

DIE
ENTSTEHUNG DER GEBIRGE

ERKLÄRT
NACH IHREN DYNAMISCHEN URSACHEN

VON
OTTO FREIHERRN VON PETRINÒ.

WIEN.
DRUCK UND VERLAG VON CARL GEROLD'S SOHN.
1879.

DIE
ENTSTEHUNG DER GEBIRGE

ERKLÄRT

NACH IHREN DYNAMISCHEN URSACHEN

VON

OTTO FREIHERRN VON PETRINÒ.

WIEN.

DRUCK UND VERLAG VON CARL GEROLD'S SOHN.

1879.

Vorwort.

Die vorliegende Schrift verdankt ihre Entstehung der Anregung durch das Buch von Prof. Ed. Suess »Ueber die Entstehung der Alpen«, und schliesst sich in gewissem Sinne unmittelbar an dasselbe an.

Während jedoch in dem erwähnten Buche die dynamischen Ursachen der Gebirgsbildung nicht auf bestimmte Kräfte zurückgeführt, sondern in mehr referirender Weise bloß die Gleichförmigkeiten in den Erscheinungen nachgewiesen werden, handelt es sich hier darum, jene physikalischen Kräfte im Einzelnen nachzuweisen, welche durch ihr Zusammenwirken den gegenwärtigen Zustand der Erdkruste herbeiführten.

Es ist nicht zu verkennen, dass bei einem Gegenstande wie der vorliegende, bei welchem weder an eine experimentelle Nachweisung, noch an eine unmittelbare Beobachtung der wirkenden Agentien gedacht werden kann, die aufgestellten Behauptungen vorläufig bloß den Werth von mehr oder minder wahrscheinlichen Hypothesen haben können. Ihre

IV

Erhärtung und Befestigung bis zu dem Grade einer allgemein angenommenen Theorie der tellurischen Erscheinungen wird davon abhängen, ob die aufgestellten Sätze bei näherer Prüfung und Anwendung auf alle einschlägigen Erscheinungen sich in der Zukunft ebenso ausreichend erweisen werden, wie dies bisher zu sein scheint.

Auf Seite der praktischen Geologen begegnet man häufig der Ansicht, dass der Zustand unserer positiven geologischen Erfahrungen noch nicht weit genug fortgeschritten sei, um die Gesetzmässigkeit der Erscheinungen durch allgemeine Sätze ausdrücken zu können, und findet in Folge dessen eine ablehnende Haltung gegenüber solchen einschlägigen Bestrebungen.

Wie irrthümlich diese Auffassung ist, ergibt sich schon daraus, dass selbst in dem Falle, als Hypothesen im Verlaufe fortgesetzter Untersuchung sich als unzureichend oder ganz falsch erweisen, schon die Nothwendigkeit der Prüfung ihrer Postulate an den Erscheinungen die Beobachtungen vielseitiger und vollständiger macht, und dadurch den Werth des Beobachtungsmateriales bedeutend erhöht.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der gegenwärtigen Schrift wird sich für die Geologen die Nothwendigkeit herausstellen, neben der bisher sehr ausgedehnten Pflege der Paläontologie und Petrographie

den mathematischen und physikalischen Disciplinen erhöhere Aufmerksamkeit zuzuwenden, weil die weitere Entwicklung der Wissenschaft dieses gebieterisch erfordert. Allerdings würden Chemiker und Physiker ihrerseits den Gegenstand bedeutend fördern, wenn es ihnen gelänge, die zahlreichen Lücken auszufüllen, welche bei näherem Eingehen auf die Probleme uns aller Orten entgentreten.

Ich habe es unterlassen, die benützten Schriften, mit sehr geringen Ausnahmen, im Texte anzuführen, weil mir ein namhafter Theil der Originalarbeiten bloß in Referaten zugänglich war, und ich mich deshalb darauf beschränken mußte, die verbreitetsten Ansichten zu erwähnen, ohne auch nur den Versuch zu machen, das Unzulängliche jeder einzelnen einmal ausgesprochenen Anschauung nachzuweisen.

Ebenso hielt ich es nicht für nothwendig, die zahlreichen geologischen Thatsachen, welche zur Exemplificirung der theoretischen Consequenzen dienen konnten anzuführen, weil sie Jedem, welcher sich mit dem Gegenstande beschäftigt, ohnehin geläufig sind, und das Buch dadurch unnöthiger Weise zu einem dicken Bande angeschwollen wäre.

Es hat sich mir wesentlich nur darum gehandelt, einen neuen Pfad möglichst genau anzudeuten, auf welchem das Ziel erreichbar zu sein scheint, und so übergebe ich denn diese Arbeit der Oeffentlichkeit mit der auf vorurtheilsloser Selbstkritik begründeten

VI

Hoffnung, dass in derselben eine Reihe wichtiger Wahrheiten ausgesprochen sei, und mit der Ueberzeugung, dass es der berufenen wissenschaftlichen Kritik gelingen werde, aus denselben für den weiteren Fortschritt und die Entwicklung der Erkenntniss in der Geologie wenigstens einigen Nutzen zu ziehen.

Schliesslich fühle ich mich gedrängt, meinen hiesigen Freunden, welche mich nicht nur zur Veröffentlichung dieser Schrift angeeifert, sondern dabei auch thatkräftigst unterstützt haben, meinen besten und innigsten Dank auszusprechen.

Czernowitz im März 1879.

O. v. Petrinò.

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung. Gegenstand. — Bisherige Ansichten. — Ausgangspunkt der Untersuchung	1
II. Die Laplace'sche Hypothese. — Abkühlungsverlauf und Erstarrung. — Kritik der Annahme eines feuerflüssigen Erdinneren	9
III. Verlauf der Abkühlung. — Anfangs gleichmässig über der ganzen Oberfläche, später örtlich verschieden. — Ursache der Bildung von Depressionen. — Widerlegung möglicher Einwendungen	22
IV. Polarmeere und Aequatorialland. — Wechsel zwischen Meer und Land. — Steigerung der Verticalunterschiede	29
V. Gleichgewichtszustand auf der Erdoberfläche. — Schwerkraft und Fliehkraft. — Tangentialkraft	39
VI. Bedingungen, unter welchen die Tangentialkraft in Wirksamkeit tritt. — Nothwendigkeit vollständiger Wasserbedeckung. — Folgeerscheinungen der Bewegung	45
VII. Hindernisse der Bewegung erzeugen Stauung. — Verwandlung der lebendigen Kraft in Wärme. — Der Zutritt von Wasser an die Stauungspunkte bedingt die vulcanischen Erscheinungen. — Die Erdbeben	51
VIII. Zusammenfassung und Schluss	64
Anmerkungen	72

I.

(Gegenstand. — Bisherige Ansichten. — Ausgangspunkt der Untersuchung.)

Der Gegenstand der nachfolgenden Untersuchung wird der Versuch sein, die mechanischen Ursachen der Gebirgsbildung nachzuweisen. Es werden demnach nur Fragen der Tektonik der Gebirge oder festen Theile der Erdoberfläche, welche andere Theile überragen, zur Besprechung gelangen; und weitere geologische Fragen bloß insofern berührt werden, als sie im allernächsten Zusammenhange mit dem eigentlichen Vorwurfe stehen.

Es sind bereits verschiedene Hypothesen aufgestellt worden, um die mechanischen Ursachen der Gebirgsbildung nachzuweisen; diese Lösungsversuche waren andere, je nach dem Stande unserer Kenntnisse über den Bau der Gebirge, und je nach der Ansicht über die innere Constitution unseres Planeten.

So lange man von der Ansicht ausging, die Erde besitze einen feuerflüssigen Kern und die starre Kruste sei nur von geringer Dicke, so war es der Auftrieb geschmolzener Gesteine innerhalb bestimmter Linien, den Gebirgsaxen, welcher die Gebirgsbildung veranlasste. Verwarf man jedoch einen feuerflüssigen

Erdkern, so sollen die durch chemische Prozesse bedingten Volumsvermehrungen die hebenden Kräfte gewesen sein. Endlich wurde in neuester Zeit behauptet, der gebirgsbildende Seitenschub sei entweder die secundäre Folge der abwärts gerichteten Bewegung einer sinkenden Scholle, oder die Wirkung einer über den ganzen Erdkreis verbreiteten zusammenziehenden Kraft.

Durch die verschiedenen Phasen hindurch, welche die wechselnden Ansichten der Gelehrten über das vorliegende wichtige kosmische Problem erkennen lassen, kann man, wie Professor Ed. Suess*) treffend bemerkt, Eines mit Bestimmtheit wahrnehmen, dass man fortschreitend es gelernt hat, die mit der Gebirgsbildung zusammenhängenden Erscheinungen »mit einem immer grösseren Massstabe zu messen«.

Der Mangel aber, welcher allen diesen Versuchen anhaftet, ist der fehlende Nachweis, dass der Verlauf der bekannten physikalischen Prozesse die beobachteten Erscheinungen zur nothwendigen Folge haben müsse, was das einzige Kennzeichen einer befriedigenden wissenschaftlichen Erklärung wäre. Zwar schliesst eine allmählig immer deutlicher hervortretende universalere Anschauung bei der Untersuchung wissenschaftlicher Fragen einen namhaften Fortschritt ein, es ist damit immer etwas gewonnen, aber durchaus nicht alles, insoferne man nämlich auf diesem Wege niemals mehr als eine vollständigere Classifi-

*) Ed. Suess, Die Entstehung der Alpen.

cation der beobachteten Thatsachen erreicht. Die vollständigste und umfassendste Classification ist jedoch nur eine Hilfsoperation des Denkens; sie kann die Lösung eines Problems, welches eine grosse Menge von Thatsachen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus zu erklären unternimmt, wesentlich erleichtern; sie ist aber nimmermehr die Lösung dieses Problems selbst. Diese letztere liegt vielmehr einzig und allein in dem Nachweise, dass die zu erklärenden Erscheinungen die Wirkungen bekannter Naturkräfte in ihrem naturgesetzlichen Verlaufe seien; oder mit anderen Worten, dass ihnen eine *vera causa* zu Grunde liege.

Es lässt sich unschwer begründen, dass die älteren Erklärungsversuche keine befriedigenden waren, sowohl jene unbestimmten Hypothesen von einer »Reaction des Erdinneren gegen seine Oberfläche«, wie jene bestimmteren von dem Empordringen eruptiver Massen längs der Gebirgsaxen, welche hebend und gleich einem Keile nach der Seite verschiebend sollen gewirkt haben.

Die Annahme, gewisse chemische Prozesse, bei denen Volumsvermehrung eintritt, wären die Ursache der Gebirgserhebung, hat keine genügende Erklärung dafür, warum solche gebirgsbildende chemische Prozesse nur an bestimmte Punkte gebunden sein sollen, warum sie nicht alle Erdschichten gleichmässig ergreifen, und wie die so wichtigen horizontalen Verschiebungen zu Stande kommen.

Aber auch die seither gemachten, d. i. neueren

Versuche, die Gebirgsbildung zu erklären, welche die durch seculäre Abkühlung eintretende Volumsverminderung des Erdkörpers, oder überhaupt mechanische Vorgänge zum Ausgangspunkte ihrer Ausführungen wählten, sind wenig erfolgreiche gewesen. Ihnen zufolge ist die faltende Kraft bald die »secundäre Folge benachbarter Senkungen«, bald soll der auf der Basis der Gebirgsketten lastende Druck die seitliche Verschiebung verursachen, bald endlich soll durch die Volumsverminderung des Erdkernes eine Contraction auch der äusseren Kruste, und als deren mittelbare Wirkung ein Emporfalten der Schichten entstehen.

Den vollständigsten dieser letzteren Erklärungsversuche verdankt man Prof. Ed. Suess, welcher ihn in dem angeführten Werke über die Alpen ausführlich entwickelt hat.

Die von Suess zum Ausgangspunkt gewählte, jedoch vervollständigte und mit einigen Modificationen versehene Hypothese stammt ursprünglich von Leconte, und setzt voraus, die Gebirgsketten seien »jene Linien, an welchen die Erdoberfläche einem aus der Contraction hervorgehenden horizontalen Drucke nachgegeben hat«, und nimmt als nothwendige Folge dieser Bewegung ein Aufschwellen der Masse, welches die Höhe der Gebirge bedingt, an.

Aus der Combination dieser supponirten zusammenziehenden Kraft mit der gegebenen Thatsache der Senkungsfelder, an deren Bruchrändern die Eruptivgesteine aus dem Erdinneren empordrangen; baut

Suess, unter Herbeiziehung einer Fülle von diese Anschauung stützenden Umständen, seine ebenso geistvolle als anregende Hypothese von der Entstehung der Kettengebirge auf.

Alle bisher aufgestellten wichtigeren Hypothesen lassen sich in zwei Abtheilungen bringen, jene älteren, welche aus dem aufwärts gerichteten Drucke empor-dringender flüssiger plutonischer oder vulcanischer Massen auch die seitliche Bewegung und Faltung ableiten zu können glaubten, und jene neueren, welche behaupten, »die Contraction ist eine über den ganzen Erdball vorhandene Kraft«, und mit Hilfe dieser Annahme alle im Gebirgsbaue zu Tage tretenden Erscheinungen zu erklären suchen.

Die älteren Anschauungen mussten verlassen werden, weil sie eine mechanische Unmöglichkeit zur wesentlichen Voraussetzung hatten, die Annahme nämlich, aufsteigende flüssige Stoffe könnten die Wirkungsweise eines Keiles ausüben, während doch bekanntlich der Seitendruck einer Flüssigkeitssäule der Höhe derselben direct proportional ist, und sich nur in sehr grossen Tiefen und immer nur gleichmässig nach allen Seiten hin äussern kann. Die beobachteten Thatsachen aber zeigen ein diesen Voraussetzungen direct widersprechendes Verhalten. Denn wo wir Faltung oder Verschiebung von Erdschichten beobachten können, finden wir ausnahmslos die höher gelegenen Schichtentheile seitlich mehr verschoben und viel bedeutender gestört, als die tiefer darunter liegenden. Auch ist die Verschiebung fast nie eine

nach beiden Seiten einer supponirten Gebirgsaxe symmetrisch angeordnete, sondern immer eine solche mit deutlich ausgesprochener Einseitigkeit, welche auf seitliche, einer einzigen Richtung angehörende Bewegungsimpulse hinweisen.

Die bereits angedeuteten neueren Ansichten, obwohl scheinbar der Wahrheit viel näher kommend, erweisen sich bei genauerer Prüfung ebenfalls als nicht fest begründet. Sie haben ihren Ausgangspunkt in der Voraussetzung, dass die fortschreitende Abkühlung des Erdkörpers eine Contraction seines Inneren zur Folge habe, und dass diese Volumsverminderung, welche nur den Erdkern betrifft, zu einer Faltung der sogenannten Lythosphäre führen müsse. Es wäre dies etwa ein ähnlicher Vorgang, wie er beim Trocknen einer saftigen runden Frucht zur Erscheinung kommt. Zwischen den Bedingungen, unter welchen die Zusammenziehung in diesem und in jenem Falle zur Wirksamkeit gelangt, besteht jedoch eine wesentliche Verschiedenheit. Der Erdkörper besitzt keine mit der Epidermis einer Frucht vergleichbare Kruste, auch besteht zwischen der Contraction der äusseren Theile der Erde und ihrem Inneren kein so unvermittelter Unterschied, wie zwischen dem saftigen und lockeren Zellgewebe einer Frucht und ihrer consistenten Oberhaut. Zusammenziehung des Inneren wird deshalb beim Erdkörper weder zu einer Faltung der Oberflächentheile, noch zu einer seitlichen Verschiebung derselben führen können.

Die Contraction durch Abkühlung wird sich nur

in der Bildung von Senkungsfeldern äussern können. Der in der Richtung des Mittelpunktes sinkende Theil einer Kugeloberfläche müsste allerdings, unter gewissen Voraussetzungen, an seiner Peripherie einen Seitenschub ausüben. Die sinkende Scholle müsste dabei jedoch absolut starr und unelastisch sein, und sie müsste in ihrer Gesammtheit um einen ziemlich bedeutenden Betrag sich nach abwärts bewegen, weil nur in diesen beiden Fällen ein merklicher Seitenschub hervorgebracht werden könnte. Es ist leicht einzusehen, dass diese beiden Bedingungen in Wirklichkeit nicht zutreffen, und dass der auf diesem Wege entstehende Longitudinaldruck sich durch Gesteinsumformung ausgleichen werde, ohne sich je bis zur Bildung von Falten und Ueberschiebungen zu steigern.

Ein weiterer Grund, weshalb horizontale Verschiebungen als unmittelbare Wirkungen der Abkühlung nicht angenommen werden können, liegt auch darin, dass die Oberflächenschichten ein Aggregat von Stoffen sind, welche nicht als ein zusammenhängender Körper betrachtet werden dürfen, und in ihrer unzusammenhängenden Beschaffenheit ungeeignet sein müssen, Bewegungen auf grössere Entfernungen fortzupflanzen, die nicht durch Stösse, bei denen die Elasticität eine Rolle spielt, übermittelt sind.

Nachdem in dem weiter Folgenden der Versuch gemacht werden soll, jene Naturkräfte im Einzelnen nachzuweisen, welche die wirkenden Ursachen der

Eigenbewegungen der Erdrinde sind, so entfällt die Nothwendigkeit, in eine weitläufige Kritik aller bisherigen Ansichten einzugehen; um so mehr, als für den Fall, als die zu entwickelnden Gründe sich als stichhältig erweisen sollten, alle anderen weniger gut begründeten Lehrmeinungen ohnehin als indirect widerlegt gelten können.

Als Ausgangspunkt und wesentliche Grundlage der beabsichtigten Darlegungen wird eine Darstellung des wahrscheinlichen gegenwärtigen Zustandes des Inneren unseres Planeten versucht werden, um daran die weitere Untersuchung anzuknüpfen, welchen Veränderungen der Erdkörper unter dem Einflusse der thatsächlich auf ihn einwirkenden Verhältnisse unterworfen sein dürfte.

II.

(Die Laplace'sche Hypothese als Ausgangspunkt. — Abkühlungsverlauf und Erstarrung. — Kritik der Annahme eines feuerflüssigen Erdinneren.)

Wenn man sich von dem Zustande des Erdinneren eine Vorstellung machen will, so muss man nothwendiger Weise von der Laplace'schen Hypothese ausgehen, welche annimmt, das Planetensystem sei durch allmälige Verdichtung des den Weltraum erfüllenden Stoffes entstanden.

Diese Hypothese hat sich bisher zur Erklärung aller kosmischen Erscheinungen im Grossen und Ganzen als ausreichend erwiesen, und es liegt kein Grund vor, einen anderen Ausgangspunkt zu wählen, der vielleicht den vollen Anschluss an diese allgemein anerkannte Theorie beeinträchtigen würde.

Nach dieser Theorie nehmen wir also an, der Erdball habe sich vor seiner Erstarrung zuerst in gasförmigem und dann in feuerflüssigem Zustande befunden.

Den Verlauf des Ueberganges aus dem einen in den anderen Zustand, d. i. aus dem gasförmigen in den tropfbarflüssigen, haben wir uns etwa so vorzustellen, dass sich durch Wärmestrahlung nach dem

Weltraume und dadurch hervorgebrachte Verdichtung, zunächst im Mittelpunkte des Gasballes ein Kern tropfbarflüssigen Stoffes äusserst hoher Temperatur ansammelte, welcher Kern bei andauernder Abkühlung und Verdichtung des Aeusseren durch fortgesetztes Niedersinken verflüssigter Stoffe peripherisch mehr und mehr zunahm, bis endlich der grösste Theil der vorher gasförmigen Materie in den tropfbaren Zustand übergegangen war.

Wie haben wir nun bei gleichbleibenden äusseren Einflüssen uns den weiteren Verlauf des Erstarrungsprocesses zu denken? Wird sich, wie bisher fast allgemein angenommen worden, auf der Oberfläche der flüssigen Sphäre eine feste Schale, eine Rinde oder Kruste bilden, bilden können?

Es ist wohl zweifellos, dass eine auch nur annähernd richtige Beantwortung dieser Fragen bloss unter Zuhilfenahme jener Andeutungen erfolgen kann, welche uns die Kenntnisse von dem chemischen und physikalischen Verhalten der verschiedenen Elemente, bei sinkenden Temperaturen und beim endlichen Eintritt der Erstarrung an die Hand geben.

Von diesem Gesichtspunkte aus wird man auf die gestellten Fragen, über die Möglichkeit der Bildung einer bleibenden starren Kruste von irgend welcher Dicke, mit einer unbedingten Verneinung antworten müssen, ungeachtet der bisherigen fast allgemein gegentheiligen Ansichten.

Innerhalb einer frei im Weltraume schwebenden feuerflüssigen Kugel müssen sich die in derselben

vorhandenen Stoffe nach ihrem Eigengewichte ordnen, so zwar, dass die dichtesten zunächst des Mittelpunktes, die weniger dichten gegen die Oberfläche hin, in concentrisch geordneten Kugelschichten gelagert sein werden.

Die äusserst hohe Temperatur, welche der flüssigen Kugel anfangs eigen sein musste, hat bis dahin die Bildung von chemischen Verbindungen unmöglich gemacht, es herrschte also vollkommene Dissociation aller Elemente.

Der Fortschritt der Abkühlung von der Oberfläche aus musste jedoch sehr bald diese symmetrische Anordnung der dissociirten Elemente stören, theils durch Entwicklung chemischer Processe, theils durch das Erzeugen von die flüssige Masse tief ergreifenden Strömungen.

Wir wollen diese Vorgänge nun wenigstens in den allgemeinsten Zügen verfolgen, so weit nämlich die mangelhaften Kenntnisse über das Verhalten der Mehrzahl der Stoffe bei so hohen Temperaturen, wie wir sie hier voraussetzen müssen, und die Mannigfaltigkeit und verwickelte Beschaffenheit der betreffenden Vorgänge es uns gestatten werden.

Als Bewegungsursachen, innerhalb der feuerflüssigen Masse, werden nachstehende physikalische und chemische Vorgänge betrachtet werden müssen: Die ungleiche Condensationstemperatur und ihr Verhältniss zum Schmelzpunkt der Körper; die durch die Temperaturdifferenzen der inneren und äusseren Schichten erzeugten und wieder zerstör-

ten Verbindungen, und endlich die durch die stärkere Abkühlung an den Polen hervorgerufene sinkende Strömung, der eine aufsteigende Gegenströmung folgen musste.

Von der Höhe derjenigen Temperatur, welche in jenem fernen Zeitpunkte herrschte, als die Condensation der gasförmigen Stoffe begann, können wir uns keine Vorstellung machen, auch können wir die Reihenfolge nicht angeben, in welcher die Elemente flüssige Gestalt annahmen; nur so viel steht fest, dass diejenigen Substanzen, welche die höchsten Temperaturen zur Schmelzung bedürfen, auch diejenigen sind, deren Verdunstung, beziehungsweise Condensationstemperaturen im Allgemeinen ebenfalls sehr hohe sind.

Es ist jedoch von jenen Stoffen her bekannt, die sich bei für uns messbaren Temperaturen verflüchtigen, dass ihre Schmelzpunkte bei gewöhnlichem Druck bald unmittelbar über der Verdunstungstemperatur, bald wieder sehr weit von derselben entfernt liegen. Wird sich nun in Folge dieser Eigenschaft der Stoffe ein specifisch schwererer Körper später niederschlagen als ein specifisch leichterer, so wird er in der flüssigen Masse der leichteren Substanzen niedersinken, und zwar bis zu jenem Punkte, an welchem eine seiner Schwere entsprechende Dichtigkeit herrscht. In den tieferen Regionen wird jedoch eine höhere Temperatur vorhanden sein, und da sich der sinkende Stoff soeben erst niederschlug, so wird dieselbe ihn sofort in den gasförmigen Zustand zurückversetzen und zum Wiederaufsteigen zwingen.

Diejenigen Stoffe, welche unserer Voraussetzung nach den innersten Kern des Erdballes umgeben, die specifisch schwersten, sind auch diejenigen, welche die geringste Affinität zu anderen Körpern besitzen, es werden deshalb die nachstehend zu schildernden chemischen Prozesse wahrscheinlich bloß die höheren Theile der flüssigen Sphäre berühren, aber dessenungeachtet dennoch eine ziemlich bedeutende Bewegung in derselben hervorrufen.

Wir haben die Lagerung der niedergeschlagenen Stoffe soeben in nach ihrem Gewichte geordneten Kugelschichten angenommen, und dabei die gegenseitige chemische Einwirkung der getrennten Elemente vollständig ausser Acht gelassen. Es war dies dadurch gerechtfertigt, dass bei den äusserst hohen Temperaturen, von denen wir ausgingen, unseren Erfahrungen gemäss eine vollständige Dissociation der Elemente platzgreifen musste, und jede chemische Action ausgeschlossen war.

Sobald jedoch die Temperatur fiel, so konnte die chemische Action auch in Wirksamkeit treten, und es werden sich zwischen einzelnen Kugelschichten neue Körper gebildet haben. Zusammengesetzte Körper sind meistens schwerer, als die Elemente, aus welchen sie hervorgegangen; wenn sich also zwischen benachbarten Schichten Verbindungen bildeten, so mussten diese in dem umgebenden Medium bis zu der Tiefe nach abwärts sinken, in welcher eine mit ihrer Schwere gleiche Dichtigkeit herrschte. Näher dem Mittelpunkte der Sphäre trafen dieselben jedoch

auf eine höhere Temperatur; unserer Voraussetzung nach wurden diese neuen Körper in der höchsten Temperatur gebildet, bei welcher chemische Vereinigung zulässig ist; kamen sie in noch höhere Temperaturen, so mussten sich die kaum geschlossenen Verbindungen lösen, und es stiegen die getrennten Elemente wieder an ihren Ausgangspunkt und wohl auch noch etwas darüber auf.

Einen noch weiteren tiefgreifenden Impuls zur Entwicklung von Strömungen innerhalb der feuerflüssigen Kugel, wird die ungleiche Abkühlung an der Oberfläche derselben abgeben. Die Wärmeausstrahlung an den Polen wird zu jener Zeit genau so wie noch jetzt eine bedeutendere gewesen sein als am Aequator; die kälteren Stoffe sind schwerer als die wärmeren, sie werden in Folge dessen nach abwärts sinken, um, nachdem sie ihre frühere Temperatur an der Innenwärme wiedergewonnen haben, als Gegenströmung am Aequator emporzusteigen.

Die abwärts gerichtete Bewegung weniger heisser Substanzen wird auch die früher angedeutete Bewegungsursache, die in der Entstehung neuer schwererer Körper besteht, einleiten, und dadurch die eigene Intensität wesentlich vermehren. Ebenso werden die aufsteigenden Ströme durch die dieselben begleitenden Verdunstungs- und Dissociations-Erscheinungen an Heftigkeit bedeutend gewinnen.

Wir müssen demnach annehmen, dass diese Bewegungen innerhalb der feuerflüssigen Kugel, welche im Beginne vielleicht nur geringe

Tiefen erreichten, je länger sie andauerten, immer tiefere Horizonte ergriffen und schliesslich den grösseren Theil der liquiden Masse in die Circulation hineinzogen.

Die geschilderten Vorgänge, die jenen ähnlich sind, welche wir gegenwärtig an der Sonne in ihrem äusseren Verlaufe beobachten können, werden allmählig eine verhältnissmässig gleiche Abkühlung der Gesamtmasse des Planeten hervorrufen müssen. Denn wenn auch der Wärmeverlust nur an der Oberfläche stattfindet, so wird derselbe doch sofort in die Tiefe getragen und aus dem dortigen Vorrathe wieder ersetzt, wobei zu beachten ist, dass in dem Stadium, welches der Erstarrung voranging, die Oberfläche aus ziemlich leicht schmelzbaren, d. i. bei vergleichsweise niedriger Temperatur flüssigen Silicaten bestand.

Endlich trat der Zeitpunkt ein, in welchem die Temperatur der an der Oberfläche angesammelten Verbindungen so weit gesunken war, dass die durch aufsteigende Ströme in die Höhe gebrachten Substanzen hoher Schmelzpunkte in dieser weniger heissen Zone erstarren mussten, um sodann in fester Gestalt dem absteigenden Strome folgend, nach den inneren Regionen zurückzukehren.

Wir müssen hier vorzüglich an nach aufwärts mitgerissene Metalle aus dem dichteren Inneren denken, welchen durch diesen Kreislauf zwischen Oberfläche und Mittelpunkt die Aufgabe zufällt, den Ueberschuss innerer Glut nach Aussen zu tragen.

Das Bild des geschilderten Vorganges dürfte sich dadurch noch vervollständigen, wenn man berücksichtigt, dass die Metalle im glühenden Zustande die Eigenschaft besitzen, sehr grosse Quantitäten von Gasen aufzusaugen, die sie bei noch höherer Temperatur und hohem Druck wieder freigeben. Es werden die an der Oberfläche erstarrten Metalle sich daselbst mit Gasen (besonders Wasserstoff) schwängern und, in den Kern zurückgekehrt, sich wieder derselben entledigen; die freigewordenen Gase müssen nun mit ungeheurer Geschwindigkeit emporringen, und dadurch nicht nur ein eruptionsartiges Aufwallen der feuerflüssigen Substanzen hervorbringen, sondern auch neuerlich metallische Körper aus der Tiefe an die kühlere Oberfläche schleudern.

Eine so geartete dauernde Wechselwirkung zwischen dem Inneren der feuerflüssigen Kugel und ihren äussersten Schichten muss die Temperatur der ganzen Masse endlich so weit herabgedrückt haben, dass die an der Oberfläche erstarrten Stoffe auf ihrem Wege nach unten schliesslich nicht mehr wieder geschmolzen worden sind, und damit zur Anhäufung eines festen Kernes im Mittelpunkte der Erde geführt haben. Hiebei wird der Umstand, dass die Schmelzpunkte der Substanzen bei zunehmendem Drucke höher werden, demnach eine höhere Temperatur ertragen konnten, ohne flüssig zu werden, der angenommenen Agglomeration im Inneren wohl sehr förderlich gewesen sein.

Durch die Fortdauer dieses Processes vollzog sich die Erstarrung des Erdkörpers mithin in concentrischen Schalen, von Innen nach Aussen, vom Centrum gegen die Peripherie.

Im Grossen und Ganzen werden wir nicht fehlgehen, wenn wir voraussetzen, dass der äussere Verlauf der Verwandlung des Erdkörpers aus dem flüssigen in den festen Zustand in seinen Erscheinungen, wie bereits angedeutet, in beschränktem Masse sich ähnlich verhielt, wie diejenigen Vorgänge, welche in der Gegenwart an der Sonne beobachtet werden, und welche durch die neueren Fortschritte der Astrophysik unserer Erkenntniss so viel näher gebracht worden sind.

Das schliessliche Ergebniss des geschilderten Vorganges wäre also ein bis in den Mittelpunkt durchaus starrer Erdkörper, welcher seine Aussentemperatur mit jener des Weltraumes in's Gleichgewicht zu bringen sucht, und begabt mit einer hohen nach der Oberfläche hin allmählig abnehmenden Innentemperatur, als Ueberrest der ursprünglichen Schmelzhitze.

Die Schilderung der Vorgänge, welche durch die mit Nothwendigkeit immer weiter fortschreitende Erkaltung des bereits festen Planeten in früheren geologischen Epochen hervorgerufen worden sind und noch in der Gegenwart hervorgerufen werden, bleiben einem späteren Abschnitte vorbehalten, um vorerst

die herrschende Anschauung von dem feuerflüssigen Erdinneren und der dieselbe stützenden Thatsachen einer kurzen Besprechung zu unterziehen.

Wie wir soeben gesehen haben, ist die Voraussetzung eines feuerflüssigen Erdinneren kein unbedingtes Erforderniss und auch kein Ausfluss der Laplace'schen Hypothese von der Entstehung der Weltkörper, durch allmälige Verdichtung des kosmischen Nebels. Diese Annahme beruhte, wie es scheint, vielmehr auf der Nothwendigkeit oder auf dem Bedürfnisse, für die Erklärung der vulcanischen Erscheinungen einen vermeintlichen zureichenden Grund zu beschaffen.

Auch wurde diese Annahme durch die Wahrnehmung einer nach der Tiefe hin zunehmenden Temperatur des Erdinneren wesentlich unterstützt, welche letztere bekanntlich zur Aufstellung der Arago'schen Formel von der linearen Zunahme der Erdwärme um einen Grad Celsius für 100 Par. Fuss führte.

Nähme jedoch die Temperatur nach der Tiefe in der That um diesen Betrag zu, so könnte die Lythosphäre oder starre Erdkruste nur eine Dicke von circa 40.000 M. besitzen, weil über diese Tiefe hinaus bereits eine Hitze von 1000 bis 2000 Grad C. herrschen würde, welche genügt, um fast alle uns bekannten Stoffe in flüssige Glut zu versetzen.

Obschon die unbedingte Giltigkeit der Arago'schen

Formel in der neueren Zeit aus vielfältigen Gründen und mit Recht angefochten worden ist, so wurde sie doch erst durch die Temperaturverhältnisse am Spërremberger Bohrloche vollständig in ihrer Giltigkeit erschüttert. Die hier constatirte Wärmezunahme entspricht weder der gedachten Formel, noch ergibt sich aus derselben überhaupt ein gerades Verhältniss mit zunehmender Tiefe. Es scheint sich vielmehr daraus die Nothwendigkeit zu ergeben, die Erklärung der Beobachtungsergebnisse auf ganz neuen Grundlagen zu versuchen.

In eine Kritik der zahlreichen Versuche einzugehen, welche zu dem Zwecke unternommen worden sind, um durch Aufstellung neuer Formeln, welche mit den Thatsachen besser übereinstimmen, die bisherigen Anschauungen, wenn auch mit einigen Modificationen zu retten, würde uns zu weit führen. Als unzweifelhaft und unanfechtbar geht aus den tatsächlichen Ergebnissen nur Eines hervor, dass nämlich die Zunahme der Temperatur in den tieferen Schichten der Erde eine weit geringere sei als bisher angenommen worden ist; und dass der präsumirte feuerflüssige Erdkern, wenn ein solcher existirt, eine viel mächtigere Hülle besitzt, als von den älteren Plutonisten geglaubt wurde.

Woher die verhältnissmässig höhere Temperatur der uns zugänglichen geringen Tiefen stammt, darüber werden sich einige Andeutungen im Verlaufe der späteren Ausführungen ergeben.

Ist aber der feuerflüssige Erdkern in eine sehr

bedeutende Tiefe verlegt, so kann dessen Existenz zur Erklärung der vulcanischen Erscheinungen nicht mehr herbeigezogen werden, und es entfällt von diesem Gesichtspunkte aus auch alle Nothwendigkeit sein Vorhandensein zu behaupten. Uebrigens gelangte man schon auf Grund anderer genauer und umfassender Untersuchungen zu dem Ergebnisse, den Sitz der vulcanischen Thätigkeit in einzelne, wenig tiefe und von einander getrennte Hohlräume der Erdkruste, sogenannte vulcanische Herde zu verlegen, und den früher vermutheten Zusammenhang mit dem feuerflüssigen Erdinneren aufzugeben.

Das letztere auch aus dem Grunde, weil nach den Berechnungen von Hopkins gewisse kosmische Bewegungserscheinungen der Erde in ganz anderer Weise als es geschieht, hervortreten müssten, wenn die Dicke der starren Kruste nicht mindestens den vierten Theil des Erdradius betragen würde.

Aus den angeführten Thatsachen geht demnach hervor, dass weder die directen Beobachtungen an Vulcanen, noch der physikalische Zustand unseres Planeten einem starren, jedoch auch gegenwärtig noch mit einer hohen Temperatur begabten Erdinneren widersprechen; welche Annahme vielmehr nach dem augenblicklichen Stande unseres positiven Wissens die einzig haltbare zu sein scheint.

Das Festhalten an derselben wird um so empfehlenswerther sein, als aus dem Nachfolgenden sich ergeben dürfte, dass beim Ausgehen von dieser Voraussetzung, sowohl die Erscheinung der He-

bung und Senkung der Contiente, die verschiedenartige Faltung und Ueberschiebung von Erdschichten, wie auch das Entstehen der Erdbeben, der heissen Quellen und Vulcane eine wie ich glaube ungezwungene und befriedigende Erklärung finden.

III.

(Verlauf der Abkühlung. — Anfangs gleichmässig über der ganzen Oberfläche, später örtlich verschieden. — Ursache der Bildung von Depressionen. — Widerlegung möglicher Einwendungen.)

Nach dem Eintritt der supponirten Erstarrung des Erdkörpers werden die Wirkungen der ungestört andauernden weiteren Erkaltung durch Ausstrahlung nach dem Weltraume wesentlich verschieden sein müssen von jenen, welche den feuerflüssigen Erdkörper in den festen Zustand überführten.

Von dem Augenblicke vollendeter Erstarrung bis zu jenem Zeitpunkte, da die Oberflächentemperatur zum mindesten an den Polen unter den Siedepunkt des Wassers gesunken war, befand sich die Erde in einer dichten, den gesammten Wasservorrath derselben enthaltenden Dampfathmosphäre eingehüllt.

Die Wasserdämpfe haben die Eigenschaft für Wärmestrahlen nur wenig durchgängig zu sein; die Dampfathmosphäre musste vermöge dieser ihrer Eigenschaft eine Art schützende Hülle gegen ungleichmässige Abkühlung bilden, während sich die ungleiche Ausstrahlung von der äussersten Schichte der Dampfathmosphäre durch Strömungen innerhalb derselben ausglich.

Im Verlaufe dieser Periode war der Wärmeverlust demnach ein die gesammte Oberfläche des Festen gleichförmig betreffender, und die dadurch bedingte Contraction der Sphäre eine allseitig gleichförmige; trat jedoch einmal der Zeitpunkt ein, in welchem die Temperatur der Dampfathmosphäre wenigstens an den beiden Polen so weit gesunken war, dass die daselbst sich bildenden Niederschläge bis zur Erdoberfläche herabfallen konnten, so musste die dadurch bedingte grössere örtliche Abkühlung der starren Kruste eine Reihe von Oberflächenveränderungen von sehr grosser Bedeutung einleiten, wie aus dem Nachfolgenden mit Evidenz hervorgehen dürfte.

Um sich den Verlauf der Erscheinungen zu vergegenwärtigen, welche bei grosser Verschiedenheit des Betrages an Wärmeabfluss zwischen zwei Orten statthaben, ist es erforderlich, den Wärmезustand, wie derselbe nach Erreichung eines gewissen Gleichgewichtszustandes zwischen einzelnen Punkten der Oberfläche und dem Mittelpunkte der Sphäre sich ausgebildet haben musste, einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Gehen wir vom normalen Gleichgewichtszustande aus.

In der Richtung vom Mittelpunkte gegen irgend einen Ort der Oberfläche, also in der Richtung eines jeden Strahles, wird die Temperatur, insolange der Abfluss an Wärme von der Oberfläche, nämlich die

Ausstrahlung nach Aussen, eine überall gleiche ist, nach einem bestimmten gleichen Verhältnisse abnehmen, welches Abnahmeverhältniss einzig und allein durch die Leitungsfähigkeit der auf jedem einzelnen Strahle gelagerten materiellen Theile für die Wärme, bedingt sein wird.

Sobald jedoch eine Anzahl von Orten der Oberfläche einem stärkeren Wärmeabflusse ausgesetzt sein werden als andere, so wird dieser Unterschied in der Wärmeabgabe, vorausgesetzt, dass derselbe ein genügend lang andauernder ist, zur nothwendigen Folge haben, dass auf den diesen mehr abgekühlten Gegenden zugehörigen Strahlen ein anderes Abnahmeverhältniss der Temperatur zur Ausbildung gelangt, wie an jenen Strahlen der minder stark abgekühlten Orte.

Alle Körper sind in Bezug auf ihr Volumen von ihrer Temperatur abhängig; es ist demnach einleuchtend, dass das Volumen der unter verschiedenen abgekühlten Gegenden gelagerten Erdmasse auch verschieden sein muss, und dass die Höhe oder Tiefe der Erdoberfläche von der Gesammttemperatur der unterhalb derselben befindlichen Stoffe direct bedingt ist.

Die Unterschiede in den mittleren Oberflächentemperaturen können viele Grade ausmachen, selbst unter den gegenwärtigen Verhältnissen des Planeten; und es können durch dieselben Höhenunterschiede von mehreren tausend Metern verursacht werden. ¹⁾

In jenem Zeitpunkte der Erdbildung, von welchem wir bei dieser Betrachtung ausgingen, als sich nämlich an den Polen zuerst Wasser in tropfbarflüssiger Form niederschlug, konnten gewiss durch fortgesetzte örtliche Wärmeentziehung noch bei weitem grössere Temperaturdifferenzen, also auch noch bedeutendere Höhenunterschiede hervorgerufen werden.

Die durch Wasserniederschläge an den Polen erzeugten Depressionen mussten sich bald mit Wasser anfüllen; die ersten Meere der Erde waren demnach durch die Bildung von Senkungsfeldern, als Wirkungen von Temperaturdifferenzen, an den beiden Polen entstanden.

Bevor wir in der Darstellung des Gegenstandes weiterschreiten, ist es erforderlich, zwei Einwürfe, welche gegen die Auffassung der Senkungsfelder als blosser örtlicher Temperaturverschiedenheiten der Erdmasse gemacht werden können, zu widerlegen.

Die eine dieser Einwendungen ist die, dass die Temperatúrausgleichungen innerhalb der Erde nicht allein nach der Richtung des Halbmessers, sondern gewiss gleichmässig nach allen Richtungen hin erfolgten, und dass die Wärmeleitung nach den Seiten einen dauernden, geringeren Wärmezustand eines grösseren Oberflächenabschnittes der Erde nicht zulassen werde.

Die Fortpflanzung der Wärme wird einerseits bedingt durch die Leitungsfähigkeit der auf ihrem

Wege befindlichen Substanz, andererseits durch die Grösse des Temperaturunterschiedes innerhalb jener Massentheilchen, zwischen welchen die Ausgleichung erfolgen soll. Je kleiner die letztere Differenz ist, eine um so längere Zeitdauer wird erforderlich sein zu deren Verlaufe.

Nehmen wir in dem gegebenen Falle, wie nicht anders möglich, die Leitungsfähigkeit der Substanzen, aus welchen der Erdkörper besteht, nach allen Richtungen als ganz gleich an, so ist es offenbar, dass die Temperaturdifferenzen in der Richtung des Strahles und innerhalb gleicher Abstände ungleich grössere sein müssen, als in jeder anderen Richtung, namentlich in jener beliebiger Sehnen.

Dabei ist wohl zu beachten, dass, während zwischen dem Erdmittelpunkte und der Oberfläche, der früheren Voraussetzung gemäss, eine Differenz von Tausenden von Graden vorhanden sein dürften, können Temperaturunterschiede nach den Seiten auf gleiche Entfernungen dauernd kaum wenige Grade betragen, ohne schon sehr bedeutende Volumsdifferenzen zur nothwendigen Folge zu haben.

Eine weitere Einwendung, die gegen unseren Erklärungsversuch gemacht werden könnte, ist die, dass das Zurückführen einer relativ so stabilen Erscheinung, wie der Bestand von Meer und Land es sind, auf eine so wechselnde Erscheinung, wie die Temperatur eines Ortes der Erdoberfläche ist, nicht statthaft sei. Diesem Einwurfe ist entgegenzusetzen, dass es sich nicht um vorübergehende Tem-

peraturverhältnisse handelt, sondern nur um den Einfluss der dauernden mittleren Temperaturen der obersten Erdschichten, und in deren Gefolge um die mittlere Temperatur der Erdradien, die nach allen vorhandenen Erfahrungen über die Wärmeleitung von einer ganz überraschenden Stabilität sein müssen. Namentlich am Meeresgrunde, wo die Temperatur des Wassers immer genau gleich ist, muss der abkühlende Einfluss ein äusserst constanter und höchstens durch Veränderungen der Meeresströmungen modificirbarer sein.

Wie gering übrigens auch die Wirkung kurz andauernder Temperaturschwankungen am festen Lande ist, lässt sich am besten aus der Thatsache ermessen, dass die Temperaturextreme zwischen Sommer und Winter selbst in der Breite von Paris in der Tiefe von 80 Fuss nicht mehr nachweisbar sind, und dass die Temperatur der Quellen von gleichbleibender Wärme ziemlich genau der mittleren Temperatur ihres Ursprungsortes entspricht.

Es scheint demnach, dass die durch Insolation hervorgerufene Erwärmung der äussersten Schichten nur einen sehr geringen directen Einfluss zu üben vermag, und selbst wenn die nach abwärts fortschreitende Temperaturwelle vielleicht um einiges tiefer herabsteigt, als die wenig zahlreichen und nicht ausreichend genauen Beobachtungen, die uns zu Gebote stehen, anzunehmen erlauben, so ist diese Tiefe eine vergleichsweise derart unbedeutende, dass äusserst grosse Zeiträume vergehen müssten, innerhalb wel-

cher ganz gleiche Einflüsse obwalten, um merkliche Veränderungen hervorzubringen.

Innerhalb jener Zeiträume, von welchen wir Kunde durch menschliche Ueberlieferung haben, bedeutet dies aber fast Stabilität.

IV.

(Polarmeere und Aequatorialland. — Wechsel zwischen Meer und Land. — Steigerung der Verticalunterschiede.)

In dem vorigen Abschnitte wurde nachgewiesen, dass die dauernd stärkere Abkühlung einzelner Oberflächentheile der Erde mit Nothwendigkeit die Entstehung von Senkungsfeldern herbeiführe, und dass durch die Ansammlung von Wasser in diesen Depressionen dasjenige gebildet worden ist, was wir heute ein Meeresbecken nennen.

Aller Wahrscheinlichkeit nach dürften die ersten solchen Becken Polardepressionen gewesen sein, denen in ziemlich symmetrischer Anordnung ein Aequatorialland als zusammenhängender Gürtel gegenüberlag.

Suchen wir uns nun eine Vorstellung von den weiteren Veränderungen, welchen diese erste Vertheilung von Wasser und Land ausgesetzt gewesen sein müsse, zu machen.

Die mit Wasser bedeckte Fläche, das heisst der Meeresgrund, wird vermöge der bekannten Eigenschaft des flüssigen Elementes bei 3·2 Grad Celsius die grösste Dichtigkeit und Schwere zu erlangen dauernd einer stärkeren Abkühlung ausgesetzt sein als das feste Land. Der Meeresboden wird in Folge dessen stets die niedrigste Temperatur, d. i. mehr weniger

3·2 Grad haben müssen; das feste Land wird dagegen die durch die damalige Insolation bedingte örtliche Mitteltemperatur annehmen. Der Unterschied dieser beiden Temperaturen wird das Mass sein, ebensowohl für die damalige Erhebung des Festen, wie auch für die Tiefe der Meeresbecken, und es muss innerhalb dieses physikalischen Processes ein Zeitpunkt erreicht werden, in welchem bei gleichbleibenden abkühlenden Einflüssen sich ein bestimmter Gleichgewichtszustand, d. h. eine sich gleichbleibende Niveaudifferenz ausbildet.

Die Stabilität dieses Gleichgewichtszustandes wird davon abhängen, dass der Wärmeabfluss vom Festlande sowohl wie vom Meeresboden mit der Zuleitung aus dem heissen Erdinneren genau gleiche Grössen sein werden, oder mit anderen Worten, dass der ganze von Innen zugeführte Wärmebetrag, weder mehr noch weniger, an beiden in Betracht gezogenen Orten continuirlich wieder weggeführt wird.

Ein Gleichgewichtszustand, wie derselbe eben vorausgesetzt worden ist, konnte sich aller Voraussicht nach — wir werden sofort sehen aus welchen Gründen — während einer längeren Zeitdauer nicht erhalten. Erosion des Festlandes einerseits, ebensowohl wie Aufschwemmung im Grunde des Meeresbeckens andererseits, also die beiden auch gegenwärtig noch im vollen Masse wirkenden Agentien der Sedimentbildung, mussten alsbald den kaum erreichten Gleichgewichtszustand in entgegengesetzter Richtung beeinflussen.

Die schichtweisen Anhäufungen von Ablagerungsproducten am Grunde des Beckens, welche zwar allmählig aber beständig erfolgten, haben den Punkt der niedrigsten Temperatur von $\pm 3\cdot 2$ Grad allmählig, aber ebenfalls beständig nach oben gerückt. Am Festlande wird hingegen das allseitige Abnagen der Oberfläche durch Verwitterung und Erosion beharrlich und in ungefähr gleichem Schritte, die Punkte der höheren Temperaturen, nach abwärts drängen. Das erstere entspricht in seinem Erfolge einer durchschnittlich grösseren Erwärmung der ganzen darunter gelegenen Erdmasse, das letztere ist einer solchen Abkühlung gleich.

Wie klein und scheinbar unbedeutend diese verändernden Ursachen auch sein mögen innerhalb kurzer Zeiträume, so zweifellos bedeutend müssen ihre Wirkungen werden, wenn man die Dauer der Epochen genügend lang annimmt, und dass in dem gegebenen Falle die Voraussetzung lang andauernder, gleichförmig wirkender Ursachen, welche sich durch Summirung häuften, ohne Uebertreibung vorausgesetzt werden dürfe, geht aus der bekannten Thatsache mit Bestimmtheit hervor, dass es Schichtencomplexe aus lauter Meeressedimenten zusammengesetzt gibt, welche viele Tausende von Meter Mächtigkeit besitzen, also seinerzeit während der Dauer ihrer Bildung den Punkt der niedrigsten Temperatur von circa $3\cdot 2$ Grad um eben so viele Tausende von Meter nach aufwärts gerückt haben müssen. Alle niedergeschlagenen und abgesetzten

Stoffe, aus welchen diese Sedimente zusammengesetzt sind, bestehen aus Producten der Abschwemmung des Festlandes, und so musste auf diesem unter Einem die gerade umgekehrte Wirkung, d. i. ein Hinabdrücken des höheren Temperaturpunktes hervorgerufen werden.

Wie aber vorhin ausgeführt worden ist, bedeutet dauernde Abkühlung Senkung, und dauernde Erwärmung Hebung des Bodens. Während also im ersten Verlaufe des örtlichen Abkühlungsprocesses der Erdoberfläche die Becken immer tiefer und in Consequenz dessen in ihrem Umfange auch beschränkter wurden, dürften die Wirkungen des weiteren Verlaufes, also der Erosion und Schichtenbildung, mit dem Verflachen der Becken die Meeresfluthen immer weiter gegen das Festland vorgedrängt haben. Die auf diese Weise, also durch Ueberfluthung neu entstandenen Wasserflächen geriethen dadurch unter Bedingungen, wie diejenigen waren des Bodens der ersten Depressionen, sie mussten unter der abkühlenden Wirkung des Wassers mehr und mehr sinken. Gleichzeitig musste aber auch der alte Meeresgrund unter dem Einflusse des das Empортаuchen doppelt beschleunigenden Ablagerungsprocesses sich immer weiter verflachen, bis derselbe zunächst als Untiefe unter weniger kaltem Wasser sich befand, um schliesslich unter der Einwirkung der Insolation sich vollends über die Fluthen zu erheben.

Das Meeresbecken hat inzwischen seinen Platz

vollständig gewechselt, und überfluthete das mittlere gesunkene Land.

Um mögliche Missdeutungen des eben Gesagten zu vermeiden, muss man sich gegenwärtig halten, dass wir angenommen haben, die Depressionen oder Becken rühren daher, dass einige Oberflächenabschnitte der Erde dauernd einem grösseren Wärmeabflusse ausgesetzt waren als andere. Zwischen dem stärker abgekühlten Orte und dem Erdmittelpunkte wird sich als Folge dieser stärkeren Abkühlung ein anderes Zunahmeverhältniss der inneren Wärme herstellen, als an den minder stark abgekühlten Orten.

Die Wirkung eines verschiedenen Zunahmeverhältnisses der Erdwärme längs verschiedener Radien des Erdkörpers muss die sein, das Volumen der unter dem mehr oder weniger abgekühlten Flächen-theile gelegenen Substanzen entsprechend entweder zu verringern oder zu vermehren, und es muss als nothwendige Folge davon im ersteren Falle ein Nachsinken der oberflächlichen Bodenschichten, oder im anderen Falle eine Erhebung derselben, also entweder ein Senkungsfeld oder ein Erhebungsgebiet veranlasst werden.

Wird später über dem gesunkenen Bodentheile fester Stoff, durch Neubildung von Schichten aufgelagert, so ändert sich das Zunahmeverhältniss der Temperatur im Inneren der Erde in dem Sinne, dass jeder Temperaturpunkt, wenn man so sagen darf, in dem Masse räumlich hinaufgerückt wird, als die aufgelagerte Schichte an Mächtigkeit gewinnt. Dieses

Hinaufrücken der Temperaturpunkte ist in seiner Wirkung gleichbedeutend mit einer Zunahme der Durchschnittstemperatur, oder was dasselbe ist, mit einer höheren Erwärmung der gesammten Masse, was wiederum eine Volumsvergrößerung zur unausweichlichen Folge hat.

Die Auflagerung von Sedimenten auf dem Meeresgrund muss also in zweifacher Beziehung eine Erhöhung desselben nach sich ziehen; zunächst direct durch räumliche Ausfüllung der Depression, und dann indirect durch Abschwächung der abkühlenden Wirkungen und eine dadurch hervorgerufene grössere Durchschnittserwärmung der unterhalb gelegenen Bodenmasse, was eine Volumsvermehrung zur Folge hat.

Wenn der geschilderte Verlauf dieses grossen tellurischen Phänomens richtig ist, so wäre in den Wirkungen dieses Processes ein wechselndes Spiel gegeben zwischen secularer Hebung und Senkung, welches mit einer gewissen scheinbaren Regelmässigkeit einzelne Oberflächentheile des Globus innerhalb langer Perioden bald heben und bald senken müsste, gleich dem Balken einer Wage.

Wenn wir die auf der Erde beobachteten Verhältnisse mit der letzt ausgesprochenen Voraussetzung vergleichen, so wird dieselbe in ganz merkwürdiger Weise bestätigt. Nirgends, in keiner uns bekannten Gegend der Erde, kommt eine auch nur nahezu vollständige Reihe von Sedimenten vor, alle sind lückenhaft, selten sind auch nur einzelne Glieder aller Haupt-

epochen vertreten. Es ist dies sehr wohl daraus erklärlich, dass zum mindesten zwei Drittheile aller Sedimentärformationen heute unter dem Meereshorizont herabgesunken sind, und ihr einseitiges theilweises Empортаuchen mit dem Untersinken des überwiegenden Theils der Continente zusammenfallen müsse.

Wir können daraus schliessen, dass Lücken in den Formationsreihen Festlandzeiten bedeuten, obwohl deren Dauer nicht genau den fehlenden Gliedern zu entsprechen braucht, weil einzelne durch die dem neuerlichen Untersinken vorangehende Erosion konnten entfernt worden sein.

Damit soll jedoch nicht ausgesprochen werden, dass eine absolut regelmässige Wiederkehr von Hebungen und Senkungen innerhalb gleicher Oberflächentheile je stattgefunden habe. Es liegt vielmehr nahe, anzunehmen, dass es verschiedene Agentien gegeben habe, welche einen variirenden Verlauf der Hebungs- und Senkungserscheinungen herbeiführten, und damit die beobachtete Vielgestaltigkeit der geographischen und geologischen Verhältnisse bedingten.

Zunächst wird die Erosion an den Küsten der ersten Meere ebensowenig eine regelmässig fortschreitende gewesen sein, wie jene der späteren Zeiten. Denn obwohl wir uns veranlasst gesehen haben, den Erstarrungskörper der Erde ursprünglich als ganz symmetrisch gebaut vorauszusetzen, so haben wir uns doch diese Symmetrie bloß als eine solche

der äussern Form und des specifischen Gewichtes zu denken, keineswegs aber auch der stofflichen Structur. Einzelne Theile des ersten sowie der späteren Continente werden demnach rascher als andere erodirt worden sein, und es wird jedes spätere Senkungsfeld an Asymmetrie und Mannigfaltigkeit der äussern Contur das vorhergegangene übertreffen, bis zum endlichen Entstehen der gegenwärtigen Vertheilung von Wasser und Land.

Aber nicht allein die ungleiche Erosion führt zur Ausbildung der gegenwärtigen Vielgestaltigkeit, es haben auch noch andere Einflüsse hiezu beigetragen.

Die Anhäufung von Sedimenten auf dem Grunde der Meere erfolgt nicht gleichmässig in dem ganzen Becken; Meeresströmungen und organisches Leben bewirkten zahlreiche und bedeutende Unterschiede in dieser Beziehung. Wird aber nicht der gesammte Meeresboden bedeckt werden, so wird er auch nicht in seiner Gesammtheit, sondern nur zum Theile emportauchen. Das spätere Erhebungsgebiet oder die zunächst folgenden Erhebungsstrecken werden dadurch nicht die ganzen Senkungsfelder umfasst haben, was nothwendig in der Form und Ausdehnung der neugebildeten Continente wesentliche Verschiedenheiten hervorrufen musste.

Uebrigens dürfte es hier auch nicht überflüssig sein, daran zu erinnern, dass Ebbe und Fluth, dieser wichtige Factor der Abschwemmung an den Küsten, in Folge astronomischer Verhältnisse nach grossen

Zeiträumen abwechselnd bald die südliche, bald die nördliche Hemisphäre in erhöhtem Masse trifft, und schon in diesem unabänderlichen kosmischen Einflusse eine höchst wirksame Ursache zur asymmetrischen Gestaltung der Oberflächenverhältnisse des Erdkörpers gegeben ist.

Erhob sich nun im Wechsel der geschilderten Erscheinungen ein einstiges Senkungsgebiet über den Meereshorizont und wurde zum Festlande, so musste dasselbe mit Rücksicht auf die veranlassende Ursache der Erhebung, Auflagerung von sedimentären Schichten sich nun wenigstens so viel mehr über den ursprünglichen Horizont der Sphäre erheben, als die gebildeten Schichten an Mächtigkeit besaßen.

Wir gelangen durch diese Umstände zu dem weiteren Schlusse, dass mit jeder neuen Wandlung, mit jedem neuen Wechsel von Meer und Land eine bedeutende Steigerung des Bodenreliefs verbunden war, also im Verlaufe der geologischen Epochen die Continente immer höher, und als unmittelbare Folge die Meere oder, wenn man den allgemeinen Ausdruck vorzieht, die Senkungsfelder immer tiefer werden müssen.

Alle die geschilderten verändernden Ursachen, wie dieselben soeben als Folge einer zweifellos wirkenden Naturkraft dargestellt wurden, genügen augenscheinlich nicht, um das Entstehen der eigentlichen Gebirge mit allen ihren charakteristischen Merkmalen zu erklären. Der Versuch, die seitlichen Verschiebun-

gen als secundäre Folgen der eben ausgeführten abwärts gerichteten Bewegungen aufzufassen, muss an der einen Erwägung scheitern, dass zwischen den beiden Bewegungen jeder mechanische Zusammenhang fehlt. Würde eine sinkende Scholle einmal nicht den nöthigen Raum finden, so müssten sich ihre Ränder aufstülpen, zu einem seitlichen Vorrücken hätte sie aber fürwahr gar keinen Grund. Die Entstehung der seitlichen Bewegungen wird durch das Spiel anderer Naturkräfte hervorgerufen, zu deren Nachweisung und Erläuterung wir im nächsten Abschnitte schreiten wollen.

V.

(Gleichgewichtszustand auf der Erdoberfläche. — Schwerkraft und Fliehkraft. — Tangentialkraft.)

Der Gleichgewichtszustand der auf der Erde befindlichen Körper wird durch zwei Momente bedingt: die Schwerkraft und die Fliehkraft.

Die erstere dieser beiden Kräfte, die allgemeine Massenanziehung, hat das Bestreben, die Körper in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte fortzubewegen; die zweite theilt den Körpern einen Impuls mit, in der Richtung des Halbmessers des jeweilig beschriebenen Kreises. Die Resultirende dieser beiden Kräfte ist eine nach der örtlichen Lage des Angriffspunktes sehr verschiedene. Am Aequator wirkt die Schwerkraft der Fliehkraft der Richtung nach direct entgegen, am Pole ist die Fliehkraft gleich Null, und die Schwerkraft kommt ganz allein zur Geltung, an allen übrigen zwischen den Polen und dem Aequator gelegenen Orten stellt eine der Componenten dieser Kräfte, eine gegen den Aequator gerichtete Tangentialkraft dar.²⁾

Ihrer Grösse nach nimmt diese Componente, die wir in der Folge kurz Tangentialkraft nennen wollen, vom Aequator, wo sie gleich Null ist, gegen den

45. Grad der Breiten, wo sie ihr Maximum erreicht, zu, und von dort gegen die Pole wieder bis zu Null ab.

Bisher wird allgemein angenommen, der Einfluss der Fliehkraft in Bezug auf den Gleichgewichtszustand der Körper auf der Erdoberfläche beschränke sich bloß darauf, die Richtung der Schwerkraft mehr oder minder abzulenken. Berücksichtigt man jedoch alle Umstände, unter welchen dieser ziemlich bedeutende Bewegungsimpuls zur thätigen Aeusserung gelangen kann, so scheint es durchaus nicht gerechtfertigt, denselben in seinen sonstigen Wirkungen zu unterschätzen.

Bekanntlich nennen wir die Oberfläche des Sphäroids und dessen Parallelen horizontal. Gegenüber diesem Horizont stellt die Oberfläche einer wirklichen Kugel, eine gegen den Aequator geneigte Ebene dar. Befände sich diese Kugel in Rotation und ihre Oberfläche wäre vollkommen eben und glatt, so müssten alle Körper, welche sich auf derselben vorfinden, ähnlich wie auf einer schiefen Ebene, nach dem Aequator hinabgleiten.

Die den Körpern in diesem Falle mitgetheilte Bewegung wird durch eine Componente der Fliehkraft hervorgerufen und besteht auch in dem Falle, wenn keine sichtbare Bewegung als deren Folge auftritt.

Wie ganz genaue und zuverlässige Berechnungen ergeben, ist die Einwirkung der Tangentialkraft im Maximum, d. i. unter dem 45. Grade der Breiten

gleich 1·717 Kilogr., unter dem 20. Grade noch immer 1·102 und unter dem 70. Grade ebenfalls noch 1·109 auf je 1000 Kilogr. bewegter Masse, also zwischen $\frac{1}{582}$ und $\frac{1}{907}$.

Aus diesen letzteren Zahlen ergibt sich übrigens ganz zweifellos, was uns die tägliche Erfahrung schon längst gelehrt hat, dass der unbestreitbar vorhandene Bewegungsimpuls nicht ausreicht, um unter gewöhnlichen Bedingungen die Reibung innerhalb fester Stoffe zu überwinden und unter gewöhnlichen Bedingungen Bewegung hervorzurufen. Ob dies auch unter für die Auslösung dieser Bewegungen besonders günstigen Umständen der Fall wäre, ist aber zu bezweifeln, besonders da wir eine gewisse Art von Bewegungen kennen, welche durchaus den Charakter auf diese Art eingeleiteter Massenbewegungen besitzen.

Unter jenen Bedingungen, welche zur Auslösung einer durch die Tangentialkraft hervorgerufenen Bewegung erforderlich sind, kann man allgemeine und specielle unterscheiden.

Die allgemeine Bedingung ist die, dass die zu bewegende Masse äquatorwärts Bewegungsraum finde. Die speciellen Bedingungen wollen wir später erörtern.

Um die allgemeine Bedingung näher zu erläutern, werden wir von einer Annahme ausgehen, welche dasjenige, was hier unter Bewegungsraum zu verstehen ist, genauer erläutern wird.

Setzen wir zu diesem Zwecke voraus, dass die

Rotationsgeschwindigkeit des Erdkörpers durch irgend welche Veranlassung plötzlich um einen namhaften Betrag zunähme, setzen wir weiter voraus, dass die Gestalt des Planeten vor dieser Zunahme diejenige eines solchen Rotationskörpers in Beziehung auf Abplattung an den Polen und Ueberhöhung am Aequator war, wie es die geringere Rotationsgeschwindigkeit statisch forderte. Die Folge der ersteren Voraussetzung wird nun die sein müssen, dass Abplattung und Ueberhöhung der grösseren Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechend zunehmen.

In welcher Weise könnte sich diese Formänderung bei einem bereits vollkommen erstarrten Erdkörper vollziehen? Offenbar nur so, dass sich der Stoffüberschuss von den Polen gegen den Aequator längs der Oberfläche in Bewegung setzt, um am Aequator die für den neuen Gleichgewichtszustand erforderliche Ueberhöhung zu bilden. Erfolgte die Beschleunigung der Rotation stossweise, so würde die vorausgesetzte Stoffwanderung in der Art vor sich gehen, dass nach jeder Bewegungszunahme sich ringförmige Wellen um die Pole bilden, welche in immer grösserem Kreise vorwärtsschreitend endlich am Aequator zusammentreffen.

Eine derartige Stoffwanderung wäre nichts anderes als die vollkommenste Bethätigung der Tangential-Componente der Fliehkraft.

Es soll nicht behauptet werden, dass es je einen Zeitpunkt gegeben habe, in welchem eine derart voll-

kommene Bethätigung der Tangentialkraft wirklich stattfand. Bau und Lagerung der Erdschichten, so weit sie uns bekannt sind, erlauben einen solchen Schluss nicht. Die genaue Erwägung und Untersuchung des Falles einer allgemeinen Verschiebung dessen, was wir die Erdkruste nennen, setzt uns jedoch in den Stand, die Wirkungsart der Fliehkraft als Tangentialkraft auch in jenen Fällen zu verfolgen, in welchen sie unter besonderen Umständen bloß zu einer theilweisen Bethätigung gelangt.

Wenn auf irgend einem Theile der Erde, mit Ausschluss der Pole, ein Senkungsfeld entsteht, so müssen alle polwärts gelegenen, weniger oder gar nicht gesunkenen Gebiete sich gegenüber dem Senkungsfelde genau in dem gleichen Verhältnisse befinden, wie sich die gesammte Oberfläche, bei einer Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit, gegenüber der fehlenden Aequatorial-Ueberhöhung befand. Das Senkungsfeld stellt in diesem Falle nichts anderes als eine theilweise mangelnde Ueberhöhung dar, und die höheren Gebiete müssen mit Nothwendigkeit das Bestreben haben, äquatorwärts in das Senkungsfeld hineinzurücken. Die Ursache, warum diese Bewegungstendenz nicht sofort zur Ausfüllung der kaum entstandenen Becken und in weiterer Consequenz zur Wiederherstellung einer ganz ebenen Oberfläche des Sphäroids führt, liegt wohl einzig nur darin, dass der thatsächlichen Fortbewegung verschiedene materielle Hindernisse entgegenstehen.

Nun noch einige Worte über den eigenthümlichen

Charakter der durch die Tangentialkraft hervorgerufenen Bewegung.

Prof. Suess sagt in seinem Buche über die »Entstehung der Alpen« von der Bewegung, welche die beobachteten Faltungerscheinungen hervorgerufen habe, »dass sie die Folge einer allgemeinen, jedem einzelnen bewegten Theile sich in ziemlich gleichmässiger Weise mittheilenden und je nach dem Elasticitätsgrade der einzelnen Felsart sich äussernden Kraft sei«.

Wenn man es versuchen wollte, die Wirkungsweise der Tangentialkraft zu definiren, so könnte dies kaum besser als mit dem obigen Satze des Prof. Suess geschehen, welcher die reinste Abstraction aus den beobachteten Erscheinungen darstellt.

Also nicht von einem Punkte oder von einer Linie, sei dieselbe am Aussen- oder Innenrande oder im Centrum eines Gebirges gelegen, ist jene Bewegung ausgegangen, welche die Erdschichten aufgerichtet und gefaltet hat, sondern jeder einzelne Theil der fortbewegten Masse wurde durch den Bewegungsimpuls selbst ergriffen, so dass Schieben und Geschobenwerden sich gegenseitig unterstützten, um aus der Summe einer Menge kleiner Bewegungsimpulse, unter günstigen äusseren Verhältnissen, ein bedeutendes Gesamtergebnis zu Stande zu bringen.

VI.

(Bedingungen, unter welchen die Tangentialkraft in Wirksamkeit tritt. — Nothwendigkeit vollständiger Wasserbedeckung. — Folgeerscheinungen der Bewegung.)

Soeben wurde der Nachweis geführt, dass es höchst wahrscheinlich sei, die an der Polseite einer Depression gelegenen Massen hätten die Neigung sich äquatorwärts zu verschieben. Andererseits wissen wir aber ganz bestimmt, dass diese Bewegungstendenz sich für uns wahrnehmbar nur selten bethätigt, denn wir haben nur selten Gelegenheit, dieser Ursache zuzuschreibende Verschiebungen in ihrer Action, abgesehen von den Resultaten, zu beobachten. Es scheint also, dass die Umstände, welche zur Hervorbringung dieser Bewegungserscheinung erforderlich sind, entweder nur selten vorkommen, oder die zahlreichsten Fälle vorkommender Erdbewegungen sind unserer Beobachtung durch irgendwelche Verhältnisse entrückt.

Der Lösung dieser Fragen kommen wir auf dem Wege wohl am nächsten, wenn wir nach der nothwendigen speciellen Bedingung zur Auslösung einer Tangentialbewegung forschen, um nachher beurtheilen zu können, wann und wo dieselben vorhanden sein können.

Zunächst ist es klar, dass geschichtete Gesteine, die ihre ursprüngliche Horizontalität noch bewahren, oder gar gegen den Aequator hin geneigt liegen, wegen der ebenen unteren Fläche einem Bewegungsimpulse leichter folgen werden als Massengesteine, welche vor dem Antritte jeder Bewegung vorerst den materiellen Zusammenhang an ihrer unteren Fläche überwinden mussten.

Dann ist es gewiss, dass auch bei Schichtgesteinen die Beschaffenheit des Untergrundes ein Gleiten entweder erschweren oder wesentlich befördern kann.

Hinderlich müssen dagegen alle inselartigen Einschlüsse von Massengesteinen, dann Unebenheiten und Rauigkeiten der Gleitfläche sein.

Wesentlich befördert wird aber jede Bewegung dadurch werden, wenn die Gleitfläche eine Zwischenlage feinen Sandes besitzt, oder wenn dieselbe aus undurchlassendem Thon besteht, und durch Wasser schlüpfrig erhalten wird.

Ferner wird Biugsamkeit der zu bewegendenden Masse dadurch, dass sie geeignet macht auftauchenden Hindernissen auszuweichen, ebenfalls die Beweglichkeit wesentlich steigern.

Wir werden demnach, ohne sehr zu irren, aus dem Vorhergehenden den Schluss ziehen dürfen, dass grosse und durchgreifende Durchfeuchtung die Schichtgesteine besonders fähig machen werde, den Impulsen der Tangentialkraft nachzugeben. Die erforderliche durchgreifende Durchfeuchtung wird

am vollständigsten bei completer Wasserbedeckung erzielt, es werden also wahrscheinlich die seichteren Meeresböden jene Theile der Erdkruste sein, welche sich am leichtesten und am häufigsten gegen tiefer gelegene Meeres-theile hin verschieben.

Diese die Massenbeweglichkeit bedingenden Umstände machen es erklärlich, weshalb es bisher nicht gelungen ist, die aus der Tangentialkraft hervorgehenden Seitenbewegungen direct zu beobachten, in welchem Falle man dieselben gewiss bald auf ihre wahre Ursache zurückgeführt haben würde.

Auch gewisse astronomische Erscheinungen werden Einfluss auf Eintritt und Verlauf der Tangentialbewegung ausüben. Der wechselnde Betrag der Anziehung von Sonne und Mond, wie er uns unmittelbar in der Ebbe und Fluth des Meeres sichtbar wird, kann nicht ohne Wirkung auf die Beweglichkeit der oberflächlichen festen Massen bleiben. Namentlich zur Zeit der Syzigien und Quadraturen wird die vorübergehende Verringerung der Schwerkraft über einzelnen Flächenabschnitten daselbst einen beträchtlichen Theil der Reibungswiderstände aufheben, und dadurch das Eintreten von Bewegungen sehr begünstigen.

Aus diesem Grunde ist es sehr wahrscheinlich, dass die Vorwärtsbewegungen geschichteter Gesteine nach dem Aequator zu weder der Dauer noch der Masse nach vollkommen gleichförmige sind, sondern dass dieselben mehr paroxysmenartig vor sich gehen.

Ueberhaupt ergibt sich aus einer näheren Erwägung dieser speciellen Umstände leicht die ganze Mannigfaltigkeit der an gefalteten Gebirgen beobachteten Erscheinungen; je nachdem die den bewegten Schollen entgegenstehenden Hindernisse an der Vorderseite derselben sich befinden, oder nur an einem Flügel, entsteht Faltung im rechten Winkel zum Meridian, oder es erfolgt gleichzeitig auch ein Einlenken nach einer Seite hin, und damit eine schiefe Stellung der Falten.

Bewegt sich der vordere Theil einer Scholle weniger rasch als die rückwärts befindlichen nachrückenden Massen, so wird Stauung und Faltung, ja selbst Ueberschiebung eintreten.

Die gleichen Erscheinungen wird ein vollkommenes Stillestehen des Vorderrandes durch sich entgegenstimmende Massengesteine zur Folge haben.

Ebenso muss ungleiche Vertheilung von Bewegungshindernissen bei ausgedehnten Schollen entweder ein auf die Bewegungsrichtung (den Meridian) schief gestelltes oder ein flügelweises, oder endlich ein Vorrücken mit zurückbleibenden Flügeln erzeugen.

Das nacheinander erfolgende Eintreten der Bewegung zuerst bei den höheren Schichten und erst später bei den tieferen, wie dasselbe durch die allmälige Ausbildung von Senkungsfeldern bedingt wird, muss ganze Faltensysteme unter Einem mit ihrer noch ungefalteten Unterlage zu neuen combinirten Falten zusammenlegen, und wird wohl häufig die Ursache jener räthselhaften und unentwirrbaren Falten-

systeme sein, welche innerhalb mächtiger Gebirgsstöcke angetroffen werden, und meistens deren charakteristisches Gepräge darstellen.

Im Verlaufe dieser mannigfach wechselnden Bewegungen, die hier nur in den allgemeinsten Umrissen angedeutet werden sollen, mussten auch solche sich vollziehen, welche zur Entstehung von Spalten und Rissen in den Schollen selbst führten. Sei es durch ungleich rasche Bewegung hintereinander befindlicher, sei es durch solche Bewegung nebeneinander befindlicher Schollen. Die ersteren werden mehr oder minder die Richtung der Breitenkreise, die letzteren jene der Längskreise einhalten. Die Spalten der Breitenkreisrichtung werden sich leicht zu grösseren Lücken, ja selbst zu weiten Becken eröffnen können, während die Längsspalten nur ausnahmsweise, durch divergirende Schollenbewegung, zu merklicher Breite gelangen dürften.

Sind die Schollen einmal durch Längsrisse in Theile zerlegt, so braucht die Gesammtheit aller nicht immer gleichen Schritt in der Bewegung zu halten, wodurch das Verwerfen in der Streichungsrichtung der Formationen entsteht. Dass sich übrigens solche Risse zur Ausbildung von Querthälern besonders eignen, braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden.

Endlich müssen während des Vorsichgehens der geschilderten Bewegung häufige und bedeutende Stauungen an gewissen Punkten der bewegten Massen eintreten, welche als Quelle jener Gesteinsumformungen angesehen werden müssen, die in

jüngster Zeit durch Heim*) auf mächtig wirkende Druckkräfte zurückgeführt worden sind.

Stauungen werden aber überdies noch eine weitere Reihe von Erscheinungen zur Folge haben, deren Darstellung wir unter Einem mit den Bewegungen der Erdrinde, welche sich über dem Wasser noch gegenwärtig vollziehen, dem nächsten Abschnitte vorbehalten.

*) Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. Basel 1878.

VII.

(Hindernisse der Bewegung erzeugen Stauung. — Verwandlung der lebendigen Kraft in Wärme. — Der Zutritt von Wasser an die Stauungspunkte bedingt die vulcanischen Erscheinungen. — Die Erdbeben.)

Im bisherigen Verlaufe unserer Darstellung haben wir die Wirkungen der Tangentialkraft mit Bezug auf Bewegungen ganzer Schichtmassen in horizontaler Richtung besprochen, und sind am Schlusse der Auseinandersetzung dahin gelangt, zu erkennen, dass dort, wo Stauung eintritt, sich diese Wirkungen auch auf eine weitgehende Umformung von Gesteinsmassen erstrecken können.

Unsere Untersuchung über die verschiedenen Aeusserungen der Tangentialkraft dürfen wir, selbst an diesem Punkte angelangt, noch nicht als abgeschlossen betrachten, und wollen dieselbe noch weiter führen.

Aus einer Anzahl fest begründeter Sätze der Lehre von der Umwandlung der Kraft geht hervor, dass die Bewegung (als sogenannte lebendige Kraft) unzerstörbar ist, und nur aufgebraucht werden kann durch Leistung mechanischer Arbeit, oder durch Umwandlung in chemische Affinität, oder endlich durch Umsetzung in Molekularbewegung

(Wärme, Licht, Elektrizität u. s. w.), ganz wirkungslos vergehen, spurlos aufhören kann sie nie.

Der früher ausgeführten Auffassung nach wirkt die Tangentialkraft auf alle Massentheilchen des rotirenden Erdkörpers in einem gewissen Betrage, welcher Betrag durch Summirung innerhalb einer Anzahl von Massentheilchen hinreicht, um unter günstigen Bedingungen Bewegung hervorzubringen.

Sind jedoch solche günstige Umstände nicht vorhanden, und äussert sich demzufolge die Tangentialkraft nicht durch Bewegung, d. i. mechanische Arbeit, so wird sie sich auf andere Weise äussern müssen, und sich in sogenannte innere Arbeit oder Molekularbewegung umwandeln.

Die Folge davon wird die sein, dass jedes an der Bewegung nach dem Aequator behinderte Massentheilchen sich um einen der Kraft genau äquivalenten Betrag erwärmen muss. Bei bedeutenden Gebirgsmassen, in denen die Tangentialbewegung durch Reibungswiderstände an der Gebirgsbasis aufgehoben ist, mag das Wärmeäquivalent schon eine ziemliche Grösse darstellen; noch bei weitem bedeutender muss dasselbe aber unter besonderen Umständen werden.

Ist die Reibung an der Basis eines Schichtcomplexes keine genügende, um die Bewegung vollkommen aufzuhalten, und das stauende Hinderniss befindet sich an einem einzigen Punkte oder auf einer Linie, so wird sich an diesem einzigen Punkte oder auf dieser Linie die ganze lebendige Kraft

der bewegten Masse in Wärme umwandeln. Der aus der Tangentialkraft hervorgehende Druck ist ein unausgesetzt wirkender, es muss demnach die locale, aus demselben hervorgehende Erwärmung ebenfalls eine dauernde sein.

Die Temperaturverhältnisse der Erdschichten sind uns nur sehr unvollkommen und nur bis zu einer äusserst unbedeutenden Tiefe bekannt, weil das Eindringen in dieselben ausserordentlich schwierig ist. Indessen kann das Vorhandensein von Orten einer höheren Temperatur in wenig bedeutender Tiefe selbst der äusserlichen Beobachtung nicht immer verborgen bleiben. Der Zutritt von Wasser an diese Punkte wird sie zunächst und meistens verrathen, entweder durch das Hervorbrechen warmer Quellen, oder durch das Entstehen von Schlammvulcanen und Geysir's, oder endlich durch die Bildung von Eruptionstellen feuerflüssiger Gesteinsmassen.

Diese verschiedenen Formen vulcanischer Erscheinungen beruhen blos auf Unterscheiden des Grades und der Mannigfaltigkeit von Combinationen zwischen Temperaturhöhe, Wasserquantum und Druckhöhe.

Was zunächst die Höhe der Temperatur betrifft, welche durch andauernde Stauung entstehen kann, wird ein Unterschied durch die Tiefe hervorgebracht werden, in welcher der Stauungspunkt gelegen ist. Das erzeugte Wärmequantum wird nämlich von der Grösse der lebendigen Kraft bedingt, die zur Um-

wandlung gelangt, diese aber wieder von der Grösse der bewegten Masse direct abhängig sein. Liegt nun ein Stauungspunkt in bedeutender Tiefe, so wird die polwärts gelegene Masse offenbar bedeutender sein als bei geringer Tiefe, d. h. liegt ein Stauungspunkt tiefer, so wird die entwickelte Temperatur höher sein als bei oberflächlicher Lage desselben.

Oberflächlich gelegene Stauungspunkte mit Temperaturen, welche den Siedepunkt des Wassers nicht erreichen, können nur durch vorbeisickernde Quellwässer sich nach Aussen bemerklich machen; dagegen werden die tiefer gelegenen Stauungspunkte hoher Temperatur, so lange diese Tiefe eine mässige ist und eine grössere Menge Wasser Zugang zu denselben erlangt, einen Theil desselben in Dampf verwandeln und den Rest fortzudrücken suchen. Eröffnet sich dem Wasser ein Ausgang nach der Oberfläche, so wird es emporgeschleudert, und wir nennen diese Erscheinung, je nach der Mächtigkeit des Wasserstrahls oder der Menge und Beschaffenheit der mitgeführten Substanzen, Geysir, Schlammvulcan u. s. w.

Der Stauungspunkt kann indessen auch einer ziemlich bedeutenden Tiefe angehören, und es können ungeachtet dieser Tiefe bedeutende Wassermengen Zutritt zu demselben erlangen. Unter diesen Umständen werden nur stark überhitzte Dämpfe im Stande sein, den verticalen Druck zu überwinden und sich einen Ausweg nach der Oberfläche zu verschaffen. Die Höhe der Temperatur, die in diesem Falle bloß von der Grösse der lebendigen Kraft und

der Druckhöhe des Wassers abhängt, kann sich so sehr steigern, dass dieselbe zur Schmelzung der den Stauungspunkt umgebenden Gesteine führt, welche dann als Eruptivgesteine sich über die Oberfläche ergiessen und die höchste Stufe der vulcanischen Erscheinung darstellen.

Ein sehr tief gelegener Stauungspunkt, zu welchem bedeutende Wassermengen Zutritt erlangen, wird demnach zum vulcanischen Herde.

Grosse Wassermengen unter hohem Druck können nur ausgedehnte Wasserbecken liefern, und sehen wir denn auch die thätigen Vulcane fast ausnahmslos an die Nähe des Meeres oder von bedeutenden Seen gebunden.

Auch auf die geographische Verbreitung der vulcanischen Erscheinungen überhaupt wirft die obige Erwägung über die Bedingungen ihres Entstehens einiges Licht.

Die Stauungspunkte oder Linien müssen ihrer Natur nach sich immer am vorderen Rande einer bewegten Masse befinden. Bewegt sich also ein, gleichviel ob überseeisches oder unterseeisches Gebirge, so wird sich die Stauung immer nur am Aequatorialrande oder im Inneren desselben bilden können, nie aber am Polarlande. Die Verbreitung der warmen Quellen und der Schlammvulcane bestätigt diese Voraussetzung vollständig. Was die eigentlichen Vulcane betrifft, so liegt die Mehrzahl derselben ebenfalls am Aequatorial-

rande der bewegten Masse, es kommen jedoch auch meridional gereichte Vulcanreihen vor, welche zwar keine Ausnahme von der oben ausgesprochenen Regel machen, deren Auftreten aber eine besondere Erläuterung bedarf, die abgesondert gegeben werden soll.

Zu der ausgesprochenen Ansicht, die Vulcane verdanken ihre Entstehung Herden, welche innerhalb der Erdkruste liegen, gelangte man, wie in der Einleitung hervorgehoben wurde, bereits früher; auch die grosse Rolle, welche das Meerwasser bei der Ausbildung derselben spielt, wird allgemein zugegeben. Es veranlassten diese Wahrnehmungen auch schon den Engländer Mallet, die der unseren ähnliche Ansicht auszusprechen, der verticale Druck der Küstländer auf ihre Basis, bei Zutritt von Meerwasser, wäre die Veranlassung zur Bildung der Eruptionsherde. Er übersah hiebei, dass, sobald der verticale Druck dauernde Erwärmung zur Folge haben soll, die drückende Masse continuirlich sinken, ja bedeutend sinken müsste, um die zur Erzeugung der vorausgesetzten Erwärmung erforderliche lebendige Kraft zu liefern, was den Beobachtungen in Vulcangebieten in keiner Weise entspricht.

Gegen die hier vertretene Ansicht könnte man den ähnlichen Einwurf machen, dass auch die die Stauung bewirkende Masse in continuirlicher Bewegung angenommen werden musste, um den Bestand eines dauernden vulcanischen Herdes zu veranlassen. Die eine Stauung bewirkende Masse ist in ihrer horizontalen Erstreckung aber ungleich bedeutender,

hat demnach, um die gleichen Wirkungen hervorzubringen, räumlich viel kleinere Bewegungen auszuführen, wobei sie continuirlich neue kosmische Bewegungsimpulse empfängt; der angenommene vulcanische Herd wird dadurch gleichsam immer wieder neu gespeist, ohne dass eine wahrnehmbar räumliche Bewegung die nothwendige Vorbedingung wäre.

Es wurde früher angedeutet, dass die meridional gereihten Vulcane eine besondere Erläuterung bedürfen, indem die Ausbildung von Stauungspunkten innerhalb von Längenkreisen nicht so unmittelbar aus dem Bewegungsimpulse der Tangentialkraft folgt, als jene am Aequatorialrande der Ueberhöhungen.

Das ausgezeichnetste Beispiel längstgereihter Vulcane bietet uns der Westrand von Südamerika dar. Hier zieht sich in einer dem Meridian genau folgenden Linie eine namhafte Zahl theils thätiger, theils erloschener Feuerberge hin, welche ihre Aufschüttungskegel weit über die Schneegrenze hinaus aufgethürmt haben, und dadurch die Verbreitungslinie selbst zu einer Art von mächtigem Gebirgszuge gestalteten.

Der Verlauf der übrigen gefalteten Gebirgszüge ist auf dem amerikanischen Continente ein von Ost nach West gerichteter, derart, dass dieselben fast rechtwinkelig aus der Kette der Anden und Cordilleren zu entspringen scheinen; sie verdanken ihren Ursprung, soweit derselbe von der Faltung abhängig ist, der Tangentialkraft, welche die beiden Continentheile gegen die Depression des mexikanischen Golfes und des Amazonenstromes theils vom Süden, theils

vom Norden her zu verschieben sucht. Im westlichen Theile der Festländer waren die Bedingungen für die Ausführung der Bewegungen günstige, und offenbarten sich ihre Wirkungen in dem Entstehen einer Anzahl von Transversalfaltungen. Am Ostrande des Continentes waren dagegen die localen Umstände andere, sie begünstigten das Faltenwerfen nicht; der von zwei Seiten am Aequator zusammentreffende Tangentialdruck führte längs des ganzen Uferrandes zu einer meridional gerichteten Longitudinalspannung. Die ungleichförmige Vertheilung der Stoffe innerhalb der Spannungslinie, dann die Verschiedenheit der Reibungswiderstände an deren Basis führten zur Bildung einer Anzahl von Stauungspunkten, welche sich in gewissen Abständen auf die ganze Linie vertheilten. Die unmittelbare Nachbarschaft einer tiefen See gestattete die Entstehung von vulcanischen Herden, welche, entsprechend der Lage der Bedingungen ihres Bestandes, die meridionale Richtung einhalten mussten.

Auf ähnliche Weise dürfte das Vorkommen älterer Eruptivgesteine am Ostrande des Ural zu erklären sein, deren Bildung demnach in eine Zeit fällt, in welcher der gesammte Norden Asiens noch ein tiefes Seebecken war.

Die scharf charakterisirten Eigenthümlichkeiten der Longitudinalgebirge, welche meistens aus einer oder mehreren Reihen von vulcanischen Kegelbergen bestehen, im Gegensatz zu dem asymmetrischen Baue der transversalen Kettengebirge mit bloß vorgelagerten

Eruptivgesteinen, werden durch die besonderen Verhältnisse, denen beide ihr Entstehen verdanken, genugsam erklärt.

Die isolirten Vulcane mitten im Meere entsprechen Stauungspunkten des Meeresgrundes, und haben ihre grösste Verbreitung innerhalb der Wendekreise, was wohl damit in Zusammenhang zu bringen ist, dass am Aequator der beiderseitige Tangentialschub zusammentrifft und seine lebendige Kraft die Bildung einer Anzahl von Stauungspunkten veranlasst, die, wie wir angenommen haben, bei genügendem Zutritt von Wasser zur Ausbildung vulcanischer Herde führt.

Ein anderes geographisches Vorkommen von thätigen Vulcanen ist bisher nicht mit Gewissheit bekannt, indem die Nachrichten innerasiatischer, rein continentaler feuerspeiender Berge bisher in keinem einzigen Falle zweifellos beglaubigt worden sind, und es sich hiebei meistens um nicht mehr thätige, nur noch dampfende, im sogenannten Solfaterenzustande befindliche Berge handelt; also um einst thätige Vulcane, welche sich im Zuge befinden, auf immer zu verlöschen.

Das Aufhören jeder eruptiven Thätigkeit eines Vulcans, das sogenannte Verlöschen desselben, ist nicht nothwendig mit dem Aufhören aller die Erscheinung ursprünglich bedingenden Momente verbunden. Stauung und Wärmentwicklung können ungeschwächt fortdauern, es braucht bloß der genügend reichliche Wasserzufluss unter

dem entsprechenden Drucke aufzuhören, und es werden damit nothwendiger Weise alle eigentlichen vulcanischen Erscheinungen ihr Ende erreicht haben.

Diese Erwägungen leiten dahin, es wahrscheinlich zu finden, dass durch starken Druck innerhalb bestimmter Tiefen der Erdkruste an gewissen Punkten sich sehr bedeutende Mengen von Wärme entwickeln können, ohne dass dies zu eigentlichen Eruptionen führt; ja dass, wenn dies an einem Orte stattfindet, an welchem keine gebahnte Communication mit der Oberfläche vorhanden ist, selbst heftige innere Glut äusserlich gar keine wahrnehmbaren Wirkungen zur Folge hat.

Erreicht diese Erhitzung jedoch wirklich einen sehr hohen Grad, so kann sie auch ohne Wasserzutritt zur Schmelzung des umgebenden Gesteines führen. Bei fortgesetztem Druck auf die flüssigen Massen wird dann eine Art von Injection geschmolzener Stoffe in die Spalten und Klüfte des Nachbargesteins erfolgen.

Die so vielfältig vorkommenden Ganggesteine, welche bisher auf das frühere Vorhandensein von unzähligen Eruptionscentren, die meist spurlos verschwunden sein sollen, zurückgeführt werden sollten, dürften in der Mehrzahl der Fälle dem angedeuteten Prozesse ihre Entstehung verdanken. Es mag übrigens vorderhand genügen, auf den wesentlichen Unterschied aufmerksam zu machen, welcher sich aus dieser Auffassung zwischen den unter Vermittlung des Wassers geschmolzenen Eruptivgesteinen

und den ohne solche Vermittlung entstandenen Injectionsgesteinen ergibt.

Alle vulcanischen Erscheinungen sind gewöhnlich mit heftigen oder mindestens mit geringen Erschütterungen des Bodens in deren Umkreise verbunden. Der Causalzusammenhang einer gewissen Classe von Erdbeben mit Eruptionen nahegelegener Vulcane ist in der That in den meisten Fällen so offenbar, dass man sich veranlasst sah anzunehmen, die Mehrzahl aller Erschütterungen des Erdbodens beruhe auf der gleichen oder einer ähnlichen Ursache, selbst in den Fällen, bei denen die erschütterten Gebiete weit entfernt von jedem vulcanischen Herde waren.

Auch innerhalb dieses Naturphänomens hat das genauere Studium der Neuzeit verschiedene Forscher dahin geführt, Unterschiede zu statuiren, und die eigentlich und zweifellos vulcanischen Erdbeben von den allgemeineren (tektonischen) und mehr localen (Einsturzbeben) ursächlich zu trennen. Immerhin konnte man sich jedoch von der überkommenen Anschauung, auch die nicht mit Vulcanausbrüchen in sichtbarem Zusammenhange stehenden Erdbeben seien durch Stösse von einem einzigen tief im Inneren gelegenen Orte (Erdbebencentrum) aus hervorgerufen, deren Ausgangspunkt ebenfalls eine Art unterdrückter vulcanischer Herd sein sollte, nicht losmachen. Um diese Anschauung fester zu begründen, welche sich übrigens einer ziemlichen Verbreitung erfreut, sind die scharfsinnigsten Hypothesen, die umständlichsten Be-

rechnungen über die muthmassliche Tiefe und die Lage des Ausgangspunktes der Stösse u. s. w. ange stellt worden, ohne damit indessen die berechtig ten Bedenken gegen die hypothetische Wirk samkeit willkürlich angenommener Kräfte zerstreuen zu können.

Unserer Ansicht nach müssen alle grösseren, ausserhalb des unmittelbarsten Erschütterungskreises eines Vulcanes auftretenden Beben auf Grund dessen, was wir von der Wirkungsweise der Tangentialkraft kennen gelernt haben, unbedingt auf diese zurück geführt werden.

Nach dem Emportauchen eines Festlandes über das Meeresniveau traten auf demselben Verhältnisse ein, die für die Auslösung von Tangentialbewegungen, wegen der grösseren Reibung und geringeren Ducti lität der Schichten im trockenen Zustande, minder günstig waren. Damit war jedoch nicht alle Mög lichkeit für den Eintritt solcher Bewegungen ganz ausgeschlossen. Sie konnten beim Zusammen treffen der nothwendigen befördernden Umstände, die denjenigen ähnlich sein mussten, welche die unter seeische Schichtenfaltung begünstigen, thatsächlich eintreten. Der für den Erdenbewohner wahrnehmbare Charakter einer solchen Bewegung ist der eines mehr oder weniger heftigen Schwankens des Bodens, welches sich mit wechselnder Intensität über kleinere oder grössere Gebiete erstreckt.

Die nothwendig wechselnden Formen solcher tektonischer Erdbeben werden durch gewisse locale

Bedingungen bestimmt, welche aus dem inneren Bau des Schüttergebietes hervorgehen. Es kann sich nämlich eine grössere Scholle in ihrer Gesammtheit, ja selbst ein ganzer Continent (Lissabon!) um einen gewissen Betrag äquatorwärts bewegen, entweder auf einmal oder in mehreren ungleichen aufeinanderfolgenden Schritten, oder die Bewegung erfasst blos einen Theil eines grösseren Gebietes, welcher dann entweder selbständig zwischen zwei longitudinalen Trennungslinien (Verwerfungsspalten) die Vorwärtsbewegung ausführt, oder wenn solche Trennungsflächen nicht vorhanden sind, an verschiedenen Punkten in wechselndem Betrage vorwärtsschreitet, je nachdem die Hindernisse auf der Bewegungslinie vertheilt sein werden.

Am häufigsten werden jedoch bereits bestehende Faltensysteme durch die Erschütterungsbewegung erfasst werden können, weil sie ihre Entstehung den gleichen Ursachen verdanken, und demzufolge auf ihrer ganzen Erstreckung wahrscheinlich noch die gleichen Bewegungsbedingungen bestehen. Dieser Art sind alle jene Erderschütterungen, welche mit einer gewissen Regelmässigkeit bestimmte in derselben Streichungsrichtung eines Gebirges gelegene Linien erfassen, und welche von R. Hörnes neuestens mit dem Namen »tektonische Erdbeben« bezeichnet worden sind.

VIII.

(Zusammenfassung und Schluss.)

Der Ausgangspunkt der soeben zu Ende geführten Darstellung war eine hypothetische Annahme über die wahrscheinliche innere Constitution unseres Planeten. Im engsten Anschlusse an die Laplace'sche Theorie von der Entstehung der Weltkörper als Producte allmäliger Verdichtung des im Raume verbreiteten Stoffes gelangten wir dahin, den gegenwärtigen Zustand des Erdkörpers, im Gegensatze zur fast allgemein herrschenden Ansicht, als bereits bis in das Innerste vollkommen erstarrt voranzusetzen.

Ungeachtet dieser bereits vollendeten Erstarrung hielten wir doch die fortdauernde Abkühlung gegenwärtig noch nicht so weit gediehen, dass dadurch dem Erdballe seine gesammte ursprüngliche Eigenwärme schon verloren gegangen wäre, und den zurückgebliebenen Rest innerer Glut noch immer für bedeutend genug, um eine Quelle sich allmählig vollziehender weittragender physikalischer Veränderungen abzugeben.

Indem wir nun die Art und die Bedingungen des Wärmeverlustes durch Ausstrahlung nach dem Weltraume einer näheren Untersuchung unterzogen,

kommen wir zu dem Ergebnisse, dass dieser Wärmeverlust an allen Punkten der Oberfläche nicht der gleiche sein könne, vielmehr durch die eigenthümliche Rolle, welche das Wasser auf der Erde spielt, sich in dieser Hinsicht ziemlich bedeutende dauernde Differenzen einstellen müssen.

Daraus folgte sodann unmittelbar, dass solche dauernde Unterschiede in der Oberflächentemperatur, nach unabänderlichen Gesetzen dauernde Unterschiede im Volumen, der unterhalb dieser verschiedenen Flächen gelagerten Materien verursachen werden, die gross genug sind, um das Entstehen jener Depressionen oder Senkungsfelder, welche unterhalb des Meeresniveau's liegen, hervorzurufen.

Hierauf gelangten wir im weiteren Verlaufe der Untersuchung dahin, zu erkennen, dass es Ursachen gebe, welche geeignet sind, den durch ungleichen Wärmeverlust jeweilig erreichbaren Gleichgewichtszustand wieder zu stören, und dass auf die erstentstandenen Senkungsfelder nach Verlauf einer gewissen Zeit unter Hebung des bisherigen Meeresgrundes und allmähiges Untertauchen der Continente neue Senkungsfelder folgten. Wir haben diesen Process mit dem Spiele des Balkens einer Wage verglichen, bei welcher die Amplitude der Bewegung bis zu einer, wie es den Anschein hat, gegenwärtig vielleicht noch nicht erreichten Grenze zunehmen müsse.

Nachdem jedoch aus den verticalen Schwankungen des Bodens alle an Gebirgen beobachteten Erscheinungen, namentlich jene des gestörten Schichten-

baues, nicht erklärt werden können, so unterzogen wir zunächst diejenigen Kräfte einer näheren Betrachtung, welche auf den Gleichgewichtszustand der Körper auf der Erdoberfläche Einfluss nehmen. Hiebei stellte es sich heraus, dass die durch die Rotation der Erde um ihre Axe hervorgerufene Centrifugalkraft allen Körpern ausser dem Bestreben, sich von der Erde zu entfernen, auch einen Impuls verleihe, sich in der Tangente eines jeden Meridians beiderseits gegen den Aequator hin zu verschieben.

Die Untersuchung der Grösse und Richtung dieses Impulses, sowie der näheren Umstände, unter welchen derselbe zur Aeusserung gelangen könne, führte uns dahin, anzunehmen, dass diese Aeusserung von besonderen Bedingungen abhängig sei, die vorzugsweise unter Wasserbedeckung zutreffen werden, und im entgegengesetzten Falle nur ausnahmsweise eintreten dürften, was uns veranlasste die Vermuthung auszusprechen, dass es vornehmlich die höheren Gebiete des Meeresbodens sind, welche sich gegen die tieferen Theile desselben in der Richtung nach dem Aequator zu verschieben trachten, und dass der oft so wunderbar kraus gefaltete Schichtenbau unserer Gebirge in dieser Bildungsweise seine Erklärung finde.

Dieser Process der Faltenbildung, als oberflächliche Massenbewegung nach dem Aequator, wird durch die nur secundäre Erscheinung des Vulcanismus in seinen verschiedenen Formen begleitet; von der unscheinbaren, blos Kieselsinter absetzenden Therme angefangen bis zu der überwältigend grossartigen,

Lavaströme ergiessenden Eruption feuerspeiender Berge. Doch bleibt auch die Folgeerscheinung nicht ohne sehr merklichen Einfluss auf das gesammte schliessliche Gestaltungsergebniss, weil die angehäuften Eruptionsproducte nicht nur wesentliche Theile von Gebirgen zusammensetzen, sondern auch deshalb, weil dieselben durch ihr Hervorbrechen an bestimmten Punkten und Linien die vorhandenen Bewegungshindernisse vermehren, und dadurch während der Dauer des Hebungsprocesses die Intensität der Faltung und Ueberschiebung der Schichten vergrössern müssen.

Als Consequenz aus der Betrachtung der Stauungserscheinungen schien sich endlich zu ergeben, dass das Auftreten von Gesteinsgängen ausser allem nachweisbaren Zusammenhange mit Eruptionscentren darin seinen Grund habe, dass sich im Inneren von Gebirgsmassen durch stauenden Druck Punkte äusserst hoher Temperatur entwickeln können, welche zwar aus Mangel an Wasser zu keinen Eruptionerscheinungen Veranlassung geben, die aber dennoch zur Schmelzung der Gesteine und zur Injection derselben in vorhandene Spalten führen.

Vielleicht wird sich bei einem aufmerksamen Studium der näheren Constitution der bisher unter der Bezeichnung »Eruptiv« zusammengefassten Gesteine ein Unterschied, wie er in der verschiedenen Bildungsweise begründet ist, nachweisen lassen, und sich daraus eine Trennung der eigentlichen Eruptivgesteine von den denselben bloß verwandten Injec-

tionsgesteinen auch im petrographischen Sinne ergeben.

Erhebung und Gestaltung des Festen auf der Erdoberfläche wird also der Hauptsache nach und vorzugsweise durch zwei Hauptfactoren bedingt: der ungleichen Abkühlung der Oberfläche, welche Depressionen erzeugt, und der Tendenz höherer Gebiete nach dem Aequator hin zu fließen. Aus dieser Auffassung der gebirgsbildenden Kräfte ergeben sich einige für die wissenschaftliche Geographie wichtige Schlüsse, die hier in ihren allerallgemeinsten Umrissen angedeutet werden mögen.

Die gegenwärtige Vertheilung von Wasser und Land wäre darnach das Product eines zeitlichen Processes, auf dessen Verlauf eine bestimmte Reihe von erkennbaren Einflüssen eingewirkt haben. Der Ausgangspunkt desselben war die Collocation der materiellen Verhältnisse bei der Entstehung der ersten Meere. Die Einwirkungen der verändernden Ursachen waren die Gleichen wie noch heute. Es darf demnach die gegenwärtige Vertheilung von Meer und Land auf der Erdoberfläche nicht auf die Wirksamkeit nur eines einzigen physikalischen Processes allein zurückgeführt werden, wie dies so oft versucht worden, sondern muss unbedingt als das uns entgegentretende Endergebniss eines complicirten Verlaufes von Erscheinungen aufgefasst werden, dessen bis in's Einzelne gehende Entzifferung kaum je gelingen

dürfte, dessen vorübergehende Phasen uns jedoch ganz gut vorstellbar sind.

Was die Gebirge im Einzelnen betrifft, so wären dieselben, je nachdem sie bloß der Faltung oder bloß der Anhäufung von Eruptionsproducten ihre Entstehung verdankten, in Transversal- und Longitudinalgebirge einzutheilen, wobei die Zusammengehörigkeit nach der Gleichzeitigkeit des Bildungsprocesses eines Systemes zu beurtheilen wäre. Bei den Transversalketten ist der älteste Theil immer der meist äquatorwärts gelegene, bei den Longitudinalketten jener, welcher vom bestehenden oder bestandenen Meere am weitesten entfernt ist u. s. w.

Auch einige kleinere Becken dürften sich bei näherer Betrachtung nicht als wirkliche Senkungsfelder, sondern vielmehr als Folgen von Dislocationen ergeben. In erster Linie wäre das Mittelmeer dahin zu rechnen, welches ebenso wie das rothe Meer einer südwärts erfolgten Verschiebung des Nordrandes von Afrika seine Entstehung zu verdanken scheint. Auch Arabien scheint eine kleine Verschiebung doch mehr nach Südosten erlitten zu haben, und dadurch Veranlassung zur Oeffnung der Jordanspalte des Euphratthales und des persischen Golfs zu sein.

Der Zweck dieser Schrift kann es nicht sein, die aus der aufgestellten Hypothese möglichen Folgerungen in aller Vollständigkeit darzulegen, es mögen deshalb die gemachten wenigen Andeutungen, aus denen der Werth der theoretischen Voraussetzungen

mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gefolgert werden kann, vorderhand genügen.

Aus dem Erstarrungsprocesse ging das Erdsphäroid als ganz ebener Rotationskörper hervor, die auf dasselbe einwirkenden Einflüsse physikalischer Natur führten zu oberflächlichen Veränderungen, die sich in der Form von Unebenheiten geltend machten, deren Betrag im Verlaufe der Zeiten zunahm.

Wie überall im Gebiete kosmischer Erscheinungen, dürfte aber auch hier das Endergebniss ein vollständiger Kreisprocess sein. Mit der endlich mit Nothwendigkeit eintretenden vollständigen Erkaltung des Erdinneren wird die veranlassende Ursache der Unebenheiten geschwunden sein, der rastlos wirkende Nivellirungsprocess der Erosion und Tangentialverschiebung muss der Oberfläche des Planeten verhältnissmässig rasch die ursprüngliche ebene Fläche wiedergeben, mit dem einzigen Unterschiede, dass über dieselbe dann nicht eine Dampfathmosphäre, sondern ein zusammenhängendes einziges Meer gebreitet sein würde.

Doch auch die Sonne wird endlich ihren reichlich gespendeten Wärmevorrath erschöpfen, und das bisher unaufhörlich bewegte allgemeine Meer wird sein einförmiges Spiel ausgespielt haben, denn Erstarrung auch des flüssigen Elementes muss das schliessliche Ergebniss sein.

Ist aber dieses unserem geistigen Auge allein erkennbare Resultat einmal eingetreten, so ward da-

mit von der Natur nach einer aller Vorstellung spottenden Zahl von Jahren über Allem, was dieser Planet an anorganischen Schätzen und organischer Kraft und Herrlichkeit je geborgen, ein einziges blendendes glitzerndes Leichentuch gebreitet für alle Ewigkeit.³⁾

Anmerkungen.

1) Das Volum der auf irgend einem Strahle gelegenen Stoffe wird bestimmt durch die mittlere Temperatur, welche dieselben besitzen. Nach der gemachten Voraussetzung von der äusserst hohen Innentemperatur wird diese mittlere Temperatur (M) sich annähernd so berechnen lassen, dass man annimmt, diese werde durch die Formel:

$$M = \frac{x + C}{2},$$

wobei x die mittlere Temperatur irgend eines Oberflächenortes, C die Temperatur im Mittelpunkte des Erdkörpers bezeichnet.

Hiebei wird die verschiedene Leitungsfähigkeit der Stoffe überhaupt, sowie die geringere bei höheren Wärmegraden, welche sich im gegebenen Falle theilweise compensiren, vernachlässigt.

Vergleicht man nun die mittlere Temperatur von zwei verschiedenen Strahlen M und M' , wobei dann die Oberflächentemperatur x und y ist, so erhält man die Gleichung $M : M' = \frac{x + C}{2} : \frac{y + C}{2}$ und durch Auflösung, wenn $x >$ als y angenommen wird:

$$M - M' = \frac{x - y}{2},$$

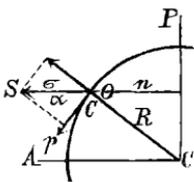
das heisst, die mittleren Temperaturen der Strahlen sind um die halbe Differenz der Oberflächentemperaturen von einander verschieden.

Nach den mir erst während des Druckes bekannt gewordenen Untersuchungen über die Maximaldichte des destillirten und des Meerwassers, welche im Jahresberichte der Commission für wiss. Unters. d. deutschen Meere in Kiel für das Jahr 1874—76 veröffentlicht worden sind, beträgt diese Maximaldichte für Meerwasser $+ 0.45^0$ und muss diese Temperatur als die dauernde mittlere Wärme des Meeresbodens angenommen werden. Setzen wir dem gegenüber die mittlere Temperatur des Bodens in den Tropen mit

30⁰ C., so können wir als grösste halbe Temperaturdifferenz annehmen 14.77⁰ oder rund 14.50⁰.

Setzen wir den mit der Temperatur steigenden linearen Ausdehnungscoefficienten gleich 0.000026, was mit Rücksicht auf die mittlere Qualität der Stoffe des Erdkörpers und die mindestens 1000⁰ betragende mittlere Temperatur derselben gerechtfertigt scheint, so resultirt für je einen Grad Abkühlung eine Depression per rund 250 Meter (nachdem die dreifache lineare Ausdehnung in Rechnung zu nehmen ist), so erhalten wir als Maximaldepression 250 . \times 14.50 = 3575 Meter. Selbstverständlich ohne alle Berücksichtigung der Steigerung durch Erosion und Auflagerung.

2) Zur Erläuterung der Wirkungsart der Tangentialcomponente der Fliehkraft diene Nachfolgendes: In der beigetzten Figur, welche einen Quadranten des Achsendurchschnittes der Erde darstellt, sei C der Erdmittelpunkt, P ein Pol, A ein Punkt des Aequators, demnach die Linie A, O, P die Hälfte eines Meridians. Jedes in O befindliche Massentheilchen erhält im Falle der Rotationsbewegung um die Axe PC das Bestreben, in der Richtung OS zu fliehen, die Schwerkraft dagegen wirkt auf dasselbe in der Richtung OC . Das Resultat dieser beiden Kraftäusserungen wird die Tendenz des Punktes O sein, sich in der Componente Op der beiden Kräfte, welche nach dem Aequator gerichtet ist, fortzubewegen.



Alle auf der Linie AN gelegenen Punkte werden in ähnlicher Weise beeinflusst, die Grösse und Richtung der Componenten wird sich jedoch nach der Grösse der Umfangsgeschwindigkeit und nach dem Winkel, in welchem die beiden Kräfte auf den Angriffspunkt wirken, ändern.

Um einen präzisen Ausdruck für das Mass dieser Kräfte zu finden, nennen wir die Kraft in der Richtung $Op = D$ und jene in der Richtung $OC = G$.

Nennen wir A die Centrifugalbeschleunigung am Aequator, so haben wir $A = R\rho^2 = 0.03368^m$

$$p = c \sin \alpha$$

$$c = r\rho^2$$

$$r = R \cos \alpha$$

$p = R\rho^2 \cos \alpha \sin \alpha = A \cos \alpha \sin \alpha = (0\cdot03368^m \cos \alpha \sin \alpha)$ als Beschleunigung in der Richtung op .

Bezeichnen wir weiter die Beschleunigung der Erdschwere im Punkte O mit g , so können wir nach Sabine setzen:

$$g = (9\cdot78009 + 0\cdot03368 \sin^2 \alpha) \text{ Meter.}$$

$$D : G = p : g$$

$$D = G \frac{p}{g}$$

Suchen wir den Werth von D , wenn wir $G = 1000$ Kilogr. setzen, so ist $D = 1000 \frac{0\cdot03368 \cos \alpha \sin \alpha}{9\cdot78009 + 0\cdot03368 \sin^2 \alpha}$.

Aus dieser letzteren Formel lässt sich die Grösse von D für verschiedene Breiten leicht berechnen, denn setzen wir $\alpha = 45^\circ$, so haben wir $\cos \alpha \sin \alpha = 0\cdot5$, $\sin^2 \alpha = 0\cdot5$, oder

$$D = 1000 \frac{0\cdot01684}{9\cdot79693} = 1\cdot717 \text{ Kilogr.}$$

und in ähnlicher Weise für:

$$\alpha = 20^\circ, D = 1\cdot102 \text{ Kilogr.}$$

$$\alpha = 70^\circ, D = 1\cdot109 \quad \text{»}$$

$$\alpha = 0^\circ, D = 0$$

$$\alpha = 90^\circ, D = 0 \quad \text{»}$$

Daraus ergibt sich, dass die gegen den Aequator gerichtete Tangentialkraft unter dem 45. Grad der Breiten ihr Maximum erreicht und daselbst mit einer Grösse wirkt, welche $0\cdot001717$ der bewegten Masse gleich ist.

3) Als sich das Manuscript bereits in der Druckerei befand, kam ich zur Kenntniss, dass W. Thomson ebenfalls die Behauptung aufgestellt habe, die Erde sei bereits vollkommen erstarrt; da mir die betreffende Originalabhandlung nicht zugänglich ist, so kann ich nicht aussprechen, wie weit ich mit den Ausführungen derselben übereinstimme. Nach den dürftigen Notizen, welche mir über dieselbe zukamen, scheinen die Beweisführungen ähnliche zu sein, wie diejenigen, welche zum gleichen Zwecke von mir angewendet worden sind.

