

Bemerkungen zu den neueren und neuesten Theorien über Niveau-Schwankungen.

Von Dr. Richard von Drasche in Wien, M. A. N.

„Je sais bien, que dans les hypothèses géologiques, où il se mêle, toujours quelque chose de la fragilité humaine, il faut mettre de côté l'assurance et la présomption.“
(Köchlin.)

Wer von allen unseren geologischen Theorien nie etwas gehört hat und zufällig hoch über dem Meeresspiegel horizontal gelagerte Schichten mit versteinerten marinen Organismen finden würde, dem läge wohl gewiss die Idee näher, einen einstig höheren Stand des Meeres vorzusetzen, als sich hier eine Hebung des scheinbar unbeweglichen Landes vorzustellen. Erstere Ansicht, die dem ersten Kindesalter der Geologie angehört, ist längst verlassen. Steile Schichtenstellung und die Unmöglichkeit, die enormen Wassermassen, welche einem um so Vieles früher erhöhten Meeresspiegel entsprechen würden, irgendwie verschwinden zu machen, haben bald dazu geführt, alles Feste als gehoben zu betrachten.

Dass diese Erklärung denn doch nicht für alle Fälle so einleuchtend ist, beweist, dass neuerdings wieder von H. Schmidt ein Versuch gemacht wurde, die grossen Continentalhebungen und die kleineren Niveauschwankungen durch Aenderungen des Meeresspiegels selbst zu erklären. Sonne und Mond sollen in Perioden, die von der veränderlichen Lage der Axe der Erdbahn und der Erdaxe selbst abhängen, grosse Wassermassen abwechselnd gegen die beiden Pole führen. *)

Wir wollen uns hier jedoch nur mit jenen Erklärungsweisen der Niveau-Veränderungen befassen.

*) Leider sind die zahlreichen Abhandlungen des geistvollen Verfassers über diesen Gegenstand durch einen grossen Apparat von astronomischen Beweisführungen, Gezeiten-Berechnungen u. s. f. dem Geologen in einer so schwer geniessbaren Form gegeben, dass wohl Wenige sich durch dieses umfangreiche Material durchgearbeitet haben dürften. Würde sich der Autor entschliessen, seine Theorie in ihrer jetzigen Form in entsprechender kurzer Bearbeitung dem geologischen Fachpublikum vorzulegen, so würde er gewiss sowohl letzterem als auch der Theorie einen grossen Dienst erweisen.

welche ihre Beweise aus dem natürlichen Entwicklungsgange der Erde selbst nehmen, ohne allgemeine kosmische Vorgänge zu Hülfe zu rufen.

Von allen Theorien, die je zur Erklärung geologischer Erscheinungen zu Hülfe genommen wurden, ist wohl die Laplace-Kant'sche jene, an welcher man sich am wenigsten zu rütteln traute. Es wird wohl keinem Geologen mehr einfallen, an dem ehemals feurig-flüssigen Zustande unseres Sonnensystems und speciell unseres Erdballes zu zweifeln. Alle neueren Errungenschaften der Physik der Gestirne bringen zahlreiche Beweise zu dieser Annahme. Ganz natürlich schien es nun, weiter vorzusetzen, dass die Erde von aussen langsam gegen innen erstarre; die Vulkane sollten Beweise eines noch flüssigen Erdkernes sein. Lange Zeit behauptete sich diese Ansicht, bis endlich Thomson („On the rigidity of the earth“. Proc. Roy. Soc. XII, 1863, p. 103) aus dem Verhalten der Erde gegen die Gezeiten-erregende Attractionskraft von Sonne und Mond schloss, dass die ganze Erde steifer sei als eine Kugel von solidem Glas, ja vielleicht mehr als eine solche von Stahl. Hopkins berechnete aus Präcession und Nutation eine Dicke der Erdkruste von mindestens 1000 Meilen.

Sterry Hunt und Le Conte schliessen sich der Ansicht einer erstarrten, aber sich noch abkühlenden Erdkugel an.

Poulet, Scrope und auch J. Dana setzen ausser der oberflächlichen Erstarrungskruste einen soliden Erdkern voraus. Zwischen Kruste und Nucleus befindet sich noch der Rest der ehemals feurigflüssigen Kugel.

Heim erklärt jedoch in seinem herrlichen Werke „Ueber den Mechanismus der Gebirgsbildung“ (Bd. 2, p. 242) die Resultate Thomson's für „durchaus falsch“, weil die Grundlagen seiner Rechnungen mit der Natur ganz in Widerspruch stehen. Der Astronom Delaunay soll nach Heim durch ähnliche Rechnungen zu ganz entgegengesetzten Resultaten gekommen sein.

Wir sehen also schon hier eine gewaltige Divergenz der Ansichten. So lange nicht das Gesetz der Zunahme des Druckes und der Wärme in den Tiefen der Erde bekannt ist, wird es wohl kaum jemals gelingen, zu constatiren, ob bei der Erstarrung der Erde sich zuerst eine feste Kruste und ein ebensolcher Kern bildete oder ob eine gleichförmig von aussen nach innen fortschreitende Festwerdung erfolgte; um dies zu ergründen, müsste man eben mit so kolossalen Massen wie unsere Planeten experimentiren können. Gewiss ist jedoch, dass in beiden Fällen die Erstarrung der Erde ihrer ganzen Masse nach das Endresultat sein wird. In welchem Zustande, ob vielleicht schon in dem allerletzten, sich die Erde jetzt befindet, ist mit Sicherheit heute unmöglich zu sagen.

(Es haben sich in neuerer Zeit vielfache Stimmen gegen das Theorienmachen und die unnützen Speculationen über den Urzustand unserer Erde erhoben. Ich meinerseits kann nicht einsehen, welchen Schaden die Wissenschaft erleidet, wenn man immer und immer wieder versucht, durch verschiedene Erklärungsweisen der Entwicklungsgeschichte unserer Erde neue Seiten abzugewinnen. Erweisen sich die Voraussetzungen als falsch, so wird die Theorie bald einer besseren Platz machen. Schädlich sind nur solche Theorien, welche von dem hohen Sitze einer Lehrkanzel als gefundene Wahrheiten und Gesetze verkündet werden und die, durch die Autorität und einflussreiche Stellung des Lehrenden unterstützt, eine neue „Schule“ gründen, die sich nicht zur Aufgabe die Ergründung der Wahrheit macht, sondern: die Verfechtung ihrer Ansichten bis an's Messer, die Anwendung derselben ad absurdum. Solche Theorien fallen zwar endlich auch mit dem Urheber, sie haben aber den Gang der Wissenschaft um viele Jahrzehnte aufgehalten. Wie schwer aber ihre Ausrottung, hauptsächlich in solchen Ländern, die sich entfernter von den Centren der Wissenschaft befinden, vor sich geht, zeigt uns am besten das E. de Beaumont'sche Erhebungssystem. Noch heute findet man in den geologischen Abhandlungen des südwestlichen Europas in den dortigen Gebirgen die Hebungssysteme der Insel Wight, von Finistère, Thüringerwald u. s. w. wiedererkant!!)

Heim erwähnt in seinem früher citirten Werke: „Thomson berechnet den Stoss der Fluth und Ebbe eines supponirten flüssigen Kernes auf eine starr angenommene Schale und findet dann, dass eine solche, wenn sie nicht mehr als halb so dick wie der Radius wäre, die Stösse nicht auszuhalten vermöchte. Allein er vergisst gänzlich, dass Reactionsstösse in keiner Weise so, wie er sie annimmt, eintreten können, weil die feste Erdrinde selbst noch lange plastisch genug

ist, um selbst Fluth- und Ebbe-Wellen zu bilden. Es ist nichts Starres da, das mit dem Flüssigen in Collision gelangen könnte, und der eintretende Stoss könnte nur auf der unbedeutenden Differenz der Fluthwelle der „festen“ Schale und derjenigen des vielleicht noch etwas leichter beweglichen Kernes beruhen. So lange die gewiss vorhandene Fluth- und Ebbe-Welle der „festen, starren“ Erdrinde nicht gemessen werden kann, hängt das Thomson'sche Resultat, an das eine solche nicht denkt, in der Luft.“

Vorausgesetzt, dass wirklich ein flüssiges Erdinnere existire, so scheint mir doch, dass man sich den Gegensatz zwischen demselben und der erstarrten Kruste viel zu unvermittelt und schroff denkt; man hat dabei immer zu viel im Auge die Schlackenbildung an der Oberfläche eines Lavastromes. Es ist sehr möglich, dass der Uebergang von der festen Erdkruste zum feurig-flüssigen Innern durch ein Zwischenstadium der Zähflüssigkeit vermittelt wird. Dass dann die von Heim gegen die Thomson'schen Berechnungen gemachten Einwürfe noch im höheren Grade gelten (auch wenn die Erdkruste nicht so nachgiebig ist, wie sich Heim vorstellt), liegt klar auf der Hand.

Dana, Scrope und viele andere Geologen schliessen sich der Ansicht eines festen Erdkernes an und setzen im Innern der Erde einen Druck voraus, der selbst bei der hohen Temperatur im Stande ist, das Magma im festen Zustande zu erhalten. Die Annahme einer durchaus festen Erdkugel hat weniger Anklang gefunden, da es schwer wurde, so die vulkanischen Erscheinungen zu erklären; man musste wenigstens vereinzelte feurige Reservoirs sich vorstellen. Durch E. Reyer's klare Darstellung des wirkenden Agens bei Eruptionen sind jedoch diese Aushülfs-Hypothesen unnöthig geworden. Aufhebung des Druckes durch Spaltenbildung genügt, um ein Flüssigwerden des verfesteten Erdmagma und damit auch ein Empor-treiben durch die absorbirten Gase herbeizuführen. Die vulkanischen Phänomene sind also kein Hinderniss gegen die Annahme eines durchaus festen Erdballes.

Man hatte sich früher den Vorgang der ersten Krustenbildung sehr einfach gedacht, so wie etwa ein Lavastrom oder -See an der Oberfläche erkaltet. Le Conte hat nun eingeworfen, dass nach vielen Versuchen die Gesteine sich beim Erkalten zusammenziehen, also ihr specifisches Gewicht vergrössern. Erkaltende Theile der Erdkruste müssten also folgerichtig untersinken. Warum schwimmen aber die Schlacken auf der Oberfläche eines Lavasees? Offenbar weil sie porös und schaumig sind, obwohl ihr specifisches Gewicht, gewiss ebenfalls grösser als das der flüssigen Masse ist. Das Erdmagma enthält ja, wie

Reyer zur Genüge gezeigt hat, Gase absorbiert, die beim Erstarren unter gewöhnlichem Druck entweichen. Diese Schlacken mögen vielmals wieder eingeschmolzen und andere Partien wieder erstarrt sein; endlich muss sich doch eine erstarrte Kruste um die Erde gebildet haben. Diejenigen Theile der Oberfläche, welche zuerst erkalteten, sind nun nach Dana's Darstellung die Continente. Auch Dana scheint von der Voraussetzung auszugehen, dass die erkaltete Erdkruste ein höheres specifisches Gewicht als das flüssige Innere habe, denn er lässt die erkaltenden Massen bis zu jenem Punkte untersinken, wo die Flüssigkeit ein grösseres specifisches Gewicht als die Kruste habe; so sollen sich endlich durch immerwährendes Niedersinken, von unten nach oben die Fundamente der Continente aufbauen.

Sehen wir nun zu, wie sich Dana die Entstehung der Continente und Oceandepression vorstellt (Am. Journ. 3. s. Bd. VI, p. 161). Die Ungleichheiten des Niveau unserer Erdkugel sind nach ihm Folge der ungleichen Contraction, hervorgerufen durch ungleiche Abkühlung. Die zuerst abgekühlten Flächen sind jene, unter welchen der feste Kern sich am nächsten der Oberfläche befand. Dana berechnet, dass das Volumen der erstarrenden Kruste sich von 100 auf 92 verringere, nimmt also keinerlei Rücksicht auf den schaumigen Zustand, in dem sich dieselbe befinden muss. Nachdem die Kruste jene Dicke erreicht hat, welche ihr ermöglichte, durch die Schwere die Cohäsion in den unteren flüssigen Regionen zu überwinden, wird sie niedergesunken und wieder eingeschmolzen sein. Dieser Process der Krustenbildung, des Sinkens und allseitigen Ueberfluthens, der Wiedereinschmelzung und Abkühlung dauerte so lange, bis die Massen, ohne eingeschmolzen zu werden, zu jenem Niveau sanken, wo ihr specifisches Gewicht gleich dem der unter hohem Druck stehenden Flüssigkeit war.

Die sinkenden Gesteinsmassen hatten vielleicht durch Druck ein etwas grösseres specifisches Gewicht erlangt; was immer auch ihre Dichtigkeit sei, dieselbe bestimmte die Tiefe, bis zu welcher sie sanken. Es können sogar Theile bis zum festen Kern gelangt sein. Endlich entstand eine viele Meilen mächtige, dicke Kruste — die Continentalfläche. Mir fällt es schwer, einzusehen, wie in einer flüssigen Kugel, wo sich jede Temperaturungleichheit im Innern derselben durch Strömung ausgleichen muss, sich eine solche von der Oberfläche in die Flüssigkeit ragende feste Masse bilden und erhalten konnte. T. W. Noak macht sich in seinem Aufsätze „Ueber die Bildung der Continente“ (N. Jahrb. f. Min. 1875, p. 847) die Sache recht leicht: „Da die Kruste wirklich entstanden ist, so

kann man an den besonderen Umständen, die hier berührt sind, übrigens vorübergehen.“ In dieser Arbeit werden die alpinen Hochgebirgsketten der Erde als „stofflich durch das Auftreten der Trachyt-Porphyre charakterisirt“ bezeichnet.

Einen Aufsatz, der nebst anderen geologischen Irrthümern die Anden sich als aus Eruptiv-Massen bestehend und aus einer Spalte ausgetreten denkt, die Continente als „Aufplatzungsspalten“ betrachtet, kann man wohl kaum ernst nehmen.

Hören wir jedoch Dana weiter: Die ganze übrige nicht erkaltete Oberfläche der Sphäre wird mit der Continental-Area im selben Niveau stehen. Angenommen nun, die oceanische Area sei noch vollkommen flüssig und die Continentalkruste 12 Meilen dick und die oceanische Area beginne nun denselben Process, den früher die continentale durchgemacht. Wenn nun die Continental-Area zu derselben Tiefe erstarrt wäre, wie die oceanische, so würde letztere um 5000 Fuss niedriger liegen als die continentale (berechnet aus der Volumverminderung von 8 pCt. vom flüssigen in den festen Zustand), jedoch unter der Bedingung, dass die Continental-Area während dieser Zeit keine Contraction mehr erlitten habe, ohne welche natürlich der Niveau-Unterschied viel geringer ausfallen müsste. —

Die Annahme, dass sich die oceanische Area erst nach dem Entstehen der continentalen abgesetzt habe, verlangt eine ganz ausserordentliche Differenz der Temperaturen beider Gebiete, eine Differenz, welche in einer flüssigen Masse ganz unbegreiflich erscheint. Dana leitet nicht etwa die ungleiche Abkühlung durch eine verschiedene Wärmeleitung der Continental- und Ocean-Area ab, denn er sagt selbst p. 160, dass das Material der Kruste in beiden Regionen dasselbe sei. Er erklärt so die Entstehung der Continente durch ein zeitliches Nacheinander-Abkühlen mit Radial-Contraction, deren Werth für beide Gebiete der gleiche ist. Diese Betrachtungen führen nun Dana zur Schlussfolgerung, dass beide Areas schon vom Anfange an, als die Erdkruste sich zu bilden begann, bezeichnet waren, wenn nicht vielleicht schon früher, während des Processes der Erkaltung des Erdkernes. Dana leugnet die Möglichkeit, dass die zuerst entstandene Vertheilung sich später so weit verändert hätte, dass wo früher Continente waren, jetzt tiefe Oeane oder verkehrt entstanden sein sollten. Dass diese im Principe angelegten Gebiete jedoch in ihren Contouren, Ausdehnung und verticalen Gliederung ausserordentlichen Schwankungen unterworfen waren, wird natürlich von ihm keineswegs in Abrede gestellt.

Diese Erklärung der Continentbildung wird schwer-

lich irgendwie befriedigen können. Auch selbst für Nordamerika sind die Verhältnisse kaum zutreffend. Das mit der Spitze nach Süden gekehrte V der laurentinischen Formation ist nach Dana aus dem Continente durch Wirkung der Meeresströmungen, des Wellenschlages und der Verwitterung (Mannel of Geology, p. 187) entstanden. Diese gegen 30,000' mächtige, theilweise entschieden sedimentäre Bildung (über tausend Fuss mächtige Kalklager, Sandstein, Conglomerate) hatte aber zu ihrer Bildung ebenfalls eine Senkung von 30,000' nöthig, diese Zahl ist aber gleich den grössten bis jetzt gemessenen Meerestiefen; es ist das also vielmehr ein directer Beweis, dass sich die Vertheilung von Wasser und Land im Verlauf der Zeiten vollständig geändert hat. Auch in anderen Welttheilen sehen wir uns vergebens nach jenen ursprünglich angelegten Continenten um. Ueberall finden wir neptunische Ablagerungen von grosser Mächtigkeit tief im Innern der Landmassen; darum können wir nur dem Ausspruche Heim's uns vollkommen anschliessen (a. a. O. p. 238): „Jede Erklärung der Continentgestaltung, welche nicht die Möglichkeit zur beständigen Veränderlichkeit giebt, steht im Widerspruch mit dem thatsächlichen Aufbau der Continente, der beweist, dass diese letzteren einst ganz anders vertheilt waren und die Vertheilung vielfach gewechselt hat.“

Nach F. Pfaff („Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft“, p. 188) entstanden die ersten Erhebungen auf der noch dünnen erstarrten Kruste durch einen Durchbruch des Magma, hervorgebracht durch die damals noch in hohem Grade erkenntlichen Flutherscheinungen. Die so aufgehäuften Massen bildeten die ersten Unebenheiten. Die Erkaltung der Kruste wird ein System von Spalten erzeugen. Von der Dicke der ersteren wird es nun abhängen, ob die Klüfte gegen das Centrum convergiren oder divergiren. In ersterem Falle werden einzelne Segmente sich gegenseitig stützen und nicht dem sich zusammenziehenden flüssigen Erdinnern folgen, im letzteren Falle werden sie nachsinken. Dieses Nachsinken wird aber sehr unregelmässig sein. Die Senkung einzelner Partien bewirkt wieder die Hebung anderer durch Fortpflanzung des hydrostatischen Druckes.

Le Conte, der die supponirte erste Kruste als auf dem feurig-flüssigen Innern schwimmend betrachtet, hält eine Bildung von Unebenheiten an der Oberfläche der Kruste überhaupt für unmöglich, wenn diese nicht auch auf der unteren, entgegengesetzten Seite wiederholt werden, um das Gleichgewicht zu erhalten. Zur Bildung von Continenten auf diese Weise sind nach Le Conte (Americ. Journ., 3. s., Bd. V, p. 347)

folgende Bedingungen nothwendig: 1) Die Kruste muss leichter sein als die Flüssigkeit; sie muss ein schwimmender Körper sein. 2) Das Material der Kruste muss sich beim Erhärten ausdehnen. 3) Einige Theile der Kruste müssen schneller abkühlen und erhärten.

Da nun die zwei ersten Punkte sicher nicht zutreffen, da die Berechnungen von Hopkins und Thomson auf die Annahme einer festen Erdrinde führen, so schliesst sich auch Le Conte dieser Ansicht an. Man kann indess die Theorie eines feurigen Erdkernes mit dünner Kruste recht gut festhalten, ohne dabei irgendwie an eine schwimmende (floating) Kruste zu denken. Wenn die Kruste, die vermöge ihrer Porösität auch leichter als die Flüssigkeit sein kann, rings um die Erde geschlossen ist, wird sie sich wie ein Gewölbe von selbst halten.

Einen weiteren Beweis gegen ein flüssiges Erdinnere sucht Jos. Le Conte in der Thatsache, dass die Erde kein wirkliches Rotationsellipsoid, sondern der Aequator eine Ellipse mit Axenunterschied von zwei Meilen sei. Eine derartige Figur sei nur durch eine ungleichförmige Dichtigkeit im Innern denkbar, eine Anomalie, die nur durch eine durchaus feste Erdkugel erklärt werden kann.

Le Conte entwickelt nun die Entstehung der Continente auf Grundlage einer soliden, aber sich noch abkühlenden Erdkugel. Wie er sich eigentlich das Erkalten der flüssigen Erde denkt, wird nicht weiter entwickelt. Wenn Le Conte annimmt, dass die Erde schon bei der allerersten Anlage von Continenten sich im festen Zustande befand, so ist das eben auch eine ganz hypothetische Voraussetzung. Er setzt nun in dem sich abkühlenden Körper eine ungleiche Contraction voraus, hervorgerufen durch die mangelnde Homogenität und somit ungleiche Leitungsfähigkeit einzelner Radialstücke. Die Gebiete mit starker Contraction und schneller Abkühlung werden Seeboden, die anderen Theile Continente. Die in den oceanischen Becken angesammelten Wasser werden bewirken, dass sich jene Theile durch Leitung schneller abkühlen als die continentalen, folglich der Höhenunterschied immer mehr und mehr gesteigert wird.

Auch dieser Erklärung der Continente ist der Vorwurf zu machen, dass sie dieselben als einmal gegeben betrachtet und keine Möglichkeit giebt, dieselben wieder verschwinden zu machen, denn warum sollte denn auf einmal die Contraction in den früher continentalen Theilen grösser werden, da ja die ganze Erde fest und keiner Veränderung ihrer Theile im Innern mehr fähig ist.

Wir müssen also wohl auch diese Theorie fallen

lassen und nach Erklärungen suchen, die sowohl die jetzige Lage ausgedehnter Plateaus, als auch die vielen Schwankungen, welche wir in der abwechselnd marinen und wieder limnischen Bildung vieler Formationen finden, berücksichtigen. Ob wir nun vielleicht Gebirgsbildung und Niveauschwankungen horizontaler Schichten durch dieselben Kräfte erklären können, wird sich bei einer eingehenderen Betrachtung der Theorien über Gebirgsbildung zeigen.

Es kann keinem Zweifel mehr unterliegen, dass die heutige Ansicht darüber, welche den Lateraldruck als Hauptmoment ansieht, diejenige ist, welche allen Thatsachen am meisten Rechnung trägt. Alle anderen Theorien, welche die Gebirge durch blasenförmiges Auftreiben oder durch Empordrängen und auf die Seite Schieben durch vulkanische Gesteine erklären, sind wohl schon aufgegeben und gehören der Geschichte an.

Schon im Jahre 1840 bekämpfte Const. Prevost („Sur la théorie des soulèvements“. Bull. 1. sér. Bd. 11) die Idee der Erhebung der Gebirge und Vulkane durch Soulèvement; schon ihm schien als Hauptagens bei der Gebirgsbildung der Lateraldruck, hervorgebracht durch Contraction. Im Gegensatze zu Dana, der von dem hohen Alter der Continente überzeugt ist, schliesst sich Prevost dem Ausspruche Deluc's an: „Que les terres aujourd'hui habitées par les hommes n'étaient que l'ancien fond de la mer, mis à sec par suite de l'affaissement et de la destruction d'anciennes terres qui s'étaient abimées.“

Die lange Zeit fast unberücksichtigte Ansicht Prevost's (fast zur gleichen Zeit wurden auch von Dana ähnliche Gedanken im Americ. Journal ausgesprochen (Americ. Journ. 2. ser., Bd. 2, 3, 4, 22) wurde endlich von Dana, Sterry Hunt und Le Conte zu einer Theorie ausgearbeitet, welche durch die Arbeiten von Süss und Heim, wenn auch nicht in ihren Einzelheiten, so doch in ihrem Grundgedanken, immer weitere Belege fand.

Dana entwickelt seine Gebirgserhebungstheorie etwa folgendermassen („On some results of the earth's contraction from cooling including a discussion of the origin of Mountains and the nature of the earth's interior.“ Americ. Journ. 3. ser. Bd. V, 1873, p. 423, p. 474; Bd. VI, p. 6, 104, 161, 304, 381):

Die Contraction der Erdrinde in dem oceanischen Becken ist grösser als in dem continentalen. Die Ränder des sinkenden oceanischen Beckens stossen gegen die Ränder der Continente, wie die Enden eines Bogens, und bewirken dadurch eine Faltung derselben. Dana glaubt nicht, dass z. B. die grossen Erhebungen der Kreideformation in den Rocky mountains zu

8—13,000' bloss die Folge von Quetschung und Faltung seien, denn er schreibt darüber: „Aber die locale Quetschung und Faltung dieser Lagen kann nicht genügen zu ihrer Erhebung. Eine Faltung unterhalb gelegener Gebirge könnte zwar stattgefunden haben, aber es muss hier jedenfalls angenommen werden, dass unter Tangentialdruck bloss ein Biegen ohne Faltung vor sich ging, besonders wenn unter der Erdrinde längs den Continentalrändern eine Region von Lagen in feurigflüssiger Schmelzung vorhanden ist.“ Dana hält also bloss Knickung und Stauung nicht für genügend, um so grosse Erhebungen, wie sie in den Rocky mountains vorhanden sind, zu erklären. Hier muss auf ein Verhalten aufmerksam gemacht werden, das bei der Betrachtung von Hebungs-Ersoheinungen vielleicht noch nicht genügend berücksichtigt wurde. Denkt man sich nämlich auf irgend eine horizontal liegende Schicht einen Tangentialdruck ausgeübt, also nach Dana's Anschauungsweise z. B. von den oceanischen Rändern aus, so wird die Erhebung derselben am Strande fast Null sein, je mehr gegen das Innere zu, desto grösser wird aber der Höhenunterschied werden.

Wenn nun eine Schicht von sehr bedeutender Ausdehnung derart gebogen wird, dass der höchste Punkt des Bogens auch 10,000 Fuss über der früheren Horizontale steht, so wird der Fallwinkel, respective der Winkel der Tangente jedes Bogen-Punktes mit den Horizontalen so unendlich klein sein, dass die Schichten horizontal gelagert erscheinen. So können scheinbar horizontale Schichten am Meeresufer und in 10,000 Fuss Höhe demselben Hebungsacte angehören, wenn nur die Ausdehnung der Sehne des Bogens genügend lang ist. Eine ähnliche Betrachtung lässt sich auch für Senkungen anstellen. Es ist leicht einzusehen, zu welchen unendlich falschen Schlüssen über die Mächtigkeit einer Formation man auf solche Weise gelangen könnte, wenn man nicht die eben berührte Erscheinung in Rücksicht bringt. Auf eine andere Entstehungsweise horizontal gehobener Schichten werden wir später hinweisen.

Dana unterscheidet monogenetische und polygenetische Gebirge, je nachdem sie das Werk eines oder mehrerer Faltungsacte sind. Monogenetische Gebirge waren zuerst Areas von langsam fortschreitenden „Geosynclinalen“ und deshalb durch mächtige Sedimentanhäufung ausgezeichnet. Also nicht Sedimentanhäufung bewirkt Senkung und ebensowenig Senkung Sedimentanhäufung, aber dort, wo sich alle Umstände vereinigen, welche die Möglichkeit einer grossen Sedimentbildung begünstigen, und zugleich eine Senkung eintritt, wird eine mächtige Ablagerung stattfinden.

Gebirgszüge, welche durch eine solche Senkung, dadurch ermöglichte Sedimentbildung und hernach Faltung und Aufrichtung derselben entstanden sind, nennt Dana Synclinoria. Die Geanticlinalen sind die Gegenbewegung der Synclinalen; so ist z. B. die am Schlusse der Unter-Silurzeit entstandene „Cincinnati uplift“ als Anticlinorium des gleichzeitigen Synclinorium der Green Mountains zu betrachten. Ein Synclinorium kann durch geanticlinale Hebung erst recht gehoben werden; so fasst Dana die Connecticut-Sandsteine und die Kreide- und Tertiärschichten der Rocky Mountains als durch geanticlinale Bewegung erhobene Synclinoria auf.

Eine Anschauung, die wir aber keinesfalls theilen können, ist, wenn Dana sagt (*Americ. Journ.* 3. ser., p. 433): „Die späteren Oscillationen in der Geschichte der Welt haben einen grösseren Theil der Erdkruste ergriffen als früher. Dies kommt von dem schon erwähnten Factum, dass die Vollendung eines Synclinorium gewöhnlich in der Erhärtung und Faltung des Gebirges und in der Hinzufügung der ganzen Gebirgsregion zu dem mehr beständigen Theile der Erdkruste bestanden hat und weiter noch von der Thatsache, dass dieser Process in früherer Zeit so oft wiederholt wurde, bis die Kruste so gut oben und unten verfestigt war, dass nur schwache Biegungen von weiter Spannweite möglich waren, selbst wenn der Seitendruck durch Contraction nicht an Kraft abgenommen hätte.“

Diese Auffassung steht mit europäischen Verhältnissen in Widerspruch. Es ist kaum mehr ein Zweifel, dass die grossen Faltungen und Ueberschiebungen in den Alpen erst nach der miocänen Zeit entstanden sind; viele andere Gebirge Europa's sind von gleichem Alter. Eine andere Frage ist es freilich, ob die verticale Erhebung unserer Gebirge ausschliesslich dem Zusammenschub zuzuschreiben ist und ob nicht etwa eine Hebung durch Biegung der unterhalb des zusammengeschobenen Theiles lagernden Massen vor sich gegangen ist. Dana schliesst aus der Gegenwart der grössten Erhebungen an den alten Continentalrändern, aus dem Parallelismus der Gebirgszüge mit der Axe der anliegenden Oeane, aus der Asymetrie der Falten, dass der Tangentialdruck von der Seite des Oceans grösser war als jener von der Continentalseite. Dieser grössere Druck wird bewirkt durch eine grössere Contraction und daraus folgende Senkung der oceanischen Area. Die tiefe Lage des Oceans und die Steilheit, mit welcher seine Ränder abfallen, geben der Ocean-Area Gelegenheit, „to push against“ die Seiten der Continente.

Die grosse Senkung, welche heutzutage im tropischen Theile des Stillen Oceans vor sich geht, ist

nach Dana mit den grossen allgemeinen Senkungen zur subcarbonischen Zeit zu vergleichen. Sie ist eine Gegenbewegung der Erhebung der Rocky mountains.

Ich glaube hier auf ein noch immer nicht genügend beachtetes Moment aufmerksam machen zu müssen. Solche gewaltige, weit verbreitete Senkungen müssen sich nothwendig an den sämtlichen Küsten der Erde als sogenannte Hebungen darstellen. Das Areal sämtlicher Meere ist beiläufig 2'32mal so gross als jenes des Stillen Oceans. (Nach Krümmel hat die Südsee ein Areal von 2,850,890, das Weltmeer 6,630,705 Quadratmeilen. *Mittheil. der Wien. geogr. Gesellsch.* Bd. XXII, Nr. 2.) Nehmen wir an, dass nur etwa die Hälfte dieses Stillen Oceans (und zwar hier der tropische Theil) eine Senkung von z. B. 5000 Fuss erleide, so muss nach den früher angegebenen Zahlen eine Senkung des allgemeinen Meeresspiegels um 1077 Fuss eintreten; es ist dies gewiss eine genügend grosse Zahl, um so viele der letzten Hebungen horizontaler Schichten zu erklären.

Ein ähnlicher Gedanke findet sich schon bei Dana (*Americ. Journ.* 3. ser., 5. Bd., p. 443) kurz angedeutet, wenn er sagt: „Wenn eine Geanticlinale über der Mitte der atlantischen Küste entstehen würde, könnte auch eine entgegengesetzte Bewegung oder ein allgemeines Sinken längs des Continental-Randes sowohl, als auch ein Steigen des Wassers durch die Tiefenverminderung des Oceans stattfinden.“

Auch Pfaff (*a. a. O.* p. 212) erwähnt als Factoren, welche eine wirkliche Erniedrigung und Erhöhung des Meeresspiegels herbeiführen können: 1) Hebung von Ländermassen an den Küsten, 2) Einfuhr von Dedritus in das Meer (beide Thatsachen den Spiegel erhöhend), 3) Senkungen der Erdrinde, 4) Vordringen des Wassers gegen das Innere der Erde (Erniedrigung des Spiegels bewirkend).

Nur dort, wo Senkung und Sedimentbildung sich die Wage halten, oder wo das Plus der Senkung durch eine gleichgrosse Hebung irgend eines oceanischen Bodens ausgeglichen wird, kann keine Aenderung des Meeresspiegels eintreten. Ein solches Gleichgewicht wird aber in den seltensten Fällen stattfinden. Die grossen Senkungen, welche z. B. die Entstehung des grossen russischen paläozoischen Beckens bedingten, werden sich entschieden über einen viel grösseren Flächenraum ausgedehnt haben, als heute an dem Vorhandensein der paläozoischen Ablagerungen erkennbar; nur dort eben, wo sich Dedritus bildete, konnten sich auch Ablagerungen bilden (die permische Formation Russlands besteht fast zum grössten Theil aus klastischen Gesteinen); das Abnehmen der Mächtigkeit der Formationen in gewissen Richtungen; das Aus-

keilen der Schichten u. s. w. giebt uns dafür die besten Beweise.

Originell denkt sich Ch. Ricketts („On subsidence as the effect of accumulation“, p. 119. Geol. Mag. 1872, Bd. IX) die Senkungen und Hebungen während der Eiszeit entstanden. Erstere entstanden durch das Gewicht von Eis und erraticen Blöcken, letztere waren eine Folge der Entlastung von Eis und Schnee. Ebenso erklärt Ricketts Delta's und Meerbusen als das Resultat der Senkung, hervorgerufen durch das Gewicht der angeschwemmten Sedimente. Die Erde hebt und senkt sich also nach ihm wie ein Stück Kautschuk bei verschiedener Belastung.

Die grossartigen Senkungen wären nun nach Dana unerklärlich, wenn man nicht zwischen Erdrinde und Nucleus eine feurigflüssige Schicht annimmt. Eine Depression durch Lateraldruck ist nur möglich, wenn unterhalb Etwas ausweichen kann, und dies ist nach ihm die „fire sea“. Ein nur durch Dämpfe erfüllter Raum wäre durch eine Katastrophe unbedingt eingestürzt. Die verdrängte „fire sea“ musste irgend wohin ausweichen. Dies ist nach Dana bei der appalachischen Senkung nach Osten geschehen und brachte eine geanticlinale Erhebung der Küstenregion, parallel mit der Senkungsarea, hervor. Die Höhe dieser Anticlinale oder „swell of the overlying crust“ wird abgehängt haben von der Distanz, bis zu welcher eine Ausweichung möglich war, d. h. bis zur Grenze der Region von „mobile rocks“. Das einstige Vorhandensein dieser Anticlinale in Gestalt einer Barriere gegen Osten ist durch paläontologische Beweise aus der Fauna der paläozoischen Schichten Amerika's geschöpft und durch das vollkommene Fehlen aller marinen triadisch-jurassischen Fossilien längs der atlantischen Küste bekannt. Erst in der Kreidezeit sank diese Barriere für immer hinunter.

Dana lässt also hier plötzlich eine Hebung vor sich gehen, die nicht durch Tangentialdruck, sondern durch eine „Aufreibung“ von unten nach oben entsteht, zieht also, wenn auch in umgewandelter Form, wieder eine längst aufgegebene Erklärungsweise zu Hilfe. Wir erfahren nicht, ob er sich das feurigflüssige Magma zwischen Kruste und Kern als eine rund um die Erde kontinuierliche Hohlshale denkt. Wenn dieses der Fall wäre, so müsste sich der Druck auf das Magma allseitig fortpflanzen und eine Hebung wenn überhaupt eine solche und nicht ganz einfach ein Magma-Erguss stattfände) könnte nur dort entstehen, wo die Erdkruste den geringsten Widerstand bieten würde, also entweder am wenigsten belastet oder am wenigsten kontinuierlich wäre. Später fasst

indess Dana diese Anticlinale als einfache Gegenbewegung der Senkung auf.

Folgen wir Dana's Ausführungen weiter. Der Lateraldruck ist proportional zur Grösse des Oceans. An dem grossen Appalachen Gebirgszuge wird die Entwicklung einer Bergkette erläutert. Dieselbe begann mit einer langsamen Senkung unter Seitendruck, bis sich endlich 40,000 Fuss dicke Sedimente in der Mulde anhäuften. Senkung und Ausfüllung hielten sich gleichen Schritt.

Jede Sedimentanhäufung (so raisonneiert Dana weiter) zieht ein Hinaufrücken der Geoisothermen nach sich. Hierdurch wird der Boden der Mulde geschwächt, vielleicht sogar geschmolzen. Der Lateraldruck wird endlich diese Mulde zusammenfallen und so Gebirge bilden — die Synclinoria. Die Hitze, die sich durch Umwandlung der Bewegung bildet, wird metamorphisierend wirken. Das so entstandene Synclitorium wird dem schon vorhandenen Continente hinzugefügt. Die Erdkruste war endlich so gesteuft, dass bloss mehr Anticlinoria entstehen konnten, daher die grossen Erhebungen zur Tertiärzeit.

Le Conte erklärt die Hebungerscheinungen alle, ausgehend von der Annahme einer durchaus soliden, aber sich abkühlenden Erde. Die Temperatur der äusseren Kruste stellte sich bald in's Gleichgewicht; die inneren Lagen der Erde werden sich aber noch stets abkühlen und folglich zusammenziehen. Die oberen, für den contrahierten Kern zu grossen Schichten werden dadurch einer horizontalen Pressung unterworfen; dadurch Faltenwurf — Bergketten. Der Horizontaldruck wird Transversalschieferung und dadurch Streckung der Schichten in verticaler Richtung nach oben bewirken, da die gepressten Massen weder nach unten, noch seitlich ausweichen können. Nach Experimenten, die Sorby und Haughton anstellten und wobei sie das durchschnittliche Verhältniss des grössten und kleinsten Diameters eines gepressten Würfels wie 6 zu 1 fanden, berechnet Le Conte, dass sich die grössten Erhebungen leicht auf solche Weise erklären lassen. — Hierbei muss ich jedoch bemerken, dass man den Lateraldruck doch nicht mit den Backen eines Schraubstockes vergleichen kann. Die Bewegung entsteht durch ein Mitzerrren der oberhalb der Contractionsstellen liegenden Schichten; es ist also hier nicht ein Festes und ein Bewegtes, was das erstere drückt, vorhanden, sondern Alles folgt mehr oder minder dem Zuge.

Le Conte glaubt nicht, dass die Entstehung der Continente einem ähnlichen Zusammenschub der Massen zuzuschreiben sei, denn p. 462 (Americ. Journ. 3. ser., Bd. IV, 1872) schreibt er: „Was die Forma-

tion von Continenten und Seeböden betrifft, so fühle ich weniger Vertrauen (in diese Theorie). Est ist möglich, dass auch diese durch ein ähnliches Nachgeben gegen Horizontaldruck und ein ähnliches Zusammenfallen und Aufschwellen gebildet worden sein mögen. Wenn dem so ist, so würde es nothwendig sein, den Betrag des Horizontalschubs in diesem Falle viel kleiner anzunehmen, aber den Sitz in grösserer Tiefe als in dem Falle der Gebirgsbildung. Aber da wir keine unverkennbare Structur-Evidenz eines solchen Zusammenschubs finden, ausgenommen in den Fällen der Gebirgsbildung, so habe ich vorgezogen, die Bildung der Continente und Seeböden der ungleichen Radialcontraction zuzuschreiben.“

Dana und Le Conte (Americ. Journ. Bd. IV, 1872, p. 461) sprechen sich mit Recht gegen Hall's Theorie der Gebirgsbildung aus. Hall betrachtet die mächtigen Appalachischen Schichten zuerst als die convexe Masse eines submarinen Sedimentes. Durch langsame Senkung werden die oberen Schichten dieser convexen Masse gequetscht und in Falten gelegt. Continentalerhebung exponirte dann das Ganze zu einem grossen Plateau. Nachträgliche Erosion formte dann Rücken und Thäler. „So ist die Appalachische Kette weiter Nichts als ein Fragment eines erodirten, durch Continentalhebung erhobenen Plateau,“ bemerkt treffend Le Conte. Dana hält dies für eine Theorie der Gebirge, worin die Berge vergessen sind („a theory of mountains with the mountains left out“).

Dana und Le Conte halten Sedimentanhäufung für die erste Ursache der Gebirgsbildung; während jedoch Dana die Sedimentanhäufung als eine Folge der Senkung ansieht, behauptet Le Conte das Umgekehrte: „Da die grossen Sedimentanhäufungen grösstentheils an den Küsten der Continente stattfinden, so entstehen Gebirge meist durch das Aufpressen der Ränder von Meeresbecken.“ So erklärt sich ganz einfach nach ihm die Gegenwart von hohen Gebirgen an den Küsten. Die Anhäufung von Sedimenten bewirkt, wie zuerst von Babbage und dann von Sir John Herschell gezeigt wurde, ein Steigen der Geoisothermen. Der erste Effect von Sedimentanhäufung ist also — so meint Le Conte — Erhärtung (lithification) und dadurch erhöhte Dichte und deshalb Contraction und Senkung *pari passu*; dann folgt bei fortgesetztem Absatze wässerig-feuriges Erweichen oder selbst Schmelzen nicht allein der tieferen Portionen der Ablagerung, sondern auch jener Gesteine, auf welchen sie ruht. Endlich entsteht ein Nachgeben des Horizontaldruckes längs einer Linie und ein Anschwellen dieser Linie in einer Kette. Da-

durch erklärt sich auch der Metamorphismus in den untersten Gliedern der Gebirge.

Ist diese Theorie richtig, so müsste wirklich immer eine nach unten zunehmende Umwandlung der Felsarten metamorphischer Schichten zu bemerken sein, was jedoch nicht der Fall ist. In den Thonglimmerschiefern der Sierra Nevada in Spanien findet man einzelne nicht sehr mächtige Schichten in Granat-Glimmerschiefer und serpentinartige Gesteine umgewandelt; diese Lager theilen sich sehr bald wieder aus. Wie lassen sich derlei Thatsachen mit der Le Conteschen Vorstellung in Einklang bringen?

Auch Dana findet diese ursprünglich von Herschell herrührende Theorie ganz ungenügend. Die tiefsten Lager der 16,000' mächtigen Carbonformation von Neu-Schottland sind nicht metamorphosirt, ebensowenig die tiefsten Schichten der Appalachen. Dana erklärt sich für die Mallet'sche Theorie, welche Metamorphismus durch die aus der Bewegung entstandene Wärme annimmt, und macht die Stärke des Metamorphismus abhängig von dem Grade der Bewegung, der Dicke der Schicht und dem Feuchtigkeitsgehalte. Wer die vollkommen horizontal gelagerten, z. Th. aus weichen Thonen bestehenden Silurschichten Russlands mit den Silurschichten Schottlands und Irlands, die nördlich einer von der Galway-Bay nach Belfast Lough (siehe Karte von Irland in „The Physical geology and geography of Ireland“ by E. Hull) und von der Mündung der Clyde (s. „First Scetch of a new geological map of Scotland“ by R. Murchison and A. Geikie) nach Stonehayen gezogenen Linie ausserordentlich dislocirt und hoch metamorphosirt sind und südlich derselben (deren Richtung dem Streichen der irländisch-schottischen Gebirge entspricht) weniger zerstört und nicht metamorphosirt sind, vergleicht, wird kaum zögern, sich der Mallet'schen Ansicht anzuschliessen, dass Bewegung einer der Hauptfactoren bei der Umwandlung sei; aber die Art dieser wird entschieden zum grössten Theil von der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung der Schichten abhängen. Nur so lässt sich einsehen, wie einzelne metamorphosirte Schichten sich scharf von den anderen durch eigenthümliche Ausbildung und Mineralbestandtheile unterscheiden. Von jener Betrachtungsweise, welche sich die Gebirge wie Schwämme vorstellt, in deren kleinsten Partieen die Wasser, mit den verschiedenartigsten Stoffen beladen, circuliren und Alles in Alles umwandeln, wird man wohl bald absteigen, um so mehr, da wir nun an der mit dem Aufwande aller chemischen und mikroskopischen Hilfsmittel durchgeführten Untersuchung der Contactmetamorphose der Steigerschiefer („Die Steigerschiefer und ihre Contact-

zone an den Granitit“ von H. Rosenbusch) nachgewiesen haben, dass (p. 264) „dieselbe lediglich in einer molecularen Umwandlung der ursprünglichen Schiefermasse besteht, bei welcher diese nur einen Theil ihres Gehaltes an Wasser und kohligen Materien verlor“.

Vollkommen unverständlich bleibt es überhaupt, warum nach Le Conte's Theorie eine so grosse Senkung eintreten sollte. Selbst beim speciellen Falle der Appalachen ist dies nach Dana (Americ. Journ. 3. ser., Bd. V, p. 42) nicht zutreffend, indem hier in den 40,000 Fuss mächtigen Schichten schon die azoischen krystallinischen Gesteine mit inbegriffen sind, die jedenfalls schon vor der paläozoischen Aera krystallinisch waren, indem Brocken von ihr in den paläozoischen Schiefeln eingebettet sind. Die von Le Conte dargethane Erweichung und Schmelzung kann nie Contraction, sondern nur Expansion hervorrufen.

Als einen ähnlichen Fall, der ebenfalls nicht mit Le Conte's Theorie übereinstimmt, führt Dana die triado-juradische, nur 4000' mächtige Sandsteinformation vom Connecticut, discordant auf krystallinischen azoischen Schiefeln ruhend, an. Hier fehlt also sowohl die nöthige Mächtigkeit, um ein starkes Hinaufrücken der Geoisothermen zu erzeugen, als auch ein Gestein, das erst durch Krystallisirung sich contrahiren sollte. Damit jedoch in den Sedimentschichten überhaupt ein bemerkbares Hinaufrücken der Temperatur entstehen kann, müssen sie doch eine Mächtigkeit von wenigstens 10,000 Fuss erreicht haben (dies entspräche beiläufig nach der Temperaturzunahme von 1° C. auf 100' einer Temperatur von 100 Grad in der untersten Lage), der von den Continenten in das Meer geführte Dedritus muss folglich hier schon eine eben so grosse Senkung vorgefunden haben; diese kann wohl durch Radialcontraction erklärt werden, aber dann können wir überhaupt von vornherein auf jede andere Erklärungsweise verzichten.

Von dem unter den Sedimentschichten geschmolzenen Material leitet Le Conte auch die vulkanischen Ergüsse her, wogegen Dana ihren Ursprung im flüssigen Erdinneren sucht. Die grosse Ausdehnung der Trappmassen zwischen Connecticut und Nord-Carolina (1000 engl. M.), sowie ihre gleiche chemische Zusammensetzung bestimmen ihn, eine ausserordentliche Ausdehnung der unterirdischen Feuersee anzunehmen (Americ. Journ. 3. ser., Bd. VI, p. 105—108). Diese Thatsachen weisen auch mit Bestimmtheit die Le Conte-Sterry Hunt'sche Supposition, die eruptiven Gesteine seien geschmolzene Sedimentbildungen, zurück. Auch Mallet's Erklärung der Eruptiv-Gesteine durch Um-

setzung von Bewegung in Wärme ist nicht genügend und nicht den Thatsachen entsprechend. Die ungemein langsam, meist ohne grosse Störungen erfolgende Senkung zwischen Neu-Schottland und Nord-Carolina kann keine hinreichende Ursache zur Schmelzung solcher collossaler Massen sein. In Amerika findet man dort, wo die Störungen am grössten sind, die wenigsten Eruptionen und umgekehrt; so sind die quaternären Ausflüsse der Pacific'schen und die triado-juradischen der atlantischen Küste in ziemlich ungestörtem Terrain. Die Quelle der „ejecting force“ liegt nach Dana weniger in der Kraft des Wasserdampfes, von dessen Gegenwart in grossen Tiefen er abstrahirt, als in der quetschenden Kraft des Horizontaldruckes. Anders bei den Vulkanen, wo hauptsächlich die Ausdehnung von verdampfbaren Stoffen wirkt.

Aehnliche Ansichten wie von Le Conte wurden schon von Sterry Hunt 1859 (Quarterly Journ., Nov.) und 1861 (Americ. Journ. 2. ser., Bd. XXXI' p. 411) entwickelt und später wieder (Americ. Journ. 1873, 3. ser., Bd. V, p. 264) besprochen. Dieser Forscher legt jedoch viel zu wenig Gewicht auf Faltung und zu viel auf Erosion. Ganz unrichtig ist jedenfalls, wenn er meint, „dass die grossen Bergketten Europa's nur die Ueberbleibsel von Continentalerhebungen seien, die durch Deundation weggeschafft sind (!!!), und dass die Falten und Umstürzungen als zufällig und local betrachtet werden müssen“. Zwischen Sterry Hunt und Le Conte entwickelt sich dann in Folge einzelner hierauf bezüglicher Ideen ein höchst unerquicklicher Prioritäts-Streit (Americ. Journ. 1873, Bd. V, p. 264, 448).

Nach Le Conte's Theorie wäre überhaupt die Gegenwart von alten, mächtigen Ablagerungen, die noch heutzutage vollkommen horizontal liegen, eine Unmöglichkeit, und doch sehen wir in Russland, Irland etc. derartige Schichten auf weite Strecken in ungestörter Lagerung. Warum haben nun diese mächtigen Schichten der Erweichung ihrer untersten Lagen durch das Hinaufrücken der Geoisothermen und dem Transversaldrucke nicht nachgegeben?

Eine unmittelbare Folge der Dana-Le Conte'schen Theorie scheint fast zu sein, dass die Faltung der Sedimente bald nach Schluss oder sogar während deren Ablagerung vor sich gehen muss. So sind nach ihm die Appalachen am Ende der Kohlenperiode, die triado-juradischen Gebilde am Ende der Juraperiode zusammengefaltet worden. Da der Druck vom Ocean aus wirkt, so sind dann die äusseren Ketten stets die jüngsten. Die Anwendbarkeit dieser Folgerung auf die übrigen Continente, ausgenommen Amerika, führt Dana nur sehr oberflächlich durch; auch dürfte es

kaum je gelingen, jene Gesetzmässigkeit hier nachweisen zu können. Die ganz unregelmässige Vertheilung der Meere und Festländer in den verschiedenen Epochen schliesst von vornherein eine solche Gesetzmässigkeit aus; das Gesetz Dana's, welches verlangt, dass den grösseren Meeren die höheren Gebirge gegenüberstehen, findet vollends auf Europa und Nordafrika gar keine Anwendung. Auch scheint Le Conte diese Schwierigkeiten nicht zu übersehen, wenn er sich äussert: „In einigen Fällen indessen, vielleicht in vielen Fällen, haben die Sedimentlager in Binnenmeeren in ähnlicher Weise nachgegeben und unregelmässige Gebirge oder Berggruppen erzeugt.“

Pfaff kann sich mit der Theorie, welche die Schichtenstörungen als Folgen der Contraction erklärt, nicht einverstanden erklären (a. a. O. p. 245—248). Er berechnet, dass, um nur Falten zu erzeugen, welche Winkel von 60° bilden, eine Verminderung des Erdradius um die Hälfte nothwendig wäre, eine Annahme, die unmöglich erscheint, da auch in jüngster Zeit so grossartige Schichtenstörungen vorkommen und eine so enorme Abkühlung ganz unmöglich erscheint.

Heim fasst in seinem Kapitel: „Der Zusammenschub der Erdrinde“ (a. a. O. p. 210) die Falten ebenfalls als Resultat der Erdcontraction auf. Der Erdumfang vor der Stauung der Gebirge muss um denjenigen Betrag, um welchen die sämmtlichen auf einem grössten Kreise gelegenen ausgeglätteten Gebirge grösser sind als der grösste Kreis selber, abgenommen haben. Heim berechnet nun den Zusammenschub beim Jura und den Centralalpen und findet bei letzteren (wie Pfaff) den relativen Zusammenschub = 0.5, den absoluten etwa 120,000 Meter, was — vorausgesetzt, auf dem durch die Alpen laufenden Meridian seien keine anderen Gebirge — eine Verkürzung dieses Meridians um 0.2998 pCt. ergibt. Berücksichtigt man jedoch, dass derselbe Meridian noch verschiedene andere Gebirge durchschneidet, die Heim gleich zwei Alpen setzt, so bekommt man noch immer erst eine Umfangverkürzung von 0.89 pCt. oder Radiusverkürzung von 57,000 Meter. „Wenn Pfaff in seiner Allgemeinen Geologie die Verkürzung des Radius durch Faltenbildung auf die Hälfte berechnet, so denkt er sich den ganzen Meridian gedrängt voll Alpen und Himalaya, was der Natur widerspricht.“

Diese Verkürzung ist jedoch allerdings nur jene, die in der Tertiärzeit stattgefunden hat; andere, wohl noch viel bedeutendere müssen in früheren Perioden vor sich gegangen sein. Die Faltungen der älteren und ältesten Formationsglieder sind theils durch spätere Bedeckungen, theils durch die nivellirende Kraft

des Wassers unseren Augen entzogen. Ob nun die Erdrinde sich in einzelnen grösseren Falten oder in unendlich kleinen Biegungen, die kaum das Niveau der Schichten erhöhen, zusammenschiebt, ist für die Berechnung des Contractionscoefficienten wohl ganz gleichgültig. In diesem Sinne scheint mir Heim's Berechnung viel zu niedrig gegriffen.

Es folgt ferner noch nach Heim, „dass auf jedem beliebigen grössten Kreise der Erde der absolute Zusammenschub, der sich aus der Abwicklung aller auf diesem Kreise befindlichen Dislocationen ermassen lässt, gleich gross sei“. Heim will in der Anordnung der Gebirge eine Annäherung an dieses Gesetz erkennen.

Ein Abweichen von diesem Gesetze musste unbedingt eine Verzerrung der Gestalt unserer Erde zur Folge haben und in Folge dessen eine Verlegung des Schwerpunktes derselben mit ihren Consequenzen. Ob indess diese Verlegung in Folge des Verhältnisses der ungeheuren Masse der Erde zu ihren Gebirgen einen irgendwie bemerkbaren Einfluss machen würde, bleibt sehr fraglich. Ich möchte es fast wahrscheinlicher finden, dass eine solche Regelmässigkeit der Faltung, wie sie Heim voraussetzt, nicht stattfindet. Es wird kaum je gelingen können, über diese Verhältnisse Näheres zu erfahren; nicht nur dass wir über das Alter jeder Falte genau unterrichtet sein müssten (was bei älteren, von keiner jüngeren Formation überlagerten Schichten in den wenigsten Fällen möglich ist), wir sind ja auch über den Zusammenschub von $\frac{2}{3}$ unserer Erdoberfläche, die mit Meer überdeckt sind, ganz ohne Nachricht. Die nähere Kenntniss des Reliefs der Seeböden zeigt uns wohl die grösseren Falten, aber über die zahllosen kleinen, hier ebenso zu berücksichtigenden Biegungen bleiben wir wohl immer ganz im Unklaren.

Es liegt in der Anschauungsweise, wie sie Heim von der Gebirgsbildung hat, ein Unterschied mit der anderer Forscher. Er fasst nicht sowohl die Faltung ausschliesslich als directe Folge der Contraction, sondern als die in Tangentialdruck umgewandelte Wirkung der Schwerkraft (durch die Contraction in Activität gesetzt) auf. „Wenn die Erdrinde für den Kern zu gross wird, so wirkt die Schwere auf die Rinde ein und zieht dieselbe gegen den Kern. Die Rinde oder Schale verhält sich nun wie ein allseitig geschlossenes Gewölbe. Die Last, die es zu tragen hat, ist das Gewicht der einzelnen Gewölbtheile selbst. Wir können uns durch beliebig viele durch den Schwerpunkt der Erde gehende Ebenen die Erdschale in lauter pyramidale Gewölbesteine zerlegt denken. Das centripetal wirkende Gewicht wird sich an den Fugen der Ge-

wölbsteine stets in einen zu den Fugen senkrechten Druck, d. h. in einen tangentialen Druck umsetzen. Die Last der Schale wirkt in der Schale als Horizontal- oder Tangentialdruck. Nun steht die Schale im labilen Gleichgewicht. Die Last, welche dieses geschlossene Gewölbe zu tragen hat, nämlich seine eigene Last, ist grösser als seine Steifheit und Festigkeit. An der schwächsten Stelle wird sich Zerquetschen oder Auswärtsweichen in Form einer Falte entwickeln. Sobald dies begonnen hat, steigert sich die Falte. Sie ist die schwache Stelle geworden, an welcher die ganze Last der betreffenden Zone der Erdschale sich nun als Horizontaldruck äussert. Es thürmt sich nach aussen eine erste, dann eine zweite, dritte etc. Kette auf, während das gesammte Niveau der Oberfläche ein wenig sinkt.“ (Nach Süss [„Entstehung der Alpen“, p. 60] zeigen jedoch die Alpen nicht ein Jüngerwerden der Falten von aussen nach innen.)

Im letzten Satze liegt die Erklärung der Entstehung von Gebirgsketten an den Rändern des Oceans. Heim bespricht dann weiter die in den Alpen und dem Jura von Süss nachgewiesenen Stauungserscheinungen der Ketten an älteren Massen und betrachtet letztere, wie Süss, als mehr verfestigte, widerstandsfähigere Partien der Kruste.

Ueber die eigentliche Entstehung der Continente äussert sich Heim nur sehr zurückhaltend. „Die Bewegungen der Rinde, welche Continent und Ocean von einander scheiden, sind also wohl andere als diejenigen, welche auf den grossen Plateaux der Continente noch gerunzelt haben, wenn auch vielleicht die Kräfte nicht verschieden sind.“ Ihm scheint eine Erkenntniss dieser Bewegungen kaum vor einer genaueren Kenntniss der Verbreitung der älteren Perioden möglich.

Als zweite Ursache der Faltung bezeichnet aber auch Heim, wie Süss, den durch Contraction in der Kruste selbst entstehenden Tangentialdruck. — —

Es ist klar, dass diese beiden Ursachen von Gebirgsbildung auch in ihren Wirkungen von einander verschieden sein müssen. Die eine ist Folge der Radialcontraction, die andere der Tangentialcontraction. Erstere wird zum Theil sich ebenfalls als Tangentialdruck äussern.

Süss sieht in der Gebirgsbildung mehr die Wirkung der übertragenen Tangentialcontraction (a. a. O. p. 65 u. 66), welche sich an den früher verfestigten „Urschollen“ staut und abgelenkt wird, obwohl auch ihm die stets gestörten, mächtigen pelagischen Triasbildungen auf die Gegenwart von Geosynclinalen zu deuten scheinen. — —

Ob bei dem Faltenwurf der Kruste einseitige Gebirge oder nicht entstehen, wird wohl nur von dem

Grade der Contraction und von ihrer Ungleichförmigkeit abhängen.

Es wäre viel weniger merkwürdig, wenn wir die Gebirgszüge auf der Erde in grösserer Gesetzlosigkeit zerstreut fänden, als zu sehen, wie es thatsächlich der Fall ist, dass in bestimmten Theilen der Erde die Contraction stets in derselben Richtung gewirkt hat.

Da die Richtung und Stärke der Tangentialcontraction sowohl von der verschiedenen Leitungsfähigkeit der einzelnen Theile der Erdkruste, von ihren ungleichförmigen Widerständen u. s. w. abhängt, lauter Factoren, von denen wir gar Nichts wissen und die jedenfalls unendlich complicirt ineinandergreifen, so dürften auch die Richtungen unserer Gebirge nach Gesetzen von so verwickelter Natur angelegt sein, dass wir kaum je im Stande sein werden, diese zu erkennen oder zu ergründen.

Tangentialcontraction kann übrigens nur dann gebirgsfaltend wirken, wenn sie in schon verfestigten Gesteinen ihren Sitz hat; denn das supponirte flüssige flüssige Erdinnere kann sich noch so viel contrahiren; es wird unmöglich die oberhalb liegende feste Kruste mitführen können, da die Verschiebbarkeit seiner Theilchen dies verhindert.

Die Radialcontraction indess wird sowohl Folge der Zusammenziehung des flüssigen als auch des festen Theiles der Erde sein. Es ist so wahrscheinlicher, dass die grossartigen Niveauperänderungen nur durch letztere bewirkt werden, indem der Zusammenziehungscoefficient einer Flüssigkeit grösser ist als der eines festen Körpers.

Wenn das centripetal wirkende Gewicht eines nachsinkenden Erdgewölbestückes seitlich Falten erzeugt, so wird jedenfalls die Intensität derselben im Verhältniss zum Gewichte der sinkenden Scholle stehen müssen. Dieses Gewicht wird aber mit der Dicke der erstarrten Kruste zunehmen; es sollte darum folgerichtig die aus dieser Ursache entstehende Faltenbildung stets an Grösse zunehmen, je mehr sich unsere Erde abkühlt; ebenso müssen auch die Senkungen immer bedeutender werden. Ob so vielleicht die grossen Niveauperänderungen in tertiärer Zeit zu erklären sind, möchte ich Anderen zur Beurtheilung überlassen.

Dem, der sich die Mühe gegeben hat, unseren Betrachtungen zu folgen, dürfte wohl kaum entgangen sein, dass wir uns noch immer vergebens nach einer Kraft umsehen, welche eine wirkliche senkrechte Erhebung ohne Faltenbildung erklären kann.

Eine solche Kraft dürfte in Wirklichkeit wohl kaum bestehen, und bleibt somit Nichts übrig, als sämtliche Hebungen, die nicht das Resultat einer Faltung sind, oder die sich nicht durch eine, wenn

auch auf grosse Distanzen stattfindende, Schichtenbeugung zurückführen lassen, als nur relative Bewegungserscheinungen aufzufassen. Diese wären dann entweder hervorgebracht durch eine Senkung anliegender Krustentheile oder durch eine Erniedrigung des Meeresspiegels, die ihrerseits wieder nur eine Folge von Depression in irgend einem Theile des Weltmeeres ist.

Ein sehr schwer zu erklärendes Factum bleiben aber immerhin jene fast vollkommen horizontal liegenden Schichten, die z. B. im europäischen Russland seit der Permischen Zeit über dem Meeresniveau liegen und in keiner Weise an den Störungen theilnahmen, welche in dem unendlich langen Zeitraume zwischen dem Ende der paläozoischen Epoche und der Jetztzeit stattfanden.

In dem westlich vom Ural und nördlich vom Kaukasus gelegenen Erdstriche, der so gross als das ganze übrige Europa zusammengenommen ist, finden wir fast nur sieben grössere Störungen, und zwar: (siehe Murchison, de Verneuil, counte Keyserling, Russia) die kaum über 1000 Fuss hohen devonischen Valdai-Hügel, eine nordöstlich streichende Störung zwischen dem Ladoga-See und der Onega-Bay, die niedrige Hügelkette der Timan-Berge, welche trotz ihrer hypsometrischen Unbedeutendheit einen ähnlichen Bau wie der Ural zeigt; die kuppenförmige Erhebung des Devon im Gebiete des Don-Flusses, die stark gehobenen carbonischen Schichten des Donetz und der Südtheil der Krim-Halbinsel, der jedoch schon der Erhebungslinie des Kaukasus angehört.

Es ist schwer einzusehen, warum sich nicht der unterhalb dieses grossen Oberflächenstückes der Erde befindliche Theil der Kruste ebenfalls contrahiren und durch Uebertragung seines Tangentialdruckes das über ihm Liegende in Falten werfen sollte.

L. v. Buch meinte, wie Süss in seiner „Entstehung der Alpen“ erwähnt, dass die Horizontalität

der russischen Schichten durch eine unterhalb derselben gelegene grosse Hypersthenitafel erklärbar sei, wahrscheinlich von der Ansicht ausgehend, dass diese gewissermassen einen Abschluss gegen den damals als hebed betrachteten Andrang der Gase oder des Magma bilde.

Wir haben schon früher zu zeigen gesucht, dass ein sich contrahirendes flüssiges Magma nie seine tangential Bewegung auf eine überlagernde feste Rinde übertragen kann; auch wenn der sich contrahirende Theil der Kruste nicht fest mit dem oberhalb liegenden erkalteten Theile verbunden ist, wird er bei seiner Faltung an der sich nicht zusammenziehenden Kruste vorübergleiten, ohne sie mitzunehmen. Die zu gross gewordene Kruste muss sich aber endlich doch, wenn auch ausserhalb des Bereiches, wo diese Umstände stattfinden, falten. An der westlichen und östlichen Grenze der russischen, paläozoischen Mulde finden wir gewaltige Stauungserscheinungen. Dort eine südwestlich gerichtete Störungslinie mit gewaltigen Ausflüssen von Porphyren und Grünsteinen; hier die lange Ural-kette, die die tiefsten Glieder der paläozoischen Reihe hoch metamorphosirt blossgelegt hat. Die Erhebungen der Ladoga-Onega-Linie, sowie die Hauptbewegung des Ural sind jedoch wahrscheinlich vor-permischen Alters und finden ihre Erklärung wohl am besten in der grossen paläozoischen Senkung. Süss rechnet die ausgedehnten russischen Ebenen zu den früh verfestigten „Urschollen“, wie das „böhmisch-mährische Massiv“, das Central-Plateau von Frankreich u. s. w.

Ich schliesse diese zerstreuten Betrachtungen mit dem aufrichtigen Wunsche, es mögen die von mir etwa geäusserten irrigen Ansichten widerlegt werden. Sollte es mir gelungen sein, einige neue Gesichtspunkte zu eröffnen, so ist mein Zweck erreicht, denn ein Herabsetzen fremder Ideen und Gedanken lag mir fern.

Wien, März 1879.