus, dass das Raumbedürfniss des innerirdisch erstarrten Gesteins allein schon genüge, die vulcanischen Erscheinungen zu erklären. Die Frage, welches denn wohl das älteste innerirdisch gebildete Gestein sei, beantwortete er dahin, dass dieses mit 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. —

In neuerer Zeit sind die Abkühlungsvorgänge der Erde mehrfach einer wissenschaftlichen Erörterung unterzogen worden. In dieser Beziehung muss wohl der über Anregung Werner Siemens von Friedrich Siemens an Glasflüssen durchgeführten Versuche gedacht werden, welche Werner Siemens in einer hochinteressanten Schrift⁸²⁾ verwerthet hat. Es geht daraus hervor, dass das dünnflüssige Glas, von einer bestimmten Temperatur an, sich rasch zusammenzieht und zähflüssig wird, worauf es sich, bei weiterer Temperaturabnahme, allmähig zusammenzieht, um beim Uebergang in den starren Zustand sogar eine, wenn auch geringfügige, Ausdehnung zu erfahren. Druckwirkung kann daher nur den Uebergang aus dem dünnflüssigen in den dickflüssigen Zustand befördern, nicht aber jenen aus dem zähflüssigen in den starren. Diese Erkenntniss erlaubt Anwendungen zu machen auch auf die Erstarrungsvorgänge in dem hypothetischen flüssigen Erdinnern.

Whitley hat fast gleichzeitig mit Siemens gezeigt, dass in der That auch Metalle und Schlacken, sobald ihre Temperaturen dem Schmelzpunkte nahe kommen, auf den Schmelzflüssen schwimmen, und Osmond Fisher hat dasselbe am Lavasee

⁸²⁾ Monatsschr. d. Berliner Ak. 1878. S. 558—582 (besonders S. 567.)

des Kilauea auf Hawaii thatsächlich zu beobachten Gelegenheit gehabt. Für Gusseisen hat dieselbe Erscheinung schon W. I. Millar (1877) festgestellt. Für Wismuth wurde es von W. Chandler Roberts und F. Wrigton (1882) experimentell nachgewiesen. Für Cadmium, Blei und Zinn sind die Dichten nach Vincenti und Omodei im festen Zustande, vor dem Uebergange in den Schmelzfluss, grösser gefunden worden. (Karl Barus freilich hat in seiner schon besprochenen Versuchsreihe gezeigt, dass auch feste Gesteinsstücke bei bis 18 % grösserer Dichte auf dem Schmelzflusse schwimmen können, da sich unter den kalten Gesteinsstücken eine hohle feste Schale bilde!)

Ueber die Kräfte, welche im Erdinnern infolge der Abkühlung auftreten müssen, verdanken wir H. Hergesell⁸³⁾ eine inhaltreiche Abhandlung. Es wird nachgewiesen, dass infolge der Abkühlung im Innern zweierlei Kräfte auftreten. Die eine Art von Kräften, um so stärker wirkend, je weiter nach Innen die betreffenden Schichten liegen, bedingt eine Zusammenpressung aller Kugelschichten in der Richtung des Radius, die anderen bewirken Spannungen in tangentialer Richtung und zwar wirken dieselben in den oberen Schichten als Zug, nach innen zu als Druck. Die Maximalspannungen treten während der Abkühlung um so später ein, je tiefer die betreffende Schichte gelegen ist. Hier ist nicht der Ort, um auf nähere Details einzugehen. Zahlenwerthe können nur unter bestimmten Annahmen über das Mass der Ausdehnung, der Wärmeleitung und der Elasticität gewonnen werden. Für eine Oberflächenschicht, bis zu 3 km Tiefe reichend, ergäbe sich beispielsweise während eines Jahres eine Volumenveränderung von etwa zwei Millionen Cubikmeter. Daraus liesse sich ein Massstab für die gebirgsbildenden Vorgänge gewinnen; die Tendenz zu solchen besteht oberhalb jener Fläche, in welcher die Zugkraftsänderung zu bestehen aufgehört hat.

Hier ist auch der Fortschritte zu gedenken, welche in Bezug auf die Untersuchung der Wirkungen gewaltiger Druckkräfte zu verzeichnen sind, welche theils auf rechnerischem, theils auf dem Wege des Versuches gewonnen wurden. In dieser Beziehung ist anzuführen, dass Tresca⁸⁴⁾ schon 1872 dargethan hat, wie feste Körper, vor Allem Metalle, durch Hammerschläge förmlich zum Ausfliessen durch enge Oeffnungen gebracht werden können. Schon etwas früher war durch St. Venant und Lévy eine Theorie der Plastikodynamik angedeutet worden.⁸⁵⁾ Heim's Ausführungen über die Mechanik der Gebirgsbildung (1878) haben vielfach zu Versuchen angeregt. Heim war durch die Faltungs-

⁸³⁾ Beitr. zur Geophysik 1894/95 II 153.

⁸⁴⁾ Mém. prés. à l'Ac. de sc. 1870 20.75.

⁸⁵⁾ Compt. rend. 70 (1870).

erscheinungen in dem Schichtgebäude der Alpen zur Annahme einer gewissen Nachgiebigkeit der Gesteine geführt worden, die er als einen „latent plastischen Zustand“ bezeichnete. F. M. Stapff, der Geologe des Gotthardtunnels, ist dieser Vorstellung auf das Bestimmteste entgegengetreten⁸⁶⁾; er berechnete, dass die verschiedenen Gesteine in Gebirgen von 1400 bis 28.000 *m* hoch sein müssten, um durch Druck ihre Unterlage zu zerquetschen. — Auch F. Pfaff haben die Ergebnisse seiner eigenen Versuche zu ernstlichen Bedenken geführt.⁸⁷⁾ — Ferner sind von Bauschinger⁸⁸⁾ und später von Fr. Kick⁸⁹⁾ Versuchsreihen angestellt worden. Ersterer hatte sich geradezu die Aufgabe gestellt, Mass und Richtungen der Druck- oder Zugkräfte an irgend einem Punkte durch Rechnung zu ermitteln. Als ein Ergebniss der Rechnungen Bauschinger's ist der Satz anzuführen, dass in einer gewissen Tiefe (mehrere Kilometer tief) die nach oben zu verschiedenen radialen und tangentialen Spannungen, als nach allen Seiten nahezu gleichmässig wirkender Druck angenommen werden dürften, also wie in einer tropfbaren Flüssigkeit. — Auch Kick meinte, dass schon in 8 *km* Tiefe die Gesteine plastisch werden müssen. Es steht auch in dieser Frage noch immer die letzte Entscheidung aus. — S. Günther in seiner Geophysik (I. S. 353; 2. Aufl., 1897) schliesst sich einem Ausspruche A. Penck's an, der seine Ueberzeugung in den Sätzen ausdrückte: „Es ruht die starre Erdkruste gleichsam auf einem weichen Polster latentplastischen und darunter flüssigen Materiales auf, und es befindet sich die Erdkruste im Ruhezustande in einer Art hydrostatischen Gleichgewichtes.“⁹⁰⁾

9. Diese Betrachtungen führen uns nun auf eine weitere Richtung der Erklärungsversuche, welche schliesslich noch erörtert werden soll. 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 gluth-flüssigen Materie aufzufassen wäre, sondern als aus Theilen der im Laufe der Zeiten durch chemische und mechanische Kräfte zerstörten, primitiven Massen zu betrachten sei, die reichlich mit Wasser

⁸⁶⁾ Neues Jahrbuch f. Min. etc. 1879 (292 und 792).

⁸⁷⁾ Heidelberg 1880.

⁸⁸⁾ Zeitschrift f. Bauwesen 1879.

⁸⁹⁾ Leipzig 1885 und Zeitschr. d. Oest. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890.

⁹⁰⁾ Morphologie I, S. 416.

imprägnirt, in so tief gelegene Regionen gelangt seien, dass sie in einen eigenthümlichen Zustand übergeführt worden seien, den Sterry Hunt den „feurig-wässerigen Schmelzfluss“ (igneo-aqueous fusion) nennt.

Diese Meinung wurde übrigens 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 Hunt⁹¹⁾ versuchte die Abkühlungs- und Entwicklungsgeschichte der Erde aus chemischen Vorgängen in den das Erdganze zusammensetzenden Stoffen zu erklären.

Dabei ging er von einer ursprünglich homogenen gasförmigen, heissen und wenig leuchtenden Nebelmasse, von der Gestalt einer enormen rotirenden Kugel aus. Er war damals 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 (man vgl. hierüber das oben gesagte). Bei so hohen Hitzegraden konnten chemische Verbindungen nicht bestehen; die Verhältnisse der Affinität der Stoffe müssten ganz andere gewesen sein als bei geringeren Hitzegraden. Die durch Abkühlung condensirten Theile strebten nach dem Mittelpunkte der ganzen Masse, wo sie wieder erhitzt wurden, es habe so eine Circulation der ganzen Masse begonnen und das endliche Resultat sei die Entstehung einer flüssigen Kugel gewesen, 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.

Sterry Hunt hielt die Oxyde von Silicium, Aluminium, Calcium, Magnesium und Eisen für die zuerst entstandenen Verbindungen. Doch dürften sich, bei fortschreitender Abkühlung, noch andere Elemente aus der damaligen Atmosphäre der flüssigen Kugel beigesellt haben. Sodann kam Hunt auf die Frage: Wo begann die Erstarrung? Er acceptirte die Hopkins'schen Annahmen vom Beginn des Festwerdens in den centralen Regionen. Die Oberfläche sei aber noch im geschmolzenen Zustande verblieben und hier habe nun infolge der, wenn auch, wegen der Dichtigkeit der Atmosphäre, sehr langsam vor sich gehenden Abkühlung, und unter Einwirkung eines Druckes, der das Siebenfache des heutigen Atmo-

⁹¹⁾ Sterry Hunt: The Chemistry of the primeval earth. Geolog. Mag. 1868 und „Ueber den wahrscheinlichen Sitz der vulcanischen Kraft“. Geol. Mag. 1869.

sphärendruckes ausmacht, ein über alle Begriffe grossartiges Spiel der chemischen Kräfte begonnen.

Als ihr erstes Resultat nahm Sterry Hunt einen Brei an, der an die Schlacken unserer Hochöfen oder an vulcanische Gläser erinnern konnte und alle diejenigen Stoffe enthielt, die nicht mehr in der Dampfform zu bestehen vermochten.

Weiterhin sei nun die Oberfläche dieses Breies erstarrt und nun konnte auch alsbald eine Condensation des Wassers eintreten, und zwar soll diese, immer unter der Wirkung des viel bedeutenderen Atmosphärendruckes, schon bei einer vielleicht doppelt so hohen Temperatur erfolgt sein, als es heutzutage der Fall ist. Ueberdies werden die niederstürzenden überhitzten Wassermassen, (vielleicht 160 bis 200° C. heiss), als ungemein reich an verschiedenen Säuren (besonders an Schwefel- und Salzsäure) angenommen. Zerstörend und wieder Neubildend seien diese Niederschläge in Action getreten. Verbindungen von Basen mit Chlor und Schwefelsäure wurden gebildet. Das Wasser der Oceane von damals habe eine Unmenge von Kalk-Magnesia- und Natron-Chloriden und Sulphaten enthalten.

Lange Zeiträume hindurch soll dieser Zustand gewährt haben, dann aber sei auch der immense Kohlensäuregehalt der Atmosphäre zur Wirkung gekommen. Ungemein langsam, aber stetig, habe die Kohlensäure auf die schon gebildeten Gesteine eingewirkt und sei in grossen Mengen gebunden worden.

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 gewesen. Die dabei entstandenen Zerstörungsproducte hätten sich im Laufe der Zeit in ungeheuren Mengen angesammelt und ihre tieferen Lagen gelangten 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 damals eine viel bedeutendere als heute) habe nun bewirkt, dass die hinabgepressten Massen in einen Schmelzfluss ganz eigenthümlicher Art übergehen mussten, indem das Wasser mit daran theilnahm, und einen sogenannten „wässerigen Schmelzfluss“ entstehen liess. Wir wären demnach genöthigt, zwischen dem festen heissen Erdkern und der starr gewordenen Kruste, eine im wässerigen Schmelzflusse befindliche Zwischenlage anzunehmen, in der wir den Sitz der vulcanischen 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

vulcanische Kraft geliefert hätten, um die erstere, an Stellen, die es erlaubten, empor zu pressen und Vulcanausbrüche hervorzurufen.

Dass chemische Prozesse in der Erdkruste vorgehen und seit jeher vorgegangen sind, daran kann kein Zweifel bestehen, und es war auf jeden Fall naheliegend, solche auch für die geschilderten grossen Vorgänge anzuwenden, ob aber der von Sterry Hunt eingeschlagene Weg — v. Hochstetter nannte 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, Granite u. s. w. 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 worden sein sollen? Das führt ja nothwendigerweise zu der Annahme eines ewigen Ringelreigens der aus der ersten Kruste entstandenen Zerstörungsproducte.

Liegt nicht auch ein grosser Widerspruch in der Annahme, dass Sedimente, wenn sie eine gewisse grosse Tiefe erreichten, durch die Innenwärme unseres Planeten geschmolzen werden sollen, während die Möglichkeit, dass sich die in jenen, oder in noch grösseren Tiefen ursprünglich vorhandenen Massen im geschmolzenen Zustande befinden könnten, bestritten wird?

Man muss auch 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!

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 nicht alleinstehend, denn auch die Anhänger anderer Theorien sagten und sagen dies von den ihrigen.

Auf eine gar eigenthümliche Weise wollte Theodor Moldenhauer zur Erklärung der Erdkrustenbildung gelangen⁹²⁾, indem er beim Ballungsvorgange ein Stadium annahm, 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.

⁹²⁾ In einer Reihe von Artikeln in der Gaea 1875.

Aehnlich so, wie wir heutzutage Regen-, Hagel- und Schneefälle vorgehen sehen, sollen früher Quarzregen, untermischt mit Glimmer- und Horublendehagel oder Feldspathschneefälle 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, von „granitischem“ und „porphyrischem Gestein“ und von krystallinischen Schiefergesteinen 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 atmosphärische 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.

10. Fassen wir das im Vorstehenden Erörterte, nach diesem kleinen Schritt vom Wege, schliesslich zusammen, so ergibt sich daraus, dass hauptsächlich drei Ansichten über das Innere der Erde einander gegenüberstehen, deren eine einen Kern aus förmlich starren Gasen, die zweite einen festen Kern, starrer als Stahl, annimmt, während die dritte immer noch an der Möglichkeit eines schmelzflüssigen Erdinnern festhält. Darüber sind die 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 gasartigen oder schmelzflüssigen Gesamtmasse der Erde auf (Hopkins, P. Scrope und Günther), 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 die Lithosphäre, die Steinschale unseres Planeten und was unter ihr sich befindet.

Wirklich bekannt ist uns von der Lithosphäre nur ein kleiner Theil bis zu kaum $\frac{1}{3200}$ des Erdradius. Alles, was darunter folgt, kann uns nur auf indirectem Wege nähergerückt werden. Wir wissen nur, dass die Dichte der Tiefe eine weit grössere sein muss, als jene in der uns bekannten Lithosphäre. Dies ist eigentlich das Einzige, was wir von den Massen der Tiefen so ziemlich sicher wissen. Aus überhitzten Quellen, aus flüssigen Gesteinsmassen schlossen wir auf eine hohe Temperatur dieser Tiefen. Indem wir das, was uns in dem $\frac{1}{3200}$ des Erdradius über die Temperaturzunahme bekannt geworden, auf das Innere anwandten, und die Temperatur zunehmen liessen bis zum Kerne, fanden wir, schon auf dem Gebiete der Hypothesen, die wahrscheinliche Tiefe, in welcher auf den festen starren Zustand jener des Schmelzflusses folgen dürfte. Weiterhin verlieren wir den festen Boden der Erfahrung immer mehr. Zunahme der Temperatur bis zu Graden, wo unter normalen Verhältnissen alles vergasen müsste, wenn nicht die Druckwirkung wäre! — Verhältnisse, bei welchen uns das Experiment, bis nun wenigstens, im Stiche lässt. Nun kommt der ausschliesslich indirecte Weg. Kann es ein flüssiger Zustand sein, sei er nun gasförmig oder tropfbarflüssig? Studiren wir das Verhalten der Erde bei ihrer planetaren Bewegung, nehmen wir die Mechanik des Himmels zu Hilfe! Bis zur Stunde zweifeln wir, die Beobachtungen reichen noch lange nicht aus! Ist das Erdinnere eine „gasähnliche starre“ Masse, „zwei Mal so starr als Stahl“, oder noch starrer? Dichter als ein gewisses Maximum, das sich aus den Massenverhältnissen ergibt, kann das Innere nicht sein! Oder ist es eine Flüssigkeit von gewisser fraglicher Form? Helmholtz lehrt uns, es wäre auch dies ein möglicher Fall. Oder ist die Erde starr durch und durch? Auch das könnte nur eine bedingte Starrheit sein, denn das flüssige Magma verräth sich in unseren Vulkanen! — Wir müssen die Lösung dieser Fragen abwarten und die geringe Hoffnung weiter hegen, dass sie gelöst werden könnten. Heute, wo wir am besten Wege sind, alles vergasen zu können,⁹³⁾ was wir als fest und starr vor uns sehen, heute, wo wir verflüssigen, was wir früher für permanent gasig hielten,⁹⁴⁾ indem wir es

⁹³⁾ Moissan siehe oben.

⁹⁴⁾ Cailletet, einem Eisenindustriellen und Pictet einem Eismaschinen-Fabrikant gelang es 1877 unabhängig von einander, Sauerstoff zu verflüssigen.

pressen und zugleich energisch kühlen (Pictet) oder indem wir den hohen Druck plötzlich vermindern (Cailletet), heute müsste es uns auch gelingen, das durch Ueberhitze vergaste, in der Ueberhitze zu pressen und zu verdichten;⁹⁵⁾ dann erst würden wir den Anforderungen gerecht werden können, welche uns gestellt werden von gewissen Hypothesen über das Erdinnere.

Der „friedliche“ Wettkampf der Geister wird unermüdlich weitergekämpft, 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 vollkommener entsprechende.

Soll ich es versuchen, das im Vorstehenden Gegebene zusammenzufassen und zu einer neuen Vorstellung gestalten? Ich habe dies vor so vielen Jahren nicht ausdrücklich gethan. Bei dem Unzureichenden des thatsächlich Erkannten ist die Gefahr nahe liegend, einen neuen Irrthum zu älteren zu fügen und ich liebe das „Klettern von Irrthum zu Irrthum“ nicht, besonders wenn es nicht unumgänglich nothwendig ist, so dahin zu klettern. Recht schön aufgeputzte Irrthümer blenden wohl, aber sie schaden mehr, als sie nützen. Ich bezweifle nicht, dass sie auch „anregend wirken“. Ich finde jedoch, dass die blendende Wirkung recht schöner geologischer Speculationen manchmal nur zur Steigerung der Speculationen führt, um frühere noch zu übertrumpfen, dann kommt ein weiterer, der abermals übertrumpft und schliesslich kommt von anderer Seite eine neue thatsächliche, vielleicht recht bescheidene Erkenntnis und alle die Speculationen fallen in Nichts zusammen! — In unserer Frage mag das Gesetz des Denkens, welches demjenigen Erklärungsversuche den Vorzug gibt, welcher am einfachsten zum Ziele gelangt, bestimmend sein. Wenn wir annehmen dürften, dass die stetige Temperaturzunahme gegen das Centrum nicht unumgänglich nothwendig sei, oder gar, wenn eine solche Annahme ganz unnöthig wäre, dann läge unsere Frage wesentlich einfacher. Wenn sich aber Präcessions- und Nutations-Erscheinungen in der That auch erklären liessen, ohne die Annahme einer Starrheit der Erde, dann wäre die Erörterung der Frage umsomehr vereinfacht. Die Aussprüche Helmholtz's und Schiaparelli's, die im Verlaufe der Erörterungen angeführt wurden, lassen dies in der That möglich erscheinen. Werner

⁹⁵⁾ Was das Verhalten der Gase über der kritischen Temperatur unter der Einwirkung grosser Druckkräfte anbelangt, so findet man das, was hierüber vorliegt, in den grösseren Lehrbüchern der Chemie zusammengetragen (z. B. in Roscoe-Schorlemer's Lehrbuch [1895] I. S. 59—70). Ueberblicken wir dieses, so ersehen wir, dass es in der That recht wenig ist, was wir darüber wissen. Dasselbe geht auf bei hoher Temperatur vergaste Stoffe nicht ein, und die Druckkräfte übersteigen kaum 3600 Atmosphären.

Siemens' zum Theile auf Experimente gegründete Ausführungen stimmen mit jenen Delaunay's recht gut zusammen. Damit kämen wir wieder auf die Zulässigkeit der Annahme, das das Innere der Erde in einem gutflüssigen Zustande sich befinde und in allmäliger Abkühlung und Zusammenziehung begriffen sei. Das wäre wesentlich einfacher, als etwa die Annahme, das Innere sei ein Gasball, viel starrer als Stahl — ein Zustand, der eigentlich nur als ein gasunähnlicher bezeichnet werden könnte und nicht als ein „gasähnlicher“.
