

Ueber vulkanische Kraft:

ein Versuch ihre wirkliche Ursache und ihre kosmischen Beziehungen zu entwickeln.

Von

Robert Mallet.

Aus dem Englischen übertragen und mit einigen Anmerkungen begleitet von A. v. Lasaulx*).

1. „Plutonische Thätigkeit“ ist lange Zeit von den Geologen als ein weiter Ausdruck gebraucht worden, um damit Kräfte zu bezeichnen, von denen man wenig kannte, die im Innern der Erde wirksam sind und die sich entweder überhaupt an der Erdoberfläche nicht unmittelbar äussern oder wenn dieses, dann wenigstens nur in der Gestalt von heissen Quellen, Erdbeben u. dergl., wohingegen unter vulkanischer Thätigkeit, die sich an der Erdoberfläche in den Erscheinungen erloschener, ruhender und thätiger Vulkane ausdrückt, immer im Allgemeinen etwas der Natur und dem Grade der Thätigkeit nach ganz verschiedenes verstanden wird. Einige Beziehungen allerdings ziemlich

*) Wenn ich auf des Verfassers Wunsch es gerne übernommen habe, diese Arbeit durch Uebersetzung auch in weiteren deutschen Kreisen einzuführen, so muss ich hierbei doch bemerken, dass ich damit nicht eine vollständige Uebereinstimmung mit den darin vorgetragenen Ansichten auszusprechen beabsichtige. Immerhin aber scheint mir die interessante Arbeit einer sorgsamten Prüfung werth und mag derselben hiermit empfohlen sein. Wo ich es für nöthig fand, einzelne Punkte aufzuklären, oder abweichende Ansichten ausdrücklich hervorzuheben, habe ich dieses durch Anmerkungen gethan, in denen auch solcher Arbeiten gedacht worden ist, die dem Verfasser noch nicht zu Gebote gestanden hatten. v. L.

unbestimmter Art, hat man zwischen beiden bestehen lassen; jede aber hat wechselweise für die andere als Ursache und Wirkung gelten müssen. Eine dritte Klasse von Wirkungen zeigt sich in den „Erhebungen“, die von den Geologen wieder im Allgemeinen als von den beiden andern verschieden aufgefasst werden, obschon auch ihnen nicht alle Beziehungen zu den vorhergehenden abgesprochen werden können. Es ist wohl richtig, dass alle diese Erscheinungen unter so weite und unbestimmte Begriffe zusammengefasst wurden, wie die Bezeichnung Humboldt's, der sie „die Reaktion des Erdinneren gegen die Rinde“ nennt, aber es ist wohl kaum ein Versuch gemacht worden, sie alle als Wirkungen einer gemeinschaftlichen Ursache zu vereinigen, einer Ursache, die gleichmässig mit kosmischen Thatsachen und mit dem Mechanismus unserer Erde in Zusammenhang gebracht werden kann. Sir William Thomson, der alle diese Erscheinungen von der stolzen Höhe der Thermodynamik aus beurtheilt, — von der aus auch der Verfasser sie in's Auge zu fassen gedenkt, — führt dieselben alle ausdrücklich auf die Verbreitung einer Kraft zurück, die als terrestrische Wärme in unserm Planeten vorhanden ist und hat für den ganzen Wechsel der Erscheinungen den Ausdruck: „Plutonische Wirkung“ gebraucht, die er als eine: „Umsetzung von Kraft, die der Erde innewohnt“, bezeichnet.

2. Der Verfasser lässt Thomson's Ansicht gelten, so weit er mit ihr bekannt ist und sieht in ihr die Basis einer zukünftigen „physikalischen Geologie.“

Gleichwohl hat Thomson nicht versucht, wenigstens so weit der Verfasser weiss, diesen allgemeinen Gesichtspunkt, dass Erdbeben, Vulkane u. s. w. von der Umsetzung terrestrischer Wärme herrühren, so auf die bekannt gewordenen Thatsachen anzuwenden, dass daraus irgend eine Erklärung für den unmittelbaren Mechanismus dieser Vorgänge im Innern der Erde sich ergäbe. Auch hat er dieselben nicht in Beziehung zu bringen versucht zu der „Erhebungstheorie“ der Geologen, wodurch er exakte und richtige Ansichten an Stelle der gangbaren irrigen Ansichten über die Art der Kräfte, welche die Bergketten erhoben

und die Unebenheiten der Erdoberfläche verursacht haben, hätte setzen können, hierbei natürlich von den vielfachen Erosionswirkungen des Wassers in Bezug auf die Oberflächengestaltung ganz abgesehen.

Ein Versuch, dieses zu thun, wenigstens in so allgemeinen Umrissen, wie überhaupt die Kenntniss von diesen Dingen es zulässt, ist der Zweck dieser Arbeit. Der Ausdruck: „Plutonische Thätigkeit“ ist nicht wohl empfehlenswerth, da er schon lange von den Geologen in einem andern Sinne gebraucht ist: Vulkanicität ist vorzuziehen, der Verfasser hat ihn schon früher vorgeschlagen (über Erdbeben 4. Bericht. Brit. Assoc. Rep. 1858) und versteht darunter sowohl die in Vulkanen (Vulcanologie) als auch in Erdbeben (Seismologie) sich äussernde Kraft. Unter die erstere Abtheilung mögen auch die Erhebungskräfte gerechnet werden, und unter die zweite die heissen Quellen, obschon bei einer besseren Kenntniss des Mechanismus aller dieser Erscheinungen die Schärfe der Abgrenzung immer mehr verschwinden wird.

3. Die Erscheinungen bei vulkanischen Ausbrüchen und bei Erdbeben sind leidlich gut beobachtet worden. Der unmittelbare Mechanismus der letzteren kann wohl als verstanden gelten, während die Ursache oder Ursachen der Bewegung, und es können ja zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten verschiedene Ursachen gewesen sein, noch sehr im Dunkel liegen. Auch der innere Mechanismus vulkanischer Ausbrüche, nur das ausgenommen, was sichtbar und fühlbar ist, ist noch ebenso dunkel und zwar besonders aus dem Grunde, dass man noch keinen rationellen Ursprung für die hohen Temperaturen nachweisen konnte, die bei vulkanischen Ausbrüchen erweislich vorhanden sind.

Wer dafür eine richtige Quelle angeben kann, besitzt den Schlüssel zum ganzen Geheimniss. Denn ein kosmischer Mechanismus für die Produktion der Wärme, der mit der lokalen Vertheilung derselben und mit den fast launenhaft unregelmässig wiederkehrenden Eruptionen und allen andern Erscheinungen der Vulkane, vom kleinsten bis zum grössten, in Einklang steht, wird mit der Annahme

einer erkaltenden Erdkugel sogleich verständlich. Weiter ist man auch in der Annahme eines Zusammenhanges, wenn nicht voller Identität — nur der Grad der Intensität zwischen vulkanischen und seismischen Erscheinungen ausgenommen, denen ja wohl im Allgemeinen ein gemeinsamer Ursprung zuerkannt wird — noch nicht wohl gekommen.

Vulkane folgen, trotz der unsicheren Unterscheidung von Buch's in lineare und centrale Gruppen, den Linien der Oberflächenerhebungen, d. h. der Gebirgsketten; Ausnahmen sind nur einzelne deutlich (4. Rep. über Erdbeben Brit. Assoc. 1858). Auch hat der Verfasser in seinem Erdbeben-Katalog gezeigt, dass Erdbeben im Ganzen im Bereiche gewisser seismischer Regionen sich zu ereignen pflegen, und diese liegen und erstrecken sich an irgend einem Gebirgsabhange hin (1). Und endlich treten heisse Quellen vorzüglich in solchen Gegenden empor, die durch Gebirgserhebung und durch vulkanische und seismische Thätigkeit besonders gestört erscheinen. Und doch gibt es im Allgemeinen überall heisse Quellen, wie es auch überall Erdbeben geben kann.

So finden wir darin eine die verschiedenen Erscheinungen verbindende Gemeinsamkeit, dass Vulkane, Erdbeben und heisse Quellen den Linien der Gebirgserhebung oder Gebirgsstörung folgen.

Und das ist so ziemlich alles, was wir mit Bestimmtheit über eine Gemeinsamkeit ihres unterirdischen Ursprunges sagen können.

4. Jeder unterirdische Stoss kann ein Erdbeben verursachen, und für diese Stösse muss es verschiedenartige Ursachen geben; denn ein Stoss, der eine Erschütterung bewirkt, wie die von Riobamba, kann nicht wohl derselbe sein, wie der, welcher das jahrelang fortdauernde Zittern von Piquerol und Comrie hervorruft.

Mit Beziehung auf vulkanische Ausbrüche erscheint es möglich, dass das Drängen der eruptiven Kräfte Erderschütterungen bewirke, ehe oder nachdem dieselben die Erdoberfläche durchbrochen haben. Aber wir können bloss

1) Die Anmerkungen des Uebersetzers folgen am Schlusse.

der Erscheinung nach die meisten Erdbeben nicht mit vulkanischen Wirkungen in Verbindung setzen, insofern gerade bei den gewaltigsten keine lokalen Veränderungen der Oberflächentemperatur der Erde erkannt werden können.

Wir können sie nur dann auf einen gemeinsamen Ursprung zurückführen, wenn es uns gelingt, irgend eine Art von kosmischem Mechanismus zu finden und zu beschreiben, der durch die terrestrische Wärme in Thätigkeit gesetzt wird und der hinreichende Kraft entwickelt, um für alle diese Erscheinungen auszureichen. Er muss ferner die Probe bestehen, wenn er auf jede einzelne bestimmte erkannte Thatsache angewendet wird, sei es auf Vulkane, auf Erdbeben oder Gebirgserhebung, er darf keine Thatsache unerklärt lassen und muss sich den Gesetzen der kosmischen Physik so fügen, dass in gleicher Weise die Erscheinungen auf unserem Planeten als auch auf andern und deren Satelliten ihre Deutung dadurch finden, so weit uns sichere Thatsachen von diesen zu Gebote stehen.

5. Es ist nicht möglich, in den Grenzen dieser Abhandlung auf eine breite Discussion der Theorien einzugehen, die man über die Natur und den Ursprung vulkanischer Thätigkeit und der Gebirgserhebung aufgestellt hat. Eine kurze Betrachtung der gewöhnlichen Ansichten der Geologen über diese Fragen ist dennoch nöthig, um hierbei die augenscheinlichsten Fehler derselben zu betonen und ihren Gegensatz zu den in dieser Arbeit aufzuhellenden Gesichtspunkten hervorzuheben.

6. Vulkanische Theorien hat es immer von zweierlei Art gegeben: chemische und mechanische Theorien. Wenn wir alle älteren übergehen, so war es vorzüglich Davy's Ansicht, die eine gewisse Aufmerksamkeit erregte. Seine auch von Daubeny und de la Beche z. Th. unterstützte Annahme war die, dass vulkanische Wärme aus der Oxydation der Alkalien im Contact mit Wasser hervorgehe. Wäre diese Theorie nicht von dem glänzenden Talente Davy's gerade zu der Zeit geschaffen worden, wo er die alkalischen Basen entdeckt hatte, sie würde wohl kaum auch nur eine vorübergehende Aufnahme gefunden haben. Davy selbst gab sie später auf. Wenn wir bedenken,

dass die Mineralgemengtheile der bekannten Gesteine nicht mehr als 4—5% Alkalien zusammengenommen enthalten, und wenn wir die Natur der Gesamtauswurfsmassen vulkanischer Ausbrüche, und besonders ihre gas- und dampfförmigen Produkte, wie sie uns viele Forscher schildern, Daubeny selbst zunächst, Abich, Bunsen, St. Claire-Deville und Fouqué, mit den aus Davy's Hypothese nothwendig werdenden Produkten vergleichen, so erscheint es fast wunderbar, dass eine so willkürliche Theorie überhaupt jemals Aufnahme gefunden hat.

Keine andere chemische Theorie kann an ihre Stelle gesetzt werden. Alle grossen und gewaltig wirkenden chemischen Vorgänge, mächtig wie sie in der ersten Zeit des Planeten sein mussten, wo die Stoffe in Dampfform und durch die hohe Temperatur unverbunden vorhanden waren, sind seitdem lange zur Ruhe gekommen.

7. Als sich nach und nach die Hitze der zusammenschrumpfenden Masse, die aus der Dampfform zu dem flüssigen Zustande überging, zerstreute und diese dann in den äusseren Theilen erstarrte, da waren die chemischen Verwandtschaften der 60 und mehr bekannten Elemente durch die Bildung von Verbindungen gesättigt, deren Entstehungsfolge und Bedingungen einst die Chemie aufzuklären hoffen darf, wo ihr das heute noch nicht möglich ist.

8. Dass noch jetzt im Innern der Erde grosse Massen unverbundener Metalle von hohem specifischem Gewichte und hohem Schmelzpunkte und von ausgesprochen electro-negativem Verhalten sich finden, wie Gold und Platin, wozu wir auch noch das Eisen rechnen dürfen, wenn es im Urnebel im Ueberschusse vorhanden war, das erscheint durchaus wahrscheinlich. Wir können das schliessen, einmal aus einer gewissen Reihenfolge in den Condensationsvorgängen während der Bildung der Erdkugel, die wir aufzustellen in der Lage sind, dann aber, weil es fast der einzige Weg ist, die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erde, im Gegensatz zu der der bekannten Erdrinde zu erklären.

Aber die chemischen Elemente, welche diese Kruste bilden, sind im Ganzen in verbundenem Zustande, und da-

her bleibt hier keine chemische Kraft übrig, die sich in Wärme und in Arbeit umsetzen könnte.

9. Denn die kleinen chemischen Umwandlungen, die noch jetzt auf der Erde vor sich gehen und vorzüglich in einer Wechselwirkung von Luft und Wasser oder wässrigen Lösungen auf die verschiedenen Bestandtheile der Erdkruste bestehen, können wir in Bezug auf vulkanische Arbeit ganz ausser Betracht lassen. Ebenso können wir als vollkommen unzulänglich alle chemischen Prozesse übergehn, die während der vielleicht noch nicht ganz beendeten Periode der Bildung von Erzlagern und Gängen in Thätigkeit waren. Mit einem Worte, die chemischen Elemente der Erdkruste und des Erdkernes, soweit wir davon etwas kennen, haben einen Zustand chemischen Gleichgewichtes erreicht, den wir zudem als sehr stabil bezeichnen können. Und so sind wir zu dem Schlusse gezwungen, dass auch alle Anzeichen chemischer Vorgänge, der Zersetzung oder der Vereinigung, wie sie uns in den Produkten der Vulkane sich bieten, nur das erkennen lassen, dass chemische Prozesse durch die hohe Temperatur eingeleitet werden, die im Herde der vulkanischen Thätigkeit vorhanden ist.

10. Wärme ist zum Theil in chemische Arbeit umgesetzt worden, nicht aber chemische Kraft in Wärme. So kann denn fernerhin keinerlei „chemische Theorie“ der Vulkane mehr Platz finden, und wir sind auf die Theorie allein angewiesen, die man gewöhnlich, wenn auch nicht ganz zutreffend, die mechanische nennt. Sie hat zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Form Gültigkeit gehabt, aber sie fusste immer auf der Annahme, dass unsere Erde noch und schon seit lange aus einem flüssigen Kerne von Schmelzmasse von sehr hoher Temperatur und einer diesen bedeckenden erstarrten Rinde bestehe; in dieser seien die Theile chemisch fast gleichartig, jedoch seien die obersten Schichten derselben dislocirt, zerbrochen, zerstört und wieder neugebildet, und so zu wechselnder Oberflächen-gestalt durch diese langsam wirkenden, oberflächlichen Prozesse herausgebildet worden, die als das Gebiet der Geologen gelten können.

11. Die Hypothese von dem schmelzflüssigen in hoher Temperatur befindlichen Erdkerne basirt vorzüglich auf zwei Grundlagen. Diese sind: 1) die Lehre Laplace's, dass unser Planet wie alle übrigen nebularen Ursprunges sei, und daher das Innere seiner erkaltenden Kugel wärmer sein muss als die äussere Schaale; 2) die Beobachtung der Temperatur, woraus sich ergibt, dass dieselbe mit zunehmender Tiefe, allerdings in sehr abweichender Weise, sich steigere.

12. Dass unsere Erde im Innern eine höhere Temperatur besitzt als nahe oder auf ihrer Oberfläche, ist eine Thatsache, aber dass sie einen schmelzflüssigen Kern besitze, ist nur eine Hypothese, allerdings eine sehr wahrscheinliche. Die Zunahme der Temperatur nach der Tiefe soll einfachen arithmetischen Gesetzen folgen, wie man wohl sehr übereilt angenommen hat, dieses aber und die Thatsachen terrestrischer Leitungsfähigkeit, so weit diese bekannt sind, führten zu der Annahme, dass die feste Erdrinde verhältnissmässig dünn sei. Hierdurch wurde eine unbegrenzte Quelle flüssiger Lava geliefert; die Frage blieb nur, was drängte dieselbe durch diese dünne Kruste und warf sie mit anderen Stoffen auf die Oberfläche der Erde. Einige nahmen an, und unter diesen mag Belli wegen seiner geschickt angelegten Arbeiten hervorgehoben werden, dass die Erdrinde so dünn sei, dass sie lediglich auf dem flüssigen Kerne schwimme. Dazu dachte man sich einen Mechanismus, der die Erdrinde in getrennte Schollen zerbrach und nahm an, dass ihre Dichtigkeit grösser sei, als die des tragenden Schmelzflusses. Das Einsinken der Schollen in den letzteren bewirke dann das Heraufsteigen der flüssigen Lava in die Zwischenräume.

13. Diese Theorie, die man als hydrostatische bezeichnen kann, hat wieder einige Modificationen erlitten. Eine andere geologische Schule und zwar an Anhängern die reichste, nahm an, infiltrirte Wasser hätten den schmelzflüssigen und weissglühenden Kern an gewissen Stellen erreicht und die Spannung der gebildeten Dämpfe habe Lava und Auswurfsmassen emporgedrängt. Aber auch diese Theorie hat dann wieder ihre Modificationen.

Die letztgenannte Ansicht ist ohne Zweifel so weit richtig, als sie die allgemeine Erfahrung von Auswürfen durch Dampfspannung betrifft. Aber unüberwindliche Schwierigkeiten scheinen sich gegen die Annahme eines einzigen grossen Reservoirs für die weissglühende Masse zu erheben, eines Reservoirs, welches also allen Vulkanen der Erde gemeinsam sei.

14. Kein Zeichen eines solchen allgemeinen Zusammenhanges mit einer gemeinsamen Quelle schmelzflüssiger Gesteine in der Tiefe liegt vor. Im Gegentheil vulkanische Ausbruchsstellen, die oft nahe bei einander liegen, zeigen keine Spur solchen unmittelbaren Zusammenhanges. (2)

Ihre Aeusserungen zeigen keinen Synchronismus; ihre Paroxysmen sind isolirt und lassen periodische Wiederkehr erkennen; ihre Auswürflinge, fest, flüssig oder gasförmig, wengleich sie in allen Theilen der Welt eine gewisse Aehnlichkeit zeigen, sind dennoch weder nach chemischer Constitution, noch nach ihrer Temperatur übereinstimmend. Sie zeigen sich zu verschiedenen Zeiten verschieden und deuten auf säculare Wechsel in geologischer Zeit. Die flüssigen und festen Auswurfsmassen zeigen keine solche Uebereinstimmung an allen Krateren, als sie die Annahme eines gemeinsamen Reservoirs der Schmelzmasse voraussetzt, deren Zusammensetzung gewiss nicht in derselben Tiefe als eine verschiedene angenommen werden kann. Im Gegentheile zeigen sie deutliche Beziehungen zu den Gesteinen, durch welche die vulkanischen Schlotte hindurchgehen und über denen sie gelagert sind. Keine dieser Schwierigkeiten, und es lassen sich noch andere nicht ungewichtige hinzufügen, ist bis jetzt noch gehoben worden.

15. Eine weitere Schwierigkeit entsteht dann, wenn die Ergebnisse der Astronomie uns zu der Annahme zu zwingen scheinen, dass die Erdkruste nicht dünn, sondern im Gegentheile sehr dick sein müsse. Nicht unfassbar würde es sein, dass die schmelzflüssigen Gesteine aus dem Erdkerne bis an die Oberfläche dringen können, wenn sie auf Spalten oder Rinnen durch eine Rinde von 20 oder 60 Meilen *) Dicke hindurchgehen. Aber schwer zu begreifen

*) Alle Mass- und Gewichtsangaben beziehen sich, so weit das

und vielleicht geradezu unglaublich würde es erscheinen, sie durch Kanäle von 800—1000 Meilen Tiefe emporgesprengt zu sehen. Eine Frage, die hierher nicht gehört, ist die, welchen Grad von Bedeutung die Arbeit des verstorbenen W. Hopkins haben möge, in der er aus Precession und Nutation folgert, dass die Erdkruste mehr als 800 Meilen Dicke haben müsse.

Die Schwierigkeiten, die gegen seine Schlüsse sich erheben, und die daher kommen, dass er die Verhältnisse der Zähigkeit und Reibung zwischen flüssigem Kerne und fester Kruste an der Contactfläche vernachlässigt, hat Delaunay wirksam hervorgehoben. Sie sind im Allgemeinen gewiss unterschätzt worden und man begegnet ihnen in der That nur bei den Mathematikern, die Anhänger von Hopkins waren. Delaunay zeigte, dass wenn die physikalische Schwierigkeit solcher Reibung u. s. w. zugegeben wird, dann andere mathematische Schwierigkeiten sich dem Bestreben entgegenstellen, die Methode von Hopkins überhaupt als befähigt anzunehmen, über die Dicke der Erdrinde zu entscheiden. Das glaubt auch der Verfasser nicht. Dass aber gleichwohl die Dicke der Erdkruste keine geringe ist, das glaubt der Verfasser auf Grundlage von Betrachtungen, die von jenen Hopkins ganz verschieden sind. Eine Stütze findet diese Ansicht in der Untersuchung W. Thomson's über die Rigidität der Erde, wenigstens bei denen, welche zugeben, dass seine mathematischen Entwicklungen auf physikalischer Grundlage hinlänglich begründet sind. Allerdings hat die vereinte Schlussfolgerung des physikalischen Astronomen und des Geologen eine neue Schwierigkeit für beide geschaffen. (3)

16. Der Geologe, gehemmt durch eine feste Gesteinskruste von 800 Meilen Dicke, die er durchaus nicht abzu-

nicht ausdrücklich bemerkt wird, auf englische Werthe. Die engl. Meile = 1760 yards = 1,61 Kilometer = 0,2169 geogr. Meile; die geogr. M. = 4,6 engl. M. 1 engl. Fuss = 12 Zoll = 0,3047 m.; 1 □ F. engl. = 0,0929 □ m. 1 Kub.-F. engl. = 0,0283 Kub.-m. 1 fathom = 6 engl. F., 1 engl. Pfund = 0,4536 Kilogr.

Der Uebersetzer.

streiten vermag, kann die flüssige Lava aus solcher Tiefe nicht mehr an die Oberfläche bringen, er hat aber keine andere Quelle für die vulkanische Hitze und die Auswurfsmassen an die Stelle zu setzen.

Der Mathematiker hat die Thatsache vor sich: es gibt Vulkane. Die Schwierigkeit für den Geologen gibt er zu, er begegnet ihr durch die unvollständige und unbewiesene Hypothese, dass in verschiedenen Tiefen der festen Erdrinde Seen oder wenigstens isolirte Mengen schmelzflüssiger Gesteine existirten und nimmt an, von diesen aus würden die Kratere gespeist; diese Tiefen müssen im Ganzen nicht sehr beträchtlich unter die Erdoberfläche hinuntergehen. (4)

17. Nichts kann hinfälliger und weniger überzeugend erscheinen, als der Versuch Hopkins, eine vernünftige Erklärung oder Unterstützung dieser willkürlichen und sehr unwahrscheinlichen Hypothese zu liefern. Soweit dem Verfasser bekannt ist, hat er dieses zuerst in seinen: *Researches in Physical Geology* 2. series, *Phil. Trans.* 1842. Part II versucht. Dort sagt er: Wir sind zu der Annahme gezwungen, dass die Schmelzmasse der thätigen Vulkane in unterirdischen Reservoirs von beschränkter Ausdehnung vorhanden sei. Diese Sammelräume bilden unterirdische Seen, aber keinen unterirdischen Ocean p. 51. Einige Seiten weiter fügt er hinzu: „Wenn wir finden, dass die Hypothese von der Existenz unterirdischer schmelzflüssiger Becken in nicht grosser Tiefe uns in den Stand setzt, uns bestimmt auf Grund exakter Forschungen, die auf mechanischen Principen basiren, Rechenschaft zu geben über die Erhebungserscheinungen . . . dann haben wir den vollen Beweis für die Richtigkeit der Hypothese, soweit die Natur der Sache einen solchen überhaupt zulässt.“

Das heisst also, die Existenz solcher Seen zugeben, wenn wir auch Hopkins' physikalische Auffassung der Erhebungserscheinungen zugeben, die nach ihm in einem vertikal aufwärts wirkenden Drucke der flüssigen Masse gegen die bedeckende feste Kruste ihre Ursache finden. Wenn aber, wie wir nunmehr sehen werden, Hopkins' Grundannahme von der erhebenden Kraft irrig und un-

haltbar ist, dann fusst auch die Annahme von solchen Seen nur auf inneren Unwahrscheinlichkeiten und steht verlassen. Auf S. 52 ist der einzige Versuch, für diese Becken feurigflüssiger Schmelzmasse eine vernünftige Herkunft zu bezeichnen, so ausgedrückt: „Es scheint wahrscheinlich, dass ihre Entstehung einer leichteren Schmelzbarkeit der Masse zuzuschreiben sei, die sie bildet, und ihr Verharren im flüssigen Zustande mag zum Theil auf derselben, zum Theil auf einer andern Ursache beruhen, die nunmehr entwickelt werden soll.“ Diese andere Ursache aber, die auf S. 52 und 53 behandelt wird, ist nur eine neue Hypothese. Nimmt man an, dass der über dem schmelzflüssigen See aufliegende Druck der Schaaale ganz oder zum Theil dadurch aufgehoben wird, dass diese wie ein Gewölbe sich selbst trage, dann muss die Abnahme des Druckes den Schmelzpunkt der flüssigen Massen herunterdrücken und diese somit länger flüssig erhalten.

18. Keine einzige der das Material unserer Erdkruste betreffenden Thatsachen kann uns zu der Annahme isolirter Massen von grösserer Schmelzbarkeit als die übrigen zwingen, von dem Materiale nicht zu reden, welches ex necessitate vom Wasser durchdrungen ist, welches von der Oberfläche kommt, der jenes nachweisbar nahe liegt; denn ohne Wasser lässt sich kein Vulkan denken. Andere ernste Schwierigkeiten begegnen uns bei dem Versuche, jene Ansicht durch eine Vergleichung mit den an Kratern beobachteten Erscheinungen weiter zu verfolgen, dafür bleibt uns hier kein Raum und gehen wir daher dazu über, einige Bemerkungen über die Erhebungstheorien zu machen.

19. Die Worte: elevation, upheaval, Aushebung *), soulèvement sind von den Geologen aller Länder und besonders von denen Englands immer in weitester Bedeutung angewendet worden, so weit es sich um den Ausdruck einer bestimmten Ansicht über die Art der Kräfte oder den Mechanismus dieser Bewegungen handelt.

Ein Ueberblick über die Schriften der Geologen lässt gleichwohl erkennen, dass die allgemeine Ansicht über die

*) Erhebung wohl im Deutschen gewöhnlicher.

„Erhebung“ dahin geht, dass dieselbe durch eine unter beschränkter Oberfläche thätige Kraft bewirkt werde, die in linearer Richtung, oder doch nahezu so, von unten nach oben gehe. Gewöhnlich wird angenommen oder gefolgert, dass der Druck aufwärts unter der erhobenen Oberfläche von einer gasförmigen Materie herrühre, wie es von Buch glaubte, oder von einer mehr oder weniger flüssigen, wie es die meisten Andern voraussetzten.

20. Es ist wahr, dass einige Geologen, unter denen auch der verstorbene Jukes, die allerdings nicht klar gefasste Ansicht hatten, dass dieser Erhebungsmechanismus nicht mit den in der Natur beobachteten Erscheinungen der erhobenen Massen übereinstimme, vorzüglich weil die oft geringe Oberflächenausdehnung nicht im Verhältniss stehe zu der Steilheit und Höhe der erhobenen Theile.

Dass aber dennoch die Ansicht, dass die Erhebung durch nahezu parallel wirkende, in der Erdkugel radial ausstrahlende Kräfte hervorgerufen werde, heute noch als die allgemeine gelten darf, davon sich zu überzeugen genügt ein Blick über die Schriften der Geologen der jüngsten Vergangenheit. Wenn wir Figur 68 auf Seite 285 der zweiten Ausgabe (1862) von Poulet Scrope's *Vulkanoes* betrachten, so sehen wir ganz klar, dass seine Ansicht die genannte ist. Auch Hopkins (anderer Forscher hier nicht zu gedenken) bezeichnet dieselbe als die Grundlage seiner Anschauungen. Er sagt in seinen Untersuchungen über Physik. Geologie (Trans. Cambridge Phil. Soc. VI, 1 S. 10): „die Hypothesen, von denen ich ausgehe, um die Erhebungserscheinungen zu erklären, sind wie ich glaube so einfach, als es die Natur der Sache zulässt. Ich nehme an, dass die erhebende Kraft unterhalb von Theilen der Erdrinde wirke, die von grosser Ausdehnung und irgend einer bestimmbaren Tiefe sind, sei es dass die Wirkung überall die gleiche, oder an einigen Stellen auch eine intensivere sein mag. So scheint eine grössere Intensität dieser Wirkungen sich längs den Linien der grössten Erhebung eines gehobenen Gebirges auszuprägen oder auch an andern Punkten, an denen thätige Erscheinungen dieses anzeigen. Ich nehme an, dass diese erhebende Kraft, was immer ihr

Ursprung sein mag, gegen die Unterseite einer gehobenen Masse durch das Medium einer Flüssigkeit wirkt, die entweder ein elastisches Gas oder in andern Fällen heissflüssige Gesteinsmasse sein kann. Jeder Geologe, denke ich, der die Wirksamkeit von Erhebungskräften überhaupt zugesteht, wird auch geneigt sein, die Berechtigung solcher Annahme zuzugeben.“ Die erste Arbeit der Erhebungskraft besteht also darin, die Masse zu erheben, unter der sie ihren Sitz hat und dieselbe in einen Zustand der Ausdehnung und daher auch der Spannung zu versetzen.

21. Wenn diese Grundannahme irrig ist, und der Verfasser glaubt das allerdings, und wenn sie allen That-sachen widerspricht, die sich in den grossen Erhebungs-gebieten, d. h. in den Gebirgsketten der Erde beobachten lassen, dann ist man auch gezwungen die Folgerungen, die sich daraus bezüglich Spaltenbildung etc. machen lassen mit einem Worte den ganzen Inhalt der vom mathematischen Gesichtspunkte aus immerhin geistreichen Arbeit Hopkins zu verwerfen, da er nicht mit den That-sachen in Uebereinstimmung steht. Dann haben diese Ansichten vielmehr, getragen von der Autorität des Verfassers und in mathematischen Symbolen ausgedrückt, die gleichfalls für alle, welche mathematische Kenntnisse nicht besitzen, mit einer gewissen heiligen, orakelartigen Weihe umgeben erscheinen, dann haben diese Ansichten im Wesentlichen nur dazu gedient, den Fortschritt in der richtigeren Erkenntniss der Erhebungskräfte zu hindern.

24. Wenn wir die Erscheinung der grossen Contine-nte über dem Meeresniveau als ein Werk der Erhebung ansehen wollen, und das ist in der That geschehen, so dürfte die Ansicht Hopkins darauf vielleicht passen. Aber gerade die grossen Contine-nte sind nicht das Werk solcher Erhebungen gewesen, sondern sind die Folge der Umgestaltung einer sich abkühlenden und contrahirenden Kugel gewesen, die mit einer dünnen noch biegsamen erstarrten Kruste bedeckt war, einsinkend über grosse Räume und relativ oder absolut emporsteigend über andere, wie dieses in so überzeugender Weise von Dana und andern

amerikanischen Geologen gezeigt worden und daher vielleicht jetzt zugegeben ist.

23. Die Ansichten de la Beche's über Erhebung kamen der exakten Auffassung näher als die seiner Zeitgenossen. Aber nur einem Manne: Constant Prevost kann die Ehre zugerechnet werden, eine richtige Erhebungstheorie klar ausgesprochen zu haben. Er folgerte dieselbe aus der Vergleichung der Thatsachen in der Natur und bewies, dass diese Thatsachen nicht wohl durch eine direkte, in radialer Richtung von unten nach oben gehende Erhebung erklärt werden können.

24. Ueber die Art der Vorstellung über diese Kraft, wie sie mit mehr oder weniger Klarheit von den Geologen ausgedrückt wird, kann kein Zweifel bestehen, bei den französischen Geologen am allerwenigsten, wenn wir die Bedeutung der für diese Erscheinungen gewählten Bezeichnungen in's Auge fassen; denn *soulèvement* von *sublevare* heisst: durch eine Kraft von unten gehoben werden, auch im Deutschen: Aushebung (Erhebung) ist dieses noch deutlich, das Englische *upheaval* und *elevation* lassen dagegen eine Unbestimmtheit des Begriffes und eine gewisse Freiheit der Deutung zu.

25. Prevost's Ansichten sind in zahlreichen Abhandlungen zerstreut, die über nahezu 20 Jahre sich ausdehnen. In der ausdrücklichsten und systematischsten Form stehen sie in den *Comptes rendus*, Sept. 1850, 461 und zu einer früheren Zeit in dem *Bulletin de la Soc. geol. de France* XI, 1833. S. 183. Seine Ansicht geht dahin, dass, abgesehen von den grossen Umgestaltungen, welche die Oceanischen Tiefen aushöhlen, in Bezug auf welche er nicht ganz klar erscheint, alle Erhebungen der Erdoberfläche, Hügel, Berge, kurz alle Unebenheiten der Oberfläche, nicht durch vertikale, unmittelbar aus einem unbekanntem, tiefen Heerde aufsteigende Kräfte bewirkt worden seien, sondern durch allerdings verticale Kräfte, die aber als die Resultanten tangentialen Druckes angesehen werden müssen. Dieser Druck wirkt in entgegengesetzten horizontalen oder fast horizontalen Richtungen und zwar senkrecht zu den Gebirgsrücken oder den Linien der Erhebung und hat seinen

Ursprung in der Contraction der Erdkruste durch ihre säkulare Erkaltung. Diese Ansicht, die der Verfasser für die richtige hält, ist von Dana weiter ausgeführt worden. (5) Auch die beiden Rogers in Amerika und Elie de Beaumont sowie einige andere Geologen des Continents haben diese Ansicht angenommen, indem sie zeigten, wie vollständig die Thatsachen sich dieser Ansicht fügen und dadurch sich aufklären, während sie der Annahme einer ursprünglichen vertikalen Kraft geradezu widersprechen.

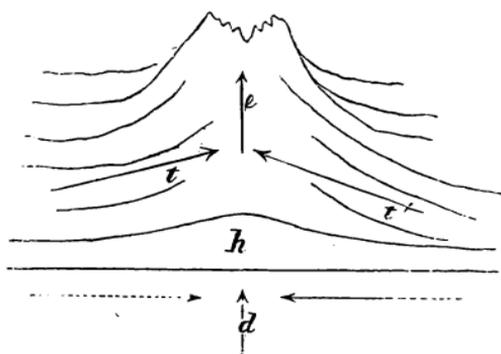
26. O. Fisher hat gleichfalls die Ansichten Prevost's unterstützt, indem er in seiner wichtigen Arbeit „On the Elevation of Mountain chains and speculation on the cause of Volcanic Heat“ Cambridge Trans. XI. p. 3 1868) die mechanische Uebereinstimmung des durch die Abkühlung der Erde bewirkten tangentialen Druckes mit der Erhebung der höchsten Gebirgsketten auf derselben nachwies. Leider erst nachdem diese Arbeit geschrieben war, hat der Verfasser Fisher's Abhandlung kennen gelernt. Seine Ansichten über den Ursprung der vulkanischen Wärme sind aber ganz verschieden von denen, die der Verfasser hier entwickelt.

27. Nach den Ansichten Hopkins müssen alle erhobenen Theile convexe Oberfläche zeigen und daher die Continente oder steilen Gebirge, wie z. B. die Hochalpen alle gewölbt oder glockenartig in ihren Conturen sein. Sie müssen alle die Anzeichen der Spannung während der Erhebung und zwar in orthogonalen Richtungen zeigen. Aber die sorgsam geologischen Aufnahmen und Profile, die man seit Prevost's Tagen gemacht hat, zeigen, dass im Ganzen an Querschnitten grösserer Gebiete keine gewölbten Formen hervortreten, und noch viel weniger an ganzen Continenten. Die Querschnitte aller Gebirgsketten zeigen, dass an den entgegengesetzten Abhängen die Krümmung nicht convex, sondern concav ist, eine Form die sich ganz allgemein in dem Abfalle der Gebirgsrücken gegen die Meeresküste zu wiederholt. Das tritt besonders in der concaven Form (die sich einer Curve der Parabelreihe einigermassen nähert) hervor, wie sie die Längsprofile aller grossen Wasserläufe zeigen.

28. Die Fächerstruktur der Alpen, die durch Favre, Studer, Escher von der Linth und Andere so deutlich beschrieben wird, ist ein schlussfester Beweis, dass die erhebende Kraft ein in vertikale Wirkung umgesetzter seitlicher Druck gewesen ist. So findet auch die geringere Dichte unterhalb grosser Gebirgsmassen ihre Erklärung, die man neuerdings nachgewiesen oder wenigstens mit gutem Grunde vermuthet hat. Hier müsste eine grössere Dichtigkeit die nothwendige Folge eines direkt verticalen Druckes sein.

29. So ist es klar, dass die tangentialen, oder nahezu tangentialen und entgegengesetzten Druckrichtungen t und t' Fig. 1, die in eine vertikale Richtung e sich umsetzen, wodurch dann die Bergmasse erhoben wurde, die Dichtigkeit herabdrücken müssen, wenn sie nicht wirkliche Hohlräume übriglassen, wie bei h , die zwischen dem Durchschnittspunkte der drei Richtungslinien des Druckes und der

Fig. 1.



Linie liegen, in der die tangentiale Richtung des Druckes vollkommen horizontal ist. Ein direkt vertikal wirkender Druck, wie bei d über e zum Gipfel fortgeführt, kann nur eine gesteigerte Dichtigkeit bei h bewirken.

30. Die starken Faltungen und Umbiegungen der Schichten und die oft vollständig übergekippte Lage ganzer Gebirgsmassen, wie diese sich in allen grossen Erhebungsgebieten wahrnehmen lassen, die gewaltigen Windungen und Zickzackfaltungen, wie sie Burats Profile der Kohlenbecken von Centralfrankreich, Omalius d'Halloi's und von Dechen's Darstellungen der Kohlenformationen von Belgien, Rheinland und Westphalen wiedergeben, alle diese Erscheinungen werden durch unsere Annahme erklärt. Alle an der Erdoberfläche und an Querprofilen der Erdkrinde hervortretenden Erscheinungen würden

sich in gleicher Weise deuten lassen, aber es würde hier zu weit führen, näher darauf einzugehen.

31. Eine oder zwei wichtige Folgerungen aus Prevost's grosser Hypothese, dass jede Erhebungserscheinung oder mit einem Worte jede bekannte vertical wirkende erhebende Kraft, vulkanische Ausbrüche ausgenommen, nur als umgesetzter tangentialer Druck, der durch die Contraction bewirkt wird, aufzufassen sei, ein Druck, der in verschiedenen, aber nicht sehr grossen Tiefen unserer jetzigen Erdoberfläche in einem gewissen Antagonismus wirksam ist, Folgerungen, die unsere Aufmerksamkeit erregten, mögen hier wenigstens kurz erwähnt sein.

32. Diese tangentialen Druckkräfte sind langsam, nicht an allen Punkten und zu allen Zeiten gleichmässig, aber im allgemeinen, jemehr die Erde erkaltet, mit abnehmender Intensität wirksam, sie umfassen gleichzeitig, aber mit ungleicher Stärke grosse Theile der festen Erdrinde. Mit Bezug auf die gewaltige zermalmende Kraft dieses tangentialen Druckes und die lange Dauer seiner Wirksamkeit, müssen die Gesteine, auf die er wirkt, als mehr oder weniger plastisch angesehen werden.

33. Es folgt, dass wenn durch umgesetzten tangentialen Druck, der in entgegengesetzten Richtungen oder parallel in Ebenen und längs einer Linie wirkt, eine Erhebung erzeugt wird, die Compression in diesen Richtungen von einer Ausdehnung in den darauf senkrechten Richtungen begleitet sein muss, indem die Verschiedenheit des Widerstandes gegen den Druck Spannung hervorruft.

34. Aus diesen orthogonalen Spannungen können bei endlicher vollkommener Ausgleichung des tangentialen Druckes Oberflächen-Risse entstehen, so dass im Allgemeinen der Druck die Veranlassung von Aufbiegungen und Verquetschungen der Schichten, von Erhebung und Aufspaltung sein wird. Bei diesen letzteren Erscheinungen mögen die Einzelheiten auch mit der Hypothese Hopkins' und den Wirkungen direkt erhebender Kräfte einigermassen übereinstimmen. Und das ist der Grund, warum die Richtungen der in der Natur beobachteten Spalten bis zu einem gewissen Grade in einer Art der Richtungen

d. h. in denjenigen, welche zu den Linien horizontalen Druckes senkrecht stehen, mit den von Hopkins vorgezeichneten Richtungen zusammenfallen. Weiter folgt aber, wenn wir die relative Plasticität der weniger zusammenhängenden Formationen unserer Erdkruste und die ausreichende Kraft dieses tangentialen Druckes zur Aufwärtsquetschung der übrigen zugestehen, dass nicht nur Erhebung das Resultat der Umsetzung des tangentialen in vertikalen Druck sein kann, sondern dass unter bestimmten Umständen, wo dieser Druck in grossen Tiefen und in verschieden zusammengesetzten Massen von ungleicher Widerstandsfähigkeit wirkt, durch eine analoge Umsetzung in die abwärts gehende vertikale Richtung: Depressionen und Hohlräume aller Art entstehen können.

35. Wenn ferner die Richtungen des tangentialen Druckes, in einer horizontalen Ebene gedacht, sich unter mehr oder weniger spitzen Winkeln schneiden (wie das auch in der Verticalebene denkbar ist), dann werden seitliche Verschiebungen und alle Erscheinungen gestörter Schichten und unterbrochener Gänge oder Verwerfungen dadurch entstehen können.

36. Auch lässt sich erkennen, dass diese Ansicht über den Ursprung der erhebenden Kraft, die unsere mächtigen Bergketten aufgerichtet hat, gleichzeitig einen richtigen und passenden Grund für die Begrenzung ihrer möglichen Höhe angibt. Denn sobald eine schon aufwärts gedrängte Masse, durch ihr eigenes Gewicht in der Richtung des vertikalen Druckes e Fig. 1 abwärts in solchem Maasse Gegendruck ausübt, dass dieser Gegendruck dem Widerstande das Gleichgewicht hält, den die Gesteinsmassen unterhalb in den Richtungen t u. t' der Verquetschung entgegenstellen, dann muss die frühere Arbeit tangentialen Druckes in diesen Richtungen zur Zermalmung der Gesteine zwischen denselben verwendet werden, wo die festen Massen nach irgend einer Richtung ungleichmässig ausweichen können, oder es muss die Masse in irgend eine andere als die verticale Richtung hineingedrängt werden. Es ist schwierig einzusehen, wie nach der Hypothese Hopkins' den Gebirgen eine Grenze nach der Höhe zuerkannt werden kann,

oder man müsste andere Hypothesen zu Hülfe nehmen, um die erhebende Kraft selbst in Schranken zu schliessen. Deren Intensität aber lässt sich in diesem Falle nicht schätzen, da ihre wirkliche Natur unbekannt gelassen ist.

37. Wenn wir nun schon in Prevost's Ansicht eine zutreffende und zusammenhängende Erhebungstheorie erkennen, so bietet uns dieselbe, wenn wir sie nach einer Richtung hin in ihre möglichen Consequenzen verfolgen, gleichzeitig den Schlüssel zu einer einfachen, zutreffenden und zusammenhängenden Theorie der vulkanischen Erscheinungen, wie nunmehr gezeigt werden soll.

38. Dass die Temperatur der Erde nach dem Innern zunimmt, kann als eine Thatsache gelten, trotz der verhältnissmässig kleinen Zahl glaubwürdiger Beobachtungen, die wir besitzen. Artesische Brunnen und Tiefbohrungen sind die einzigen sicheren Stützen, da die Beobachtungen in Bergwerken und tiefen Schächten nicht übereinstimmende Resultate gaben aus Gründen, die hier nicht erörtert zu werden brauchen.

39. Und da wir sicher sind, dass die geothermale Schicht der gleichförmigen, nicht veränderlichen Jahrestemperatur immer eine grössere Wärme zeigt, als die des Himmelsraumes, so muss unser Planet eine sich abkühlende Kugel sein, und daher in Uebereinstimmung mit allem, was wir von dem Materiale, aus dem er besteht, kennen, auch eine sich contrahirende Kugel.

40. Gleichwohl bieten die sog. geothermischen Tiefenstufen grosse Verschiedenheiten dar, auch wenn wir solche Fälle ausser Acht lassen, wo aus zufälligen Ursachen Irrthümer entstehen können. Die Tiefenstufe variirt einmal von 15' (auf 1° Fahr.) bis zu mehr als 200' (Mallet, Neap. Earthquake 2. S. 310), sogar an Stellen, die kaum 1—2 Meilen von einander liegen, und in derselben Formation schwankt dieselbe von 208' bis zu nur 83'. Sogar in derselben vertikalen Richtung eines Bohrloches variirt die Tiefenstufe an verschiedenen Stellen. Das Verhältniss beobachteter Temperaturzunahme ergibt etwa die Grenzwerte von 30 und 60—70 Fuss für die Tiefenstufe.

Die vollständigste und werthvollste Sammlung und

Discussion aller Beobachtungen, die bis zum Juni 1836 aufgezeichnet waren, findet sich in einer seltenen und kaum bekannten Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doctorwürde bei der Rheno-Trajectine Akademie (4to 101 pp. Müller, Amsterdam 1836), die den Titel führt: *Disputatio physica inauguralis de calore Telluris infra superficiem augescente* von A. Vrolik. Der sorgsame und fleissige Verfasser kommt unter andern zu folgendem Schlusse: „*Variarum observationum autem eventus, adeo inter se discrepare ut certam incrementi legem pro unaquaque regione nondum statuere possimus.*“ Er glaubt es als bewiesen annehmen zu können, dass im Allgemeinen die Tiefenstufe in den Ebenen und Thälern grösser ist als in den Bergen.

41. Diese Schlüsse wurden durch die späteren seit 1836 gemachten Beobachtungen bestätigt. De la Beche, Herschel, Babbage haben mit mehr oder weniger Bestimmtheit einen Zusammenhang zwischen der Zunahme der unterirdischen Wärme und dem Leitungsvermögen der aufliegenden Schichten ausgesprochen. (6)

Sorgfältig hat diese Frage Hopkins in einer seiner werthvollen Arbeiten behandelt: Ueber die Leitungsfähigkeit verschiedener Substanzen etc. (Phil. Trans. Bd. CXLVII. 1857.) Gegen den Schluss hin bemerkt er:

„Im Ganzen aber kann ich den Schluss nicht vermeiden, dass das Vorhandensein einer centralen Wärmequelle in sich nicht ausreichend ist, um alle Erscheinungen, die sich uns in der Erdwärme bieten, zu erklären.“ S. 835. Das heisst, dass die Annahme einer erkaltenden Kugel, mit solchen Wirkungen vereinigt, wie sie seine Experimente über die Leitungsfähigkeit der von ihm untersuchten Stoffe ergaben, noch nicht genügt, um die beobachteten Unterschiede in der Wärmezunahme des Erdinnern zu erklären.

42. Eine bedeutende Quelle, wenn nicht die Einzige, um diese von Hopkins bestimmt angedeuteten übrig bleibenden unbekanntem Vorgänge zu erklären, hoffen wir in dieser Schrift darzulegen und ihren innigen Zusammenhang mit vulkanischen Erscheinungen nachzuweisen.

43. Da unsere gegenwärtige Kenntniss der Erdwärme nicht wohl mit sorgsameren Folgerungen zu ver-

einen ist, die ihren Ausgang aus dem jährlichen absoluten Wärmeverluste unserer Erde nehmen, so scheint darin die Thatsache Unterstützung zu finden, dass unsere Erde eine erkaltende Kugel ist. Astronomische Analogien und Betrachtungen über ihre Form scheinen gleichfalls die Annahme zu erfordern, dass sie eine erkaltende Kugel von der Zeit ihrer Schmelzflüssigkeit an zu allen Zeiten gewesen ist. Wenn das aber der Fall war, dann war sie auch von jenem Zeitpunkte an bis auf die Gegenwart eine sich zusammenziehende Kugel.

Das sind alle Bedingungen, die wir verlangen, um daraus die Folgerungen herzuleiten, zu denen uns eine Betrachtung der Erscheinungen führt, die auf die Erkaltung folgen.

44. Es mag beiläufig bemerkt werden, dass der allgemeine Glaube der Geologen, dass unsere Erde erkalte, mehr oder weniger durch die berühmte Arbeit von Laplace (*Mecanique Céleste* t. V cap. IV. S. 72. „Ueber die Abkühlung der Erde und ihren Einfluss auf die Länge des Tages“ erschüttert wurde. Man nimmt von Seiten vieler Geologen an, dass dieser grosse Mathematiker darin unwiderleglich den Beweis geführt habe, dass unsere Erdkugel seit den letzten 2000 Jahren nicht mehr erkaltet sei.

45. Mit wohlverdienter Verehrung vor der geistigen Ueberlegenheit des Laplace glaubt der Verfasser doch bemerken zu dürfen, dass seine Berechnung in der That nichts beweist, was auf die gegenwärtigen Vorgänge in der Natur bezogen werden kann; denn die physikalischen Daten, die er benutzte, waren nicht solche, wie sie gegenwärtig in der Natur sich ergeben. Das Gesetz der Compression nach der Tiefe, welches er annahm, wurde von Young angegriffen; und die Annahme, dass der Coefficient der Contraction für die ganze Kugel derselbe bleibe, sei sie flüssig oder fest, warm oder kalt, scheint doch die Richtigkeit der Schlüsse zu beeinträchtigen.

Wenn eine kalte und erstarrte Kruste eine grössere Dichtigkeit und einen niedrigeren Contractionscoefficienten besitzt, als der flüssige oder feste aber wärmere Kern darunter, aus dem sich durch Zuwachs und Erstarrung nach

und nach die Kruste 'dicker bildet, so ist leicht einzusehen, das ein solches Verhältniss der Quantität beider bestehen kann, dass der Abstand des Umdrehungscentrums der Kugel von dem körperlichen Centrum constant bleiben kann, entweder immer oder doch auf lange Zeit, wenn auch der Durchmesser der Erde im Ganzen durch Contraction verkürzt wurde. So konnte dann auch, da die lebendige Kraft (moment of momentum) unverändert bleiben musste, die angulare Geschwindigkeit, auf der die Tageslänge beruht, 2000 Jahre lang constant bleiben oder doch so nahezu constant, dass ihre Abweichung absolut nicht wahrzunehmen war, vielleicht auch noch auf eine viel längere Zeit, ungeachtet dass die Erde, als ein Ganzes, fortwährend jährlich eine sehr wahrnehmbare Menge von Wärme verlor, wie es unleugbar festzustehen scheint.

46. Wir wollen die ganze Reihe der Erscheinungen der Erkaltung ins Auge fassen, von der Zeit anfangend, wo die ganze Erdkugel ein flüssiges, geschmolzenes Sphäroid war, welches um eine Axe rotirte, die gegen die Bahn geneigt war, wie sie es jetzt ist und welches durch Ausstrahlung Wärme verlor, dagegen von der Sonne Wärme empfing. Wie immer das Maass der Abkühlung gewesen sein mag, es musste am stärksten sein nach den Polen zu; jede erstarrte Kruste musste zuerst an den Polen sich bilden und von dort aus in zwei hemisphärische Schichten sich ausbreiten, die dünner wurden, jemehr sie sich dem Aequator näherten, wo sie sich endlich vereinigten. Was wir durch unsere Erfahrungen an Hochöfen und im Laboratorium über die Wirkungen der höchsten Temperaturen auf Metalle und die Stoffe kennen, von denen wir annehmen können, dass sie unsere Erdmasse bilden, soviel ist gewiss, dass bei Temperaturen, welche oberhalb der Schmelzpunkte liegen, alle Stoffe mehr und mehr flüssig werden, bis zu einer noch unbekanntten Grenze hin und dass alle bei einer den Schmelzpunkt um ein bedeutendes übersteigenden Temperatur zu sehr beweglichen Flüssigkeiten von äusserst geringer Zähigkeit umgewandelt werden.

47. Auf der andern Seite ist es ebenso gewiss, dass alle Metalle und solche Mischungen, wie sie die Gesteine

bilden (saure und basische Silicate), auf dem Wege zur Erstarrung unterhalb ihres Schmelzpunktes eine schnell wachsende Phase der Zähigkeit durchlaufen. Diese Zwischenstufe schnell zunehmender Zähigkeit unterhalb des Schmelzpunktes und über dem Punkte der vollkommenen Erstarrung gestattet das Auswalzen des Eisens, Platins etc. Der Zustand der Zähigkeit bei Metallen umfasst nur kurze Zeit; aber in erdigen Mischungen oder Verbindungen, wie die basischen oder sauren Silicate es sind, wird derselbe verlängert und dadurch wird die Zunahme der Zähigkeit nach der unteren Temperaturgrenze hin eine bedeutendere als in den Metallen.

48. Bei der ausserordentlich grossen Flüssigkeit des geschmolzenen Sphäroides in der hohen Temperatur, die wir ihm bei dem Uebergange aus der Gasform und nach der Herstellung des allgemeinen chemischen Gleichgewichtes seiner Elemente zuschreiben müssen, die ähnliche Verbindungen eingingen, wie sie uns jetzt auf der Erde, soweit wir sie kennen, begegnen, erscheint es unerlässlich gewesen zu sein, dass grosse Circulationsströme auf dem Sphäroide entstanden. Sie waren veranlasst durch die schnellere Abkühlung an den Polen, im Vergleiche zu den Aequatorialgegenden; wärmere Ströme stiegen oberflächlich vom Aequator zu den Polen auf und kältere Ströme kehrten längs der Rotationsaxe zurück, theilten sich und stiegen auf in der Ebene des Aequators. Aber die Wirkung dieser Temperatenausgleichung der oberflächlichen und inneren Theile des Sphäroides war wohl nur gering; ungeachtet ihres Einflusses wird die Erde immer heisser im Centrum gewesen sein, als an einer Stelle auf oder nahe der Oberfläche. Indem die äusseren Schichten mehr und mehr an Zähigkeit zunahmen, jemeher die Erkaltung fortschritt, wurde endlich eine dünne Kruste über das ganze Sphäroid gebildet, die an den Polen am dicksten war.

Diese Kruste, wenngleich dünn, so doch fest durch eine gewisse Stärke, hatte wohl nahezu dieselbe hohe Temperatur, wie die zähe und flüssige Masse unter ihr. Daher gab sie fortwährend Wärme durch Ausstrahlung ab und zwar in einem Verhältnisse, welches nicht sehr verschieden

war von dem, welches an der Oberfläche des noch nicht von einer Kruste bedeckten flüssigen Sphäroides früher obgewaltet hatte.

49. Gewiss aber ist (wie weiter unten gezeigt werden soll), dass der Contractionscoefficient für solche Stoffe, aus denen Gesteine gebildet sind, gradatim geringer wird bei festem Zustande als bei zähem und flüssigem, und dass er als eine Funktion der Temperatur abwärts bis zu der mittleren Temperatur unserer Atmosphäre abnimmt.

Von dem Maassstabe der Oberflächenabkühlung, verglichen mit der Abkühlung der zähen Materie darunter, von den Bedingungen der Ausstrahlung etc. Vorgänge, für die wir keine bestimmte Daten haben, musste es abhängen, ob nicht die Beziehungen zwischen dem Maassstabe der Abkühlung und der Contraction des Aeusseren und Inneren zu Spannungen in der dünnen Kruste Veranlassung geben konnten; aber die Wirkung musste im Ganzen doch die sein, dass sich ein tangentialer Druck auch in der dünnen Kruste vollzog. Der Compression, die hierdurch bewirkt werden konnte, gab die dünne Kruste mit Leichtigkeit nach, indem sie sich runzelte und übereinander faltete oder in gleicher Weise der Spannung durch Zerbrechen in Stücke nachzugeben suchte. Die Dichtigkeit der erstarrten Kruste war ohne Zweifel grösser, als die der zähen Schicht darunter, und die Dichtigkeit dieser letzteren hinwiederum grösser, als die des noch flüssigen Kernes; aber die Differenz in der Dichtigkeit kann nur klein gewesen sein, da auch die Temperaturunterschiede zwischen diesen Schichten nur gering waren. Auch können wir nicht annehmen, dass eine grosse Aenderung der Dichtigkeit mit einer plötzlichen molekularen Aenderung des Volumens verbunden sei, wie sie bekanntermassen auch beim Uebergange des Materiales der Gesteine aus dem zähen in den festen Zustand vor sich zu gehen pflegt. Die Unterschiede der Dichtigkeit beim Uebergange von Mineralverbindungen aus dem glasigen zu dem krystallinen Zustande und umgekehrt sind nicht gross; in solchen Fällen hat die Abkühlung verhältnissmässig plötzlich sich vollzogen. Bei der Darstellung des Réaumur'schen Porcellans geht der Veränderung durch

langsames Erhitzen eine schnelle Erkaltung zu Glas voraus. In der Erdkruste gab es keine plötzliche Erkaltung.

50. Die dünne Kruste, wenngleich mehr oder weniger dislocirt, wurde dennoch auf der Oberfläche erhalten und von der zähen Unterlage getragen, diese wieder durch den flüssigen Kern; die Kruste sank nicht stückweise in die innere Masse unter.

Wollten wir aber auch annehmen, dass sie das doch gethan hätte, so erscheint dennoch die von Poisson zuerst aufgestellte Ansicht, der sich auch Thomson zuzuwenden geneigt ist, durchaus unwahrscheinlich, dass die einzelnen erstarrten und von der festen Kruste sich lösenden Schollen, die sich immer erneuerten, bis zum Centrum des flüssigen Kernes niedergesunken und dass sie dort noch fest geblieben sein sollten, wodurch sich dann nach und nach aus solchen glühenden Trümmern ein zwar durchlöcherter aber doch fester Kern aufbaute, über dem flüssige Masse sich befand, die endlich wieder von einer festen Kruste bedeckt war. Wir müssen hier die ausserordentliche relative Dünne der ersten Erstarrungskruste in Betracht ziehen, die nur wenige Meilen, vielleicht nur einige Faden Dicke besass, wir müssen die geringe Masse derselben mit dem ungeheuren Volumen des flüssigen Kernes vergleichen, durch welchen die Fragmente der Kruste etwa 4000 Meilen hinabsinken mussten, und müssen endlich den ungeheuren Ueberschuss der Temperatur bedenken, der in der Flüssigkeit nahe dem Centrum herrschte. Dann erscheint es unmöglich, zu einem anderen vernünftigen Schlusse zu kommen, als zu dem, dass die gesunkenen Schollen der erstarrten Rinde wieder durch die Wärme, die sie aus der heissen Flüssigkeit empfangen, selbst in den Schmelzfluss zurückgeführt werden mussten. Denn die lokale Temperatur des flüssigen Kernes wurde noch um die Wärme erhöht, die durch den Fall um eine Entfernung von nahezu der Grösse des Erdhalbdurchmessers durch die Flüssigkeit hindurch erzeugt wurde. Und wenn wir dann auch annehmen wollen, dass die Gesetze der Gravitation in einem Sphäroide und die Dichtigkeit der Kruste sowie die relativen Verhältnisse der Compression

in verschiedenen Tiefen der Kruste und des flüssigen Kernes in der That irgendwie gestatten würden, dass die Schollen das Centrum erreichten, so erscheint dennoch die Hypothese Poisson's nach Ansicht des Verfassers bei Seite gesetzt, die nur ein Stein des Anstosses auf dem Wege der verständigen Interpretation dieser schwierigen Fragen der ältesten Geognosie gewesen ist.

51. Wenn in erkaltenden Körpern der Verlust an Wärme in gleichen Zeiten um so grösser ist, je grösser die Differenz der Temperaturen der warmen und der kalten Körper, dann musste der Fortschritt der Erkaltung der Erde, wenn ihre Temperatur im allgemeinen höher war, als die in unseren Hochöfen, dagegen die Temperatur des Weltraumes, wie wir wohl annehmen müssen, die gleiche auch heute geblieben ist, ein ausserordentlich schneller sein. Auch die Grösse der Contraction musste dann eine verhältnissmässig schnell wachsende sein, um so mehr, als die Abkühlung noch durch die vorher erwähnten Circulationsströme beschleunigt wurde.

52. Die zähe Schicht muss erheblich dicker angenommen werden, als die feste Schaale darüber. Die ungeheure Höhe der schnellen Contraction dieses Zeitraumes wird nach des Verfassers Meinung durch die Umgestaltung des Sphäroides ausgedrückt, welche die Bette der Oceane austiefte, ihnen im allgemeinen die Umrisse gab, die wir noch heute an denselben sehen und so im Grossen und Ganzen die Formen der Continente vorzeichnete.

Es kann diese Annahme allerdings jetzt noch nicht anders als eine Vermuthung genannt werden, immerhin aber ist sie nicht ohne Unterstützung durch Autorität und durch Thatfachen. Es erscheint unmöglich, einen anderen, an Kraft gleichmässig ausreichenden Mechanismus zu bezeichnen, um solche weite Erhebungen und Einsenkungen zu erklären, denn diese setzen ununterbrochen über weite Räume fort und geben den Querschnitten von Land und Ocean ihre gegenwärtige Form, die, Berg und Thal auser Acht gelassen, nur weite flache, gehobene Ebenen sind, die mehr oder weniger plötzlich zu gleichfalls seichten, flachen, tellergleichen Ebenen der oceanischen Concavi-

täten sich abwärts senken. Seitlicher und radialer Druck in localen Centren erscheint hier in gleicher Weise unanwendbar. Der physikalische Astronom hat die Ursachen dieser sehr auffallenden und gewiss nicht zufälligen Configuration in der Umgestaltung unserer Erdoberfläche zu erforschen. Hier mag wohl auch die Bemerkung am Platze sein, dass eine gewisse Regelmässigkeit in den Formen der Länder (Küstenumrisse) und der Meere andeutet, dass diese nicht lediglich die Folge oberflächlicher Wirkungen, wie es Absätze, Auswaschungen, lokale Oscillationen des Niveau's sind, gewesen sein können, sondern dass dieselben Kräften zugeschrieben werden müssen, welche, mit oder vor jenen in einem weiten, wenn nicht gar universalen Maassstabe und in grossen Tiefen unter der jetzigen Erdoberfläche thätig waren. (7)

53. Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, dass die Westküsten fast aller grossen Ländermassen die steilsten sind und dass dieses auch ohne Rücksicht auf littorale Gebirgsketten, wie die Anden oder die Berge der Küste von Malabar, Gültigkeit hat. *)

Das ist aber gerade, was wir erwarten müssen, wenn das Bett des Oceans die Folge der Oberflächendepression durch die angenommene Umformung ist. Denn die Masse der sinkenden Kruste, die eine Rotationsgeschwindigkeit besitzt, die ihrem grösseren Radius, dem vor der Depression zukommt, wird beim Hinabsteigen zum Niveau des Meeresbodens ein Bestreben haben, ostwärts der wirklichen Vertikale niederzukommen, gerade wie ein Gewicht, welches von einer Höhe fällt, östlich der Vertikale zu Boden kommt. Diese Wirkung war gewiss grösser, je schneller die Umgestaltung sich vollzog, sie konnte nie ganz ver-

*) Dana (American Journ. Sci. 1847) hat gleichwohl eine andere mögliche Ursache für die grössere Steilheit der Gebirgsketten auf einer ihrer Abhänge nachgewiesen, es ist die grössere Intensität des tangentialen Druckes an der weniger steilen Seite, oder der geringere Widerstand der Massen an der andern Seite. Gleichwohl giebt das keine Erklärung zu der im allgemeinen als Faktum anzusehenden grösseren Steilheit der Westküsten. Dana's Geologie.

schwinden, weil sie eine gewisse endliche Zeit umfasste. Die Schnelligkeit der Erhebung hing immer ab von dem Maasse der Erkaltung; und diese, wie schnell sie auch zu irgend einer gegebenen Zeit fortschritt, musste um so grösser sein, je mehr die Temperatur der Erdoberfläche höher war als die des Weltraumes. So mochte wohl, als die Oberflächentemperatur etwa 1500° Fahr. betrug, wie wir einmal annehmen wollen, die jährliche Erhebung der grossen Gebirgsketten eine ganz beträchtliche gewesen sein. Wenn im Gegentheile die Continente als durch irgend eine unbegreifliche Gewalt gehoben angesehen werden, so konnte keine dieser Erscheinungen eintreten und es erscheint nicht gut einzusehen, wie das möglich gewesen wäre, ohnè die Bildung von weiten unterirdischen Hohlräumen.

54. Diese plötzlichen, entgegengesetzten Umbiegungen an den Verbindungsstellen zwischen Continenten und Seebecken zeigen Linien des Bruches und der Schwäche in der frühesten Kruste an, längs denen wir Gebirgsketten und vulkanische Thätigkeit gruppirt finden.

55. Die Bildung der oceanischen Becken fand statt lange bevor die Erdoberflächentemperatur die Annahme eines ausfüllenden, permanenten Oceanes gestattete. So konnten denn, vielleicht während eines langen Zeitraumes, Niederschläge siedenden Wassers mit einem ausserordentlich hohen Siedepunkt Platz greifen. Sie erfüllten Theile der Becken hier und dort, nach den Polen zu beginnend, wurden z. Th. durch Sieden fortgeführt und wieder niedergeschlagen und waren so von Sturzbächen, von Regen, von grossen Oberflächenströmen und von Ueberfluthungen durch heisse Wasser begleitet.

56. Ihrer auflösenden Kraft, ihrer gewaltigen Trag- und Nagekraft und den wunderbaren Gewalten, mit denen sie die erste Kruste zerbrachen, bei verhältnissmässig schneller Erhitzung, bei der fortgesetzten Wärmeleitung von unten (im Gegensatze zu der schnellen örtlichen Erkaltung), bei dem Niederstürzen von vergleichsweise kalten Wassern von oben, müssen die Wirkungen der Zerstörung und der Denudation zugeschrieben werden, wie sie uns die späteren Zeiten der Geologie und allerdings viel weniger noch

die historische Zeit nur in ganz schwacher Wiedergabe vorführen.

Und jenem ersten Mechanismus muss auch die Bildung der grossen Mengen wie in einem Mühlwerke zerriebener Materialien zugeschrieben werden, welche die azoischen, mehr oder weniger geschichteten Gesteine, oder andere ähnliche, die noch älter sind wie jene, gebildet haben.

57. Die Kruste wurde auf die Dauer immer fester und mit ihrer zähen Unterlage auch dicker und trat so endlich, da ihre Zurückführung auf kleineren Raum gleichzeitig mit der Verminderung des Compressionscoefficienten abnahm, in ein Stadium, wo sie dick genug war, um tangentialen Druck in ihren eigenen Schichten fortzupflanzen. Wenn das Gleichgewicht der Contraction zwischen der Kruste und dem Kerne unter ihr, der noch zum grossen Theile flüssig war und sich auf das stärkste zusammenzog, wegen seines hohen Contraktionscoefficienten, ein derartiges zu einer gegebenen Zeit war, dass die Kruste compressive tangential Druckwirkungen in ihrem Umfange fortzupflanzen anfang, dann mussten diese von grosser Kraft und über weite Gebiete ausgedehnt sein. Damit aber begann die Kruste, dick und stark genug, um diese Wirkungen auf grosse Entfernungen hin fortzupflanzen, Falten zu werfen und sich übereinander zu schieben und hierdurch die bedeutenderen oder geringeren Bergketten zu erheben. Manche von diesen wurden umgestürzt und wieder gehoben, und wenn wir ihr Gesamtvolumen bestimmen könnten, so würden wir dadurch in gewissem Sinne einen Maassstab für die totale Contraction des Sphäroides erhalten, die sich von dem Zeitpunkte an, wo die Erdkruste dick genug geworden, um den mächtigen tangentialen Druck fortzupflanzen, bis zu verhältnissmässig jungen geologischen Zeiträumen vollzogen hat. Denn wenn auch unbedeutende Veränderungen in der Höhe immer vorkommen und sich noch jetzt vollziehen, z. B. in Schweden, so sind doch Erhebungen grosser Gebirgsketten in nachtertiärer oder pleistocener Zeit nicht mehr vorgekommen.

58. In diesem Stadium der Dicke der Rinde der erkalteten Erde musste, den Principien zu Folge, die wir schon bei Besprechung der Erhebungskraft andeuteten, die grosse durch tangentielle Pressung bewirkte Erhebung von mächtigen gleichzeitig bewirkten oder in der Folge eintretenden orthogonalen Spannungen oder von Ausdehnungen, die den Druckdifferenzen zuzuschreiben sind, begleitet gewesen sein und hierdurch die grossen Spalten, Kluft- und Gangbildungen, so wie das Hinaufdringen der krystallinischen Gesteine veranlasst werden.

Zuletzt als die Erkaltung immer fortschritt, die Kruste immer dicker und starrer wurde und sich nach beiden Gesichtspunkten hin dem Zustande näherte, in dem sie aller Wahrscheinlichkeit nach sich noch befindet, begann das hin und her balancirende Spiel der Kräfte, deren Wirkungen wir als vulkanische bezeichnen, mit den sie begleitenden Erscheinungen der Erdbeben, heissen Quellen u. s. w. Auf die genauere Betrachtung ihres Mechanismus müssen wir nunmehr eines weiteren eingehen.

59. Diese Zeit, die wir die Herrschaft der vulkanischen Thätigkeit auf unserer Erde nennen können, erscheint im Vergleiche mit der kurzen Spanne menschlicher Geschichte auf den ersten Blick als eine gleichförmige.

Aber sie zeigt doch eine abnehmende Kraft ihrer Thätigkeiten, ganz wie es mit jeder der ihr vorausgehenden Epochen der Erkaltung der Fall war, und wenn sie mit den thermalen Kräften der erkaltenden Erde zusammenhing, konnte es gar nicht anders sein.

60. So erkennen wir denn vier grosse Stadien in dem Erkaltungsprocesse unserer Erde, jedes geringer an Kraft wie das vorhergehende, aber alle einer gemeinsamen, alles durchdringenden Ursache entstammend, dem Verlust an Wärme.

1. Stadium: Bildung und Umbildung einer dünnen biegsamen Kruste und damit Gestaltung der Oberfläche der zähen oder flüssigen Schichten darunter, welche schon die Grenzen von Land und Meer vorbildete.

2. Stadium: Das Zersplittern und Aufbrechen dieser Kruste und die schnellere aber unregelmässige Erkaltung, welche durch den ersten theilweisen Niederschlag des Wassers auf der Erde bewirkt wurde, während noch ein grosser Theil der Oberfläche sogar roth-glühend sein mochte und mit dem zähen Innern noch theilweise die Verbindung offen stand. Diese Vorgänge waren begleitet von einzelnen localen Spannungen und Compressionen.

3. Stadium: Zunahme der Erstarrung in der verdickten Kruste, die fähig wurde, den tangentialen Druck, der durch die Contraction erzeugt wurde, fortzupflanzen. Dieser umgesetzt, wie wir gesehen haben, erhob die Bergketten und gestaltete die hypsometrischen Formen des Festlandes, begründete das Reich des Oceans und der Wasserläufe der Welt und hiermit die ersten Anfänge der Klimate, die einer Entwicklung der Lebensformen günstig waren.

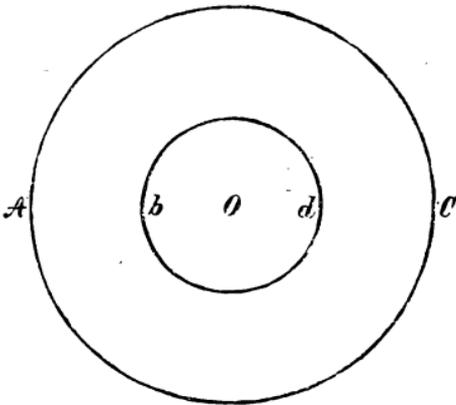
4. Stadium: Die Epoche einer ausserordentlich dicken und starren Kruste mit verhältnissmässig langsam fortschreitender Erkaltung der Erdkugel, die Herrschaft der Vorgänge, wie sie noch fortdauern, des Spieles der durch fortschreitende Erkaltung bewirkten Kräfte der Contraction, von denen wir zu zeigen hoffen, dass aus ihnen vulkanische Thätigkeit ihren Ursprung nimmt und anscheinend unverändert, wenn auch mit stets abnehmender Kraftäusserung sich erhält.

Diese Stufen in dem Fortschreiten säcularer Erkaltung sind nicht lediglich willkürlich, jede ist durch eine andere Art des Ausdruckes der Contraktionswirkungen bezeichnet. Das Maass der Contraction war im Anfang ein sehr hohes, weil auch die Abkühlung schnell erfolgte und der Contractionscoefficient der grösste war; es äusserte sich in der Umformung und nachher in dem Bersten der dünnen Kruste unter Spannung und durch Aufwärtswallen der flüssigen Masse von innen. Später als die Schale dicker geworden, äusserte sich dieselbe in Umbiegungen und Erhebungen der Gebirgsrücken, indem auf die primären Spannungen nunmehr Compressionen gefolgt waren. Endlich, als das noch fortdauernde Stadium der Entwicklung erreicht war,

worin die Kruste eine grosse Dicke erreicht hat, bedeckte diese den noch heissen Kern überall als verhältnissmässig starre sphäroidale Schale. Diese einzelnen Stadien griffen in ihrer Entwicklung mehr oder weniger in einander über.

61. Wie verhält sich denn die Contraction des Volumens unserer Erde, welche noch vor sich geht? Denn wenn sie noch als erkaltend gilt, muss sie sich auch noch zusammen-

Fig 2.



ziehen. Wir haben eine Kugel AC, die den Gravitationsgesetzen unterworfen ist, aus einer verhältnissmässig dicken Kruste besteht und einen heissen Kern einschliesst; dieser verliert seine hohe Temperatur, indem er dieselbe in die Kruste überführt und von der Oberfläche ausstrahlt,

der Contraktionscoefficient der Masse des Kernes, der eine weit höhere Temperatur besitzt als die Kruste, ist grösser als der der Masse dieser letzteren.

Wäre die Schale, die den Kern umhüllt, noch dünn und biegsam, so würde sie nachgeben, würde sich wie früher in Falten legen und nachsinken, je nachdem der Durchmesser des Kernes allmählich durch Contraction verkürzt würde.

Aber diese Kruste ist jetzt ein starres, umhüllendes Gewölbe, ihre Dimensionen nehmen nach dem Maassstabe ihres geringen Contraktionscoefficienten, viel langsamer ab, als die des Kernes mit hoher Temperatur und daher weit höherem Coefficienten. In Fig. 2 sei $b\ d$ der Kern, die Dicke der Kruste $Ao - b\ o$, d. h. die volle Dicke der ganzen Kruste, die weder vollkommen starr, noch starr genug ist, um wie ein sich tragendes Gewölbe zu widerstehen. Die schnellere Contraction des Kernes bewirkt, dass er sich von der inneren Fläche der äusseren Schale zurückzuziehen strebt

und so die letztere zum Theil ohne Unterlage lässt. Und wenn wir annehmen, dass an der Contactfläche zwischen Kern und Schale eine gewisse Adhäsion die beiden verbinde, so wird der sich contrahirende Kern alle Theile der sphäroidalen Kruste mit sich in radialer Richtung zum Centrum abwärts ziehen.

In jedem Falle ist die direkte Folge gegenseitiger Druck durch tangentielle Pressung in der Schale; diese, als hinreichend dick und starr, widersteht diesen Kräften wie ein Gewölbe.

62. Wenn das Gewölbe zu schwach wäre, um den tangentialen Pressungen zu widerstehen, so müsste es bei den Wechselwirkungen des Druckes in seinen einzelnen Theilen zerquetscht werden; und wenn es nicht von homogener Masse ist, oder wenn der Druck an einer Stelle grösser ist als an der andern, dann muss es z. Th. längs der schwächsten oder meist gepressten Stellen zerquetscht werden.

Wenn aber das Material des starren Gewölbes oder der Kruste, gleich allen Stoffen, compressible ist und zu ausweichenden Windungen (*amenable to shearing strain*) verdrückt werden kann, dann ist der tangentielle Druck auch mit Zusammendrückung verbunden und daher mit Bewegung in den Theilchen der Masse selbst.

63. Die durch gegenseitigen Druck und durch die Bewegung geleistete Arbeit wird in Wärme umgewandelt. Diese erwärmt entweder gleichmässig die ganze sphärische Schale, wenn der Druck oder die Arbeit sich gleichmässig durch die ganze Masse fortpflanzt oder sie erwärmt nur gewisse Punkte, Linien oder Ebenen der Kruste intensiver, wenn die Arbeit mehr oder weniger nach diesen Stellen übertragen wird. Das wollen wir uns durch ein Bild vorzustellen versuchen. Nehmen wir an, wir hätten ein Ei, mit harter Schale und weichem Innern, bei dem wir durch irgend welche Mittel das weiche Innere an Volumen abnehmen lassen können, so dass es von der inneren Fläche der Schale zurückschrumpft, oder dieses zu thun strebt und hierdurch die Schale dem Drucke der Atmosphäre aussetzt. Sobald dieses geschehen, werden tan-

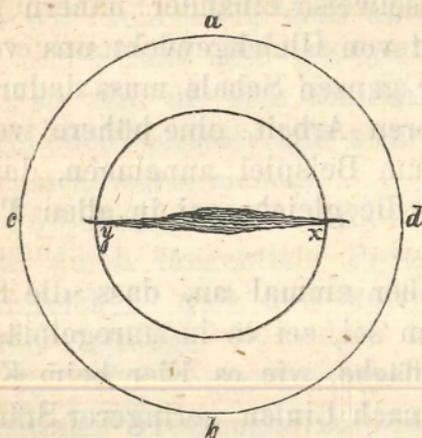
gentiale Pressungen in der Schale hervorgerufen, so dass ihre Theilchen sich wechselweise einander nähern (wenn wir dieselbe als eine Art von Gleichgewicht uns vorstellen). Die Temperatur der ganzen Schale muss dadurch, in Folge der geleisteten inneren Arbeit, eine höhere werden; und wir können dabei zum Beispiel annehmen, dass die Zunahme der Temperatur die gleiche sei in allen Theilen der Kruste.

Nehmen wir nun aber einmal an, dass die Schale vorher zerbrochen worden sei, sei es in unregelmässigen Richtungen über die Oberfläche, wie es Eier beim Kochen nicht selten zeigen, oder nach Linien geringerer Stärke in der Schale. Wenn die Zusammendrückung am grössten sein wird längs der Linien des geringsten Widerstandes, dann muss die ganze Summe der Compressionsarbeit auf die Bruchlinien oder die Linien der Schwäche übertragen werden, und die Temperaturzunahme, die durch den grösseren Theil der inneren Arbeit hervorgerufen wird, muss sich darin zeigen, dass gerade diese Stellen der Schale weit mehr erwärmt werden, als die zwischenliegenden Theile der nicht zerbrochenen Schale. Was der Druck der Atmosphäre an der nicht getragenen Eischale bewirkt, das wird an unserer Erde durch die Gravitation der Kruste und die Attraktion des Kernes selbst hervorgerufen.

64. Ein anderes und näher liegendes Beispiel, ja fast einen vollkommen parallelen Fall, bieten die Erscheinungen, welche die Abkühlung grosser sphärischer oder cylindrischer Eisenmassen zu begleiten pflegen. Eine mässig grosse Kugel von Gusseisen, die in einer eisernen Form gegossen wurde und deren Oberfläche sich daher schnell abkühlt und starr wird, lässt im Centrum einen Hohlraum übrig, wenn sie erkaltet ist. Die zuletzt erstarrenden Theilchen verloren nach dem Centrum hin ihren Zusammenhang unter dem Zwange der starren Schale, deren Durchmesser nicht so abnahm, dass sich die totale Contraction ausgleichen konnte.

Alle sehr grossen cylindrischen Schmiedestücke von Werkeisen, von etwa 2—3 Fuss Durchmesser, platzen beim

Fig. 3.



Erkalten und reissen in mehr oder weniger unregelmässige diametrale und axiale Ebenen auseinander, wie in Fig. 3. Anfangs war die ganze Masse weissglühend und weich; die Aussenwände erkalten zunächst und am schnellsten und bilden ein starres Gewölbe (dessen Dicke

wir als $\frac{cd-xy}{2}$ annehmen mögen), welches das noch sehr heisse Innere umgibt und dessen Dimensionen durch das Volumen des letzteren bestimmt werden, weil es von der starren, gewölbten Schale umschlossen wird. Die Erhaltung im Innern schreitet fort, die Wärme wird durch die starre Schale abgegeben, und da die Schale dem radialen Zuge des zusammenziehenden Kernes yx nicht nachgeben kann, so ist die Volumverminderung dieses letzteren mit einer Zerreissung in irgend einer diametralen Richtung yx verbunden, der die Formveränderung des Cylinders selbst in orthogonaler Richtung folgt, sobald dieser Riss gebildet ist.

Die exakte Thätigkeit und der innere Zusammenhang dieser Kräfte, der hier nur unvollkommen dargestellt ist, sind eines weiteren entwickelt worden in der Arbeit des Verfassers: Ueber die Elasticitätscoefficienten und die Brüche im Schmiedeeisen u. s. w. (Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers T. 18. p. 367—312), auf welche hiermit hingewiesen wird. Der Fall ist bei einer Kugel derselbe, wie bei einem Cylinder, wenn die Masse des Kernes bei jener zu zähe ist, um irgendwo zu entweichen.

65. Bei einem kleinen Cylinder oder einer Kugel mit einer verhältnissmässig dicken, starren Kruste, ist das Endresultat der Contraction des Kernes sein Zerreißen durch radiale Spannung und nicht eine Zerquetschung der Masse des bedeckenden Gewölbes durch tangentialen Druck.

Aber es ist ersichtlich, dass das eine oder das andere eintreten muss, wenn die Summe der Spannungswiderstände des Kernes oder der Compressionswiderstände der Schale grösser ist.

Aber in einer sehr grossen Kugel, wie die unseres Planeten, wo die wirkende Kraft in allen seinen Theilen eine gravitative ist und wo ein Querschnitt in der Ebene eines grössten Kreises an Durchmesser ganz bedeutend die Mächtigkeit der Schale übertrifft, auch wenn wir diese auf einige hundert Meilen Dicke schätzen, da ist es klar, dass es die Schale sein muss, die durch Zusammengedrücktwerden nachweicht und nicht der noch heisse Kern durch Einreissen. Gleichwohl ist es durchaus möglich, dass in einem noch weit vor uns liegenden Stadium endlicher Erstarrung eine diametrale Spalte einreisst, oder eine centrale Höhlung in dem dann ganz erkalteten und starren Kerne unserer Erdkugel übrigbleibt.

66. Die sich noch jetzt in unserer Erdkugel vollziehende Contraktion durch die säkulare Erkaltung derselben, erscheint daher einmal in der Compression der weniger warmen und mehr erstarrten bedeckenden Rinde und dann in der Zerquetschung der Masse dieser Schale nach Linien oder an Punkten und in Ebenen der geringsten Widerstandsfähigkeit, bewirkt durch die Schwere der Schale selbst, die sie nach dem zusammenziehenden und sie mit sich ziehenden Kerne abwärts drückt.

Diese so entwickelte Arbeit wird in Wärme umgesetzt, und diese Wärme ist am grössten längs der Punkte, Linien oder Ebenen, wo Bewegung und Druck, die diese Arbeit zusammensetzen, am grössten sind.

An solchen Stellen concentrirter Druck- und Quetscharbeit mag die Temperatur wohl lokal bis zur Rothgluth sich steigern und mag die Schmelzung der gequetschten Gesteinsmassen und der auf einander gepressten Wände, welche diese einschliessen, bewirken.

Das also ist die Ansicht des Verfassers von der wirklichen Natur und dem Ursprunge vulkanischer Wärme, wie sie in unserer Erde erzeugt wird; sie kommt nicht von einem offenen Zusammenhange mit einem ursprünglichen

und noch flüssigen Erdinnern her, noch auch von einem solchen Zusammenhange mit isolirten Becken flüssiger Gesteine, deren Existenz nicht wahrscheinlich ist, sondern sie wird unterhalb der Stellen, wo sie in vulkanischen Ausbrüchen zu Tage tritt, oder in naheliegender unterirdischem Gebiete durch die mechanische Arbeit der zusammengepressten Rinde erzeugt, welche durch die Schwere abwärts nach dem sich contrahirenden Kerne bewegt wird. Die so lokal erzeugte Wärme wird auch lokal wieder verbraucht und dient zur Erzeugung chemischer Arbeit und setzt sich wieder zurück in mechanische Arbeit um, vorzüglich der Eruption selbst.

Und so ist die vulkanische Thätigkeit, wie wir sie auf unserer Erde wahrnehmen, zwar nicht das unmittelbare Produkt ursprünglicher Schmelzhitze, aber sie ist doch mittelbar hervorgerufen durch die Abnahme dieser Hitze, die die einfache Folge der Erkaltung unserer Erde und der erkannten Gesetze der Schwere ist.

Vulkanische Thätigkeit (oder Vulkanicität im Allgemeinen, wenn wir darunter Erdbeben und die andern Arten der sog. plutonischen Erscheinungen der Geologen einbegreifen) kann daher nach des Verfassers Ansicht folgendermassen definirt werden.

Definition.

67. *Die Wärme, aus der die vulkanische Thätigkeit der Erde sich gegenwärtig herleitet, wird in der festen Erdrinde durch Umsetzung der mechanischen Arbeit der Zusammendrückung oder der Zerquetschung der Theile dieser Rinde lokal erzeugt. Diese Zusammendrückungen und Zerquetschungen werden durch die schnellere Contraction des heissen Erdkernes in Folge der Erkaltung und durch das mehr oder weniger freie Nachsinken der Kruste durch ihre Schwere bewirkt. Die vertikale Wirkung der Contraction löst sich hierbei in tangentialen Pressungen und Bewegung im Innern der Erdrinde selbst auf. *)*

*) Die Produktion von Wärme als Folge einer Condensation von Gasen oder Dämpfen beim Uebergang in die flüssige oder feste

68. Es ist schon hervorgehoben worden, dass in dem frühesten Stadium der Erkaltung, als die ungeheure Contraction in der Umgestaltung der äusseren Theile des Sphäroides zum Ausdruck kam, grosse Linien des geringsten Widerstandes durch scharf gekrümmte Biegungen und Zerreibungen hervorgerufen wurden. Die ganze folgende Thätigkeit suchte ihre Zahl und ihre Ausdehnung zu vergrössern und es dürfte wohl nicht von den Geologen geläugnet werden, dass alle Beobachtungen die Existenz von grossen Rutschlinien des geringsten Widerstandes und des aufgehobenen Zusammenhanges unserer Erdrinde andeuten, so z. B. rund um die Küsten des Stillen Meeres. (8)

Unter und nahe solchen Linien müssen wir uns die Gesteine zerrissen und zerbrochen denken und annehmen, dass dieselben über weite Räume und bis in grosse Tiefen hinab zu unzusammenhängenden Fragmenten reducirt sind, die dicht an einander gepresst und zu enger Berührung zusammengedrückt sind.

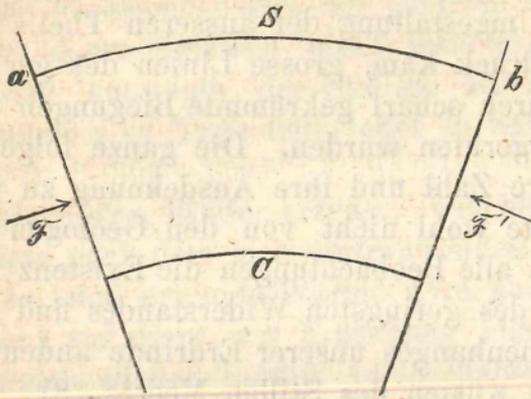
Gerade an und über solchen Stellen finden wir die vulkanischen Ausbrüche. Längs solcher Ebenen geringen Widerstandes and bis in grosse, aber ungekannte Tiefen hinabgehend, muss die Temperatur durch die an jenen Stellen sich concentrirende Bewegung der zusammengedrückten Schale am höchsten sein, wie schon oben gezeigt wurde.

69. Aber solche Bezirke höherer Temperatur sind nicht nur zu Vertikal-Ebenen begrenzt, am wenigsten so tief innerhalb des Bereiches der festen Kruste, als diese aus über einander und wechselgelagerten Formationen von verschiedener mineralischer Zusammensetzung besteht oder auch, womit wir uns hier allein beschäftigen, aus solchen, die verschieden sind an Zusammendrückbarkeit und Leitungsvermögen, das eine oder beides zugleich.

70. In Fig. 4 stellt S C die Tiefe der Erdkruste

Form hat Herbert Spencer in seinem »Essay on the Nebular Hypothesis« besprochen (Westminster Review, July 1858). Es braucht kaum bemerkt zu werden, dass seine Ansichten verschieden sind von denen über die vulk. Hitze, die hier ausgesprochen werden und dass diese letzteren durchaus nicht durch Spencer's Ansichten bedingt worden sind.

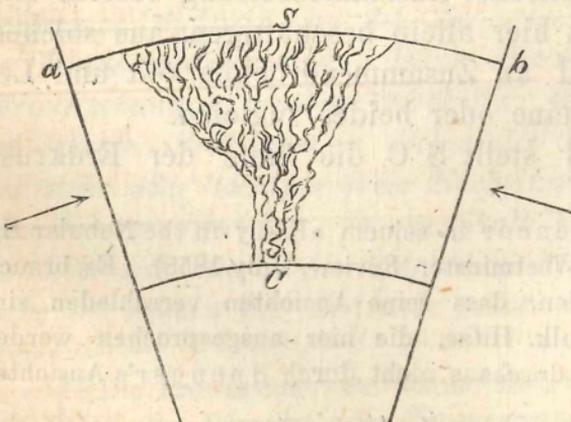
Fig. 4.



zwischen C und S von homogenem Materiale und gleicher Zusammendrückbarkeit ist, jede Erhöhung der Temperatur als eine Wirkung der Zusammendrückung, gleichmässig durch die ganze Masse vertheilt sein. Wenn aber die Zusammendrückbarkeit nach C hin geringer ist, als mehr nach oben hin, wenn hingegen eine angemessene Kraft gleichmässig auf alle Punkte der Ebenen f und f' drückt und das mehr zusammendrückbare Material nicht vom Drucke erreicht werden kann, ehe das weniger zusammendrückbare gewichen ist, dann wird die Temperatur nicht die gleiche sein, sondern sie wird dort die höchste werden, wo die Arbeit des Druckes die grösste ist und wir werden so Variationen mit der Tiefe finden, die gesetzmässig aufsteigen entweder nach oben oder nach unten.

71. Es wird das, allerdings nicht in so ganz regel-

Fig. 5.



dar, wovon ein gleichmässig dicker Theil zwischen den Vertikal-Ebenen a und b liegt und dem Drucke der tangential wirkenden Kräfte f u. f' ausgesetzt ist.

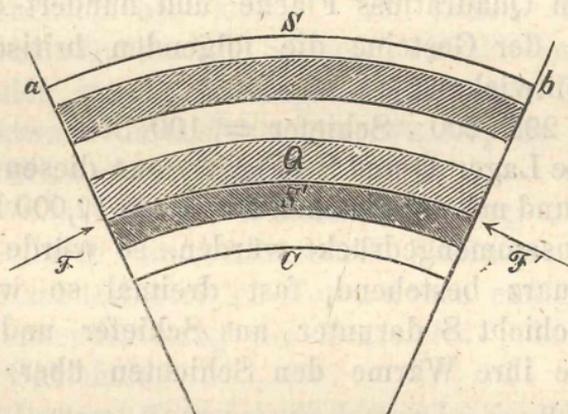
Dann muss, wenn die ganze Masse

mässiger Weise, auch der Fall sein, wenn, wie in Fig. 5, die Masse aCb eine Fläche geringeren Widerstandes umfasst, die mit Zerbrechungen etc. zusammenhängt und sich verschiedenartig nach der Tiefe zu ausdehnt. Wenn

z. B. das Material nach C hin mehr kompakt als höher aufwärts und daher weniger zusammendrückbar ist, und wenn wie auch vorher, die tangentialen Pressungen f und f' gleichmässig auf die vertikalen Ebenen a und b wirken, so dass sie sich nur in dem Maasse einander nähern können, als die weniger zusammendrückbare Masse nachgibt, dann muss die höchste Temperatur um C herum entwickelt werden, wo die grösste Arbeit geleistet wird.

72. Nehmen wir drittens an, dass die Masse aCb aus einigen Lagen oder Schichten von verschiedener Zusammendrückbarkeit besteht und den Kräften f und f' wie vorher ausgesetzt ist; und setzen wir ferner z. B. vor-

Fig. 6.



aus, dass die Schicht Q weniger zusammendrückbar ist als S, die gerade darunter liegt, oder als andere Schichten in dieser Reihe, dann wird, da die

Arbeit der Zusammendrückung in der Schicht Q grösser ist, diese Schicht, wenn ihre Zusammendrückbarkeit überall eine gleiche ist, gleichmässig eine höhere Temperatur erhalten als die benachbarten Schichten.

Hier wird die Temperaturerhöhung nicht in der Richtung einer vertikalen oder nahezu vertikalen Ebene stattfinden, sondern in einer horizontalen.

73. Die grösste Menge von Arbeit wird aber nicht immer in den wenigst zusammendrückbaren Gesteinen geleistet werden, denn wenn Arbeit das Produkt von Druck und Bewegung ist, kann in einem sehr leicht nachgebenden Gesteine, bei einem grösseren Maasse von Zusammendrückbarkeit unter Anwendung eines gegebenen Druckes, dennoch die grössere Arbeit geleistet werden.

74. Die Ausdehnung auf die hin eine Gesteinsschicht

durch Zusammendrückung ohne eine Zermalmung, d. h. also in den Grenzen ihrer Elasticität, erwärmt werden kann, mag durch ein Beispiel erläutert werden. Bei den vom Verfasser zu Holyhead ausgeführten Experimenten über die Zusammendrückbarkeit der Gesteine (Phil. Transac. 1862. p. 663—676) fand er, dass gewisse Quarzgesteine und gewisse Schiefer über 12,000 Pfd. per Quadratzoll trugen, ohne dass ihre Elasticitätsgrenzen überschritten wurden; die totale Zusammendrückung war bei diesem Drucke auf die Einheit der Länge 0,13248 für den Quarz und nur 0,04464 für den Schiefer. Die Fusspfunde der Arbeit, um beide bis zu diesem Maasse zusammenzudrücken durch J. (Joule's Aequivalent) dividirt, ergiebt, dass ein Prisma von einem Quadratfuss Fläche und hundert Fuss Länge aus jedem der Gesteine die folgenden britischen Wärmeeinheiten entwickelt:

$$\text{Quarz} = 295.200 \quad \text{Schiefer} = 100.800.$$

Wenn also die Lager Q und S (Fig. 6) aus diesen Gesteinen beständen und mit der gleichen Kraft von 12,000 Pfd. per Quadratzoll zusammengedrückt würden, so würde die Schicht Q, aus Quarz bestehend, fast dreimal so warm werden als die Schicht S darunter aus Schiefer und es würde die erstere ihre Wärme den Schichten über und unter ihr mittheilen.

75. Hierin erkennen wir also eine sehr ausgiebige Ursache für die grossen Ungleichheiten in der Zunahme der Erdtemperatur. Soviel dem Verfasser bekannt ist, ist dieselbe noch nicht bekannt gemacht worden und war gewiss Hopkins nicht in den Sinn gekommen, als er fand, dass centrale Hitze und Verschiedenartigkeit in dem Leitungsvermögen der Gesteine allein nicht ausreichend seien, um die Erscheinungen der Temperaturzunahme nach der Tiefe hin zu deuten. In der That müssen, wie wir am Schlusse noch sehen werden, die Störungen in der unterirdischen Temperatur, die sich so von dem Drucke und der Bewegung in der Erdrinde herleiten, sehr viel grösser sein, als man es bis heran vermuthet hat und mögen wohl bis zu einem erheblichen Bruchtheil der Wärme sich steigern, die vom Kerne ausgeht. Die Wärme, die so durch

innerliche Arbeit so zu sagen hervorgebracht wird, wird noch zur Zeit in der Erdrinde erzeugt. Ihre Höhe hängt nicht so sehr von der Tiefe ab, aus der sie empfangen wird, als von der Stärke der Contraction der Masse des Erdkernes, die folgerichtig eine Funktion des totalen Wärmeverlustes nach allen Seiten hin ist. Da die Wärme, die auf diese Weise in ungleichem Maasse durch Druck hervorgerufen wird, in verschiedener Tiefe verschieden sein kann, so erhalten wir hierdurch auf einmal eine Erklärung der Beobachtungen im Dukenfield-Schacht u. a. a. O., nämlich der Verschiedenartigkeit der geothermischen Tiefenstufe in einer und derselben Verticallinie und erkennen, wie sich eine kältere oder wärmere Schicht zwischenschieben kann. Wir haben in der That eine wirkliche Quelle der Störung, verschieden von den Unterschieden in der Leitungsfähigkeit der Gesteine und der Gegenwart durchsickernder Wasser, die allein Hopkins' Aufmerksamkeit erregten.

76. Aber die Wärmeentwicklung in der festen Erdrinde durch die verschiedene Zusammendrückbarkeit der übereinanderlagernden Formationen endigt nicht mit der Zusammendrückung des Materiales jeder einzelnen oder aller Schichten.

Je zwei übereinanderlagernde Schichten, wie Q u. S in Fig. 6, die demselben Drucke ausgesetzt sind, müssen, wenn sie ungleiche Coefficienten der Zusammendrückbarkeit besitzen, die eine auf der andern hingleiten und müssen so zwischen den gleitenden Oberflächen Reibung und Zerreissung bewirken. Auch diese Arbeit wird in Wärme umgesetzt und so wird die eigene Temperatur der Schichten und die der benachbarten erhöht.

77. Endlich müssen wir noch in Betracht ziehen, dass die tangentialen Kräfte, nicht immer, wie wir in ff', Fig. 4, 5 u. 6 angenommen haben, in allen Tiefen gleich sein können. Denn unabhängig von einem allgemeinen Gesetze, welches die Gravitation der Rinde mit diesen tangentialen Kräften in Verbindung setzt (auf welches wir nun übergehen wollen) muss schon die blosse Ungleichheit des Widerstandes in verschiedenen Tiefen, die wir nach-

gewiesen haben, die Gleichheit des Druckes stören und sogar in gewissen Grenzen seine Richtung lokal derart ändern, dass derselbe aus vollkommen tangentialer in eine mehr oder weniger entweder zur Vertikalen oder zur Horizontalen geneigte Richtung übergeht.

Wir wissen zwar nichts über die Constitution und die Reihenfolge der Materialien, aus denen die feste Erdrinde besteht, in grösseren Tiefen als etwa bis zu 70 Meilen durch Schlussfolgerungen und bis zu 25 Meilen durch direkte Beobachtung und Folgerung, obschon die Erörterungen Durocher's und Anderer uns die Annahme gestatten, dass auch in einer noch weit grösseren Tiefe, als die genannte, die Erdrinde nicht wesentlich von den harten, krystallinischen Gesteinen der Oberfläche verschieden sei, und obschon sie angeben, dass unter den geschichteten Formationen, also etwa in einer Tiefe von 25 Meilen das Material mit grosser Wahrscheinlichkeit ein viel gleichförmigeres, weniger zerklüftetes und dichteres sei, als an der Oberfläche.

78. Wenn wir so eine wirkliche und ausreichende Ursache entdeckt haben, aus der sich eine grosse lokale Erhöhung der Temperatur in der festen Erdrinde herleiten lässt, so ergibt sich, dass wir in der That auch die Ursache und Natur vulkanischer Thätigkeit gefunden haben und es ist ferner erwiesen, dass dieselbe nur ein Theil des erkannten kosmischen Mechanismus der Erde ist. Ganz unabhängig bleiben davon die Fragen, wie hoch die ursprüngliche Temperatur der Erde gewesen, ein wie langer Zeitraum seitdem verflossen sei, oder welche ihre jetzige innere Temperatur sein möge, sowie die Fragen, ob der Kern noch flüssig oder ob er fest, ob die Schale dicker oder dünner sei, ausgenommen nur die Thatsache, dass das Innere der Erde überhaupt noch heisser sei, als die Oberfläche und dass sie im Ganzen erkaltet.

Denn da eine hinreichende Quelle für die hohe lokale Temperatur in irgend einer Tiefe unter den vulkanischen Auswurfstellen gefunden ist, so vervollkommnet die Gegenwart des Wassers, sei es süss oder salzig, in dem Heerde der vulkanischen Thätigkeit den ganzen Mechanismus dieser ungeheuren Arbeit der Wärme; und in

der Vereinigung dieser beiden Faktoren finden alle feststehenden Thatsachen der Auswurfsmassen und anderer Produkte leicht ihre Erklärung.

Auf diese werden wir eingehen und allerdings nur in der Kürze die hauptsächlichsten Erscheinungen dieser und auch der plutonischen Thätigkeit im Allgemeinen mit unserer Ursache für die lokale Produktion der Wärme selbst vergleichen. Vulkanische Erscheinungen, wie sie uns in historischen Zeiten bekannt geworden oder durch ihre noch älteren Spuren sich uns gezeigt haben, sind im Allgemeinen durch eine Gleichmässigkeit ihrer Produkte sowohl wie ihrer Thätigkeit über die ganze Erde hin und durch alle Zeiten hindurch charakterisirt. Sie unterscheiden sich fast nur in der Intensität und verlangen nothwendig die gleichzeitige Existenz einer Wärmequelle und des Wassers zur Dampfbildung. Daher ist es klar, dass eine vulkanische Thätigkeit, wie die, welche wir heut zu Tage kennen, nicht auf unserer Erdkugel vorhanden gewesen sein konnte, ehe die grossen Wasserflächen sich auf derselben niedergeschlagen hatten, die die festen Massen der Erdrinde durch Capillarität und Infiltration bis auf grosse Tiefen durchdringen, d. h. also nicht eher, als bis die äussere Oberfläche der Erde bis zu einer Temperatur sich abgekühlt hatte, bei der flüssiges Wasser sich niederschlagen und die Erdkruste durchdringen konnte. Das bestimmt eine Anfangsgrenze, über die hinaus vulkanische Thätigkeit, so wie wir sie jetzt kennen, nicht früher auf unserer Erde bestehen konnte.

79. Wir haben keine ganz bestimmten Daten, um diesen Anfang einer vulkanischen Thätigkeit in der geologischen Entwickelungsscala zu fixiren, aber sehr wahrscheinlich liegt derselbe nicht viel vor dem Ende der Secundärperiode, wenn er überhaupt so weit zurückliegt. Früher als zu dieser Zeit scheint die vulkanische Thätigkeit vorzüglich darin bestanden zu haben, dass gewaltige Mengen flüssiger Gesteinsmassen zwischen den gesonderten Erdschollen aufwallten, oder auch Massen von heissem Staube oder sog. Asche, vielleicht auch noch in anderer Art, aber jedenfalls ohne Auswürfe, die durch elastische Dämpfe bewirkt

vielleicht gelegentlich solche, die von Gasen verursacht wurden. In jedem Falle aber war diese Thätigkeit verschieden von der jetzigen und bildete nur einen Theil des Mechanismus, welcher die Faltungen und Erhebungen der ersten Stadien der Erkaltung und Contraction bewirkte.

Es ist nicht unmöglich, dass vulkanische Ausbruchsstellen oder andere ausreichende Anzeichen einer wirklichen vulkanischen Thätigkeit von dem explosiven Charakter des heutigen Systemes später einmal auch in den älteren sedimentären Formationen gefunden werden. Die sog. Lager von vulkanischer Asche, die Trappgänge und Porphyrrücken der silurischen Formation im südlichen Irland und in Nord-Wales u. a. sind allerdings Anzeichen einer feurigen Thätigkeit, aber von dem hydrostatischen Charakter, der der explosiven Thätigkeit unserer heutigen Vulkane voranging.

Einige Erscheinungen explosiver Thätigkeit sind gelegentlich auch in Gesteinen von feuriger, aber sicher nicht vulkanischer Entstehung wahrzunehmen, so die Grünstein- und Trappkugeln und Knauer, die der Verfasser in den grossen Grünstein- oder Trappgängen von Galway gefunden hat (*Transact. Roy. Irish Acad.* 1834); aber kein ausgiebiges Anzeichen ist vorhanden, soweit die Kenntniss des Verfassers reicht, dass ein Vulkan im eigentlichen Sinne in den Zeiten des Silurs oder noch weit früher existirt habe. Auch würde, selbst wenn eine solche sporadische Existenz nachgewiesen würde, das dennoch die Ansichten des Verfassers nicht bestreiten, dass das grosse System explosiver Vulkane, wie es jetzt auf der Erde besteht, überhaupt nicht weiter der Zeit nach zurückreicht, als es oben aufgestellt worden. Keine scharfe Zeitgrenze kann aber für den Uebergang aus der hydrostatischen in die explosive Thätigkeit angegeben werden. Der Wechsel vollzog sich allmählich, und gerade so, wie die Epoche der Festlands- und Meeresbildung durch die Umgestaltung der Erdoberfläche noch in die Zeit des Gebirgsbaues durch Faltung und so' wie diese wieder in unsere Epoche der vulkanischen Zermalmung und explosiven Thätigkeit hinübergreift, so reichte auch die grosse Epoche der hydro-

statischen, feurigen Thätigkeit noch mehr oder weniger über den Anfang der jetzt bestehenden vulkanischen Aera hinaus. Die älteste Form der feurigen Thätigkeit, durch welche die ungeheuren Trappmassen u. A. aufwärts gepresst wurden, in einer Weise, die, wie man später in Californien erkannt hat, mit den jetzt herrschenden vulkanischen Kräften durchaus unvereinbar ist, diese Thätigkeit dauerte noch bis in verhältnissmässig neue Perioden; z. B. der Kalkbildung, ungeschwächt fort und mag vielleicht noch auf dem Meeresboden fortbestehen. Aber zwei durchaus charakteristische Thatsachen bleiben in Kraft; einmal, dass die ältesten feurigen Wirkungen hydrostatisch und nicht explosiv waren, während die jetzige vulkanische Thätigkeit eine explosive und nicht hydrostatische ist und dann zweitens, dass diese letztere oder die noch bestehende Form der feurigen Thätigkeit, die explosive, auch bei weiter Annahme nicht älter als ein Theil der Secundärperiode und dass ein überwiegender Theil derselben jedenfalls von jüngerem Datum ist.

80. Es folgt daraus auch, dass ein ähnlicher Mechanismus der vulkanischen Thätigkeit, wie er jetzt noch auf der Erde besteht, nicht auf einem anderen Planeten existirt haben kann, ehe dessen Oberfläche solche thermometrische Bedingungen angenommen hatte, die es dem Wasser oder irgend einer äquivalenten Flüssigkeit möglich machten, stetig auf der Oberfläche zu bleiben. Diese Temperatur konnte von der unsrigen, jetzt bestehenden sehr verschieden sein und war einmal ohne Zweifel weit über 210° F, auf unserer Erde.

Aber es folgt nicht, wie in der That schon vermuthet worden ist, dass in einem Planeten oder Satelliten, der ganz anders constituirt ist, als unsere Erde, nicht eine vulkanische Thätigkeit für längere oder kürzere Zeit auch durch chemische Vorgänge möglich gewesen sei, oder durch chemische und mechanische Vorgänge im Verein, eine Thätigkeit, die von der auf unserer Erde sichtbaren Vulkanicität durchaus verschieden war. So konnte durch die Entwicklung von Gasen aus flüssigen oder festen Massen bei einer Temperatur und durch ihre Absorption bei einer

ändern Temperatur, wie es die Beispiele an geschmolzenem Silber und Kupfer zeigen, welche beide Sauerstoff absorbiren oder analog den zahlreichen Fällen von chemischen Vorgängen in Verbindungen, wie sie Tessie du Motay entdeckte oder auch noch auf manche andere denkbare Art eine vulkanische Thätigkeit verursacht werden.

81. Der Verfasser muss nun noch nachweisen, dass, wenn man den Ursprung der Wärme, welche die bewegende Kraft der Vulkane ist, in dieser Weise annimmt, dann auch die Bedingungen derartige sind, dass sie aus wirklichen und den Wirkungen entsprechenden Kräften sich herleiten lassen. Indem er das zu thun unternimmt, muss er also den Beweis liefern:

1) Dass die Schwere der nicht unterstützten oder nur theilweise unterstützten festen Erdrinde ausreicht, um, alle Materialien, aus der sie besteht, zu Pulver zu zermalmen und zwar ohne Unterschied, welches die Dicke der Kruste sein mag, ausgenommen, wenn sie gleich wäre dem ganzen Radius.

2) Welches die totale Grösse der Contraction solcher Materialien ist, die den Gesteinen der Erdkruste analog sind, wenn sie vom Schmelzflusse oder aus einer noch höheren Temperatur zu der Temperatur der jetzigen Atmosphäre sich abkühlen.

3) Welches die mittlere Arbeit ist für die Gewichts- und Volumeneinheit, die nothwendig geleistet werden muss, um die Gesteine, aus denen unsere Erdrinde besteht, zu Pulver zu zerquetschen und wie hoch die Wärme, die durch Umsetzung solcher Arbeit erzeugt wird.

Endlich haben wir diese Resultate zu vergleichen und sie auf die jetzigen Erscheinungen der vulkanischen Thätigkeit auf unserer Erde anzuwenden.

Der erste dieser Punkte umfasst nur eine mathematische Erforschung, die beiden letzteren fussen auf zwei ausgedehnten Reihen von Experimenten, die der Verfasser angestellt hat und die hier im Detail beschrieben werden sollen.

82. Erstens also: Die nicht unterstützte feste Rinde muss durch ihre eigene und durch die Gravitation des

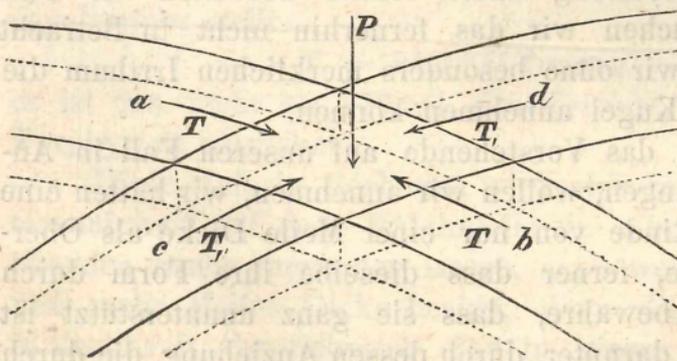
Kernes zermalmt werden, wenn sie aus festem Materiale besteht, das wir als Theil unserer Erde kennen.

Lagrange hat in seinem: *Traité de Mécanique analytique* cap. III, (statique) „sur l'équilibre d'une surface flexible“ etc. (Bertrand's 4. edition Paris 1853) zwar nur als Folgerung und ohne Beweis einen Lehrsatz aufgestellt, welcher für diese Frage Anwendung finden kann. Durch Prof. Haughton ist dieser Satz in eine einfachere Form gebracht worden. Er hat ihn auf einen von dem unserigen ganz verschiedenen Gegenstand angewendet, aber wir sind ihm verbunden dafür, dass er unsere Aufmerksamkeit auf die Anwendbarkeit desselben in unserem Falle gelenkt hat.

Ein Beweis des Satzes ist seitdem durch Prof. Ball von Dublin gegeben worden (Phil. Mag. vol. XXXIX, p. 107 Feb. 1870). Das Theorem lautet folgendermassen: Wenn eine gebogene Oberfläche (von der Natur einer hohlen Schaale oder einer Membrane) im Gleichwichte ist, wenn darauf Kräfte einwirken, die überall normal zur Oberfläche gerichtet sind, dann ist der normale Druck an jedem Punkte gleich der Kraft in der Richtung der Oberfläche oder Schaale an diesem Punkte, multiplicirt mit der Summe der Reciproken des Hauptkrümmungsradius.

Der Druck mag ein innerer sein, wie in einer aufgetriebenen Blase, der Spannung bewirkt, oder er mag ein äusserer sein, wie im vorliegenden Falle und Pressungen oder Quetschungen in der Richtung der Oberfläche oder ihrer Tangente bewirken; die Oberfläche mag dehnbar oder nicht dehnbar sein, aber jedenfalls kommen in ihr ausweichende Verschiebungen (cross or shearing strains) nicht zur Betrachtung.

Fig. 7.



83. Es sei P (Fig. 7) der normale Druck auf einer Oberflächeinheit (Quadratzoll oder Meile), die wir uns aus einem sich schneidenden

Paare von Bändern der gebogenen Oberfläche herausgreifen, wie a b und c d, die zu einander senkrecht stehen und die Breite der Einheit besitzen, und T der tangentialer Druck auf eine der Seiten des Quadrates der angenommenen Einheit, sich resp. entgegenwirkend, welche Seiten, da sie im Verhältnisse zum Krümmungsradius nur klein sind, als Ebene betrachtet werden können.

Es seien die beiden Radien der Hauptkrümmung (in a b und c d) ϱ_1 und ϱ_2 , wie in dem Lehrsatz ausgedrückt, ist dann:

$$P = T \left(\frac{1}{\varrho_1} + \frac{1}{\varrho_2} \right), \dots \dots \dots \text{I.}$$

T^1 hat denselben Werth.

Mit Rücksicht auf die vorliegende Anwendung dieses Satzes, da die Differenzen von ϱ_1 und ϱ_2 für unsere Erde sehr klein sind (vergleichbar den Differenzen zwischen polarem und aequatorialem Radius) und da sie kaum bemerkbar die Krümmung der Oberfläche in begrenztem Raume berühren, können wir die Erde als Kugel auffassen und $\varrho_1 = \varrho_2$ setzen, woraus dann die Gleichung I die folgende wird

$$P = \frac{2T}{\varrho} \dots \dots \dots \text{II.}$$

und

$$T = P \times \frac{\varrho}{2} \dots \dots \dots \text{III.}$$

Wenn die gekrümmte Oberfläche sich sehr stark einer Ellipse nähert, dann ist der Werth von T in Gleichung III nicht ganz genau. Das mag in Fällen lokaler Erhebung oder Einsenkung durch lokale Ursachen der Fall sein, hier brauchen wir das fernerhin nicht in Betracht zu ziehen, da wir ohne besonders merklichen Irrthum die Erde als eine Kugel annehmen können.

Um nun das Vorstehende auf unseren Fall in Anwendung zu bringen, wollen wir annehmen, wir hätten eine kugelförmige Rinde von nur einer Meile Dicke als Oberfläche der Erde, ferner dass dieselbe ihre Form durch Gleichgewicht bewahre, dass sie ganz ununterstützt ist durch den Kern darunter, durch dessen Anziehung, die durch

ihr eigenes Gewicht bewirkt wird, sie nach dem Centrum der Kugel gezogen werde.

84. Die Rinde mag aus dem widerstandsfähigsten Materiale bestehen, welches wir kennen z. B. Granit oder Porphyr, welche unter dem Gewichte von 14 Tonnen auf den Quadratzoll von etwas über 2000 Tonnen auf den Quadratfuss zermalmt werden, die ein spec. Gewicht von 2.858 haben und 175—180 Pfd. per Kubikfuss wiegen. Unsere Resultate, die hier, wo es sich nur um ein Beispiel handelt, lediglich approximativ sein können, werden nicht besonders falsch werden, wenn wir den Durchmesser der Erde auf 8000 engl. M. annehmen, jede von 6000' oder 1000 Faden. Das wird uns viele Zahlen ersparen. Das Resultat wird ganz nahe mit dem übereinstimmen, welches wir erlangen, wenn wir den Durchmesser der Erde 7920 Brit. M. annehmen.

Nun ist in Gleichung III.

$$T = \frac{P\rho}{2}$$

$\rho = R$, dem angenommenen Radius unserer Erde und daher

$$T = 2000 P;$$

aber bei einer Rinde von 1 Meile Dicke ist $P =$ dem Gewichte einer Kubikmeile ihres Materiales: d. i. Granit oder Porphyr in Tonnen; dieses würde, den Kubikfaden von Wasser auf nahe 6 Tonnen angenommen, gleich sein: 6×2.858 Tonnen der Kubikfaden oder $1000^3 \times 6 \times 2,858$ die Kubikmeile. Dann ist $T = 2000 \times 1000^3 \times 6 \times 2,858$ Tonnen: der horizontale Druck für die Quadratmeile, woraus sich, dividirt durch die Zahl der Quadratfusse in einer Quadratmeile, d. i. $= 1000^2 \times 36$, der Werth für T für den Quadratfuss stellt:

$$T = 952666 \text{ Tonnen,}$$

es ist das mehr als 472mal das Gewicht, um Granit und Porphyr zu zermalmen.

Diese einfache Rechnung wird sich mit hinreichender Genauigkeit auf jede Kubikmeile in einer solchen bedeckenden Rinde anwenden lassen, auch wenn dieselbe 100 und mehr Meilen Dicke besitzt, denn die Abweichungen in der Kraft der Schwere sind in dieser Tiefe, die nur

$\frac{1}{40}$ des angenommenen Erdradius beträgt, so gering, dass sie hier ausser Acht gelassen werden können.

Es mag das auf folgende Weise vielleicht noch besser verständlich werden. Wenn T zu $\frac{P}{2}$ in einem bestimmten Verhältnisse steht, welchen Werth immer wir für R annehmen, so ist jede Kubikmeile Gestein in irgend einem Theile der selbst tragenden Erdrinde einem horizontalen Drucke auf jede ihrer Vertikalflächen ausgesetzt, der gleich ist $\frac{R}{2} \times$ dem eigenen Gewichte.

Nach den vorstehenden Angaben ist das $2000 \times$ das eigene Gewicht; aber nach denselben Angaben ist das Gewicht, bei dem Granit oder Porphyr zermalmt werden, circa 2000 Tonnen auf den Quadratfuss und das Gewicht der Masse = 178 Pfd. per Kubikfuss: dann ist der Cohäsionsmodul oder die Länge einer Säule in Fussen, die durch ihr eigenes Gewicht zermalmt wird $= \frac{2000 \times 2240}{178} = 25169$ Fuss = 4,195 Meilen, jede zu 6000'.

Aber die Höhe der Säule desselben Materiales, die den horizontalen Druck darstellt, ist 2000 Meilen oder nahezu 480mal die Höhe des Cohäsionsmoduls.

In der That ist hier die zermalmende Kraft, während die härtesten und am meisten cohärenten Gesteine unter dem Gewichte von 14 Tonnen per Quadratzoll zermalmen, höher als 6000 Tonnen per Quadratzoll, wenn die equilibrierte Rinde, wie wir angenommen haben, vollkommen ununterstützt ist. Daraus folgt, dass wenn $\frac{427}{428}$ des Gesamtgewichtes der Anziehung nach dem Kerne zu durch den letzteren getragen wird, oder also, wenn nur $\frac{1}{428}$ der ganzen Gravitationswirkung durch freies Niedergehen wirkt, dann das Material der Erdrinde dennoch zermalmt werden muss.

85. Wenn die Dicke der Erdrinde sehr bedeutend ist, wie Hopkins annimmt, so entsteht die Frage, in welcher Tiefe unter der äusseren Oberfläche die Schicht der stärksten tangentialen Pressung gefunden werden wird.

T und P seien wieder der horizontale Druck und

die Pressung T sowohl wie P nur auf eine Oberflächeneinheit bezogen, W sei das Gewicht einer Volumeneinheit, berechnet für die Tiefe, an der sie sich findet, nicht übertragen auf die Oberfläche der Erde: so ist die Gleichung für die auf ein Kugelschalenelement wirkende Vertikal-kraft:

$$2 \int_r^R T r dr + P r^2 = \int_r^R W r^2 dr,$$

wo R den Erdradius bezeichnet und r den Radius vector bis zur unteren Fläche des Elementes, dann ist:

$$2Tr - \frac{d(r^2P)}{dr} = Wr^2,$$

die Bedingung des Gleichgewichtes zwischen T und P .

Der physikalische Zustand, in welchem man sich die Erdkugel (oder vielmehr ein Element derselben) zu denken hat, liegt zwischen zwei extremen Annahmen, nämlich 1) dass sie bestehe aus übereinander gelagerten gewölbartigen Schichten, deren jede starr ist und sich selbst trägt, so dass sie keinen Druck auf die nächst untere ausübt, oder 2) dass keine Schicht nach Art eines Gewölbes sich selbst trägt, sondern jede den Druck auf die nächst niedere fortpflanzt, wie im Falle einer Flüssigkeit.

Bei der ersten Annahme ist:

$$P = 0 \text{ und } T = \frac{1}{2}Wr.$$

Bei der zweiten

$$P = T \text{ und } \frac{dP}{dr} = -W \text{ und } T = \int_r^R W dr.$$

Wenn ρ als Funktion von r die Dichtigkeit und g die Schwere in der Oberfläche bezeichnet, dann ist die Schwere in der Tiefe r

$$= \frac{R^2}{r^2} \frac{\int_0^r \rho r^2 dr}{\int_0^R \rho r^2 dr} g; \quad W = \frac{R^2}{r^2} \left(\frac{\int_0^r \rho r^2 dr}{\int_0^R \rho r^2 dr} g \right) \rho.$$

Nimmt man z. B. die Dichtigkeit constant, so wird

$$W = g\varrho \frac{r}{R}$$

Und bei der ersten Annahme:

$$T = \frac{1}{2}g\varrho \frac{r^2}{R} *)$$

bei der zweiten Annahme

$$T = \frac{1}{2}g\varrho \left(R - \frac{r^2}{R} \right).$$

Im ersten Falle ist an der Oberfläche $T = \frac{1}{2}g\varrho R$, nimmt mit wachsender Tiefe ab und wird = 0 im Mittelpunkt, im zweiten Falle ist $T = 0$ an der Oberfläche und wird $\frac{1}{2}g\varrho R$ im Mittelpunkte.

Obige Ausdrücke verdankt der Verfasser Herrn Prof. Stokes, Sec. R. S.

86. So führen denn mathematische Betrachtungen zu dem Schlusse, dass in einer dicken Erdrinde, die als starr und aus übereinanderliegenden gewölbten Lagen von Gesteinen von gleicher Dichtigkeit und Cohäsion bestehend, angenommen wird, die horizontalen Pressungen, die eine Zermalmung zu bewirken streben, an der obersten Oberfläche am stärksten und an der untersten Unterfläche am schwächsten sind. Wenn aber diese Rinde aus losem nicht zusammenhängendem Materiale besteht, oder einem Materiale, welches im Vergleiche zu dem grossen Volumen der Erdrinde und den gewaltigen Kräften, die dabei im Spiele sind, so geartet ist, dass es inneren Druck nach allen Richtungen fortpflanzen kann, gleichsam wie ein flüssiger oder plastischer Körper, dann wird das Maximum umgestaltenden Druckes an der Unterfläche und an der Oberfläche gar kein Druck mehr vorhanden sein.

87. So weit dient uns mathematische Forschung; aber sie wirft nur geringes Licht auf die Frage, welche uns hier zumeist interessirt, nämlich: bei welchem Bruchtheile der ganzen Tiefe einer solchen dicken Erdrinde, die Schicht des Maximums von Vulkanicität, d. h. der Arbeit

*) Im Original durch Druckfehler $\frac{1}{2}gr\frac{r^2}{R}$. Der Uebers.

der Zermalmung und Umgestaltung etwa zu suchen ist. Es hängt das nicht allein von der Tiefe ab, in der T sein Maximum hat, sondern auch davon, in welcher Tiefe die Schicht des grössten Widerstandes zu T gefunden werden kann. Dieser letztere Punkt aber ist abhängig sowohl von der Natur des Materiales in jeder Tiefe, als auch von dem Zustande dieses Materiales, als Bestandtheil einer Kugelrinde, wie die unserer Erde. Im grossen und ganzen betrachtet, ist unsere Erdkruste weder ganz starr und gewölbeartig, noch auch ganz plastisch gleich einer zähen Flüssigkeit; den Bewegungen einer solchen mag sie allerdings nahe kommen. Die Oberfläche ist nach den Temperaturbedingungen als der starrste Theil anzusehen, aber sie ist Meilen tief zerrissen, heterogen und mehr oder weniger unzusammenhängend, die Widerstandsfähigkeit ist daher an der Oberfläche kleiner, als in einer bedeutenden Tiefe unter ihr.

Wenn wir ferner zu der Annahme gezwungen sind, dass die Unterfläche der Erdkruste weicher und zäher ist, als die Oberfläche — und diese Annahme steht allein im Einklange mit den Vorstellungen, die wir von den durch die unterirdische Wärme bewirkten Veränderungen uns machen können — weil ja doch an der Unterfläche der Uebergang in einen viel heisseren und wahrscheinlich flüssigen Kern unterhalb stattfindet, dann muss der Druck T seinen grössten mechanischen Effekt in Umgestaltung und Zermalmung oberhalb der unteren Grenze der Erdrinde haben, wie immer auch die Wirkung dieses Druckes in der Zusammenpressung und Verschiebung der mehr oder weniger zusammendrückbaren, zähen Masse an der Unterfläche oder gerade unter ihr sein mag. Das blosse Zusammenpressen einer zähen Masse, mag es Compression oder Verschiebung bewirken, muss einen Umsatz von Arbeit in Wärme zur Folge haben und mag so wohl im Stande sein, eine vorher zähe Masse wieder in den Schmelzfluss zurückzuführen. Und soweit dieses eine ursächliche Bedeutung haben kann, darf also die vulkanische Thätigkeit nicht von lokalen Druckerscheinungen ausgeschlossen werden, in denen der Zermalmungseffekt übergross ist, da sie überhaupt nur der Ausdruck tangentialer Pressungen in der

Erdkruste sind, denen die vulkanische Thätigkeit hier zugeschrieben wird.

88. Sie wird ihren Sitz tiefer unter der Erdoberfläche haben, wenn die obersten Formationen weniger widerstandsfähig sind, und höher über der Unterfläche der Erdrinde, wo die Masse aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, je grösser die Tiefe der zähen Masse ist. Mit der Tiefe wird sie selbst ferner verschieden sein, da ja die Coefficienten der Dichtigkeit, Sprödigkeit und des äussersten Zusammenhangs von Tiefe und Druck abhängig sind.

Bei einer gegebenen Dicke der festen Erdrinde ist das Problem der Tiefe, in welcher die Schicht vulkanischer Thätigkeit zu suchen ist, jetzt noch nicht zu lösen, wenn gleich wir manche mehr oder weniger wahrscheinliche Hypothesen über die Zusammensetzung dieser Rinde machen können, aus denen auf wahrscheinliche Tiefen geschlossen werden mag; so z. B. wenn wir annehmen, dass in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche das Material homogen und unzertrümmert sei, und dass der Coefficient der Zähigkeit nach einem bestimmten Gesetze zunähme, von der flüssigen Unterfläche der Erdrinde an bis zu der oben angenommenen Tiefe. Bei diesen Betrachtungen — von denen Verfasser überzeugt ist, dass sie weit davon entfernt sind, eine mathematische Erforschung von exakter Form zu geben oder einen Gegenstand umfassend zu behandeln, der so verwickelte Verhältnisse enthält, wie sie in der Natur sich bieten — ist die Annahme gemacht worden: dass jedes Kugelschaalenelement von der ganzen Dicke der Rinde sich selbst trage, und dass der Werth von P durch die Abnahme der Schwere beim Niedersinken nicht wesentlich verändert werde, ohne den Versuch zu machen, die complicirten Bedingungen weiter zu verfolgen, die dann noch sich bieten, wenn die Zermalmung auf verschiedene denkbare Weise vor sich ging.

89. Das nächstliegende Ziel des Verfassers, zu beweisen, dass die zerlegten Kräfte der Schwere ausreichend sind, um die feste Erdrinde zu zermalmern, sei dieselbe dick oder dünn, wenn sie nur ununterstützt durch die zu-

sammenschrumpfende, erkaltende und daher sich contrahierende Kernmasse unter ihr gelassen wird, ist hiermit erreicht. Den Beweis hält er für erbracht.

90. Es mag hier gestattet sein, zur weitern Bekräftigung der Wahrheit des eben behaupteten auf eine sehr inhaltreiche Schrift des Prof. Giuseppe Belli zu Pavia zu verweisen, die den physikalischen Geologen Englands kaum oder gar nicht bekannt geworden zu sein scheint. Sie führt den Titel: *Pensieri sulla consistenza ecc. della crosta solida terrestre* und findet sich im 2. Bande der Verhandlungen des Institutes der Lombardei, Neue Serie 1850. In Anmerkung 1 zum Paragraph 6 der Schrift p. 13—14, der überschrieben ist: „Sulla resistenza della crosta terrestre alla compressione“ hat Prof. Belli eine lange und geschickte Erörterung ungefähr derselben Frage gegeben, die wir hier betrachtet haben und kommt dabei zu vollkommen bestätigenden Resultaten, wengleich er einen ganz andern Weg der Untersuchung einschlug.

Er nimmt aus gewissen Gründen an, dass die feste Erdrinde jedenfalls mehr als 30 italienische Meilen Dicke habe (69,000 Mts.), dass sie der eigenen Schwere folge, dass ihre Dichtigkeit von 2.5—3 (mit Wasser verglichen) schwanke, und dass dieselbe durch die Anziehung des Kernes sich erhöhe, dessen Dichtigkeit er auf circa 5—6 annimmt; er nimmt ferner an, dass dieser Kern, obschon er sich mit der Unterfläche der Rinde berührt, dem Niedersinken derselben nur einen sehr geringen Widerstand entgegen stellt, d. h. also er nimmt, wie auch hier von uns geschehen, an, dass der Kern durch Abkühlung von der Rinde über ihm abschrumpfe. Durch die Erdkugel denkt er sich eine Ebene durch den Aequator gelegt; er berechnet dann den Druck, mit welchem die Schwere die beiden ringförmigen Oberflächen der entgegenstehenden Halbkugeln auf einander presst und kommt zu dem Schlusse, dass dieser Druck gleich sei dem Drucke eines Thurmes oder eines Cylinders aus einem der Kruste an Dichtigkeit gleichen Materiale, stehend auf der ringförmigen Oberfläche von 30 Meilen Dicke, der 1716 geogr. Meilen Höhe hat d. h. der an Höhe fast gleich ist dem halben Erdradius,

Daraus schliesst er, dass kein bekanntes Material einen solchen Druck aushalten könne; wäre die Kruste von Gusseisen, so könnte sie nur ein $\frac{1}{180}$ der zermalmenden Kraft tragen, der sie das Gewicht ihrer ganzen Schichtenfolge aussetzt, wäre sie Porphyr $\frac{1}{350}$, wäre sie gehämmertes Eisen $\frac{1}{619}$, Granit: $\frac{1}{1077}$, Marmor (kryst. Kalkstein): $\frac{1}{2590}$. Daraus schliesst er, dass die feste Erdrinde sich nicht wie ein im Gleichgewichte befindliches Gewölbe trägt, sondern dass sie in der That fast ganz durch den flüssigen Kern getragen wird, auf dem sie schwimmt; dann versucht er zu zeigen, dass das Emporsteigen der Lava in den vulk. Ausbruchstellen eine Folge des partiellen oder ungleichen Einsinkens nicht zusammenhängender Fragmente der Schaale in den flüssigen Kern hinein sei. (9) Es muss bedauert werden, dass Belli, nachdem er einen so guten Anfang gemacht hatte, sich durch die Annahme einer sehr dünnen Kruste und eines flüssigen Kernes auf eine ganz falsche Fährte leiten liess und so einen Mechanismus der vulk. Thätigkeit wieder als richtig annahm, der schon oft vor ihm aufgestellt wurde, den der Verfasser für vollkommen unhaltbar ansieht. Es erscheint erwünscht, gleichwohl zu zeigen, dass nach der Methode von Lagrange sich die Frage der Zermalmung der Kruste denn doch von demselben Gesichtspunkte aus behandeln lässt, wie Belli vor Augen hatte und dass man dabei auf ein wesentlich gleiches Resultat kommt.

Wir haben gezeigt, dass für eine Längeneinheit eines Stückes der Rinde:

$$T = \frac{1}{2}P \cdot R$$

daher für den ganzen aequatorialen Ring der Kruste

$$T_0 = 2\pi R \times \frac{R}{2} \times P$$

oder

$$T_0 = \pi \cdot R^2 \times P$$

und wenn P das Gewicht einer kubischen Einheit der Schaale und W das Gewicht der ganzen hemisphärischen Schaale, so ist:

$$W = 2\pi R^2 \times P$$

und daher

$$T_0 = \frac{W}{2}^*)$$

d. h. der gegenseitige Druck, den die beiden hemisphärischen Schaaln durch die Schwere aufeinander ausüben (bei der Annahme einer Rinde und eines Kernes) ist gleich dem halben Gewichte einer Hemisphäre.

91. Prof. Belli geht auf einige untergeordnete Discussionen über die Möglichkeit von Modifikationen in dem Widerstande gegen die Zermalmung ein, der in starren Materialien entstehen kann, wenn dieselben grossem Druck in allen Richtungen ausgesetzt sind und fragt, ob die Tendenz zu zermalmen grösser oder kleiner wird, wenn gleichzeitig zwei orthogonale Pressungen wirken. Diese subtilen Untersuchungen sind für unseren Zweck nicht nöthig, da wir zu dem Schlusse berechtigt sind, dass keine Modification in den Bedingungen der Einwirkung irgend eine starre, feste Masse fähig machen kann, unter einem Drucke cohärent zu bleiben, der einige Hundertmale grösser ist, als der, welcher zwischen zwei entgegenstehenden Oberflächen einen Würfel desselben Materiales zermalmen würde.

92. In unserem Falle ist der Würfel Pressungen auf zwei Flächen ausgesetzt und kann frei nach vier Richtungen nachgeben, die senkrecht stehen auf der Druckrichtung und sich je zwei einander gegenüber stehen; ein Würfel aber, wie der Würfel der Maasseinheit unserer Erdrinde, gleichzeitig Pressungen auf vier seiner Flächen ausgesetzt, kann nur nach Richtungen nachgeben, die untereinander parallel sind und rechtwinklig zu den Druckrichtungen stehen.

Direkte experimentelle Versuche über diesen Punkt sind, soweit der Verfasser weiss, noch nicht angestellt worden, aber gewisse Thatsachen, die den Technikern wohl bekannt sind, scheinen zu dem Schlusse zu veranlassen, dass starre Körper, wie z. B. Gusseisen, Schmiedeeisen, Stahl, oder Bronze, schwächer d. h. also mehr geneigt werden zu zerbrechen, wenn gleichzeitig orthogonale Pressungen oder Spannungen darauf ausgeübt werden.

*) Im Original steht durch Druckfehler anstatt T^0 : P. Der Uebers.

93. So ist z. B. das Metall des Inneren eines entladenen Geschützes an irgend einer Stelle gleichzeitig dem Drucke radial zur Seele und zwei orthogonalen Spannungen ausgesetzt, einer longitudinalen und einer circumferentialen und es ist bekannt, dass die Widerstandsfähigkeit der Masse daher für die Einheit des Schnittes geringer ist als bei demselben Materiale, welches dem Druck und der Spannung nur in einer Richtung ausgesetzt ist.

94. Noch eine andere Frage wirft sich auf. Wenn die Erdrinde von bedeutender Dicke ist (wie sie es höchst wahrscheinlich sein wird) und wenn wir bedenken, dass eine Kubikeinheit derselben in grosser Tiefe nothwendig Pressungen auf allen Seiten ausgesetzt ist, wie ist da der Würfel im Stande eine solche Umformung zu erleiden, wie es für die Zermalmung überhaupt Bedingung ist?

Die Pressungen auf zwei Paare entgegensehender und vertikaler Flächen sind gleich und entgegengesetzt zu T und T . Die untere Fläche des Würfels mag mehr oder weniger frei sinken können, wenn das Material, welches noch tiefer liegt, sei es fest, plastisch oder flüssig, noch mehr zusammengedrückt wird; aber die obere Fläche des Würfels vermag in die Höhe zu steigen, indem nur die Säule des aufliegenden Materiales zusammengespreßt und gehoben wird und da wir gezeigt haben, dass der Werth von T und T , immer sehr viel grösser sein muss als der vertikale Druck P , so folgt daraus, dass wenn P an verschiedenen Stellen der Erdrinde verschieden ist, eine Zermalmung durch Umformung in vertikaler Richtung eintreten wird und zwar sehr willig.

95. Wäre die Erdrinde vollkommen homogen und gleichgeartet in Bezug auf ihr Material, so müsste eine Zermalmung stets eintreten, sobald der Druck die Grenze der Cohäsion erreicht haben würde. Wir müssen aber, so scheint es dem Verfasser, annehmen, dass die feste Erdrinde, wie dick auch immer sie sei, in jeder Tiefe heterogen, unzusammenhängend und mehr oder weniger zerissen sei, bis zu der Tiefe, wo die plastischen oder zähen Schichten beginnen, welche den Uebergang zum Kerne

bilden, ob dieser nun flüssig oder nur heiss und durch die Hitze erweicht sein mag.

Denn das Zerreißen und das Lockerwerden der festen Kruste, welches begann, als dieselbe noch sehr dünn war und welches an Ausdehnung und Intensität zunahm, wie sie dicker wurde und bei einer gewissen Dicke (als das Wärme Gleichgewicht des ganzen Systemes ungefähr sein jetziges Verhalten erreicht hatte) abzunehmen anfang, musste immer mehr nach der Tiefe zu fortschreiten, je mehr die feste Rinde durch Zuwachs von erstarrtem Material an ihrer Unterseite zunahm.

Und wenn wir nun die höchst wahrscheinliche Ansicht gelten lassen, dass die feste Erdrinde gegenwärtig in allen ihren Theilen mehr oder weniger heterogen ist, wenn auch nicht der Natur ihrer Materialien nach, so doch wenigstens nach der physikalischen und molekularen Beschaffenheit derselben an verschiedenen Punkten, so steht der Annahme keine Schwierigkeit entgegen, dass ein gewisses Maass von Zermahlung und Zerreißung in ihr vorgeht und dass solche Zermahlung und Zerreißung lokal und unregelmässig sein muss.

96. Wir haben so den Beweis geliefert, dass eine lokale Zermahlung des Gesteinsmaterials unserer Erdkruste geschehen muss, und es wird nicht gezeugnet werden können, dass Wärme durch den Umsatz der bei der Zermahlung geleisteten Arbeit entstehen muss.

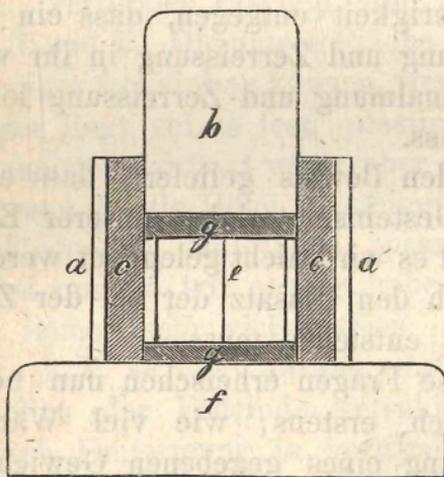
97. Aber zwei grosse Fragen erheischen nun noch ihre Beantwortung, nämlich erstens: wie viel Wärme wird durch die Zermahlung eines gegebenen Gewichtes oder Volumens eines Gesteines erzeugt und zweitens: ist die totale Menge zermahlter Gesteine und der Wärme die diesen entspricht, die wir nach zulässigen Daten innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z. B. eines oder 1000 Jahre) schätzen können, hoch genug um für die vulk. Erscheinungen auszureichen, deren Zeugen wir auf der Erdoberfläche sind oder die wir mit Nothwendigkeit als vorhanden erachten können. Beide Antworten müssen auf experimenteller Basis versucht werden.

98. Die mechanische Arbeit, die zur Umgestaltung und zur Zertrümmerung eines festen Körpers geleistet wird, muss ganz entweder als Wärme oder als äussere Arbeit irgend einer Art wiedererscheinen.

Bei sehr unelastischen und leicht zerstörbaren Körpern, wie z. B. Blei, hat Herr Hirn in seiner: *Théorie mécanique de la Chaleur* 2. ed. P. I. p. 58 gezeigt, dass die entstehende Wärme nahezu genau das Aequivalent der zur Zerstörung verwendeten Arbeit ist. Gleichwohl sind, soweit dem Verfasser bekannt, ausser den hier zu beschreibenden, keinerlei experimentelle Versuche an starren Körpern, wie z. B. Gesteinen u. a. gemacht worden, um den Nachweis zu liefern, ob das in gleicher Weise von diesen gelten kann, wenngleich a priori an der Richtigkeit der Thatsache kaum gezweifelt werden kann.

99. Einige wenige vorläufige Experimente wurden angestellt, um sich von dieser Thatsache zu überzeugen.

Fig. 8.



Ein kurzer Eisenzylinder a a Fig. 8 wurde mit hartem Holze c c innerlich bekleidet, ein eiserner Kolben b dem innern Raume angepasst, der genau so gross genommen wurde, dass ein Würfel von 1 Zoll Kantenlänge darin Platz hatte, ohne an die Wände

zu rühren. Der Cylinder wurde auf eine Eisenplatte f gestellt; auf dem Boden desselben befand sich eine runde Scheibe mässig dicken Papiers, wie es zu Schusspfropfen dient, darauf wurde der zu zerquetschende Würfel gestellt, auf die Oberfläche des Würfels eine zweite Scheibe solchen Papiers und dann wurde der Kolben b eingeführt, so dass er fest auf seiner Unterlage aufruhte. Ein bekanntes Gewicht (25 Pfd.) wurde von einer bekannten und constanten Höhe auf den Kolben niedergelassen, so dass der Würfel zu Pulver zermalmte wurde. Die nöthige Höhe wurde durch

Versuche ermittelt, so dass nur sehr wenig Arbeit mehr aufgewendet wurde, als gerade nothwendig war, um den Würfel zu zermalmern.

Das Material, mit welchem operirt wurde, war Statuenmarmor von dem spec. Gewichte: 2.710 und der spec. Wärme: 0.205. Der Apparat gestattete, wie leicht einzusehen ist, das schnelle Ausschütten des Pulvers des zermalmten Marmorwürfels in eine kleine, gemessene Menge Wassers von bestimmter Temperatur. Aus der Temperaturzunahme desselben wurde die bei der Zermahlung hervorgerufene Wärme abgeleitet. Das bekleidende Holz im Cylinder und die Papierlage auf und unter dem Würfel verhinderten einen merklichen Verlust an Wärme durch Leitung.

Acht gute Versuche wurden mit diesem kleinen Apparate erlangt. Ihre Resultate hier mitzuthellen ist unnöthig, als sie keine grosse Genauigkeit beanspruchen, einmal, weil jedesmal die Papierlage mit dem zermalmten Gesteine in das Wasser geworfen wurde und auch ein kleiner Verlust an Wärme durch Leitung in den Cylinder nicht verhindert werden konnte, dann aber auch, weil der ganze Apparat einen zu kleinen Maassstab besass. Dennoch zeigten die Versuche, dass als Mittel aus allen acht die erzeugte Wärme äquivalent war der geleisteten Arbeit bis auf ungefähr $\frac{1}{42}$ des Ganzen.

100. Ehe diese einleitenden Experimente angestellt wurden, zog der Verfasser seinen Freund, den verstorbenen Professor Rankine, zu Rathe und fand, dass die Ansichten dieser competenten Autorität mit den seinigen übereinstimmten: dass nämlich bei der Zermahlung starren Materiales, wie es Gesteine sind, fast die ganze mechanische Arbeit als Wärme wiedererscheint; nur ein sehr kleiner Rest äusserer Arbeit wird dazu verwendet Tonschwingungen (oder analoge Schwingungen, wenn sie auch nicht das Ohr berühren) im Apparate selbst oder in der umgebenden Luft hervorzubringen. Es beginnt auch in den sehr starren Körpern die Zermahlung mit Compression und Umformung, wenn dieselbe auch nur gering ist, dann platzt die Masse und die zertrümmerten unregelmässigen Prismen und Keile

zermalmen alsbald plötzlich und gänzlich zu Pulver. Wir hören das Platzen und Arbeit ist also auf den kleinen Anstoss verwendet worden, der den Ton erzeugt; aber ihre Menge im Vergleiche mit der ganzen Summe der Arbeit, die in der Zermahlung einer harten Gesteinsmasse zu Pulver geleistet wird, ist fast unmessbar klein.

101. Wir dürfen daher wohl annehmen, dass die ganze Arbeit, die bei der Zermahlung solcher Körper, wie die Gesteine geleistet wird, als Wärme wiedererscheint, wobei allerdings Fehlerquellen im Experimente selbst unvermeidlich sind, d. h. dass bei einem Würfel des Gesteines, welches durch ein Gewicht W (in Pfunden), welches von einer Höhe h (in Fussen) niederfällt, zu Pulver zermahlt wird:

$$\frac{W \cdot h}{J} = H,$$

wobei H die Zahl der Wärmeeinheiten, J das Joule'sche Aequivalent bezeichnet.

Wenn also Volumen und Gewicht des zermalnten Würfels gegeben sind, so können wir die zu der Zermahlung einer Gewichtseinheit (1 Pfd.) und Volumeneinheit (1 Cub. Fuss) jedes Gesteines, mit dem der Versuch gemacht wird, nöthige Arbeit daraus herleiten.

102. Wenn also, dann ist

$$1) \frac{Wh}{J} = H = \text{den Wärmeeinheiten, die durch die}$$

Zermahlung von 1 Kubikfuss Gestein erzeugt werden, (das drückt uns aber, wenn wir die specifische Wärme des Wassers als constant annehmen, mit Rücksicht auf die Temperatur, die Zahl der Grade Fahr. in einem Pfund Wasser oder die Zahl der Pfunde Wasser aus, die um 1 Grad Fahr. durch die Zermahlung in ihrer Temperatur erhöht würden), das Gewicht von 1 Kubikfuss Wasser von höchster Dichtigkeit = 62.425 Pfund und das des Eises = 57.8 Pfund.

$$2) \frac{H}{62.425} = T = \text{der Temperatur, auf welche 1 Ku-}$$

bikfuss Wasser durch H gebracht wird, und wenn wir die Wärme zum Schmelzen des Eises auf 143° Fahr. annehmen

3) $\frac{H}{57.8 \times 143} =$ der Anzahl von Kubikfussen Eis von 32° zu Wasser von 32° durch H geschmolzen.

Ferner, wenn die Temperatur des Dampfes von 1 Atmosphäre = $1146^\circ = 946^\circ + 180^\circ$:

4) $\frac{H}{62.425 \times 1146} =$ der Anzahl von Kubikfussen Wasser von 32° in Dampf von 212° verwandelt und

5) $\frac{H}{62.425 \times 180} =$ der Anzahl von Kubikfussen Wasser von 32° bis zum Siedepunkt gebracht.

Wenn w = dem Gewicht in Pfd. per Kubikfuss und S die spezifische Wärme ist:

6) $\frac{H}{ws} = t =$ der Temperatur oder der Anzahl Grade, um welche 1 Kubikfuss solcher Gesteine durch H erhöht wird, so dass, wenn f die Temperatur des Schmelzpunktes irgend eines Gesteines ist,

7) $\frac{H}{fws} = \frac{t}{f} =$ der Anzahl von Kubikfussen Gestein, die durch H von 0° bis zum Schmelzen gebracht werden können.

Hierbei angenommen, dass die spezifische Wärme des Gesteines mit Bezug auf die Temperatur constant ist und seine Schmelzwärme als klein und unbekannt vernachlässigt werden darf.

103. Eine grosse Zahl von Versuchen sind schon durch Ingenieure und Architekten angestellt worden, um die Widerstandsfähigkeit verschiedener Bausteine gegen zermalmenden Druck zu prüfen. Einige dieser experimentellen Versuche, so z. B. die von Gauthey und Rondelet sind von grosser Genauigkeit, unglücklicherweise aber sind sie alle für unsern Zweck nicht zu verwenden. 1) Weil diese Experimente für bauliche Zwecke angestellt und daher der verzeichnete zermalmende Druck meistens der ist, bei dem die Gesteinsarten zu platzen und nachzugeben anfangen; 2) weil die Höhe nie genau verzeichnet ist, durch welche die den zermalmenden Druck ausübende Oberfläche zwischen ihrer anfänglichen Erhebung und der Stellung

derselben, nachdem die Gesteinsmasse zu Pulver verwandelt worden, hinabging, so dass wir einen unsichern und immer zu kleinen Werth für W und gar keinen Werth für h erhalten; 3) sind die verzeichneten Experimente immer an sehr kleinen Stücken (Würfel von 1 Centim. oder 1 Zoll Kantenlänge) angestellt und an Gesteinen, deren lithologische Charaktere nur sehr ungenau mitgetheilt werden.

104. Daher wurde es nöthig, eine neue und unabhängige Reihe von Experimenten anzustellen und zwar in einem so grossen Maassstabe, als immerhin ein noch leistungsfähiger Apparat es gestattete.

Wenn diese Gesteine durch den Steinhauer oder Steinschneider zu exakten Würfeln geformt sind, oder doch zu Parallelepipeden, die dem Würfel möglichst nahe kommen, so ist es klar, dass der Versuch, das Werk der Zermalmung auszuführen auf zweierlei Art zu machen ist: entweder, wie bei den vorläufigen Versuchen des Verfassers durch den freien Fall eines Gewichtes, welches gerade ausreicht, die Zermalmung herbeizuführen oder aber durch beständige Vermehrung einer Last, bis die Zermalmung erfolgt. Die letztere Art ist sehr viel vortheilhafter, nicht nur weil dadurch einige Fehlerquellen vermieden werden, die möglich sind bei der Zermalmung durch plötzlichen Stoss (impact), sondern noch besonders wegen der Bequemlichkeit, den Druck bis zum Zermalmen jedesmal zu steigern, wenn mit einer grossen Zahl verschiedener Gesteine gearbeitet wird.

105. Durch die grosse Freundlichkeit und den wissenschaftlichen Eifer des Herrn Ingenieur John Ramsbottom und mit der Erlaubniss der Direktion der London and North-Western Railway, hat der Verfasser zu seinem Zwecke eine prächtige Maschine angewendet und dieselbe mit einem vollständigen Stabe von Leuten, die zu seiner Verfügung standen, aufgestellt. Dieselbe war nach den Zeichnungen des Herrn Ramsbottom für die Locomotiv-Werkstätten zu Crewe construirt. Aber auch dem Herrn Moorsen von diesen Werken sei hier für die wirksame Hülfe Dank gesagt, die er auf jede Art geleistet hat.

106. Die Probirmaschine, die zu Crewe zur Verwendung kam, besteht aus einem breiten schmiedeeisernen

balancirten Hebel, der so construirt ist, dass er zum Druck, zu Spannung und Windung dienen kann. Das Gewicht wird durch Einströmen von Wasser in ein eisernes cylindrisches Gefäss hervorgebracht, welches an dem längeren Hebelarme hängt. Das Gewicht dieses Gefässes bei bekannter Temperatur wird durch einen Index in jedem Augenblick aufgezeichnet. Diese einfache Form einer Probiemaschine hat grosse Vorzüge in Bezug auf Genauigkeit und Sicherheit, da bei ihr das Gewicht wirklich auf das Objekt einwirkt, während bei den complicirten andern Maschinen dieser Art das Gewicht und seine Verzeichnung durch eine ganze Reihe zusammenhängender Hebelvorrichtungen übertragen wird.

Bevor man den Unterstützungspunkt verschiebt, kann der Hebel in seiner Wirkung nach Belieben vom Verhältniss 10 : 1 bis 12 : 1 geändert werden und sein eigenes Gewicht kann so balancirt werden, dass es, wenn dies erwünscht, keinen Theil an dem Gewichte nimmt, welches auf das Probestück einwirkt. Die Stärke der Theile ist ausreichend, um einen Zermalmungsdruck von 80—90 Tonnen mit Sicherheit auszuüben. Für die zu zermalmenden Gesteinswürfel wurde die äusserste Grösse gewählt, welche jene Grenze mit Sicherheit zu gestatten schien. Ein gusseisernen Rahmen oder eine Art von Gerüst war bestimmt, jeden Würfel, der dem Drucke ausgesetzt werden sollte, aufzunehmen. Der Druck selbst wurde durch einen cylindrischen Stahlkolben ausgeübt, der sich frei in einem tiefen cylindrischen Rohre im oberen Raume bewegen konnte. Der Boden des Gerüsts bestand aus einer flachen Stahlplatte, auf die der Gesteinswürfel gestellt wurde, wo dann der untere Theil oder die gegenüberstehende Fläche des Kolbens gerade auf dem Scheitel des Würfels ruhte.

So wurde der Druck ganz genau auf die vertikale Richtung beschränkt, wie auch die einen kleinen Bogen beschreibende Bewegung des Tragbalkens des Hebels auf das obere Ende des Kolbens sein mochte. Eine kleine hydraulische Presse zwischen den Unterstützungspunkt des Hebels und das erwähnte Gerüst angebracht, ermöglichte es, jederzeit den Hebel und das Gewicht, wenn solches nöthig war,

von dem Kopfe des Kolbens zu entfernen und ermöglichte es auch den Würfel, der zermalm't werden sollte, genau zwischen die Flächen des Gerü'stes zu stellen, ohne dass ein Stoss oder ein Druck auf ihn ausgeübt wurde, das geringe Gewicht des Kolbens selbst ausgenommen. Dann aber, indem nunmehr das Wasser langsam aus dem Druckcylinder der hydraulischen Presse abgelassen wurde, legte sich der Tragbalken des Hebels leise und ohne Stoss auf den Kopf des Kolbens und das allmählich wachsende Gewicht folgte dann darauf nach. Der Zermalmungsrahmen ermöglichte jeden Augenblick sehr genaue Messungen der vertikalen Abstände zwischen Kolben und der Stahlplatte, auf der der Würfel stand, also der Abstände der Zermalmungsflächen. Diese Abstände wurden vom Beginn bis zum Schlusse eines jeden Experimentes mit grosser Genauigkeit gemessen. Es dienten dazu Distanzzirkel mit vervielfältigenden Armen (nach demselben Principe, wie Proportionalcompasse), welche die Angaben zehnfach erhöhten, und welche mit Messbogen und Nonius von Becker (jetzt Elliot Brothers) versehen waren. Die Angaben wurden mit gewöhnlichen Stangenzirkeln durch Ablesen von einer stählernen Diagonalscala controllirt. Diese Messungen gestatteten noch Ablesungen unter $\frac{1}{1000}$ Zoll.

107. Die folgende Auswahl von Gesteinen schien ziemlich gut in lithologischer Beziehung die ganze Serie in der bekannten Erdkruste darzustellen von den wenigst zu den am meisten starren und zusammenhaltenden Gesteinen.

Folgende Gesteine wurden zu den Versuchen verwendet:

1. Oolit von Caen i. d. Normandie.
2. Oolit: Portlandstone.
3. Dolomit, Magnesian limestone, Yorkskire.
4. Sandstein von Bradford, Yorkshire.
5. Sandstein von Ayre Hill, Yorksire (feinkörnig).
6. Sandstein von Bramley Fall (harter Mühlstein).
7. Kohlenkalkstein: Devon-Marmor.
8. Cambro-silurischer Schiefer von Conway N.-Wales.
9. Cambro-silurischer Schiefer von Banger N.-Wales.

10. Basalt (greenstone) Rowley-Rag, Staffordshire.
11. Rother Granit, Dartmoor Devonshire.
12. Grauer Granit, Guernsey.
13. Syenit, Mount Sorrel, Leicestershire.
14. Blauer Granit, Aberdeenshire.
15. Grauer Granit, Aberdeenshire.
16. Porphyry, Furnace-Quarry, Inverary, Scotland.

108. Von jeder dieser 16 Gesteinsarten wurden 6 Würfel jeder so nahe als möglich von 1,5 Zoll Kantenlänge präparirt. Jeder Satz von Würfeln wurde aus einem und demselben ausgewählten Gesteinsblocke im Rohen genommen und dann zu der scharfen Würfelform und der genauen Grösse durch die Herrn Field u. Comp. von Westminster geschliffen, durch deren Sorgfalt und unter Mitwirkung ihrer feinen Steinbearbeitungsmaschinen diese Ausführung in vortrefflicher Weise gelang.

Ein grösserer Würfel als von 1,5 Zoll Kantenlänge hätte nicht wohl angewendet werden dürfen, zumal bei den härteren Gesteinen, weil dadurch die Sicherheit der Probirmaschine gefährdet schien; aber der Verfasser glaubt dennoch, dass eine Serie von Zermalmungsexperimenten überhaupt bis heran noch nicht mit so grossen Würfeln angestellt worden ist.

109. Nicht alle Würfel konnten ganz genau in denselben Dimensionen hergestellt werden, aber alle wurden vor der Zermalmung durch die beschriebenen Instrumente gemessen und die Resultate auf ein gemeinsames Maass reducirt.

110. Die sorgsamste Mühe wurde aber gleichwohl darauf verwendet, zwei gegenüberstehende Flächen in jedem Würfel auf das genaueste parallel herzustellen, so dass dadurch ungleiches Tragen des Kolbens bei der Zermalmung vermieden wurde. Dieses Ziel wurde vollständig erreicht, indem man die ganze Unterfläche eines Würfels auf eine flache Metallplatte heftete und die Oberfläche mit einer andern Metallplatte abschliff, dann aber den Würfel umwendete und ihn wieder auf die nun geschliffene Grundfläche heftete und dann den Process wiederholte.

Die Experimente wurden auf den Crewe-Werken im August 1870 angestellt, ihnen allen wohnte Mr. Moorsom

bei. Drei gute Experimente wurden für jede Gesteinsbeschreibung erhalten, in einigen Fällen auch mehr.

111. Jedes Experiment würde in folgender Weise durchgeführt:

Der Probirhebel wurde mit der hydraulischen Presse gehoben, der Zermalmungskolben wurde mit einem kleinen Handhebel aus Holz von der Basis des Rahmens so weit aufgehoben, dass man den Würfel unterstellen konnte. Der Würfel wurde dann auf der Basalplatte centrirt, d. h. sein Flächencentrum genau unter die Axe des Kolbens gebracht.

Ein quadratisches Stück des dünnsten und sehr hart gepressten Briefpapiers wurde auf und unter die Flächen des Würfels gelegt; die Grösse des Papierquadrates war 0,20 Zoll kleiner als die Kantenlänge des Würfels, so dass ein freier Rand von 0,10 Zoll rund um jede Würfelfläche übrig blieb. Durch diese sehr dünne Haut eines mehr zusammendrückbaren Materiales sollte jede Abweichung vom vollkommenen Parallelismus der oberen und der unteren Fläche ausgeglichen und so eine vollkommene Gleichmässigkeit des Druckes erzielt werden, eine Methode, die durchaus als ganz erfolgreich sich erwies.

112. Wenn der Würfel in seiner Stellung sich befand, wurde der Kolben langsam und ohne Stoss auf ihn niedergelassen und in gleicher Weise wurde mit Hülfe der hydraulischen Presse der Hebelarm selbst so weit heruntergelassen, dass er auf dem Kopfe des Kolbens ruhte. Das Gewicht des unbelasteten Hebels konnte dann wie eine Last auf dem Kolben ruhen und hierdurch auch auf dem Würfel. Das gab einen anfänglichen Druck, der verschieden war, je nachdem die Gesteinsart härter oder weicher war und zwar betrug er einige 100 Pfd., gewöhnlich bis zu der Höhe von 500 Pfd. per Quadratzoll und hierdurch wurden alle Theile des Probirhebels und der zu zermalmenden Würfelflächen in vollkommenen Contact und Berührung gebracht.

113. Die Dimensionen des Würfels waren genau gemessen und notirt, ehe er in den Rahmen gestellt wurde, die Höhe des Würfels oder vielmehr der genaue Abstand zwischen den Zermalmungsflächen wurde dann genommen.

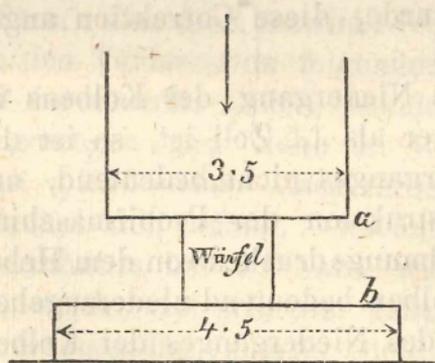
Bei der Dünne der Papierblätter auf und unter den Würfel-
flächen und durch deren Compression differirte dieser Ab-
stand von der wirklichen vertikalen Höhe des Würfels nur
um $\frac{1}{800}$ Zoll.

114. Nun wurde Wasser in einem kleinen Strahl in
den Belastungseimer einströmen gelassen; und jedesmal
wenn 1000 Pfd. Belastung erreicht waren, wurde der Zu-
fluss abgeschlossen und die Höhe der Compression des
Würfels durch Messungen zwischen den beiden Zermal-
mungsflächen nach der vorhergehenden Methode nochmals
festgestellt. So wurde die Belastung fortgesetzt, bis die
ersten Anzeichen eines Auseinanderweichens in dem Würfel
sich zeigten; es sprach sich das meist in mehr oder weniger
winzigen Sprüngen aus, die in nahezu vertikalen Ebenen
entstanden oder auch in dem Loslösen kleiner Fragmente
von Pulver an den Seiten des Würfels.

An diesem Zeitpunkte wurde mit weiterer Belastung
eingehalten und die Compression notirt. Die Belastung
wurde dann ganz allmählig wieder erhöht, bis der Würfel
endlich nachgab, der dann vor dem Zermalmungskolben
in vollständiges Pulver niederging, welches zusammenge-
packt als ein flacher Kuchen unter dem Kolben liegen
blieb und seinen weiteren Niedergang hemmte.

115. Der vertikale Abstand zwischen der Kolben-

Fig. 9.



fläche und der Basalplatte
Fig. 9 wurde dann genau
gemessen und das von dem
anfänglichen Abstände ab-
gezogen, gab den absoluten
Weg, den der Kolben beim
Niedergehen zurückgelegt
hatte.

116. Wenn das Ma-
terial des Würfels ganz
unter dem Kolben in Form
eines kurzen cylindrischen oder runden flachen Kuchens
von zusammengepacktem Pulver zurückgeblieben war, der
eine gleiche Dichte besass, wie der Würfel vor der Zer-
mahlung bei einem Durchmesser des Kolbens von 3,5 Zoll,

würde der Abstand a b Fig. 9 für einen exakten Würfel von 1,5 Zoll = 0,351 Zoll betragen, dieses von 1,5 Zoll abgezogen ergibt also dann den Weg, den der Kolben durchläuft.

117. Aber die Würfel waren nicht alle ganz gleich an Volumen und auch das erzeugte Pulver blieb nicht ganz vollständig als zusammengepackter Kuchen unter dem Kolben zurück, einiges wurde bis auf einige Entfernung fortgeschleudert. Hierdurch wurde es nothwendig, in jedem Falle durch Messung den wirklichen Niedergang zu erhalten.

In wenigen Fällen, bei den starresten und elastischen Gesteinen, splitterten gerade vor der endlichen Zermalmung eines oder mehrere verhältnissmässig grosse Fragmente vom Würfel ab und flogen zur Seite und entgingen daher der ferneren Einwirkung. Wo solche Fragmente vorkamen, wurden sie sorgfältig gesammelt und aufbewahrt und in diesen Fällen wurde das Resultat der Zermalmung einer Correktur unterworfen, die sich auf die Annahme stützte, dass die zur Zermalmung des wirklich zu Pulver reducirten Theiles des Würfels geleistete Arbeit zu der Arbeit, die nöthig gewesen wäre, den ganzen Würfel zu Pulver zu reducirn, sich verhalte, wie das Gewicht des zermalmten Theiles zu dem Gewichte des ganzen Würfels. So konnte also, indem das Gewicht der grösseren nicht zermalmten Fragmente nach und nach festgestellt wurde, diese Correktion angewendet werden.

118. Da der gesammte Niedergang des Kolbens in allen Fällen klein und weniger als 1,5 Zoll ist, so ist die Beschleunigung seines Niederganges nicht bedeutend, um so mehr als durch die Construction der Probirmaschine ein gewisser Theil des Zermalmungsdruckes von dem Hebel abgelöst wurde, sobald der Kolben bedeutend niedergehen anfang, so dass für den Rest des Niederganges der Kolben vorzüglich durch das Gewicht des belasteten Hebelarmes über ihm herabgedrückt wurde. Ferner aber war der Widerstand gegen den Kolben durchaus nicht constant während seines Niederganges, denn jeder Würfel zerborst zuerst in unregelmässige Prismen und keilförmige dicht neben

einander liegende Stücke, die dann später schnell zu Pulver zermalm wurden.

So wurde die ganze Serie durchgemacht, indem Abweichungen nur in der sorgsam Balancirung des Hebelgewichtes selbst stattfanden, wenn solche leicht zerreiblichen Gesteine geprüft wurden, wie z. B. die Oolithe.

119. Der Enddruck im Momente der Zermahlung gibt den Werth W , der Niedergang des Kolbens, corrigirt wie angegeben, gibt uns h in der vorher angeführten Gleichung.

120. In allen härteren Gesteinen konnte die durch die Zermahlung erzeugte Wärme leicht mit der Hand gefühlt werden, ungeachtet der innigen Berührung mit den breiten Metallmassen des Kolbens und der basischen Platte. Bei einigen Graniten und Porphyren war sie so gross, dass Kolben und Unterlage dadurch so erwärmt wurden, dass eine Pause nöthig wurde, um sie wieder auf die frühere Temperatur abkühlen zu lassen, die sie bei allen Experimenten zeigten: nämlich ca. 57° Fahr. Wäre es möglich gewesen, das Tageslicht abzuschliessen, so würde ohne Zweifel in Verbindung mit jeder Zermahlung eine Feuererscheinung sich haben wahrnehmen lassen.

121. Die Resultate, direkte unmittelbare, und solche die aus dieser mühevollen Reihe von Versuchen hergeleitet wurden, sind in der am Schlusse befindlichen Tabelle No. 1 enthalten. Das spec. Gewicht (Spalte 3 der Tabelle) wurde durch den Verfasser in folgender Weise bestimmt. Einer der Reservewürfel jeden Gesteines wurde zuerst in der Luft gewogen und dann in Wasser, welches in einem dünnen cylindrischen Glasgefässe mit einem kreisförmigen Glasdeckel sich befand. Gewicht des Gefässes und seines Wasserinhaltes bei 60° Fahr. waren bekannt. Diese Methode, welche viel schneller geht, als die gewöhnlich vorgeschriebenen, lässt sich für alle spec. Gewichtsbestimmungen von festen Körpern empfehlen, die schwerer sind als Wasser.

122. Die spec. Wärme der Gesteine (Spalte 27) wurde ebenfalls an den Würfeln bestimmt nach der gewöhnlichen Mengungsmethode. Die Würfel wurden in siedendem Wasser erhitzt und dann in destillirtes Wasser von Tem-

peraturen zwischen 50 zu 54° Fahr. gebracht, indem die nöthigen Correkturen für das Glasgefäß, welches die Flüssigkeit enthält, für die Thermometer etc. hinzugefügt wurden. Für Gesteine sind noch so wenig spec. Wärmebestimmungen ausgeführt worden, dass die gefundenen Werthe wohl einiges Interesse haben dürften.

123. In Spalte 8 und 10 sind die mittleren Gewichte per □ Zoll gegeben, bei denen die ersten Zeichen des Auseinanderweichens und die endliche Zermalmung zu Pulver stattfand. Die Differenzen ergeben sich daraus von selbst. Dieselben sind für verschiedene Klassen von Gesteinen sehr abweichend. Wenn wir gleichwohl ein Mittel des Druckes annehmen, bei dem das erste Auseinanderweichen erfolgte und ein Mittel der Differenzen zwischen diesem und dem jedesmaligen Drucke bei vollkommener Zermalmung, so werden wir finden, dass zu dem Drucke bei dem ersten Auseinanderweichen noch $\frac{1}{3,778}$ oder fast $\frac{1}{4}$ hinzugefügt, uns den Druck für die endliche Zermalmung gibt; dieses Resultat ist für Ingenieure und Architekten von einigem Interesse und setzt uns in den Stand, einigermassen unsere Resultate mit den ausgedehnten und sehr genauen Reihen von Experimenten zu vergleichen, die wie der Verfasser glaubt, früher über die Widerstandsfähigkeit der Gesteine schon angestellt worden sind.

124. Er bezieht sich auf die Versuche von George Wilkinson (Architekt), die dieser in seinem Werke „On the practical geology and ancient architecture of Ireland (Murray 1845) mittheilt und die von diesem Herrn fast auf die ganze Reihe der Irländischen Gesteine von oben bis unten ausgedehnt worden sind. Der Verfasser kennt die Zuverlässigkeit dieser Versuche, da er selbst den Hebelapparat angegeben und construirt hat, durch den sie ausgeführt worden sind, dazu sind die Experimente in der Maschinenfabrik der früheren Firma des Verfassers durch Herrn Wilkinson angestellt worden. Da es diesem nur auf Resultate von baulichem Interesse ankam, so sind die aufgezeichneten Werthe für den Zermalmungsdruck selten die, bei welchen der Probewürfel, (die in jedem Falle 1 Kubikzoll Grösse hatten), zu Pulver zermalmte wurde, viel-

mehr die, bei denen er auseinander wich. Daher sind alle Resultate, mit Rücksicht auf unsere Auffassung zu niedrig. Wenn gleichwohl wir zu dem Mittelwerthe jeder Klasse $\frac{1}{4}$ hinzufügen, so erhalten wir dann Resultate, die sich schon nahe mit den unsrigen vergleichen lassen.

Die folgende Tabelle gibt Wilkinson's höchste, niedrigste und Durchschnittswerthe, mit der Zahl der verschiedenen Gesteinsstücke und der Gesamtzahl der Experimente aus der jede Durchschnittszahl abgeleitet ist. Dieses summarische Verzeichniss ist erst von dem Verfasser zusammengestellt und findet sich nicht in Wilkinson's Werk.

Gesteinsart.	Zermalmungsge- wicht in Pfd. per □ Zoll.			Zahl der Stücke.	Zahl der Ver- suche.
	Max.	Min.	Mittel.		
Kalksteine	27510	1344	15053	125	210
Sandsteine	26670	1239	8183	31	82
Sandsteine quer zur Schichtung	18790	1680	8864	33	42
Sandsteine parallel zur Schicht.	20650	2940	9824	29	36
Schiefer quer zur Schichtung	27370	5040	13930	9	13
Schiefer parallel zur Schichtung	21770	6160	11285	11	18
Granite	13440	2310	6657	8	20
Basalte u. a.	48020	7140	19025	12	25

Die Granite von Irland sind im allgemeinen sehr leicht zerreiblich.

125. Von Interesse mag es auch sein, die folgenden vulkanischen Gesteine auf Prudhomme's Autorität hin (Cours pratique de Construction) noch hinzuzufügen:

Alte Lava (Volvic) in der Auvergne 28,446 Pfd. auf □ Zoll.
 Vesuvische Lava — ohne Datum . 8,392 „
 Granitporphyr (Bazoche) . . . 21,072 „

126. Gussstahl in kleineren Blöcken hält nach Fairbairn einen Druck von 120,000 Pfd. oder über 120 Tonnen auf den Quadratzoll aus, ohne zu zermalmen, d. i. also einen vier bis fünfmal so hohen Druck, wie der, bei dem die härtesten Gesteine zermalmen.

127. In Spalte 24 unserer Tabelle ist die mittlere totale Arbeit in Fusspfunden angegeben, die auf die Zermalmung

jeder Art von Gesteinen verwendet worden ist, und in Spalte 25 die Fusspfunde-Arbeit, die zur Zermalmung eines Pfundes und eines Kubikfusses von jeder Gesteinsorte angewendet wurden.

In Spalte 26 ist dann dieses durch die Formel $\frac{Wh}{J}$ auf Wärmeeinheiten reducirt für das Pfund und den Cubikfuss Gestein; indem diese Zahl durch die spec. Wärme in Spalte 27 und durch die Gewichte per Kubikfuss in Spalte 4 dividirt wird, finden wir die Temperatur im gleichen Gesteinsvolumen; in Spalte 29 finden wir die Anzahl Kubikfuss Wasser von 32° Fahr., welches in Dampf von 1 Atmosphäre oder 212° Fahr. verwandelt werden kann und zuletzt finden wir in Spalte 30 die Zahl der Kubikfuss Eis von 32°, welche zu Wasser von 32° geschmolzen werden, in beiden Fällen durch die Wärme, welche bei der Zermalmung eines Kubikfusses von jedem der 16 typischen Gesteine erzeugt wird.

128. Diese Coefficienten der Wärme und der Zermalmungsarbeit für jede Gesteinsklasse können in verschiedener Weise zusammen gruppirt werden, so dass wir mittlere Coefficienten für Gesteinsgruppen oder Formationen erhalten, wie sie nach der Tiefe zu einander folgen.

Wir wollen versuchen einen solchen mittleren Coefficienten für die ganze Tiefe der festen Erdrinde bis zu 100 Meilen Dicke zu erhalten.

129. Die folgende Tabelle der wahrscheinlichen Durchschnittstiefen der bekannten Formationen unserer Erdkruste wurde durch Prof. S. Haughton (Geol. Manual p. 91) aufgestellt.

		Geogr. Meilen.
Neozoische Formation:	Vom Tertiär bis zur Trias.	4,512
Neuere Paläozoische Form.:	Vom Perm bis zum Devon.	4,458

Aeltere Paläozoische Form.:	{ Oberes und Unteres Silur. }	5,082
Azoische Formation:	{ Quarzite, Dachschiefer, Urkalkstein. }	4,333
		<hr/> Summa = 18,385

oder jedenfalls mehr als 20 Britische Meilen.

130. Angenommen, dass die ersten 100 Meilen Tiefe der festen Erdkruste also aus 20 Meilen dieser Gesteine (die alle von fast gleicher verhältnissmässiger Tiefe sind) und aus 80 Meilen krystallinischer Gesteine darunter bestehen und aus unbekanntem sauren oder basischen Magmen, krystallinisch oder nicht, aber von einer analogen Beschaffenheit wie unsere härtesten krystallinischen Gesteine.

Wir können die Gesteine unserer Tabelle I z. Th. in die neueren Formationen gruppieren: No. 1—9, oder die oolithischen bis zu den devonischen Schiefern, und z. Th. in die älteren: von No. 9—16 oder die metamorphischen bis zu den Graniten etc.

Der mittlere Coefficient der erstern ist 2449° , der der andern 5650° , dieser letztere mag auch für alle tieferen azoischen Gesteine gelten. Wir haben dann 20 Meilen Tiefe mit 2449° und 80 Meilen Tiefe mit 5650° als Coefficient, das gibt einen mittleren Coefficienten für die ganze Tiefe von 5010° .

131. Das ist gleichwohl gewiss zu niedrig. Denn die devonischen Kalksteine und die Schiefer von Nord-Wales (No. 7, 8 und 9 haben fast ganz so hohe Coefficienten, wie einige Granite und wie der Quarzit von Holyhead, wie aus meinen Zermalmungsexperimenten (Philos. Trans. 1862) sich folgern lässt) haben einen Coefficienten, der 5316° übersteigt, also gleich ist dem des Granites (siehe Anhang) und sie setzen mehr als die 5 tiefsten Meilen unserer 20 Meilen bekannter Gesteine zusammen. Auch wird ohne Zweifel eine bedeutende Zunahme durch die metamorphischen Gesteine von Rowley - Rag No. 10 gefunden werden, die dem untersten Theile der bekannten Serie angehören. Daher werden wir dem Richtigen näher kommen, wenn wir

alle Gesteine in unserer Tabelle I zusammengruppiren, ausgenommen No. 10, 12 und 16, welche die höchsten Coefficienten haben und nehmen das Mittel von diesen als mittleren Coefficienten für die bekannten oder geschichteten Gesteine, dagegen das Mittel aus 10, 12 und 16 als mittleren Coefficienten für alle krystallinischen oder tiefer liegenden Gesteine.

Das Mittel aus allen ohne 10, 12 und 16 ist dann = 4110° und das Mittel aus 10, 12 und 16 = 7060° oder für die ganze Tiefe 20 Meilen mit 4110°

$$80 \quad " \quad " \quad 7060^{\circ},$$

welches als Mittel ergibt = 6472° für den Kubikfuss Gestein.

132. Eine mittlere spezifische Wärme auf dieselbe Weise aus den Zahlen in Spalte 27 erhalten, gibt $0,199$ als Durchschnitt für die ganzen 100 Meilen Tiefe der Erdrinde, und aus der Spalte 3 des spezifischen Gewichts leiten wir als Mittel für alle angewendeten Gesteine $2,627$ ab. Wenn wir das als Mittel für 20 Meilen Tiefe annehmen und $2,900$ als das spezifische Gewicht der dichteren Gesteine, die die folgenden 80 Meilen zusammensetzen, so erhalten wir als Mittel für das spezifische Gewicht der ganzen 100 Meilen der Erdkruste = $2,842$.

133. Daraus gewinnen wir nun die folgenden Zahlenwerthe:

1) $H = 6472$ Britische Einheiten per Kubikfuss zermalnten mittleren Gesteines.

2) $\frac{6472}{62.425} = 103^{\circ}$ Fahr. = die Temperatur zu der 1 Kubikfuss Wasser von 0 Grad durch H erhitzt wird.

3) $\frac{6472}{57.8 \times 143} = 0,783 =$ Kubikfuss Eis von 32° geschmolzen zu Wasser von 32° .

4) $\frac{6472}{62.425 \times 1146} = 0,0904$ Kubikfuss Wasser von 32° in Dampf, von 212° verwandelt, oder wenn das Wasser schon 212° Temperatur hatte:

$\frac{6472}{62.425 \times 966} = 0,107$ Kubikfuss verdampft in Dampf von 1 Atmosphäre.

5) $\frac{6472}{177 \times 0,199} = 183^{074}$, um welche ein Kubikfuss mittleren Gesteines durch H erhöht wird. Wenn wir 2000° Fahr. als Schmelztemperatur solcher Gesteine annehmen:

6) $\frac{6472}{2000 \times 177 \times 0,199} = 0,0918$ die Zahl der Kubikfuss mittlern Gesteines von 0 Grad durch H geschmolzen. Und wenn das Gestein eine Temperatur von 300° Fahr. hatte,

$\frac{6472}{1700 \times 177 + 0,199} = 0,108$ Kubikfuss Gestein geschmolzen und wenn das Gestein von 300° nur bis zu 1000° Fahr. oder zu einer Rothgluth (dem Schmelzpunkte des Silbers) erhitzt wird:

$\frac{6472}{700 \times 177 \times 0,199} = 0,262$ Kubikfuss Gestein so durch H in der Temperatur erhöht.

134. Aus 3 folgt, das die Wärme zum Schmelzen von 1 Kub. Meile Eis von 32 Grad gleich ist der Zermahlungsarbeit von 1.277 Kub. - Meile mittleren Gesteins, diese in Wärme umgesetzt.

135. Wir haben nun die zweite Reihe von Experimenten zu beschreiben, die die Bestimmung der totalen Contraction von Mineralmassen zum Ziele hatten, die analog sind denjenigen, aus denen wir die feste Erdrinde und vielleicht den grössten Theil der Erdkugel uns bestehend denken können: die Contraction durch Erkaltung von der Temperatur des Schmelzflusses oder einer noch höheren bis zu der mittleren Temperatur unserer Atmosphäre hinab. Die Experimente und Beobachtungen, die bis heran über diesen Gegenstand gemacht worden sind, waren vollständig ungenügend und enthielten solche Fehlerquellen, dass sie als durchaus unzuverlässig gelten müssen. Bischoff's Experimente über die totale Contraction von geschmolzenem Basalt, Trachyt, Granit (zuerst mitgetheilt in Leonh. N. Jahrb. 1841 S. 565 und 1843 S. 1—54 an letzter Stelle Bischoff's eigene Versuche) sind lediglich auf seine Au-

torität hin angenommen worden und wurden von andern Autoren in ihren Büchern immer wieder aufgeführt, sicherlich ohne die Details und die Methoden der Versuche in der Originalarbeit zu Rathe zu ziehen. So sagt Prof. W. Thomson (Thomson und Tate Nat. Phil. p. 725), „Bischoff's Experimente, auf deren Gültigkeit, so weit ich weiss, nie ein Zweifel geworfen wurde, zeigen, dass geschmolzene Granite, Schiefer und Trachyte alle sich um etwa 20% durch Erstarren contrahiren“ und er geht dann auf Grundlage dieses falschen Coefficienten dazu über, eine Ursache für die Vulkane und Erdbeben zu finden. S. 725—727.

Er kann Bischoff's eigene Angaben kaum angesehen haben, die unsichere Begründung derselben würde sonst seinem Scharfblicke nicht entgangen sein. Bischoff's Experimente wurden aber nach zwei Methoden ausgeführt.

Das eine Mal schmolz er das Gestein in Thontiegeln, die nur wenige Pfund enthielten, bestimmte den Inhalt des leeren Tiegels durch das Gewicht seiner Füllung mit Quecksilber und das Volumen des nicht geschmolzenen Gesteines, durch dessen specifisches Gewicht und durch Wägen. Dann wurde das Gestein geschmolzen, und um das Volumen desselben im flüssigen Zustande zu erhalten, maass er die Tiefe der Oberfläche unter dem Tiegelrande durch einen graduirten Eisendrath und liess dann das Ganze erkalten. Dann füllte er auf die Oberfläche des erhärteten Gesteines Quecksilber, bis der Messdraht wieder die Oberfläche der Flüssigkeit berührte. Aus dem Gewichte des Quecksilbers berechnete er das Volumen der Contraction. Und indem er nun die ganze Höhlung des Tiegels mit Quecksilber füllte, wog und dann das letztere Volumen Quecksilber von dem, welches der leere Tiegel anfänglich enthielt, abzog, erhielt er das Volumen des Gesteins im Schmelzflusse und nach der Erkaltung.

Das ist im wesentlichsten Bischoff's Methode; dennoch muss für alle einzelnen Stadien und getroffenen Vorsichtsmaassregeln auf seine ausführliche Originalarbeit verwiesen werden.

Nun ist es aber kaum nöthig zu zeigen, dass zuverlässige Resultate durch diese verwickelte und indirekte

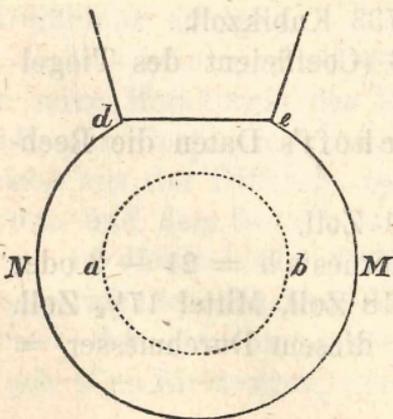
Methode gar nicht zu erlangen waren, da auch nicht eine einzige Bedingung erfüllt war, die die ganzen Versuche als Vertrauen erweckend erscheinen lassen konnte.

Er war gezwungen, Quecksilber anzuwenden, weil seine Tiegel Wasser absorbirten; aber die grosse Capillarität und das hohe specifische Gewicht des Quecksilbers mussten nothwendig grosse Irrthümer in die Deduction aus dem Gewichte einführen, wo es sich um solche geringe Volumina handelte.

Die unausgesetzte Ausdehnung des Tiegels und die Erhöhung seiner Capacität durch die Hitze wurde bestimmt, indem er den Versuch machte, den inneren Durchmesser des Tiegelrandes zu messen, wenn derselbe kalt und wenn er mit schmelzflüssigem Gesteine erfüllt war, und ferner wird die Annahme gemacht, dass die Ausdehnung aller Theile des Tiegels gleichmässig erfolge, so dass seine Capacität in Wirklichkeit dem Kubus dieser einen ungenau gemessenen Dimension entspräche. Das kann aber nicht richtig sein nach allem, was wir von Formveränderungen der Töpferwaaren beim Backen kennen, auch wenn alle Theile des Tiegels gleichmässig erhitzt worden wären. Aber wie steht es nun mit der Contraktion des Tiegels durch die Hitze, die ihm mit aller Irdenwaare gemeinschaftlich ist und welche nicht nur von der Temperatur abhängt, zu der er erhitzt wird, sondern auch von der Dauer der Erhitzung? Darüber, was doch gewiss Bischoff's Resultate sehr beeinflusst, finden wir bei ihm kein Wort der Bemerkung.

Bischoff giebt die Schwierigkeit dieser Art von Versuchen zu und scheint schliesslich selbst nur geringen Glauben an seine Resultate zu haben; denn er adoptirt eine andere Methode, die ihm von dem Oberbauinspektor Althans an der Sayner Hütte mitgetheilt wurde. Diese bestand darin, dass eine schmiedeeiserne Kugel oder Form (Fig.10) NM, die einen trichterförmigen Hals hatte, mit dem geschmolzenen Gesteine er-

Fig. 10.



chen zu und scheint schliesslich selbst nur geringen Glauben an seine Resultate zu haben; denn er adoptirt eine andere Methode, die ihm von dem Oberbauinspektor Althans an der Sayner Hütte mitgetheilt wurde. Diese bestand darin, dass eine schmiedeeiserne Kugel oder Form (Fig.10) NM, die einen trichterförmigen Hals hatte, mit dem geschmolzenen Gesteine er-

füllt wurde. Während sich die geschmolzene Masse durch Erkaltung setzte, bildete sich eine feste Kruste zwischen d e im Halse und sobald diese den ganzen Querschnitt erfüllte, nahm man an (auf die unzureichendsten Gründe hin), dass eine erstarrte Schaale, an Dicke dem halben Durchmesser des Halses gleich, also $= \frac{de}{2}$ sich rund um das Innere der Kugel gebildet hätte, so dass in diesem Augenblicke a b der Durchmesser der noch flüssigen Gesteinskugel im Inneren der Kruste sei. Höhlungen wurden durch die endliche Abkühlung und Erhärtung des Ganzen darin gebildet und diese nimmt Bischoff als Ausdruck der ganzen Contraction an. Wenn so, sagt er, die Temperatur des flüssigen Gesteines beim Einfließen in die Kugel genau bekannt war, so haben wir mit dem Gewichte der ganzen Kugel und dem von a b und dem specifischen Gewichte des Ganzen vollkommen genug, um die totale Contraction zu bestimmen. Dazu wendet er bei seiner angenommenen Kugel a b den unzuverlässigen Contraktions-Coefficienten an, den ihm seine Tiegelexperimente ergeben und kommt so zu einem Resultate. In einem Beispiele endlich ist auch dieses Resultat noch durch ein ausserordentliches Uebersehen fehlerhaft gemacht.

Seine Rechnung ist so:

Durchmesser der Kugel $NM = 21$ Zoll.

Dicke der Kruste $\frac{de}{2} = Na$ oder $bM - 1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll.

Durchmesser des flüssigen Kernes a $b = 21$ Zoll — $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll, oder $= 19$ oder $19\frac{1}{2}$ Zoll, Mittel $19\frac{1}{4}$ Zoll.

Kubikinhalte desselben $= 3733$ Kubikzoll.

Contraction $= 3733 \times 0,06$ (Coefficient des Tiegel-experimentes) $= 224$ Kubikzoll.

Nun müsste aber nach Bischoff's Daten die Rechnung die folgende sein:

Durchmesser wie oben $= 21$ Zoll.

Durchmesser des flüssigen Kernes a $b = 21 - 3$ oder 4 Zoll, also Durchschnitt 17 bis 18 Zoll, Mittel $17\frac{1}{2}$ Zoll.

Kubikinhalte des Kernes von diesem Durchmesser $= 2786,87$ Kubikzoll.

Contraction $2787 \times 0.06 = 167$ Kubikzoll.

136. David Forbes (Chem. News, Oct. 1868) hat schon, wenngleich nicht im Detail, die Unzulässigkeit der Resultate Bischoff's im Allgemeinen nachgewiesen. Gleichwohl versucht er an die Stelle derselben seine eigenen, in noch höherem Maasse trügerischen Schlüsse zu setzen, die sich auf seine Erfahrung stützen, dass die sauren oder basischen Silikate, aus denen unsere Gesteine bestehen, bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand überhaupt kaum eine Contraction zeigen.

137. Seine thatsächlichen Gründe leitet er aus den Dimensionen geschmolzenen Basaltes von Rowley-Rag her, der nach der Schmelzung in Formen wieder erstarrte. Diese Schmelzung geschah auf der Glashütte der Herren Chance zur Darstellung dünner künstlicher Patentsteine. Ferner benutzte er von ihm selbst in gusseisernen Formen von geringem Inhalte gegossene Schlacken zu seinen Versuchen.

Bei den ersteren Versuchen waren die Formen, in denen der Guss der geschmolzenen Gesteine geschah, aus dem von Schmelzern sog. Trocken-Sand d. h. lehmigem Sand gebildet, in denen durch Abdruck eines Holzmodells die Form hergestellt wurde. Diese Formen werden getrocknet und bis ungefähr zu Rothgluth erhitzt und dann die flüssige Gesteinsmasse bis zur Ausfüllung des Hohlraumes in sie gegossen. Messungen des Holzmodells, oft von einigen Fuss Länge, und des Gussstückes aus geschmolzenem Gestein, welches nach ihnen gegossen wurde, ergaben nach Messrs. Chance genau die gleiche Grösse, woraus gefolgert wurde, dass keinerlei Contraction bei der Abkühlung erfolge.

Das ist nun genau derselbe Missgriff, den Dr. Percy in seiner Metallurgie des Eisens gemacht hat, wo er gleichfalls den Coefficienten der totalen Contraction von Guss-eisen aus der Differenz zwischen dem Holzmodell für die Form und dem Gussstücke selbst herleitet.

In diesen beiden Fällen wird das Modell, um aus dem festgerammten feuchten Sande herausgezogen zu werden, durch den Arbeiter geklopft, d. h. er bewegt die Form nach allen Richtungen, um die Höhlung im Formsande etwas

grösser zu gestalten als das Modell, eine Differenz, die, wie klar ist, nothwendig erscheint, um das Herausziehen des Modells zu ermöglichen. Wenn dann die Sandform getrocknet und zur Rothglühhitze gebracht ist, wird durch Expansion die Höhlung der Form noch grösser werden, wenn sie auch vielleicht durch das Trocknen etwas sich zusammengezogen hatte, und in dieser hohen Temperatur empfängt sie das flüssige Gestein.

Daher beweist die Gleichheit der Grösse der Form und des Gussstückes, wenn sie auch in der That genau richtig ist, nicht, dass keine Contraction stattgefunden, sondern nur, dass die Höhe der Contraction gleich war der Erweiterung der Formhölung, die einmal durch den Spielraum des Modells in der Form, die durch das Klopfen bewirkt wurde und dann noch durch die fernere Erweiterung der Form selbst durch die Hitze herbeigeführt war. Da aber weder die Grösse des Spielraums (der nie in zwei Fällen der gleiche sein dürfte), noch auch die Erweiterung der Form durch die Expansion, die nach dem Material der Form und nach der Höhe der Temperatur zu verschiedenen Zeiten verschieden sein wird, als bekannt gelten können, so können aus den Daten der Herrn Chance gar keine Folgerungen gezogen werden.

138. Was nun die eigenen Experimente von Forbes angeht, so können wir gewiss Messungen keine Zuverlässigkeit zusprechen, die an Schlackenstücken angestellt sind, die in eisernen Formen von nur 10 Zoll Länge, 5 Zoll Weite und 6 Zoll Tiefe, also 360 Kubikzoll Inhalt gegossen wurden.

Die Contractionen, die an diesen Schlacken (wohl Hochofenschlacken) auf der Eisenhütte zu Eidfors in Norwegen bestimmt wurden, waren von $1\frac{1}{2}$ bis 3% (weite Grenzen, die aber dennoch ganz in den Bereich der Fehlerquellen dieser Experimente fallen). Da wir über die Temperatur der Formen ganz im Dunkel gelassen werden und daher ihre wirkliche Grösse im Moment der Erstarrung nicht kennen, da wir nicht wissen, ob und welche Hohlräume endlich im Inneren der erstarrten Schlacken sich gebildet hatten und da wir dazu die Unmöglichkeit

mit in Anschlag bringen müssen, die wirklichen Dimensionen solcher kleinen, nicht einmal rechteckigen, jedenfalls mehr oder weniger unebenen und rauhen Schlackenstücke zu messen, so dürfte daraus die Unsicherheit dieser Experimente hergeleitet werden müssen.

139. Die weiteren Experimente Forbes' an basischen Schlacken des Staffordshire Hohofens in Sandformen geschmolzen, sind aus denselben Gründen fehlerhaft, wie die an den Basalten von Rowley-Rag.

140. Endlich führt Forbes noch einige Messungen an, die er an Blöcken von Glas zu Birmingham angestellt hat, welche in eisernen Formen gegossen wurden. Diese zeigen fast gar keine Contraction oder nach Dr. Lloyd von der Park Glashütte nur eine solche von $\frac{1}{272}$ in linearer Richtung an Blöcken von etwa 40 Pfd. Gewicht und nicht rechteckiger, sondern linsenförmiger Gestalt. Auf die Zuverlässigkeit dieser letzteren werden wir noch später zurückkommen.

141. Wenige Experimente über Expansion der Gesteine in hohen Temperaturen, aber weit unter dem Schmelzpunkt, sind von R. W. Fox angestellt und im Philos. Mag. 1832 p. 338 mitgetheilt worden. Granit nahm an Umfang in dunkler Rothglühhitze von $\frac{1}{52}$ bis zu $\frac{1}{56}$ zu, Feldspath aus einem Porphyr eines Ganges von Elvan desgleichen, Thonschiefer nahm an Grösse zu, bei einer im Dunkeln kaum sichtbaren Rothgluth um $\frac{1}{65}$ bis zu $\frac{1}{77}$ und Grünstein um $\frac{1}{96}$. Diese Bestimmungen erscheinen im Ganzen unsicher, es ist nicht klar ersichtlich, ob mittlere kubische oder nur lineare Ausdehnung gemeint sei.

142. Bischoff's Endresultate sind durch Forbes wie folgt summirt worden:

	Volumen im Schmelzfluss.	Vol. wenn zu Glas gekühlt.	Vol. wenn kry- stallin erstarrt.
Basalt	—	963	896
Trachyt	1000	888	818
Granit	—	888	748

so dass der letztere eine Contraction' von etwa $\frac{1}{4}$ seines Volumens im Schmelzflusse erlitten haben würde. Die Unterscheidung, die zwischen glasiger und krystallinischer

Form hier gemacht wird, ist in diesem Falle wenigstens sehr willkürlich. Alle Silicate, die krystallisiren, scheiden sich beim Erkalten in krystallisirte Körper, die in einem umgebenden glasigen Magma schwimmen, welches nicht anders krystallisirt, als wenn es durch langes Erhitzen entglast wird. Von den relativen Proportionen beider und von der Art und andern Bedingungen der Erkal tung hängt es ab, ob die untermischten Krystalle fest werden, oder die ganze Masse überhaupt eine krystalline Form annimmt.

Ausser den bis jetzt angeführten Versuchen kennt der Verfasser keine weiteren, welche hohe Temperaturen betreffen, obgleich wir einige gute und zuverlässige Angaben besitzen über die Expansion einiger steinigen Körper bei Temperaturen, die nicht viel höher sind als der Siedepunkt des Wassers.

143. Der Verfasser hielt es daher für nöthig, selbst experimentelle Versuche über die totale Contraction anzustellen, welche solche Körper beim Uebergange aus dem Schmelzflusse oder aus noch höheren Temperaturen zur Erstarrung erleiden, die füglich nach physikalischer und chemischer Beschaffenheit als analog den basischen und sauren Gesteinssilicaten gelten können, mit denen wir es zu thun haben. Die Hochofenschlacken der Barrow-Eisenwerke scheinen sich den erstern, Britisches Spiegelglas den letzteren zu nähern.

144. Der Verfasser hat Herrn T. F. Smith zu danken, der ihm die Experimente auf den Barrow-Werken (nahe bei Furness-Abbey, Cumberland) ermöglicht hat und Herrn M u r d o c k, auf denselben Werken, dass er ihm bei der Ausführung beigestanden.

145. Auf diesen Werken wird rother Hämatit mit Coaksfeuerung verschmolzen, als Zuschlag benutzt man nur einen sehr reinen Kalkstein. Die Hohöfen sind von den grössten Dimensionen und arbeiten mit einem Gebläse von 700°—800° Fahr. Temperatur. Die bei der Herstellung feinen grauen Roheisens, wie es zur Gewinnung von Bessemer Stahl dient, fallenden Schlacken wurden für das Experiment gewählt. Sie haben in der Regel eine licht

rehbraune Farbe oder spielen ins gelbliche und licht blau-graue hinüber.

Folgende sind typische Analysen dieser Schlacken:

	A	B	C
SiO ₂ =	38.00	40.93	44.80
Al ₂ O ₃ =	40.00	9.49	11.21
CaO =	42.00	42.01	36.05
MgO =	1.65	0.68	1.24
NnO =	Spur	1.83	2.12
FeO =	2.08	0.64	0.84
Na ₂ O =	1.66	0.59	1.56
M ₂ O =	2.03	0.57	
CaO.SO ₃ =	2.45	2.72	2.35
PO ₅ =	—	0.01	—

Alle diese Analysen zeigen einen von der Oxydation des Eisens und Mangans im Prozesse herrührenden Ueberschuss an diesen. Der Kalkstein, der als Zuschlag gilt, enthält circa 97% CaO.CO₂ mit etwa 2% SiO₂, Al₂O₃, MgO und FeO, so dass der grössere Theil dieses letzteren in die Schlacke aus dem Hämatit hineingekommen ist.

146. Wenn wir diese Analysen mit den folgenden von Basalten vergleichen, so ist die Annäherung der Zusammensetzung dieser Schlacken ersichtlich:

Basalte.

	A	B	C
SiO ₂ =	36.68	48.47	55.16
Al ₂ O ₃ =	14.34	30.16	7.42
Fe ₂ O ₃ =	22.30		
MgO =	9.18	6.98	12.68
CaO =	15.59	11.87	13.60
K ₂ O =	3.93	1.96	0.66
Na ₂ O =	0.77	0.65	0.36

A und C sind die Extreme von 11 Analysen verschiedener Basalte. B ist Bunsen's Normalbasalt nach einem Mittel aus vielen Analysen aus Blum's Handbuch der Lithologie 1860 p. 180. 192.

147. Die Schwierigkeiten, um zu einer zuverlässigen Messung der totalen Contraction von geschmolzenen Gesteinen zu kommen, sind zweifellos gross. Betrachtungen über

die Art der Schwierigkeiten und Versuchsexperimente veranlassten den Verfasser zu glauben, dass die einzige Methode, um der Genauigkeit möglichst nahe zu kommen, die ist, mit sehr grossen Massen zu arbeiten, um so viele Fehler des Experimentes zu verwischen und zwar in der Weise, dass das Volumen der geschmolzenen Gesteine sowohl, als das der wieder erstarrten direkt gemessen werden könne.

148. Drei sehr grosse und dicke hohle conische Guss-eisenformen, an beiden Enden offen, die als Bessemerstahlformen dienen, wurden zur Aufnahme und zur Messung der flüssigen Schlacke angewendet.

Flache gusseiserne Unterlagen wurden angewendet, so dass, wenn sie mit dem weiteren Ende des Conus darauf standen, sie dann ein geschlossenes Gefäss bildeten, mit freier oberer Mündung. In derselben Vertikallinie an einer Seite einer dieser konischen Röhren wurden durch einen Theil ihrer Dicke drei Höhlungen eingebohrt, in der Mitte und am Boden, abwärts gerichtet, um Quecksilber oder Wasser aufzunehmen, in welches ein Thermometer eingetaucht und so die Temperatur der Eisenmasse in der Röhre selbst gemessen werden konnte. Die Dicke dieser Röhren ist gross. Der Inhalt jeder derselben ist mehr als 8000 Kubikzoll oder über 4.6 Kubikfuss.

149. Der Reihe nach wurde jeder dieser conischen Röhren genau aufrecht auf ihre Basalplatte befestigt, die auf einen sicheren und ebenen Unterlage stand, und wurde dicht an einen der Hochöfen herangestellt und zwar so, dass die Schlackenmasse des Ofens direkt in die Röhre fliessen konnte, mit einer Einrichtung, die den Schlackenzufluss sofort hemmte, wenn die Röhre gefüllt war.

Die Röhre, welche die Temperatur der umgebenden Luft, ungefähr 51° Fahr., hatte, wurde dann mit flüssiger Schlacke gefüllt und der Schlackenzufluss genau gehemmt, als die Schlacke die Höhe des oberen Endes oder den oberen Rand der Röhre erreicht hatte. Die Schlacke floss in allen Fällen so flüssig, wie sehr heisses Gusseisen und bildete eine ganz ungebrochene und flache Oberfläche am Röhrenende mit leicht abgerundeten Ecken rund herum,

die durch die Capillarität verursacht waren. Es war dafür Sorge getragen, dass der Schlackenstrom rein und ohne Beimengung von Asche u. s. w. unmittelbar aus dem Gestell des Ofens herauskam, dieser war, um die Ansammlung der Schlacke zu ermöglichen, vorher eine Zeit lang gestopft worden.

150. Die so eingefüllte Schlacke blieb eine Zeit lang flüssig; ihre obere Fläche begann schnell unter den Rand der Röhre herunter zu sinken, indem die Schlacke durch Leitung Hitze an die Eisenmasse der Röhre abgab und so sich zusammenzog, während die Form sich ausdehnte.

Sehr bald aber begann dennoch eine feste Kruste am oberen Ende sich zu bilden. Ihre Dicke wurde nach dem Widerstande geschätzt, den sie dem Eindringen eines wenig zugespitzten Stahlstäbchens entgensetzte. Sehr bald nachher fing die vorher glatte und flache Kruste an, hohl oder concav nach dem Centrum sich umzubilden. Das deutete an, dass eine selbsttragende Kruste sich nun rund um die ganze Form gebildet hatte, deren Inneres gleichwohl noch flüssig war. Das markirte also den Augenblick, in dem die wirklichen Dimensionen der gusseisernen Form bekannt sein mussten, als Ausdruck des Volumens der Schlacke, da sie an der Oberfläche fest wurde. Da die Dimensionen der gusseisernen Röhren, so lange sie noch kalt, genau gemessen waren (bei 49° . 51° resp. 52° Fahr.), so brauchen wir nur die Temperatur der gusseisernen Form im Augenblick des Anfanges der Erstarrung der Schlacke in ihr, um ihre Capacität festzustellen.

151. Die Röhren wurden so schnell wie möglich mit Schlacke gefüllt; die volle Füllungszeit betrug 4 bis 8 Minuten, Durch besondere Versuche wurde nachgewiesen, dass Wasser in allen drei Höhlungen der Röhre 7 Minuten nach dem Beginn der Füllung zum Sieden kam, das kann als die Zeit gelten, in der die Eisenmasse der Form selbst 212° Fahr. erreicht hatte. Es wurde ausserdem gefunden, dass die feste rundumgehende starre Kruste sich in 22 Minuten im Durchschnitt bildete, und dass die Erstarrung etwa 20 Minuten nach dem Beginn der Füllung anfang. Da die Differenz der Temperatur der gusseisernen

Form und der Schlacke während dieser ganzen Zeit eine sehr grosse war, so können wir annehmen, dass die Zunahme der Hitze, die sich der Röhre mittheilte, für gleiche Zeiten die gleiche gewesen und die Form nahm um 137° (oder von 75° zu 212°) in 7 Minuten zu.

152. Da nun also

$$7 : 137 = 22 : x$$

so würde sich hieraus die Temperatur der Form im Augenblicke des Festwerdens der festen Kruste auf $430^{\circ} 6$ Fahr. ergeben. Da aber das Innere der Röhre heisser war, als die Aussenseite und so einen ausdehnenden Einfluss auf die äusseren Theile ausübte, so müssen wir diese Zahl etwas erhöhen und können dieselbe etwa auf 450° Fahr. schätzen.

153. Der Expansionscoefficient von Gusseisen, wie ihn Lavoisier und Ray angeben, ist als Mittel aus beiden Angaben

0,00000618 für 1° Fahr. oder 0,00278 für 450° .

Diesen Coefficienten auf die Dimensionen der kalten Röhre in Anwendung gebracht, ergiebt die Dimensionen bei 450° Fahr. (wie in Spalte 3 Tabelle II S. 94) und diese bestimmen das Volumen der Schlacke zur Zeit ihrer anfänglichen Erstarrung.

154. Die Temperatur der flüssigen Schlacke im Momente, wo sie in die Form floss, war dieselbe wie im Hochofen und bedeutend höher als ihr Schmelzpunkt. Es wurde festgestellt, dass die Oberfläche der Schlacke in der Form schnell parallel zu sich selbst niedersank und dann, sobald eine dünne Kruste sich gebildet hatte, concav zu werden anfang. In diesem Augenblicke wurde die mittlere Tiefe der Schlackenoberfläche unter dem Rande der Röhre durch Messung festgestellt. Da die Höhe der Formen vier bis fünfmal so gross ist, als der Durchmesser des Randes, so geben diese Messungen nach der Tiefe sehr genaue Volumbestimmungen; als Durchschnitt für die drei Experimente wurde 130 Kubikzoll gefunden und da 8160 die mittlere Capacität der Formen in der Kälte ist, für die Temperatur corrigirt, so folgt daraus, wenn man das Volumen der in die Formen gefüllten Schlacke bei einer etwas höheren Temperatur als dem Schmelzpunkt

auf 1000 annimmt, dass ihr Volumen bei dem ersten Anfange der Erstarrung oder dem Schmelzpunkte gleich ist 983.

155. Um dem wirklichen Werthe dieser Temperaturen möglichst nahe zu kommen, war es nöthig, die Temperatur des Hochofens selbst zu erhalten, die man auch als die der ausfliessenden Schlacke annehmen konnte. Bei den Schwierigkeiten hier irgend ein Pyrometer zu benutzen, gar nicht von der Unsicherheit der Angaben dieser Instrumente zu reden, entschied sich der Verfasser endlich für die Anwendung der Pouillet'schen Methode der Mischungen. *) Man liess direkt aus dem Hochofen eine bestimmte Menge flüssigen Eisens in Wasser von bekanntem Gewichte, welches in einem grossen Holzgefässe sich befand, einfliessen und wog nachher das Eisen, welches eingetreten war. Da das Gewicht des Wassers und des Eisens, sowie ihre spec. Wärme somit bekannt waren und gleichfalls die Temperatur des Wassers vor und nach der Mischung mit dem flüssigen Eisen, so wurde daraus die Temperatur des letzteren erhalten. Das Gewicht des angewendeten Wassers betrug immer 400 Pfd.

	Temperatur des Wassers.	Temperatur des Wassers nach der Mischung.	Gewicht des flüssigen Eisens.
1.	88°7	188°6	77.5 Pfd.
2.	100°4	152°6	41.0 »
3.	111°2	170°6	43.5 »

Kein Dampf wurde beim Eintritt des Eisens in das Wasser abgegeben und der Wärmeverlust an das Holzgefäss war sehr gering bei einem so grossen Volumen von Wasser. Die spec. Wärme von Gusseisen bei der höchsten Temperatur wird von Schintz in seinem Werke über den Hochofen auf 0.145 angegeben (S. 47—51).

Wenn t^0 die durch das flüssige Eisen verlorene Temperatur ist, t die Zunahme der Temperatur des Wassers nach der Mischung, w das Gewicht des Wassers = 400 Pfd., w' das Gewicht des flüssigen Eisens, und wenn man die spec. Wärme des Wassers, was ohne grossen Fehler ge-

*) Siehe hierüber Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 530 und Bd. XXXIX. S. 518. D. Uebers.

schehen kann, bei den hohen Temperaturen auf 1,0 annimmt und s die spec. Wärme des flüssigen Eisens ist, so haben wir

$$t^{\circ} = \frac{wt}{w's};$$

und hierzu müssen wir die Anfangstemperatur des Wassers vor der Mischung noch hinzufügen, um die Temperatur des geschmolzenen Eisens zu erhalten. Wenden wir das an, so erhalten wir

$$t \text{ No. 1} = 100^{\circ} \quad t \text{ No. 2} = 52^{\circ}2 \quad t \text{ No. 3} = 59^{\circ}4.$$

$$\text{No. 1. } t^{\circ} = 3470^{\circ} \text{ Fahr.}$$

$$\text{No. 2. } t^{\circ} = 3525^{\circ} \quad ,,$$

$$\text{No. 3. } t^{\circ} = 3735^{\circ} \quad ,,$$

Und wenn hierzu die Anfangstemperatur des Wassers vor der Mischung hinzu addirt wird, erhalten wir als die Temperatur des flüssigen Eisens:

$$\text{No. 1. } 3470 + 89 = 3559^{\circ}$$

$$\text{No. 2. } 3525 + 100 = 3625^{\circ}$$

$$\text{No. 3. } 3735 + 111 = 3846^{\circ}$$

oder als Mittel hieraus 3677° Fahr. = 2011° C.

156. Diese Bestimmung trifft nahe genug mit den Resultaten Schurers zusammen, der die Temperatur in der Schmelzzone eines Hochofens zwischen 2650 und 2000° C. feststellt.

Dennoch ist diese Zahl etwas zu niedrig; denn bei der sehr hohen Temperatur musste etwas Wärme von dem flüssigen Eisen schon auf dem Wege zum Wasserbecken verloren werden und etwas auch an den Boden des Holzgefäßes abgegeben werden, mit dem es zunächst in innige Berührung kam.

Wir können somit die wirkliche Temperatur des Hochofens auf etwa 4000° Fahr. annehmen und die Temperatur der flüssigen Schlacke, wenn sie in die Formen eintritt zu 3677 oder rund 3680° .

157. Die festen conischen Schlackenblöcke in den eisernen Formen erreichten die atmosphärische Temperatur in 12 Stunden nach dem Füllen von 3680° als Anfangstemperatur ausgehend, aber das Festwerden begann schon 20 Minuten (oder $\frac{1}{36}$ von 12 Stunden) nach der Füllung. Wenn wir daher annehmen, dass das Mass der Abkühlung in den

ersten 20 Minuten 5 oder 6 mal so gross war, als die mittlere Abkühlung überhaupt, wozu uns die Gesetze der Abkühlung zu berechtigten scheinen, so war dann die Temperatur im Stadium der beginnenden Erstarrung:

$$3680^{\circ} - 6 \times 103^{\circ} = 3062^{\circ} \text{ oder rund } 3000^{\circ}.$$

158. Nachdem jeder Schlackenkegel hinlänglich fest geworden, wurde Form und Schlacke mit ihr auf der Basalplatte stehend vertikal durch einen Krhnen auf einen Waggon gehoben und auf einer eisernen Plattform im Bereiche eines zweiten Krhnehmens niedergestellt und erkalten gelassen. Nach 24 Stunden wurde die Form sorgsam von dem Schlackenkegel abgehoben, und wegen der Contraction der Schlacke und der conischen Form, die am unteren Ende weiter war, ging die Loslösung sehr leicht und ohne Beschädigung der Schlackenkegel vor sich, die dann in hinreichend regelmässiger Form und mit glatter Oberfläche hervorkamen, und eine genaue Messung gestatteten.

159. Die Messungen wurden dann mit Hülfe von Stahlzirkel und Maassstab für Durchmesser und Höhe gemacht, die ersteren wurden durch Messungen des Umfangs mit gut graduirten biegsamen Stahlstreifen oder Bändern controllirt.

160. Beim Aufbrechen dieser Schlackenkegel wurde kein getrennter innerer Kern von wesentlich anderer Beschaffenheit gefunden, als die ganze Masse, noch auch irgend bedeutende Hohlräume. Das Aeussere, was in direkter Berührung mit der Eisenform gewesen, war glasig, von mehr oder weniger blauer Farbe; aber der ganze Rest zeigte sich, bei der Betrachtung mit dem blossen Auge oder mit der Loupe als eine ziemlich gleichförmige Mischung aschgrauer Krystalle mehr oder weniger deutlich, in einer hell grünlich gelben oder schwach braunen Glasmasse eingebettet. Das Verhältniss von krystallinischer Masse zu Glasmasse war ziemlich gross und um so grösser, je mehr wir uns dem Centrum nähern, wo an einigen Stellen die grauen Krystalle (ähnlich dem Wollastonit) sehr gut entwickelt waren. Hier zeigte sich also das Material, welches zu dem Versuche gedient hatte, als ein wirkliches krystallinisches Gestein, und nicht als eine blossе Glasmasse.

Tabelle II. Resultate der Versuche über die Contraction der Schlacke, angestellt auf den Barrow Eisenwerken.

1. No. des Versuchs.	2. Dimensionen der Formen bei 51° Fahr.			3. *) Dimensionen der Formen bei 450° Fahr.			4. Kubik-Inhalt der kalten Form = 51° Fahr.	5. Kubik-Inhalt der Form bei 450° Fahr.	6. Volum der Schlackenkegel bei 53° Fahr.	7. Totale Contraction = Differenz der Volumina von Spalte 5 und 6.
	Durchm. des Oberendes.	Durchm. am Boden.	Höhe.	Durchm. des Oberendes.	Durchm. am Boden.	Höhe.				
Form I	14.25	16.00	46.00	14.28	16.04	46.12	8274.1550	8334.2310	7646.2269	688.0041
Form II	14.40	15.75	45.44	14.44	15.79	45.56	8115.5705	8175.0005	7796.3884	378.6121
Form III	14.30	15.80	45.45	14.34	15.84	45.57	8091.9931	8156.5373	7658.0758	498.4615
Mittelwerthe	.	.	.	.	.	.	8160.5722	8255.2896	7700.2303	521.6926

Mittlerer Coefficient der totalen Contraction bei dem Anfangsvolumen von 1000 von 3680° zu 53° wie 1000: 932.76.

Mittlerer Coefficient der Contraction vom flüssigen Zustand bis zum Beginn der Erstarrung oder (nach Schätzung) von 3680° zu 3000° wie 1000: 983.

Oder wenn das Volumen bei 53° = 1000, wird es nahe über dem Schmelzpunkte fast 1072 sein.

Oder wenn das Volumen bei 53° = 1000, wird es be dem Erstarrungsanlange nahe = 1017,3 sein.

*) Die Spalte 3 ist von dem Ausdehnungscoefficienten für Gusseisen hergeleitet, der zu 0,00000618 für 1° Fahr. angenommen ist.

161. Wenn wir Tafel II einsehen, so kommen wir zu folgenden Resultaten:

Der Coefficient der cubischen Contraction der Schlacke zwischen der Temperatur des Austrittes aus dem Ofen und dem Beginne der Erstarrung oder zwischen 3680° und 3000° $= \frac{17}{1000}$ oder das ursprüngliche Volumen verhält sich zu dem contrahirten wie 1000 : 983 und der Coefficient der totalen Contraction oder der zwischen 3680° und 53° ist nahezu $\frac{67}{1000}$ oder das ursprüngliche Volumen verhält sich zum contrahirten wie 1000 : 933.

Das ist kaum 6% an Stelle von 20—25%, wie es Bischoff angibt.

162. Wir sehen hieraus, dass der Unterschied in dem spec. Gewicht, zwischen sehr heisser erstarrter oder auch kalter Schlacke oder analogem Gesteine einerseits und derselben im schmelzflüssigen Zustande andererseits geringer als der zwischen Eis und Wasser und ein so geringer ist, dass die Annahme, eine dünne oder dicke Erdkruste werde von der Oberfläche des flüssigen Kernes getragen, dann nicht mehr unwahrscheinlich ist, wenn wir des zähen, teigigen Zustandes noch hierbei gedenken, der zwischen beiden genannten Zuständen in der Mitte liegt. Die Ansicht einer ursprünglichen centralen Erstarrung, durch stetes Untersinken der erstarrten Rinden, wie sie Poisson hatte oder die Begriffe von vulkanischer Thätigkeit, welche W. Thomson auf der gleichen Annahme basirte (Thomson and Tate Nat. Philos. p. 716) erhalten dadurch aber keinerlei Unterstützung.

163. Wenige Versuche wurden durch den Verfasser noch angestellt, um die kubische Expansion zu bestimmen. Fragmente von nur wenigen Pfunden Gewicht wurden zwischen 55° und 600° Fahr. erhitzt, indem sie in Quecksilber in einem graduirten Glasgefäße eingetaucht wurden. Die Expansion des Glases und des Quecksilbers, deren Coefficienten wohl bekannt sind, wurde durch Rechnung bestimmt und in Abzug gebracht.

164. Hieraus scheint sich zu ergeben, dass innerhalb dieser niedrigen Temperaturgränzen die Expansion dieser Schlacken nicht sehr von der des Glases selbst verschieden

ist. Jedoch kann diesen Versuchen kein grosses Gewicht beigelegt werden.

165. Wir gehen jetzt von den basischen zu den sauren Schlacken oder Silicaten über, als deren Typus britisches Spiegelglas gelten mag. In Wirklichkeit weicht es der chemischen Zusammensetzung nach nicht zu sehr von den sauren Silicatgesteinen ab, wie eine Vergleichung der folgenden Analysen zeigt:

Spiegelglas (nach Dumas)

SiO ₂	=	73.85	68.6
Al ₂ O ₃	=	3.50	1.2
MgO	=	"	2.1
CaO	=	5.60	11.0
Fe ₂ O ₃	=	"	0.2
Mn ₂ O ₃	=	"	0.1
K ₂ O	=	5.50	6.9
Na ₂ O	=	12.05	8.01

Gneiss (Maxima und Minima von 4 Analysen)

SiO ₂	=	75.91	66.46
Al ₂ O ₃	=	14.11	16.20
Fe ₂ O ₃	=	2.03	5.81
CaO	=	1.14	2.82
MgO	=	0.40	2.17
K ₂ O	=	4.16	3.98
Na ₂ O	=	1.77	3.20
H ₂ O	=	1.16	1.59

Granite und Syenite (A und B Extreme von 5 Granit-Analysen, C und D Extreme von 4 Analysen von Syenit.)

	A.	B.	C.	D.
SiO ₂	= 74.25	68.56	61.72	56.78
Al ₂ O ₃	= 11.58	14.44	13.57	16.64
Fe ₂ O ₃	= 2.41	5.04	7.16	9.58
CaO	= 1.08	3.85	5.88	5.12
MgO	= } 10.01	2.78	3.33	2.63
Na ₂ O	= }		3.12	5.30
K ₂ O	= "	3.36	3.37	2.58

Trachyte (A und C Extreme von 5 Analysen, B der Normaltrachyt Bunsen's von Island).

	A.	B.	C.
SiO ₂ =	77,92	76,67	61.03
Al ₂ O ₃ =	12.01	14.23	17.21 4.84
Fe ₂ O ₃ =	1.32		
CaO =	0.76	1.44	1.43
MgO =	0.13	0.28	2.07
K ₂ O =	3.27	3.20	7.16
Na ₂ O =	4.59	4.18	4.64

Porphyre, Pechsteine, Obsidiane geben ähnliche Resultate.

Alle Analysen sind Blum's Lithologie oder Gesteinslehre 1860 entnommen.

166. Der Verfasser war in der Lage sichere Angaben zu erhalten, die durch tägliche und häufige Messungen in der Britischen Spiegelglas-Manufaktur gewonnen wurden. Aus diesen Angaben lässt sich der Contraktionscoefficient bei diesem Materiale, zwischen einer dem Schmelzflusse nicht sehr fernen Temperatur und der der Atmosphäre erhalten, und wenn auch die Genauigkeit nicht ganz vollkommen ist, so ist doch die Annäherung an die Richtigkeit eine so grosse oder vielleicht noch grössere, als sie auf dem Wege weniger experimenteller Versuche zu erlangen ist.

167. In der Spiegelglasmanufaktur wird geschmolzenes Glas plötzlich aus dem Schmelztiegel auf die Oberfläche einer grossen gusseisernen, horizontalen Tafel (dem Giesstisch) ausgegossen. In der Breite ist die Masse zusammengehalten durch zwei parallele Eisenstreifen, die auf der Tafel befestigt sind. Ihre Dicke bestimmt die Dicke der Glastafel, die dadurch erhalten wird, dass man mit einer sehr schweren (6—8 Ctr.) eisernen Walze über den zähen Glashaufen hinfährt, der hierdurch eben ausgebreitet wird. So bildet sich eine nahezu rechteckige Tafel, deren zwei Seiten ganz gerade und parallel sind, während die beiden anderen Seiten oder Enden etwas unregelmässig sind.

Im Augenblicke, nachdem die Walze gewirkt hat, misst ein Beamter mit Hülfe eines eigens dafür eingerichteten graduirten Stangenzirkels an einem mittleren Punkte am oberen und unteren Ende der Platte (der in das Glas markirt wird) die mittlere Länge derselben (ihre Breite ist stets die gleiche), dann wird die Glasplatte sehr bald von dem Tische fortgenommen und zur vollkommenen langsamen Erkaltung auf das Lager gebracht. Wenn sie ganz erkaltet und vom Lager gebracht ist, wird sie nochmals mit demselben Stangenzirkel an den markirten Stellen gemessen. Die Weite der Platte wird jetzt gleichfalls gemessen, die im Stadium ihrer hohen Temperatur durch die parallelen Eisenstäbe des Giesstisches gegeben war.

Die Oberfläche der Platte wird aus diesen beiden Dimensionen berechnet und alles zusammen registriert und so jeden Tag und von jeder Platte des Arbeitsjahres.

168. Ob nun die allgemeine Praxis der Spiegelglasfabrikation eine solche ist oder nicht, jedenfalls wurde es so auf den Hütten der Thames Plate Glass Company zu Blackwell gehandhabt. Dem Leiter dieser Hütten, Herrn F. M. Waller verdankt der Verfasser ungefähr 40000 derartige Messungen, aus den Büchern des Jahres 1861 ausgezogen.

169. Aus einer Reduction derselben ergibt sich, dass wenn die Gesamtoberfläche des heissen Glases = 36172 \square F., die desselben erkalteten Glases = 35692 war. Daher verhalten sich die linearen Dimensionen, wie die Quadratwurzeln dieser Zahlen oder wie 190 : 189 oder:

$$100 : 99.47.$$

Daher ist die lineare Contraction von Britischem Spiegelglas zwischen seinem weich-zähen Zustande oder zwischen einer dem Schmelzpunkte sehr nahe liegenden Temperatur und der Temperatur der umgebenden Atmosphäre (also etwa 50° als Jahresmittel) = 0,53%.

170. Dreimal so gross ist ungefähr die kubische Contraction oder also = 1,59%.

Daher werden 1000 Volumeneinheiten von Glas, mit einer dem Schmelzpunkt nahen Temperatur zu 984.10, wenn die Temperatur auf 50° sinkt, oder die Contraction an Volumen ist = $\frac{16}{1000}$. Das ist aber, wenn auch nicht viel,

so doch etwas zu niedrig, wenn wir in der Lage wären, das Volumen des Glases beim wirklichen Schmelzpunkt als Ausgang anzunehmen.

171. Die totale Contraction der Barrow-Schlacken verhält sich zu der des Spiegelglases:

$$1000 : 933 : 984$$

oder die totale Contraction des Glases durch die ganze Temperaturabnahme abwärts von der dem Schmelzpunkte nahe liegenden Temperatur an ist ungefähr gleich der Contraction der Schlacke nur durch 680° . Diesen Resultaten schenkt der Verfasser grosses Vertrauen, da sie auf einer ganzen Reihe von Beobachtungen beruhen und durch die stete Wiederholung von Messungen durch lange Zeit hindurch und von derselben Person angestellt, erhalten wurden. Kleine Fehler mussten hierbei im Endresultate verschwinden.

172. Es ist hiernach der Schluss gestattet, dass saure Silicatgesteine noch weniger sich zusammenziehen als basische Silicate. Eine aus den ersteren bestehende Erdrinde ist daher noch mehr im Stande auf dem aus gleichem Materiale bestehenden flüssigen Kerne zu schwimmen.

173. Bei der Anwendung auf unsere Erde müssen aber gewiss alle Folgerungen, die man aus jedem dieser Coefficienten ziehen kann, noch durch die Volumveränderungen alterirt werden, welche aus der molecularen Umwandlung der erkaltenden Masse, z. B. beim Uebergange aus dem glasigen in den krystallinischen Zustand, hervorgehen. Darüber haben wir keine Daten. Bei der Unkenntniss der Mengenverhältnisse, nach denen saure und basische Gesteine die Erde zusammensetzen, sind wir auch nicht in der Lage einen mittleren Coefficienten für das Ganze zu bestimmen. Gleichwohl müssen wir nunmehr versuchen, die erhaltenen numerischen Resultate derartig anzuwenden, dass wir daraus bei dem Stande unserer Kenntnisse die Theorie der vulkanischen Thätigkeit erklären können, die wir hier vortragen, und wenn nicht ihre Richtigkeit, so doch ihre Möglichkeit erweisen.

174. W. Thomson hat gezeigt, dass in der Verdichtung aus dem nebelförmigen Zustand unserer Erde,

eine Arbeit von nahezu 14 Millionen Fusstonnen auf jede Tonne des wirklichen Gewichtes unserer Erde geleistet worden ist; und da die Verdichtung stufenweise geschah, so wurde der grössere Theil dieser Arbeit in den Welt-raum als Wärme ausgestrahlt, es ist die erste ungeheure Zerstreung von Kraft in der Bildung unserer Erde. Die flüssige Kugel wurde nun nach und nach eine zum Theil oder ganz feste Kugel, mit einem Kerne von höherer Temperatur.

175. Wenn der Erddurchmesser heutzutage 7916 Engl. M. ist, so war er auf Grundlage des Expansionscoefficienten 933:1000, als die Kugel flüssig war = 8105 M., oder bei der Temperatur, wo die Erkaltung anfang = 7957 M.; und wenn die mittlere Temperatur im flüssigen Zustande 4000° Fhr. überschritt, war der Durchmesser noch grösser.

Die Erde schrumpfte daher von ihrem flüssigen Zustande bis zu ihrem gegenwärtigen an Durchmesser um wenigstens 189 M. ein. Wenn wir als rohes Maass der hierbei entwickelten Kraft annehmen, dass sie gleich sei der Arbeit, die durch das Einsinken der ganzen sphärischen Rinde von 94 $\frac{1}{2}$ Meilen Dicke um 47 M. geleistet wurde, so bekommen wir dann einen Begriff von der ungeheuren Kraft, die in diesem zweiten Stadium unserer Erdbildung umgesetzt wurde. Wenn wir annehmen, dass $\frac{1}{4}$ der Wärme der flüssigen Kugel schon ausgestrahlt war, ehe die feste Rinde eine hinlängliche Dicke erlangt hatte, um tangential Pressungen wirkungsvoll und auf grosse Entfernungen hin fortzupflanzen, Pressungen, die eine Folge der Contraction von dem flüssigen bis auf den heutigen Zustand waren, so stellt die Contraction eine geleistete Arbeit dar von 186,120 Fusstonnen für jede Tonne Materiales der sphärischen Rinde zwischen dem Radius der schmelzflüssigen und dem Radius der jetzigen Erde.

176. Der Theil der ungeheuren Kraft, der nicht als ausstrahlende Wärme verloren ging, wurde wie wir gesehen haben, als Arbeit in der Umbildung der Kugel geleistet, es wurde hierdurch die dünnere Kruste gefalten und die Gebirgsketten durch tangential Pressungen erhoben.

177. Endlich kommen wir zu dem gegenwärtigen Zustande unserer Erde: die primitive Kraft ist fast ganz er-

schöpft, aber dennoch bleibt noch genug übrig (man könnte es Hefe oder Asche nennen), um uns das wunderbare Werk der vulkanischen Thätigkeit zu unterhalten.

178. Die Erde ist noch eine erkaltende Kugel. Ob wir nun Elie de Beaumont's Werthe (0,0065) für die Dicke der die ganze Erde bedeckenden Eisschicht annehmen, die zu Wasser von 32° durch die jährlich von der Erde ausgestrahlte Wärme geschmolzen werden könnte, oder die Werthe, die Thomson (0,0085) oder J. D. Forbes (0.007 Mm.) geben, das Resultat wird sein, dass 575—777 Kubikmeilen Eis zu Wasser von 32° geschmolzen uns den jährlichen Wärmeverlust unserer Erde zu jetziger Zeit darstellen.

179. Aus der Annahme, dass unsere Erde aus einer sehr hohen Temperatur erkaltete und noch erkaltet, folgt nothwendig, dass in einer weit zurückliegenden geologischen Epoche, als die jetzige vulkanische Thätigkeit ihren Anfang nahm, gleichgültig ob das vor oder nach der Secundärepoche gewesen sein mag, der jährliche Wärmeverlust ein noch grösserer gewesen sein muss und um so grösser, je weiter wir zurückgehen und dass er also damals jedenfalls 777 Kub. Meilen per Jahr überschritten haben muss.

Wir wollen gleichwohl die Zahl Thomson's annehmen, die der Wahrheit vielleicht am nächsten kommt. Wenn die latente Wärme schmelzenden Eises = 143° Fahr. und wenn der Kub.-Fuss Eis 57.6 Pfd. wiegt, so haben wir $143^{\circ} \times 57.6 = 8237^{\circ}$ Wärme in einem Kub. Fuss geschmolzenen Eises. Wir haben aber auch schon gefunden, dass die Wärme die bei der Zermalmung eines Kub.-Fusses eines mittleren Gesteines zu Pulver entwickelt wird = 6472 Britische Wärmeeinheiten. Daher erfordert ein Kub.-Fuss Eis 1,27 Kub.-Fuss zermalnten Gesteines, um zu schmelzen.

Würde daher die ganze Summe der jährlich durch die Erde verlorenen Wärme durch Zermalmung von Gesteinsmasse bei der Contraktion der Rinde hervorgebracht (was ganz gewiss nicht der Fall ist), so würden dazu nur $777 \times 1.27 = 987$ Kubikmeilen zermalnten Gesteines nöthig sein.

188. Es scheint das eine grosse Menge zu sein; je-

doch mit der Masse der Erde verglichen ist sie verschwindend. Wenn wir z. B. annehmen, dass all diese Gesteinsmasse innerhalb einer festen Rinde zermalmt würde, die nur den vierten Theil der ganzen Erdkugel ausmacht, so ist es weniger als der 65 Millionste Theil des Volumens dieser sphärischen Rinde, und wenn wir die Masse gleichmässig über die Erdoberfläche ausbreiten, würde sie nur eine Haut bilden. Es würde daher durchaus nicht unglaublich erscheinen, wenn wir die Annahme machen wollten, dass der ganze Betrag der jährlich von der Erde verlorenen Hitze durch die Zermalmung von Gesteinen in der Erdkruste durch die Wirkungen der Contraction aufgebracht würde. Auch würde, wie der Verfasser glaubt, das Maass der jährlichen Contraction, welches der zu liefernden Wärmemenge entsprechen würde, nicht unannehmbar sein. Gleichwohl ist es gewiss, dass die Gesammthöhe der Wärme, die jährlich durch die Erde verloren wird, nicht aus dieser Quelle stammen kann, sondern nur ein kleiner Theil davon, weil die verlorene Wärme die Ursache der Contraction ist.

181. Durch die Erscheinungen der Wärmezunahme nach dem Erdinnern, verwirrend wie sie sind, scheinen wir zu dem Schlusse gezwungen, dass weitaus der grösste Theil des jährlichen Wärmeverlustes unserer Erde von dem erkaltenden Kerne an die Oberfläche gelangt. Diese erreicht die Oberfläche allenthalben, wenn auch in verschiedenen Graden, während vulkanische Thätigkeit auf schmale Linien beschränkt ist, die durchaus gesondert über die Erdoberfläche zerstreut liegen und nur sehr geringe Wärme durch Leitung nach den Seiten abgeben. Die sphäroidale Welle der Wärme, die constant vom Kerne zu der Oberfläche übergeht, wird überall von dem trockenen Land durch Ausstrahlung abgegeben, sie wird dazu verbraucht, das Wasser des Oceans zu erwärmen und hilft dazu, in demselben Strömungen hervorzubringen und wird theilweise durch die thermalen Quellen, die kalt von der Oberfläche eingedrungen sind, wieder heraufgebracht (siehe Anhang A).

182. Contraction ist die nothwendige Folge dieser constanten Erkaltung (und die stärkste im Kerne, der

wärmer ist und bei einer gegebenen Erkaltung am meisten sich contrahirt). Damit zugleich aber erfolgt die Zermalmung im Inneren der Kruste, sowie diese dem einschrumpfenden Kerne folgt, und durch die bei der Zermalmung geleistete Arbeit wird eine sichere Quelle der Wärme geliefert, deren Höhe nachweislich ausreichend sein muss, soll es die wirkliche Quelle des Vulkanismus sein.

Wir wollen nun also den Versuch machen, dieselbe zu schätzen, ob sie ausreichend ist oder nicht, soweit uns unsere Kenntniss von der Gesammtheit der vulkanischen Thätigkeit auf unserer Erde dieses gestattet.

183. Vulkanische Kraft wird im Allgemeinen, so weit wir davon wissen, auf dreierlei Art auf unserer Erde verwendet:

1. Wärme wird in Erhebungs- und Auswurfsarbeit umgewandelt.

2. Wärme wird zum Schmelzen oder zur Erhitzung von festen Auswurfsmassen verwendet.

3. Wärme wird in der Form von Dampf etc. an den vulkanischen Ausbruchstellen verzehrt und ausgestrahlt.

184. Würde der Verfasser das Glück gehabt haben, seine beabsichtigten pyrometrischen Bestimmungen der wirklichen Temperatur tief im Krater des Vesuv zu Ende zu führen (Versuche, welche die Royal Society einige Jahre früher unterstützte, die aber die plötzliche Aenderung im Zustande des Vulkanes abschnitt), so würde dadurch eine sicherere Schätzung, als die nun folgende vorbereitet worden sein.

185. Alle vulkanischen Kegel unserer Erde können im Durchschnitt einem festen Kegel von 1 Meile Höhe und $\frac{5}{2}$ Meilen Basis gleichgestellt werden; viele sind weit niedriger und die Mehrzahl erreicht diese Höhe nicht; alle höchsten Kegel, so der Cotopaxi u. a. stehen auf erhobenen Plateau's von nicht vulkanischen Gesteinen oder mit nur einer dünnen Bedeckung von solchen auf und haben daher in Wirklichkeit nur eine absolute Kegelhöhe von ca. 5000'. So steht der Cotopaxi auf der Ebene von Quito, die 9000' üb. d. Meer liegt. Antisana und noch zwei oder drei andere Kegel auf der ganzen Erde scheinen allein Ausnahmen

zu machen; aber immerhin ist es fraglich, ob die Kegel wirklich in ihrer ganzen Höhe üb. d. Meer stehen. Jedenfalls ist die Zahl der Kegel, die eine absolute Höhe von 10000' besitzen klein und kann die obige durchschnittliche Annahme nicht wesentlich beeinträchtigen.

186. Das Volumen eines solchen Kegels (5 Meilen Basis \times 1 Meile Höhe) ist 6.54 Kubikmeilen. Da alle vulkanischen Kegel blosse Aschenhaufen sind, Massen von Asche, Lapilli und Schlacken, mit denen verglichen die festen Lavamassen nur untergeordnet erscheinen, so können wir das specifische Gewicht ihres Materiales nicht wohl höher als 2,0 annehmen oder der $\frac{5}{100}$ Theil einer Tonne per Kubikfuss. Wir haben dann in einem solchen Kegel 48,133,730,304 Tonnen: um diese auf die Höhe des Gravitationscentrums des Kegels oder auf 0,25 Meile über seiner Basis zu erheben, bedarf es: 63.536,524,001 Fusstonnen; und da auf eine Fusstone ungefähr 3 Britische Wärmeeinheiten kommen, so erhalten wir durch Division mit dem Obigen: 21,178,841,333,760 Britische Wärmeeinheiten als Aequivalent der Arbeit. Wir haben gesehen, dass ein Kubikfuss zermalmten Gesteines 6472 solche Einheiten liefert, durch Division erhalten wir daher, dass 3,272,370,686 Kubikfuss zermalmten Gesteines diese Arbeit leisten: das ist $\frac{1000}{4498}$ oder weniger als $\frac{1}{45}$ einer Kubikmeile zermalmten Gesteines leistet die Arbeit der Erhebung von der Basis des Kegels an; oder wenn wir annehmen, dass derselbe von 10 Meilen unterhalb emporgehoben worden sei, so erfordert das dann $\frac{40}{45}$ oder weniger als 1 Kubikmeile zermalmten Gesteines.

187. Mit Rücksicht auf die Arbeit der Erhitzung und Schmelzung, zeigen die überall an Vulkanen gemachten Beobachtungen, dass nur ein ganz kleiner Theil ihrer totalen Masse vollkommen geschmolzen war, der Rest ist nur erhitzt worden. Es bleibt vielleicht unter der Wahrheit, anzunehmen, dass auf 20 Volumina solcher erhitzten Massen (Asche, Lapilli, Schlacken) nur ein Volumen geschmolzener Lava komme (11). Die ganze Menge dieses Materiales, ehe es der vulkanischen Hitze ausgesetzt wurde, war in der Temperatur, die der Tiefe

seines Ortes entspricht, bereits vorhanden. Wir können diese Temperatur einmal auf über 300 Fahr. schätzen, die Temperatur, die etwa einer Tiefe von 15—20,000' entsprechen dürfte, und annehmen, das bloss erhitzte Material sei bis zu 1000° Fahr. (dem Schmelzpunkte des Silbers), das geschmolzene Material auf 2000° Fahr. (dem Schmelzpunkte des Gusseisens) gebracht worden.

188. Es folgt dann aus der Gleichung 6, dass 1 Kubikmeile zermalmtten Gesteines 0,262 Kubikmeile des erhitzten Materiales auf diese Art in der Temperatur erhöhen wird, oder dass sie 0,108 Kubikmeile des geschmolzenen Materiales schmelzen wird, wenn die spezifische Wärme für alle als die gleiche angenommen wird.

Aus den Verhältnissen von Asche und Schlacke zu Lava, wie sie oben angenommen wurden, erhalten wir dann als Resultat, dass 1 Kubikmeile zermalmtten Gesteines die nöthige Wärme liefern wird, um 0,255 Kubikmeile des gemischten, erhitzten und geschmolzenen Materiales eines vulkanischen Kegels zu liefern, oder dass 3.92 Kubikmeilen zermalmtten Gesteines nöthig sind¹ für jede Kubikmeile vulkanischer Kegel.

Daher erfordert dieser Kegel von dem im Vorhergehenden angenommenen Volumen von $6.54 : 6.54 \times 3,92 = 15.636$ Kubikmeilen zermalmtten Gesteines für die nöthige Wärme.

Diese Zahl müssen wir zu der Erhebungsarbeit 0,888, die wir vorher gefunden haben, hinzuaddiren, das giebt 16.524 Kubikmeilen zermalmtten Gesteines.

189. Wir haben nun noch den unter 3. § 183 aufgeführten Wärmeverlust zu schätzen. Nach der im Durchschnitt niedrigen Leitungsfähigkeit des Gesteinsmateriales (vielleicht nicht $\frac{1}{30}$ von der des Silbers) kann der Verlust an Wärme durch Leitung zu den Wänden des vulkanischen Heerdes und Schlotens als unmerklich angenommen werden. Die eigentliche Quelle des Wärmeverlustes ist in der Bildung von Dampf zu sehen, soweit derselbe keine wirkliche Theilnahme weder an der Aufschüttung noch an dem Auswurf über den Krater zeigt.

190. Wir haben nur Daten zu einer wahrscheinlichen

Schätzung der Summe dieses Wärmeverlustes. Es mag dabei bemerkt sein, dass die Quellen des Verlustes an wirklicher Dampfkraft hier nicht denen bei einer Dampfmaschine gleichen. Bei diesen ist, wie Hirn gezeigt hat, nur eine Einheit Wärme vernutzt auf 9 Wärmeeinheiten Verlust. Eher können hier die Verhältnisse der Schiesspulvergase in einem Geschütze zum Vergleiche gelten, die z. T. unverbraucht ausgestossen werden; der hierbei vorkommende Kraftverlust ist durch Schiessversuche als erheblich kleiner erkannt worden. Wir können daher hier annehmen, dass die doppelte Menge der in der Aufschüttung vernutzten Wärmeeinheiten verloren geht oder also, dass dreimal so viel Kraft wirklich verbraucht wird, als zur Aufschüttung nöthig war, oder also $3 \times 0,888 = 2.664$ Kub. M. zermalmten Gesteines.

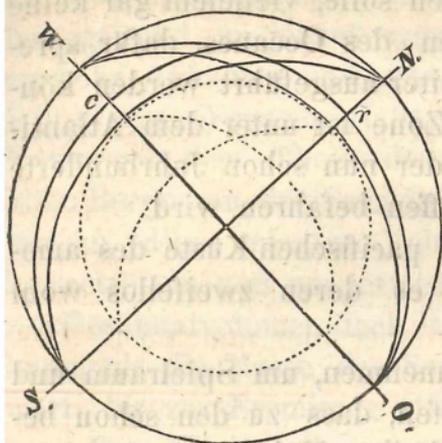
191. So ist zum Aufbau, zum Erwärmen, Schmelzen und Wärmeverlust an einem vulkanischen Kegel von den angenommenen Dimensionen zusammen eine Arbeit von 18,3 Kub. M. oder rund 18 Kub. M. zermalmten Gesteines nöthig.

192. Nun giebt es ungefähr 400 bekannte vulkanische Kegel auf unserer Erde (eine Zahl, die Humboldt und andere Autoritäten annehmen); wenn wir für alle die obige Durchschnittsgrösse annehmen, so finden wir, dass $400 \times 18 = 7200$ Kub. M. zermalmten Gesteines zu ihrer Bildung genügt haben würden.

193. Somit erscheint es richtig, dass wenn die gesammten 987 Kubikmeilen zermalmten Gesteines, welche den jährlichen Wärmeverlust unserer Erde ausdrücken, alle auf vulkanische Thätigkeit verwandt würden, dieselben hinreichen würden, um alle vulkanischen Kegel auf der Erde in weniger als acht Jahren zu bilden. Zehntausende von Jahren sind in Wirklichkeit über deren Bildung vergangen, daraus erkennen wir, wie gering die während eines Jahres auf vulkanische Arbeit verwendete Kraftmenge sein muss.

Wenn wir nun den Erddurchmesser auf 7912 Meilen annehmen und zwei sphärische Monde rechtwinklig auf-

Fig. 11.



einander construiren, N c S und W r E Fig. 11 jede von 180° Sehnenlänge, einer radialen Tiefe von 11 Meilen und an den Enden N S und W E ohne Dicke, so würden diese bei einer Breite von nur 255 Fuss am Aequator resp. am Pole an Volumen den vorhin gefundenen 7200 Kubikmeilen gleich sein. Eine nur in zwei grössten Kreisen an der Oberfläche sich vollziehende cir-

cumferentielle Contraction von nicht über 255' auf 25,000 Meilen Umfang eines grössten Kreises genügt dann, um das Volumen zermalmten Gesteines innerhalb der ersten 10 Meilen unter der Oberfläche zu liefern, und es bedarf einer weit geringeren Contraction, wenn wir die Dicke der Erdkruste auf 100 oder gar 800 Meilen annehmen wollten. Diese zermalnte Gesteinsmasse wird aber dem Volumen der Erde nicht entzogen, sondern nur von unten an die Oberfläche gebracht.

Die genannten 400 vulkanischen Kegel stellen aber in Wirklichkeit die Gesamtheit der vulkanischen Thätigkeit nicht ganz dar, die seit der Tertiärepoche oder seit einer noch früheren Zeit, wir wissen nicht seit wann, stattgefunden hat, aber wenn wir dieselbe auch nur auf wenige Tausend Jahre ausdehnen, so erkennen wir, welch' ein ausserordentlich geringes Maass von jährlicher Zermalmungsarbeit nöthig erscheint, um für diese Phänomene auszureichen.

Es ist nicht wahrscheinlich, dass zukünftige Erforschungen die Zahl der bekannten, erloschenen, ruhenden oder thätigen Vulkane um ein erhebliches vermehren werden. Afrika, der einzige noch nicht allgemeiner genau durchforschte Continent, scheint im Innern nur wenige, vielleicht gar keine Vulkane zu besitzen. Borneo, Neu-Guinea und der antarktische Continent mögen ihrer wenige enthalten; aber unwahrscheinlich ist es, dass zu den schon bekannten noch 10% hinzukommen sollten.

Andererseits ist es auch wenig wahrscheinlich, dass es viele submarine Vulkane geben solle, vielleicht gar keine über den ganzen weiten Boden des Oceans, dafür sprechen Gründe, die hier nicht weiter ausgeführt werden können. Nur eine vulkanische Zone ist unter dem Atlantischen Ocean entdeckt worden, der nun schon Jahrhunderte hindurch fortwährend von Schiffen befahren wird.

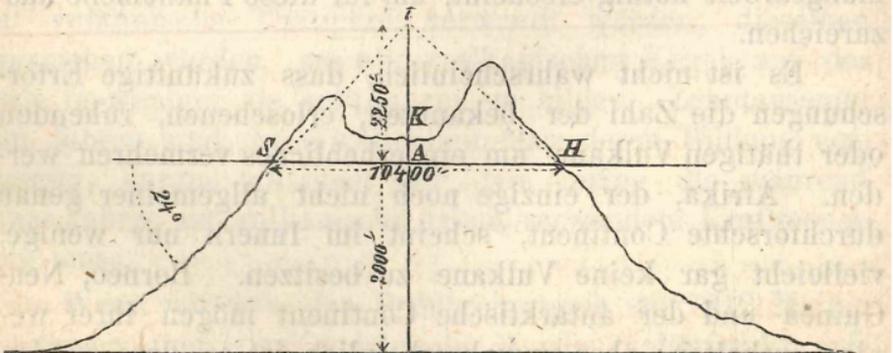
In den seichten Tiefen der pacifischen Küste des amerikanischen Continentes giebt es deren zweifellos wohl einige.

Gleichwohl wollen wir annehmen, um Spielraum und Maass nicht zu enge zu greifen, dass zu den schon bekannten Vulkanen noch einmal ihre Hälfte hinzukommen werde, dass also ihre Zahl 600 anstatt 400 betrage, für 7200 Kubikmeilen zermalzten Gesteines hätten wir dann 10,800 Kubikmeilen nöthig. Auch dieses Volumen erscheint noch vollkommen unbedeutend, wenn es über das ganze Volumen der 800 oder auch nur 100 Meilen dicken Erdrinde vertheilt wird und wenn es über die ganze unbekannte Zeitdauer vulkanischer Thätigkeit überhaupt ausgeht wird.

195. Wir können den Gegenstand noch in einer andern Weise erläutern, wenn wir als Grundlage einen der bestgekannten Vulkane, den Vesuv, annehmen und die jährliche vulkanische Thätigkeit der gesammten Erde nach dem seinen zahlreichen Eruptionen entsprechenden Maassstabe schätzen.

Nehmen wir an, der ganze Kegel des Vesuv oberhalb

Fig. 12.



der Eremitage oder über dem Atrio del Cavallo A, dieses zu 2000' Seehöhe angenommen, sei seit dem Jahre 79 n. Chr. bewegt und umgebaut worden. Das ist jedenfalls eine zu hohe Annahme und geht über die Schätzung von Prof. Phillips (Vesuvius S. 248—49), denn sie nimmt keine Notiz von dem Theile der Somma S und dem Reste des alten Berges an der Seeseite H, der Pedamentina. Nehmen wir an, diese seien an Volumen allen seit 79 geflossenen Lavaströmen und ausgestreuten Aschenmengen gleich, deren Gesamtvolumen doch wohl nur geringer gewesen sein kann, als die Masse der Somma vom Punto del Naso abwärts bis zur Eremitage (12).

Den Winkel dieses angenommenen Kegels StH nehmen wir nach Scrope und nach des Verfassers eigenen Messungen am Neigungswinkel der Somma beim Atrium auf 24° an, die ganze Höhe des Vesuvigipfels t auf 4250' was für den angenommenen Kegel 2250' ergibt, und den Durchmesser der Basis gleich 10,400', oder der Einfachheit wegen 10,560' = 2 engl. M. Da die Höhe gleich 0,426 M., so haben wir 0,446 Kub.-M. für das Volumen des Kegels. Nehmen wir an, dass dieses ganze Volumen dreimal während der letzten 1800 Jahre vollständig weggeblasen und wieder aufgeschüttet worden sei, dann stellt uns 1.338 Kub.-M. geschmolzenen, erhitzten und gehobenen Materiales den Nutzeffekt des Vulkanes in der genannten Periode dar.

196. Wenn wir ferner annehmen, dass die Arbeit nicht in Paroxysmen sich geäußert habe (wie es in der That bei jedem Vulkane der Fall ist), sondern dass sie gleichmässig über die 1800 Jahre vertheilt gewesen sei, so haben wir $\frac{1.338}{1800} = 0.000743$ Kub.-M. per Jahr, oder 109,368,114 Kubikfuss per Jahr, 2000' über See bis zum Fusse des Kegels und noch einmal $\frac{1}{4}$ der 2250' bis zum Gravitätscentrum des Kegels selbst emporgehoben.

Wenn wir, wie vorher, das Gewicht des Materiales auf $\frac{1}{20}$ Tonne per Kubikfuss annehmen, so haben wir als Ausdruck der Erhebungsarbeit 14,010,053,610 Fusstonnen = 4,831,022,974 Britische Wärmeinheiten. Wenn wir diese durch die Wärmeinheiten in einem Kubikfuss zer-

malmten Gesteines wieder wie vorher dividiren, so erhalten wir 746,481 Kubikfuss, oder weniger als $\frac{1}{200,000}$ Kubikmeile zermalmten Gesteines als nöthig, um die aufhebende Kraft des Kegels jährlich zu liefern. Wenn wir annehmen, dass dabei die doppelte Zahl der Wärmeeinheiten, die wirklich nutzbar wurden, noch verloren gingen, so haben wir für die gesammte Arbeit 0.000015 Kubikmeilen zermalmten Gesteines, aber wie vorher nehmen wir die Höhe der geschehenen Hebung auf 10 Meilen an, also $21 \times$ die oben genannte, nur von der Seehöhe bis zum Gravitationscentrum des Kegels gemessene.

Daher erhalten wir für die gesammte Arbeit des Kegelaufbaues durch Hebung, Erhitzung und Schmelzung unter der vorherigen Annahme, dass 3.92 Kubikmeilen zermalmten Materiales je einer Kubikmeile des Materiales der vulkanischen Kegel entsprechen:

Gesammtarbeit an Aufbau und Verlust	0.000315
Arbeit der Erhitzung und Schmelzung von 0,000743	
Kubikmeilen Material	0.00291
Summe von zermalmtem Gesteine in	
Kubikmeilen per Jahr	0.000606.

197. Nun ist die Gesamtzahl der bekannten thätigen Vulkane auf unserer Erde, wie Humboldt und Andere sie angeben = 270, nehmen wir sie auf 300 an und ferner, dass alle, klein und gross, so thätig seien wie der Vesuv, und dieselbe Durchschnittsmenge von erhitzten, geschmolzenen und ausgeworfenen Massen jährlich producirt, wie dieser. Beide Annahmen sind gewiss zu hoch, wenn wir bedenken, wie viele sehr kleine Vulkane z. B. wie der Stromboli zwar stets thätig sind, deren Auswurfsmassen aber in einem Jahre durch die ganze historische Zeit hindurch stets unbedeutend gewesen sind im Verhältnisse zu den Produkten der wenigen grösseren Vulkane, und wenn wir zudem die langen Perioden der Unthätigkeit der meisten Vulkane in Betracht ziehen. Wie viele der thätigen Vulkane im Durchschnitte jährlich eine Eruption haben, wissen wir nicht; es mag gewiss wiederum zu hoch gegriffen sein, dass jeder dritte jährlich in Thätigkeit angenommen wird. So würden 100 Kegel immer in Thä-

tigkeit sein, und zwar in dem gleichen Maasse, wie wir diese Thätigkeit für den Vesuv angenommen haben, der anerkannter Maassen einer der am häufigsten thätigen Vulkane auf der Erde ist.

Dann erhalten wir also als Endresultat $\frac{300 \times 0,000606}{3}$

= 0,0606 Kub. - M. zermalmten Gesteines per Jahr, eine Menge, die jedenfalls einen bedeutenden Ueberschuss gegen die wirkliche jährliche vulkanische Thätigkeit darstellt.

198. Es mag noch eine andere Art der Schätzung angewendet werden. Im Folgenden sind einzelne der grössten Lavaströme zusammengestellt, deren approximative Volumschätzung versucht worden ist.

Gravenoire	57	Million	Kub.	Metres
Pariou	33	"	"	"
Mont Sineire	172	"	"	"
Côme	344	"	"	"

Es sind alles Kegel der Auvergne, wie sie von Lecoq in seinen Epoques geol. de l'Auvergne T. IV aufgeführt werden. Die grosse Unsicherheit in der Schätzung des Kubikinhaltes eines Lavastromes wird dort gleichfalls betont und die Zahl für den Côme als sehr zweifelhaft bezeichnet.

Skaptar Jökul Strom von 1783 = 1640 Mill. K. Metres (Voyage en Islande). Eine andere Angabe desselben Werkes führe ich nicht an, da sie auf durchaus trügerischen Daten beruht; darnach sollte ein Strom die ganze Masse des Mont Blanc an Volumen übertroffen haben (13).

Etna: Strom von 1669 = 600 Millionen Kub. Metres, nach Borelli, aber nach sehr ungenügenden Daten.

Mr. Cordier (Essai sur la Temperature de l'Interieur de la Terre) kommt nach einer Discussion einiger der grössten Lavaströme, darunter auch die obigen, deren Unsicherheit er zugibt, zu dem Schlusse, dass wohl das äusserste Volumen eines Lavastromes, von dem wir irgend Kenntniss haben, nicht über 1000 Millionen Kub. Metres hinausgegangen sei.

Das gilt nur für Lavaströme eigentlicher Vulkane und schliesst die ungeheuren Hervorquellungen (épanche-

ments) von Basalt und Trachyt oder anderer älterer Laven aus, die einer früheren Periode angehört haben, als der jetzigen, durch explosive vulkanische Erscheinungen charakterisirten. Solche Ströme sind z. B. in Californien bekannt, ihre Grösse lässt auch die grössten vulkanischen Ergiessungen nur zwerghaft erscheinen.

Der Verfasser hält alle im Vorhergehenden angeführten Zahlen, einschliesslich der von Cordier, für zu hoch, jedoch wollen wir Cordier's Volumen annehmen. Wir wollen ferner annehmen, dass zu diesen 1000 Millionen Kub. Metres geschmolzenen Materiales noch einmal die hier angenommene Menge loser, nicht geschmolzener, sondern nur erhitzter Masse hinzukomme: also zwanzig Mal das Volumen der Lava und ferner, dass das Ganze aus einer Tiefe von 10 Meilen und noch bis zu einer Höhe von 5280' (= 1 Meile), also höher wie der Gipfel des Hekla, heraufgebracht worden sei und dass endlich wieder, wie vorher, doppelt so viel Arbeit verloren gehe, als nutzbar gemacht werde: d. h. also, dass drei Wärmeeinheiten die Arbeit von nur einer leisten.

Dann erhalten wir folgende Resultate: Wenn 1.307 Kub.-Elle gleich ist 1 Kub.-M., so erfordern 1000 Millionen Kub.-M. = 1307 Millionen Kub.-Ellen, von 300° zum Schmelzen gebracht 9.9 Kub.-Ellen oder nahezu 10 Kub.-Ellen zermalmtten Gesteines für jede geschmolzene Kub.-Elle, oder = $10 \times 1307 = 13070$ Kub.-Ellen von zermalmttem Gesteine.

Für das blos erhitzte Material, welches also von 300° nur auf 1000° gebracht wird, haben wir $20 \times 1307 = 26,140$ Millionen Kub.-Ellen, für jede Kub.-Elle erhitzten Gesteines 3.8 Kub.-Ellen zermalmtten Gesteines, gibt: $3.8 \times 26140 = 993320$ Millionen Kub.-Ellen zermalten Gesteines.

Dazu noch die Arbeit des Emporbringens. Die Kub.-Elle zu 1.2 Gewicht angenommen oder $1.2 \times (993320 \text{ Millionen} + 13070 \text{ Millionen} =) 1006390$ Millionen emporgebrachter Tonnen und wenn $3^{\circ} = 1$ Fuss-Tonne $\frac{1006390 \text{ Millionen}}{3}$
 = 335463 Millionen Wärmeeinheiten, um dieselben 1' hoch zu heben, wenn wir nun durch die 6472 Wärmeeinheiten

in der Volumeinheit des zermalmten Gesteines dividiren, so verlangt dann eine Emporhebung um 1' ein Volumen von 30.3 Kub.-Elle zermalmten Gesteines, oder $50.3 \times 5280 = 265484$ Millionen Kubik-Elle um 1 Meile, oder 11mal so viel um die 11 Meilen emporzubringen, im Ganzen also 2921424 Millionen Kub.-Elle zermalmten Gesteines. Dann haben wir für verbrauchte Wärme noch das Doppelte hiervon = 5852848 Millionen Kub.-Elle zermalmten Gesteines.

Wenn wir nun die Resultate summiren, erhalten wir:

Schmelzarbeit	13070	Million	Kub.-Elle
Erhitzungsarbeit	993320	"	"
Erhebungsarbeit	2921424	"	"
Verlorene Arbeit	<u>5842848</u>	"	"
Summe in Kub.-Elle			
zermalmten Gesteines	9770662	"	"

Das durch die Kub.-Elle einer Kub.-Meile = 1760^3 dividirt oder

$$\frac{9770662 \text{ Millionen}}{5451776000} = 1792 \text{ Kub.-Meilen}$$

von zermalmtem Gestein, um die ganze Arbeit zu leisten.

Der Wärmeverlust unserer Erde (in zermalmtem Gestein) könnte diese Summe in weniger als zwei Jahren aufbringen. Aber solch' eine Eruption, wenn sie jemals in diesem Maassstabe vorgekommen ist, kommt dann doch vielleicht nur alle hundert Jahre einmal vor. Es ist das

aber nur der $\frac{1}{16285}$ Theil des Aequivalentes von zermalmtem Gestein für die jährlich durch unsere Erde verlorene Wärme, von der wir gesehen haben, dass sie gleich ist 777 K. M. von geschmolzenem Eise oder 987 K. M. von zermalmtem Gestein (992 K. M., wenn wir das Gewicht eines Kubikfusses Eis auf 37.8 Pfd. ansetzen). Das Volumen an jährlich zu zermalmenden Gesteinen, wie wir es in der vorhergehenden Schätzung fanden, ist also vollkommen unbedeutend, verglichen mit dem Volumen einer 800 oder auch nur 100 Meilen dicken Kruste.

199. Endlich aber ist es auch klar, dass wenn auch unsere Schätzungen erloschener oder noch bestehender vulkanischer Thätigkeit auf unserer Erde so sehr unter

der Wahrheit blieben, dass die zehnfache Menge zermalmten Gesteines zu derselben nöthig wäre, dass wir dann doch noch einen weiten Vorrath von Kraft in dem jährlichen Wärmeverluste unserer Erde besäßen, auch wenn wir den grösseren Theil derselben als durch Ausstrahlung in den Weltraum verloren gehend bei Seite liessen.

200. Das so zermalmte Gestein überträgt einen Theil seiner eigenen Masse aus einer grösseren oder geringeren Tiefe an die Erdoberfläche und befreit die Höhlungen, aus denen es austritt, von so viel Masse, dass dadurch die Umschliessung und Anpassung an die Gestalt des einschrumpfenden Kernes der äussern Schale möglich wird. Die Masse ist nur übertragen, nicht verloren, und diese Uebertragung kann auf die Länge des Tages keinen Einfluss üben, auch wenn ihre Masse viel bedeutender wäre.

Auch wird das ganze Volumen zermalmten Gesteines nicht nothwendig ausgeworfen, an manchen Stellen mag im Gegentheile dasselbe wieder in situ erkalten und wieder zu festem Gesteine erstarren.

201. Gleichwohl hält der Verfasser dafür, dass ein beträchtlicher Theil wirklich ausgeworfen wird und das ist in Wirklichkeit die Funktion oder letzte Ursache in dem Gange der vulkanischen Erscheinungen. Darin liegt das Mittel, wodurch eine sich zusammenziehende Rinde nach und nach, wenn auch plötzlich und stossweise, so doch im Ganzen harmlos, dem unter ihr durch Einschrumpfen weichenden Kerne folgen kann. Wäre es nicht zur Unterhaltung der grossen Maschine nöthig, oder wäre die feste Kruste so starr und so geartet, dass ihre Theile nicht lokal zusammengequetscht und die zerquetschte Masse an die Oberfläche gebracht werden könnte, so würden die grossartigsten Paroxysmen und Convulsionen, vielleicht nach langen Zwischenräumen eintreten und vielleicht den ganzen Haushalt an der Erdoberfläche umstürzen, auf welchem die Existenz des organischen Lebens unserer Zeit beruht.

Und, selbst die in dieser Schätzung liegenden Fehlerquellen im vollsten Maasse zugegeben, glaubt der Verfasser doch, dass er bis zu einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit nachgewiesen hat:

1) Dass die Zermalmung der festen Erdrinde ein hinlänglich hohes Maass von Kraft liefert, um die terrestrische vulkanische Thätigkeit daraus herzuleiten und 2) dass die nöthige Menge von zermalmtem Gesteine innerhalb der Grenzen bleibt, welche als der durch säkulare Erkaltung geschehenden Contraktion entsprechend gelten können.

Wenn dem aber so ist, so kann die so beschriebene Ursache mit Wahrscheinlichkeit für die Quelle der bestehenden vulkanischen Thätigkeit gelten und das wird dann bei einer Vergleichung aller oder einiger der Bedingungen, die wir als aus einer solchen Zermalmung, die lokal innerhalb der Erdkruste erfolgt, hervorgehend hinstellen können, mit einigen der bestgekannten Beobachtungen an den Vulkanen selbst, zu denen wir nunmehr übergehen, sich nothwendig ebenfalls ergeben.

202. Ein erstes Charakteristikon der hier vorgetragenen Ansicht über vulkanische Thätigkeit ist darin zu sehen, dass dieselbe nur als eine Phase einer einzigen, stets in Wirksamkeit gewesenen Kraft anzusehen ist, einer Kraft die an Intensität allerdings immer abnahm, seit unser Planet im gasförmigen Zustande war.

Unsere Ansicht führt keine kühnen Hypothesen in sich, die sich entweder auf Reaktionen des Innern gegen die Oberfläche, auf innere Spannungen unbekannter Gase, oder auf gänzlich unbewiesene chemische Vorgänge im Innern stützen.

Sie verlangt nur eine immer fort erkaltende Kugel, die den Gesetzen der Gravitation unterworfen ist und auf Grundlage dieser beiden nicht wohl zu leugnenden Prämissen vereinigt sie die Bildung von Land- und Meeresbecken, die Erhebung der Gebirgsketten und die noch fortbestehende vulkanische Thätigkeit als die sich folgenden Wirkungen der beiden Kräfte: Erkaltung und Schwere. Einfachheit ist das Zeichen einer jeden Hypothese, auf der eine richtige Deutung der Erscheinungen in der Natur zu fussen vermag.

203. Die lange herrschende Ansicht der Geologen, dass vulkanische Wärme und explosive Dampfkraft durch ein Eindringen des Wassers von der Oberfläche durch eine sehr dünne Kruste hindurch bis zu einem gemeinsamen

feurigen Kerne bewirkt werde, ist nur so lange haltbar, als man eben eine so dünne Kruste (wie etwa 30 — höchstens 50 Meilen) annehmen darf, diese aber ist mit den beobachteten thermalen Bedingungen auf und in der Erde nicht zu vereinbaren (14). Wenn wir aber eine sehr viel dickere feste Kruste annehmen von vielleicht 300—800 M., so erscheint es unglaublich, dass das Wasser der Erdoberfläche je seinen Weg durch solche Tiefen eines dichten Materiales hindurch bis zum flüssigen Kerne finden solle. Ohne Wasser aber gibt es keinen Vulkan, da alle Parteien im Dampfe das Ausbruchsagens erkennen. Die ganz unbewiesene Hypothese von Schaler zu Boston (Proc. Bost. Nat. Hist. Soc. 1866), dass eine flüssige, sphärische Zone zwischen einem festen Kerne und einer festen Kruste vorhanden sei und die Theorie Hopkin's, dass isolirte unterirdische Lavabecken in einer sonst festen Rinde sich fänden, heben die Schwierigkeiten, soweit sie die Mitwirkung des Oberflächenwassers betreffen, nicht auf. Ihrer Annahme aber stehen die unüberwindlichsten Einwürfe entgegen.

204. Schaler's Erdkern muss sich in Bezug auf seine Lage in schwankendem Gleichgewichte befinden. Einwürfe gegen Hopkins' Lavenseen sind schon hervorgehoben worden. Sowohl diese Seen, als auch die flüssige Zone liegen viel zu tief, um mit dem Wasser der Oberfläche in Communication zu stehen. Wenn aber eine solche Communication einmal als feststehend gelten kann, so ist ein Grund nicht wohl zu finden, warum eine vulkanische Eruption, die so zu Stande kommt, ihr Ende finden soll, ehe entweder die grenzenlose Mitwirkung des Wassers gleichfalls geendet oder das flüssige Lavabecken vollständig ausgepumpt sein solle.

205. Auch ist nicht wohl einzusehen, warum die Lava an einer vulkanischen Ausbruchsstelle, die also aus demselben Reservoir, sei es nun die flüssige Zone oder ein Lavasee heraufkommt, nicht immer die gleiche sein solle. Alles deutet an, dass der wirkliche Heerd, in dem Feuer und Wasser kämpfen und vulkanische Thätigkeit erzeugen, in einer nicht sehr grossen Tiefe unter dem Vulkane selbst liege.

Die Richtungen der Stösse, die während einer Erup-

tion von Beobachtern, deren Standpunkt der Axe des Vulkanes nicht zu fern lag, wahrgenommen wurden, lassen darauf mit Sicherheit schliessen. Das Erregungscentrum dieser Stösse fällt im Ganzen mit dem vulkanischen Heerde zusammen. Wenn dieses also in einer grossen Tiefe läge, so müssten die Richtungen der Stosswellen rings um die Basis des Vulkanes und noch auf grosse Entfernungen hin nahezu vertikal erscheinen; eingestürzte Gebäude etc. müssten erkennen lassen, dass sie durch eine plötzliche Kraft aufwärts geschleudert und dann wieder fallen gelassen worden wären in einer der verticalen möglichst nahen Richtung. So sind auch in der nächsten Nachbarschaft der Südamerikanischen und orientalischen Vulkane die Erscheinungen keineswegs. Die Stösse sind nahe der Basis weit eher horizontal als vertical und so ist es auch bei den am besten beobachteten europäischen Eruptionen.

206. Dafür kann jedoch der Verfasser einen direkten Beweis, gewonnen an einer der grössten europäischen Kegel beibringen. Im Jahre 1864, während er den Aetna erforschte, notirte und maass er die Richtungen der Mauerrisse, die in einer grossen Zahl von mehr oder weniger alten Kirchthürmen und andern Gebäuden durch die Erschütterungen der zu verschiedenen Zeiten sich folgenden Eruptionen entstanden waren.

Diese Beobachtungen wurden an verschiedenen Städten und Orten rings in einem weiten Bogen im Umkreise des Berges gemacht. In allen Fällen ergaben die Mauerrisse eine Stossrichtung, die nahe aus der Axe des Berges kam, aus einem Erregungscentrum, welches nicht viele Meilen unter dem Meeresniveau lag. Daraus lässt sich schliessen, dass der vulkanische Heerd nicht tief sei, wäre er 800 Meilen oder auch nur halb so tief, so müssten die Zerstörungen an Thürmen und Gebäuden einen ganz andern Charakter tragen und die verticale Stossrichtung hätte einer allgemeinen Beobachtung nicht entgehen können (15).

207. Wenn aber die vulkanischen Heerde in Seen oder in einer stetigen, sphärischen, flüssigen Lavazone lägen, so müssten sie ex hypothesi unter der starren Kruste, also in einer grossen Tiefe und zwar immer in derselben Tiefe liegen.

Wasser muss aber in diese Tiefe gelangen, mag sie noch so gross sein. Aber wenn wir auch die Möglichkeit seines Zutrittes annehmen, so ist schwer einzusehen, wie es, auch ohne Rücksicht auf die hohe Temperatur, zu einer grösseren Dichtigkeit comprimirt werden könnte, als der flüssige Lavasee, und wie es wohl mit dem letzteren sich durcheinander mischen oder unter denselben gelangen sollte, um ihn in einer aufgeblähten Form emporzutreiben und ihn durch Gänge oder Spalten von 500—800 M. Länge, mit verhältnissmässig kalten Wänden an die Oberfläche zu bringen.

208. Beobachtungen an verschiedenen Vulkanen deuten an, dass sie nicht alle aus gleichen Tiefen kommen; dieselbe müsste aber für alle fast die gleiche sein, wenn die vulkanischen Heerde in einer flüssigen Zone lägen, die bei der Erkaltung der übrigen Erde zurückgeblieben wäre, wie es sich Hopkins vorstellt.

209. Diese Schwierigkeiten verschwinden in unserer Theorie. Der Heerd der Wärme kann in jeder Tiefe liegen, weil auch die Zermalmung der festen Erdrinde in jeder Tiefe geschehen kann, die von der Dicke der Erdrinde und der Zone der grössten seitlichen Pressungen und des grössten Widerstandes gegen die Zermalmung abhängt. Im Allgemeinen muss die Tendenz der Zermalmung an sich in keine sehr grosse Tiefe unter die Oberfläche verlegt werden.

210. Die Zermalmung ist lokal, sowohl für Oberfläche als auch Tiefe; wo sie eintritt, sind die schwächsten Stellen der Erdrinde und dort sind die Spalten für den Zutritt des Wassers am günstigsten.

211. Das Resultat der Zermalmung ist die Produktion unregelmässiger Massen, mit einer Neigung zur vertikalen Bewegung. Diese Massen sind gepulverte Gesteine, mehr oder weniger hoch erhitzt, die sich bis zu jeder Tiefe in der festen Rinde ausdehnen können; aber nur in einer Tiefe, zu der noch Wasser eindringen und durch Capillarität infiltriren kann, darf der tiefste Heerd vulkanischer Thätigkeit gedacht werden.

Auch unterhalb dieser Tiefe mag es zermalmte und heisse Gesteine geben, aber sie bleiben ruhig, bis Wasser

sie erreichen oder bis Gase, durch chemische Thätigkeit entwickelt werden, die durch die hohe Temperatur eine gesteigerte ist. Wenn Wasser solch eine erhitzte Masse von zermalmtem Gesteine erreicht, findet es leicht den Weg durch die ganze Masse, die es absorbirt, wie glühender Sand Wasser aufnimmt. Dampf wird erzeugt, wenn die Zermahlungswärme hinlänglich hoch ist, um das zermalmte Gestein und das Wasser (unter dem Drucke der eigenen Säule und des Widerstandes der Canäle) bis zum Schmelzpunkte zu erhitzen. Aufgeblähte Lava entsteht und wird bei ausreichender Dampfspannung ausgeworfen, indem sie den eigenen Ausgangsweg auf irgend einer präexistirenden Spalte beim Aufsteigen durch Einschmelzen und nachher durch mechanisches Abschaben erweitert.

212. Untersuchungen der letzten Jahre, besonders von Jamin und Daubrée haben gezeigt, dass infiltrirende Wasser durch die Capillarporen von durchlässigen Gesteinen auch einem bedeutenden Dampfdrucke entgegen noch hindurchdringen. Während also das Wasser fortfährt in eine mit heissem, zermalmtem Gestein erfüllte Höhlung einzudringen, unter dem Drängen der Wassersäule über ihm und der Capillarität im Gesteine selbst, kann kein Dampf rückwärts durch die Gesteinsporen entweichen, die schon von Wasser erfüllt sind, gerade so wie ein poröser Filterstein unter einer Wassersäule Wasser auch in ein Feuer hindurchlassen wird, wengleich letzteres Dampf oder Gase unter hohem Drucke enthält, die nicht durch den Stein entweichen können.

So haben wir in unserer Herde alle Bedingungen, die für die Produktion so verschiedenartiger Laven nöthig sind, wie wir diese in Wirklichkeit finden. Analysen haben zwar eine grosse allgemeine Aehnlichkeit der Constitution in den Laven auf der ganzen Erde ergeben, aber dennoch weichen dieselben hinreichend in ihrer Constitution von einander ab, um den Grad der Schmelzbarkeit sehr verschieden sein zu lassen. Auch haben wir die Erfahrung machen können, dass einige Vulkane Laven von grösserer Schmelzbarkeit als andere produciren, dass einige nur wenig Lava, dagegen viel erhitztes und gepulvertes Material hervorbringen, andere nur das letztere und gar keine Lava.

213. Wir können nun auch erkennen, wenigstens in vielen Fällen, dass die Schmelzbarkeit der Lava und das Verhältniss ihrer Menge zu den Massen von Asche und Lapilli auf zwei zusammen oder nicht zusammen vorkommende Ursachen zurückzuführen ist: die mehr oder weniger leicht schmelzbare chemische Constitution der Laven und die höhere oder niedrigere Temperatur im Heerde; und wir können ferner sehen, dass die Constitution der Lava in gewissem Maasse von den sich folgenden lithologischen Formationen bedingt ist, in denen Heerd und Schlot des Kanales liegen und durch welche dieselbe hindurch geht (16).

Kieselsaure, krystallinische und thonerdehaltige Gesteine allein, gepulvert und geschmolzen, z. B. geben sehr unschmelzbare Laven, kieselsaure und kalkige Gesteine und noch mehr solche mit bestimmtem Gehalte an Thonerde und Eisen viel leichter schmelzbare. Die alten, aber werthvollen Experimente von Kirwan sind werth über diese Punkte zu Rath gezogen zu werden (Kirwan's Mineralogy). Darnach soll die Schmelzbarkeit in allen Fällen sehr durch den Inhalt der Meer- oder süssen Wasser an Alkalien bedingt sein, die ihren Weg zu dem vulkanischen Heerde finden.

214. Alle diese Bedingungen erscheinen erfüllbar durch die Annahme von lokalen, mehr oder weniger getrennten Heerden erhitzter und gepulverter Gesteine, deren Zusammensetzung in verschiedenen Tiefen der erhitzten Säule verschieden ist. Auch haben wir eine passende Ursache für die grossen Temperaturdifferenzen an verschiedenen oft nahe bei einander liegenden Vulkanen. Denn die Hitze im Heerde ist nicht von einer unveränderlichen, nahezu constanten und gleichmässigen Wärmequelle hergeleitet, wie in Hopkin's Theorie, sondern sie ist direkt proportional den lokalen seitlichen Pressungen, welche die Zermalmung bewirken, und kann in beliebigen Grenzen zu verschiedenen Zeiten an dem gleichen Orte, oder auch an verschiedenen Orten schwanken.

216. Auch finden wir in unserer Theorie eine passende und leichte Erklärung der durchaus unperiodischen Thätigkeit der Vulkane, ihrer oft plötzlichen und heftigen Ausbrüche, ihrer langen Ruheperioden, des gänzlichen Er-

löschens der einen und des Ausbruches anderer an Stellen, wo vorher keine Vulkane vorhanden waren.

216. Die säculare Abkühlung der Erde geht noch immer vor sich, wenn auch in sehr langsamer Weise. Daher besorgt die Contraction immer einen Vorrath an Kraft, um auf die Zermalmung der festen Kruste verwendet zu werden und so vulkanische Wärme zu erzeugen. Aber die Zermalmung selbst geht nicht gleichmässig vor sich, sie wirkt nothwendig sprungweise: bis der angehäuften Druck das nöthige Maass an einem bestimmten Punkte erreicht hat, wo dann die zusammengedrückte Masse ungleichmässig gepresst, wie wir annehmen müssen, nachgiebt. Dann folgt vielleicht wieder eine Zeit der Ruhe oder eine Verpflanzung der zermalmenden Thätigkeit anders wohin an eine schwächere Stelle.

217. Daher sind dann die Wirkungen intermittirend, wenn auch das Magazin vulkanischer Kraft fortwährend und stetig durch säculare Erkaltung neu gefüllt wird, und nur so viel wird geleistet, als für den jährlichen Bedarf nöthig ist, der in vulkanischer Arbeit verbraucht wird.

Es ist das einer der vielen Fälle in der Natur, wo die zwar gleichmässige Entwicklung einer Kraft dennoch in schwankender und intermittirender Thätigkeit als Wirkung dieser Kraft sich äussert; sie wird stetig erzeugt und angesammelt, aber ungleichmässig und stossweise verbraucht. Dass solche langsame Anhäufung des Druckes an lokalen Punkten starrer Körper ihr Auseinanderweichen und stossweises Zermalmen bewirkt, kann durch ein Beispiel klar gemacht werden. Wenn man mit den Fingern ein Stück Zucker langsam und stetig auf die Tischplatte drückt, so zerspringen einige Theile der Oberflächen, die in Contact stehen, zu Pulver, dann ist ein Moment Pause; setzen wir den Druck fort oder lassen wir ihn langsam zunehmen, so wird mehr zermalmt und eine zweite Ruhepause folgt.

218. Eine Ursache für das Erlöschen oder die lange Ruhe von Vulkanen hat mehr oder weniger Anerkennung gefunden: sie könnten so zu sagen ersäuft werden. Die Thätigkeit ist abhängig von einem gewissen Gleichgewichte zwischen der Zufuhr von Wärme und dem Zudrange der

Wasser; wenn die letzteren im Ueberschusse vorhanden sind, so schwindet die Thätigkeit zu einer Solfatara zusammen oder hört für eine Zeit lang auf. Aber keine frühere Theorie gab eine Ursache an für die Schwankungen in der Wärmezufuhr. Wenn diese von einem ungeheuren flüssigen Kerne herrührte, so müsste sie immer dieselbe und unerschöpflich sein, wenn sie von eingebildeten Seen herrührte, konnte sie langsam erschöpft werden, konnte aber nicht schnell nachlassen und plötzlich verschwinden, ausser wenn diese Seen ihres Inhaltes oder ihrer Wärme sich gänzlich entleert hatten.

In unserer Hypothese finden wir eine natürliche Erklärung für die plötzliche Produktion von Wärme an bestimmter Stelle und für die schnelle Erschöpfung derselben, und hinwiederum erklärt sich dadurch, warum an derselben Stelle ein andermal keine Wärme producirt wird, dagegen an anderer Stelle wohl, liege diese nahe oder ferne der ersten. Mit andern Worten, es erklärt sich die lange beobachtete Verschiebung der Lage von Vulkanen im Laufe der Zeit, sowie auch die säculare Erweiterung der Oberflächenräume, in denen ihre Thätigkeit sich äussert, wie das schon Humboldt in seinem Kosmos bemerkt hat.

219. Endlich bietet sich uns auch die Lösung der Frage: Warum zeigen Vulkane die lineare Anordnung, wie sie auf unserer Erde thun und warum folgen sie im Ganzen den Linien der grossen Gebirgsketten? Als Aeusserungen einer gemeinsamen Ursache der Contraction durch Erkaltung, wenn auch verschieden an Stärke, wurden die Gebirgsketten durch tangentialen Druck, wie schon entwickelt wurde, emporgewölbt und längs der Linien gegenseitiger Biegungen und grosser Spalten, längs den Linien der Schwäche in der Erdrinde gebildet. Längs der Linien solcher Schwäche muss auch die Zermalmung durch tangentialen Druck in der mehr erkalteten und starren Erdrinde vor sich gehen; und so dürfen wir annehmen, dass in heutiger Zeit die ganze oder nahezu ganze Summe tangentialen Druckes, die durch säculare Erkaltung erzeugt wird, zu der Zermalmung längs dieser grossen Linien aufgewandt wird (17). Daher folgt die Linie vulkanischer Kegel den

Gebirgsketten, weil 1) dort die Spalten und Klüfte einer zertrümmerten Erdrinde vorzüglich zu suchen sind; 2) weil auf solchen Linien hauptsächlich die Zermalmung vor sich geht, da sie die Linien der Schwäche sind, und also hier vulkanische Wärme erzeugt wird. Gerade dort lässt uns die Theorie der Lavabecken im Stich. Denn aus welchem fassbaren Grunde sollen wir uns die vorgestellten Lavaseen grade auf grossen Bogenlinien unter der Oberfläche liegend denken, wie z. B. unter den grossen Vulkanreihen, welche die Küsten des Pacifischen Oceans umsäumen?

Warum, wenn sie als Produkt der Reste eines erstarrten Schmelzkernes gelten, sollten sie nicht vielmehr ganz gleichmässig in einer Schicht unter der Erdoberfläche vertheilt liegen? Und wenn sie so lägen, müsste der grössere Theil derselben gegen Wasser hermetisch abgeschlossen liegen, oder wir müssten Vulkane gleichmässig über die ganze Erde haben. Dieser letztere Punkt kann ja auch für Schaler's Hypothese einer schmelzflüssigen Zone, sowie auch für die Annahme eines universalen Schmelzkernes gelten.

220. Längs solcher Vulkanreihen mag ein oder der andere Krater in Thätigkeit ausbrechen, je nachdem ihm die zermalmende Kraft im Innern mehr Wärme und gepulvertes Material liefert als einem andern; und wir finden eine Erklärung für die beobachtete, oder wenigstens als beobachtet vorausgesetzte Thatsache, dass ein Vulkan den andern ablöse, eine Thatsache, die widerrufen werden müsste, wenn alle Vulkane aus gemeinsamen feurigen Ozeanen oder aus Seen im Innern schöpften.

321. Wir erkennen auch, dass es nur theilweise zutrifft, zu sagen, dass ein Vulkan das Sicherheitsventil gegen ein Erdbeben sei; denn der Vulkan ist in der That das Sicherheitsventil zu der zeitweiligen Befreiung von den Wirkungen der Contraction der erkaltenden Erde; und vielleicht ist keine Betrachtung so überzeugend, dass die Endursache, die hier den vulkanischen Erscheinungen zugeschrieben wird, die richtige ist, als wenn wir die Thatsache beherzigen, dass der angedeutete Mechanismus, einer der das Gleichgewicht herstellenden Vorgänge in der Natur ist. Vulkan-

sche Thätigkeit steht genau im Verhältnisse zu der zermalmenden Thätigkeit, die die Contraction bewirkt, und so wird diese im Ganzen allmählich, aber doch stossweise ausgeglichen, anstatt dass sie sich anhäufte, bis das Zusammenquetschen grosser Massen der Erdkruste auf einmal der ganzen lebenden Schöpfung verderbliche Kataclysmen herbeiführen könnte. Man kann die Thätigkeit mit dem Ablaufen einer Uhr vergleichen, welche ihr Gewicht nicht gleichmässig, aber doch langsam und leise niedergehen lässt, denn wäre es demselben möglich, plötzlich über eine grosse Strecke sich abwärts zu bewegen, so müsste dadurch die Maschine zerstört werden.

222. Wenn so aber die wirkliche Ursache der vulkanischen Thätigkeit auf unserer Erde beschaffen ist, so muss dieselbe Ursache auch für andere Planeten gelten können, soweit ihr Bau analog ist dem des unsern.

Sollten künftige Vervollkommnungen unserer Telescope uns in die Lage versetzen, die Oberfläche der andern Weltkörper unseres Sonnensystemes mit hinreichender Genauigkeit zu erforschen, so werden wir vielleicht neue Zeugnisse dafür finden. Einstweilen können wir die Thorie nur auf unsern Satelliten anwenden und uns fragen, ob die Eigenthümlichkeiten, die uns seine Oberfläche zeigt, uns einige Aufklärung geben können über eine vergangene vulkanische Thätigkeit auf ihm.

223. Ohne Ocean und ohne Athmosphäre ist eine vulkanische Thätigkeit, wie wir sie auf unserer Erde haben, unmöglich; gleichwohl ist es möglich, dass eine frühere vulkanische Thätigkeit des Mondes Nahrung fand, bis sein ganzer, in diesem Falle immerhin sehr beschränkter Ocean und seine Athmosphäre gänzlich absorbirt waren. Wenn dem so ist, so erscheint es wahrscheinlich, da ein vollkommenes Gleichgewicht nicht erweislich, dass es auf dem Monde noch mehr oder weniger unoxydirte oder chemisch unverbundene Masse gebe. Mag aber die vulkanische Thätigkeit des Mondes eine vollkommen erschöpfte Kraft sein oder nicht, jedenfalls finden wir auf seiner Oberfläche Erhebungen und kraterähnliche Thäler, die an Höhe und Weite alles dergleichen auf der Erde übertref-

fen, die vollkommen abnorm erscheinen im Vergleiche mit der geringen Grösse des Mondes im Verhältnisse zur Erde.

224. Wenn vulkanische Thätigkeit lediglich auf der Verbindung des flüssigen Kernes (sei er partiell oder universell) durch die feste Rinde hindurch und auf dem Zutritte des Wassers zu demselben beruht, dann erscheint ein Zusammenhang zwischen der Intensität der vulkanischen Erscheinungen und der Grösse des Planeten, auf dem sie vor sich gehen, nicht recht denkbar. Wenn man an einen solchen denken wollte, so müsste er darin zu suchen sein, dass ein kleinerer Planet in Folge schnellerer Erkaltung eine dickere Rinde haben müsse und dass daher die Intensität um so geringer sein müsse, je kleiner der Planet ist. Wenn aber, wie wir hier behaupten, die vulkanische Thätigkeit eine Folge der säcularen Abkühlung ist, dann muss die Intensität um so grösser sein, je grösser das Maass der Erkaltung ist.

Nun muss die Abkühlung einer Kugel von solcher Zusammensetzung und in der gleichen Entfernung von der Sonne sich direkt so verhalten wie ihre Oberfläche und umgekehrt wie ihre Maass — d. h. wie D^2/D^3 wenn D der mittlere Durchmesser ist. Daher musste die Abkühlung des Mondes schon aus dieser Ursache allein eine viel schnellere sein, als die unserer Erde. Daher ferner auch die vulkanische Thätigkeit eine viel grössere in einer gegebenen Zeit; denn der Abkühlung ist wiederum die Contraction proportionirt, und diese steht wieder in direktem Verhältnisse zu der Wärme, welche aus der Zermalmung der Rinde erzeugt wird. Wir finden daher in unserer Theorie sowohl für die höheren Bergketten, als auch für die grösseren Kratere des Mondes eine ausreichende Erklärung. Diese bedeutendere Höhe wurde ohne Zweifel noch gesteigert durch den verminderten Gegendruck der geringeren Schwere in dem kleineren Planeten, sowie auch durch die geringere Dichtigkeit — wenn auch die Härte grösser ist — des Materiales, welches den Mond zusammensetzt.

225. Die Dichtigkeit des Mondes wird von Herschel zu 0.536 angenommen, wenn die Dichtigkeit unserer

Erde als Einheit gilt, wenn wir daher die mittlere Dichtigkeit unserer Erde zu 5.5 annehmen, so folgt daraus für den Mond etwa 3.0, etwa die des Korund's, Saphir's, Quarzes und wasserhaltiger metallischer Silicate. Es mag daher die ganze Mondmasse vielleicht vorzüglich aus Thonerde und Silicaten von grosser Festigkeit bestehen, vielleicht mit Ausnahme eines metallischen Kernes von grösserer Dichtigkeit. Daher war dann der Widerstand gegen die zermalmende Contraction ein grösserer und bewirkte bedeutendere Temperaturerhöhung an lokalen Stellen während der Erkaltung. Und das erscheint auch durch Mädler's Rillen unterstützt, die dem Auge des Verfassers, sowie auch Herrn Nasmyth selbst mit dessen bestem Telescope wie Spalten oder tiefe, scharfkantige Risse in starrer Oberfläche erscheinen. Die vorwaltende Richtung dieser Rillen ist ungefähr rechtwinklig zu den Linien der Erhebung. Das entspricht gerade der Erwartung, die wir unter Annahme der von uns entwickelten Ursache der Erhebung haben müssen, d. h. es entspricht einem tangentialen Drucke, hierbei müssen die Linien der Spannung orthogonal zu den Linien des erhebenden Druckes stehen, daher die entstehenden Spalten orthogonal zu den Linien der Erhebung.

226. Es würde unserem direkten Zwecke zu fern liegen und uns zu weit führen, wenn wir auf die wahrscheinlichen Ursachen der relativ grossen Durchmesser der Mondkratere eines Näheren eingehen wollten.

So viel ist uns zu erkennen möglich, dass vulkanische Thätigkeit im Allgemeinen abhängt: von den festen und flüssigen Bestandtheilen unseres Planeten, von ihrer Wärmeleitungsfähigkeit, von der Masse des Planeten, auf dem wiederum seine ursprünliche Temperatur, sowie das Maass seiner Erkaltung beruht, von seiner Entfernung von der Sonne und endlich vielleicht auch noch von dem Umstande, ob er Welträume von variabler Temperatur durchläuft oder nicht.

227. In der Sonne selbst erblicken wir vulkanische Kraft in ihrem frühesten und mächtigsten Stadium, dem Stadium der Condensation und der chemischen Erschöpfung einer primordialen Welt von gewaltigen Dimensionen, mit

vulkanischen Aeusserungen von einer erschreckenden Grossartigkeit(18). In unserer Erde sehen wir sie entwickelt genau dem ursachlichen Gange einer zu verschiedenen sich folgenden Zeiten verschiedenartig sich äussernden Thätigkeit gemäss, die über unmessbare Zeiträume sich erstreckt hatte und die nun zu ihrer jetzigen Form zusammen geschwunden ist und so nur mehr einen Theil des wohlthätigen Mechanismus unserer Erde ausmacht, der diese ein sicherer Boden für Pflanze, Thiere und Menschen sein lässt. Im Monde sehen wir die vulkanische Kraft, nachdem sie alle diese Stadien durchlaufen, todt und erloschen.

228. Wenn nun die in dieser Arbeit zum erstenmale, soweit dieses dem Verfasser bekannt ist, beschriebene Ursache der vulkanischen Wärme d. h. die Zermalmung der festen Erdkruste, allen Erscheinungen sich anpasst, keine unerklärt oder unerklärbar lässt, und an dieselben keine Folgerungen knüpft, die unerklärbar oder direkter Beobachtung entgegenstehend wären, sondern wenn sie alle Theile der Theorie mit den Thatsachen vereinigt, wie wir diese in der Natur wahrnehmen, ähnlich den Theilen einer „zerschnittenen Karte“ aus der kein Stück ausgelassen und kein neues hinzugefügt werden kann, dann glaubt der Verfasser nach den Regeln echter Philosophie annehmen zu dürfen, dass seine Theorie als richtige Deutung der Vorgänge der Natur gelten kann.

Note: Es ist auf Seite 158 auf die Ansichten von Babbage und J. Herschel angspielt worden. Es würde schwierig gewesen sein, ehe die in dieser Arbeit vorgetragenen Ansichten entwickelt waren, ihre Unzulänglichkeit zu zeigen. Da sie wohl noch im Geiste einiger Geologen Boden behalten haben, so erscheint es erwünscht, hier darauf einzugehen. Herschel's Ansichten finden sich von ihm selbst in Briefen an Sir Charles Lyell und Sir Roderik Murchison im II. B. der Proceed. Geolog. Soc. niedergelegt. Zwei Hauptpunkte sind in ihnen, um kurz zu sein, enthalten: 1) Umänderungen des mechanischen Gleichgewichtes durch sedimentäre Ablagerungen, die ungleich auf einer ausserordentlich dünnen, auf flüssigem Kern schwimmenden Kruste geschehen, 2) die Folgen solcher sedimentären Ablage-

rungen, die eine lokale Erhöhung der geothermalen Schichten bewirken. Ueber den ersten Punkt können wir hinweggehen, da die Existenz einer so dünnen Rinde geradezu unannehmbar ist. In Bezug auf den letzteren ist es genug zu sagen, dass er eine hinreichende Quelle der Wärme für die irdische Vulkanicität nicht zu liefern vermag. Das stufenweise Steigen der isothermalen Schicht in dem von Herschel angeführten Wege mag vielleicht hinreichen, eine Wärme zu bewirken, die für die Erscheinungen des Metamorphismus, oder besser des Pyromorphismus ausreicht, nicht aber für das Spiel eines ausbrechenden Vulkanes. Eine Begründung würde hier zu weit führen, die Art des Einwurfes mag durch ein Beispiel erläutert werden.

Wenn wir annehmen, dass ein sedimentärer Absatz fortdauernd über einen grösseren Flächenraum bis zu der jährlichen Höhe von 50' stattfindet, so würde es nahezu 105 Jahre erfordern, um eine Meile an Tiefe abzusetzen. Nehmen wir ferner an, dass die Leitungsfähigkeit des Oberflächensedimentes dieselbe ist, wie die der schon abgesetzten und überdeckten Sedimente, dann wird die jährliche Erhöhung einer bestimmten geothermalen Schicht unter einer Quadratmeile Oberfläche 50' betragen und die Temperaturzunahme des Materiales, welches gerade über dem früheren Oberflächenniveau der Schicht liegt, wird ca. 1° betragen. Die hinzukommende Wärme wird also in Folge dessen für eine sedimentäre Masse von 50' Dicke und einer Quadratmeile Oberfläche nur 1° betragen. Dieser Betrag in Wärmeeinheiten umgewandelt ist also die ganze Wärmequelle, um die jährliche vulkanische Arbeit per Quadratmeile zu leisten. Also auch bei der Annahme der äusserst hohen Sedimentbildung bleibt diese Wärme vollkommen unzulänglich, um für die Arbeit des Schmelzens, Erhebens und der Ausstrahlung auszureichen, welche die vulkanische Thätigkeit, wie sie heute noch besteht, verlangt.

Ferner kann aus dem vorhergehenden gefolgert werden, dass auch bei der höchst möglichen Schätzung des gesammten sedimentären Absatzes, der sich jährlich auf der Erde vollzieht, die Summe doch auch nach Herschels Ansichten vollkommen unzureichend sein würde, um die zur

jährlichen vulkanischen Thätigkeit unserer Erde nöthige Hitze zu liefern, wie sie in dem vorhergehenden geschätzt wurde. Herschel's Ansichten wurden offenbar schnell wieder aufgegeben und soweit sie von Americanischen und andern Geologen angenommen worden sind, war dieses offenbar nur auf Grundlage der Berühmtheit des Urhebers derselben geschehen. Wenn zu Herschel's Lebzeiten die Thermodynamik weit genug fortgeschritten gewesen wäre, um an ihr seine Ansichten zu prüfen, so würde er selbst wohl ohne Zweifel die Unhaltbarkeit seiner Lehre erkannt haben.

Schliesslich mag noch hier hinzugefügt werden, dass die Ansicht einiger Geologen, dass die Mitwirkung der Oberflächenwasser der Erde zur bestehenden vulkanischen Thätigkeit nicht nothwendig sei, sondern dass sich das vorhandene Wasser aus präexistirenden Blasenräumen in den tief gelegenen Gesteinen herleiten lasse, wohl auch nicht recht im Stande ist, die Menge des Wasserdampfes, der in Verbindung mit festen und flüssigen Auswurfsmassen an den vulkanischen Schloten erkannt wird, einigermaassen zu erklären (19).

Anhang: A. Thermalquellen.

Im Allgemeinen werden von den Erforschern vulkanischer Thätigkeit auch die warmen Quellen als eine Aeusserung derselben angesehen. Dass sie in vielen Fällen mit vulkanischen Ausbruchsstellen in Verbindung stehen, deren Thätigkeit gänzlich oder zeitweilig erschöpft ist, zeigt sich schon aus den heissen Quellen der Auvergne und Island's. Aber dass sie nicht direkt mit vulkanischen Wirkungen in der grössten Mehrzahl ihres Vorkommens im Zusammenhang stehen, ist gleichfalls ersichtlich. In keinem Falle können wir annehmen, dass die Oberflächenwasser viele Meilen unter die Erdoberfläche hinabsteigen. Thermale Wasser, wie die von den Britischen Inseln und dem grössten Theile von Europa, können nicht als Manifestationen vulkanischer Thätigkeit angesehen werden, sondern nur entstanden dadurch, dass die Oberflächenwasser bis in eine bestimmte mässige Tiefe hinabgehen (die nicht gross sein

kann, weil keine eigentlich siedenden Quellen ausser in Verbindung mit Vulkanen bekannt sind) und dann durch die wärmeren Schichten erwärmt wieder emporsteigen. Daher müssen uns die meisten thermalen Quellen nicht als vulkanische Phänomene gelten, sondern nur als eines der Mittel, durch welche die innere Wärme an die Oberfläche gebracht und durch Ausstrahlung zerstreut wird. So wirdes mit Rücksicht auf unsern Gegenstand von Interesse, einmal zu schätzen, ob der Einfluss der warmen Quellen in dieser Beziehung ein grosser sei, oder welcher Bruchtheil der Gesamtwärme, die jährlich durch unsere Erde verloren wird, so an die Oberfläche gebracht wird. Der Verfasser hat diese Schätzung auf folgende Weise versucht.

Die Thermalquellen von Europa sind die bestbekanntesten, darnach vielleicht die von Indien, wie sie durch die Herrn Schlagintweit aufgezählt werden. Wenn wir Daubeny's Liste der ersteren zu Grunde legen, so wären in Europa 154 heisse Quellen, die über einen Flächenraum von $3\frac{1}{2}$ Millionen Quadratmeilen zerstreut liegen, die etwa 6577353752 K.-F. Wasser jährlich liefern von einer mittleren Temperatur von 57° Fahr., über der jährlichen Durchschnittstemperatur des Ortes. In Indien sind nach obigem Kataloge etwa 100 heisse Quellen über einen Flächenraum von $1\frac{1}{2}$ Million □ Meilen verbreitet, sie geben jährlich 4345 Millionen K.-F. Wasser von einer mittleren Temperatur von 51° F. über der jährlichen Durchschnittstemperatur, (die für ganz Indien auf 75° Fahr. angenommen wird. Das giebt zusammen über einen Flächenraum von 5 Millionen □ Meilen (z. Th. tropischer, z. Th. gemässiger Zone) 10862353752 K.-F. Wasser jährlich mit einer mittleren Temperatur (Menge und Temperatur in Rechnung gesetzt) von $54^{\circ}6$ F. Wenn wir nun annehmen, dass alles übrige trockene Land auf unserer Erde gleiche thermale Quellen in gleicher Fülle besässe, so würde die Gesamtmenge in dem über 52 Millionen □ Meilen trockenen Landes gelieferten Wasser = 112968337520 K.-F., 54° Fahr. über der mittleren Ortstemperatur betragen. Das ist gleichwerthig 34336880705 K.-F. Wasser von 32° auf 212° F. gebracht, oder gleich 0,2332 K.-Meile Wasser, siedend bei

1 Atmosphäre, jährlich an die Oberfläche gebracht. Wenn wir nun, nach dem ungenügenden Charakter unserer Daten, besonders bezüglich Süd-Amerika und Afrika annehmen, dass die obige Schätzung nur die Hälfte der warmen Wassermenge gehe, die jährlich an die Oberfläche gebracht werde, oder dass die mittlere Temperatur der warmen Wasser unter der Wahrheit bliebe und wenn wir daher das Resultat, um diese einzuschliessen, verdoppeln, so finden wir, dass die Gesammtmenge der thermalen Wasser unserer Erde eine halbe Kubikmeile siedendenden Wassers per Jahr kaum überschreiten dürfte. Das Aequivalent hiervon in geschmolzenem Eis bei 32° zeigt, dass die Gesammtmenge innerer Wärme, die so verloren geht, noch nicht der tausendste Theil des jährlichen Gesammtverlustes unserer Erde an Wärme ist, diese zu 777 Kubikmeilen zu Wasser von 32° geschmolzenen Eises angenommen.

Ob man daher die thermalen Quellen bloss als Mittel zur Ausstrahlung der inneren Wärme an die Oberfläche, oder als direkte Produkte vulkanischer Wärme ansehen will, in beiden Fällen ist ihr Einfluss unbedeutend und kann die in der Arbeit selbst ausgesprochenen Ansichten nicht beeinflussen.

B. Wärme und Arbeit durch Quarzermalmung.

Auszug aus der Schrift R. B. Shmith's: über die Goldfelder von Victoria 1869. S. 543, die Resultate aus der Arbeit der Quarzermalmung in diesen Goldfeldern hergeleitet.

Gewicht der Stampfkolben:

$$\text{Mittel aus 7 Werthen} = 642 \text{ Pf. } \left(\begin{array}{l} \text{Minimum} = 424 \\ \text{Maximum} = 860 \end{array} \right)$$

Höhe des Falls:

$$\text{Mittel aus 7 Werthen} = 0.8302 \text{ Fuss } \left(\begin{array}{l} \text{Min. } 0,5653 \\ \text{Max. } 1,0951 \end{array} \right)$$

Stösse in der Minute:

$$\text{Mittel} = 65.5 \left(\begin{array}{l} \text{Min. } 52,143 \\ \text{Max. } 78,857 \end{array} \right)$$

Gewicht des Quarzes, der in 24 Stunden durch einen Stampfer zermalm't wurde:

Mittel: 4632 Pfd. $\left(\begin{array}{l} \text{Min. } 2528 \\ \text{Max. } 6736 \end{array} \right)$.

Korn-Grösse des Pulvers:

Mittel: 116,571 per Quadrat-Zoll $\left(\begin{array}{l} \text{Min. } 66,143 \\ \text{Max. } 167,00 \end{array} \right)$.

Pferdekraft jedes Stampfers:

Mittel 1.2057 Pferdekraft $\left(\begin{array}{l} \text{Min. } 0,7514 \\ \text{Max. } 1,66 \end{array} \right)$.

Wirkliches spec. Gew. des Gold-Quarzes von Victoria:

Nach der Bestimmung der Royal School of mines

= 2,6307

nach Mallet = 2,6224

von Wicklow-Quarz nach Mallet

= 2,6214.

Spec. Gew. von Quarz als Mittel aus 5 Angaben:

= 2,6469.

1 Kubikfuss Wasser von 60° wiegt = 62,5 Pfd.

Daher $1.0000 : 62,5 = 2.6469 : x = \frac{62.5 \times 2.6469}{1.0000}$

= 165,431 Pfd. Gewicht für 1 Kubikfuss Quarz.

Die spezifische Wärme des Siliciumanhydrid SiO_2 ist nach Watts (Chem. Dict. „Heat“) Bd. III. S. 32 = 0,19132, Wasser als Einheit angenommen, 0,179 nach meiner Bestimmung am Quarz von Wiklow, Irland.

Specifische Wärme des Quarzes = 0,1719 (Hermann) Gmelin's Handbuch. 0.1913 Regnault I. p. 245.

Als Resultat der gesammten Werthe erhält man 642 Pfd. durch 0.8302' 65.5mal in der Minute während 24 Stunden niederfallend geben 4632 Pf. Quarzpulver, indem 116.571 Stückchen auf den Quadratzoll kommen oder 642 Pfd. fallend $0.8302 \times 65.5 = 54.3781'$ in der Minute durch 24 Stunden oder $24 \times 60 = 1440$ Minute = 78304.464 Fuss.

Das ist: $642 \times 78304.464' = 50,271,465,888$ Fusspfund sind die geleistete Arbeit, um 4632 Pfd. Quarz zu pulvern oder

10853,08 Fusspfund per Pfd. Quarz,

oder $10853.08 \text{ Fussfund} \times 165.431 \text{ Pf.} = 1795435,877 \text{ F.-Pf.}$
 per Kubikfuss Quarz vom specifischen Gewicht: 2.6469.

Wenn wir nun durch Joule's Aequivalent dividiren, so erhalten wir:

$$\frac{1795435.877}{772} = 2325.69^\circ \text{ F. in einem Pfd. Wasser als Ae-}$$

quivalent der bei der Zermalmung von 1 Kub.-Fuss Quarz geleisteten Arbeit; oder da Wasserdampf, also Wasser von 32° bei 1 Athmosphäre auf 212° F. gebracht, 1146,7 Wärmeeinheiten enthält, so kann durch die bei der Zermalmung von 1 Kubikfuss Quarz geleistete Arbeit 2.028 Pfd. Wasser bei 212° verdampft werden.

Denn: $2325,69 : 1146,7 : x : 1$

$$\text{giebt } x = \frac{2325,69}{1146,7} = 2,028.$$

Wenn wir nun die gleichen Resultate nicht aus den Durchschnittszahlen, sondern aus den höchsten und niedrigsten Daten berechnen unter gleichzeitiger Bezugnahme auf die Feinheit des Quarzpulvers, d. h. unter der Annahme, dass das durchschnittlich feinste Pulver der höchsten Kraftleistung entspreche, so erhalten wir Folgendes:

Als höchsten Werth haben wir im Vorhergehenden: 860 Pfd., 0,6951 F. in der Minute 78.857mal durch 24 Stunden fallend giebt 2528 Pfd. Quarzpulver von der Feinheit von 167.0 Korn auf den Quadratzoll oder 860 Pfd. fallend $1.0951 \times 78.857 = 86.356$ in der Minute, oder $86.356 \times 1440 = 124352.64'$ per Tag von 24 Stunden, das ist $860 \text{ Pfd.} \times 124352,64 \text{ Fuss} = 106943270,4 \text{ Fussfund.}$

Die geleistete Arbeit bei 2528 Pfd. zermalmtem Quarz oder: $\frac{106943270,4}{2528} = 42303.5 \text{ Fussfund Arbeit per Pf.}$

Quarz, oder $42303.5 \times 165.431 = 6998310.31 \text{ Fussfund}$
 per Kubikfuss Quarz und dividirt durch $J = 772$

$$\frac{6998310.31}{772} = 9065.2^\circ \text{ F. in 1 Pfd. Wasser als Aequivalent}$$

der bei der Zermalmung von 1 Kubikfuss Quarz zu Pulver von $\frac{1}{167}$ Quadratzoll Korngrösse geleisteten Arbeit.

Im zweiten Falle haben wir als niedrigste Werthe: 424 Pfd., 0,5653 F. in der Minute 52.143mal durch 24 Stun-

den hindurch fallend, giebt 6736 Pfd. Quarzpulver von einer Korngrösse von $\frac{1}{66,143}$ Quadratzoll.

Bei beiden Berechnungen ist die Annahme gemacht, dass die meiste Kraft verwandt wurde, um im Ganzen die kleinste Menge des feinsten Pulvers zu erhalten. Dann erhalten wir 424 Pfd. faltend durch $0.5653 \text{ F.} \times 52.143 = 29.479'$ in der Minute., oder $29.479 \times 1440 = 42449.76'$ in 24 Stunden, das giebt $424 \text{ Pfd.} \times 42449.76' = 17998698,24$ Fusspfund, die zur Zermahlung von 6736 Pfd. Quarz geleistete Arbeit oder $\frac{17998698.24}{6736} = 2672.01$ Fusspfund per Pfd.

Quarz, oder $2672 \times 165,431 = 442031.632$ Fusspfund per Kubifuss Quarz und durch Division mit $J = 772$

$\frac{442031.632}{772} = 572^{\circ}58$ F. in einem Pfd. Wasser als Aequi-

valent der bei der Zermahlung von 1 Kubikfuss Quarz zu Pulver von $\frac{1}{66,143}$ Quadratzoll Korngrösse geleisteten Arbeit.

Wir erhalten durch folgende Resultate:

$\frac{1}{167}$ Quadratzoll ist, wenn wir $\frac{1}{50}$ Zoll für den Durchmesser der Drähte des Drahtnetzes oder Siebes zugeben, ungefähr $\frac{1}{18}$ Zoll im Durchschnitt für den Durchmesser der grössten Stücke; $\frac{1}{116,371}$ □ Zoll mit der gleichen Zugabe = $\frac{1}{14}$ Zoll Durchmesser der Fragmente im Durchschnitt; $\frac{1}{66,143}$ □ Zoll wieder unter der gleichen Zugabe, ist etwa $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser der Fragmente im Durchschnitt.

Dann sind die Verhältnisse zwischen Fusspfunden, Grösse der Fragmente und Wärmeäquivalent (ohne Decimalen):

Grösse	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{10}$
Fusspfunde	6998310	1795435	442031
Wärmegrade (F.)	9065°	2325°	572°.

Diese Resultate sind werthvoll wegen der allgemeinen Bestätigung, die sie für die Correktheit der Zermahlungsversuche beibringen, wie sie in der vorhergehenden Arbeit gegeben worden sind. Die Reibung der Stampfmaschine ist, wie ersichtlich, aus der Berechnung ausgeschlossen; und mit Ausnahme der geringen Kraftmenge, welche durch den Fall des Stampfers geliefert und welche dazu ver-

wendet wird das Wasser, welches immer über den zu zermalmenden Quarz fließt, umher zu platschen, ist fast nur Kraft direkt auf das Pulvern des Quarzes verwandt worden.

C. Arbeit der Zermalmung, nach den Experimenten an Gesteinen von Holyhead (Phil. Trans. 1862).

Härtestes Quarzgestein (spec. Gewicht: 2,656).

Quer zu den Gesteinsplatten mit 37,000 Pfd. p. □Z. zermalm.

Parallel zu den Gesteinsplatten „ 20,000 „

2) 57,000 „

Mittel 28,500 Pfd.

Auf einen Kub.-Fuss. macht das:

$$144 \times 28,500 = 4104000 \text{ Pfd.}$$

und wenn wir annehmen, dass der ganze Würfel zu Pulver zermalm und seitlich zerstreut wurde, würde die Fallhöhe 1' betragen, wir haben dann als Arbeit der Zermalmung von 1 Kubikfuss

$$= 4104000 \times 1 = 4104000 \text{ Pfd.}$$

und dividirt durch J

$$\frac{4104000}{772} = 5316^{\circ}06 \text{ Fahr. in einem Pfund Wasser.}$$

Gleichwohl bleibt dieses Resultat unter der Wirklichkeit, da das Quarzgestein nicht vollkommen zu Pulver zermalm wurde.

Anmerkungen des Uebersetzers.

1. In Bezug auf den wohl erkennbaren Zusammenhang der Erdbeben mit geotektonischen Bruch- oder Erhebungslinien dürfte hier auf die Resultate zweier Erdbebenarbeiten der allerneuesten Zeit aufmerksam gemacht werden. Die eine ist die Abhandlung von E. Suess: »Erdbeben im südlichen Italien«. (Sitz. Ber. der Acad. der Wissensch. Wien, November 1873.) Auf Grundlage der ziemlich ausgiebigen Erdbebenstatistik über Süd-Italien, deren Daten allerdings wohl nicht in allen Fällen die volle Zuversicht verdienen dürften, die ihnen Suess zuzuwenden scheint, glaubt er drei Arten von Erdbebenerschütterungen annehmen zu dürfen. 1) Solche, die ihr Centrum in einem Vulkane haben, die vorzüglich den Fuss des Vulkanes erschüttern, einer Eruption vorangehen oder dieselbe beglei-

ten, auch wohl bei besonderer Intensität über eine grössere Fläche sich fortpflanzen: Eruptivstösse. 2) Solche, die zwar auch in einem Vulkane ihren Ursprung haben, von diesem aber nach bestimmten Linien wie einzelne Strahlen ausgesendet werden: Radialstösse. 3) Solche, die ihr Centrum nicht in einem Vulkane haben, die als peripherische Stösse bezeichnet werden. Für die zweite Art von Stössen erscheint mir allerdings der exakte Beweis nicht erbracht, da die hierfür herangezogenen Daten, bei der Schwierigkeit der wirklich richtigen Wahrnehmung der Stossrichtung doch wohl viel zu vereinzelt sind, als dass sie eine solche Annahme, die der theoretischen Annahme der Wellenbewegung bei Erdbeben zudem nicht entspricht, begründen sollte. Die grösste Erschütterungslinie, die Suess erkennt, ist eine peripherische, er nennt sie calabrische Linie oder peripherische Linie der Liparen. Sie läuft vom Nordrande der älteren Gesteine zwischen dem Monte Cocuzzo und der Sila herab, folgt dann genau dem inneren Bruchrande des Aspromonte, setzt bei Ali nach Sicilien über und scheint sich vom Aetna über Bronte nach Palermo fortzusetzen.

In Bezug auf den Zusammenhang von Vulkanen und Erdbeben kommt er dann zu folgenden Resultaten. Die ganze Vulkankette des mittleren Italiens umfasst sowohl noch thätige Vulkane, heute auch noch Centren von Erdbeben z. B. Vesuv und Aetna, weiter Vulkane, die noch Erdbeben, aber äusserst selten wahre Eruptiverscheinungen zeigen z. B. das Albaner Gebirge, ferner scheinbar ganz erloschene Vulkane, so die Rocca Monfina, endlich habituelle Stosspunkte von Erdbeben, an denen aber noch nie Ausbrucherscheinungen beobachtet wurden, z. B. der Monte Casino. Diese abwechselnde Vertheilung zeigt allerdings, dass alles nur die Abstufungen einer und derselben Naturerscheinung sind. Daher liegen nun auch Vulkane und Erdbeben gemeinsam an solchen Stellen von tektonischer Bedeutung und mag man die Ursache in Verschiebungen oder Senkungen suchen, darauf legt Suess ein besonderes Gewicht, dass nicht nur die süditalischen, sondern nun auch die Erdbeben von Niederösterreich mit nachweisbaren Bruchlinien oder mit Scheidelinien im Baue der Gebirge zusammenfallen.

Fast zu gleichen Resultaten ist der Uebersetzer in seiner Arbeit: »Das Erdbeben von Herzogenrath« (Bonn bei Cohen 1874) gekommen. Das Centrum dieses Erdbebens ist mit aller Sicherheit ermittelt, es liegt über grossen Verwerfungsspalten, die auch als tektonische Bruchlinien gelten müssen. Hier treten in dem Gebiete dieser Linie auch die warmen Quellen von Aachen auf, eine Coincidenz, die allerdings nach den in der vorliegenden Arbeit entwickelten Grundsätzen, natürlich, ja sogar nothwendig erscheint.

In Bezug auf diesen Zusammenhang zwischen der Linie der

Gebirgserhebung und den verschiedensten Aeusserungen plutonischen Charakters, erläutert auch Stoppani in seinem Corso di Geologia S. 471 ff. die Verhältnisse in Italien. Die Regelmässigkeit, mit der die Reihe der Vulkane von Norden beginnend bis zu der südlichen Insel Pantellaria westlich der Appenninen-Kette folgt und wie sie von Gasemanationen und heissen Quellen begleitet ist, darf als bekannt gelten. Weniger bekannt dürfte es sein, dass Stoppani auch eine solche zona marivigliosa di manifestazioni secondarie auf der entgegengesetzten Seite des Appennin erkannt hat, wo unzählige Mineralquellen, Salsen, Schlammvulkane, brennende Petrolquellen u. dergl. Erscheinungen in langer Linie, immer dem Fusse des Gebirges folgend, sich aneinanderreihen, bis zu den Schlammvulkanen der Macaluba von Xirbi und von Terrapilata.

2. Als bestes Beispiel, dass in der That nahe bei einander gelegene vulkanische Schlote auch nicht das geringste Zeichen eines innern Zusammenhanges erkennen lassen, kann wohl das auch von Dana, in seiner neuen Auflage des Manuel of Geology, angeführte Beispiel des Kilauea gelten. Dana sagt hierüber S. 701: »Kilauea auf den Abhängen des Mount Loa ist einer der gewaltigsten Kratere der Erde; und doch kommen aus dem Gipfel des letzteren Kegels, also 10,000 Fuss über der Höhe des Kilauea so intensive Eruptionen vor, dass die Lava 25—50 engl. Meilen weit fliesst, ohne dass in dem unteren Krater auch nur das Zeichen einer Mitleidenschaft bemerkbar würde. Wären die beiden Kratere zusammenhängend, so müsste die Flüssigkeit in dem einen Heberarme 10000 Fuss höher stehen, als in dem andern.«

3. Es erscheint nicht uninteressant die hier von Mallet ausgesprochenen Ansichten mit denen zu vergleichen, wie sie von hervorragenden Vertretern der mechanischen Geologie ausgesprochen werden. Dana sagt in seinem Manuel of Geology 2. Auflage S. 684: »Es ist noch eine offene Frage, ob im Innern der Erde Schmelzhitze herrscht, ob das ganze Innere oder nur ein Theil geschmolzen ist, oder ob im Innern nur isolirte Becken von flüssigen Gesteinen vorhanden sind und wie dick, wenn der Kern schmelzflüssig ist, wohl die Kruste sei. Der wahrscheinlichste Schluss aus den bisheran vorliegenden Thatsachen ist der, dass die Rinde nicht über 100 Meilen Dicke besitze.« Pfaff in seiner Allg. Geologie S. 43 scheint sich der Ansicht zuzuwenden, dass im Innern der Erde ein fester Kern vorhanden sei, indem man es wohl als wahrscheinlich bezeichnen könne, dass bei einem Drucke, der das specifische Gewicht der Gesteine auf mehr als das Dreifache erhöht, der flüssige Zustand kaum erhalten bleiben kann. Das haben auch Prevost und Faye schon früher ausgesprochen; auch nach ihnen besteht die Erde nur aus einer Kugelschaale, die von einer festen Rinde bedeckt ist und einen festen, kugelförmigen Kern besitzt. Den Resultaten Hopkins' legt

Pfaff keine besondere Bedeutung bei, weil dieser von der nicht wahrscheinlichen Annahme ausgeht, dass die Erde bis in's Centrum flüssig sei und ferner auch ein Verhältniss nicht mit in Betracht gezogen hat, welches durch die wichtigen Untersuchungen Zöllner's im höchsten Grade wahrscheinlich wird, nämlich, dass in der flüssigen Erdmasse regelmässige Strömungen stattfinden müssen, ähnlich den Meeresströmungen. (Zöllner: Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus.) Solche Strömungen müssen dann aber auf die Nutation und Präcession ebenfalls von Einfluss sein.

Mit Bezug auf den Einfluss des Druckes auf die Schmelzbarkeit hat übrigens gleichfalls Hopkins schon bemerkt, dass die tieferen Schichten der Erde in Folge des ungeheuren Druckes der aufliegenden Massen, eine viel höhere Temperatur bedürfen würden, um zu schmelzen, als die an der Oberfläche befindlichen Schichten. Auch daraus schliesst er, dass die feste Kruste der Erde eine weit grössere Dicke haben müsse, als diese sich unter der Voraussetzung, dass der Schmelzpunkt der äusseren und der inneren Schichten derselbe sei, berechnen würde (Tyndall Wärme S. 137).

Besonders muss hier auch der neuesten geothermischen Tiefenbeobachtungen gedacht werden, die mit grosser Sorgfalt von Herrn Bergrath Dunker an dem jetzt tiefsten Bohrloche der Welt zu Sperenberg bei Berlin (Zeitsch. f. d. ges. Nat. 1872 Oktoberheft) angestellt worden sind und welche, soweit man daraus irgend bestimmte Folgerungen auf die Dicke der Erdrinde ziehen will, keinenfalls, wie das auch schon von Dr. Brauns (dslbe. Zeitschrift 1874 Juni) hervorgehoben wurde, auf eine verhältnissmässig dünne Kruste schliessen lassen. Nach Dunker würde sich im Gegentheil ergeben, dass schon bei 7000 Fuss Tiefe keine Zunahme mehr stattfindet, und die Temperatur überhaupt nur 40° betrage, so dass selbst bei einer etwas von Brauns corrigirten Annahme doch nur die Tiefe von 10000' als Anfang der constanten Temperatur mit etwa 57° angenommen werden kann. Jedoch muss in Bezug auf die Dunker'schen Resultate bemerkt werden, dass die von ihm benutzte Gleichung, die lediglich eine Interpolationsgleichung ist, absolut keinen mathematisch gesicherten Schluss gestattet, soweit es sich um Werthe handelt, die ausserhalb der Reihe liegen, also für grössere Tiefen wie 4000'; diese Gleichung kann nur dazu dienen, um innerhalb dieser Tiefe für irgend welche Punkte die Temperaturen zu erhalten und zu corrigiren. Auf speculative Schlüsse, die sich an die Dunker'sche Formel anlehnen, ist also durchaus gar kein Gewicht zu legen.

4. Wenngleich die Tiefe des Sitzes vulkanischer Wirkung nicht in unmittelbarem Zusammenhange mit der Dicke der festen Erdrinde steht, wenigstens theoretisch nicht und dann vor allem nicht, wenn man der Annahme isolirter Lavenbecken, wie sie in der vorliegenden Arbeit mehrfach angeführt und wohl nicht mit Unrecht

bestritten wird, Gültigkeit zuerkennen will, möchte der Uebersetzer doch hier eines Versuches gedenken, der gemacht worden ist, um die mögliche Tiefe des Sitzes der explosiven, vorzüglich durch die expansiven Kräfte des Wasserdampfes getragenen vulkanischen Thätigkeit zu berechnen. Ein solcher Versuch ist von Pfaff in seiner Geologie S. 142 und 216 gemacht worden. Pfaff geht von der allerdings als begründet anzusehenden Annahme aus, dass die Theilnahme des Wasserdampfes eine *conditio sine qua non* der eruptiven Thätigkeit sei. Nun stellt er unter Zugrundelegung der Regnault'schen Formel für die Spannkraft des Wasserdampfes den Satz auf: »dass in keiner Tiefe das Wasser unter dem Drucke der bis an die Erdoberfläche reichenden Wassersäule zum Sieden kommen kann, dass also flüssiges Wasser bis auf den heissflüssigen Kern der Erde gelangen kann. Das folgert sich nach ihm leicht aus einer nach der Regnault'schen Formel berechneten Tabelle, wonach z. B. bei 20,000' Tiefe und einer hier vorausgesetzten Temperatur von 200° C. der Druck der Wassersäule = 600 Athm., die Spannkraft aber nur 15.3 Athm. ist, also keine Dampfbildung stattfinden kann u. s. fort bei 200,000' Tiefe und einer hier vorausgesetzten Temperatur von 2000° C. ist der Druck = 6000 Athm. die Expansionskraft = 2403 Athm. Nun ergibt sich nach der Regnault'schen Formel 2400 Athm. als mögliches Maximum der Spannkraft, also kann in keiner grösseren Tiefe Dampfbildung möglich werden. Diesen letzten Theil der Schlüsse glaube ich durchaus als unbegründet ansehen zu müssen. Schon das gegen die theoretisch unzweifelhaft wahrscheinliche Annahme einer unbegrenzten Steigerung der Expansionskraft überhitzter Wasserdämpfe erfolgende Eintreten eines maximalen Grenzwertes zeigt, dass eben die Regnault'sche Formel für so hohe Temperaturen gar keine Gültigkeit mehr hat, die ihr als empirische Formel überhaupt nur innerhalb der nicht viel über 200° hinausgehenden Beobachtungsreihe zukommt. Darüber hinaus ist sie nur in sehr engen Grenzen mehr brauchbar. Andere Formeln, so z. B. die von Arago und Dulong aufgestellten [vergl. auch die von dem sog. Artizan Club in dessen Werk über Dampfmaschinen mitgetheilten (Phys. Lexic. von Marbach!, Artikel Dampf S. 140)] kennen auch solche Grenzwerte nicht. Durch eine Vergleichung wird der Werth dieser Formeln für so hohe Temperaturen ja sehr fraglich erscheinen, immerhin aber sind diese letzteren theoretisch für hohe Werthe wahrscheinlicher. Die angewendete Dulong'sche Formel heisst:

$$e = (1 + 0,007153 (t-100))^5$$

wo e die Spannung und t die Temperatur bezeichnet.

Tiefe in Fuss.	Vorausgesetzte		Spannung nach	
	Temperatur in ° Cels.	Druck in Athmosph.	Regnault.	Dulong.
10,000	100	300	1	1
20,000	200	600	15,3	20
100,000	1000	3000	1877	11057
200,000	2000	6000	2403	463721

Zunächst zeigt die Vergleichung, dass nach der Dulong'schen Formel die Zunahme der Spannkraft ganz ungeheuer, was theoretisch viel wahrscheinlicher ist, als die Zunahme nach der Regnault'schen Formel; darin stimmen auch die beiden Formeln: Dulong und A. Club überein. Hiernach stellt sich nun das Resultat schon ganz anders, denn schon bei der Tiefe von 100,000' ist dann die Grenze weit überschritten, wo Spannkraft und Druck im Gleichgewichte stehen, wo also Dampfbildung eintreten wird. Hiernach hat also der obige von Pfaff aufgestellte Satz keine Gültigkeit mehr. Die Annahme der Temperaturen in den entsprechenden Tiefen ist nun aber zweifellos viel zu hoch, denn darüber kann wohl kaum Zweifel mehr obwalten, dass die Zunahme der Temperatur nach der Tiefe einer abnehmenden Progression folgt. Nehmen wir einmal an, die Temperatur von 2000° sei erst in einer Tiefe von 200 geogr. Meilen erreicht, also die Erdrinde habe diese Dicke. Einer solchen Tiefe entspricht ein Druck von 156250 Atmosphären, also auch unter dieser Annahme immerhin noch lange nicht hoch genug, um der Spannkraft nach Dulong das Gleichgewicht zu halten, resp. die Dampfbildung zu verhindern. Berechnen lässt sich ja nun auch für die aus der Dulong'schen Formel herleitbaren Spannkraft die Grenze wohl, über der keine Dampfbildung möglich ist, allein auch auf diese Zahlen würde kein grösseres Gewicht gelegt werden können, da eben die Formeln für hohe Temperaturen ganz unzuverlässig sind. Selbst wenn den aus ihnen hergeleiteten Zahlen aber auch einiger Werth zuerkannt werden dürfte, müssten die Resultate dennoch durchaus ohne Bedeutung bleiben, da die Annahme der jeder Tiefenstufe entsprechenden Temperatur durchaus willkürlich ist und in keiner exakten Weise bestimmbar erscheint. Auf geologische Folgerungen, die also aus dem Satze gemacht werden könnten, das Wasser könne im flüssigen Zustande bis zum Erdmittelpunkte dringen, müssen wir verzichten, da dieser Satz unrichtig oder wenigstens noch nicht erweisbar ist. Und in gleicher Weise ist also auch die von Pfaff unter Zugrundelegung dieser Methode berechnete Tiefe von $3\frac{1}{3}$ — $1\frac{1}{3}$ geogr. M. über der überhaupt erst Dampfbildung möglich und unter die also der Sitz vulkanischer Eruptionen nicht wohl hinunter gehen kann, kaum als richtig oder bedeutungsvoll anzusehen. Nur das Eine ergibt sich allerdings aus diesen Betrachtungen, dass an irgend einer Stelle, die zu berechnen uns noch nicht möglich ist, diese Grenze

liegen wird und dass oberhalb dieser Stelle die Dampfbildung mit einer der höheren Temperatur entsprechenden, wie das die obigen Zahlen zeigen, ganz ungeheuren Expansionskraft vor sich gehen muss, eine Kraft, die uns wohl ausreichend erscheinen kann, die gewaltigen, explosiven Erscheinungen der Vulkane zu veranlassen, mag ihr Sitz nun tiefer oder weniger tief im Innern der Erde gelegen sein. Damit aber die erstarrte Rinde den gewaltigen Expansionswirkungen Widerstand zu leisten vermag, müssen wir derselben wohl auch eine gewisse Stärke zusprechen. Andererseits liegt aber auch der Schluss nahe, dass, da wir eigentlich nur an wenigen Stellen der Erde Wasserdampfexhalationen finden, deren Zahl nach der Annahme der Möglichkeit von Dampfbildung im Innern der Erde grösser erwartet werden dürfte, wohl doch Wasser bis zum Mittelpunkte der Erde dringen kann, dass aber der Grund dafür nicht in den von Pfaff herangezogenen Verhältnissen liege, sondern darin, dass die Temperatur nach dem Innern unter ganz anderen Verhältnissen zunehme, als wir bis heran angenommen und dass die feste Erdrinde vielleicht eine bis nahe zum Mittelpunkt reichende Stärke hat, wenn überhaupt noch ein flüssiger Kern übrig geblieben. Und durch diese Betrachtung schliesst sich der Inhalt dieser Anmerkung nahe an das im § 16 des Originals gesagte an.

5. Dana sagt in seinem Manuel über die durch Contraction bewirkte Spannung, dass dieselbe sich mit einem Prinz Rupert's Tropfen (Glasthräne oder Bologneser Kolben) vergleichen lasse. Bei diesen ist gleichfalls der Druck der einzelnen Theilchen gegen einander durch die innere Contraction so gross, dass das Abbrechen einer Spitze oder auch nur das Ritzen mit einer scharfen Spitze hinreicht, um ein explosives Zerstieben zu bewirken. Auch der austrocknende Apfel ist ein vortreffliches Beispiel. In diesem Falle ist das Aeussere biegsam und faltet sich daher übereinander, wenn der innere Theil zusammenschrumpft, die Falten bedecken die ganze Oberfläche gleichmässig, wenn man nicht einige Stellen durch Harz schützte, dann aber zeigen sich die stärksten Falten um die Grenzen solcher geschützten Stellen. Solche Ungleichheiten der Dicke und Textur mögen auch auf der Erde vorkommen und daher sind auch an ihr die Wirkungen von Contraction ungleich an verschiedenen Stellen. Die Richtung aber, in welcher dieser Druck in der Kruste wirkt, ist nahezu horizontal (tangential), indem die Contraction einen Druck oder eine Spannung zwischen je zwei aneinandergrenzenden Theilchen schafft, und wo immer die Rinde unter dieser Spannung nachgiebt, müssen einzelne Theile sich abwärts bewegen und andere als secundäre Wirkung aufwärts gedrückt werden und zwar durch den seitlichen Druck der einsinkenden Theile. Spaltung folgt auf Spaltung, und so erhebt sich ein Theil über den andern, oder Faltung folgt auf Faltung in parallelen Reihen, oder

Spaltung und Faltung treten zugleich ein. Die natürliche Stellung der Axen der Faltung ist die Normale zu der Richtung des Druckes. Wenn aber die Kraft nicht gleichmässig ist und in der einen oder andern Stelle stärker wirkt, dann müssen auch die Faltungen nach Zahl, Höhe und Stellung variiren und so entstehen in den Faltungsaxen, sowie in den Linien grösster Wirkung in einem gefalteten Gebiete Curvenlinien. Hierfür führt Dana einige Beispiele an S. 719 ff.

In der neuesten Zeit sind allerdings diese Fragen in mehreren Abhandlungen in dem Geological Magazine zur Sprache gekommen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, von denen aber die Arbeit von O. Fisher, on the formation of Mountains 1873. No. 108. S. 248 und No. 116. S. 60 (1874) besonderes Interesse verdient. Ebenfalls on the formation of Mountains ist eine Abhandlung von F. W. Hutton 1874. S. 22. Dr. C. Ricketts schreibt in dieser Zeitschrift 1873 Mai, S. 202: on faults, fissures and contortions, und Clifton Ward 1873. Juni S. 245: on Rock fissuring, und endlich Poulett Scrope: on the Theory of the shrinking nucleus of the globe 1873. No. 109. S. 291.

6. Dass die Zunahme der Wärme in einem und demselben Bohrloche nicht gleichmässig erfolgt, dass also die geothermische Tiefenstufe in einer und derselben Vertikallinie variirt, zeigen auch die von Dunker gewonnenen Zahlenwerthe sehr bestimmt.

7. Die Unregelmässigkeit und Gleichmässigkeit der Festlands-umrisse auf der Erde lässt eine gewisse Gesetzmässigkeit nicht verkennen, die mit der Entwicklung der gesammten Gestaltung der Erde in Zusammenhang zu bringen sein dürfte. Dana spricht das Gesetz des ganzen Systems der Oberflächengestaltung der Continente in den zwei Punkten aus: 1) Die Continente haben erhabene, gebirgige Ränder und ein tiefes, beckenartiges Innere. 2) Die höchsten Ränder der Continente sind dem grössten Oceane zugekehrt. Und indem er die Bruchlinien der Erdrinde, die im Wesentlichen den Grenzen zwischen Festland und Ocean entsprechen, ins Auge fasst, findet er: 1) Zwei Richtungssysteme herrschen auf der Erdoberfläche für die Bruchlinien vor, ein nordwestliches und ein nordöstliches, die einander durchschneiden. 2) Dieselben sprechen sich in der Richtung der Inselketten und den Umrissen und Reliefformen der Continente aus. 3) Die mittlere Richtung der beiden Züge ist nordnordöstlich und westnordwestlich. 4) Weite Abweichungen in Curvenlinien kommen vor. 5) Wie aber auch diese Abweichungen sind, dort, wo zwei Systeme sich begegnen, schneiden sie sich unter fast rechten Winkeln. Auf solche Gesetzmässigkeiten in den Umrissen der Continente geht eines näheren auch O. Peschel ein in seinen Problemen der vergleichenden Erdkunde: Kap. 5, 6 und 7. Eingehender hat die Gesetze der Bildung der Festlandsformen auch

Dohrn in einem eigenen Werke besprochen, wo er auch experimentell die Gesetze der Spaltenbildungen an trocknenden und erstarrten Körpern und den Einfluss der Erdrotation auf dieselben darzuthun versucht, worauf hierdurch verwiesen werden soll.

8. Es ist von Interesse hier die Ansichten zu vergleichen, die Suess in seiner Arbeit »über den Bau der italienischen Halbinsel« ausspricht, Sitzungb. d. k. k. Akad. d. Wissensch. LXV. Bd. März 1872, die sich dahin zusammenfassen lassen, dass er die Bruchlinie der italienischen Gebirge auch als Hauptlinie der calabrischen Erdbeben und der vulkanischen Eruptionsspalten ansieht. Vergl. auch das in Anm. 1 Gesagte.

9. Pfaff entwickelt in seiner »Geologie« Kap. 10 ähnliche Ansichten, wie die von Belli ausgeführten, wenn auch in anderer Weise und muss hier besonders auf die von ihm gegebene Darstellung S. 191 ff. verwiesen werden.

10. Zur Vergleichung der vom Verfasser angeführten und durch eigene Versuche erhaltenen Werthe für die Widerstandsfähigkeit von Gesteinen wurde vom Uebersetzer Poncelet's Introduction à la mécanique industrielle 3. Aufl. 1870 consultirt. Derselbe führt nach Besprechung der Methoden und möglichen Fehlerquellen auf S. 331 u. f. eine Reihe von Gesteinen auf, aus denen folgende herausgegriffen werden: Die Belastung, die zur vollständigen Zermalmung von Gesteinswürfeln nöthig war, ist in Kilogrammes auf den □ Centimeter berechnet: Basalt = 2000, Porphyr = 2470, Granit 620—700, Lava vom Vesuv = 590, harter rother Sandstein = 870, flandrischer Marmor = 790, harter Kalk von Givry = 310, blauer Kalk von Metz = 300, oolithischer Kalk = 106, lithographischer Kalk = 285.

11. Die hier vom Verfasser ausgesprochene Voraussetzung, dass ein grosser Theil der vulkanischen Auswurfsmassen nicht wirklich geschmolzen, sondern nur erhitzt worden sei, wie er das besonders von den vulkanischen Aschen und andern Auswürflingen anzunehmen scheint, ist wohl doch nicht zutreffend. Die mikroskopische Untersuchung vulkanischer Aschen, wie sie von dem Uebersetzer an Aschen der Auvergne und auch von Zirkel und Vogel-sang an Aschen anderer Vulkane ausgeführt wurde, hat gezeigt, dass dieselben zum grossen Theile aus glasigen, also nur aus dem Schmelzflusse erstarrten Theilchen bestehen, deren Bildung dieselbe Temperatur voraussetzt, wie die zur Lavenbildung nöthige, die nur durch gewaltsames, plötzliches Zerstieben so zerkleinert wurden. Keinenfalls dürfen dieselben lediglich als zermalmte, gepulverte Gesteinsmassen gelten, die dann nur mehr erhitzt, aber nicht mehr eingeschmolzen wurden und in Bezug auf diesen Punkt bedürfen die Berechnungen des Verfassers wohl jedenfalls einer Korrektur, wenn gleich dadurch das Gesamtergebniss derselben nicht geändert wird.

12. Nach J. F. Schmidt's sorgsamem Messungen (Vulkanstudien 1874. S. 229) sind die Neigungen am Vesuvkegel: Nordseite von Neapel aus = $29^{\circ}87$, Südseite = $30,08^{\circ}$; Nordseite von Pompeji aus = $32^{\circ}65$, Südseite = $28^{\circ}78$, Nordostseite von Camaldoli aus $27^{\circ}95$, Südwestseite = $29^{\circ}75$; Nordseite des oberen neuen Eruptionskegels (1870) = $29^{\circ}38$.

13. Nach Junghuhn's Berechnungen (Java, sein Bau u. s. w. S. 80 und S. 827) waren die durch die Eruptionen des Temboro auf Sumbava 1815 und die Eruption des Gunung Guntur auf Java 1843 in wenigen Stunden ausgeworfenen Aschenmengen ganz ungeheuer. Nach approximativer eher zu niedriger, als zu hoher Schätzung betrug die bei der ersteren Eruption gelieferte Aschenmenge 9 Million Mal eine Million Kubikfuss, 3mal so viel Volumen wie der Mont-Blanc und 185mal so viel wie der Vesuv hat. Der G. Guntur warf bei seiner Eruption 330 Millionen Centner oder 2644 Millionen Kubikfuss aus, etwa der 9te Theil seiner gesammten Masse. Nach Palasca's Schätzung (Schmidt, Vulkanstudien S. 133) war das Volumen des Georgshügels auf Santorin, der am 30. Januar 1846 aus dem Seegrund aufstieg, schon am 16. Februar desselben Jahres 1,838000 Kubikmeter, sonach betrug die tägliche Zunahme = 108118 Kubikmeter. Nach einer weiteren von Schmidt selbst angestellten Berechnung betrug der Flächeninhalt sämtlicher Neubildungen auf Santorin (nur über See) bis Januar 1868: 13,644732 engl. □ Fuss, oder wenn man die Durchschnittsdicke der Lavaschicht nur zu 200' annimmt, so ergiebt sich seit 1866 die tägliche Zunahme des Volumens = 2,860,000 engl. Kubikfuss.

14. Es erscheint keinswegs ganz unwahrscheinlich, dass auch für die an der Oberfläche als feste Körper verbreiteten Gesteine unter dem hohen Drucke der aufliegenden Massen der Uebergang in den flüssigen Zustand bei hoher Temperatur im Innern der Erde entweder viel später, in grösserer Tiefe erfolge oder überhaupt nicht mehr möglich wird. Damit würde dann allerdings theoretisch auch eine Grenzzone möglich erscheinen, wo Temperatur und Druckverhältniss so geregelt wären, dass diese Zone als flüssige Schale zwischen festem Kerne und fester Rinde in der Mitte läge. Auch hier sind aber auch nur approximative Rechnungen ganz unausführbar, um etwa die mögliche Tiefe solcher Zwischenzone zu finden. Vergleiche Anmerk. 4.

15. Auch aus den in der Arbeit von Suess, die in der ersten dieser Anmerkungen angeführt wird, gegebenen Erörterungen über die Lage der Erdbebencentren geht ganz bestimmt hervor, dass dieselben keinesfalls in einer grossen Tiefe gelegen haben können, da ganz bestimmte Richtungen der Erdbebenwellen erkannt wurden, was nur möglich erscheint bei einer nicht viel von der horizontalen abweichenden Lage der Erschütterungsradien.

16. Die Ansicht, dass auf die Zusammensetzung vieler Laven die Natur der von ihnen durchbrochenen und zum Theil auch wieder eingeschmolzenen verschiedenartigsten Gesteine von Einfluss sein dürfte, hat der Uebersetzer für die vulkanischen Gesteine der Auvergne ebenfalls schon ausgesprochen in seinen: Petrographischen Studien an den vulk. Gesteinen der Auv. I (N. Jahrb. f. Min. 1870 S. 713 ff.), worauf hierdurch verwiesen wird.

17. In Bezug auf die Anordnung vulkanischer Thätigkeit längs der Linien der grossen Gebirgsketten erscheint allerdings die Theorie des Verfassers nicht so ohne Schwierigkeit anwendbar. Die grösste Wirkung der Zermalmung sollte eigentlich nicht so sehr in den Linien des geringsten Widerstandes liegen, als vielmehr in der Mitte der hohen Theile der Erdrinde, wo ein Nachgeben gegen tangentialen Druck nicht möglich und daher auch eine Faltung und Aufstauung nicht geschehen ist, wo aber gerade deshalb der höchste Zermalmungseffekt und daher auch die höchste Menge umgesetzter Wärme erwartet werden sollte. Vielleicht findet der Verfasser Gelegenheit, seine Ansicht über diesen Punkt noch auszusprechen.

18. Hier muss besonders an die Ansichten über die Natur der Sonnenprotuberanzen erinnert werden, sowie an Zöllner's Theorie von den Sonnenflecken. Beide setzen eine Reihe von vulkanischen Erscheinungen voraus, wenngleich dieselben ihrer Grossartigkeit nach kaum mit denen unserer Erde verglichen werden können. Sind die Sonnenflecke erstarrte Lavaschollen, so sind die Protuberanzen heftige Gaseruptionen, welche aus dem Innern der Sonne hervorbrechend die Photosphäre zerreißen und endlich auch die Chromosphäre durchdringen und deren Wasserstoff zu ganz gewaltigen Höhen empor-schleudern, daher Wasserstoffspectrum, sowie die Linien einiger aus der Photosphäre mitgerissenen Körper: Natrium, Barium, Eisen, Nickel, Magnesium, die Sonnenspektren der Protuberanzen auszeichnen. Die gewaltige Grösse dieser Kräfte kann man sich vorstellen, wenn man bedenkt, dass einige Protuberanzen in wenigen Minuten bis zu der Höhe von 100000 Meilen emporstiegen. Mit Recht sagt daher der Verfasser, dass das vulkanische Aeusserungen von einer erschreckenden Grossartigkeit seien.

19. Es mag zum Schlusse noch auf einen Artikel im Geological Magazine 1874 Januar aufmerksam gemacht werden, in dem Poulett Scrope der Theorie Mallet's entgegentritt, sowie auf Mallet's Entgegnung hierauf im Märzhefte derselben Zeitschrift.

Berichtigungen

zu dem Aufsatz von Prof. Ketteler.

Seite 17, Zeile 14 von oben lies: »Gränzwirkung B«.

S. 17, Z. 15 v. o. lies: »dieser« statt »der«.

S. 78, Z. 5 v. u. lies: $\frac{q}{p}$ statt $\frac{p}{q}$.

S. 84, Z. 7 v. u. lies: $\cos \varphi$ resp. $\sin \varphi$.

S. 94, Z. 12 v. u. lies: dass in ihnen die lebendigen Kräfte der Körper- und Aethertheilchen eines neutralen Mittels etc.

S. 100, Z. 10 v. o. ergänze die Anmerkung:

1) Entwickelt man z. B. Gleichung 160 in eine nach Potenzen von $\sin \mathcal{A}$ fortschreitende Reihe, so erhält man:

$$\nu^2 - 1 = \frac{m' D_0'^2}{m D_0^2} \left(1 - \sin^2 \mathcal{A} \frac{\nu^2 + \cos 2e}{\nu^2 - \sin^2 e} + \dots \right),$$

folglich für kleinere \mathcal{A}_0 :

$$\nu^2 - 1 = \frac{m' D_0'^2}{m D_0^2} \left(1 - \sin^2 \mathcal{A}_0 \frac{n^2 + \cos 2e}{n^2 - \sin^2 e} e^{-2f^2 x} \right).$$

S. 101, Z. 18 v. o. schalte ein: Innerhalb derselben geht zugleich — entsprechend dem Ansteigen von p und ν^2 — allmählig ein immer grösserer Antheil der von aussen gegebenen lebendigen Kraft von den Aethertheilchen auf die Körpertheilchen über.

S. 113 u. figde. Der dort besprochene Umschlag der Polarisation zu beiden Seiten der Mittellinie ist nur scheinbar. Geht man nämlich auf die physikalische Bedeutung von b als Function von $\chi' - \chi$ zurück, so erhält man für letztere Differenz zufolge Gl. 157:

$$\text{tang}^2(\chi' - \chi) = \frac{n_m^2 \sqrt{4D - \left(1 + D - \frac{\lambda^2}{\lambda_m^2}\right)^2}}{2(n_m^2 - 1) - n_m^2 \left(1 + D - \frac{\lambda^2}{\lambda_m^2}\right)}$$

oder für kleine D einfacher:

$$\text{tang}^2(\chi' - \chi) = \pm \frac{n_m^2 - n_0^2}{n_m^2 - 1} \sqrt{\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_m - \lambda_0}}.$$

Offenbar zeigt so $\chi' - \chi$ von Null (für $\lambda = \lambda''_0$, $n_m > n_0''$) bis zu einem auf der Mittellinie ($\lambda = \lambda_m$) selbst liegenden Maximalwerth an, um rechts von derselben (für $\lambda = \lambda'_0$, $n_m < n'_0$) wiederum auf Null zurückzusinken. Und ist dasselbe hierdurch in seiner Abhängigkeit

von der Wellenlänge festgestellt, so geben die Gl. 158, 159, 161 diejenigen Vorzeichen von q , b , d , die bei der Bestimmung des Sinnes der elliptischen Polarisation in Betracht kommen. Diese letztere ist also innerhalb der ganzen Ausdehnung eines Absorptionsstreifens entweder nur positiv oder nur negativ.

Analoges gilt bezüglich des Coefficienten α . Das Auftreten negativer Mittel endlich würde an das auffällige von Lundquist im Roth beobachtete Verhalten des Fuchsins erinnern und wohl auf dieselbe Ursache zurückkommen.

S. 115, Z. 13 v. u. lies z. B.

$$- \sqrt{\left(\frac{\lambda'_0}{\lambda_m} - 1\right) \left(1 - \frac{\lambda''_0}{\lambda_m}\right)}.$$

S. 123, Z. 10 v. o. liess: »selbst soweit«.

Tabelle I. Allgemeine Resultate der Versuche über Arbeit und Wärme zermalnter Gesteine auf den Crew-Werken 1870.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Nr. des Versuchs.	Art des Gesteins.	Spec. Gewicht. Wasser = 1000 als Gew. d. Cub.-F.	Gewicht p. Cub.-Zoll und Cub.-Fuss. Sp. 3 × 62.4	Dimensionen der zermalnten Würfel. Höhe. Fläche.		Quadrat-Inhalt der Würfel-Fläche.	Gewicht p. Cub.-Zoll, bei dem die ersten Zeichen des Auseinanderweichens sich zeigten. Spalte 15	Mittler. Gew. p. Cub.-Zoll, bei dem die ersten Zeichen des Auseinanderweichens sich zeigten. Spalte 7	Zermalnungs-Gewicht per Cub.-Zoll. Sp. 17	Mittleres Zermalnungs-Gewicht per Cub.-Zoll. Sp. 9	Volumen der Würfel. Höhe × Fläche. Sp. 11	Mittleres Volumen von jedem Gestein. Sp. 11	Gewicht der zermalnten Würfel. Sp. 11 × Sp. 4	Mittleres Gewicht der Würfel jedes Gesteins. Sp. 13	Wirklicher Druck, bei dem das Auseinanderweichen anfing. Sp. 15	Mittl. wirkl. Druck, bei dem das Auseinanderweichen anfing. Sp. 15	Wirkl. Druck, bei dem die Würfel vollst. zermalmt werden. Sp. 17	Mittl. wirkl. Druck, bei dem d. Würfel vollständig zermalmt werden. Sp. 17	Vertikale Höhe der Druckbewegung. Sp. 19	Bei der Zermahlung geleistete Arbeit. Spalte 17 × Sp. 19	Mittlere geleistete Arbeit. Sp. 20	Gewicht grösserer Stücke, die beim Zermahlen fort-sprangen. Sp. 20	Gesamt-Arbeit zur Zermahlung des ganzen Würfels geleistet. Sp. 20 × Sp. 13 + 22	Mittlere Ge-samt-Arbeit. Sp. 20	Mittlere geleistete Arbeit auf Cub.-Zoll u. Cub.-Fuss reducirt. Sp. 24	Britische Wärme-meinheiten = der gesammten geleisteten Arbeit zur Zermahlung v. 1 C.-Z. u. 1 C.-F. v. jedem Gestein. Spalte 25	Spec. Wärme der Gesteine = 1,00. H = Sp. 26	Temperatur in einem Cub.-Fuss des Gesteins bewirkt durch Zermahlung. H = Sp. 4 × Sp. 27	Wasser von 32° in Dampf von 212° verwandelt in Cub.-Fuss und u. H = 62.45 × 1146	Vol. Eis von 32° zu Wasser von 32° geschmolz. durch eine Gesteins-einheit. H = 57.8 × 143	
			1000 als Gew. d. Cub.-F.	Zoll.	Zoll.	□-Zoll.	u	u	u	C.-Zoll.	C.-Zoll.	u	u	u	u	u	u	Fuss.	Fusspfund.	Fusspfund.	u	Fusspfund.	Fusspfund.	Fusspfund.	Mittlere Wärme = 2440° Fahr. per Cub.-Fuss 1493 u	Grad Fahr.		Cub.-Fuss.			
1	Oolith von Caen	2337	u	1.45	1.45 u. 1.40	2.030	2463.0	2955.6	2.9435	2.9435	0.2552	5000	0.0883	529.80	0.0858	317.57	0.0908	472.38	439.92	keine	wie in 20	wie in 21	148.130	2.27	0.284	8.004	0.0046 C.-F. 0.288 u	0.04008			
	Würfel A		0.0967	1.43	1.43 u. 1.47	2.102	952.3	1766.0	3.0060	2.9784	0.2606	2000	0.0858	317.57	0.0858	317.57	0.0908	472.38	439.92	keine	wie in 20	wie in 21	148.130	2.27	0.284	8.004	0.0046 C.-F. 0.288 u	0.04008			
	Würfel B		145.8288	1.44	1.44 u. 1.44	2.073	1445.5	2510.0	3.0060	2.9784	0.2606	2000	0.0858	317.57	0.0858	317.57	0.0908	472.38	439.92	keine	wie in 20	wie in 21	148.130	2.27	0.284	8.004	0.0046 C.-F. 0.288 u	0.04008			
	Würfel C																														
2	Portlandgestein	2462		1.47	1.50 u. 1.50	2.250	2400.0	5711.1	3.3075	3.2996	0.2920	5500	0.0950	1220.75	0.0958	1231.41	0.0950	1325.25	1259.13				381.603	5.5	0.265	20.98	0.0119 C.-F. 0.774 u	0.1033			
	Würfel A		0.0888	1.45	1.50 u. 1.50	2.250	3555.0	5711.1	3.2625	3.2996	0.2880	8000	0.0950	1231.41	0.0958	1231.41	0.0950	1325.25	1259.13				381.603	5.5	0.265	20.98	0.0119 C.-F. 0.774 u	0.1033			
	Würfel B		153.6288	1.46	1.50 u. 1.52	2.280	3459.0	6123.1	3.3288	3.2996	0.2939	7783	0.0950	1325.25	0.0950	1325.25	0.0950	1325.25	1259.13				659.409	984	0.265	20.98	0.0119 C.-F. 0.774 u	0.1033			
	Würfel C																														
3	Dolomit	2571		1.45	1.52 u. 1.47	2.234	3139.0	6502.0	3.2393	3.2149	0.3006	7000	0.0941	1365.32	0.0850	1155.75	0.0925	1900.87	1483.98				461.590	6.4	0.245	26.28	0.015 C.-F. 0.9 u	0.125			
	Würfel A		0.0928	1.44	1.51 u. 1.48	2.234	3811.0	6255.0	3.2292	3.2149	0.2996	8000	0.0950	1155.75	0.0850	1155.75	0.0925	1900.87	1483.98				461.590	6.4	0.245	26.28	0.015 C.-F. 0.9 u	0.125			
	Würfel B		160.4304	1.46	1.48 u. 1.47	2.175	4147.0	9470.0	3.1763	3.2149	0.2923	9000	0.0925	1900.87	0.0925	1900.87	0.0925	1900.87	1483.98				797.634	1033.2	0.245	26.28	0.015 C.-F. 0.9 u	0.125			
	Würfel C																														
4	Sandst. v. Bradford	2478		1.46	1.45 u. 1.48	2.146	9602.0	14486.0	3.1331	3.1447	0.2800	20000	0.0916	2839.60	0.0975	2603.25	0.0941	2980.16	2807.67	0.0868	0.0762	0.0829	4089.02	3566.45	3972.37	1279.469	19.3	0.215	86.13	0.04 C.-F. 2.5 u	0.346
	Würfel A		0.0894	1.46	1.48 u. 1.45	2.146	10420.0	12476.0	3.1331	3.1447	0.2800	22000	0.0975	2603.25	0.0975	2603.25	0.0941	2980.16	2807.67	0.0868	0.0762	0.0829	4089.02	3566.45	3972.37	1279.469	19.3	0.215	86.13	0.04 C.-F. 2.5 u	0.346
	Würfel B		154.6272	1.45	1.47 u. 1.48	2.102	12890.0	15071.0	3.0479	3.1447	0.2724	27050	0.0941	2980.16	0.0941	2980.16	0.0941	2980.16	2807.67	0.0868	0.0762	0.0829	4261.63	3972.37	2,210,922.432	2863.4	11.1	0.215	86.13	0.04 C.-F. 2.5 u	0.346
	Würfel C																														
5	Sandst. v. Ayre Hill	2408		1.47	1.47 u. 1.49	2.190	6872.0	7301.0	3.2197	3.1905	0.2997	15050	0.0975	1467.37	0.0908	1516.36	0.0916	1479.34	1487.69	0.1003	0.1107	0.1036	2274.43	2517.15	2386.17	748.214	11.1	0.233	47.79	0.0234 C.-F. 1.46 u	0.2026
	Würfel A		0.0869	1.45	1.50 u. 1.47	2.205	7590.0	7301.0	3.2197	3.1905	0.2997	15050	0.0975	1467.37	0.0908	1516.36	0.0916	1479.34	1487.69	0.1003	0.1107	0.1036	2274.43	2517.15	2386.17	748.214	11.1	0.233	47.79	0.0234 C.-F. 1.46 u	0.2026
	Würfel B		150.2592	1.45	1.48 u. 1.47	2.175	6192	7442.0	3.1546	3.1905	0.2741	15000	0.0916	1479.34	0.0916	1479.34	0.0916	1479.34	1487.69	0.1003	0.1107	0.1036	2366.94	2386.17	1,292,913.792	1674.7	11.1	0.233	47.79	0.0234 C.-F. 1.46 u	0.2026
	Würfel C																														
6	Sandstein v. Bramley Fall	2506		1.45	1.50 u. 1.53	2.295	5611.0	5611.0	3.3277	3.2977	0.2998	12850	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	1295.32	0.1003	0.0680		1913.36	1810.18	545.794	7.8	0.238	32.84	0.017 C.-F. 1.066 u	0.147	
	Würfel A		0.0904	1.43	1.48 u. 1.54	2.279	3634.0	5049.0	3.2592	3.3166	0.2956	8500	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	1295.32	0.1003	0.0680		1913.36	1810.18	545.794	7.8	0.238	32.84	0.017 C.-F. 1.066 u	0.147	
	Würfel B		156.3744	1.45	1.49 u. 1.53	2.279	5903.0	5903.0	3.3055	3.3166	0.2978	13400	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	0.0991	1273.43	1295.32	0.1003	0.0680		1913.36	1810.18	943,132.204	1221.6	0.238	32.84	0.017 C.-F. 1.066 u	0.147	
	Würfel C																														
7	Marmor v. Devonshire	2717		1.47	1.52 u. 1.49	2.264	11505.0	17210.0	3.3292	3.2780	0.3265	26000	0.0991	3854.49	0.0975	2998.61	0.0966	3395.97	3416.36	0.1135	0.1588	0.1223	5897.37	5905.66	5779.49	1763.1157	23.2	0.203	114.679	0.055 C.-F. 3.44 u	0.477
	Würfel A		0.0981	1.47	1.48 u. 1.51	2.234	11748.0	13791.0	3.2351	3.2780	0.3222	26000	0.0975	2998.61	0.0975	2998.61	0.0966	3395.97	3416.36	0.1135	0.1588	0.1223	5905.66	5905.66	5779.49	1763.1157	23.2	0.203	114.679	0.055 C.-F. 3.44 u	0.477
	Würfel B		169.5408	1.47	1.49 u. 1.47	2.190	11872.0	16052.0	3.2197	3.2780	0.3158	26000	0.0966	3395.97	0.0966	3395.97	0.0966	3395.97	3416.36	0.1135	0.1588	0.1223	5897.37	5905.66	5779.49	1763.1157	23.2	0.203	114.679	0.055 C.-F. 3.44 u	0.477
	Würfel C																														
8	Conway-Schiefer	2733		1.43	1.50 u. 1.52	2.280	8407.0	12234.0	3.2604	3.1935	0.3214	19000	0.0633	1765.75	0.0800	1965.72	0.0791	2423.14	2051.87	keine	0.2179	0.2083	5998.49	7947.93	6973.21	2206.643	28.9	0.218	132.85	0.07 C.-F. 4.3 u	0.596
	Würfel A		0.0986	1.43	1.50 u. 1.51	2.265	8407.0	10877.0	3.2842	3.1601	0.3238	19000	0.0633	1765.75	0.0800	1965.72	0.0791	2423.14	2051.87	keine	0.2179	0.2083	5998.49	7947.93	6973.21	2206.643	28.9	0.218	132.85	0.07 C.-F. 4.3 u	0.596
	Würfel B		170.5392	1.43	1.42 u. 1.49	2.116	11129.0	14519.0	3.0361	3.1601	0.2993	23484	0.0791	2423.14	0.0791	2423.14	0.0791	2423.14	2051.87	keine	0.2083	0.2083	5998.49	7947.93	6973.21	3,813,079.104	4939.2	0.218	132.85	0.07 C.-F. 4.3 u	0.596
	Würfel C																														
9	Bangor-Schiefer	2859		1.44	1.49 u. 1.53	2.279	18512.0	22944.0	3.2827	3.2726	0.3387	42000	0.0783	4079.03	0.0900	4079.03	0.0900	4079.03	3438.34	0.1571	keine		7686.99	2311.205	28.4	0.201	144.29	0.071 C.-F. 4.51 u	0.613		
	Würfel A		0.1032	1.45	1.48 u. 1.52	2.249	18512.0	22944.0	3.2827	3.2726	0.3387	42000	0.0783	4079.03	0.0900	4079.03	0.0900	4079.03	3438.34	0.1571	keine		7686.99	2311.205	28.4	0.201	144.29	0.071 C.-F. 4.51 u	0.613		
	Würfel B		178.4016	1.47	1.51 u. 1.48	2.230	12509.0	13934.0	3.2851	3.2726	0																				