

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

1884. Heft IV.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1885.

In Commission bei G. Franz.

Herr v. Gümbel legt eine Abhandlung des correspondirenden Mitgliedes Fr. Pfaff vor über:

„Beobachtungen und Bemerkungen über
Schichtenstörungen.“

(Mit 2 Tafeln.)

Werfen wir auch nur einen flüchtigen Blick auf eine etwas grössere geologische Karte der Alpen, so fällt uns sofort die ausserordentlich starke Ausbreitung der triassischen Gebilde und vor Allem unter diesen wieder des Keupers auf. Namentlich östlich vom Bodensee in den bayerischen und Tyroler Alpen nehmen sie den grössten Raum auf einer solchen Karte ein, einen bis zu 7 Meilen breiten Streifen zu Seiten der krystallinischen Achse des Gebirges bildend. Unter den verschiedenen Gliedern des Keupers ist es wieder der von v. Gümbel mit vollem Rechte als „Hauptdolomit“ bezeichnete Dolomit, welcher in dem bezeichneten Gebiete den wesentlichsten Antheil an dem Aufbaue des Gebirges hat und vorzugsweise den Character desselben bedingt, indem er an vielen Punkten von der Thalsole bis zum Gipfel hinauf ganze Gebirgsstöcke zusammensetzt, in der Mädeler-gabel über 8000 Fuss Höhe aufsteigt. Dieser langgestreckte Wall, der unzweifelhaft früher eine zusammenhängende mächtige Ablagerung bildete, ist jedoch durch eine grosse Anzahl von mehr oder weniger tief einschneidenden Längs- und Querthälern, die in den Alpen ja häufig in einander übergehen, in eine grosse Menge mehr oder weniger tief von einander gesonderter Bergstöcke getheilt, wie dies ebenfalls ein Blick auf eine grössere Karte deutlich erkennen lässt.

Die Physiognomie unseres Alpengebirges ist daher auch in grosser Ausdehnung von der Beschaffenheit oder besser den Eigenschaften dieses Gesteines und von seinen Lagerungsverhältnissen abhängig. Gerade die letzteren sind ja aber überhaupt in dem ganzen Alpengebirge so ausserordentlich verwickelte und zum Theil unklare, dass trotzdem der Aufbau desselben im Grossen und Ganzen Dank den unermüdlischen Forschungen der Geologen aller die Alpen um- und bewohnenden Völkerstämme festgestellt ist, doch noch sehr viel unsicher und dunkel ist, namentlich in Beziehung auf die Frage, wie wir uns die verschiedenen Entwicklungsphasen des Gebirges zu denken haben, welcher Art und welchen Ursprungs die Bewegungen der Gesteinsmassen waren, die wir jetzt so ganz anders gelagert finden, als sie es ursprünglich waren. Eben diese Lagerungsverhältnisse waren es, die mich bei wiederholtem etwas längerem Aufenthalte an verschiedenen Punkten der bayerischen und Tyroler Alpen vielfach beschäftigten und mich zu den folgenden Bemerkungen und Erörterungen veranlassten. Einer Beschreibung des Hauptgesteines dieses Gebirgstheiles, des Dolomites wie auch der übrigen hier auftretenden, fast ausschliesslich nur noch Kalksteine, kann ich hier füglich unterlassen und verweise ich auf die völlig erschöpfende Schilderung derselben von v. Gümbel in seiner geognostischen Beschreibung des bayerischen Alpengebirges, und begnüge mich hier, nur die für das Folgende nöthigen Angaben zu wiederholen, dass der Dolomit meist als feinkörnig krystallinisches, deutlich dünn geschichtetes, vielfach von Rissen durchzogenes Gestein auftritt, das bei seiner Auflockerung in verhältnissmässig sehr kleine, scharfeckige Stückchen zerfällt, wodurch sich massenhafte Schutthalden auf und vor den Dolomitbergen ansammeln. Die mikroskopische Untersuchung von Dünnschliffen bietet nichts dar, was die Betrachtung mit blossem Auge wesentlich ergänzte.

Die ganze Masse besteht nemlich aus eckigen, häufig geradlinig begrenzten krystallinischen Körnchen, welche in ein und derselben Probe meist wenig an Grösse verschieden sind. Die feinkörnigsten Varietäten besitzen Körnchen von 0,02—0,05 mm, die grobkörnigen weisen eine Korngrösse bis zu 0,2 mm auf. Eine Zwillingsstreifung in den Körnern beobachtete ich nicht, wie das ja als sehr charakteristisch für viele Dolomite schon länger bekannt ist. Die Körnchen liegen vollkommen regellos durcheinander, ihre optischen Achsen sind nach allen denkbaren Richtungen gelegen. Zwischen ihnen liegen die unlöslichen Bestandtheile in feinen Körnchen, ebenfalls ganz regellos zerstreut, so dass ein Schliff senkrecht zu der Schichtungsfläche durchaus nichts von einem parallel zu derselben gemachten Schlicke abweichendes darbietet. Die schon mit blossem Auge erkenntlichen feinen weissen Adern zeigen unter dem Mikroskope ebenfalls nur eine Anhäufung gewöhnlich etwas grösserer Krystallkörner und eine grössere Durchsichtigkeit, die durch das Fehlen des in Salzsäure unlöslichen Materiales bedingt ist. An vielen Orten zeigt sich auch oft in nächster Nähe von deutlich dünn geschichteten Dolomiten ein in plumpen Massen auftretendes, sehr undeutliche Absonderung in einzelne parallele Lager zeigendes Gestein derselben Art, und ebenso oft sieht man ausser den Schichtflächen noch eine oder zwei andere Spaltungsrichtungen in grosser Anzahl und weithin parallel verlaufend die Dolomite durchsetzen, so dass es in solchen Fällen, namentlich bei nur in geringer Ausdehnung entblössten Felsmassen genauerer Untersuchung bedarf, um die Richtung der Schichtung zu erkennen. Wenn nur eine solche Spaltungsrichtung deutlich ausgebildet ist, steht sie gewöhnlich senkrecht zu den Schichtflächen, wenn es zwei sind, bilden nicht selten beide schiefe Winkel mit diesen und es entsteht so eine Absonderung des Gesteins in rhomboëdrische Stücke und Stückchen oft nur von wenigen Centi-

metern Ausdehnung. Manchmal aber ist auch die Schichtung und die Zerklüftung so unvollkommen und unregelmässig, dass es nicht möglich ist, mit Sicherheit die Schichtenlage zu bestimmen, doch kommt dieses im Ganzen nur selten und nur an einzelnen Theilen eines Berges vor. Je nach der Neigung der Schichten gegen den Horizont und der Stellung eines Bergabhanges gegen die Schichten ist die Möglichkeit für eine ausgedehnte Entwicklung der Vegetation in sehr verschiedenem Grade gegeben. Daher findet man fast in jedem Gebirgsstocke neben weithin sich fortsetzenden nackten Felswänden und schartigen, mauerartig sich erhebenden Kämmen, ebenso ausgedehnte völlig von Wald oder Rasen bedeckte Gehänge und Gipfflächen, doch stehen auch in diesem Falle hie und da vereinzelt Felsmassen hervor, welche es so möglich machen, einen Einblick in die Lagerungsverhältnisse der Gesteine zu gewinnen, wenn auch oft nicht so befriedigend, als man es wünscht.

Wenden wir unsern Blick nun nach diesen einleitenden Bemerkungen eben auf diese Lagerungsverhältnisse, so können wir als eine bekannte Thatsache das Grundgesetz, welches den Bau des ganzen Alpengebirges beherrscht, in Kürze so ausdrücken: Parallel der centralen grösstentheils aus Gneiss bestehenden und von krystallinischen Schiefen umhüllten Achse liegen die jüngeren sedimentären Formationen bis herauf zu dem Untertertiär in verhältnissmässig schmalen Faltenzügen, so dass das Streichen derselben parallel dieser centralen Achse geht, die Falllinien bald südlich bald nördlich der Achse zu oder abgewendet erscheinen.

Dieses allgemeine Gesetz ist zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Weise erklärt worden, doch wollen wir hier nicht auf diese verschiedenen Erklärungsversuche eingehen, sondern lieber an der Hand dieses Gesetzes etwas näher die Ausnahmen von demselben betrachten, da es ja eben mit demselben leicht ist, durch einfache Vergleichung der irgendwo

beobachteten Lagerungsverhältnisse mit den nach diesem Gesetze zu erwartenden die Giltigkeit oder Ungiltigkeit desselben für einen bestimmten Punkt zu constatiren oder eine Ausnahme von ihm festzusetzen. Dass solche Ausnahmen vielfach vorkommen, ist ebenfalls eine lange bekannte Thatsache, die v. Gümbel ebenfalls bestimmt wiederholt ausgesprochen hat, und es könnte daher scheinen, als ob es eine überflüssige Unternehmung wäre, durch genauere Beobachtungen an einzelnen Localitäten noch mehr solcher Ausnahmen nachzuweisen. Dennoch glaube ich, sind derartige Beobachtungen nicht ganz ohne Interesse und möchte es sich immerhin verlohnen, dieselben noch weiter anzustellen; namentlich mit Rücksicht auf die Frage: wie verhalten sich diese Ausnahmen zu dem Gesetze in Beziehung auf die diesem Gesetze zu Grunde liegende Ursache? Sind sie gleichzeitig mit jener gesetzmässigen Lageveränderung durch einen jenes Gesetz local modificirenden Factor entstanden oder haben sie sich erst später herausgebildet? Welche Ursache hat dieselben erzeugt? Lässt sich eine gewisse Regel auch für diese Ausnahmen aufstellen oder nicht? Mögen diese Fragen immerhin von untergeordneter Bedeutung erscheinen, so wollen sie doch auch beantwortet sein und erfordern zu ihrer Beantwortung einer etwas genaueren Beobachtung an verschiedenen Punkten und eine etwas eingehendere Discussion der so gewonnenen Ergebnisse, die immerhin auch für die Theorie der Gebirgsbildung im Grossen nicht ganz ohne Wichtigkeit sein dürfte, wie aus dem Folgenden klar werden dürfte, wenn auch zunächst nur für den Theil des Alpengebirges, den wir hier im Auge haben.

Die Frage, die wir hier zunächst ins Auge fassen wollen, ist die: Sind die Ausnahmen von der gesetzmässigen Lagerung rein locale, keinem bestimmten Gesetze unterworfen, und sind sie auf rein local wirkende Ursachen zurückzuführen, oder nicht?

Wer an irgend einem Gebirge genauere Beobachtungen über die Lagerungsverhältnisse der Schichten angestellt hat, wird überall auch mehr oder weniger bedeutende Abweichungen von der allgemeinen im Gebirge herrschenden Regel bemerkt haben, die jedoch stets nur auf kleine Strecken beschränkt erscheinen und ihren localen Charakter und die local wirkende Ursache wie z. B. benachbarte Quellen so deutlich zur Schau tragen, dass es nicht der Mühe werth ist, dieselben zu erwähnen. Auch in den Alpen sind selbstverständlich solche oft nur auf wenige Meter hin bemerkbare Störungen nicht so selten. Neben diesen finden sich aber vielfach auch solche, welche sich durch einen grossen Theil eines ganzen Gebirgsstockes, ja durch ganze Berge hindurch erstrecken und diese sind es, welche wir hier im Auge haben.

Um nun unsere eben gestellte Frage beantworten zu können, müssen wir für irgend ein etwas ausgedehnteres Stück unseres Gebietes etwas genauer diese Ausnahmen betrachten. Ich wähle hiezu einen Theil der um den Plansee herum gelegenen Dolomitberge, deren Lage das kleine Kärtchen Taf. II veranschaulichen mag. Unmittelbar um den See liegen vier von einander scharf gesonderte Berge, nemlich nördlich der Zwieselberg, südlich die Seewand, östlich der Zwergberg, westlich der Tauernberg und südwestlich von dem mit dem Plansee in Verbindung stehenden Heiterwanger-See erhebt sich die Pyramide des Thaneller.

Wenn man nun versuchen wollte, in kurzen Zügen den Schichtenbau dieser Berggruppe zu entwerfen, so würde man in die grösste Verlegenheit kommen und könnte höchstens als gemeinsames Merkmal für dieselben das angeben, dass sie alle sehr deutlich und mehr oder weniger durchweg nicht dem allgemeinen Gesetze folgen, dass aber auch nur vereinzelt sich ein durchgreifendes spezielles Gesetz in diesen Maassen nachweisen lässt. Wir wollen daher etwas näher auf diese eigenthümlichen Lagerungsverhältnisse eingehen.

Begeben wir uns von Reutte her aus dem Lechthal aufsteigend nach dem Plansee, so haben wir den durch den Abfluss des Plansees von dem Zwieselberg gesonderten Tanernberg zur Rechten, der uns gleich ein Beispiel für Schichtenbiegungen und Schichtenstörungen nach allen Himmelsrichtungen hin darbietet, wie man es wohl selten so schön sieht. Die beiden Fig. 2 und 3, Taf. I, stellen solche unmittelbar von der Strasse durchschnitene, genau nach der Natur gezeichnete Profile dar, die weiter keiner Erklärung bedürfen. Nur soviel sei hier erwähnt, dass kaum auf 100 Schritte weit ein gleichmässiges Fallen oder Streichen beobachtet werden kann, sondern ein unaufhörlicher Wechsel wahrgenommen wird. An dem dem Heiterwanger-See zu geneigten südöstlichen Ende desselben fallen die Schichten diesem zu nahezu unter 40° gegen Südwesten, dagegen auf der westlichen dem Lechthale zugekehrten Seite beobachtet man an den wenigen von Vegetation freien Felswänden ein gleich starkes Fallen gegen Nordosten, während auf derselben Seite am Fusse dasselbe 37° gegen Süden ist. Die beiden auf dem Kämme, der ebenfalls vielfach ganz überwachsen ist, hervorragenden vom westlichen Ende des Plansees deutlich sichtbaren grösseren Felsparteen zeigen ebenfalls wieder ein ganz verschiedenes Verhalten, indem die Schichten der weiter nördlich gelegenen nach Nordosten, die weiter südlich gelegenen nach Südwesten zu fallen, ebenfalls mit 40 bis 45° Neigung. Daneben finden sich namentlich an der Ostseite grössere Partien, an denen das Fallen und Streichen wegen der ausserordentlichen Zerklüftung schwer mit Sicherheit zu bestimmen ist, doch scheint vom äussersten West-Ende des Plansees aus eine grössere Masse sehr steil nach Nordosten zu fallen. Bemerken will ich nur noch, dass ein Theil der kleinen, förmliche Gewölbe bildenden Faltungen sich in den hier wie auch sonst im Hauptdolomite untergeordnet auftretenden, sehr dünn geschichteten Asphaltchiefern findet. Da nur auf kurze

mit derselben bildet. Nur der vielfach mit Schutt bedeckte Fuss hat eine geringere Neigung. Die ganze Pyramide zeigt nun eine höchst regelmässige und vollkommen gleich bleibende nur wenig von Ost nach West fallende Schichtenlage. Ein und dieselbe Schichte lässt sich über den ganzen Berg hin verfolgen, dickere wechseln mit dünneren, auch sie sind von senkrechten Spalten nach zwei Richtungen vielfach durchzogen, so dass scharfkantige pfeilerartig hervorstehende Massen den Schichten von ferne ein kanelirtes, gestreiftes Ansehen verleihen. In Verbindung mit den fast horizontalen Schichtflächen zeigt der Berg einen stufenförmigen Bau, der sehr auffallend hervortritt, wenn leichter Schnee auf ihm liegt, der die Flächen dieser Stufen allein bedeckt und die dazu senkrechten durch die Spaltung entstandenen frei lässt.

Wiederum ein anderes Bild bietet dann der das nördliche Ufer des Sees einnehmende Zwieselberg. In seiner westlichen Hälfte, die Taf. I Fig. 1 zeigt, lässt sich der Schichtenbau noch gut übersehen und erkennen. Er stellt hier eine ziemlich gut ausgebildete Mulde dar, die vom Westrande sanft nach Osten und zugleich nach Norden zu einfällt, gegen die Mitte des Berges zu sich dann hebt und nahe der Mitte in eine senkrechte Stellung der Schichten übergeht. Hier findet sich eine nach unten hin in eine breite, bis zum See reichende Schutthalde sich öffnende schmale Schlucht, in der man ohne grosse Schwierigkeit den Berg besteigen kann. Das Streichen ist auf der Westseite dieser Schlucht ziemlich constant zwischen $8\frac{1}{2}$ und $9\frac{1}{2}$ ¹⁾, während das Fallen von 55° nach N bis zur senkrechten Stellung wechselt. Am Fusse des Berges, am Westende desselben streichen die Schichten in h. 7 und fallen

1) Als Abweichung der Magnetnadel in diesen Gegenden habe ich genau eine Stunde angenommen. Darnach sind die obigen und folgenden Angaben reducirt.

mit nur 26° nach Nord. Kleinere Unregelmässigkeiten einzelner Schichtenzüge sind übrigens auch hier nicht selten. Weniger klar ist dagegen die Schichtenlage der östlichen Hälfte des Berges zu erkennen, da dieselbe grösstentheils von Wald bedeckt ist und auch da, wo in grösserer Ausdehnung Felswände erscheinen, wie auf der zum Graswangthale abfallenden Ost- und Nordostseite, die Schichtung wieder grösstentheils unklar ist. Jedenfalls sprechen diejenigen Stellen, wo man besser beobachten kann, dafür, dass auch vom Ostrande her theilweise ein nach innen gerichtetes Fallen Statt habe, aber bei weitem weniger regelmässig und muldenförmig, wie auf der westlichen Seite. Durchgängig ist das Streichen mehr der Richtung des Meridianes genähert, zwischen $12\frac{3}{4}$ und 3 schwankend, auch das Fallen ein sehr verschiedenes, bald wenig geneigtes bald nahezu senkrecht, bald nach Westen bald nach Osten gekehrt. Schon auf der Strasse am Seeufer hin, die manche Felswand blossgelegt hat, ist diese grössere Unregelmässigkeit der östlichen Abtheilung des Berges leicht zu erkennen.

Wenden wir nun von der Ostseite des Zwieselberges weg unsern Blick auf den ihr gegenüberliegenden Rücken des Zwergberges, so zeigt auch dieser wieder grosse Unregelmässigkeiten. Gehen wir zunächst im Ammerwalde auf seinem Fusse hin, so kommen wir bald zu einer engen, wenige Meter breiten Spalte, durch welche Bach und Strasse hindurchzieht, den sogenannten Thorsäulen. Hier stehen die Schichten senkrecht und streichen h. 5; einzelne neigen sich hie und da etwas nach Nord, andere auch nach Süd und diese senkrechte Stellung ist namentlich auf der linken Seite des Baches, oben an den Abhängen des Zwergberges über einen Kilometer weit sehr deutlich zu erkennen, das Streichen etwas wechselnd bis zu h. 6. Hie und da sieht man kleine Schluchten sich in den Berg hineinziehen, gleichsam ein Cannon im Kleinen darstellend. Es sind nemlich hie und

da nur wenige Schichten herausgewittert, während die neben ihnen stehenden unversehrt blieben, so entstanden dann schmale, mit senkrechten Seitenwänden abfallende Schluchten, die sich hoch den Berg hinaufziehen.

Unterhalb der Thorsäulen weicht der Abhang des Zwergberges nach Süd-Osten hin vom Bache zurück, er bildet eine muldenförmige Einbiegung, deren südlicher Theil wieder als ein ziemlich steiler Ausläufer gegen das Seeende sich hin erstreckt. An diesem Ausläufer nun fallen die Schichten unten steil, oben sanfter geneigt gegen Nordost zwischen h. 10 und 11 streichend. In der muldenförmigen Einbiegung, die vielfach mit Wald und Schutthalden bedeckt ist, findet man sie weiter nach Norden zu wieder senkrecht stehend, aber sie streichen nun nahezu in der Richtung des Meridianes, also steht ihre Streichrichtung fast senkrecht zu der jenes von den Thorsäulen an sich hinziehenden Schichtensystemes. Mehr als irgend einer der bisher besprochenen Bergstücke schliesst sich noch der südlich am See sich hinziehende als Seewand, auf seinem Gipfel als Plattberg bezeichnete Berg Rücken an, insoferne als bei ihm überwiegend ostwestliches Streichen und südliches Fallen beobachtet wird, wodurch er im auffallenden Gegensatze zu dem ihm am See auf dessen Nordseite gegenüberliegenden Zwieselberge steht, doch finden sich auch bei ihm so vielfache Abweichungen von diesem Gesetze, dass es schwer ist, sich ein klares Bild von den Strukturverhältnissen desselben zu verschaffen. Auch an ihm zeigen sich Abweichungen im Streichen und Fallen, welche eine Faltung in der Richtung von Ost nach West anzeigen. Oft auf ganz kurze Strecken wechselt beides ausserordentlich rasch und stark, so dass Neigungswinkel von nur 5° in der nächsten Nähe von fast senkrechter Schichtenstellung namentlich am östlichen Theile der Seewand sich finden und auch das Streichen so wechselt, dass es den Anschein gewinnt, als wäre hier eine trichterförmige Einsenkung der Schichten ein-

getreten. Uebrigens ist auch bei ihm durch Wald und Rasen, Schutthalden und jähe Wände, an denen oft die Schichtung sehr unklar erscheint, die Beobachtung ziemlich erschwert.

Ueberblicken wir die hier kurz geschilderten Verhältnisse, so wird aus denselben sofort das Jedem klar geworden sein, dass diese immerhin nicht unbeträchtlichen Massen weder dem allgemeinen Gesetze der Alpenfaltung folgen, noch auch unter sich ein ihnen gemeinschaftlich zu Grunde liegendes secundäres Gesetz erkennen lassen.

Wir können es daher als eine Thatsache der Beobachtung hinstellen, dass sich in dem hier besprochenen Gebiete sehr bedeutende Schichtenstörungen finden, die wir als locale oder besser jeder Bergmasse individuell zukommende bezeichnen müssen. Die Lagerveränderungen sind genau von derselben Art und treten auch in demselben Betrage auf, wie sie in dem übrigen Theile der Alpen die triassischen oder jüngeren Schichtenreihen erkennen lassen, Hebungen bis zur senkrechten Stellung zahlreicher Schichten, Faltungen bis zur Bildung von Gewölben mit ausserordentlich kleinem Krümmungsradius finden wir auch hier auf das Klarste entwickelt.

Selbstverständlich ist es ja auch, dass alle diese Schichtenstörungen erst nach der Bildung der Schichten eingetreten sind, also eine nachträgliche Bewegung derselben anzeigen. Nehmen wir an, wie das ja wohl von allen Geologen gegenwärtig geschehen dürfte, dass die Schichten Anfangs horizontal oder wenigstens nahezu horizontal gelagert waren, so lässt sich aus ihrer jetzigen Lagerung die Art ihrer Bewegung bestimmen ganz unabhängig von und ohne alle Berücksichtigung der Frage, welche Bewegungsursache wir etwa annehmen wollen. Die Art der Bewegung ist daher auch kein Gegenstand des Streites, man kann darüber nicht verschiedener Ansicht sein.

Allein ganz anders verhält es sich, wenn wir nun uns

die Frage stellen: wodurch ist diese Bewegung der Schichten erzeugt worden?

Auch bei der Beantwortung dieser so vielfach discutirten Frage können sich die Vertreter der verschiedensten Anschauungen noch in einem Grundsatz einig, nemlich dem, dass eine einheitliche Bewegung auch nur die Annahme einer Bewegungsursache und einer Bewegungsrichtung zulässig macht, dass aber im Falle ungleicher Bewegungen jedenfalls verschiedene Bewegungsrichtungen angenommen werden müssen, und dass dann möglicherweise auch verschiedene Ursachen der Bewegung vorhanden gewesen seien.

Halten wir uns nun an unseren vorliegenden Fall, so ist ganz klar, dass wir es in diesem nicht mit einer einheitlichen Bewegung zu thun haben, dass jedenfalls also Bewegungen in sehr verschiedener Richtung eingewirkt haben. Fraglich bleibt es dann immer noch, ob wir eine nur in verschiedenen Richtungen wirkende Ursache annehmen können oder nicht.

Man hat bekanntlich für die Entstehung des Alpengebirges, wie auch für die ähnlicher Kettengebirge einen seitlich, senkrecht zur Längsachse des Gebirges wirkenden Druck oder Schub angenommen, welcher das ganze Gebirge in parallele Falten legte. Die näher im Vorhergehenden besprochenen Erscheinungen, welche uns fast alle von dieser Richtung ganz abweichende Schichtenbewegungen erkennen lassen, verbieten es uns, diesen Schub als Ursache jener abnormen Bewegungen anzusehen. Immerhin aber wäre es möglich, dass nachher oder vorher etwa eintretende und in anderer Richtung erfolgte ähnliche Pressungen diese Lageveränderung erzeugt hätten. Bei vorurtheilsfreier Prüfung werden wir jedoch ganz entschieden diese Meinung aufgeben und uns nach ganz andern Bewegungsursachen umsehen müssen. Es ist vor Allem der so klar ausgeprägte lokale und individuelle Character dieser Bewegungen, welcher

uns nöthigt den Gedanken aufzugeben, dass ähnliche Bewegungen der Erdrinde, wie die für die Entstehung des ganzen Alpengebirges angenommenen, hier gewirkt hätten. Wir können ja unmöglich annehmen, dass gleichzeitig am Thaueller von Ost nach West, in den kleinen Gewölben des Tauernberges vorwiegend von Nordwest nach Südost in der Mulde des Zwieselberges von Südwest nach Nordost eine solche Bewegung der Erdrinde stattgefunden habe. Wollten wir nun annehmen, dass diese Faltungen der Erdrinde zu verschiedenen Zeiten stattgefunden haben, wofür übrigens gar kein Anzeichen vorliegt, so begreift man nicht, wie eine derartige Richtungsänderung in der Bewegung der Erdrinde eingetreten sein soll, und wie sie auf so ganz kleine Partien sich erstreckt haben könne. Die Beobachtung ferner, dass am Tauernberge die Richtung der Bewegung in den kleinen Gewölben am Fusse des Berges eine ganz andere war, als die oben auf dem Rücken des Berges, da beide nahezu senkrecht zu einander wirkten, macht diese Annahme völlig unmöglich. Sie nöthigen uns nach einer Bewegungsursache umzusehen, welche gleichzeitig an verschiedenen Puncten in verschiedenen Richtungen wirken konnte und an jeder Stelle jede beliebige Bewegung hervorzubringen im Stande ist, eine Ursache, welche ebensowohl ganz kleine und beschränkte Stellen, wie ausgedehntere Schichtensysteme in der verschiedensten Weise bewegen kann.

Als diese gemeinsame Bewegungsursache können wir wohl am einfachsten die Schwere oder richtiger den aus derselben hervorgehenden Druck der Gebirgsschichten betrachten, welche wirklich Bewegung erzeugt, wenn durch die Thätigkeit des Wassers die Möglichkeit zu derselben gegeben wird. Wo unter einer Schichte durch die ausnagende oder auszehrende Wirkung des Wassers eine Stelle frei wird, kleinere oder grössere Hohlräume entstehen, da wirkt stets die Schwere dahin, diesen Raum mit höher gelegenen Massen auszufüllen.

In den durch zahllose Risse noch weiter getheilten Gesteinsschichten haben wir bewegliche Massen vor uns, die um so leichter und stärker sich bewegen werden, je stärker der Druck ist, dem sie ausgesetzt sind; ihre Beweglichkeit wird noch erhöht durch das sie überall durchziehende Wasser. Es ist nicht nöthig grössere Hohlräume entstanden durch das völlige Verschwinden ganzer Schichtenreihen, anzunehmen, um z. B. eine muldenförmige Einbiegung von Schichten zu erhalten, es genügt dazu schon das Dünnerwerden einer grösseren Zahl von Schichten in einer Richtung. Denken wir uns z. B. eine Reihe Schichten alle in der Weise, wie es unsere Fig. 2 Taf. II andeutet, in der die senkrechten Striche die Verdünnung d. h. den durch die Wegnahme entstandenen Substanzverlust anzeigen, dünner geworden und durch den Druck der ober ihnen liegenden wieder gegen einander gepresst, so wird der Betrag der Einbiegung der höheren Schichten gleich der Summe der kleinen die Dickenverminderung der einzelnen Schichten anzeigenden Linien 1, 2, 3, 4 also gleich ab sein, und man begreift so, dass wenn eine grössere Anzahl von Schichten an einer Stelle auch nur um 1 bis 2 cm dünner werden, der Effect an den obenliegenden immerhin ein sehr grosser werden kann. Uebrigens kann man bei genauerer Beobachtung oft erkennen, dass die Schichten in der That ziemlich stark an Dicke abnehmen, ja sich vollkommen auskeilen, was von Baltzer als ein Beweis für das Ausgequetschtwerden und Plastischwerden angeführt wurde.

Es wird wohl nicht nöthig sein, näher auseinander zu setzen, wie auf diese Weise alle möglichen Arten von Schichtenstörungen entstehen können. Denn das ist ja ganz klar, dass wenn man bewegliche, der Schwere unterworfené Massen hat, man in diesen alle möglichen Arten von Bewegungen und Neigungen erzeugen kann, wenn man ihre Unterlage in grösserer oder kleinerer Ausdehnung, an ein-

zelnen beschränkten Stellen, in Linien oder grösseren Flächen mehr und mehr entfernt. Ich möchte hier nur an ein Beispiel erinnern, welches, wenn auch in kleinerem Maassstabe, diese Wirkung des Wassers ganz unzweifelhaft klar legt, auf das ich schon in meinen „Beiträge zur mechanischen Geologie aus dem fränkischen Jura“¹⁾ gezeigt habe.

In diesem überall horizontale Schichtung zeigenden Gebirge zeigen sich zum Theil sehr steile Schichtenstellungen in dem Thale der Wisent, stets in der Umgegend der wasserreichen Quellen in der Thalsohle. Ihre Entstehung durch die auflösende Wirkung des Wassers ist hier ganz unzweifelhaft. In den Alpen sind die Wirkungen des Wassers nur stärker, aber die Art ist dieselbe, vor Allem auch der Character dieser Störungen als localer ganz derselbe. Dass die Wirkung des Wassers im Boden eine local ausserordentlich verschiedene ist, dass sie gleichzeitig in den verschiedensten Richtungen die Gesteine angreift, das bedarf wohl keiner näheren Auseinandersetzung, und die so ganz verschiedene Richtung der Bewegung, die wir selbst an ein und demselben Bergrücken den Schichten mitgetheilt sehen, hat gar nichts Befremdliches, wenn wir sie auf diese Weise von der Wirkung des Wassers abhängig machen. Selbstverständlich begann diese Wirkung von dem Augenblicke an, in welcher diese Schichtensysteme ins Trockene gelangten und geht fort, so lange sie Festland sind. So stehen uns für diese Wirkung Zeiträume zu Gebote, welche nach und nach die Folgen derselben zu einem beträchtlichen Grade anwachsend machen mussten, wenn auch die Beträge eines Jahres verschwindend klein sind, obwohl bei näherer Betrachtung doch auch diese nicht so ganz unerheblich erscheinen dürften, wie dies aus folgender Rechnung klar hervorgeht. Das Wasser des Plansees enthält in 10,000 Theilen Wassers 3,3 aufgelöste Be-

1) Zeitschr. des deutsch. geol. Ges. XX, 389.

standtheile. Dasselbe kommt, wie das Kärtchen zeigt, nur von einem Theil der ihn umgebenden Berge, während der andere Theil der auf dieselben niedergehenden atmosphärischen Niederschläge theils in die Loisach, theils direct in den Lech geht. Die Menge des aus dem See austretenden Wassers beträgt nach einer allerdings nicht sehr genauen Bestimmung pro Secunde 10 Kubikmeter, das gibt im Jahr $315\frac{1}{3}$ Millionen Kubikmeter. Nehmen wir das spezifische Gewicht der aufgelösten Bestandtheile zu 2,6 an, so sind dem Volumen nach in einem Kubikmeter Wassers 0,000127 Kubikmeter fester Bestandtheile, folglich in $315\frac{1}{3}$ Million 40005 Kubikmeter, welche jährlich dem Theile des Gebirges allein entzogen werden, der sein Wasser dem Plansee zusendet. Das ist immerhin keine so ganz verschwindende Masse und jedenfalls zeigen uns diese Zahlen, dass wenn wir 1000 oder 10000 Jahre dieselbe Menge festen Materials und aus dem Schichtensysteme um den See ungleichmässig weggenommen dächten, dadurch sehr beträchtliche Bewegungen in denselben entstehen müssten. In meiner Schrift „Der Mechanismus der Gebirgsbildung“ habe ich S. 99 und 123 näher nachgewiesen, wie auch in Beziehung auf die zum allmählichen Zustandekommen dieser Schichtenbewegung nöthigen Zeiträume viel geringer ausfallen, wenn wir sie in der angegebenen Weise auf die Wirkung des Wassers zurückführen, als wenn wir eine Faltung der Erdrinde in Folge der durch die fortschreitende Abkühlung erzeugten Contraction des Erdkörpers für sie als Ursache annehmen, die übrigens für derartige locale in ihren Richtungen wechselnde Störungen, wie wir schon oben erwähnten, nicht zur Erklärung herbeigezogen werden kann.

Als das Resultat der vorstehenden Betrachtungen möchte ich den Satz hinstellen: Alle local auftretenden regellos in ihrem Verlaufe erscheinenden Schichtenstörungen sind Folge der ungleichmässigen ausnagenden Einwirkung des Wassers unter dem Einflusse der Schwere.

Wenn unter den dadurch erzeugten Bewegungen vorzugsweise die in verticaler Richtung erfolgenden sich bemerkbar machen, wie es ja in der Natur der Schwerkraft liegt, so sind deswegen doch auch latente Verschiebungen nicht ausgeschlossen, die wie es im Grossen die Ränder vieler Gebirge zeigen, als Ueberschiebungen über gesunkenen, d. h. hier durch die Wirkung des Wassers gesenkte Theile, sich bemerkbar machen.

Wie weit nun diese unregelmässigen Bewegungen reichen, und wie weit sie den Aufbau des ganzen Gebirges beeinflussen, kann erst an der Hand eingehenderer und umfassenderer Untersuchungen beantwortet werden; dass solche Unregelmässigkeiten vielfach auch in andern Gegenden vorkommen, wie z. B. in der Umgebung des Achensees, des Kochelsees, davon habe ich mich öfters überzeugt; wenn ich auch nicht so ausgedehnte Untersuchungen anstellte, um ein genaueres Bild der dort sich findenden Abweichungen von dem regelmässigen Aufbau des Gebirges geben zu können.

Ich habe oben erwähnt, dass die Annahme, dieselbe Bewegungsursache, welche das ganze Alpengebirge faltete, habe auch diese localen unregelmässigen Schichtenstörungen erzeugt, unstatthaft sei. Ich glaube auf diese allgemeine Bewegungsursache noch einmal zum Schlusse eingehen zu müssen, weil ich mich mit der eben von mir ausgesprochenen Theorie im Widerspruche mit einer Reihe der hervorragendsten Geologen weiss, und doch ebensowenig wie für die zunächst besprochenen localen Erscheinungen für das ganze Alpengebirge die von jenen vertretene Faltungstheorie, soweit sie die Ursachen der Bewegung betrifft, als eine physikalisch haltbare ansehen kann. In seinem neuesten Werke „Das Antlitz der Erde“ fasst Suess (S. 143) dieselbe kurz in folgenden Worten zusammen: „Die sichtbaren Dislocationen in dem Felsgerüste der Erde sind das Ergebniss von Bewegungen, welche aus der Verminderung des Volums

unseres Planeten hervorgehen. Die durch diesen Vorgang erzeugten Spannungen zeigen das Bestreben, sich in tangentielle und in radiale Spannungen und dabei in horizontale (d. i. schiebende und faltende) und in vertikale (d. i. senkende) Bewegungen zu zerlegen.“ Die Volumsverminderung des Planeten ist eine Folge der fortschreitenden Abkühlung, in Folge dieser Schrumpfung muss die in früherer Zeit bei einem grösseren Erdradius entstandene feste Erstarrungsrinde, welche wegen ihres Gewichtes dem flüssigen Erdkerne zu folgen bestrebt ist, sich knicken und falten. Ohne auf die Bedenken einzugehen, welche sich gegen die Voraussetzungen dieser Theorie erheben lassen und wegen denen ich auf die oben schon citirte Schrift „Der Mechanismus der Gebirgsbildung“ (Cap. III und V) verweise, möchte ich hier nur auf einige, zum Theil dort nicht hervorgehobene Schwierigkeiten hinweisen, deren Beseitigung durch irgend einen Vertreter jener Theorie gewiss sehr erwünscht wäre, da ja gewiss Jeder im ersten Augenblicke dieselbe für eine sehr gute und den Schlüssel zur Erklärung des Baues unserer Erdrinde darbietende halten wird, aber nicht länger halten kann, wenn diese Schwierigkeiten nicht gehoben werden.

Nach dieser Theorie bildet die Erdrinde eine den flüssigen Erdkern umgebende feste Schale. Die einzelnen Theile oder Stücke derselben stützen sich nun gerade so, wie die Steine eines richtig construirten Gewölbes. Ein Durchschnitt durch die Erde wird daher ähnlich Fig. 3 Taf. II sich darstellen. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass wenn sich der Erdinhalt zusammen- und von der Rinde zurückzieht, die einzelnen Stücke, durch die Schwere ebenfalls nach dem Mittelpunkte der Erde hingezogen, sich, eben wie die einzelnen Steine eines Gewölbes stützen können, dies ist aber nur unter folgenden zwei Voraussetzungen möglich:

1) es muss, da wir die erstarrte Rinde nicht als eine, durch keine Risse getrennte Masse ansehen können, die Form

Zeit. Jahrgang der math.-phys. Klasse vom 7. November 1884.

der einzelnen Stücke wie die von Schwäbischweizer Beschörung unter normaler, am besten sein, wie a b—c d:

Zu die Widerstandskraft der Masse m ist so gross sein, dass sie unter dem Drucke nicht zersprengt wird, der auf die einzelnen Stücke wirkt.

Wären diese beiden Bedingungen erfüllt, so würde weder eine vertikale, noch eine tangential Bewegung in der Rinde eintreten.

Es lässt sich nun auf experimentellem Wege leicht nachweisen, dass jedenfalls die zweite dieser Bedingungen nicht erfüllt ist und verweise ich in dieser Beziehung auf die bekannten Untersuchungen Mallet's in seiner Arbeit „über vulkanische Kraft“. Nach ihm ist der Druck auf die Seitenwand eines solchen Stückes der Erdrinde 480 mal grösser als derjenige, welcher hinreicht, die am schwersten zerprengbaren Gesteine wie Porphyry und Granit zu zermalmen, und ungefähr 2000 mal grösser, als der zum Zermalmen von Dolomiten und Kalksteinen nöthige. Mallet behauptet nun, dass ein solches Zermalmtwerden der Gesteine in der Erdrinde stets eintreten muss. Doch lässt sich leicht zeigen, dass das nicht unter allen Umständen der Fall sein muss und dass noch eine andere Möglichkeit gegeben ist, nemlich die, dass die Gesteine, ehe der Druck diese Höhe erreicht, nach oben hin ausweichen, die Schichten sich aufrichten. Dadurch können die übrigen Theile der Rinde sich wieder soweit nähern, oder richtiger, es wird soviel Raum geschaffen, dass die Unterfläche der Rinde einen kleineren, dem verkürzten Radius angepassten Kreis bilden und auf dem Kerne aufrufen kann, wodurch dann der Seitendruck aufgehoben ist. Es fragt sich nur, ob dieser laterale Druck im Stande ist, die Schichten leichter zu biegen, d. h. aufrichten, oder zu brechen. Es lässt sich nun leicht nachweisen, dass allerdings in gewissen Fällen eine Schichten-

aufrihtung durch einen Druck erreicht werden kann, welcher geringer ist, als der zum Zermalmen erforderliche.

Wir können dies am einfachsten erkennen, indem wir fragen, welchen Druck übt eine Schichte wie *ca* oder *cb* Taf. II Fig. 4 auf die Seitenflächen bei *a* und *b* aus. Offenbar wird eine solche Schichte, sowie der Druck bei *a* und *b* grösser wird, als der, den sie vermöge ihres Gewichtes in dieser Richtung ausübt, bei *c* in die Höhe gedrückt, so lange der zu dieser Bewegung nöthige Druck nicht den für die Zermalmung hinreichenden übersteigt. Drücken wir denselben der bequemeren Berechnung wegen in Atmosphären aus, so finden wir nach den von Mallet gefundenen Zahlen, der als Maximum für das Zersprengtwerden des Dolomites¹⁾ 7409 e. \mathcal{H} auf den Q.Zoll fand, was einem Drucke von 584 Atmosphären entspricht, folgenden Grenzwert:

$$584 = P \times \sin \alpha,$$

wo *P* das Gewicht der fraglichen Schichte α den Neigungswinkel derselben gegen den Horizont bezeichnet. Nehmen wir des sp. Gewicht des Dolomites zu 2,8 an, so würde darnach eine senkrecht stehende, überall gleich dicke Dolomitsäule von 3,6 Meter einen Druck von einer Atmosphäre auf ihre Unterlage ausüben, demnach zu einem 584 Atmosphären betragenden Drucke eine Dolomitsäule von 2102 m Höhe nöthig sein. Mit der Neigung ändert sich natürlich der Druck; bei 10° Neigung würde eine Schichte von 12100 m Länge erst diesen Druck bei *a* ausüben, bei 30° Neigung dagegen schon bei einer Länge von 4200 m.

Wir sehen daraus ganz klar, dass eine Zermalmung nicht unter allen Umständen eintreten muss, aber ebenso geht auch aus diesen Zahlen hervor, dass wir Faltungen oder Knickungen der oberflächlichen Schichten der Erdrinde

1) Für Kalksteine fand er 2400 bis 5800 e. \mathcal{H} auf den Q.Zoll.
[1884. math.-phys. Cl. 4.]

durch den Lateraldruck doch nur in sehr geringer Ausdehnung, d. h. auf sehr geringe Längen wirkend annehmen können, eben deswegen, weil die Schichtenenden zermalmet werden, wenn der zu überwindende Widerstand bei Dolomit- und Kalkmassen höher wird, als einem Drucke von 584 Atmosphären entspricht. Die Faltungen von Schichtenmassen, deren Länge in der Richtung des Druckes mehr als 100000 ja 200000 m beträgt, durch diesen Lateraldruck sind mit den Resultaten Mallet's nicht in Einklang zu bringen. Noch misslicher aber sieht es mit dieser Faltungstheorie aus, wenn auch die erste jener Voraussetzungen nicht stichhaltig ist. Wenn auch nur ein Stück eine Form hat wie $ef - gh$ unserer Figur 3, so kann dieses Stück nach unten ausweichen und die Stücke zu beiden Seiten desselben können sich nun einander nähern, einen kleineren Kreis bilden, weder eine Faltung noch eine Zermalmung wird dann eintreten. Nun sind ja, wie dies Suess in seinem oben citirten Werke an vielen Beispielen nachgewiesen hat, gerade Senkungen einzelner Stücke der Erdrinde sehr häufige Erscheinungen, ja er führt in der oben wörtlich citirten Stelle gerade die Senkungen als nothwendige Folgen der Volumsveränderung der Erde an. Vielleicht giebt derselbe in einem späteren Theile seines Werkes eine Erklärung, wie neben ausgedehnten Senkungen auch noch Faltungen durch die Kontraktion der Erde entstehen können; in dem vorliegenden Theile finde ich nichts, was diese grosse Schwierigkeit beseitigen könnte.

Ich will nur noch eines der Hindernisse hier besprechen, welches mir als ein nicht wohl zu beseitigendes für jene Theorie erscheint. Tritt nemlich eine Volumsverminderung ein, und wird diese durch eine Faltenbildung, wie es jene Theorie behauptet, beseitigt, so geschieht dies dadurch, dass ein Theil der Rinde zusammengedrückt und nach oben gedrückt wird, wobei wir in manchen Fällen aus der Länge der Falten den Betrag des Zusammenschubes berechnen

können, wie ihn z. B. Heim für die Central-Alpen zu 120000 m berechnet hat. Nun ist zweierlei selbstverständlich, wie ein Blick auf unsere Figur zeigt, nemlich, dass der Zusammenschub nur so lange dauert, bis der Umfang der Rinde der verkleinerten Kugel wieder anliegt und ebenso, dass dies nur dadurch erreicht wird, wenn die Verringerung des Umfanges ebensowohl an der Ober- wie an der Unterfläche eingetreten, d. h. die Auspressung oder Auftreibung ein ganzes Stück aus der Erdrinde beseitigt hat. Nehmen wir z. B. an, die Volumsveränderung durch die Kontraktion sei gleich einem Stücke von dem Durchschnitte $ab - cd$ unserer Figur, so wird durch den Druck die Rinde zwischen 1 und 2 so in Falten gelegt und so viel Material nach oben hin gedrängt werden müssen, dass sowohl 1, 2 oben, wie unten 3 und 4 um die Strecke ac oben, bd unten einander näher gerückt sind. Das Volumen der dann zwischen 1—2 und 3—4 gelegenen Massen muss jedoch nach der Faltung dasselbe sein, wie vorher.

Welchen Effect das haben muss, wollen wir an einem Beispiele zeigen, für das wir numerische Angaben machen können, nemlich eben für unsere Alpen.

Wir können, da uns hier eine Reihe von Durchschnitten vorliegt, den Betrag der Zusammenschiebung aus der Länge und der Neigung der gefalteten oder zusammengebogenen Schichten berechnen. Heim hat dies in seinem Werke „der Mechanismus der Gebirgsbildung“ gethan und für den Zusammenschub der Centralalpen 120000 m angegeben. Es entspricht dies etwas mehr als $\frac{2}{3}$ der ursprünglichen Länge des von ihnen eingenommenen Meridianbogens. Wir wollen aber nur $\frac{1}{3}$ als Mittel zu Grunde legen, also annehmen, dass wo die Breite des Gebirges jetzt 20 Meilen beträgt, sie vor der Faltung 30 Meilen gemessen habe, wo sie jetzt 30 m ist, demnach früher 45 gewesen sei. Den Effect einer solchen Zusammenschiebung können wir dann leicht be-

rechnen, es ist aber auch gut, denselben sich zu veranschaulichen, wie dies unsere Fig. 5 Taf. II zu thun geeignet ist. Es stelle MM' die Höhe des Meeresspiegels vor, der zwischen beiden liegende 20 g. M. messende Durchschnitt giebt nun ein richtiges Bild von der Höhe des Gebirges, wobei die höchste Spitze zu 11400 Fuss ($\frac{1}{2}$ Meile) angenommen ist. Die Dicke der Erdrinde ist nur zu 10 g. M. angenommen. Unter dieser Voraussetzung ist das Volumen resp. der Flächeninhalt des Querschnittes der verdrängten Masse gleich 10×10 , d. i. 100 g. Meilen. Dächten wir uns nun die aus ihrer ursprünglichen Lagerung verdrängte Masse als ein gleichschenkliges dreiseitiges Prisma über der Linie $M-M'$ sich erhebend, so müsste die Höhe desselben genau 10 g. M. hoch sein; der Durchschnitt dieses dem Volumen nach der zusammengeschobenen Masse gleichen Prismas würde genau dem Dreieck MHM' entsprechen. Während wir also durch einen derartigen Zusammenschub die oberflächlichen Schichtensysteme zu einer ungeheueren Höhe aufgebauscht finden sollten, zeigen sich dieselben in Wirklichkeit nur zu einer dieser berechneten Höhe gegenüber verschwindenden Erhebung emporgedrängt. Ich glaube, ein Blick auf diese Figur, so wie auf jede, welche nur im richtigen Verhältnisse zu dem genaueren Durchschnitte der Oberfläche auch die Erdrinde in ihrer ganzen Dicke mit hinzunimmt, wird genügen, um sofort zu zeigen, wie wenig die wahren Verhältnisse der Oberfläche denjenigen entsprechen, welche wir nach jener Theorie finden möchten, welche die Erdrinde ihrer ganzen Dicke nach auch nur in dem von uns angenommenen Verhältnisse zur Erklärung der Faltung zusammengepresst annimmt.

Man könnte nun, soviel mir scheint, in zweifacher Weise dieser Schwierigkeit zu entgehen suchen. Einmal, indem man annähme, die ganze über dem jetzigen Gebirge fehlende Masse sei bereits durch die Atmosphären fort-

geschafft. Bei kurzer Ueberlegung möchte wohl aber Niemand diesen Weg zu betreten Lust haben. Alle Geologen stimmen darin überein, dass gerade die letzte stärkste Faltung nach Ablagerung des Eocens eingetreten sei. Nun ist es ja ganz klar, dass die Schichten dieser Abtheilung und die unmittelbar unter ihnen liegenden der Kreide und des Jura auch nach dem Zusammenschub noch an der Oberfläche sich finden mussten. Eine Abtragung dieser ungeheueren Erhebung *MHM'* bis zu dem kleinen Rest, den das jetzige Gebirge ihr gegenüber bildet, hätte doch vor Allem diese jüngsten Gebilde spurlos wegnehmen müssen, das ist aber nicht der Fall. So gross wir auch den Betrag der Denudation annehmen mögen, für so bedeutend wird sie doch Niemand halten, dass sie seit dem Eocen eine das jetzige ganze Alpengebirge um etwa das 20fache an Volumen übertreffende Masse weggenommen und dabei noch bedeutende Reste von allen jüngeren Formationen zurückgelassen hätte.

Ein weiterer Ausweg wäre der, anzunehmen, dass die Zusammenziehung der Erdrinde die Massen nur zum kleinsten Theile nach oben, sondern vielmehr nach unten hin zum Ausweichen gebracht habe. Sehen wir zu, ob dies unter den Voraussetzungen, welche die Faltungstheorie macht und machen muss, möglich ist. Wir können auch hierbei wieder von zwei verschiedenen Annahmen ausgehen, indem wir entweder die machen: die nach unten ausweichenden Massen finden einen Hohlraum unter sich, in dem sie sich ausbreiten können, oder: sie finden keinen vor und müssen sich erst durch Verdrängung eines Theiles des flüssigen Erdinhaltes Raum schaffen.

Wir werden bei näherer Erwägung beide Annahmen als gleich unzulässig erkennen. Die Faltungstheorie setzt ja voraus, dass alle Theile der Erdrinde sich gegenseitig drücken und zwar mit einer solchen Intensität, dass sofort eine Biegung oder Zermalmung eintreten muss, wenn irgend

ein Theil seiner Unterstützung durch den Erdinhalt in Folge der Kontraktion desselben beraubt würde. Wir können daher nicht annehmen, dass irgendwo ein Hohlraum sich bilden könne, sobald einmal an irgend einer Stelle ein Stück der Erdrinde zersprengt war, denn dadurch war und ist ja die Möglichkeit und die Nothwendigkeit gegeben, dass die Rinde sich stets dem Kerne anschliesse, weil auch nicht einen Augenblick der Druck, den die Erdrinde factisch ausübt, von einem ununterstützten Stücke ertragen werden könnte. Das Vorhandensein von Hohlräumen unter der Rinde müssen wir daher als eine unstatthafte Annahme bezeichnen. — Wenn daher die zermalnten Massen nach unten ausweichen sollen, müssen sie sich erst durch Verdrängung des flüssigen Erdinhaltes Platz schaffen. Dies wäre nur dann möglich, wenn der Widerstand, den dieser leistet, geringer wäre, als der Widerstand, der sich dem Ausweichen der Massen nach oben entgegensetzt. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Jene nach unten ausweichenden Massen müssten den Widerstand des flüssigen Erdinhaltes beseitigen, welcher unter dem Drucke der ganzen Erdschale steht, d. h. unter demselben Drucke, dem das fragliche Rindenstück sich als nicht gewachsen gezeigt hat, der es zum Ausweichen gebracht hat. Da nun ein Theil dieser Masse ja ohnedies nachweislich nach oben gedrängt wird, so müsse man dem — wenn auch grösseren Theile — zuschreiben, was schon das Ganze nicht leisten konnte, d. h. eine Ueberwindung desselben Widerstandes, dem es nicht widerstehen konnte und der es zum Ausweichen veranlasste. Und wie wunderbar, dass in allen bis jetzt bekannten Fällen trotz der verschiedensten Verhältnisse des Zusammenschubes immer die zu erwartende Auftreibung sich nur auf die obersten Schichten beschränkt haben soll; mit anderen Worten die Massen immer fast ausschliesslich nach unten ausgewichen sein sollen. Denn das kann man ja an allen Durchschnitten durch unsere Gebirge sehr deutlich ~~er-~~

kennen, dass sie nicht dem Bilde gleichen, das wir sehen müssten, wenn sich nur ein Theil der tieferen Massen nach der einzig freien Seite, nach oben hin gedrängt worden wären. Denn auch die keilförmige Form, welche die Stücke der Erdrinde haben müssen, wenn sie sich gegenseitig stützen und pressen sollen, gestattet ja nur ein Ausweichen nach oben, nicht nach unten.

Und hier möchten wir nochmals daran erinnern, dass eben dieses Fundament dieser ganzen Theorie nichts weniger als sicher ist, ja mit einer Reihe von Erscheinungen nicht zu vereinbaren ist. Zunächst, wie dies schon oben angedeutet wurde, sind es die Senkungen einzelner Theile der Erdrinde. Ein einfaches vertikales Hinabsinken eines Stückes ist ja nur dann möglich, wenn dasselbe nicht keilförmig von oben nach unten schmaler wird, sondern eine Form hat, die ein Hinabsinken gestattet, etwa wie das Stück $ef - gh$ Taf. II Fig. 8. Damit ist aber die ganze Gewölbetheorie sofort hinfällig. Die nächste Folge eines solchen Sinkens muss die sein, dass die Spannung, welche die Gewölbetheorie annimmt und annehmen muss, in doppelter Weise beseitigt wird, einmal indem, wenn ein solches Stück sinkt, die benachbarten sofort mehr Raum bekommen, dann aber auch dadurch, dass wenn dieses Stück durch seine Schwere in den flüssigen Erdinhalt etwas einsinkt, das Niveau desselben steigen muss, der Radius desselben also ein grösserer wird. Ist das Gewicht des sinkenden Stückes ein sehr grosses, bei gleicher Basis grösser als das irgend eines anderen Rindenstückes, so wird dieses den hydrostatischen Gesetzen gemäss aufsteigen. Durch die Senkungen und Hebungen werden so am einfachsten die Ungleichheiten wieder ausgeglichen, welche durch die Abkühlung im Verhältnisse zwischen dem Radius des flüssigen Erdkernes und dem der Rinde erzeugt werden. Wir können auf diese Weise die rein vertikalen als Senkungen und Hebungen auf-

tretenden Bewegungen sehr leicht erklären. Allerdings müssen wir dann auf die lateralen Bewegungen verzichten, und wo sie sich zeigen, uns nach einer anderen Erklärung umsehen, als die, welche aus der Schrumpfungstheorie auch diese seitlichen Bewegungen ableiten will.

Faltungen und Senkungen bilden so für die Theorie eine Scylla und Charybdis. Es wird eines geschickten Steuermannes bedürfen, beide gleich gut zu vermeiden.

Fig. 1.

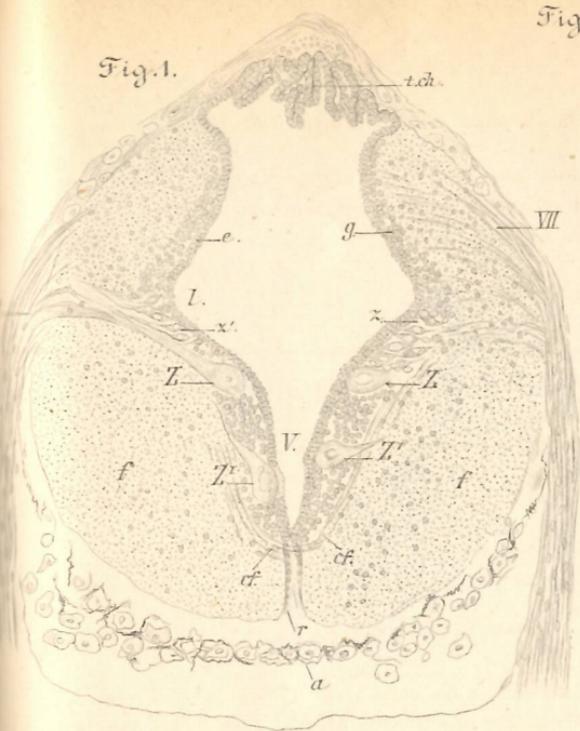


Fig. 2.

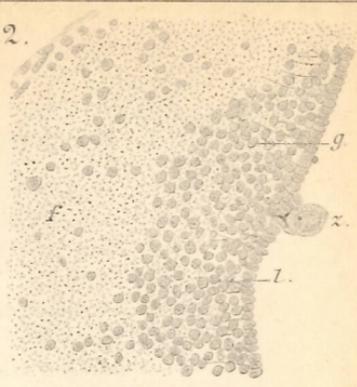


Fig. 3.

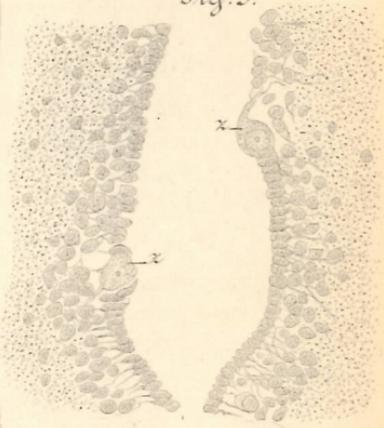


Fig. 4.

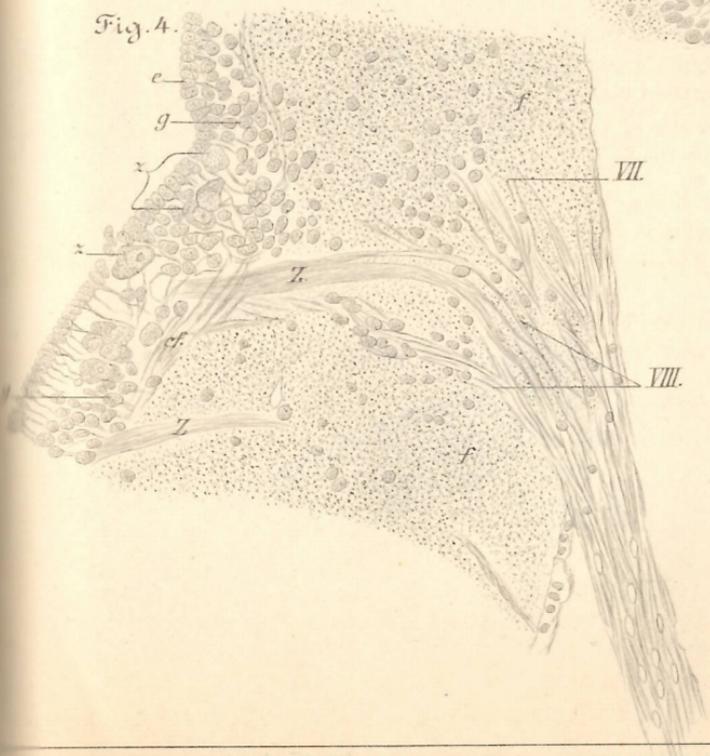


Fig. 5.

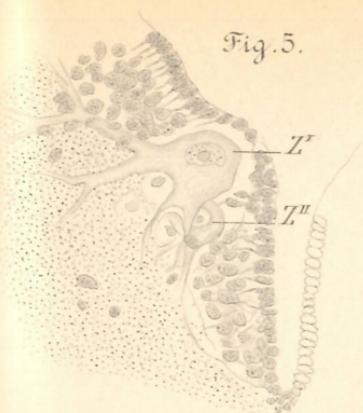


Fig. 6.

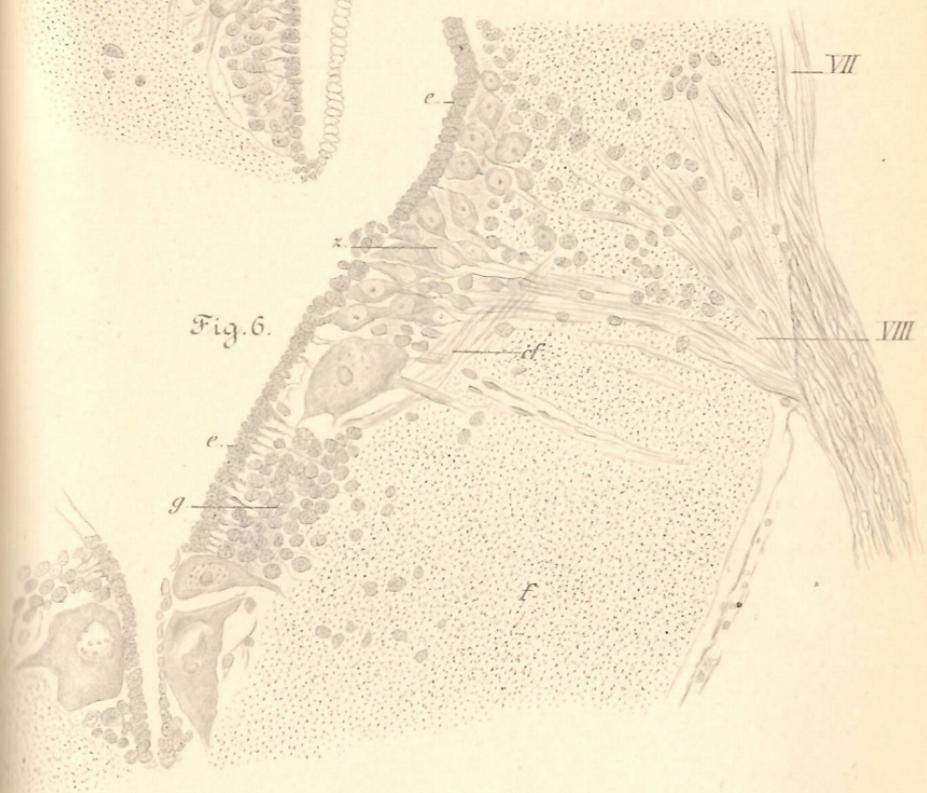


Fig. 7.

