

ÜBER
GEBIRGSBILDUNG.

VORTRAG

GEHALTEN IN DER

FEIERLICHEN SITZUNG DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

AM 21. MAI 1904

VON

VIKTOR UHLIG,

WIRKLICHEM MITGLIEDE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.



WIEN, 1904.

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN KOMMISSION BEI KARL GEROLD'S SOHN,
BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Indem ich heute das Wagnis unternehme, über Gebirgsbildung zu sprechen, berühre ich einen Abschnitt der Geologie, in welchem die größten und schwierigsten Probleme dieser Wissenschaft wie in einem Brennpunkte zusammenlaufen.

Eine Welt von wunderbaren geologischen Tatsachen erschließt das Gebirge, aber diese Tatsachen verflechten sich zu einem so dichten und oft so verworrenen Netze, daß es des Einsatzes aller geistigen und oft auch physischen Kräfte bedarf, um nur einige Fäden herauszulesen und ihre Verknüpfung bloßzulegen.

Der Forscher, der die Entstehung der Gebirge zu ergründen vorhat, darf jener hohen Befriedigung sicher sein, welche die Beschäftigung mit den großen Fragen der Naturwissenschaft niemals versagt, aber er darf sich nicht der Hoffnung auf leicht zu erzielende Erfolge hingeben. Wenn Sie mir heute auf dieses so schwer zugängliche Gebiet der Wissenschaft folgen wollen, muß ich auch Sie bitten, einige Mühe auf diesem Wege nicht zu scheuen.

Wie Gesteine entstehen, können wir unausgesetzt an tausend Punkten der Erdoberfläche verfolgen. Wir können ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften, ihre mikroskopische Zusammensetzung, alle näheren Umstände ihrer Bildung und Veränderung eingehenden Studien unterwerfen. Wie sie nachher, aus ihrem Bildungsraume im Meere, im Süßwasser oder aus dem Erdinnern an die Oberfläche

gelangt, vom fließenden Wasser und der Meereswelle, von Wind und Regen abgenagt und modelliert, von chemischen Agenzien angegriffen werden, lehrt uns tägliche Beobachtung.

Wenn wir aber fragen, durch welche Kräfte und unter welchen Bedingungen die Felsarten an die Oberfläche kamen und zu Gebirgen erhoben und in Falten gelegt wurden, so ist die Antwort hierauf weit schwieriger zu geben. Wir haben es da offenbar mit Äußerungen von hypogenen Kräften zu tun, die Sitz und Ursache im Innern unseres Planeten haben und von denen nur die äußersten Ausstrahlungen als seismische und vulkanische Erscheinungen, als Brüche und Faltungen der Erdkruste zu unsrer Kenntnis kommen. Während aber Erdbeben und Vulkane ihre Tätigkeit oftmals wiederholen und daher den Gegenstand systematischer geologischer Beobachtung abgeben, sind Fallungsgebirge noch niemals vor unsern Augen erstanden und daher ist der Erforschung dieser großartigsten und verwickeltsten Gebilde der Erdoberfläche jede Anknüpfung an aktuelle Vorgänge versagt.

Wohl liefern Astro- und Geophysik wertvolle Winke, wenn es sich um den Planeten als Ganzes handelt, wohl haben experimentelle Untersuchungen über die Plastizität der Gesteine, über die Wirkung hohen Druckes und des überhitzten Wassers unsre Einsicht außerordentlich gefördert, aber die Hauptarbeit bleibt doch der geologischen Forschung im Gebirge überlassen. Gerade hier muß die Geologie fast alles aus dem Studium der in langen Erdperioden erstandenen und fertigen Objekte schöpfen und sowohl die Entstehungsgeschichte, wie die Entstehungsgesetze aus den geologischen Tatsachen rekonstruieren.

Die vielfachen und verwickelten Beziehungen des Problems der Gebirgsbildung und der Mangel von Anknüpfungs-

punkten an Gegenwartsvorgänge erklären die große Rolle, welche in der Entwicklung dieses Problemes seit jeher die Hypothese spielt. Mehr als irgend eine andre Wissenschaft bedarf die Lehre der Gebirgsbildung der Hypothese, um Ruhepunkte zu gewinnen, das Erzielte zu beherrschen und die weitere Arbeit erfolgreich gestalten zu können.

Es ist nur natürlich, daß die Hypothesen der Gebirgsbildung in der primitiven Periode der Geologie, als die Zahl der bekannten Tatsachen noch vergleichsweise gering war, sehr einfach sein konnten. Auch ihr etwas phantastischer Charakter kann zu einer Zeit, als die Forscher noch unter dem vollen Eindrucke der wunderbaren Tatsachen standen, die sie zu enthüllen im Begriffe waren, nicht weiter befremden.

Obwohl es nun weder eine müßige, noch eine reizlose Aufgabe wäre, den Gedankengängen dieses heroischen Zeitalters der Geologie zu folgen, wollen wir dies doch unterlassen, da es unsere Absicht ist, vorwiegend einige neuere Vorstellungen über Gebirgsbildung in Betracht zu ziehen. Nur die am Ausgange der heroischen Periode als deren höchste Leistung herrschende vulkanische Theorie wollen wir hier nicht ganz verschweigen, da sie den modernen Anschauungen unmittelbar vorangeht.

Durch das Hervortreten einer halbstarren oder feurigflüssigen Gesteinsmasse sollten die festen Gesteinsschichten der Erde gehoben, nach rechts und links auseinandergetrieben und gefaltet und so die Kettengebirge aufgerichtet worden sein. Während diese Anschauung noch in voller Blüte stand, wurden immer mehr und mehr geologische Tatsachen bekannt, die mit ihr in eklatantem Widerspruche standen und bewiesen, daß sie auf unrichtiger Verallgemeinerung, Übertreibung und unvollständiger Beobachtung auf-

gebaut war. Dem Streben nach Vereinfachung glücklich entgegenkommend war aber diese Theorie in Europa so festgewurzelt, daß es nicht geringer Anstrengungen des Reformators der tektonischen Geologie, Eduard Suess und des Schweizers Albert Heim bedurfte, um sie zu beseitigen und an ihre Stelle naturgemäße Vorstellungen zu setzen, die allmählich auf Grund einer tieferen Kenntnis der Gebirge herangereift waren.

Man erkannte namentlich auf amerikanischem Boden die Faltung und Druckschieferung der Gesteinsschichten als bezeichnende Merkmale der Kettengebirge und darin wiederum Prozesse, die auf eine Reduktion der Erdkruste auf einen kleineren Raum hinwirken. Mußten doch die gefalteten, zusammengeschobenen und gepreßten Schichten ursprünglich auf einer viel größeren Fläche abgelagert worden sein, als diejenige ist, die sie heute im gefalteten Zustande einnehmen. Von dieser Erkenntnis zu der Annahme, daß diese Reduktion der Anpassung der Erdkruste an den durch Ausstrahlung der inneren Wärme allmählich einschrumpfenden heißen Kern der Erde entspreche, war nur noch ein kurzer Schritt.

Die Schrumpfung des heißen Kernes muß notwendigerweise das Bestreben der festen Kruste, dem Kerne zu folgen, nach sich ziehen und dadurch muß in der Kruste ein allseitiger tangentieller Druck, der Spannung in einem geschlossenen Gewölbe vergleichbar, entstehen, der schließlich groß genug werden wird, um die Festigkeit der Gesteine zu überwinden, sie an den schwächsten Stellen in Falten zu legen, aufzupressen und jene Zerreißen und Überschiebungen der oberen Krustenpartien zu bewirken, die wir in unseren Kettengebirgen mit so viel Mühe zu entziffern suchen.

Könnte aber der tangentielle Druck, in dem wir die nächste Ursache der Faltung und der Aufrichtung der Kettengebirge erblicken, nicht dennoch andern Quellen entstammen, als die Schrumpfungslehre annimmt? Vorzügliche Forscher haben sich diese Frage vorgelegt und sie in der Tat bejahend beantwortet. Dutton erblickt die Ursache des Seitendruckes in dem Andrängen mächtiger Küstensedimente gegen das erodierte, entlastete und daher aufsteigende Festland, Mellard-Reade in der Durchwärmung neu abgelagerter mächtiger Sedimente seitens der inneren Erdwärme und der dadurch bedingten Volumsvermehrung, E. Reyer endlich in dem Abgleiten der Sedimente.

Alle diese Hypothesen sind zum Teile auf richtige Beobachtungen und zutreffende Annahmen begründet und verdienen daher Beachtung. Einzelne der von ihnen vorausgesetzten Vorgänge müssen sich in der Natur unter bestimmten Umständen abspielen und können daher für die nähere Gestaltung der Gebirge eine gewisse sekundäre Bedeutung gewinnen. Allein diese Hypothesen machen neben richtigen auch sehr bedeutende unrichtige Voraussetzungen und sind daher ihrem Wesen nach unhaltbar. Wiederholt sind in den letzten Jahren die Hypothesen der Gebirgsbildung einer vergleichenden Betrachtung unterzogen worden; jede derartige Überprüfung aber erwies aufs neue die große Überlegenheit der Schrumpfungs- oder Kontraktionslehre¹⁾. Diese Lehre genügt den bisher bekannten Beobachtungstatsachen, sie ist auf einem uns als Denknöwendigkeit erscheinenden Prozesse, der allmählichen Abkühlung der Erde begründet und setzt uns ferner in den Stand, die orogenetischen mit den vulkanischen und seismischen Vorgängen in gewisse Beziehungen zu bringen; sie ist mit einem Worte die beste Arbeitshypothese der Gebirgsbildung, über die wir verfügen.

Bis zu dieser Erkenntnis vermögen wir festen Schrittes vorzugehen; sowie wir aber den Versuch machen, im Rahmen der Kontraktionslehre eine speziellere Theorie auszuarbeiten und die Vorgänge der Kontraktion näher zu analysieren, so beginnen auch schon die Schwierigkeiten und Schwankungen. In sehr konsistenter und wohlausgeprägter Form tritt uns zwar die sogenannte amerikanische Theorie entgegen²⁾. Sie legt hohen Wert auf die angeblich gewaltige Mächtigkeit der gefalteten Ablagerungen, ihre ufernahe Entstehung und klastische Beschaffenheit. Diese Verallgemeinerungen gelten wohl für die amerikanischen, aber gar nicht oder nur teilweise für die mediterranen Kettengebirge. Auch die Vorstellungen über die Entstehung der kristallinen und granitischen Zentralzonen der Kettengebirge und deren häufig asymmetrische Form können nicht allgemeine Geltung beanspruchen und so zeigt diese Theorie schwere Mängel, welche ihren Wert erheblich reduzieren.

In Europa sind wesentlich andere Vorstellungen zur Herrschaft gelangt. Die häufige Asymmetrie und die Bogenform der Gebirgsketten und die an einzelnen Gebirgen erkannten Überschiebungen des Außenrandes veranlaßten hier die Annahme, daß die Kontraktion der Erdkruste zu der Entstehung eines einseitigen Lateralschubes führe, der die obere Partie der Erdkruste nach bestimmten Richtungen — in Europa vorwiegend nach Norden — über das ältere sogenannte Vorland hinweg bewege. Unter diesem Gesichtspunkte ließen sich so viele, früher unverbundene Tatsachen zusammenfassen, soviel Ordnung und Zusammenhang in früher wirres Material bringen, daß die Wissenschaft hiedurch eine außerordentliche Förderung erfuhr und die tektonischen Studien in ungeahnter Weise belebt wurden. Aber manche unter diesem Gesichtspunkte ausgeführten Forschungen för-

dernten Tatsachen zu Tage, die mit dieser Theorie nicht völlig in Einklang zu bringen sind. Auch ist bis jetzt noch nicht zu zeigen versucht worden, in welcher Weise aus dem von der Kontraktionslehre zu Gebote gestellten allseitigen tangentiellen Drucke ein einseitiger, aktiver Schub hervorgehe. Daher gewährt auch die Theorie des einseitigen Lateralschubes keine volle Befriedigung.³⁾

Einige Einsicht in den Vorgang der Kontraktion ist durch Mellard Reade geschaffen worden, der da gezeigt hat, daß eine radiale und eine peripherische Kontraktion der Krustenteilchen unterschieden werden müsse. Nur jene bewirkt Seitendruck, diese den entgegengesetzten Effekt der Streckung. In einer gewissen Tiefe werden sich beide Kräfte ausgleichen, erst unter diesem Niveau beginnt die Region der Spannung. In welchem Niveau aber dies zutrifft, ist bei der Unsicherheit aller mathematischen und physikalischen Voraussetzungen gänzlich ungewiß und ebenso ungewiß ist auch die Frage, ob und in welchem Ausmaße die Kontraktion der Erde durch die fortwährende Ausstoßung von juvenilen Stoffen aus dem Erdkörper gefördert wird.

Da nun weder die Vergleichung des geologischen Baues und der Zusammensetzung der Faltengebirge, noch auch die physikalische Analyse bisher zu erschöpfenden Ergebnissen geführt haben, mag der Versuch vielleicht gerechtfertigt erscheinen, unserem schwierigen Probleme durch Verfolgung der geologischen Geschichte der Gebirge und ihres Baues in verschiedenen Erdperioden irgend welche Gesichtspunkte abzugewinnen.

Wir beginnen unsere Betrachtung mit dem ältesten Felsgebilde unsrer Erde, dem kristallinen Ur- und Grundgebirge. Wiederholt und besonders nachdrücklich von E. Suess, ist auf den merkwürdigen Umstand hingewiesen

worden, daß das Urgebirge nicht nur über die ganze Erde gleichartig verbreitet ist, sondern auch überall Faltung oder eine dieser gleichwertige Stauchung aufweist. Die Faltung war daher in jener frühesten Urzeit der Erde ein universeller Prozeß, der in allen Teilen der Erdkruste Spuren hinterließ.

Aber die Ubiquität ist nicht das einzige bezeichnende Merkmal der archaischen Faltungen, sondern auch eine eigentümliche Beschaffenheit, die in späteren Perioden der Erdgeschichte nicht mehr wiederkehrt. Das Urgebirge zeigt nämlich häufig zusammengepreßte Falten oder Schuppen mit mannigfach gewundener, wellig gekrümmter, oft fast kreisförmiger oder selbst winkelig gebrochener Streichungsrichtung. Die Spezialforscher bemühen sich neuestens, diese eigentümliche Struktur des Urgebirges auch kartographisch zur Darstellung zu bringen und beweisen damit, daß sie die Wichtigkeit dieser Struktur wohl erkannt haben⁴⁾. Wirkt allseitig tangentieller Druck auf eine ziemlich gleichmäßig zusammengesetzte und daher ziemlich gleichartige Widerstände bietende Gesteinskruste ein, wie das dem Urgebirge entspricht, so wird wohl eine ähnliche Struktur zu stande kommen müssen. Wir werden daher mit einiger Berechtigung behaupten können, daß die Tektonik des Urgebirges mit der Annahme eines allseitig tangentiellen Druckes recht wohl in Einklang zu bringen ist.

Schon die nächste große Periode wiederholter Faltungen im paläozoischen Zeitalter offenbart eine bedeutungsvolle Differenzierung der Erdkruste. In vielen Gebieten wurden die paläozoischen Ablagerungen energisch gefaltet und überschoben, in anderen bewahrten sie ihre ursprüngliche horizontale Lagerung wie z. B. in der großen Russischen Tafel und in Fenoskandia oder im kanadischen Schild. Offenbar

waren, wie man wohl ziemlich allgemein annimmt, die archaischen Sockel dieser riesigen Gebiete schon in paläozoischer Zeit starr genug, um dem Seitendrucke erfolgreich Widerstand zu leisten und ihn spurlos über sich ergehen zu lassen, während die tiefer versenkten benachbarten Partien dem Drucke nachgeben und sich in Falten legen mußten.

Diese Falten des paläozoischen Gebirges zeigen nun nicht mehr die gekrümmten Windungen der archaischen Felsarten, sondern haben einen bald geradlinigen, bald leicht bogenförmigen Verlauf. Zugleich scheint ihr Streichen eine deutliche Abhängigkeit von den großen, starren archaischen Schollen zu verraten. So sehen wir den endlosen meridionalen Faltenzug des Ural und dessen Fortsetzung im Timan, auf Kanin und Ribatschi⁵⁾ (Fischer-Halbinsel) die Umgürtung von Fenoskandia und der Russischen Tafel im Osten, Nordosten und Norden vollziehen, die im Westen von der großen skandinavischen Überschiebung und den Faltungen am Westrande Skandinaviens übernommen wird. In entsprechender Weise ist das große nordamerikanische Flachgebiet mit dem kanadischen Schilde im Osten, Süden und Westen von Faltungszonen umgeben. Ebenso bilden auch die kleineren archaischen Massen die Ansatzpartien von paläozoischen Falten und so ist auch die Bojische Masse im Nordwesten, Norden, Nordosten und Osten, ja selbst im Südosten, also fast ringförmig von paläozoischen Falten umrahmt.⁶⁾

Auf den britischen Inseln streichen die paläozoischen Falten nach Südsüdwesten bis Südwesten, um am Bristolkanal unter scharfer Knickung in ost-südöstliche Richtung einzulenken.⁷⁾ Die Falten der Bretagne folgen teils dem archaischen Rücken des Léon in nordöstlicher, teils dem von Cornouaille in südöstlicher Richtung, die des kantabrischen Gebirges erscheinen als ein eng zusammengedrückter, nach

Westen konvexer und in zwei ostwestliche Schenkel auslaufender Halbkreis.

Der Rand dieser Faltungsketten zeigt in der Regel, soweit wir urteilen können, keine Überwältigung des älteren sogenannten „Vorlandes“ durch einseitig vordringende Falten an.⁸⁾ Allmählich erheben sich aus horizontalen Permschichten die Falten der Westseite des Ural, an der Ostseite sind sie durch die Auflagerung von horizontalen jüngeren Schichten der Beobachtung entzogen. Aber auch die Falten im Umkreise der Bojischen Masse, die Falten der Bretagne und der kantabrisch-iberischen Gebirge sind frei von derartigen Anzeichen. In der gewaltigen, nach Ost-süd-osten gerichteten skandinavischen Überschiebung könnte eine einseitige Verschiebung der Erdkruste erblickt werden, hätte nicht Törnebohm⁹⁾, der Monograph dieses Gebietes, erwiesen, daß der großen Überschiebung am äußersten Westrande Skandiavians eine kleinere Überschiebung parallel laufe, die in Übereinstimmung mit der schottischen Überschiebung eine Bewegung der oberen Scholle nach entgegengesetzter Richtung, das ist nach Westnordwesten anzeige. Es ist also hier nicht eine einseitige Verschiebung eingetreten, sondern zwei entgegengesetzt gerichtete, die auf den Bestand einander entgegenwirkender Druckkräfte schließen lassen.

Überblicken wir nun diese wenigen, hier nur in knappen Strichen wiedergegebenen Tatsachen, so drängt sich zunächst die Erkenntnis auf, daß die paläozoischen Faltenzüge Europas keine gleichartige Orientierung, keine gemeinsame Streichungsrichtung, auch keine gleichmäßige Überkipfung ihres Randes aufweisen, die uns zwänge, die Erdkruste zur paläozoischen Zeit unter die Herrschaft eines einseitigen, über weite Strecken hin gleichsinnigen Schubes zu setzen. Viel-

leicht genügt auch hier die Annahme eines allseitig tangentiellen Druckes, der an den Orten geringster Festigkeit Aufwölbungen bewirkte und zugleich auch durch die Lage und die Umrisse der widerstandsfähigeren Massen beeinflusst und dadurch in seiner Wirkung an bestimmte Zonen gebunden war.

Der allseitig tangentielle Druck konnte sich nicht mehr, wie in archaischer Zeit, nach allen Richtungen in ungefähr gleich starkem Maße geltend machen, sondern es mußten gewisse Komponenten durch die starren Krustenteile aufgehoben oder geschwächt werden; er konnte dadurch vielfach das Wesen eines doppelseitigen Druckes annehmen und je nach den örtlichen Verhältnissen eine seitliche Orientierung erfahren. An den starren Massen kam die Faltung zum Stillstand, jene Massen beeinflussten nicht nur den Verlauf der Ketten, sondern verursachten zum Teil auch deren Asymmetrie.

Ein dritter großer Schwarm von mehrfach unterbrochenen Faltungen durchzuckte unsere Erdkruste in der Zeitperiode vom Schlusse der Unterkreide bis in das jüngste Tertiär. Zwar wurde nur ein kleiner Teil der Erdkruste, und zwar die Umgebung des jetzigen und des ehemaligen Mittelmeeres und das Randgebiet des Pazifischen Ozeans hievon intensiv betroffen, dieser aber erfuhr vielleicht gerade deshalb Deformationen des Schichtenbaues, deren Kühnheit und Komplikation alle früheren in Schatten stellt.

Der Schauplatz der geologisch jüngsten Faltungen war begrenzt und eingeengt durch die älteren paläozoischen und archaischen Gebirge, das sogenannte Vorland. Dieses zeigt gegen die neueren orogenetischen Pressungen ein verschiedenes Verhalten. Die großen paläozoischen Tafeln, wie die russische, bewähren aufs neue ihren stabilen Charakter und verharren in horizontaler Lagerung.¹⁰⁾ Im Gebiete der paläo-

zoischen Ketten erheben sich nur in vereinzelt schmalen Zonen leichte Falten mesozoischer Gesteine (die sogenannten posthumer Falten E. Suess). Die Einwirkung der tertiären Spannungen auf das vormesozoische Gebirge des Vorlandes war danach bemessen, nicht groß. Wir haben aber Anlaß, hier auch eine weitere Erscheinung auf Kosten der jungen Spannungsausgleiche zu setzen, und zwar die Zerlegung der Kruste einesteils in Regionen, in denen das ältere Gebirge samt der flachen mesozoischen Decke sich senkte und solche, in denen es sich hob und die sogenannten Rumpf- oder Horstgebirge hervortreten ließ.

Nach der herrschenden Anschauung wird allerdings das Auftauchen der Rumpfgebirge nur dem Absinken der mesozoischen Tafeln zugeschrieben. Dieses Absinken konnte aber kaum erfolgen, so lange diese Schollen durch die allgemeine tangentielle Spannung wie in einem Gewölbe festgehalten waren. Viel leichter konnte ein solcher Vorgang eintreten, wenn vorher die paläozoischen Horste durch allseitigen tangentiellen Druck emporgedrückt wurden. Dann waren die mesozoischen Tafeln aus dem Spannungszustand befreit und die weichende Unterlage gegeben, über der die Tafeln sich senken konnten.¹¹⁾ Daß aber gerade die jetzigen Rumpfgebirge gleich Falten von riesiger Amplitude unter Schonung ihrer alten Struktur zu leichtem Emporragen gebracht wurden¹²⁾, hat wohl seinen zureichenden Grund in der geringeren Belastung und höheren ursprünglichen Lage dieser Regionen, die in mesozoischer Zeit teils trocken lagen, teils in viel geringerer Mächtigkeit von Sedimenten überdeckt waren, als ihre Umgebung.¹³⁾ Wie wir uns das Verhältnis der Tafeln zu den Rumpfgebirgen vorstellen mögen, ändert indessen nichts an der Tatsache, daß das starre Vorland von den jungen Bewegungen vorwiegend als Ganzes erfaßt und

nur in vereinzelt schmalen Bändern in leichte Falten gelegt wurde.

Eine ähnliche Differenzierung zeigt aber auch die Region der geologisch jungen Kettengebirge. Intensiv gefaltet sind hier vorwiegend nur gewisse, zwischen archaisch-paläozoischen Massen gelegene schmale Zonen. Sie entsprechen sogenannten Geosynklinalen, tiefen ehemaligen Mulden, in denen die mesozoischen Gesteine zumeist aus tieferem Meere in ziemlich kontinuierlicher Folge niedergeschlagen wurden, während die alten Massen teils trocken lagen, teils nur in den Perioden der größten Meeresausdehnung Sedimente in unterbrochener Folge empfangen.

Es ist kein Grund vorhanden, warum die archaischen und paläozoischen Massen im Bereiche der Kettengebirge den jungen Faltungen nach Maßgabe ihrer Größe und Festigkeit nicht denselben Widerstand geleistet haben sollten, wie die gleichartigen Massen des Vorlandes. Die geologischen Beobachtungen bestätigen diese Voraussetzung in untrüglicher Weise, denn die flache Lagerung der transgredierenden Decken der alten Massen der Kettengebirge, sowie die oft vollständig erhaltene und dem Sinne der jüngeren Faltungen entgegengesetzte Struktur lassen keine andere Deutung zu, als die Aufhebung des Seitendruckes durch die Starrheit dieser zur Faltung bereits unfähigen Massen.

Seitdem E. Suess¹⁴⁾ auf die unmittelbare Auflagerung jüngerer Sedimente auf den ältesten Felsarten der Ostalpen und Apenninen aufmerksam gemacht, E. v. Mojsisovics auf das Wesen des sogenannten Orientalischen Festlandes hingewiesen hat, sind ähnliche Erscheinungen in so vielen Gebieten, in der betischen Kordillere, der Kabyliischen Masse, in den Westalpen, den Karpaten und in Sardinien¹⁵⁾ erkannt worden, daß wir ihnen eine allgemeine Bedeutung zuschreiben

müssen. Eine einseitige Verschiebung der archäo- und paläozoischen Sockel und Träger unserer jugendlichen Kettengebirge konnte also in beträchtlichem Ausmaße unmöglich stattgefunden haben.

Vielleicht aber waren die so kühn gefalteten mesozoischen und tertiären Gesteine der Geosynklinalen in der Lage, einseitigem Schube nachzugeben. Eine hierauf abzielende Prüfung stößt in weniger intensiv gefalteten Gebirgen, wie z. B. in den Karpaten auf die Tatsache, daß sich die nach-eozänen Faltungen auf den breiten Gürtel der Sandsteinzone im Umkreise des mesozoischen Gebirges beschränkten, sich wohl noch am Rande des mesozoischen Gebirges in der sogenannten Klippenzone äußerten, aber in die südlicheren Partien der Karpaten so wenig einzudringen vermochten, daß die daselbst in Tiefenregionen abgelagerten Eozän- und Oligozänbildungen nahezu horizontale oder schwebende Lagerung bewahren konnten. In ähnlicher Weise beschränkte sich die miozäne Faltung auf die miozänen Ablagerungen am Nordrande der Sandsteinzone, ohne diese selbst in ihrer Struktur wesentlich zu alterieren. Somit erweist sich das mesozoische Faltungsgebirge widerstandsfähig gegen die alttertiäre, das alttertiäre Gebirge widerstandsfähig gegen die jungtertiäre Faltung.¹⁶⁾ Ähnlich wie in den Karpaten sind auch durch Cvijič auf der Balkanhalbinsel, durch v. Bukowski¹⁷⁾ in Kleinasien eozäne Regionen mit horizontaler Lagerung zwischen den gefalteten Ketten nachgewiesen worden und dieselbe Erscheinung liegt augenscheinlich auch im Atlasgebiete und in den Faltungsregionen Spaniens vor. Wir können also in diesen Gebirgen auch die Faltung der mesozoischen und tertiären Gesteine nicht ausschließlich auf mächtigen einseitigen Schub zurückführen, denn eine solche Annahme wäre mit der Existenz jener Gebiete flacher

Lagerung und mit der Widerstandsfähigkeit der mesozoischen Ketten gegen die jüngeren Faltungen wohl unvereinbar.

In andern Gebirgen allerdings — und wir nennen hier als hervorragendstes Beispiel die Westalpen — hat die voreozäne Faltung die mesozoischen Gesteine nicht gehindert, die gewaltigsten Deformationen zusammen mit dem Eozän in naheozäner Zeit mitzumachen. Nach der Auffassung einzelner französischer Forscher erfolgte sogar ein Übersteigen der archäo- und paläozoischen Gebirgssockel seitens der mesozoischen und eozänen Falten. Aber selbst wenn wir uns auf diesen übrigens bestrittenen Standpunkt stellen, erkennen wir, daß diese mesozoischen Gesteine nicht über den Rand der Flyschzone und über, an Ort und Stelle verbliebene mesozoische Schollen nach Norden und Westen hinausgetragen wurden, sondern in dem, natürlich durch Kontraktion verkürzten Bildungsraume verblieben, in dem sie ursprünglich abgelagert wurden. Also auch hier hat eine einseitige Verschiebung weit über den ursprünglichen Bildungsraum hinaus nicht stattgefunden.

Betrachten wir nun noch den Außenrand der jugendlichen Kettengebirge, in dessen Überkipfung die Stirnwelle des einseitig vorgeschobenen und über das Vorland hinweggewälzten Gebirges erblickt wird. Da müssen wir zunächst feststellen, daß viele Gebirge eines solchen überschlagenen Randes überhaupt entbehren, weil ihre Falten entweder ganz allmählich aus flachem und gleichartigem Vorlande sich erheben oder weil sie von älteren fest umklammert sind, wie der westliche Teil der Pyrenäen. Als typischster Fall der Randüberkipfung eines Kettengebirges gelten die Karpaten, aber gerade hier nimmt an der Überkipfung nur eine schmale Randregion der miozänen Umrahmung Anteil, schon in geringer Entfernung davon liegt das Miozän flach und

ungestört. Die Natur des Karpatensandsteins mit seinen zahlreichen großen dem Vorlande entnommenen Geschieben zeigt deutlich, daß seine jetzige Randzone wesentlich die Uferbildung des ehemaligen Meeres der Sandsteinzone repräsentieren muß und daher eine weitgehende Überwälzung der Sandsteinketten über das ältere Vorland auch hier nicht bestehen kann.¹⁸⁾

Enge halbkreisförmige Krümmungen, wie sie die Westalpen, die betische Kordillere und der Atlas, die Ost- und Südkarpaten aufweisen, schalten sich in den Verlauf unserer Kettengebirge ein, dazwischen liegen teils geradlinige, teils nach Norden, teils nach Süden konvexe, teils verschiedenen Zwischenrichtungen folgende Ketten. Die Verschiedenheiten sind so groß, daß wir sie uns kaum als Ergebnis eines wesentlich gleichsinnigen einseitigen Schubes zu denken vermögen. Die Lehre des einseitigen Schubes erfordert für die Nordalpen und Nordkarpaten nördliche, für die Südalpen und die dinarischen Ketten südliche Schubrichtung. Für die Karpaten käme ein nach Nordwesten, Norden, Nordosten und Osten, für die Südkarpaten ein nach Süden und Westen gerichteter einseitiger Schub in Betracht. Sicherlich besteht eine nicht geringe Schwierigkeit darin, sich alle diese Schubrichtungen etwa aus dem Herzen der ungarischen Ebene hervorgehend vorzustellen und anzunehmen, daß die hier ehemals vorhandenen Felsarten nach allen Richtungen auf eine viel weitere Peripherie hinausgetragen wurden.

Gehen wir schließlich auf das Wesen der Asymmetrie der Kettengebirge ein, so werden wir finden, daß sie vornehmlich von Brüchen und Senkungen bedingt wird, die ähnlich wie die Senkungen der mesozoischen Tafeln der Hauptfaltung nachfolgten und daher zu den eigentlichen Faltungsvorgängen keine Beziehungen haben.

Manche von diesen Schwierigkeiten lassen sich vielleicht vermeiden, wenn wir statt des einseitigen Schubes allseitigen tangentiellen Druck annehmen. Dieser erklärt ebensowohl die leichten Überschiebungen des Außenrandes, wie die so merkwürdige und namentlich mächtigen Gebirgen eigene Fächerstruktur, er ist mit den mannigfachen Krümmungen des Streichens ebensogut vereinbar, wie unter gewissen Voraussetzungen mit dem geradlinigen Verlaufe der Ketten. Er macht ohne Schwierigkeit verständlich, warum die archäo- und paläozoischen Kerne in so vielen Kettengebirgen die jüngeren Zonen hoch überragen oder wenigstens die Höhe wesentlich mitbestimmen.

Diese in karbonischer Zeit gefalteten Kerne waren die Rücken, an die sich die mesozoischen Sedimente anlagerten und die nur in geringem Grade mit solchen belastet waren. Vermöge der höheren Lage und geringeren Belastung mußten sie durch den allseitigen oder doppelseitigen tangentiellen Druck in der Periode der jugendlichen Faltungen neuerdings emporgedrückt werden. In vielen Fällen werden sie die schwache mesozoische Decke gesprengt und zur Seite gedrängt haben, wie man das wohl von der äußeren Kerngebirgsreihe der Karpaten annehmen kann, in andern dürften sie gleich den Rumpfgebirgen als Ganzes gehoben worden sein.¹⁹⁾

Kleinere Massen konnten ihre ältere Struktur einbüßen und neue Lagen annehmen, während größere ihre alte Tektonik bewahrten, wie der innere Gürtel der Zentralkarpaten. Da die Auslösung der tangentiellen Spannung an die Linien des geringsten Widerstandes gebunden ist, so können zwischen diesen gelegene Partien ungefaltet bleiben und so jene merkwürdigen Zwischenregionen flacher Lagerung zwischen Faltungszonen entstehen.

Die Streichungsrichtung der jugendlichen Kettengebirge erscheint nun in dieser Weise betrachtet weniger von der Richtung der Druckkräfte, als vielmehr von der Lage und Begrenzung der alten Massen an den Rändern der Geosynklinalen abhängig, sie ist mit E. Suess²⁰⁾ zu sprechen „unter gewissen Umständen nur der Ausdruck einer erzwungenen Anpassung“.

Die stete Anpassung von neuen Ablagerungen und neuen Falten an ältere Gebirgskerne läßt die Bildung der Gebirge als eine unlösbare Verkettung von Ereignissen aus der frühesten Urzeit bis in die Neuzeit der Erde erkennen. Die historische Verfolgung der Vorgänge lehrt uns, wie die Gestaltung der Erdkruste immer verwickelter wird und die älteren Ereignisse sich in den neueren widerspiegeln. In diesem Sinne möchten wir die Stetigkeit mancher Erscheinungen des Gebirgsbaues nicht auf die Wiederholung einer bestimmten Schubrichtung, sondern auf die Fortdauer des gegebenen tektonischen Grundplanes der Erdkruste und seiner Einwirkung auf alle späteren Spannungsausgleiche zurückführen.

Nur in der Urzeit der Erde konnte der allseitig tangentielle Druck die ziemlich gleichartig zusammengesetzte Erdkruste frei beeinflussen und daher in der Struktur des Gebirges einen adäquaten Ausdruck finden. Schon in der Periode der paläozoischen Faltungen bedingt die Differenzierung der Erdkruste eine Ablenkung und Lokalisierung der allgemeinen Pressung und eine weitere Zunahme des Anpassungszwanges bewirkt die sich steigernde Komplikation der Kruste in der Zeit der jugendlichen Faltungen.

Diese Komplikation konnte wohl Umstände herbeiführen, unter denen der allseitig tangentielle Druck örtlich das Wesen eines aktiven einseitigen Schubes annahm. Nur

die Verallgemeinerung eines derartigen Vorganges nach Zeit, Ort und Richtung begegnet, wie wir sahen, Schwierigkeiten. Wir wollen auf den einseitigen Schub als Faktor der Gebirgsbildung nicht verzichten, können aber in ihm nicht ein allgemeines Gesetz, sondern nur eine Möglichkeit mehr erblicken, um unter Verhältnissen, die es erfordern, lokale Erscheinungen des Gebirgsbaues zu erklären. Verweisen uns schon die heute bekannten Tatsachen auf diesen Standpunkt, so fühlen wir uns dem Tatsachenzuwachs gegenüber mit seinen oft so unerwarteten Enthüllungen um so mehr zu einer Theorie hingedrängt, die abänderungs- und fortbildungsfähig ist. Diesen Bedingungen aber scheint die Theorie des allseitig tangentiellen Druckes besser als alle andern zu entsprechen.²¹⁾

Durch die Betonung des allseitig tangentiellen Druckes haben wir aber einen Weg betreten, der uns nahe an den Ausgangspunkt der Kontraktionslehre zurückführt. Dennoch haben wir keine Ursache, die großen Leistungen unserer Zeit auf dem Gebiete der Orogenese zu verkennen. Wir dürfen nicht vergessen, daß sich die Fortschritte in den allgemeinsten Fragen unserer Wissenschaft nur langsam vollziehen können. An dem Abstände unseres Wissens von der Geologie früherer Tage vermögen wir die erreichte Höhe zu ermessen. Im Besitze eines täglich wachsenden Beobachtungsmaterials aus allen Teilen der Erde, im glücklichen Besitze der Methoden der geologischen Synthese, durch die uns Suess den Ausblick auf unbegrenzte Möglichkeiten eröffnet hat, verfügen wir über das beglückende Gefühl, an der Schwelle einer glänzenden Entwicklung unserer Wissenschaft zu stehen, die spätere Generationen dem Ziele näher führen wird, das der gegenwärtigen unerreichbar ist.

Anmerkungen.

Eine erschöpfende Darstellung des Gegenstandes liegt nicht im Wesen dieses Vortrages. Daher sollen auch diese Anmerkungen nur auf einzelnes aufmerksam machen.

- 1) Joseph le Conte. Theories of the origin of Mountain Ranges. Journal of Geology 1893. I. S. 569—572. Vgl. auch Neumayr's Erdgeschichte, II. Auflage, v. V. Uhlig, I. Bd., S. 383—387, Geologie des Tatragebirges, Denkschr. k. Akad., 68. Bd., S. 115.
- 2) Das Wesen der sogenannten amerikanischen Theorie ist in der obengenannten Schrift von Le Conte übersichtlich zusammengefaßt. Vergl. Americ. Journal, vol. XVI, 1878, p. 95.
- 3) Die Vorstellungen von M. Bertrand (Compt. Rend. Ac. Sc. CXXX, 29. janv., 5., 19. févr. 1900), der in der Existenz großer flacher Überschiebungen das Grundprinzip des Gebirgsbaues erblickt, haben auch in Frankreich keinen Beifall gefunden und können daher hier übergangen werden. Vgl. W. Kili an, Les phénom. de charriage d. l. Alpes delphino-provençales. Compt. Rend. IX Congrès géol. internat. Vienne 1903, p. 457.
- 4) Für ein österreichisches Gebiet, die Böhmisches Masse, hat zuerst F. E. Suess diese Darstellung eingeführt. Bild und Bau der Böhm. Masse, Wien 1903, Übersichtskarte.
- 5) Nach Tschernyschef.
- 6) Das bekannte Auftreten von Permschichten zwischen Eggenburg und Krems in Niederösterreich läßt eine ehemalige Fortsetzung sudetischer Falten nach der Südostseite der Bojischen Masse vermuten.
- 7) Diese Deutung scheint den geologischen Verhältnissen am Bristolkanale besser zu entsprechen, als die Annahme einer Anschiebung der ost-südöstlich streichenden Zone an die süd-westlich streichenden Ketten im Norden.

- 8) Die Überschiebung des nordfranzösisch-belgisch-westfälischen Kohlenreviers erfolgt über gleichartiges und nicht über älteres Vorland. Suess betrachtet sie als „Vorfaltung“ über eine im Norden sich senkende Scholle. Vielleicht ist aber auch die Annahme zulässig, daß sich die nördliche und südliche Scholle gegen einander bewegten. (Unter- und Überschiebung.)
- 9) Über die große Überschiebung im skand. Faltengebirge. Compt. rend. IX. Congrès géol. int. Vienne 1903, S. 526. Vgl. auch P. J. Holmquist, Geol. För. Förhandl. 1900, XXII., Sver. geol. Undersökn. Ser. C., 185.
- 10) Nur gewisse jüngere Senkungen durchschneiden das tafellagernde Land, wie die Senkungen der Arktis und die norddeutsch-südrussische Senkungszone (Schonen, Norddeutschland, das mittlere Polen, das Gebiet der südrussischen Eozän- und Kreidetragression, die galizisch-volhynische Senkung).
- 11) Eine selbständige Tafelsenkung ist im Zustande der Spannung denkbar, wenn die sinkende Scholle von Brüchen begrenzt ist, die nach oben konvergieren, nach unten divergieren. Dann muß aber eine Überschiebung der gesunkenen seitens der benachbarten, in höherem Niveau verbliebenen Scholle eintreten, was im Umkreise der Rumpfgebirge im allgemeinen nicht zutrifft.
- 12) Die Möglichkeit eines derartigen Vorganges ist von verschiedenen Forschern bemerkt worden, darunter auch von E. Suess, Entstehung der Alpen, Wien 1875, S. 150, 151.
- 13) Auf die Bedeutung der Lückenhaftigkeit der Sedimente auf den alten Massen hat besonders nachdrücklich E. Suess aufmerksam gemacht. Waren auch einzelne kleinere Horste, wie Schwarzwald und Vogesen im Mesozoicum gänzlich vom Meere bedeckt, so war doch die Mächtigkeit der Sedimente hier geringer, als in den benachbarten Tafeln. Daß das franz. Zentralplateau in mesozoischer Zeit teilweise trocken lag, wird von französischen Forschern verschiedener Schattierungen angenommen. Die Bretagne bildete mindestens während eines Teiles des Mesozoicums eine Insel, ebenso ein Teil der alten Gebirge Englands und sicher auch die Hauptmasse der Spanischen Meseta.
- 14) Entstehung der Alpen, 1875, S. 97. Antlitz der Erde, I. Bd., S. 306.

- 15) Tornquist, Gebirgsbau Sardiniens, Sitzungsber. d. preuß. Akad. d. Wiss., 1903, XXXII, S. 687, 688.
 - 16) Bild und Bau der Karpaten. Wien 1903, S. 702, 724, 731, 907 u. s. w.
 - 17) Compt. rend. IX. Congrès géol. internat. Vienne 1903, S.
 - 18) Vergl. Bild und Bau der Karpaten. Wien 1903, S. 837, 909 u. s. w.
 - 19) Bild u. Bau d. Karpaten, S. 903.
 - 20) Antl. d. Erde, II. S. 769.
 - 21) Vor kurzem ist Mellard Reade für den allseitigen Druck eingetreten. *Evolution of Earth Structure.* London 1903.
-