17

Neue Erkenntnisse der geophysikalischen Forschung.

Vortrag von Professor
Dr. Carl Figdor, gehalten
am 18. März 1947 im
Institut für Wissenschaft
und Kunst.

Ich möchte Ihnen an Hand eines geophysikalischen Beispiels einen Einblick in die geographische Problematik geben und dabei an die Ausführungen von Professor S ö l c h anschliessen. Er hatte schon erwähnt, dass wir es bei der Geographie mit einer räumlichen Betrachtungsweise zu tun haben. Eine Schwierigkeit besteht darin, dass die Gegenstände, mit denen es die Geographie zu tun hat, in ständiger Veränderung begriffen sind. Es ist ein wesentliches Moment der geographischen Betrachtung, dass wir den genetischen Sinn jeder Veränderung herausarbeiten. Schwierig wird die Betrachtung dadurch, dass wir es oft mit Serien- und Parallelentwicklungen zu tun haben, die bestimmte Formen auf der Erde in verschiedenem Tempo schaffen. Es gibt Befürworter einer akausalen Geographie, in der Praxis zeigt sich jedoch, dass wir einer kausalen Betrachtungsweise nicht auskommen. Wir sehen, dass die Kräfte, die heute wirken, immer am Werk waren. Andererseits müssen wir es ablehnen, irgendwelche Zufälligkeiten anzunehmen. Es ist klar, dass die Gestalt der Faltengebirge eine unendliche Fülle von Formen aufweist, die nach bestimmten Gesetzmässigkeiten verlangen. Bei der Betrachtung des Aufbaues der Erdrinde müssen wir stets die ganze Erdoberfläche im Auge behalten. Im folgenden soll der heutige Stand der Auffassung über den Erdaufbau dargelegt werden. Es ist mir allerdings nicht möglich, ein befriedigendes Bild zu entwerfen.

Die Auffassung, dass die Erde einmal einen feurig-flüssigen Tropfen darstellte und eine feste Erdkruste ausgebildet hat ist bei vielen Geologen heute noch nicht überwunden. Genau so verhält es sich mit der Kontraktionstheorie. Es kann als sicher gelten, dass die Auffassung, wonach die Erde einen Teil der Sonne darstellt, richtig ist. Doch bei der Gegenüberstellung der Sonnenmaterie zur Erdmaterie erkennt man gleich die ganze Problematik. Die Auffassung über die Sonnenmaterie hat sich in den letzten Jahren gründlich geändert. Nach der heutigen Auffassung besteht die Sonne zu 99,6 Atomprozenten aus Wasserstoff und Helium. Dazu kommen o,4% Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, sowie o,oo4% Silizium Magnesium und Eisen. Wenn aus dieser Materie die Erde gebildet wurde, so musste sie anfänglich ebenso zusammengesetzt sein. Wie baut sich die Erde heute auf ? Durch direkte Beobachtung (Bohrlöcher) ist uns die Erde bis zu 1 °/oo des Erdradius und durch vulkanische Auswürfe bis zu 1% desselben zugänglich. Die Zusammensetzung der äussersten Zone lautet wie folgt: es sind nicht weniger als 97,85 % dieser obersten Erdkruste, die

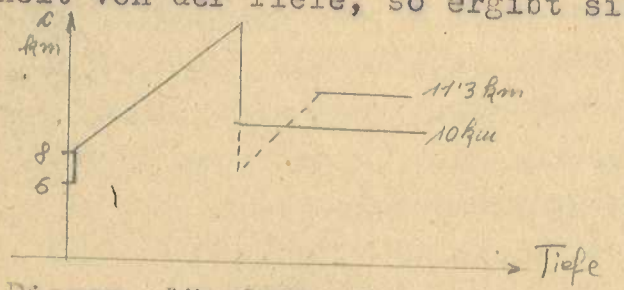
vor allem von 8 Elementen ausgemacht werden. Von diesen 8 Elementen nimmt Sauerstoff die Hälfte ein, Silizium 1/4 und dann folgende: Aluminium, Kalzium, Eisen, Natrium, Kalium und Magnesium. Die gesamte Atmosphäre berechnet sich mit o.o3%. Die lebenswichtigen Elemente Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff kommen zu o,88%, o,87% und o,o3% vor. Auf diese Gesteinsschicht wirken Kräfte von innen und aussen und bedingen ständige Umformung. Von diesen Gesteinen bestehen 58% aus Feldspaten. Der Rest wird von Silikalverbindungen gebildet. Man weiss, dass die Alkalien leicht in Lösung gehen, das neue aber ist, dass auch Feldspate, Kieselsäure und Aluminium sich aufzulösen vermögen. Wenn ich über den Erdbau näheres erfahren will, muss ich mich indirekter Verfahren bedienen. Man arbeitet hier mit gutem Erfolg mit dem Bavink'schen Prinzip: es wird versucht, von verschiedenen Seiten her zum selben Ergebnis zu gelangen. Eine besondere Bedeutung für die Erforschung des Erdinneren haben die Erdbeben erlangt. Seismographen liefern uns heute einen guten Einblick in das Erdinnere. Man ist imstande über die Berechnung der Masse auf die Dichte der Erde zu schliessen. Demnach beträgt die Dichte D= 5,52. Die vorhin genannten Gesteine haben aber erfahrungsgemäss eine viel geringere Dichte (2,6-3). Wir sehen daraus, dass das Erdinnere wesentlich schwerer sein muss. Zur Annahme eines schweren Erdkernes kommen wir aber auch durch das Studium der Erdbebenwellen. Aus der Verteilung der Erdbebenschatten (Zonen, die keine Erdbebenwellen empfangen) können wir aus einen schwereren Erdkern schliessen. Dieser verhält sich in unserem Fall wie eine Sammellinse. Aus der Veränderung der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen kann man auf die Elstizität des Erdkernes schliessen (gemäss der Formel : $c^2 = \frac{E}{\rho}$, wobei E einen Elastizitätsgrad und ρ die Dichte vorstellen). Wenn ich eine Geschwindigkeitszunahme im Erdinneren konstatiere, muss ich auch eine grössere Dichte annehmen. Aus der Dichtezunahme wiederum kann auf E geschlossen werden. Ferner kann der Elastizitätsgrad des Erdkernes aus den Gezeitenerscheinungen ermittelt werden.

Ueber die Gestalt der Erde gab es zahlreiche Diskussionen. Es ging darum, ob wir es mit einem zwei- oder dreiachsigen Ellipsoid zu tun hätten. Ich glaube, dass wir an einem zweiachsigen Ellipsoid festhalten müssen (nach den Messungen des holländischen Unterseebootes K 18 im indischen Ozean.) Man gibt die Abplattung der Erde durch die Bezeichnung $\frac{a-b}{a}$ an, worin a den Äquatorialradius und b den Polarradius darstellt. Dieser Quotient lautet 1/ 297.

Aus dem Atomzerfall wurde auf das Alter der Erde geschlossen. Man hat dieses Ergebnis mit den Berechnungen des Sonnen- und Milchstrassensystems verglichen. Hierbei gelangte man zu einer sehr wichtigen Auffassung. Für gewöhnlich ist man der Meinung, dass das Weltall sehr alt sei und sich irgendwann einmal die Milchstrasse, später die Sonne und schliesslich die Erde gebildet hätten. Diese Auffassung müssen wir

aufgeben und uns mit der Tatsache abfinden, dass das Alter der Erde, der Sonne, des Milchstrassensystems sowie des ganzen Fixsternhimmels für alle Glieder gleich ist. Dieses Alter ist von der Grössenordnung 3.10^9 Jahren. Wir wissen, dass mit dem Eindringen in die Erde die Temperatur je Kilometer um 30 Grad zunimmt. Bei der Berücksichtigung aller Temperatur- und Druckverhältnisse im Erdinneren kommen wir zu der Annahme, dass hier ungefähr 10 000 Grad Hitze herrschen müssen. Diese Zahl ist jedoch nicht unwidersprochen. Viele Forscher nehmen viel höhere Temperaturen und Drucke an, indem sie sich das Erdinnere im Zustand einer Nova denken (Dicht zusammengepresste Urmaterie). Wir wissen, dass Wärme der Schwingungszustand der Materie ist: diese Schwingungen erfolgen umso heftiger, je höher die Temperatur ist. Das Kristallgitter eines Eisenstückes wird mit zunehmender Erwärmung gelockert und die Materie geht in den flüssigen Aggregatzustand über. Bei weiterer Energiezufuhr werden sich die Moleküle von der Oberfläche losreissen und in den Raum verdunsten. Schliesslich wird ein Zustand erreicht werden, bei dem die Moleküle sich durch thermische Dissoziation in Ionen und Atome aufspalten. In diesem Zustand treten heftige chemische Reaktionen der Sonnen untereinander ein. Bei weiterer Erhitzung werden die Ionen und Atome durch thermische Ionisation in ihre Bestandteile gelöst. Dieser Zustand entspricht diesen 10 000 Grad, die im Erdinneren herrschen sollen. Diese Dämpfe sind leitfähig und senden durch Elektronensprünge Licht aus. Sie glühen und zeigen metallische Fähigkeiten. Wir haben es hier mit dem 4. Aggregatzustand der Materie zu tun, den man in der Geophysik Plasmazustand bezeichnet. Sollte sich das Erdinnere in einem solchen Zustand befinden, so ist mit ungeheueren Reaktionen und dauernden Strömungen an der Oberfläche zu rechnen. Bei noch höheren Temperaturen gehen auch die Atomkerne zugrunde, sodass gleichzeitig Kernreaktionen auftreten. Eine der Kernreaktionen besteht darin, dass sich aus Wasserstoffkernen Heliumkerne aufbauen. Dieser Vorgang ist exotern und lässt und verstehen, warum die Fixsterne nicht "verstrahlen". Wir müssen annehmen, dass die Wärme aus dem Erdinneren sich nach aussen wendet. Aus dieser Abkühlung hat man auf die Kontraktion der Erde geschlossen. Hierin hätten wir die Ursachen der gebirgsbildenden Kräfte zu erblicken. Bedeutet nun der Wärmegradient der Erde wirklich eine Abkühlung ? Die Berechnung lehrt uns, dass die abgegebene Wärmemenge, die nach aussen strömt $0,75 \cdot 10^{13}$ cal/sek beträgt. Diese Wärmemenge wäre imstande eine 7,4 mm starke Eisdecke, die über die Erde gespannt ist, in einem Jahr zu schmelzen. Sie kommt andererseits auch gleich einem Zweitausendstel dessen, was die Sonne der Erde an Energie liefert. Durch den Zerfall radioaktiver Substanzen (Wolfram, Thorium, Radium, Kalium) werden grosse Energiemengen frei. Die Wärme, die bei diesem Zerfall frei wird, berechnet sich zu $Q_r = 80.10^{13}$ cal/sek.

Das würde aber bedeuten, dass die Erde nicht kälter, sondern wärmer wird. Durch den radioaktiven Zerfall wird rund hundertmal mehr Wärme erzeugt als abgegeben. Es ist sicher, dass die radioaktiven Substanzen mit zunehmender Tiefe abnehmen. Wenn wir nun 85 % aller radioaktiven Substanzen in der äussersten Schicht konzentriert denken, ergebe die Berechnung noch immer einen 4-5fachen Betrag von Qr gegenüber der abgegebenen Wärme. Diese Tatsache entzieht jeder Kontraktionstheorie den Boden. Wir gelangen zum Schluß dass sich die Erde dauernd erwärmt und dabei auch ausdehnt. Wir müssen demnach die Formung der Erde nach anderen Gesichtspunkten betrachten, als wir dies bisher taten. Beobachten wir den Verlauf der Erdbebenwellen in Abhängigkeit von der Tiefe, so ergibt sich folgendes Bild:



Dieser plötzliche Sprung in der Kurve kann nur durch die plötzliche Veränderung in der Dichte erklärt werden.

Bei der Mehrzahl der heutigen Geologen wird eine Schichtenstruktur der Erde angenommen. Auf den schweren Eisenkern folge eine Sulfid und Oxydschicht und darauf eine basaltische Gesteinsschicht. Die Theorie hat durch die Beobachtungen der Schweizer Geophysiker Kuhn und Rittmann einen heftigeb Stoss bekommen. Sie zeigten folgende Überlegungen auf: wenn die Erde aus Solarmaterie entstanden ist, dann müsste der Wasserspiegel der Erde verpufft sein. Sie lehren uns, dass die 3.10^9 Jahre viel zu kurz seien, damit die ganze Menge des Wasserstoffs durch Diffusion aus der Erde herausgeführt werden könne. Ferner weisen beide darauf hin, dass ein Absinken der so schweren Massen nach unten bei der Zähigkeit der Massen im Erdinneren (bei einem Druck von 3.10^6 Atmosphären) und ein Emporsteigen der leichteren an die Oberfläche unmöglich wird. Diese Schlüsse und Berechnungen sind so eindeutig, dass wir die Anschauung von dem schweren Erdinneren mit den darüber lagernden Schalen aufgeben müssen. Die Ausdehnung der Erde hängt mit der allgemeinen Ausdehnung der Materie zusammen. Wir können durch die Rorverschiebung der Spektrallinien auf eine Entfernung der meisten Himmelskörper schliessen. Man muss annehmen, dass es keinen Zeitpunkt gab, in dem die ganze Materie geschlossen beisammen war und dass die Geburtsstunde der Welt darin bestand, dass diese Anhäufung der Materie explosionsartig auseinanderplatzte und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit von der Ursprungsstelle. Über die näheren Ursachen wissen wir allerdings nichts. Wir stehen

in astro- und

geophasikalischen Kenntnissen hinsichtlich des Fixsternhimmels dort, wo man zur Zeit des Ptolemäus hinsichtlich des Planetensystems gestanden ist. Es ist seltsam, wie viele neue Erkenntnisse die Gegenwart nach allen Richtungen aufweist und es ist wichtig, dass die geographische Wissenschaft mit dem Umbau der ganzen Naturwissenschaften Schritt hält. Wir stehen in einer ähnlichen Epoche wie zur Zeit der Renaissance, wo ein ganz neues Weltbild die Menschen erfasste.