

# Die Schrumpfung der Erde

Festrede gehalten zur Jahresfeier der  
Georg August-Universität zu Göttingen  
am 5. Juli 1922

von

**Hans Stille**

---

Berlin  
Verlag von Gebrüder Bornträger  
W 35 Schöneberger Ufer 12 a  
1922

## Hochansehnliche Versammlung!

Es ist alter Brauch, daß am Jahresfeste unserer Universität der Rektor über Fragen, die in der von ihm vertretenen Wissenschaft die Geister bewegen, dem größeren Kreise der Universität berichtet. Als die Frage der Fragen der geologischen Wissenschaft gilt immer noch diejenige nach dem Ursprung der sog. tektonischen Kräfte, jener Kräfte, die hier Erhebungen, dort Senkungen, hier Gebirge, dort Meeresbecken schaffen oder weiterentwickeln. Ich möchte mich mit ihr befassen; ich möchte dabei besonders die so viel umstrittene Frage der Schrumpfung der Erde in den Vordergrund stellen. Neuere Ergebnisse der vergleichenden Geologie, besonders solche über die Zeitlichkeit des tektonischen Geschehens, scheinen geeignet, hier wesentlich klärend zu wirken.

Die Geologie geht aus von der Untersuchung örtlicher Verhältnisse. Das ist und bleibt ihr wahres Fundament, an dem mit dem größten Aufwande von Sorgfalt, Fleiß und Zeit immer weitergearbeitet wird. Ich verweise nur auf die jetzt so ziemlich in aller Welt bestehenden staatlichen geologischen Landesuntersuchungen, die in diesem Sinne große Arbeit leisten. Diese örtliche Geologie zeitigt zunächst Ergebnisse hinsichtlich der geologischen Verhältnisse des Einzelgebietes; sie kommt gewiß auch zu bedeutsamen Ergebnissen von allgemeinerer Bedeutung, indem sie die Einzelergebnisse verallgemeinert. Aber es besteht hier die Gefahr, daß Sachlagen verallgemeinert werden, die sich aus örtlichen Sonderverhältnissen erklären. Hier muß die vergleichende Geologie einsetzen, die recht viele und möglichst zuverlässig erforschte Gebiete umfassen muß. Sie erkennt in der Fülle der Tatsachen das, was von allgemeiner Bedeutung ist, sie findet „den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“. Die vergleichende Geologie konnte erst an Bedeutung gewinnen, nach-

dem die örtlich forschende Geologie ein gewisses fortgeschrittenes Stadium erreicht hatte. Der eigentliche Vater der moderneren vergleichenden Erdbetrachtung ist Ed. Sueß geworden, und es bedeutete einen Wendepunkt in der Geschichte der geologischen Wissenschaft, als er im Jahre 1875 sein Büchlein „Über die Entstehung der Alpen“ veröffentlichte, in dem wir schon die Grundgedanken und Methoden dessen finden, was Sueß in nachfolgender 30jähriger Arbeit in dem bisher größten Werke vergleichender Erdforschung, dem „Antlitz der Erde“, niedergelegt hat. Sueß stellte sich als Aufgabe die Synthese der Gebirge, d. h. „die Faltenzüge der Erde zu noch größeren Einheiten naturgemäß zu vereinigen und einen möglichst großen Teil der Erdfaltung in einem einzigen einfachen Ausdrucke zu erklären“. „Es handelt sich darum, den von der Natur auf das Antlitz der Erde geschriebenen Plan der Leitlinien zu ermitteln.“ Sueß hat der Geologie ein großes Ziel gewiesen. Wir wollen die Synthese in seinem Sinne, und zwar auf dem Wege der Analyse, dieses noch mehr, als Sueß es getan hat. Und wenn Sueß in seiner größten Synthese, derjenigen des „asiatischen Baues“, der nicht nur die Gebirge Asiens, sondern auch Europas, ja z. T. noch diejenigen Amerikas umfassen sollte, wohl gescheitert ist, indem nicht der angenommene Impuls aus Asien dieses alles geschaffen hat, sondern indem die Gebirge Europas und Amerikas durchaus bodenständig, d. h. aus der Vorgeschichte des Bodens, aus dem sie erwachsen, erklärbar und durch sie bedingt sind, so liegt das daran, daß Sueß zu sehr nur das fertige Bild gesehen<sup>1)</sup>, zu wenig aber durch die zeitliche Analyse sein Werden berücksichtigt, daß er z. B. auch den ganzen großen Kreis der sog. epirogenetischen Vorgänge, von denen gleich die Rede sein wird, völlig vernachlässigt hat.

\* \* \*

Beantworten wir zunächst kurz drei Fragen.

Wie entstehen die Gebirge? Wo entstehen die Gebirge?  
Wann entstehen die Gebirge?

Beginnen wir mit dem Wie der Gebirgsbildung.

Die Sinkstoffe, die sich am Boden der Meere oder sonstiger Senken sammeln, bilden Schichten von zunächst mehr oder weniger horizontaler Lagerungsart; durch die Jahrtausende geht dieser Bildungsprozeß weiter, flach legt sich eine Schicht über die andere.

Aber anders liegen die Schichten in den Gebirgen. Wer mit offenem Auge durch sie gewandert ist, hat gesehen, daß hier die Schichten weithin schräg oder gar senkrecht stehen, daß sie zerknittert sind, daß sie Falten bilden. Die ganze Gebirgsbildung ist eine Zusammenpressung der Gesteinsschichten, die bei flacher Lagerung einen breiteren Raum eingenommen hatten, auf verschmälerten Raum. Das ist der Vorgang der Faltung, die den Gesteinsmassen nun eine ganz neue und oft außerordentlich verwickelte Struktur gibt. Bei dieser Faltung können die Massen sich dem verschmälerten Raume nur dadurch anpassen, daß sie in senkrechter Richtung, u. zw. in der Hauptsache in den Höhenraum, ausweichen, daß sie also Gebirge bilden.

Das Ausmaß der Zusammenpressung auf engeren Raum kann recht erheblich sein. Auf  $\frac{2}{3}$  ihrer ursprünglichen Breite sind nach A. Buxtorf die Gesteine des Schweizer Juras zusammengeschoben; einen zwei- bis dreimal breiteren Raum haben nach Albert Heim die Gesteine der Alpen vor ihrer Auffaltung zum Gebirge eingenommen; sogar auf  $\frac{1}{10}$  ihrer einstigen Entfernung sollen nach C. Schmidt die Gesteine einander genähert sein, die heute am Nord- und Südportale des Simplon-Tunnels anstehen.

Faltung und Gebirgsbildung sind fast zusammenfallende Begriffe. Das Wort Faltung bezieht sich zwar auf den inneren Bau, das Wort Gebirgsbildung zunächst wenigstens auf das sich ergebende äußerliche Gebilde. Aber man hält die Begriffe heute nicht mehr scharf auseinander und verwendet auch den Begriff Gebirgsbildung, oder wie wir sagen, Orogenese, in Bezug auf den inneren Bau. Gebirge erscheinen und verschwinden im Laufe der Erdgeschichte. So stolz die Alpen heute aufragen, so sind sie doch nur noch der Torso dessen, was sie gewesen sind, und sie werden dereinst verschwunden sein, wie die Alpen früherer Zeiten verschwunden sind, hauptsächlich infolge von Abtragung, z. T. zwar auch infolge Versinkens in den Untergrund. Aber was selbst in den Stümpfen des abgetragenen Gebirges überliefert bleibt, ist die Struktur, die der ganzen Erdzone durch den Faltungsvorgang, der einst das Gebirge geschaffen hatte, aufgeprägt worden ist.

Das Wie der Gebirgsbildung haben wir erledigt:

Gebirge entstehen, indem Gesteinsmassen, die vorher einen breiteren Raum eingenommen hatten, nun unter völliger Veränderung ihrer Lagerungsformen auf schmälere Raum gebracht werden und infolgedessen in den Höhenraum ausweichen müssen.

Wir kommen zur zweiten Frage. Wo entstehen die Ge-

birge? Die Antwort ist, daß nur in bestimmten, verhältnismäßig schmalen Zonen der Erde, die oft bandförmig sich hinziehen, Gebirge aufsteigen, während andere Gebiete frei von ihnen bleiben. Welcher Art sind nun diese Zonen? Die Antwort liegt in ihrer Vorgeschichte.

Was zuerst die Amerikaner in Bezug auf die Gebirge ihres Kontinents erkannt hatten, hat sich als allgemeine Erfahrung bewährt: die Gebirge entstehen in den Zonen einer besonders großen Mächtigkeit der Schichtablagerungen<sup>2)</sup>. Große Mächtigkeit erlangen nun die Schichten in solchen Räumen, die sich im Zustande einer allmählichen Abwärtsbewegung befinden, die also trotz des Fortganges der Schichtenbildung nicht völlig aufgefüllt werden, weil der Untergrund immer wieder nachgibt. Solche sinkenden Gebiete nennt man mit James D. Dana<sup>3)</sup> Geosynklinalen, — Erdwannen. Gewöhnlich steht in ihnen das Meer. Oft erscheinen sie als langgestreckte, verhältnismäßig schmale Tröge, die nun zu Sammeltrögen von all dem Material werden, das aus den benachbarten Landgebieten ihnen zugeht. Doch auch unsere weiten Weltmeere sind Geosynklinalen.

Also aus den Geosynklinalen, im allgemeinen aus den Meeren, aus ihren „Muttermeeren“, werden die Gebirge geboren, und den Resten der Meerestiere, die am Grunde der Geosynklinalen in den Schlamm eingebettet worden waren, begegnen wir auf den Höhen der Gebirge.

Die vergleichende Erdgeschichte lehrt uns sog. mobile (bewegliche) Zonen unterscheiden, Zonen des Sinkens und der Auffüllung und danach der Gebirgsbildung, und ihnen gegenüber sog. stabile (starre) Gebiete, die nicht oder höchstens vorübergehend einmal sinken, die sich vielmehr als Dauerländer durch weite Zeiten der Erdgeschichte behaupten und die nun auch nicht von der Faltung ergriffen werden. Besonders nun in den Randzonen der Meere gegen diese Dauerländer steigen die Gebirge auf, und so ergibt sich das in der Geologie vielfach behandelte Verhältnis von Festlandsschwelle und Faltenkranz. So verbreitern sich die Festländer auf Kosten der angrenzenden oder zwischen ihnen liegenden Meere, bis diese ganz verschwunden sein können. So ist Europa nach und nach von Norden nach Süden in Angliederung an alte Festlandsmassen, die im Norden und Osten gelegen haben, entstanden, indem dabei das alte Mittelmeer, die Thetys, das einst die weitesten Teile des heutigen Europas überdeckt hatte, immer schmaler und schließlich auf das heutige

Mittelmeer beschränkt wurde<sup>4)</sup>. Und es ist eine sehr wichtige Erfahrung, daß so häufig mobile Zonen mit dem Faltungsakte den Charakter stabiler Zonen gewinnen, d. h. also die Fähigkeit zur weiteren Bildung von Geosynklinalen und Gebirgen verlieren. Faltung führt zur Erstarrung, und wir suchen die Ursache der Erstarrung in der Zusammenstauchung der vorher flachen Schichttafeln, also in der Verleihung des neuen Gefüges, oder doch in Verhältnissen, die mit der Faltung gleichzeitig eingetreten sind, in dem Eindringen glutflüssiger Massen und der Durchsetzung des Gebirgskörpers in seinen aufragenden und sichtbaren, sicherlich aber noch viel mehr in seinen tieferen versenkten Teilen mit solchem Glutfluß, der in seiner außerordentlichen Beweglichkeit überall eindringt, nach seiner Festwerdung aber als Eruptivgestein nicht nur für sich ein Material größter Starrheit bildet, sondern auch, wie die Wirbelsäule dem Körper, dem ganzen von ihm durchsetzten Gesteinskomplexe ein hohes Maß von Festigkeit gibt.

Die seitliche Bewegung der beim Faltungsvorgange aus den Muttermeeren als Gebirge aufsteigenden Gesteinsmassen ist im allgemeinen gegen die angrenzenden Festländer oder gegen, wie wir sagen, das „Vorland“ gerichtet und geht zum Teil über das Vorland hinweg. So geht die Faltung in Europa im wesentlichen nordwärts<sup>5)</sup>.

Wir kommen zum Wann der Gebirgsbildung. Eine fundamentale Erfahrungstatsache ist, daß Gebirgsbildungen nicht etwa kontinuierlich, sondern nur zu ganz bestimmten, relativ kurzen und noch nicht einmal besonders zahlreichen Terminen der Erdgeschichte eingetreten sind, während die langen Zwischenzeiten keine orogenetischen Vorgänge kannten. Man kann diese Tatsache, die sogar vielen Geologen noch nicht ausreichend zum Bewußtsein gekommen ist, nicht stark genug unterstreichen<sup>6)</sup>. In diesen Zeiten, die wir nun geradezu als orogenetische, als gebirgsbildende, bezeichnen, geht aber die Gebirgsbildung — und das ist ein besonders wichtiges Ergebnis der vergleichenden Geologie — in den verschiedensten und oft ohne jeden Zusammenhang stehenden Erdgebieten vor sich. So entstehen gleichzeitig Hochgebirge in Amerika, Europa, Nordafrika und Asien. So ergibt sich das orogenetische Zeitgesetz<sup>7)</sup> oder, wie wir auch sagen wollen, das orogenetische Gleichzeitigkeitgesetz. Es lautet:

Alle Gebirgsbildung ist an verhältnismäßig wenige und kurze Termine von erdweiter Bedeutung gebunden. Sie tritt gleichzeitig in den verschiedensten Erdgebieten ein.

So haben wir das Wie, Wo und Wann der Gebirgsbildung kurz betrachtet, und ich fasse das Ergebnis folgendermaßen zusammen: Die Gebirgsbildung ist ein nur zu ganz bestimmten Zeiten der Erdgeschichte, dann aber gleichzeitig in den verschiedensten Erdgebieten, eintretender Zusammenschub vorher stark gesunkener und stark mit Sedimenten beladener Erdgebiete, der sog. Geosynklinalen. Sie ereignet sich insbesondere in den Randzonen dieser gesunkenen Räume gegen die sie begrenzenden Festlandsschwellen („Rahmen“). Dabei bewegt sich der der Faltung unterliegende und infolgedessen aufsteigende Gesteinsinhalt der Geosynklinalen im allgemeinen gegen die Festlandsschwellen vor und z. T. sogar über diese hinweg.

Was geschieht in den Zwischenzeiten? Wir haben in ihnen zwar keine Gebirgsbildungen (Orogenesen), aber wir haben andersartige Bewegungen in der Erdkruste, solche, die im Gegensatze zu den Orogenesen die Struktur des Bodens sozusagen unverändert lassen. Sie erfolgen im wesentlichen in senkrechter Richtung, aufwärts und abwärts, sie gehen im Gegensatze zu den Orogenesen mehr oder weniger gleichmäßig durch die unendlich langen Zeiten der Erdgeschichte fort und werden deshalb als die „säkulären“, d. h. die durch die Jahrhunderte der Erdgeschichte andauernden, bezeichnet; ist die Leistung in der Zeiteinheit auch gering, so erreicht sie doch gewaltiges Ausmaß infolge der langen Dauer. Im Zusammenhang mit diesen Vorgängen steigen allmählich die Festländer auf, sinken die Meere ein.

Diese langsam sich vollziehenden, sozusagen plumpen Bewegungen in der Erdkruste nennt man mit G. K. Gilbert<sup>8)</sup> die epirogenetischen, die festlandschaffenden, und man gebraucht diese Bezeichnung nach dem Vorbilde Gilberts auch dann, wenn die Bewegungen abwärtig gerichtet sind, also zur Entstehung der Senken, insbesondere der Meere, führen. Sie sind, — wenigstens ist das für viele Fälle erweisbar —, mit großwelligen Verbiegungen des Untergrundes verknüpft. Vor unseren Augen hebt sich Skandinavien, meßbar sind die Beträge; schon Celsius und Linné ließen Marken in die Uferfelsen schlagen, um die Veränderungen in der Höhenlage des Landes feststellen zu können. In 100 Jahren hat sich z. B. die Gegend von Stockholm um etwa  $\frac{1}{2}$  m gehoben. Aber Skandinavien hebt sich nicht gleichmäßig, sondern wölbt sich unter Verbiegung in Form eines Schildes auf, dessen Längsachse etwa mit der Wasserscheide zwischen Schweden und Norwegen zusammenfällt. Die Ungleichmäßigkeit der abwärtigen säku-

lären Bewegungen der Geosynklinalen ergibt sich aus den Mächtigkeits- und z. T. auch den Faziesverhältnissen der in ihnen entstandenen Sedimente. Sie ergibt sich nach den Darlegungen von M. Schmidt<sup>9)</sup> für die heute sich noch fortentwickelnde Erdwanne im Vorlande der bayerischen Alpen aus dem Vergleiche der Präzisionsnivelements der letzten Jahrzehnte. Dabei ist der jugendliche Fortgang des Sinkens dieses schon sehr alten Geosynklinalgebietes mit einer Verschmälerung desselben verbunden.

Immer wieder erkennen wir in der Geschichte der Vorzeit große Schwankungen in den Grenzen von Land und Meer. In den Gesteinen unseres Göttinger Hainberges stecken die Meeresmuscheln, die davon zeugen. Sehr häufig verbreitern sich nun bei den langsamen Erdbewegungen in dem Nebeneinander der aufsteigenden und einsinkenden Zonen die einen auf Kosten der anderen oder neutraler Zwischenzonen. So rückt, wenn die sinkenden Zonen sich verbreitern, das Meer vor, so rückt es bei Verbreiterung der aufsteigenden Zonen zurück. Überhaupt sind die Meeresbewegungen der Vorzeit ganz besonders feine Indikatoren der damals eingetretenen Bewegungen des Festen, und so bin ich zu nachdrücklicher Beschäftigung mit ihnen geführt worden. Über einige Ergebnisse dieser Untersuchungen habe ich kürzlich der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften berichtet<sup>10)</sup>, und ich muß sie hier teilweise wiederholen, um auf ihnen weiter aufbauen zu können.

In den Meeresbewegungen der Vorzeit geben sich gewisse zeitliche Übereinstimmungen von z. T. erdweiter Bedeutung zu erkennen; wir haben unverkennbar gewisse Zeiten allgemeinerer Erweiterung und demgegenüber gewisse Zeiten allgemeinerer Einengung der Meere gehabt, wenn dabei auch vielfach Ausnahmen von der sich als allgemein offenbarenden Tendenz vorliegen. Wir haben Einengungen der Meere z. B. nicht nur in Europa, sondern gleichzeitig weithin in den übrigen Erdteilen, und das gleiche gilt für die Meereseinengungen. Eine wesentliche Rolle für die Meeresbewegungen spielen die orogenetischen Vorgänge, und es ist ein einfaches Ergebnis der vergleichenden Erdgeschichte, daß mit den Orogenesen meist große und allgemeine Meereseinengungen zeitlich zusammenfallen<sup>11)</sup>. Aber auch die Meeresbewegungen der anorogenetischen Zeiten, d. h. diejenigen, die mit den epirogenetischen Vorgängen in Zusammenhang stehen, sind bis zu einem erheblichen Grade universaler Art. Die Methode, die bei der Feststellung der jeweiligen Ten-



denz der Meeresveränderungen zu befolgen ist, kann natürlich nur die statistische sein, d. h. diejenige nach der Mehrzahl der Fälle; sie liefert uns den „Kanon“ der Meeresbewegungen der Vorzeit, d. h. eben die statistische, nach der Mehrzahl der Fälle aufzustellende Regel über die Erweiterungen und Verengungen der Meeresräume von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt. Es bestehen viele Ausnahmen vom Kanon, in manchen Zeiten mehr, in manchen weniger. Es äußern sich offenbar recht verschiedenartige Verhältnisse an dem so außerordentlich empfindlichen Indikator der Meeresbewegungen; sicherlich gibt es hier neben einem Hauptmotiv noch Nebenmotive von z. T. mehr örtlicher Bedeutung, die das Hauptmotiv örtlich übertönen können. Aber trotzdem bleibt das allgemeine Bild der erdumfassenden zeitlichen Übereinstimmungen hinsichtlich der Meeresbewegungen. Aus ihnen, — und darauf kommt es jetzt an —, schließen wir auf die erdumfassenden zeitlichen Übereinstimmungen im Gange der Bewegungen des Festen<sup>12)</sup>.

Neben das oben erörterte orogenetische Gleichzeitigkeitsgesetz stelle ich damit als Ergebnis der Studien über die Meeresbewegungen der Vorzeit die epirogenetische Gleichzeitigkeitsregel; sie lautet:

Die Veränderungen im Gange der epirogenetischen Bewegungen zeigen in den verschiedensten Erdgebieten erhebliche gleichzeitige Gleichsinnigkeiten.

Nachdrücklich spreche ich gegenüber dem orogenetischen Gleichzeitigkeitsgesetze von einer epirogenetischen Gleichzeitigkeitsregel. Das orogenetische Gleichzeitigkeitsgesetz entspricht der Gesamtheit der Erfahrungen; demgegenüber finden wir bei der Epirogenese nur eine statistische und auf statistischem Wege ermittelte Regel, die in allen Zeiten Ausnahmen kennt, in den einen mehr, in den anderen weniger.

Zwar eine ununterbrochene, aber keine gleichmäßig fortschreitende Entwicklung ergab sich für das tektonische Erdbild; in zweierlei Form, in orogenetischen und epirogenetischen Vorgängen, sahen wir die tektonischen Kräfte sich äußern. Ständige Bewegung herrscht in der Erdkruste, — hier hebt sie sich, dort senkt sie sich, es ist ein langsames Atmen des Erdkörpers. Aber von Zeit zu Zeit treten, wenn ich beim Bilde des Körpers bleiben darf, Paroxysmen, Fieberzustände, ein —, das Atmen beschleunigt sich gewaltig, es kommt zu Faltungen.

Der Paroxysmus wird überwunden, das ruhige Atmen setzt wieder ein.

Wir leben in Zeiten der Epirogenese, des ruhigen Atmens der Erdkruste, — schon lange ist die Erde in einem solchen Zustande. Die heute wirksamen Kräfte reichen nicht aus, um Gebirge entstehen zu lassen.

Das steht im Widerspruche zu der Lehre vom sog. Aktualismus, nach der die gegenwärtig auf der Erde wirksamen Kräfte geeignet sein sollen, auch die Verhältnisse der geologischen Vergangenheit zu erklären. Diese auf den Schotten James Hutton<sup>13)</sup> zurückgehende Lehre hatte sich in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durchgesetzt gegenüber der namentlich von Cuvier vertretenen Katastrophentheorie, oder, wie man sie auch nannte, da man insbesondere Überschwemmungen nach Art der Sintfluth im Auge hatte, der Kataklysmentheorie. Charles Lyell gilt als der eigentliche Vater des Aktualismus<sup>14)</sup>, aber er war unverkennbar beeinflusst durch Carl Ernst Adolf v. Hoff. Das wollen wir besonders hier in Göttingen hervorheben, denn die Anregung zu v. Hoff's „Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche“ (1822) ist von Göttingen ausgegangen; v. Hoff's fundamentales Werk war die Bewerbungsschrift um eine auf Vorschlag Blumenbach's von der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen im Jahre 1818 gestellte Preisaufgabe.

So sehr der Aktualismus im allgemeinen noch gelten mag hinsichtlich der Mehrzahl der geologischen Erscheinungen und auch hinsichtlich der Entwicklung des organischen Lebens, — hinsichtlich der tektonischen Vorgänge muß doch die Katastrophentheorie wieder zu einem gewissen Rechte kommen<sup>15)</sup>.

Die erdumfassende Bedeutung der tektonischen Vorgänge von beiderlei Art, d. h. also das orogenetische Gleichzeitigkeitsgesetz und die epirogenetische Gleichzeitigkeitsregel, mache ich insbesondere zum Prüfstein für die geotektonischen Theorien.

\* \* \*

Doch zunächst sind noch einige geophysikalische Vorbemerkungen nötig, denn bei den Fragen nach den Ursachen der Gebirgsbildung sprechen geophysikalische Forschungsergebnisse, besonders solche über das Innere der Erde, in dem man ja die Kraftquellen für die Aufrichtung der Gebirge sucht, in hohem Maße mit. Aber es ist unverkennbar, daß oft auch

geophysikalische Vorstellungen, die auf einer nur sehr schmalen Beobachtungsbasis aufgebaut sind, nicht nur von Geophysikern, soweit sie zu geologisch-tektonischen Fragen das Wort genommen haben, sondern auch von Geologen zu sehr gegenüber dem, was das Erdbild sagt, bewertet worden sind und noch bewertet werden.

Erstens. Soweit durch Tunnelbauten, Bohrungen und Schächte die oberste Erdkruste der Beobachtung zugänglich geworden ist, — und bis 2240 m Tiefe ist der Mensch bisher mit seiner Bohrsonde, u. zw. bei Czuchow in Oberschlesien, auf heute polnischem Boden, vorgedrungen —, nimmt die Erdtemperatur um ungefähr  $3^{\circ}$  auf 100 m Tiefe zu. Würde das so weiter gehen, so kämen wir ja im Erdinnern bis zu Temperaturen von 200 000 $^{\circ}$ . Aber es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Wärmezunahme sich mit dem Vorrücken in die größeren Erdtiefen ungemein verlangsamt, und man ist heute geneigt, im Erdinnern mit Höchsttemperaturen von nur wenige Tausend Grad zu rechnen. Jedenfalls besteht keine zwingende Notwendigkeit, höhere Temperaturen anzunehmen. Immerhin handelt es sich um Temperaturen, bei denen über Tage, also unter Atmosphärendruck, die Stoffe des Erdkörpers sich im glutflüssigen Zustande befinden würden. Aber sie stehen ja in der Tiefe unter dem ungeheuer großen Drucke der über ihnen lastenden Erdmassen, und Druck wirkt verfestigend. So stehen in der Tiefe die verflüssigende Wirkung der Temperatur und die verfestigende des Druckes gegeneinander, und die heute ziemlich allgemein anerkannte Auffassung geht dahin, daß die verfestigende Wirkung des Druckes überwiegt, und also das Erdinnere sich trotz hoher Temperatur in festem Zustande befindet.

Vor allem hat die Erdbebenforschung, namentlich nach der außerordentlichen Verfeinerung ihrer Methoden, an der unsere Göttinger Universität durch Wiechert und seine Schüler ein ganz besonderes Verdienst in Anspruch nehmen darf, wichtige Aufschlüsse über die physikalischen Verhältnisse des Erdinnern gegeben<sup>16)</sup>. Von einem Herde in der Tiefe der Erdkruste gehen verschiedenartige Wellenbewegungen aus, die wir über Tage als Erdbeben empfinden. Die Erdbebenwellen durchheilen also den Erdkörper, sie machen ihn für unsere Blicke bis zu einem gewissen Grade durchsichtig, indem sie, — um Wiecherts schönes Gleichnis zu gebrauchen —, für ihn leisten, was die Röntgenwellen dem Arzte für den menschlichen Körper leisten<sup>16a)</sup>. In der Tatsache, daß nicht nur longitudinale, sondern in den sog. zweiten

Vorläufern auch transversale Wellen den Erdkörper durchheilen, d. h. solche, die nur in starren Körpern möglich sind, erblickt man den Beweis dafür, daß das Innere der Erde nicht flüssig sein kann, jedenfalls nicht flüssig im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern daß es die elastischen Eigenschaften starrer Körper besitzen muß.

Zweitens. Die Erde ist schwer. Das durchschnittliche spezifische Gewicht der an der Erdoberfläche zu beobachtenden Gesteine beträgt zwar nur etwa 2,6; aber das spezifische Gewicht der gesamten Erde beläuft sich auf etwa  $5\frac{1}{2}$ , d. h. auf mehr als das doppelte. Diese Zahl ist berechnet aus Größe und Anziehungskraft der Erde. Es müssen also im Innern der Erde außerordentlich schwere Massen angehäuft sein, und so spricht Edward Sueß<sup>17)</sup> von einer Barysphäre, d. h. einer Sphäre des Schweren, die unter der Lithosphäre, der Sphäre der Gesteine, liegt. So ist die Auffassung, zu der Wiechert als Geophysiker und Sueß als Geologe gekommen sind, die, daß die Erde eine riesige Eisenkugel, umgeben von einer Steinkruste, sei.

Bei der Annahme, daß im wesentlichen Eisen den Erdkern zusammensetzt, ging Sueß, den Spuren Daubrées folgend und unter Zugrundelegung der Vorstellung von der stofflichen Gleichheit des Kosmos, von der Zusammensetzung der auf unsere Erde gelangenden Bruchstücke fremder Erdkörper, der Meteoriten, aus.

Drittens. Wir wissen, daß die Erde sehr starr ist, wobei wir die Starrheit, oder, wie man in Bezug auf die Erde vielfach sagt, die „Rieghheit“ („Rigidity“ der amerikanischen Literatur) als den Widerstand gegen Formveränderung definieren wollen. Aus Beobachtungen über die Gezeitendeformationen des festen Erdkörpers und über die Schwankungen in der Lage der Erdpole haben die Geophysiker berechnet, daß die Erde als Ganzes etwa so starr wie Stahl ist. Diese Starrheit schließt zwar die Nachgiebigkeit gegenüber plötzlichen Deformationsversuchen aus, nicht aber gegenüber sehr lange wirkenden Kräften. So weisen die Geophysiker darauf hin, daß der Erdkörper trotz seiner Rieghheit der derzeitigen Rotationsgeschwindigkeit angepaßt ist, und insbesondere auf die gleich zu besprechenden isostatischen Anpassungen.

Viertens. Die Anziehungskraft der Erde, ihre Schwere, unterliegt vielfachem örtlichen Wechsel. Man bestimmt sie im allgemeinen mit Hilfe des Pendels, das um so schneller schwingt, je größer die Anziehungskraft des Bodens ist. Schon im 18. Jahrhundert hatte Bouguer ein Minus an Schwere bei Quito fest-

gestellt, und weiter ergaben die von 1864—1874 von Basevi und Heaviside im Himalaya ausgeführten Messungen, die Schwereuntersuchungen des Obersten Kuhlberg im Kaukasus und Transkaukasien in den Jahren 1879—1883, und vor allem v. Sterneck's<sup>18)</sup> systematische Messungen in Tirol in den Jahren 1887/88, die Helmert 1890 rechnerisch auswertete<sup>19)</sup>, das sehr überraschende Resultat, daß unter den hohen Gebirgen der Boden zu leicht ist, und die gleiche Feststellung machte man in der Folgezeit noch in anderen Hochgebirgen. Umgekehrt fand man vielfach unter Tiefländern ein Plus gegenüber der normalen Schwere, und ganz besonders bedeutungsvoll wurden die Schwerebestimmungen, die Hecker<sup>20)</sup> im Bereiche der Ozeane ausführte und die eine erhebliche Überschwere des Bodens unter den Ozeanen zu ergeben schienen. Es ist also nicht, wie man von vornherein hätte erwarten können, — oder es ist jedenfalls vielfach nicht so —, daß die hohen Erhebungen der Erdkruste einen Überschuß und die Senken ein Defizit an Gesamtmaße herbeiführen, vielmehr liegt, wenigstens vielfach, ein gewisser Ausgleich in dem Sinne vor, daß unter den größeren Erhebungen der Untergrund übermäßig leicht, unter den größeren Tiefen aber übermäßig schwer ist.

Auf solchen Beobachtungen über die Unregelmäßigkeiten der Erdschwere fußt die Lehre vom Gleichgewichte der großen Erdschollen, die 1871 auf die Beobachtungen über Lotablenkungen und Schwereanomalien in Ostindien und insbesondere im Himalayagebiete von Pratt<sup>21)</sup> begründet und etwa 20 Jahre später nach der geologischen Seite von dem Amerikaner Dutton, der auch die heute allgemein übliche Bezeichnung „Isostasie“ einführte, ausgebaut worden ist<sup>22)</sup>. Nach dieser Lehre besteht Gleichgewicht („Isostasie“) in der Erdkruste in ähnlicher Weise, wie große schwimmende Eisschollen im Gleichgewicht sind, indem sie, entsprechend ihrer Masse, verschieden tief eintauchen. Es muß im Sinne dieser Lehre in der Tiefe eine nachgiebige Zone sein, die entsprechend der über ihr befindlichen Last mehr oder weniger ausweicht. Man braucht sich eine solche Ausgleichszone, die die Geophysiker jetzt in 120 km Tiefe annehmen möchten, keineswegs flüssig vorzustellen, nur einen gewissen Grad von Nachgiebigkeit gegenüber langsam wirkenden Kräften muß sie besitzen.

Die Meinungen darüber, wie weit dieser isostatische Zustand nun wirklich in der Erdkruste vorhanden ist, sind nicht einheitlich. Das Netz der Schwerebeobachtungen ist erst für einige

Gebiete einigermaßen eng, für andere noch äußerst weitmaschig, und weithin fehlen die Beobachtungen ganz. Damit ist Verallgemeinerungen natürlich die Tür geöffnet<sup>23)</sup>. Meines Erachtens ergibt sich nach dem heutigen Stande der Schwereuntersuchungen folgendes: Gewiß nicht in dem Umfange, wie vielfach unter Verallgemeinerung von Einzelverhältnissen behauptet wird, ist der isostatische Ausgleich innerhalb der Erdkruste nachgewiesen, aber in gewissen großen Zügen ist er angedeutet, so z. B. in dem Geknüpftsein eines Massendefizits an den allgemeinen Verlauf unserer geologisch jungen Hochgebirge. Aber alles in allem handelt es sich in der Erdkruste nur um eine wenig empfindliche Isostasie. Noch am stärksten tritt sie in Erscheinung in denjenigen Zonen der Erde, die wir auch nach ihrer geologischen Geschichte und nach ihrer Struktur als sog. mobile unterscheiden können.

Man hat zur Erklärung der Schwereabweichungen an mancherlei Verhältnisse gedacht, die in Einzelfällen zutreffen mögen, so an das Auftreten besonders leichter oder besonders schwerer Gesteine, an besonders lockere oder besonders dichte Gesteinsverbände, an Auflockerungen durch die Faltung und anderes mehr.

Was vor allem das Massendefizit unter den Hochgebirgen anlangt, so hat Albert Heim<sup>24)</sup> die wohl zutreffende Erklärung dahin gegeben, daß hier durch die Faltung die obersten, relativ leichten Gesteine der Erdkruste zu mächtigen Gebirgsmassen zusammengestaucht sind, die infolge ihres Gewichtes in den etwas nachgiebigen, dabei aber als schwerer anzunehmenden Untergrund einsinken. So werden schwerere Tiefenmassen beiseite gedrängt und an ihre Stelle setzt sich der aus leichteren Massen bestehende Faltenwulst. So wachsen nach Heim die Gebirge nicht nur in die Höhe, sondern infolge ihres Gewichtes auch in die Tiefe<sup>25)</sup>. In ähnlichem Sinne hatte sich auch schon v. d. Borne<sup>26)</sup> dahin ausgesprochen, daß, wie die Gipfel der Alpen in die leichtere Luft hineinragen, so ihre Wurzeln in die schwere Tiefe eindringen. „Das sichtbare Gebirge schwimmt sozusagen vermöge seines unsichtbaren Spiegelbildes auf dem Erdinnern“.

\* \* \*

Wir treten nun hinan an die Frage nach den Ursachen der tektonischen Bewegungen, unter denen wir kurzfristige, kräftige Strukturveränderungen (sog. orogenetische) und schwache, die Struktur der Gesteinsmassen unverändert lassende, dabei aber

durch lange geologische Zeiten fortgehende (sog. epirogenetische) zu unterscheiden haben.

Wir sahen, daß in der Faltung die Einengung der Erdschichten auf schmälere Raum sich ausspricht. Die naheliegende Vorstellung, daß ein seitlicher Druck hier wirksam gewesen sei, wurde zuerst von dem Schweizer Geologen de Saussure in seinen im Jahre 1770 erschienenen „Voyages dans les Alpes“ ausgesprochen. Daß nun dieser seitliche Druck eine Folge der allmählichen Abkühlung der Erde sei, hat zuerst Elie de Beaumont im Jahre 1829 angedeutet<sup>27)</sup> und im Jahre 1852 ausführlich begründet<sup>28)</sup>. In Amerika fand die neue Lehre in Dana einen warmen Vertreter und verbreitete sich hier namentlich durch Dana's in 1. Auflage im Jahre 1863 erschienenen Lehrbuch. In Europa hatte sie einen schweren Stand gegenüber der durch die glänzenden Namen eines Alexander v. Humboldt und Leopold v. Buch und z. T. auch noch durch Elie de Beaumont gestützten Hebungstheorie, nach der die Gebirge durch vulkanische Massen hochgetrieben sein sollten, und erst im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts kam sie vor allen Dingen durch Arnold Heim und Eduard Sueß zu weitester Anerkennung.

Uben

Das warme Erdinnere schrumpft infolge von Abkühlung, die äußere Kruste, da bereits abgekühlt, schrumpft nicht mehr. Dem Erdkerne wird also sein Kleid, die Kruste, zu weit; sie muß sich, indem sie nachsinkt, wie die Eisdecke des Teiches nachsinkt, wenn unter ihr das Wasser abgelassen wird, dem verkleinerten Erdkerne anpassen, indem sie sich in Falten legt.

Um nun das Beschränktsein der Faltung auf bestimmte Zonen zu erklären, wird bei der Darlegung der Schrumpfungstheorie nach dem Vorbilde Dana's im allgemeinen angenommen, daß bei schwindendem Untergrunde die Erdkruste oder doch größere Teile derselben sich nach Art eines Gewölbes frei zu tragen vermögen, und daß der Druck sich nach Art eines Gewölbedruckes entwickelt, durch weiteste Teile der Kugelschale fortgeleitet wird und summiert an Einzelstellen zur Wirkung kommt. Gegen diese Auffassung hat Ampferer<sup>29)</sup> mit Recht geltend gemacht, daß das Gewicht der Erdkruste viel zu groß und die Festigkeit der Gesteine und des Gesteinsgefüges viel zu gering sei, als daß Stücke der Erdkruste sich freischwebend tragen könnten; das Erdmaterial würde dabei zerdrückt und zergrust werden, es würde bei schrumpfender Tiefe nachbrechen, und von der Ent-

wicklung und Fortleitung des sog. Gewölbedruckes könne keine Rede sein; die Erdkruste, oder sagen wir mit Ampferer, — das Bild ist gerade in Hinsicht auf die hier behandelte Sachlage anschaulicher —, die „Erdhaut“ laste als träge tote Masse auf ihrem Untergrunde.

Mit diesen Einwendungen Ampferers ist aber höchstens das Urteil über die Schrumpfungstheorie in ihrer üblichen Form, jedoch nicht über die Schrumpfungsvorstellung an sich gesprochen.

Allgemeiner Tiefenschwund und lokalisierte Faltung der Erdkruste sind miteinander in Übereinstimmung zu bringen. Das ist auch ohne den „Gewölbedruck“ möglich unter der an sich sehr plausiblen Vorstellung, daß die Kruste mit dem Kern nicht starr verbunden, sondern über ihm verschiebbar — abscherbar — ist oder daß sonstwie Ausgleichsbewegungen in dem Raume zwischen der allgemein — u. zw. im wesentlichen unter molekularen Bewegungsvorgängen — schwindenden Tiefe und der örtlich gefalteten Oberkruste eintreten. Ob derartiges nun durch die vielfach angenommene glutflüssige (magmatische) Zwischenlage oder ob es durch die allgemeine große Plastizität der Tiefenmassen ermöglicht wird, ist eine Sache für sich. Wenn nun die, wie Ampferer sagt, „tote träge Erdhaut“ dem schwindenden Kerne nachsinkt und Einengungen erfahren muß, so werden sich in dem jetzt beginnenden Kampfe um den Raum die stabilen, d. h. nicht oder schwer faltbaren Teile wie starre plumpe Klötze verhalten und kaum verbogen und eingeengt werden; die mobilen, d. h. die leicht faltbaren Gesteinsmassen müssen sich aber dann mit dem Rest von Raum, den die stabilen ihnen lassen, abfinden; sie schieben sich bei der Einpassung in diesen Raum zusammen, d. h. sie falten sich und schieben sich sogar, nachdem sie aufwärts bewegt worden sind, über ihre starren Nachbargebiete hinweg.

Auch im Sinne der Schrumpfungstheorie haben wir, um mit Ampferer zu reden, einen „aktiven Unterbau“ und einen „passiven Oberbau“ zu unterscheiden, „womit gesagt sein soll, daß die Gebirge bildenden Bewegungen in der Tiefe vor sich gehen und von der trägen, passiv darüber lastenden Erdhaut nur entsprechend verschleiert abgebildet werden“<sup>30</sup>). Allerdings verzerrt sich die „Abbildung“ der Tiefenvorgänge auf dem Wege bis zur äußeren Kruste infolge zunehmender Differenzierung der Mobilitätsverhältnisse bis zur Unkenntlichkeit.



Es erscheinen uns nunmehr

- 1) die Lokalisierung der Faltungen in bestimmten, eben den mobilen Zonen und ihr Fehlen in anderen, eben den stabilen, trotzdem der Tiefenschwund ein allgemeiner ist, und
- 2) das Auftreten gerichteter Massenbewegungen in der Erdkruste, trotzdem sich aus der Schrumpfung zunächst ein allseitiger Druck ergibt,

als im Sinne der Schrumpfungstheorie gegeben und nicht, wie behauptet wird, als Widersprüche gegen sie. Die Forderung, daß aus der allgemeinen Tiefenschrumpfung allgemeine und in allen Richtungen gehende Fältelung der Erdkruste hervorgehen müßte, könnte man vielleicht gelten lassen in Bezug auf eine gleichmäßig zusammengesetzte Erdhaut, und anscheinend ist auch in den ältesten geologischen Zeiten, als die Erdhaut noch weniger differenziert und dabei auch weniger dick war, die Faltung weit allgemeiner verbreitet und weit weniger an bestimmte Richtungen gebunden gewesen, als in späteren Perioden<sup>31)</sup>. Aber bei zunehmender Differenzierung der Kruste durch tektonische Ereignisse von orogenetischer und epirogenetischer Art, durch die Durchsetzung mit magmatischen Massen, die zu Eruptivgesteinen erstarrten, und durch sonstige Veränderungen, als deren Folge sich stabile und mobile Zonen bildeten, wäre eine gleichmäßige und in allen Richtungen gehende Faltung nicht mehr verständlich; vielmehr ist unter diesen Verhältnissen das verständlich, was wirklich vorliegt, nämlich die Bevorzugung gewisser, d. h. der mobileren, und die Meidung anderer, d. h. der stabileren Räume. Das einfache Prinzip der Arbeitsökonomie, oder, wie v. d. Borne<sup>26)</sup> sagte, der „Satz von der kleinsten tektonischen Arbeit“, bestätigt sich hier wie überall in den geodynamischen Vorgängen. Dem, was vor 18 Jahren Viktor Uhlig<sup>32)</sup> auf Grund tiefen Wissens und weitschauenden Erkennens über die im Laufe der Erdgeschichte zunehmende Lokalisierung der Faltungen infolge zunehmender Differenzierung der Erdkruste und über die zunehmende Anpassung des Faltenverlaufes an die entstehenden widerstandsfähigeren Massen und damit über die Zurückführung der einseitig oder auch doppelseitig gerichteten Bewegungen auf einen letzten Endes allseitigen Druck gesagt hat, kann Wort für Wort nur zugestimmt werden.

Weitere Argumente gegen die Schrumpfungstheorie sind aus dem Wärmehaushalt der Erde abgeleitet worden, insbesondere daraus, daß dem Wärmeverluste durch Aus-

strahlung bedeutsame Wärmegewinne gegenüberstehen. So wird auf den Wärmegewinn durch den Zerfall der in der Erde weitverbreiteten radioaktiven Stoffe hingewiesen. Aber nach kritischer Prüfung ist doch nur zuzugeben, daß wärmeerzeugende Prozesse den Gang der Abkühlung der Erde verlangsamen, nicht aber, daß sie ihn unmöglich machen.

So wird ferner darauf hingewiesen, daß Körper, die Wärme abgeben, zwar schrumpfen, daß aber durch die Schrumpfung wieder Wärme entwickelt wird. Es wird sogar rechnerisch dargestellt, daß Schrumpfung durch Wärmeabgabe für Körper von der Größe der Erde nicht mehr zuträfe, denn eine schrumpfende Erde würde immer wärmer werden. Selbst zugegeben, daß der Wärmegewinn durch die Schrumpfung größer sein würde als die Wärmeabgabe, die die Schrumpfung einleitet, so liegt doch auch hierin nur ein die Schrumpfung verzögerndes Moment; denn schließlich muß doch der Wärmeverlust durch Ausstrahlung so groß sein, daß sich die Erde trotz des Wärmegewinnes durch die Schrumpfung abkühlt. Der Zeitfaktor wird vernachlässigt; wir brauchen uns doch zwischen den einzelnen Schrumpfungsakten nur die nötige Zeit der Wärmeabgabe ohne Schrumpfung eingeschaltet zu denken.

Ferner kann man nicht gelten lassen, daß die hohe Dichte der Erde gegen die Schrumpfungstheorie spräche. Es ist wirklich nicht einzusehen, warum ausgerechnet das heutige spezifische Gewicht der Erde von 5,5—5,6 das Maximum der Verdichtungsmöglichkeit darstellen soll; besitzt doch der Merkur, auch ein Abkömmling der Sonne, das noch höhere spezifische Gewicht von 5,8! Und selbst wenn die Gegenwartsdichte der Erde ihr Verdichtungsmaximum wäre, so dürfte daraus logischerweise die Unmöglichkeit der Schrumpfung doch nur für Gegenwart und Zukunft, aber nicht auch für die geologische Vergangenheit abgeleitet werden.

Endlich sollen die Unterlagen der Schrumpfungstheorie quantitativ unzureichend sein, wie namentlich Dutton bei der Begründung der sog. isostatischen Theorie gesagt hat. Der Wärmeverlust der Erde soll nicht ausreichen, um so große Schrumpfungen, wie sie zur Erklärung der Gebirgsbildung erforderlich sind, hervorzubringen. Ziffernmäßiges Material haben namhafte Physiker für und wider dieses Duttonsche Argument beizubringen versucht; und doch ist's letzten Endes, meine ich, ein müßiger Streit. Der Wärmeverlust der Erde, er mag in

der Zeiteinheit noch so gering sein, ist ausreichend zur Erklärung jedes gewünschten Schrumpfungsbetrages, wenn nur die Zeit lang genug ist. Vor allem darf man aber nicht übersehen, daß als Folge der Abkühlung des Erdinnern im weitesten Umfange Kristallisationsvorgänge anzunehmen sind und daß bei diesen die Volumverluste 6--9 Prozent betragen, während im allgemeinen den Berechnungen der Erdkontraktion nur der thermische Ausdehnungskoeffizient der Gesteine zu Grunde gelegt wird. Und weiter darf man nicht außer acht lassen, daß noch andere Schrumpfungursachen wirken, so die Abgabe von Gasen und magmatischen Massen aus den tieferen Erdzonen<sup>33</sup>).

Auf die Frage, ob sich die Rhythmik der tektonischen Vorgänge mit der Schrumpfungstheorie in Übereinstimmung bringen läßt, komme ich noch zurück.

Man hat sich natürlich mit der Kritik an der Schrumpfungstheorie nicht begnügt, sondern nach Ersatz gesucht und immer wieder die Darbietung des Ersatzes mit der angeblichen Unzulänglichkeit der Schrumpfungstheorie begründet.

Die angebliche qualitative und quantitative Unzulänglichkeit der Schrumpfungstheorie hat auch der Amerikaner Dutton<sup>28</sup>) im Jahre 1892 der Begründung derjenigen Theorie vorangeschickt, die neben der Schrumpfungstheorie noch den weitesten Kreis von Anhängern, solche ganz besonders unter den amerikanischen Geologen und unter den Geophysikern, besitzt, nämlich der sog. isostatischen Theorie. Er ging davon aus, daß in der Erdkruste im allgemeinen Isostasie herrsche, daß diese aber Störungen erführe, indem z. B. die aufragenden Erdgebiete abgetragen und dadurch entlastet, die Niederungen aber aufgefüllt und dadurch belastet würden. Solche Störungen des Massengleichgewichtes durch Belastung („Loading“) und Entlastung („Unloading“), solche anisostatischen Zustände, sollen dann durch Bewegungsvorgänge in der Erdkruste, insbesondere durch Faltungen, hervorgerufen durch das Andrängen der belasteten Zonen (Geosynklinalen) gegen die entlasteten (Festländer), ausgeglichen werden.

Der Begründer der isostatischen Theorie hat die Verhältnisse eines einzigen Kontinents, Amerikas, im Auge gehabt. Ihm, wie überhaupt den Geologen jener Zeit, war noch nicht ausreichend zum Bewußtsein gekommen, was wir als das orogenetische Zeitgesetz bezeichnet haben, nämlich die Gleichzeitigkeit der Gebirgsbildungen in den verschiedensten Erdgebieten. Diese Erfahrungstatsache gibt den Ausschlag gegen die Duttonschen Vor-

stellungen. Nach ihnen entstehen ja die Gebirge infolge örtlicher Ursachen; allmählich soll mit dem Sinken der Geosynklinalen ein Zustand heranreifen, der sich schließlich in Faltungen auslöst. Aber Faltungen sind eben allgemeinere Erscheinungen und ereignen sich gleichzeitig selbst in weit auseinanderliegenden Erdzonen. So können auch die Ursachen der Faltung nicht in den einzelnen Geosynklinalen liegen, sondern müssen allgemeiner Art sein. Die Geosynklinalen sind als Zonen hoher Faltbarkeit nur die gegebenen Stätten, in denen die aus allgemeineren Ursachen nötig werdende Raumverengung zur Auswirkung kommt.

Gegenüber den Erfahrungen, die im orogenetischen Gleichzeitigkeitsgesetze ausgesprochen sind, können aber auch alle anderen Erklärungsversuche für die Gebirgsbildung nicht bestehen, soweit sie von örtlich sich entwickelnden Ursachen ausgehen. Ich denke dabei z. B. an die *Readesche*<sup>32)</sup> Theorie der Faltung infolge thermischer Schwellung, die *Reyersche* Theorie der Gleitfaltung<sup>33)</sup> und an *Wegeners* neueste Versuche, die Entstehung der Gebirge durch Zusammenstauung von Gesteinsmassen vor großen treibenden Kontinentalstücken zu erklären<sup>36)</sup>.

Auch die *Ampferersche* Unterströmungstheorie kann der Gleichzeitigkeit des orogenetischen Geschehens in relativ kurzen Zeitperioden erst dann gerecht werden, wenn die angenommenen Massenbewegungen im Untergrunde, deren „Abbildung“ die Faltungen sein sollen, als episodische, dann aber gleichzeitig unter vielen Erdzonen eintretende Geschehnisse dargelegt worden sind. In dieser Hinsicht befriedigende Darlegungen findet man bisher aber weder bei *Ampferer*<sup>37)</sup>, noch bei *Andrée*<sup>38)</sup> und *Koßmat*<sup>39)</sup>. M. E. sind Unterströmungen, d. h. Tiefenbewegungen von Art eines zähen Gleitens, und Schrumpfungstheorie mit einander vereinbar, indem die „Unterströmungen“ z. B. zusammenhängen könnten mit jenen oben erwähnten Ausgleichsbewegungen, die in dem Raume zwischen dem allgemein schwindenden Erdkerne und der örtlich zusammengeschobenen Außenkruste sich abspielen müssen.

\* \* \*

Bisher war von der Erklärung der gebirgsbildenden (orogenetischen) Vorgänge die Rede. Als viel schwieriger gilt die Frage, wie die schwachen, aber dauernden Hebungen und Senkungen größerer Erdgebiete, die sog. epirogenetischen Vorgänge, sich erklären. Es handelt sich um das Problem, das der Ameri-

kaner Le Conte<sup>40)</sup> vor etwa 20 Jahren als das ungeklärteste der Geologie, in das noch nicht der leiseste Lichtschimmer gebracht sei, bezeichnet hatte.

Wie bei der Erörterung der Ursachen der orogenetischen Vorgänge sich das orogenetische Zeitgesetz in den Vordergrund drängte, so scheint mir bei der Beurteilung der Ursache der epirogenetischen Vorgänge die epirogenetische Gleichzeitigkeitsregel von wesentlicher Bedeutung zu sein. Nach ihr können auch die epirogenetischen Bewegungen nicht auf rein örtliche, sondern nur auf allgemeiner verbreitete und allgemeiner wirkende Ursachen zurückgehen. Jedenfalls kann das Hauptmotiv nicht in örtlichen Verhältnissen gesucht werden, wie es die isostatische Theorie tut, mag die Isostasie auch als Nebenmotiv eine nicht geringe Bedeutung haben (s. unten), und wie auch andere Theorien es tun, indem sie von örtlichen Massenverschiebungen in der Tiefe ausgehen, durch die die Erde hier gehoben, dort gesenkt werden soll.

Geben wir zu, daß die Erdschrumpfung die Ursache der orogenetischen Bewegungen ist, was spricht dagegen, sie auch als Hauptmotiv für die epirogenetischen Vorgänge in Anspruch zu nehmen, wie ja auch schon Dana die Entstehung der Geosynklinalen und Geantiklinalen durch den aus der Erdschrumpfung hervorgehenden seitlichen Druck hatte erklären wollen? Gewiß fehlen so auffällige Einengungsbilder wie Faltungen und Deckenschübe; aber es handelt sich ja bei den epirogenetischen Bewegungen nur um zeitlich relativ geringe Leistungen, und in den Verbiegungen der Erdstücke, die dabei eintreten, kann man schließlich eine gewisse Einengung sehen. Es fällt nun folgendes sehr ins Gewicht.

Es war davon die Rede, daß wir Zeiten ganz besonders starker Meereseinengung haben, es sind dieses im allgemeinen die Zeiten der Gebirgsbildung. Das Meer wird in ihnen ja z. T. schon dadurch verdrängt, daß aus dem Meeresboden die Gebirge aufsteigen. Aber gleichzeitig, und darauf kommt es jetzt an, verengern sich die Meere auch da, wo die Bewegungen des Bodens mehr nach epirogenetischer Art<sup>41)</sup> erfolgen. Diese Feststellung des verstärkten Aufsteigens und der Verbreiterung der Festlandsschwellen gerade in den Zeiten, in denen in der Erdkruste die an anderen Stellen sich durch die Gebirgsbildung andeutende starke Stauung herrscht, ist immer wieder zu machen. Daraus ergibt sich der Schluß, daß das verstärkte und erweiterte

Aufsteigen der Festländer mit den starken Druckwirkungen in der Erdkruste auch in kausalem Zusammenhange steht. Umgekehrt liegt es aber dann nahe, in den Zeiten der allgemeinen Meereserweiterungen, in denen die Festländer also weithin überspült werden und überhaupt die Kontraste des Erdreliefs gemildert erscheinen, ein allgemeineres Nachlassen der Stauung in der Erdkruste anzunehmen.

Somit wären wir zu der Auffassung gekommen, daß zunehmende Stauung die Meere einengt, indem sie die Festländer in erweiterten Grenzen auftreibt, abnehmende Stauung aber einen größeren Ausgleich der Reliefverhältnisse unter Überflutung festländischer Zonen bringt; somit wäre der Kanon der Meeresbewegungen, von dem oben die Rede war, zugleich der Kanon der wechselnden Stärke der in der Erdkruste wirksam werdenden Stauung.

Nach den vorstehenden Ausführungen haben der orogenetische Druck, der die Schichten der Erde zusammenschiebt und dabei zu Hochgebirgen aufstaut, und der epirogenetische Druck, der große Erdenheiten, sie schwach verbiegend, hebt und senkt, in den Stauungen infolge von Erdschrumpfung eine qualitativ übereinstimmende und nur quantitativ verschiedene Ursache. Und aus der Verschiedenheit der Stärke und Dauer erklärt sich die verschiedenartige Äußerungsform. Dem langsam und andauernd wirkenden Drucke widerstehen auch die stabilen Zonen nicht, die bei mehr plötzlichem starken Drucke Widerstand leisten. So haben wir die mehr allgemeine Reaktion der Erdkruste auf die epirogenetische, aber die hochgradig lokalisierte auf die orogenetische Stauung.

Aber sicher kommen sekundär auch andere Bewegungsursachen in Frage. „Unterströmungen“, wenn z. T. auch wieder ausgelöst durch Tiefenkontraktion, mögen mitwirken, „Gleitfaltungen“ mögen einmal eintreten, Polverschiebungen und Veränderungen in der Dauer der Erdrotation „mögen wirksam in das tektonische Getriebe eingreifen“ (v. d. Borne), und namentlich für die Epirogenese ist die Mitwirkung von Nebenursachen, so insbesondere der Isostasie, zuzugeben. Das Streben nach Isostasie ist als motorisches Prinzip unbedingt anzuerkennen, wenn auch die Starrheit der Erdkruste zu groß ist, als daß es überall oder gar auch nur in größerem Umfange zur Geltung kommen könnte. Letzteres gilt vor allem für die stärkeren und kurzfristigen Bewegungen, die Orogenesen. Bei den schwachen, langfristigen

Vorgängen, den Epirogenesen, wird jedoch in weit höherem Maße die Starrheit der Erde, die sich dem isostatischen Ausgleich entgegenstellt, überwunden, und ganz besonders scheint das isostatische Prinzip dabei in den an sich mobilen Zonen zur Geltung zu kommen. Ich verweise auf die von Heim auf Grund der Schwermessungen in unseren Hochgebirgen entwickelte Vorstellung des säkular vor sich gehenden Einsinkens der Gebirge nach ihrer Auffaltung, wenn auch hier das Hauptmotiv der epirogenetischen Vorgänge, nämlich die großwellige Verbiegung der Erdstreifen, nicht ausgeschaltet erscheint. Sollte ferner die bisher besonders auf die Hecker'schen Messungen sich gründende und bei den Geophysikern und Geologen tief eingewurzelte Vorstellung von der allgemein großen Schwere des Bodens der Ozeane weitere Bestätigung finden, und sollten die Bedenken, die vor allem E. Sueß geäußert hat, mit dem Fortgange der Schwereuntersuchungen hinfällig werden, so würde man auch im Sinken der Ozeane eine stärkere Mitwirkung des isostatischen Prinzips erblicken dürfen<sup>42)</sup>.

Daß wir zwar von dem orogenetischen Zeitgesetze, aber nur von einer epirogenetischen Zeitregel sprechen durften, daß also von dem Kanon der epirogenetischen Vorgänge so viele Ausnahmen bestehen, die in den Ausnahmen vom Kanon der Meeresbewegungen kenntlich werden, das wird uns jetzt dadurch erklärlich, daß hier neben dem Hauptmotiv, das dem Kanon wohl zu Grunde liegen dürfte, andere Bewegungsursachen nicht unbedeutend mitwirken<sup>43)</sup>.

Das Urteil über die Schrumpfungstheorie fasse ich folgendermaßen zusammen:

die Schrumpfungstheorie ist nicht widerlegt;  
noch viel weniger ist besseres an ihre Stelle  
gesetzt worden.

Wir verlangen von einer verwendbaren Theorie zunächst, daß sie das gegebene Erfahrungsmaterial in möglichst weitem Umfange zu erklären vermag und jedenfalls mit ihm nicht in Widerspruch steht. Ihr Prüfstein liegt aber weiter darin, ob sie darüber hinaus neue Erkenntnisse einleitet, — und in beiderlei Hinsicht hat die Schrumpfungstheorie ihren Wert bewiesen.

Allerdings vermag sie sich heute noch nicht mit einem wichtigen Ergebnisse der vergleichenden Geologie in befriedigender Weise abzufinden, nämlich mit dem Rhythmus der tektonischen Vorgänge, der in der zeitweiligen Unter-

brechung der relativ schwachen und mehr oder weniger kontinuierlichen epirogenetischen Vorgänge durch die starken Orogenesen zum Ausdruck kommt. Dabei ist zwar auch die sog. Kontinuität nach den Äußerungsformen der Epirogenese wohl mehr als eine Folge kleiner Einzelrucks, denn als ein wirklich gleichmäßig fortfließender Prozeß aufzufassen. Wie kommt es, — so lautet die vom Standpunkte der Kontraktionstheorie aus zu stellende Frage, die noch befriedigender Lösung harrt —, daß die Abkühlung der Erde im allgemeinen zu mehr oder weniger kontinuierlichen und relativ schwachen, dann aber vorübergehend zu so außerordentlich starken Schrumpfungen, wie sie sich in den Faltungen ausdrücken, führt?

Daß stetige Ursachen unstetige Wirkungen haben, ist an sich physikalisch durchaus denkbar. Die verschiedensten Arten von Sperrungen, sei es aus mechanischen, sei es aus sonstigen physikalischen, sei es aus chemischen Gründen mögen in unserem Falle wirksam und erst bei einem gewissen Fortschreiten der Abkühlung überwindbar sein. Es mag sich also dauernd potentielle Energie entwickeln, die aber nur von Zeit zu Zeit kinetisch wird. Dabei bedenke man auch, wie wenig wir über die stoffliche Zusammensetzung des Erdinnern, wie wenig wir vor allen Dingen von der Physik der ganz hohen Drucke, unter denen die Stoffe ja im Erdinnern stehen, wissen. Dort mögen Quellen der Erwärmung und Abkühlung, der Dehnung und Schrumpfung stecken, über die wir heute noch kein Bild haben, und die vielleicht sogar ganz außerhalb unseres bisherigen Gesichtskreises über die Physik der Materie liegen<sup>44</sup>), — und aus solchen Verhältnissen, die dazu sich in wechselnden Tiefen infolge der wechselnden Material-, Wärme- und Druckverhältnisse verschiedenartig einstellen könnten, mag sich der aus der geologischen Geschichte unserer Erde ermittelte Schrumpfungsrhythmus ergeben.

Bedeutet doch bei dem verwickelten Wärmehaushalte der Erde, in dem die verschiedensten Energiequellen mitsprechen und bisher noch ganz unbekannte Energiequellen in Frage kommen mögen, Stetigkeit der Wärmeabgabe nicht unter allen Umständen eine Stetigkeit der Abkühlung. Bedeutet doch weiter selbst die Stetigkeit der Abkühlung nicht unter allen Umständen die Stetigkeit der Schrumpfung, — denn auch zu Dehnungen kann Abkühlung führen, und dehnende Vorgänge mögen in bald stärkerem, bald geringerem Maße die Schrumpfungsvorgänge



ausgleichen. Ist doch z. B. Eis leichter als Wasser, hat hier also doch ein Abkühlungsvorgang zu einer Dehnung geführt; und ich verweise auch auf Tammanns in den Kreisen der Geologen und Geophysiker außerordentlich beachtete Untersuchungen über den sog. maximalen Schmelzpunkt<sup>45</sup>). Nach ihnen gilt der Satz, daß der Kristall schwerer ist als seine Schmelze, also die Kristallisation unter Schrumpfung erfolgt, nur bis zu einem maximalen Drucke, während bei weiterer Drucksteigerung das umgekehrte der Fall ist. Wirkt doch ferner die Schrumpfung selbst wärmeerzeugend, und so mag vielleicht die mehrfach sich andeutende Auflösung der sog. kontinuierlichen epirogenetischen Bewegungen, oder wie wir nun im Sinne der Schrumpfungstheorie sagen, die Auflösung der sog. kontinuierlichen Schrumpfung in Einzelrucks damit zusammenhängen, daß nach dem Einzelruck die durch ihn erzeugte Wärme zunächst einmal wieder durch säkulären Wärmeabfluß ausgeglichen werden muß, ehe ein neuer Ruck einsetzen kann.

Wie dem auch sei, — jedenfalls kann nicht zugegeben werden, daß die Vorstellung der Erdschrumpfung durch den Rhythmus der tektonischen Vorgänge widerlegt sei. Die Aufgabe des Geologen ist wohl im wesentlichen damit abgeschlossen, daß er diesen Rhythmus erkannt und damit die Problemstellung gegeben hat, um deren Lösung sich Physik und Chemie und ihre Nachbarwissenschaften bemühen müssen.

Und nun noch ein letztes. —

Als einen der glücklichsten Griffe der Naturforschung hat Helmholtz die Kant-Laplacesche Theorie über die Entstehung der Sternenwelt, die er ja nach der physikalischen Seite weiter ausgebaut hat, bezeichnet. In zunächst ungeheurer Verdünnung wird die Materie, die heute in den Himmelskörpern vereinigt ist, angenommen. Infolge der allgemeinen Massenanziehung kommt es zu Zusammenballungen unter gewaltiger Wärmeentwicklung; aus den sich zusammenballenden Massen wird der Nebelstern und unter Fortgang von Kontraktion und Erhitzung der hellleuchtende Fixstern. Es kommt im Laufe der weiteren Ballungsprozesse zu Ablösungen von Teilen des Sternes, es entstehen seine Planeten, die selbst wieder durch Absplitterung Unterplaneten, wie unsere Erde den Mond, erzeugen.

Der Wärmeverlust an den Weltraum vermindert nun den durch Ballung erzielten Wärmegewinn. Mit der Zeit gewinnt er die Überhand. Es wird mit der nunmehr einsetzenden Abkühlung

aus dem helleuchtenden weißen Sterne der mehr gelbliche Stern, wie unsere Sonne jetzt ein solcher ist, bei weiter fortschreitender Erkaltung der rötliche Stern und, wenn endlich die eigne Leuchtkraft versagt, der Dunkelstern.

Mag auch im Lichte der neueren Forschungen, ganz besonders der physikalischen Forschungen der beiden letzten Jahrzehnte, die Kant-Laplacesche Theorie ergänzungsbedürftig sein, wie vor kurzem noch Nernst in einem Vortrage über das Weltgebäude<sup>46)</sup> ausgeführt hat, so bleibt sie doch, wie auch Nernst wieder sagt, in ihren Grundzügen und vor allem darin, daß die Masse der Planeten einst im Nebelstern versammelt war, bestehen.

Kontraktion ist das Grundprinzip der Kant-Laplaceschen Theorie; dabei tritt zur Kontraktion infolge der Massenanziehung mit der Zeit die Kontraktion infolge der Wärmeabgabe an den Weltenraum. Die, ich möchte sagen, logische Fortentwicklung der Kant-Laplaceschen Theorie für die Zeit, nachdem die Erde zum Dunkelstern geworden war und sich mit einer Erstarrungskruste umkleidet hatte, ist die geologische Schrumpfungstheorie, die im Fortgange der Verdichtung des Erdkernes die Ursache der Gebirgsbildung sucht.

Aber gesetzt den Fall, die Schrumpfungstheorie hätte Unrecht, — wann hätte dann in der Geschichte unseres Planeten die Schrumpfung zu wirken aufgehört? Das ist doch eine Frage, die unbedingt erhoben werden müßte. Etwa damals, als sich unser Planet mit der ersten festen Kruste umkleidet hatte? Warum denn gerade damals? Ein plausibler Grund wäre nicht beizubringen. Oder erst später? Sind zwar die älteren Gebirgsbildungen noch auf Schrumpfung zurückzuführen, die jüngeren aber nicht mehr? Auch das wäre bei der Ähnlichkeit der Erscheinungen eine höchst unplausible Sachlage<sup>47)</sup>. Zu dieser Frage mögen einmal diejenigen das Wort nehmen, die zwar für das Sternzeitalter der Erde auf dem Boden der Kant-Laplaceschen Theorie stehen, die aber für die darauf gefolgte geologische Zeit die Schrumpfung der Erde ablehnen wollen.

---

### Anmerkungen.

1) Vgl. hierüber E. Tietze, „Einige Seiten über Eduard Sueß“. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst. Wien 1916, Bd. LXVI, S. 333 ff., insbes. S. 395 ff.

2) James Hall, Natural History of New York, Paleontology, Vol. III. Albany 1859.

3) James D. Dana, On some results of the Earth's Contraction from coaling etc. Am. Journ. of Scienc. 3<sup>d</sup> ser. 1873.

4) So entstand „Paläoeuropa“ (vergl. H. Stille, Über Alter u. Art der Phasen variszischer Gebirgsbildung“. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-phys. Kl. 1920, S. 218 ff.) durch die kaledonischen Faltungen der Silurzeit im wesentlichen in einer zwischen den beiden Urkernen Europas, nämlich Eria (Atlantis) im Nordwesten und Fennosarmatien im Nordosten und Osten, nordwärts sich erstreckenden und eine Verbindung mit dem uralten arktischen Meere vermittelnden Ausbuchtung der Thetys. Durch Paläoeuropa wurden die beiden Urkerne Europas miteinander verschweißt, und die verschweißte Einheit bildete im Devon und Altkarbon den nördlichen Rahmen der nunmehr stärker eingengten Thetys. Durch die in der jungpaläozoischen Zeit eintretenden variszischen Faltungen wurde die Thetys dann wieder um den Bezirk von „Mesoeuropa“ eingengt, und eine abermalige wesentliche Einengung brachten die jüngeren alpidischen Faltungen. So umgab sich Ureuropa mit seinen Faltenkränzen, seinen „Descendenzen“; so können wir das kaledonisch entstandene Paläoeuropa als die erste, das variszisch entstandene Mesoeuropa als die zweite und die Gebiete der alpidischen Faltung, — wenigstens soweit in ihnen die Faltung gegen den Nordrahmen gerichtet ist, d. h. um mit Kober (Der Bau der Erde, Berlin 1921) zu reden, den „alpidischen“ Stamm des alpinen „Orogens“, — als die dritte Descendenz Ureuropas bezeichnen. Im großen und ganzen spiegelbildlich dazu umzog sich der Südrahmen der Thetys, die afrikanische Masse, ein Stück des alten Gondwana-Kontinents, auf Kosten der Thetys mit seinen Descendenzen, und „afrikanischer“ Abstammung ist in diesem Sinne auch ein Teil Europas, nämlich der lange Zug der gegen Afrika gerichteten Faltengebirge von den Dinariden über die Südalpen und den Apennin zu den Falten Siziliens, d. h., um wieder mit Kober zu reden, der „dinarische“ Stamm des alpinen Orogens. So enthält Europa einen sehr großen — ich möchte sagen — „arktogenen“, d. h. in Angliederung an Ureuropa durch Nordfaltung entstandenen, und einen kleineren — ich möchte sagen — „meridiogenen“, d. h. in Angliederung an Afrika durch Südfaltung gebildeten Teil; daß infolge der Bogenformen in den Südkarpathen und Südpirenen eine Südfaltung als „inverse Nordfaltung“ auftritt, wie auch die Nordfaltung des Apennin nur eine „inverse Südfaltung“ ist, ändert wenig an dem Gesamtbilde. Die Grenze des arktogenen und des meridiogenen Teiles und damit wohl die Hauptscheide der europäischen Tektonik verläuft also von der Meerenge von Gibraltar, wo die Nordfaltung der noch arktogenen betischen Ketten in die Südfaltung der schon meridiogenen Riffketten einlenkt, über das westmediterrane Zwischengebirge im Sinne Kobers und

durch die Alpen zum pannonischen und weiterhin zum ägäisch-kleinasiatischen Zwischengebirge.

Die Descendenzen Ureuropas erfüllen, wie im allgemeinen die Faltenkränze um die starrereren Schwellen, nicht die Forderung der Geschlossenheit, die nach Ampferer (l. c. 1919, S. 145) erhoben werden müßte, wenn die Kontraktions-theorie zuträfe. So fehlt ja die 1. (kaledonische) Descendenz, die um den europäisch-arktischen Rand von Eria nach den Darstellungen O. Høltedahls („Paleogeography and Diastrophism in the atlantic-arctic Region during paläozoic Time“, Am. Journ. of Science, Vol. XLIX, 1921, S. 1 ff.) einigermaßen vollständig ist, entlang der südwestlichen Randzone von Fennoarmatien, so daß z. B. in Polen (Poln. Mittelgebirge) die 2. Descendenz unmittelbar an Ureuropa anschließt. Weiter südöstlich fehlt am Rande der Podolischen Platte aber auch die 2., die variszische, Descendenz, sodaß die 3., die alpidische, sich hier mit den Karpathen unmittelbar an Ureuropa legt.

Diese Unvollständigkeit der Faltenkränze ist ein Problem für sich, bei dessen Deutung vielleicht die Beschaffenheit der Übergangszone zwischen Schwelle und Geosynklinale ins Gewicht fällt. Die starre Schwelle übt während des Faltungsvorganges, u. zw. infolge ihrer Passivität diesem gegenüber, eine stauende (faltenerzeugende) Wirkung auf ihre mobilere Nachbarschaft aus, und ich könnte mir vorstellen, daß diese Wirkung bei unvermitteltem Mobilitätskontraste zwischen Schwelle und Geosynklinale besonders stark, bei einem durch Übergänge mehr vermittelten Kontraste aber gering ist oder gar ausbleibt. Ein sehr allmähliches Einschieben des starrereren Vorlandes unter die Geosynklinale würde in diesem Sinne eine Art „Pufferwirkung“ der Übergangszone und damit ein Ansbleiben der Faltung bedingen, während bei steilerem unterirdischen Abfalle des Randes der Vorlandsmasse Faltung erfolgen würde. In ersterem Falle erfüllte die Geosynklinale zwar die Forderung der Faltbarkeit, aber infolge der Zwischenschaltung der „Pufferzone“ nicht diejenige der Erreichbarkeit für den tektonischen Druck (vergl. H. Stille, „Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen“, Geol. Rundsch., VIII, 1917, S. 107). Die größere oder geringere Steilheit des unterirdischen Abfalles von der Schwelle zur Geosynklinale läge dabei in den Verhältnissen der vorangegangenen Epirogenese begründet. Man kann m. E. aus der Paläogeographie derartige Verschiedenheiten in der Ausbildung der Randgebiete von Schwellen und Geosynkinalen herauslesen. Randzonen mit vorangegangener starker, aber in der Richtung auf die Schwelle bald auskeilender Sedimentation wären weit mehr für die Faltung prädestiniert, als solche mit ebenso starker, dabei aber sehr allmählich auskeilender Sedimentbildung; hier müßte erst der weitere Fortgang der Sedimentation die „Reife“ der Zone für die Faltung herbeiführen.

Wie dem auch sei, — jedenfalls darf man m. E. die Unvollständigkeit der Faltenringe um die alten Massen nicht als Beweis gegen die Kontraktionsvorstellung verwenden.

5) Fast durchweg herrscht heute die Meinung, daß der den Inhalt der Geosynkinalen in der Randzone der Festlandsschwellen („Rahmen“) zu Faltengebirgen zusammenschiebende und in der Richtung auf die Rahmen vorwärtsbewegende Druck in der Richtung von der Geosynklinale gegen das Vorland anzunehmen und daß also eine Nordfaltung durch Druck aus Süden, eine Südfaltung durch Druck aus Norden zustande gekommen sei. Ich selbst bin zwar

der entgegengesetzten Auffassung, daß nämlich die Vorwärtsbewegung der Falten in der Richtung auf den Rahmen auf der teilweisen Unterfahrung des bei der Faltung aufsteigenden Faltenystems durch den im tieferen Niveau verbleibenden Rahmen beruhe, daß also der Faltungsdruck nicht in der Richtung von der Geosynklinale zum Rahmen, sondern vom Rahmen zur Geosynklinale wirke (vgl. „Tekt. Evolutionen und Revolutionen der Erdrinde“, Leipzig 1913, Textfigur S. 26). Diese „Unterschubhypothese“, wie ich sie nennen möchte, wird auch von L. Kober vertreten.

6) Die Diskontinuität der Gebirgsbildung (Orogenese) bedeutet natürlich keineswegs die Diskontinuität der Tektonik, denn die „Tektonik“ umfaßt nicht nur die Orogenese, sondern auch die sog. Epirogenese. Aber es wird so häufig der Fehler gemacht, daß „Gebirgsbildung“ und „Tektonik“ einander gleichgesetzt und auf Grund der Kontinuität der Tektonik dann die Kontinuität der Gebirgsbildung behauptet wird.

7) H. Stille, „Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung“. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, 1918, Sep.-Abdr. S. 4 ff.

8) G. K. Gilbert, Lake Bonneville. U. S. Geol. Surv. Monographs I, 1890. Eine kritische Betrachtung über die Verwendungsart der Begriffe Orogenese und Epirogenese ist gegeben in H. Stille, „Die Begriffe Orogenese und Epirogenese“, Ztschr. d. geol. Ges., Bd. 71, 1919, Abh. S. 164 ff.

9) M. Schmidt, „Erdkrustenbewegung im oberbayerischen Alpenvorland“. Ergänzungsmess. z. bayr. Präzisionsnivell., Heft 2, No. 6. Veröff. bayr. Komm. f. d. Intern. Erdmessung. München 1919.

10) H. Stille, „Studien über Meeres- u. Bodenschwankungen“. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, math.-phys. Kl., 1922, S. 83 ff.

11) Zum Beispiel haben wir im Paläozoikum die größten Meereseinengungen vor dem Cambrium (vorkambrische Faltung), zwischen Silur und Devon (jungkaledonische Faltung), zwischen Unter- und Oberkarbon (sudetische Phase der variszischen Faltung) und in der späteren Paläodyas, hier z. T. im Zusammenhang mit der saalischen Phase der variszischen Faltung. Aber auch zwischen Unter- und Obersilur (takonische Phase der kaledonischen Faltung), im Ausgange des Devons (bretonische Phase der variszischen Faltung), wie auch zwischen moskowischer und uralischer Zeit (asturische Phase der variszischen Faltung) sind weithin nicht unbedeutende Regressionen erkennbar. Ich werde über diese Verhältnisse an anderer Stelle berichten. In der jüngstkretazisch-tertiären Zeit haben wir die stärksten Regressionen im Ausgange der Kreide („vortertiäre“ Faltung), unmittelbar vor dem Aquitan (voraquitische Faltung) und unmittelbar vor dem Pontikum (vorpontische Faltung). Für Einzelgebiete ist das Zusammenfallen der Hauptregressionen mit den Faltungen schon vielfach erkannt worden, so z. B. von Leuchs („Zentralasien“, Handb. Reg. Geol. V, 7, S. 39) für Zentralasien. Zwar ist auch das Gegenteil, das Zusammenfallen der orogenetischen Vorgänge mit großen Transgressionen, mehrfach behauptet worden, so neuerdings auch von Kober („Der Bau der Erde“, Berlin 1921, S. 301), und es liegt solchen Behauptungen im allgemeinen die Haugsche Vorstellung, deren allgemeineres Zutreffen ich bestreite (Studien über Meeres- und Bodenschwankungen, l. c. Abs. 5), zugrunde, daß die großen Überflutungen der Festländer „kompensative“ Vorgänge infolge Verdrängung der Wassermassen aus den Geosynklinalgebieten seien. Kober sieht in der Transgression der Oberkreide den

„klarsten Beweis“. Cenoman und Turon sind aber durchaus anorogenetischen Zeiten, denn nirgends ist eine Winkeldiskordanz innerhalb dieser Schichtfolge bekannt; und die „vorgosauische“ Faltung, an die Kober vielleicht denkt, darf man mit allem Recht der auch sonst nachweisbaren vorcenomanen orogenetischen Phase zuteilen, wie auch Heritsch (Handb. d. Reg. Geol., II, 5a, S. 41) tut, soweit sie nicht erst frühsenonen Alters ist. Übrigens sprach auch Haug zu Unrecht von einer „phase de plissement, correspondant au cénomaniens et au turonien“ (Haug, Géosynclinaux et Aires Continentales, Bull. Soc. géol. France, 1900, 3. Série, Bd. XXVIII). Da es neben den Regressionen der orogenetischen Phasen auch solche der anorogenetischen Zeiten gibt, so geht v. Seidlitz (l. c. S. 23) zu weit, wenn er die Regressionen mit orogenetischen Phasen zusammenfallen läßt (Revolutionen in der Erdgeschichte, Jena 1920, S. 23).

12) Hier erweist sich die Paläogeographie als hochbedeutsame Hilfswissenschaft der Tektonik, indem sie uns vor allem die Erkennung der alten epirogenetischen Vorgänge ermöglicht. Die Epirogenesen bedingen aber, wie ich immer wieder zu zeigen versucht habe, die Orogenesen, und so hat Axel Born darin durchaus recht, daß die Tektonik sich immer mehr als eine Funktion der paläogeographischen Verhältnisse erweist (Geol. Rundschau 1922, Bd. 12, S. 294).

13) James Hutton, Theory of the Earth usw. Transact. Royal Soc. Edinburgh, Bd. 1, 1788.

14) Charles Lyell, Principles of Geology 1830.

15) Als neuere Literatur zur Frage des Aktualismus seien genannt

1913: H. Stille, Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Leipzig, Veit & Co.

1918: W. Salomon, Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss., Math.-naturw. Kl., Abteil. A.

1920: W. v. Seidlitz, Revolutionen in der Erdgeschichte. Jena, Gustav Fischer.

Salomon möchte die alte Kataklysmtheorie „in einem gemilderten Sinne“ wieder aufleben lassen in den „Paroxysmen“, d. h. „in weitreichenden, aber doch immerhin nicht universalen Katastrophen“. Als Beispiele nennt er die großen Transgressionen der Meere, Klimaänderungen, plötzliche Verbindungen und Abtrennungen von Meeres- und Landprovinzen, Ausbleiben der gewohnten Nahrung einer Tiergruppe etc. Das sind alles recht bescheidene „Paroxysmen“, die sich aus örtlicher Verstärkung oder Häufung auch heute noch wirksamer Verhältnisse erklären und m. E. im Rahmen des Aktualismus noch ihren Platz behalten könnten. Etwas anders ist es aber mit den Orogenesen als tektonischen Revolutionen, die eine weitgehende Gegensätzlichkeit gegenüber dem, was heute an tektonischen Bewegungen vor sich geht oder in junger geologischer Vergangenheit vor sich gegangen ist, bedeuten.

v. Seidlitz (l. c. S. 33) erkennt „den beständigen Fluß auf- und ab-schwellender Entwicklung“ und meint, daß manches, das infolge unserer lückenhaften Kenntnis heute noch als Umwälzung oder Revolution gilt, mit der Zeit nur als Höhepunkt im gesamten Entwicklungsgange erscheinen wird. Sicher hat er hierin im allgemeinen recht. Auch die Orogenesen sind schließlich „Höhepunkte“ im tektonischen Entwicklungsvorgange, wenn man von den Ursachen

— wenigstens, wie ich sie annehme —, ausgeht; aber in den Erscheinungsformen sind sie eben „Revolutionen“.

16) E. Wiechert, „Über die Massenverteilung im Innern der Erde“. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, Math.-phys. Kl., 1897.

„Die Erdbebenforschung, ihre Hilfsmittel u. ihre Resultate f. d. Geophysik.“ Physik. Zeitschr. 9, 1908. S. 36.

„Was wissen wir von der Erde unter uns?“ Deutsche Rundschau, 33. Jahrg., Heft 12, 1907.

Wiechert-Zöppritz, „Über Erdbebenwellen“. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, Math.-phys. Kl., 1907, S. 415.

Zöppritz-Geiger, „Über Erdbebenwellen. III“. Ebenda 1909, S. 400.

Zöppritz-Geiger-Gutenberg, „Über Erdbebenwellen. V“. Ebenda 1912, S. 121.

16a) Deutsche Rundschau, 1907, S. 390.

17) Eduard Sueß, Antlitz der Erde, III, 2, S. 625 ff.

18) v. Sterneck, „Untersuchungen über den Einfluß der Schwerestörungen auf die Ergebnisse der Nivellements“. VIII. u. IX. Bd. d. Mitteil. d. k. u. k. militär-geographischen Instituts. Wien 1888 u. 1889.

19) F. R. Helmert, „Die Schwerkraft im Hochgebirge“. Veröff. d. Pr. Geodät. Inst. 1890.

20) O. Hecker, „Bestimmung der Schwerkraft auf d. Atlant. Ozean“. Veröff. Pr. Geodät. Inst., N. F., Heft 11, Berlin 1903.

„Bestimmung der Schwerkraft auf d. Indischen u. Großen Ozean.“ Ebenda, N. F., Heft 12, Berlin 1908.

21) Pratt, J. H., „On the constitution of the solid crust of the earth“. Philos. Transact. R. Soc. 1871, Band 161, S. 335.

22) C. E. Dutton, „On some of the greater problems of physical Geology“. Bull. Phil. Soc. Washington, Vol. XI, S. 51—64, 1892.

23) Schon das, was in den Darstellungen über die Schwereverteilung in der Erdkruste als Fundamentaltatsache sich darzubieten pflegt, nämlich das gesteigerte Gewicht des Bodens unter den Ozeanen, das die große Einsenkung des Untergrundes und das geringe spezifische Gewicht der über ihm stehenden Wassermassen ausgleichen soll, ist nicht unwidersprochen geblieben. Namentlich E. Sueß hat an der Auswertung und Verallgemeinerung der Heckerschen Resultate im Schlußbande seines „Antlitz der Erde“ scharfe Kritik geübt (Antlitz d. Erde, III, 2, S. 710—713) und damit Zustimmung gefunden (vgl. Tornquist, Allgemeine Geologie, Leipzig 1916, S. 46). Heckers Messungen zeigen nach Sueß, daß zwar schwere Felsarten in der Tiefe der Ozeane vorhanden, daß sie aber wahrscheinlich örtlich begrenzte Vorkommen (Umgebung von St. Paul im Atlantischen, der Hawai-Inseln im Pazifischen Ozean) sind, während sich bei Nichtberücksichtigung dieser örtlichen Schweregebiete aus Heckers Messungen sogar ein Minus an Masse unter den Tiefen der Ozeane ergeben soll. H. Wolff, ein Schüler Helmersts, hat zwar das Zutreffen der Isostasie für den Atlantischen, Pazifischen und Indischen Ozean bestätigen zu können geglaubt, immerhin stand auch ihm nur die schmale Basis der Heckerschen Beobachtungen, die er erneut durchrechnete, zur Verfügung (H. Wolff, „Die Schwerkraft auf dem Meere u. die Hypothese von Pratt“, Diss., Berlin 1913). Für

das Mittelländische Meer hat aber auch nach H. Wolff („Die Schwerkraft auf dem Mittelländischen Meere und die Hypothese von Pratt“. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 14, 1916, S. 206) die Pratttsche Ausgleichshypothese keine Gültigkeit.

Betrachten wir nunmehr ein Gebiet von weitgehender Erforschung seiner Schwere, etwa Mitteleuropa, dessen gravimetrische Verhältnisse neuerdings K o ß m a t („Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde“, Abhandl. d. Sächs. Akad. d. Wiss., Math.-phys. Kl., Bd. XXXVIII, No. II, 1921) kartographisch dargestellt und geologisch auszuwerten gesucht hat. Der erhebliche Mangel an Untergrundmasse unter den Hochgebirgen tritt im allgemeinen Verlaufe der Alpen, des Apennin, der Karpathen, der Dinariden usw. deutlichst in Erscheinung. In den Alpen liegt das größte Massendefizit im allgemeinen auch unter den aufragendsten Teilen des Gebirges, im Apennin und in den Karpathen, d. h. in den Gebirgen, die der Geologe als einseitig gebaut charakterisiert. ist es aber etwas nach außen oder sogar in das Vorland der Gebirge verlegt, und so ist die Sachlage auch in anderen Gebirgen von einseitigem Bau, wie im Himalaya. Doch auch innerhalb der Alpen stellen sich wieder Unstimmigkeiten gegenüber der P r a t t s c h e n Hypothese ein, indem z. B. in der Zone Varallo-Biella-Ivrea ein bedeutendes Übergewicht des Bodens festzustellen ist. In den Karpathen sind solche Inkongruenzen außer durch die Lage des größten Defizits unter der Nordabdachung durch große Überschüsse gegeben, die von der ungarischen Ebene her weit unter den Hochgebirgskörper vorgreifen. Aber trotz allem bleibt das große Bild des Gebundenseins einer Defizitzone an den Verlauf unserer jungen Hochgebirge bestehen. Immerhin ist die Kompensation der Aufragungen durch Mangel an Tiefenmasse noch keine vollständige, denn trotz des geringeren Gewichts der Tiefe bilden die Alpen in ihrer Gesamtheit noch eine Überlast.

Auffällige Inkongruenzen liegen, wie ein Blick auf K o ß m a t s Karte zeigt, darin, daß Korsika, die bis 2750 m Höhe aufragende Gebirgsinsel, daß Kalabrien mit seinen fast 2000 m Höhe erreichenden Gebirgen, daß weite Teile Siziliens als aufragende Teile nicht ein Defizit, sondern eine Verdichtung der Masse im Untergrunde erkennen lassen.

Zu Hilfhypothesen greift man, um solche Inkongruenzen zu erklären. Durchaus plausibel ist diejenige, daß die isostatische Anpassung mit Rücksicht auf die Starrheit der Erde nur für größere Erdbezirke, nach H e l m e r t für solche, die nicht unter einige 100 km lineare Ausdehnung haben, gilt und daß innerhalb solcher großen Einheiten die Massenverteilung von der isostatischen Lagerung unabhängig sein kann. Man verweist auf den Felsblock, der vom Eisberg getragen wird; der Eisberg als ganzes ist kompensiert, er taucht ein in die wässerige Unterlage entsprechend seiner Schwere; der Stein ist eine örtliche Überlast auf der als ganzes kompensierten Einheit. So würden also auch Korsika und Kalabrien örtliche Überlasten sein. Auch das nördliche Vorland der Karpathen oder der Alpen oder das südliche Vorland des Himalaya wären vom Standpunkte der isostatischen Lehre in ihrer Eigenschaft als Defizitgebiete nur als Teile größerer und in ihrer Gesamtheit kompensierter Einheiten zu verstehen. K o ß m a t hat den Versuch unternommen, die Inkongruenzen im Bereiche der mediterranen Kettengebirge und ihres nördlichen Vorlandes durch die geologischen Verhältnisse unter Aufnahme von Hilfhypothesen zu erklären;



wie dem auch sei, so bleibt doch bestehen, daß auch recht große Bezirke nicht kompensiert sind.

Betrachten wir nun die Schwereverhältnisse Deutschlands.

Bei weitgehender isostatischer Anpassung müßten wir im norddeutschen Tieflande etwa normale Schwere, wie sie der geologischen Breite entspricht, erwarten und wir müßten, nach Süden ins Gebirgsland gehend, allmählich eine etwas geringere Schwere erhalten. Es gehört viel guter Wille dazu, um im großen Bilde Deutschlands eine schwache Andeutung dieser Verhältnisse zu erkennen; aber sowie man nur die Einzelgebiete, auch die größeren, für sich betrachtet, stößt man auf Inkongruenzen, ja geradezu auf Umkehrungen dessen, was bei etwas empfindlicher Isostasie zutreffen müßte. Man erwartet unter den Aufragungen vom Charakter der sog. „Horste“ wie unter Harz, Schwarzwald, Vogesen, entsprechend ihrer Aufragung ein Minus, und man findet gerade hier ein Plus an Masse, z. T. sogar ein recht erhebliches. Man erwartet unter der langgestreckten Niederung, die der Oberrhein durchfließt, eine gesteigerte Schwere und man findet hier weithin ein erhebliches Defizit. Gewiß fallen an anderen Stellen des außeralpinen Mitteleuropas auch Aufragung und Massendefizit zusammen, — aber daß das Verhältnis von Orographie und Schwere einer Regel im Sinne der Gleichgewichtstheorie unterläge, wie eine solche trotz mancherlei Ausnahme in unseren Hochgebirgszonen sich andeutet, ist nicht zuzugeben.

Vorstehende Ausführungen sollen gewiß keine Bedenken hinsichtlich des isostatischen Bewegungsmotives an sich zum Ausdruck bringen, sondern nur dessen geringe Empfindlichkeit.

24) A. Heim, „Geolog. Nachlese“ No. 1. Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich 1892.

„Das Gewicht der Berge“. Jahrb. d. Schweizer Alpenklub, 53. Bd. Zürich 1918, S. 179.

Ferner „Geologie der Schweiz“, Bd. 2. Leipzig 1919, S. 52.

25) Daß die Gebirge nicht nur in den Höhenraum, sondern infolge ihres Gewichtes auch in die Tiefe gehen, ändert nichts an der Gültigkeit des orogenetischen Hochbewegungsgesetzes (vgl. Stille, „Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung“. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-phys. Kl. 1918), nach dem alle Gebirgsbildung, auch des Bruchfalten- und Blockgebirges, unter Aufwärtsbewegung gegenüber den ozeanischen Spiegel erfolgt. „Stilles orogenetisches Hochbewegungsgesetz hat nur auf die Oberfläche Bezug“, sagt K o s s m a t (Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erde. Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss., 38. Bd., Nr. 2, 1921, S. 11, Anm. 15), und darin hat er recht, denn es soll auch nur das Verhältnis der Gebirgsbildung zum Meeresniveau ausgedrückt sein.

26) G. von dem Borne, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 9, 1908, S. 395.

27) Élie de Beaumont, Extrait d'une série de recherches sur quelques-unes des Révolutions de la surface du globe etc. Annales des Sciences naturelles Bd. XVIII u. XIX, 1829 u. 1830.

28) Élie de Beaumont, Notices sur les systèmes de Montagnes. Bd. III. Paris 1852.

29) O. Ampferer, „Das Bewegungsbild von Faltengebirgen“. Jahrb. d. k. k. Geolog. Reichsanst., Bd. 56, 1906, S. 539 ff.

Ders., „Geometrische Erwägungen über den Bau der Alpen“. Mitt. d. Geolog. Ges. Wien 1919, S. 135 ff.

30) O. Ampferer, 1919, l. c. S. 150.

31) Vgl. u. a. V. Uhlig, Über Gebirgsbildung. Wien 1904, S. 9 u. 10.

Nach Uhlig ist bezeichnend für die archaischen Faltungen 1) ihre Ubiquität („die Faltung war in jener frühesten Urzeit der Erde ein universeller Prozeß, der in allen Teilen der Erdkruste Spuren hinterließ“) und 2) die „mannigfach gewundene, wellig gekrümmte, oft fast kreisförmige oder selbst winkelig gebrochene Streichungsrichtung“.

32) V. Uhlig, l. c.

33) An letztere Verhältnisse hat namentlich Walther Penck („Der Südrand der Puna de Atacama“, Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. Leipzig 1920, XXXVII, 1 und „Die Entstehung der Gebirge der Erde“, Deutsche Revue, Sept. u. Okt. 1921) unter Zugrundelegung seiner Studien in der Puna de Atacama angeknüpft und er hat sogar den ganzen faltigen Zusammenschub als Leistung des Magmas, das bei seiner Wanderung aus der Tiefe zur Oberkruste in der Tiefe ein Schwinden und in der Oberkruste eine Massenvermehrung herbeiführt, deuten wollen. Kossmat („Mediterrane Kettengebirge etc.“, l. c., S. 51) stimmt ihm darin zu, „daß das Magma durch seine Einbeziehung in die Bewegungen den vertikalen Effekt (Höhe und Tiefe der Faltung) und auch den horizontalen Zusammenschub größer erscheinen läßt, als er ist“. Ich möchte glauben, daß Penck die quantitative Bedeutung solcher Vorgänge für das Zustandekommen von Faltungserscheinungen ungemein überschätzt.

34) Mellard Reade, The origin of Mountain Ranges, considered experimentally, structurally, dynamically and in relation to their geological History. London 1886.

35) E. Reyer, Theoretische Geologie. Stuttgart 1888, S. 409. — Geologische Prinzipienfragen. Leipzig 1907, S. 142 ff.

36) A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente u. Ozeane. 2. Auflage. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1920.

Nach Wegener (S. 35) entstehen Faltengebirge „am Vorderrande triftender Schollen“; „Faltungs- und Verschiebungskräfte“ sind identisch. So müßten — und so sollen ja auch nach Wegener, wenigstens wird das für die Anden bestimmt ausgesprochen — die pazifischen Randgebirge Amerikas im Zusammenhange mit dem Entstehen und der Erweiterung der „atlantischen Spalte“, an der sich Amerika von Europa-Afrika getrennt haben soll, entstanden sein. Diese Spalte riß nun nach Wegener im Süden zuerst auf, und zwar soll es im oberen Eozän zur völligen Abtrennung der von nun an westwärts treibenden südamerikanischen Scholle gekommen sein; die Abtrennung Nordamerikas von Europa soll später, diejenige des arktischen Nordamerika von Grönland und dem arktischen Europa sogar erst im Diluvium erfolgt sein. Dabei stellt sich Wegener, wenn ich ihn recht verstehe, dieses Westwärtstreiben der amerikanischen Schollen als einen einigermaßen kontinuierlichen Prozeß, der ja heute noch fortgehen soll, vor.

Betrachten wir nun aber die Chronologie der pazifischen Faltungen Amerikas.

Im Westen Nordamerikas haben wir zwei Hauptfaltungen, die „Pacific-Revolution“ der jüngstjurassischen Zeit (vergleichbar der kimmerischen Gebirgsbildung Europas), die besonders in den westlichsten Ketten (Sierra Nevada,

Cascade-Mountains, Coast-Ranges) erkennbar ist, und die an der Wende von Kreide und Tertiär eingetretene „Laramide-Revolution“, die Hauptfaltung der östlichen Ketten, der eigentlichen Rocky Mountains. Weitere orogenetische Vorgänge sind im jungen Miozän, im jungen Pliozän und auch noch im Diluvium nachzuweisen; diejenigen im jungen Miozän machten sich noch kräftig im Gebiete der Coast Ranges geltend, aber im übrigen sind doch, wie es scheint, alle jüngeren orogenetischen Vorgänge in den westlichen Gebirgen Amerikas ziemlich unbedeutend gewesen und haben nur örtlich zu eigentlichen Faltungserscheinungen und im übrigen mehr zu Schollenbewegungen geführt.

Im pazifischen Südamerika scheint die Sachlage ähnlich zu sein; die Hauptfaltung ist hier wohl die vortertiäre (vgl. u. a. H. Gerth, Geol. Rdsch. 1915, Bd. VI), die der „Laramide-Revolution“ Nordamerikas entspricht. Auch jüngere Orogenesen sind eingetreten, aber sie waren hinsichtlich des Betrages des Zusammenschubes, — und darauf kommt es ja im Sinne der Wegenerschen Hypothese an —, unbedeutend; dazu erfolgten sie natürlich episodisch und nicht kontinuierlich.

Es bestehen also starke Anachronismen zwischen Ursache und Wirkung im Sinne Wegeners. Als Amerika sich von Afrika-Europa losgerissen haben soll, waren die Hauptfaltungen der pazifischen Ketten bereits erfolgt, und die späteren relativ geringfügigen Wiederholungen der Faltung waren dazu episodische Erscheinungen und als solche nicht erklärbar aus einem allmählich sich vollziehenden Ablösen und Westwärtstreiben der amerikanischen Kontinental-schollen.

Wäre, wie Wegener behauptet, „das riesige Andengebirge gleichaltrig mit der Verschiebung der amerikanischen Schollen nach Westen“, so müßten diese Schollen, abgesehen von älteren Bewegungen, eine gewaltige ruckartige Westwärtsverschiebung zwischen Kreide- und Tertiärzeit erfahren haben, und ihr müßten einige wenige unbedeutende, aber wieder ruckartige Westwärtsverschiebungen zu späteren Zeitpunkten gefolgt sein. Aber ganz anders der Zeit und Art nach haben sich nach Wegener Ablösung und Westtriftung vollzogen.

37) Ampferer, l. c.

38) K. Andréé, „Bedingungen der Gebirgsbildung“. Berlin, Gebr. Bornträger, 1913, S. 49.

39) F. Koßmat, l. c. S. 35, Anm. 34.

40) Le Conte, Joseph, „Earth-crust movements and their causes“. Bull. Geol. Soc. America, Vol. 8, 1897, S. 122.

41) Es handelt sich hier im wesentlichen um die sog. „synorogenetischen“ Vorgänge, d. h. um solche, die der Zeit nach mit den orogenetischen zusammenfallen, der Art nach aber den epirogenetischen nahestehen. Sie ereignen sich während der Faltungen abseits von den Zonen der eigentlichen Orogenese (vgl. H. Stille, Die Begriffe Orogenese u. Epirogenese, l. c. S. 205—207).

42) Vor einer allzu weitgehenden Bewertung der Isostasie als epirogenetischen Nebenprinzipes warnt, daß die Epirogenese oft in verhältnismäßig kleinen räumlichen Abmessungen vor sich geht, innerhalb deren isostatischer Ausgleich nach unseren aus den Schweremessungen geschöpften Erfahrungen nicht erfolgt.

43) Ich verweise z. B. auf das Alttertiär im Gebiete der Westalpen. Hier beginnt die Transgression im Mitteleocän (Lutétien) und setzt sich im Obereocän

und Unteroligocän fort, während der „Kanon“ in dieser Zeitfolge auch regressive Meeresbewegungen verlangt. In diesen Verhältnissen kommt wohl das fortgehende Versinken des damaligen Alpenkörpers etwa im Sinne Heims zum Ausdruck. Ein isostatisches „Nebenmotiv“ scheint hier die Abweichungen vom Kanon zu begründen.

44) Man denke sich um nur zwei Jahrzehnte zurückversetzt. Damals hatte man noch keine Vorstellung von den gewaltigen Wärmequellen, die im Zerfall der radioaktiven Substanzen liegen, und von der Bedeutung dieser Wärmequellen für den Wärmehaushalt der Erde!

45) G. Tammann, Kristallisieren und Schmelzen. Ein Beitrag zur Lehre der Änderungen des Aggregatzustandes. Leipzig 1903.

46) W. Nernst, Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung. Berlin, Julius Springer, 1921.

47) E. Reyer (Geologische Prinzipienfragen, Leipzig 1907, S. 155) hat zwar diese Auffassung zu vertreten versucht. „Wenn die Kontraktion auch nicht hinreicht, die jungen Faltungen zu erklären, so könnte sie doch für die ältesten Epochen bedeutungsvoll gewesen sein. Damals dürfte sie im Verein mit der Förderung der gewaltigen Intrusivmassen, welche die azoischen Schichten durchsetzen, die Erde wesentlich beeinflußt haben. Im Archaischen treffen wir jene eigenartigen vielgewundenen Gekrösefaltungen, welche sich wesentlich unterscheiden von den ruhig streichenden Faltenzügen der späteren Zeit.“

Je weiter wir aber vorankommen in der Analyse der Faltungen des „archaischen“ Grundgebirges, umso mehr enthüllen sich Übereinstimmungen zwischen ihr und den jungen Faltungsvorgängen, und es bleiben schließlich keine grundsätzlichen, sondern nur graduelle Unterschiede.