Im Innern der Kurve wäre das Existenzgebiet der festen kristallisierten Phase. Um dieses Gebiet herum, be-

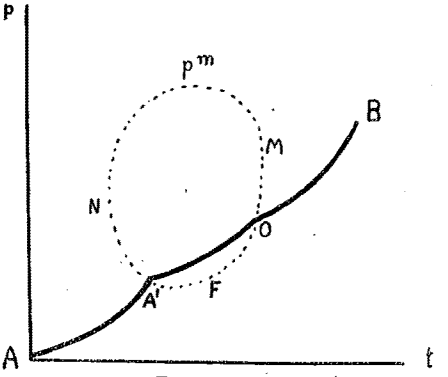


Fig. 5

grenzt durch die Linien AA' OB wäre das Existenzgebiet der flüssigen Phase. In dem Raum A' O F A' wäre die Existenz der festen Phase labil. Unterhalb AA'FOB wäre das Gebiet des Dampfes A' O ist die Dampfdruckkurve des festen Körpers; O B ist die Fortsetzung von AA', der Dampfdruckkurve des flüssigen Körpers.

Es würde demnach wie eine maximale Schmelztemperatur so auch ein maximaler Schmelzdruck bestehen, P^m. Von diesem Punkte an würde die Schmelzwärme negativ sein, Druck und Temperatur zugleich mit einander sinken (Kürventeil P^m N). Von N bis F würde die Temperatur wieder steigen, der Druck aber noch sinken; von F bis M würden Druck und Temperatur steigen.

Dr. Gustav Faber.

Ueber Vulkanismus.

Einiges aus dem Kursus über allgemeine Geologie, gehalten in den Sitzungen der geologischen Section,

von *M. Lucius.*

(Fortsetzung.)

Auf diese Weise lässt sich die oberste Temperaturgrenze also experimentel feststellen. Es sind nun bis heute zwar

keine experimentelle Bestimmungen über die kritische Temperaturen der Metalle gemacht, aber die Werte lassen sich indess auch theoretisch festlegen und da finden wir für Eisen 5200°, für Platin 7000°. Es müsste die obere Temperaturgrenze also unter der kritischen Temperatur von Platin bleiben. Es gilt nun die niedrigste Grenze zu bestimmen. Da aus dem Erdinnern die Vulkane die flüssige Lava zu Tage fördern, muss die Temperatur jedenfalls höher sein als der höchste Schmelzpunkt irgend einer der heutigen Laven. Wenn die Laven aus dem Erdinnern hervorbrechen, enthalten sie schon Kristalle welche sich im Vulkanherd gebildet haben. Diese im Innern der Erde gebildeten Kristalle, in der Gesteinskunde als intratellurische Einsprenglinge bezeichnet, sind also zu einer Zeit gebildet worden, als die schmelzflüssige Lava noch in der Tiefe der Erde eingeschlossen war. Da diese Kristalle hier bestehen konnten, musste also die Temperatur dieser Laven tiefer liegen als die Schmelztemperatur des Minerals bei den gegebenen Bedingungen war. Wie hernach dargetan werden soll, kommen die Laven nicht direkt aus dem Erdinnern, sondern aus sogenannten peripherischen Herden. Dann ist es klar, dass die Laven bereits einen Teil ihrer Wärmemenge auf dem Wege zu ihrem peripherischen Herd und von da zur Oberfläche verloren haben. Mit Berücksichtigung dieser Umstände hat man die untere Temperaturgrenze auf mindestens 2000° geschätzt, so dass die Erdwärme zwischen 2000—7000° schwanken mag.

Von den Ansichten über den Ursprung der Erdwärme ist bis dahin diejenige als die beste zu bezeichnen, welche annimmt, dass diese Wärme ein Rest der ursprünglichen Ballungswärme sei, welcher Ursprung also eine direkte Folgerung der Kant-Laplace'schen Theorie ist, von welcher man heute sagen kann, dass alles, was zu Gunsten dieser Theorie spricht, so vorteilhaft gegen einzelne sich ergebende Schwierigkeiten hervortritt, dass sie in der Wissenschaft fast zu allgemeiner Geltung gelangt ist. Man ist ja so leicht geneigt, die Schwächen der Kant-Laplace'schen Theorie aufzubauschen, aber in neuerer Zeit hat diese Theorie eine solche Neugestaltung erfahren, dass einige Hauptschwierigkeiten gänzlich gehoben sind. Der Theorie Laplace kann man als langzeitige Erscheinung nicht durch ein direktes Experiment beikommen, die bekannten Versuche Plateau's sind kein eigentlicher Beweis für ihre Richtigkeit, sondern nur eine Demonstration wie die Sache sich gestalten konnte; sie überzeugen deshalb auch nur den, welcher die Theorie bereits angenommen hat.

Alle andern Versuche aber, den Ursprung der Erde zu erklären, haben neben dem Für auch ein Wider, keiner aber leistet was die Laplace'sche Theorie geleistet hat; ausserdem, dass sie die Beziehungen unsers Planeten zu den übrigen Himmelskörpern, den Vulkanismus und die Gebirgsbildung am besten erklärt, hat sie als Arbeitshypothese in der Geologie unschätzbare Dienste geleistet; sie trägt in Wirklichkeit die Fundamente der modernen Geologie, während alle andern Erklärungsversuche nur zu fruchtlosen Spekulationen geführt haben.

Bei dem Versuch eine untere und obere Temperaturgrenze für das Erdinnere festzulegen, wurde angenommen, die zentralen Massen seien fest; es muss aber betont werden, dass in diesem Punkte grosse Meinungsverschiedenheit herrscht, wenn auch in der jüngsten Zeit eine Einigung in Aussicht steht. Alle Aggregatzustände, fest, flüssig oder gasförmig, sind für die zentralen Massen angenommen und mit mehr oder weniger Eifer und Geschick verteidigt worden. Für einen gasförmigen Zustand tritt unter andern S. Günther in seiner sog. Kontinuitätshypothese ein, wobei natürlich vorausgesetzt wird, dass alle Uebergänge von totaler Starrheit bis zur vollständigen Dissoziation vorhanden sind. Günther unterscheidet nun sieben Zonen, welche nicht streng von einander getrennt sind, sondern allmählich in einander übergehen. Zu oberst die feste Erdkruste; sie ist völlig starr, reagiert jedoch auf äussere Einwirkungen in sehr beschränktem Maße plastisch (vergl. hiermit die von Heim angenommene plastische, bruchlose Umformung von Gestein beim Gebirgsdruck); dann folgt die Zone der latenten Plastizität; sie besitzt das Vermögen den Druck mehr oder weniger gleichmässig fortzupflanzen, (auch Wichert nimmt unter dem starren Gesteinsmantel eine plastische Zone an, auf deren Existenz er aus dem Verhalten der Erdbebenwellen schliesst); die dritte Zone ist die der Zähflüssigkeit, dann kommt eine Zone der gewöhnlichen Flüssigkeit; da nun die Temperatur so zugenommen hat, dass sie die Druckerhöhung überwiegt, so befinden sich die verschiedenen Körper in Gasform, dies ist die Zone der gewöhnlichen Gase. Es folgt jetzt die Zone der überkritischen Gase. Die Gase sind wegen der noch stets zunehmenden Temperatur in überkritischem Zustand. Trotz des ungeheuern Druckes kann der Sättigungszustand nicht erreicht werden; die Gase können deshalb nicht in Flüssigkeit zurückgeführt werden oder gar verfestigt werden. Aber die Gase sind durch den hier herrschenden Druck auf ein so kleines Volumen

reduziert, dass sie sich tatsächlich wie eine starre Masse verhalten. Da die kritische Temperatur aber nicht für alle Gase gleich ist, so bestehen neben den Substanzen in überkritischem Zustande auch solche, für welche dieser Zustand noch nicht erreicht ist, so dass noch jedes Gas seine Sonderexistenz besitzt. Im zentralen Teil endlich muss es zum Zerfall der Molekel kommen, und diese Zone besteht in engerem Sinne aus einem einatomigen Gase.

Der erste wissenschaftliche Begründer der Hypothese, das Innere der Erde sei gasförmig, ist Ritter, (Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf kosmologische Probleme, 1879) und auf ihn stützt sich auch Günther. Ritter geht aber von der Voraussetzung aus, dass das Mariotte-Gay-Lussac'sche Gesetz, welches besagt, dass für alle Gase das Produkt aus Druck und Volumen der absoluten Temperatur proportional ist,*) selbst bei den höchsten Drucken und Temperaturen noch Giltigkeit habe. Nun zeigen sich an diesem Gesetz schon bei den uns zu Gebote stehenden Temperaturen und Drucken Abweichungen, so dass die Anwendung für die im Erdinnern herrschenden Drucke und Temperatur höchst wahrscheinlich nicht statthaft ist.

Ritter berechnet eine zentrale Dichte von 3.91 × mittlere Dichte, einen Druck im Zentrum von 31 560 Millionen kg. und eine Temperatur 103 400°. Bei dieser Temperatur würden sich alle Stoffe in überkritischem Zustand befinden und könnten selbst durch den hier herrschenden ungeheuern Druck nicht verflüssigt werden. Aber wegen dieses Druckes würden die einzelnen Gasteilchen so zusammengedrückt, dass tatsächlich jede freie Beweglichkeit der Teilchen aufhören muss, so dass die Masse sich wie ein starrer Körper verhält, trotzdem sie tatsächlich ein Gas ist. Aber die Existenz einer solchen Gasmasse und solch hoher Temperaturen bereitet Schwierigkeiten, auf die schon zum Teil eingegangen wurde. Dass die Temperatur nachträglich so hohe Werte erlangt habe durch Kontraktion der Rinde, kann nicht angenommen werden, denn sonst müsste die Erde immer wärmer werden, was doch allen geologischen Tatsachen widerspricht; der Erde ist vielmehr eine gewisse Wärmemenge bei ihrer Loslösung von der Sonne mitgegeben worden, die sich durch Ausstrahlung

*) Das Gay-Lussac'sche Gesetz sagt: Alle Gase dehnen sich bei der Erwärmung unter gleichbleibendem Druck gleichstark aus und zwar für jeden Grad C um $^1/_{273}$ ihres Rauminhaltes bei 0°.

Das Gesetz von Mariotte heisst: Der Druck den eine gegebene Gasmenge ausübt, steht in umgekehrtem Verhältnis zu ihrem Rauminhalt.

in den kalten Weltraum stets mindert, schnell in den Urepochen ihrer Sonderexistenz, langsam heute wo ein Gesteinsmantel als schlechter Leiter den heissen Kern umgibt, aber die Wärmeabgabe erfolgt doch stetig. Ferner kann eine solche Wärme als Rest der ursprünglichen Ballungswärme nicht bestehen. Logischerweise schliessen wir aus der Laplace'schen Theorie, dass die Erde, welche ursprünglich ein Gasball war, bei der Kontraktion der Gasmassen zu Dämpfen und Flüssigkeiten gewaltige Wärmemengen erzeugte; wegen der in den Gasen auftretenden Strömungen muss die Temperatur nun aber überall eine ziemlich gleichmässige gewesen sein. Bei einer Temperatur aber wie Ritter sie annimmt, hätte es nie zu einer Kondensation in den äussern Teilen und zur Bildung einer Kruste kommen können, da in diesem Falle die Gase überall in überkritischem Zustand gewesen wären und eine Verwandlung der Gase in Flüssigkeiten nur dann eintreten kann, wenn die Temperatur für die betreffenden Drucke unter der kritischen liegt.

Es haben nun aber die Mathematiker, Physiker und Astronomen aus der Präzession und Nutation, aus dem Verlauf der Gezeiten, aus der Abplattung der Erde berechnet, dass die Erde sich wie ein vollständig starrer Körper verhalten müsste; doch sind diese Berechnungen nicht unangefochten geblieben und um dann auch diesen Einwänden Rechnung zu tragen, hat Günther seine Meinung dahin formuliert dass, „mag auch im Erdinnern eine Vielzahl verschiedener Molekularzustände obwalten, man sich doch eine Anordnung der einzelnen Stoffe denken kann, welche in mechanischer Beziehung den Erdkörper so gut wie starr und homogen erscheinen lassen.“ Deshalb spricht auch Zöppritz von einem gasähnlichen Zustand, weil die Masse erst dann wie ein Gas reagiert wenn der Druck nachlässt. Das scheint jedoch jedenfalls aus den Beobachtungen der kosmischen Physik hervorzugehen, dass sich die Erde äusseren Einflüssen gegenüber wie ein sehr unnachgiebiger Körper verhält und sich nicht aus einem flüssigen Innern, umgeben von einer dünnen Kruste, zusammensetzen kann. Aber doch hat auch die Hypothese von einem flüssigen Erdinnern Anhänger. Falb hält an einem flüssigen Erdinnern fest, und die Erde besteht nach ihm aus einem flüssigen Kern und einer festen Kruste, wobei der flüssige Kern, der Anziehung von Mond und Sonne gehorchend, analoge Gezeiten hat wie das Meer auf der Erdoberfläche.

(Fortsetzung folgt.)