

# Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen.

Von Dr. Otto Ampferer.

Mit 42 Zinkotypien im Text.

---

## Einleitung.

Auf zweifachen Wegen hat die Geologie tiefen Einfluß auf die moderne Weltanschauung geübt, indem sie einmal das wundervoll verschlungene Wurzelwerk alles organischen Lebens aus unbekannter Tiefe erhob und weiters uns im steinernen, scheinbar starren Antlitz der Erde eine Fülle von bewegten oder beweglichen Zügen verstehen lehrte. Der Macht dieser Anregungen aber steht ein ungeheures Feld zur wissenschaftlichen Erforschung gegenüber, das in solcher Weite, solcher Unerschöpflichkeit vor den Augen keiner anderen Wissenschaft sich breitet.

Die steten Erschütterungen und Erweiterungen unserer Zeit-, Raum- und Kraftvorstellungen hat die Geologie mit der Astronomie gemeinsam, von der sie sich jedoch durch die Nähe und Anschaulichkeit ihrer Schauplätze unterscheidet. In keiner anderen Wissenschaft aber ist der Schatz der gesicherten Beobachtungen im Vergleich zum Un-erforschten, zur Unendlichkeit des Möglichen so bescheiden wie hier und nirgends gehört daher die Hypothese, die Theorie so zum unumgänglichen täglichen Werkzeug des Forschers.

Das mag für viele den Anlaß zu einer geringeren Schätzung bedeuten und gibt der Geologie als Wissenschaft den äußerlichen Anschein des Vergänglichen und Ungefestigten — für den Forscher jedoch kann nach meiner Einsicht nur eine tiefere Lust daraus entspringen, indem die Beschäftigung mit dieser Wissenschaft Schritt für Schritt den schlummerlosen, vollen Einsatz alles geistigen Erkennens fordert, soll anders das Ziel des Strebens rein und klar auf Näherung der Wahrheit gerichtet sein.

So scheint uns hier neben der Fülle des Erreichten vor allem der unermüdet achtsame, stete Entscheid zwischen nahem und nächstem Irrtum als besonders wertvolles und vornehmes Gepräge dieses Denkens, welches von jeder Mechanisierung, Sensation und allgemeinen Verbreiterung entehrt wird.

Wenden wir uns nun unserer Aufgabe zu.

In der neuesten Zeit sind in den Westalpen Hypothesen der Gebirgsbildung entstanden, welche durch das ungeheure Ausmaß und

die Heftigkeit der angenommenen Bewegungen alle Verständigen in Verwunderung gebracht haben.

Man kann diese Bewegungen gewissermaßen als riesenhaft übertriebene, mehrfache einseitige Faltungen in jenem Sinne begreifen, den E. Suess dieser Erscheinung gegeben hat.

Während nun aber diese Ideen in den Westalpen viele und eifrige Anhänger gewannen, stehen ihnen die meisten Geologen der Ostalpen ablehnend gegenüber, da denselben eine große Anzahl von gesicherten Beobachtungen vorliegt, welche damit völlig unvereinbar sind.

Die vorliegende Untersuchung ist nicht durch die Anregungen entstanden, welche tektonische Fragen zweifellos durch das Auftauchen dieser Ideen erfahren haben, sondern stellt einen Teil der Ergebnisse von Studien dar, welche den Verfasser seit mindestens einem Dezennium in gewissem Sinne unablässig beschäftigten.

Die früher nicht geplante Beschleunigung und die gekürzte Form der Veröffentlichung dieser Arbeiten ist allerdings durch jene Anregungen bewirkt.

Die vorliegende Arbeit versucht auf einem neuen Wege zu neuen Entscheidungen und Kriterien über die Entstehung der Faltengebirge zu gelangen. Die Frage nach der Berechtigung der Schardt-Lugeon'schen Überfaltungshypothese bildet somit nur einen Bruchteil der gestellten Aufgabe und wird zusammen mit der Kontraktionshypothese als eine Übertreibung derselben behandelt.

Die Festigkeitsverhältnisse der obersten Erdzone gewähren den natürlichen Ausgangspunkt für diese Untersuchung. Daraufhin werden die Bedingungen der Übertragung von Seitendruck in einem freien Erdringe erwogen. Die hier gewonnene Einsicht wird sofort auf die geschlossene Erdschale gewendet und führt zur Aufstellung jener Faltungsformen, welche in derselben aus irgendwelchem allseitigen Druck hervorgehen können. Damit sind die Mittel für eine Charakteristik der Verteilung und der gegenseitigen Zusammenhänge der Kontraktionsfaltungen geschaffen. Die tatsächlichen Formen lassen sich nicht damit in Übereinstimmung bringen.

Während nun aber dieser Teil der Arbeit die Faltungszonen als große, einheitliche Gebilde ins Auge faßt, sucht der zweite, in die Anatomie der einzelnen Faltungen Einblick zu gewinnen. Wer mit Aufmerksamkeit die modernen Bestrebungen in der Geotektonik verfolgt, wird unschwer zur Erkenntnis gelangen, daß wir es hier mit einer von den älteren Anschauungen sehr abweichenden neuen zu tun haben.

Heute ist die Grundfrage nicht mehr so sehr jene nach der Entstehung der regelmäßigen Faltung, sondern jene nach der Bildung der gestörten.

Die großen Faltengebirge stellen sich durchaus als ganz bedeutende Verwirrungen der normalen Schichtlagerung dar. Der Begriff der Faltung, welcher auf zahlreichen Natur- und Experimentbeobachtungen beruht, gewährt uns hier die allgemeinste und rascheste Ordnung, die größte und bequemste Übersicht. Wir sind an diese Ordnung schon so gewöhnt, daß wir jede Schichtwirre zuerst mit dieser Formel prüfen und damit zu verstehen versuchen.

Je genauer man nun an zahlreichen Stellen diese Prüfung an den Schichtbauten der Faltengebirge unternahm, desto häufiger kamen Unregelmäßigkeiten, Abweichungen von der reinen Faltenform zutage.

Es ist selbstverständlich, daß die älteren Forscher bei der Weite ihrer Aufgabe unmöglich an diesen Abweichungen festhalten und etwa dieselben verfolgen konnten. Ihre Arbeit war vorzüglich eine stratigraphische, welche notwendig von der Aufsuchung der ungestörtesten Stellen am meisten zu gewinnen hatte. So konnte man mit gutem Grunde die verworrenen Schichtknäuel umgehen. Zuerst mußte unbedingt die größere Übersicht geschaffen sein, bevor ein Eingehen auf all die ungezählten feineren Unterschiede in der allgemeinen Ökonomie der Forschung berechtigt war. Wer dann der zahlreichen ausgeschlossenen, unklaren Stellen vergaß, konnte leicht vom übrigen zu einer recht einfachen Vorstellung des Gebirgsbaues verleitet werden.

Heute sind wir oder glauben wir wenigstens so weit zu sein, um für die bestbekanntesten Gebirge die große Frage nach der Natur der gestörten Faltung allgemein zu erheben. Diese Störung kann eine solche der Ablagerung, der Verwitterung oder der Tektonik sein. Alle drei Arten sind häufig vertreten, doch haben wir hier nur die letzte im Auge behalten. Der Versuch, diese tektonischen Störungen im allgemeinen Angriff aus einer gewaltigen Übersteigerung der einseitigen Faltung zu erklären, hat zur Überfaltungshypothese geführt. Damit ist behauptet, daß es eine typische alpine Faltenstörung gebe, und zwar eine vorwiegend horizontale.

Wir werden aus unserer Untersuchung der irdischen Faltenzonen erkennen, daß dieser Versuch unmöglich zum gewünschten Ziele führen kann. Die alpinen tektonischen Faltenabweichungen können nicht durchaus auf das Schema der horizontalen Störung zurückgeleitet werden.

Die Faltungsstränge der Erde können auch ihrer inneren Struktur nach im wesentlichen nicht durch den Einfluß der Umgebung, sondern vielmehr durch jenen ihres Untergrundes erklärt werden.

Sie sind keine passiven Zonen geringsten Widerstandes, sondern Kraftstreifen, da aus ihren Räumen häufig Bewegungen gegen die Nachbarschaft entsendet wurden.

Damit sind wir beim Inhalt des dritten Teiles der Arbeit angelangt, der die Lehre von der Abbildung des Untergrundes in der Erdhaut entwickelt. Von diesem Gesichtspunkte aus können nicht allein die Faltungsstränge, sondern sämtliche anderen inneren Regungen der Erde überschaut werden. Der Verfasser hat es mit Absicht vermieden, außer diesen allgemeinen Kriterien und gesetzmäßigen Forderungen einzelne spezielle Hypothesen an die Öffentlichkeit zu bringen. Es mag vorerst genügen, zu diesen allgemeinen Fragen eine allgemeine Stellung zu behaupten.

Der Schluß der Arbeit gibt neben einer Übersicht der Ergebnisse noch eine Kritik der ganzen hier vorgetragenen Anschauungen. Die zahlreichen Abbildungen sind für eine solche Darstellung ein äußerst notwendiger Behelf. Dies ist umsomehr der Fall, als alle bisherigen Untersuchungen dieser großen Probleme den scharfen, klaren Ausdruck der graphischen Darstellung wenig benutzt oder völlig vermieden haben.

### Vorbemerkungen.

Wichtige Ausmaße der Erde. — Faltungskraft und Gesteinsfestigkeit. — Äußere Umarbeitungs- oder Mischungszone. — Begriff der gleichmäßig getreuen Verkleinerung. — Charakteristik der Erdhaut.

Die Größe und Gestalt der Erde ist durch die Angabe des äquatorialen (12.755 *km*) und polaren (12.712 *km*) Durchmessers innerhalb bestimmter Fehlergrenzen gegeben. Für unsere Untersuchungen genügt die Auffassung der Erde als kugelförmiger Körper mit einem mittleren Durchmesser von 6366·8 *km*.

Die Oberfläche wird durch 510,000.000 *km*<sup>2</sup> ausgedrückt, das Volumen durch 1,081.065,230.909 *km*<sup>3</sup>. Die äußerste Kugelschale von 10, 20, 30 *km* Dicke umfaßt je ein  $\frac{1}{213}$ ,  $\frac{1}{107}$ ,  $\frac{1}{72}$  des ganzen Erdvolumens.

Die Druckfestigkeit von Granit kann etwa mit 10.000 Tonnen pro Quadratmeter angesetzt werden. Die Festigkeiten der in großen Massen auftretenden Gesteine bleiben schon infolge von innerer Zertrümmerung, Ungleichmäßigkeit der Struktur, Durchfeuchtung, Durchwärmung tief unter diesem Betrage.

Die Größe der Faltungskraft, welche aus dem idealen Gewölbedrucke der freien Erdschale entspringen müßte, ist pro Quadratmeter ungefähr 1720mal größer als die Druckfestigkeit des Granits.

Wir verdanken Herrn Oberbergrat G. Wepfer eine klare und einfache Ableitung dieser Größe (Vierteljahrschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang L, 1905, pag. 135—150). In Wirklichkeit dürfte dieser ideale Druck die Festigkeit der Gesteinsmassen in noch weit höherem Maße übertreffen.

Die Gesteinsarten, welche uns an der Erdoberfläche zugänglich sind, können unmöglich die ganze Erdmasse zusammensetzen. Wir wissen, daß im Innern der Erde bedeutend schwerere Massen vorhanden sein müssen. Weiters sind sämtliche Gesteine der Erdoberfläche mehr oder weniger durch äußere Kräfte, welche dem Erdinnern völlig fremd sind, verwandelt und umgestaltet.

Sofern wir unsere Betrachtungen erst dort beginnen, wo die Erde an der Oberfläche bereits von festen Massen umgürtet ist, so muß der äußeren Umarbeitungszone eine verhältnismäßig sehr enge Tiefengrenze gesetzt sein. Wir kennen aus der gesamten geologischen Erfahrung weder Versenkungen noch Hebungen von Massen, welche im Vergleiche zum Erdhalbmesser von größerer Bedeutung wären.

Das Ausmaß dieser Vertikalbewegungen aber bestimmt die Mächtigkeit jener Umarbeitungszone, welche den tieferen, in sich geschlossenen Erdkern umhüllt.

Damit ist eine sehr wichtige Unterscheidung geschaffen. Wir haben einmal eine äußere Kugelschale, welche dadurch charakterisiert wird, daß Kräfte vorhanden sind, welche jeden ihrer Teile gegen die Oberfläche zu bringen vermögen. Diese Zone kann also als eine Mischungszone begriffen werden, welche einer oberflächlichen, sehr unregelmäßigen, doch steten Umarbeitung unterworfen ist.

Die Mächtigkeit dieser Zone ist durch das Ausmaß der vertikalen Bewegungen vorgezeichnet und kann daher durchaus nicht einer selbständigen, stetigen Zunahme fähig sein.

Der innere Erdkern ist durch die Abgeschlossenheit seiner Massen gegen die Erdoberfläche charakterisiert. Seine Mischungen entziehen sich unserer unmittelbaren Einsicht. Es ist im allgemeinen ausgeschlossen, daß Massen der Oberfläche in jene Tiefe gelangen, und ebenso, daß Angehörige dieses Kernes in größeren Massen an die Oberfläche gelangen. Das gilt natürlich für den flüssigen oder gasförmigen Zustand der Erdmasse nicht.

So ist die Summe jener Massen, welche an der äußeren Umarbeitung teilnehmen können, eine ziemlich engbegrenzte. Des weiteren ist hier noch zu bedenken, daß die Umarbeitung dieser Massen eine zweifache sein kann.

Wir können nämlich eine vulkanische und eine sedimentäre Umgestaltung unterscheiden. Die eine ist durch die Emporförderung heißer Massen aus der Tiefe bezeichnet, die andere durch die Zerteilung, Umlagerung und Bewegung der Gesteine entlang der Oberfläche der Erde.

Der erste Prozeß ist im allgemeinen durch vertikale Bewegungen ein umkehrbarer, während das beim zweiten weder durch horizontale noch vertikale Bewegungen erreichbar ist. Wenn ein Gestein aus einer bestimmten Tiefe an die Oberfläche gelangt, so durchläuft dasselbe eine gewisse Reihe von Veränderungen. Schaffe ich das Gestein von der Oberfläche wieder zurück in dieselbe Tiefe, so wird es unter sonst gleichen Umständen dort wieder im früheren Zustand anlangen. Wir haben hier eine stetige Reihe von Veränderungen auf- und abwärts. Der Weg zwischen zwei beliebigen Stellen dieser Reihe kann in der einen oder in der umgekehrten Richtung durchlaufen werden, stets herrscht an derselben Stelle derselbe Zustand.

Etwas Ähnliches ist bei der sedimentären Umgestaltung nicht denkbar. Wir haben keine Möglichkeit, den Prozeß dieser Umgestaltung durch irgendwelche Bewegungen im großen wieder rückgängig zu machen.

Halten wir diese Merkmale fest, so sehen wir, daß durch eine bedeutende Senkung unter Umständen die vulkanische Förderung kompensiert werden kann, wogegen dies von der sedimentären nicht zu erwarten ist. Die sedimentäre Umformung, zu welcher hier in diesem weiten Sinne auch die organische zu zählen ist, schafft tatsächlich neue Gesteinsverbindungen, welche durch Versenken nicht unmittelbar den Gesteinen der betreffenden Tiefe gleichgemacht werden können.

Jene Umarbeitungszone, deren Tiefe also durch die Schwingungsbreite der vertikalen Bewegungen bestimmt ist, hat nichts mit dem zu schaffen, was man gemeinlich als Erdkruste, Erdrinde etc. bezeichnet.

Wir müssen auch diesen Begriffen gegenüber Klarheit zu gewinnen suchen.

Sie entspringen dem Versuche, den Aggregationszustand des Erdinnern nach den an der Oberfläche beobachtbaren Erscheinungen einzuordnen. Wir unterscheiden feste, flüssige, gasförmige Körper-

zustände. Wendet man diese Einteilung auch auf die unbekanntes Massen des Erdinnern an, so ist klar, daß man, sofern nicht die ganze Erde als starr angesehen wird, die feste äußere Hülle vom flüssigen oder gasförmigen Kern zu scheiden hat. Das wird auch dadurch nicht umgestoßen, daß die Übergänge am wahrscheinlichsten als ganz allmähliche anzusehen sind.

Es sind außer diesen einfachen Annahmen auch viel kompliziertere durch Kombinationen dieser drei Aggregatformen und Zwischenmittel aufgestellt worden. Keine dieser Annahmen kann das Verhalten des Erdinnern mit dem Verhalten einer festen, flüssigen, gasförmigen oder daraus kombinierten Körpermasse erklären. Zeigen diese Zustände dieselben Eigenschaften wie an der Erdoberfläche, so ist das ganze Erdgefüge unerklärbar. Weichen sie aber davon ab, so ist ja schon zugestanden, daß wir es mit veränderten Aggregatformen zu tun haben.

Da also die Äußerungen des Erdinnern mit der Substitution der unseren Versuchen zugänglichen Körperzustände nicht vereinbar sind, so ziehe ich es vor, solange darüber nichts Genaueres bekannt ist, von einem neuen, dem Innern der Weltkörper eigentümlichen Zustände zu reden und bemühe mich hier nicht weiter, denselben mit dem gewöhnlichen Schema zu vergleichen.

Von diesem Standpunkte aus kann man ebenfalls eine äußere Schale, deren Massen noch ungefähr unseren Erfahrungen an der Erdoberfläche entsprechen, von einem inneren Kern unterscheiden, der wesentlich andere Existenzbedingungen besitzt. Der Übergang ist höchstwahrscheinlich ein allmählicher. Die Mächtigkeit dieser Zone braucht nicht mit jener der Umarbeitung zusammenzufallen. Derzeit kann für keine derselben eine sichere Bestimmung gegeben werden.

Für unsere Untersuchung ist ein Schwanken dieser Mächtigkeit selbst innerhalb beträchtlicher Abstände ohne weiteren Einfluß und kann daher unberücksichtigt bleiben.

Dagegen ist es unumgänglich nötig, darauf hinzuweisen, daß die Veränderung des Massenzustandes gegen die Tiefe am wahrscheinlichsten eine ganz allmähliche ist.

Weiters muß noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß einheitliche Gesteinsmassen von bedeutenden Dimensionen unter allen Umständen als verhältnismäßig sehr weiche und leicht veränderbare Gebilde begriffen werden müssen.

Da die Gegenstände, um deren Beziehungen es sich hier handelt, meistens riesengroße sind, die weit über jede unmittelbare Anschaulichkeit ragen, so sind wir gezwungen, entweder ein Mosaik von kleinen, je auf einmal überschaubaren Aufschlüssen im Geiste zusammenzufügen oder aber zu irgendwelchen bildlichen Verkleinerungen zu greifen. Besonders die zweite Methode ist ungeheuer verbreitet und ein sehr bedeutender Teil unserer Anschauungen kommt lediglich mit Hilfe von Profilen, Photographien, Karten, Reliefs etc. zustande. Die erste Methode kann natürlich nur auf persönlicher Naturkenntnis beruhen und ist daher schon an und für sich unendlich mühsamer und beschränkter in ihrer Verwendung. Große Gebiete in dieser Weise sich einigermaßen gleichzeitig und gleichmäßig zu vergegenwärtigen, ist übrigens vollkommen ausgeschlossen. Im Grunde haben wir es

auch hier mit Verkleinerungen zu tun. Sind diese Verkleinerungen nach allen Dimensionen getreu, so liefern sie uns wieder richtige Vorstellungen, zu denen wir in sehr vielen Fällen durch unmittelbare Anschauung nicht gelangen könnten.

Für die Geologie liegt aber in diesen Verkleinerungen trotzdem eine große Gefahr für Irrungen, weil besonders in tektonischen Fragen größtenteils übersehen wurde, daß Hand in Hand mit der Verkleinerung der Raumverhältnisse auch alle anderen Konstanten der Gesteinsmassen gleichmäßig verkleinert werden müssen.

Ein Beispiel wird diesen wichtigen Satz sofort erklären. Nehmen wir an, wir fänden in der Natur eine 1000 *m* dicke Gesteinsmasse von einer Breite von 10 *km* auf 5 *km* zusammengepreßt und wollten diese Verhältnisse in einem Experiment wiederholen. Wir verwenden dazu eine 10.000fache Verkleinerung (1000 *m* in der Natur = 0.1 *m* im Experiment). Sollen nun durch diese starke Verkleinerung nicht unnatürliche Bedingungen geschaffen werden, so müssen auch die anderen Konstanten der Gesteinsmasse als Härte, Biegsamkeit, Zug- und Druckfestigkeit etc. im gleichen Verhältnisse vermindert werden. Leider besitzen wir für viele hier in Betracht kommende Eigenschaften der Gesteine keine entsprechenden Messungen und keine leicht anwendbaren Methoden zur messenden Vergleichung.

Es ist hier nicht der Ort, auf diese Umstände genauer einzugehen, es mag vorderhand der Hinweis genügen, daß zur Herstellung natürlicher Bedingungen gleichmäßige Verkleinerung sämtlicher Konstanten notwendig ist, soweit dieselben durch die Raumveränderung überhaupt betroffen werden.

Für unsere Untersuchung kommt besonders die Mitveränderung der Festigkeit in Betracht, welche sich übrigens ganz leicht für diesen Zweck überblicken läßt.

Wenn wir uns aus den verschiedenen wichtigsten Gesteinsarten Säulen von gleichem Querschnitt gebildet denken, so werden diese bei einer bestimmten Höhe ihren eigenen Sockel zerquetschen. Wir können so die Druckfestigkeiten durch Höhenmaße ausdrücken und diese aufs bequemste zur Verkleinerung benutzen.

Verfolgt man diese Überlegung, so ist ohne weiteres klar, daß bei den Verkleinerungen, welche wir notwendig gebrauchen, selbst die härtesten Gesteine, wenn sie in großen Verbänden betrachtet werden, durch ganz weiche Modelle wiedergegeben werden müssen. Um auf das obige Beispiel zurückzukommen, so müßte, wenn die 1000 *m* dicke Gesteinsmasse aus festem Granit bestünde, die 1 *dm* starke Modellmasse so beschaffen sein, daß eine Säule von 1 *mm*<sup>2</sup> Querschnitt und 357 *mm* Höhe sich gerade noch selbst zu tragen vermöchte. Für die meisten gebirgsbildenden Gesteine wären jedoch noch viel weichere Massen zur entsprechenden verkleinerten Darstellung nötig.

Wenden wir diese Vorstellungen auf die Erde an, so erkennen wir, daß eine einigermaßen dickere Erdschale, sofern sie als selbständig gegen ihre Unterlage gedacht wird, durch ihre leichte Zerdrückbarkeit

charakterisiert ist. Ein beliebig herausgeschnittener Keil vermag sich nicht selbst zu tragen, sondern zerquetscht seinen eigenen unteren Teil. Desgleichen kann kein größerer Bogenteil des Erdgewölbes, sobald ihm die Unterlage entzogen wird, sich wegen seiner geringen Festigkeit schwebend erhalten.

So wird die äußere Erdschale in ihrem Verhältnisse zum Untergrund vor allem durch leichte Zerdrückbarkeit ausgezeichnet.

Um diesem wichtigen Verhältnisse auch im sprachlichen Ausdruck mehr gerecht zu werden, werde ich im folgenden statt Erdkruste, Erdrinde etc. die Bezeichnung „Erdhaut“ verwenden.

Die Erdhaut ist also gegen ihren Untergrund durchaus unselbständig. Je geringer ihre Festigkeit im Verhältnis zur Größe der Erde ist, umso empfindlicher wird die Erdhaut für Hebungen und Senkungen und für jedes Gefälle des Untergrundes. Die Sensibilität der Erdhaut für Veränderungen in der Tiefe gibt allen Erscheinungen, welche aus Bewegungen der Erdhaut entspringen, ein ganz eigenes, unverkennbares Gepräge.

---

### Über die Summierung von seitlichen Druckkräften in einem Erdring.

Gewölbe im parallelen und zentrischen Kraftlinienfelde der Schwere. — Ideelles Erdgewölbe. — Die wichtigsten Kombinationen der Kontraktion und ihre Bewegungsbilder. — Unmöglichkeit der Weiterleitung von Druckkräften, welche die Festigkeit eines freien Leiters bedeutend überwältigen. — Bedeutung und Einfluß älterer, gefalteter Massen bei neuerlicher Faltung.

(Textfigur 1—5.)

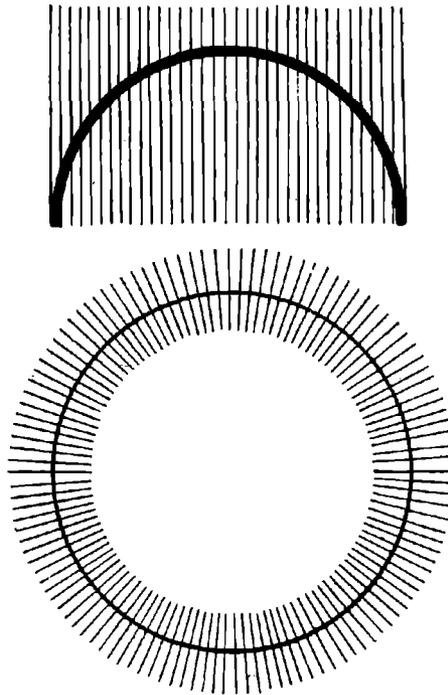
Der Einfachheit und Übersichtlichkeit halber können wir unsere Betrachtungen über die Summierung der Schübe an einem Erdring beginnen. Derselbe ist als ein streifenförmiger Ausschnitt der Erdhaut längs eines beliebigen größten Erdkreises zu denken. Wir haben ein Ringgewölbe vor uns, das sich jedoch von den gewöhnlichen Gewölben, mit denen dasselbe so häufig verglichen wurde, in wesentlichen Zügen unterscheidet. Die letzteren Gewölbe (Fig. 1) liegen in einem parallelen Schwerkraftfelde, ersteres dagegen in einem zentrischen. Schon verhältnismäßig kleine Stücke des Erdgewölbes vermögen sich nicht freischwebend zu erhalten. Daher ist die Form des Gewölbes und sein Bestand durchaus von den unterliegenden, unterstützenden Massen gegeben. Es kann überhaupt nicht als für sich bestehend angesehen werden. Endlich ist die Spannung eine im Vergleiche zur Festigkeit und Dicke ganz ungeheuer weite. Das ganze Gewölbe schwimmt auf der Unterlage.

In diesem idealen Gewölbe können wir nun, um die Wirkungen der Kontraktion zu beurteilen, folgende Hauptunterscheidungen beobachten.

Es kann sich Gleichzeitigkeit oder Ungleichzeitigkeit der Kontraktion je mit Gleichheit oder Ungleichheit der Massen in bezug auf Druckfestigkeit verbinden.

Der erste Fall, Gleichzeitigkeit einer gleichartigen Kontraktion gleichmäßiger Massen, ist so unwahrscheinlich, daß er ruhig übergangen werden könnte. Wenn ich ihn trotzdem in Untersuchung nehme, so hat

Fig. 1.



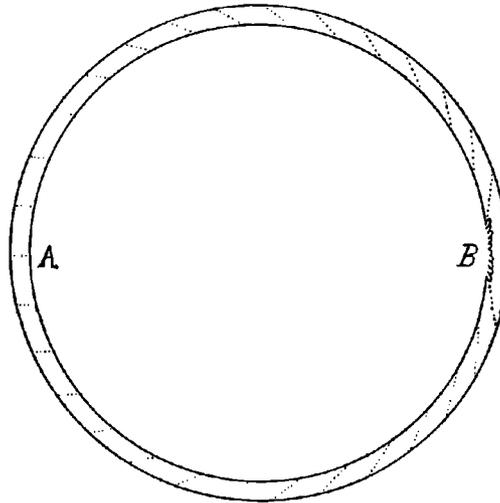
dies seinen Grund darin, daß die Summation der Schübe hier am reinsten und ungestörtesten zum Ausdruck kommt.

Wir können uns das ganze Ringgewölbe in eine Anzahl von Teilgewölben zerlegt denken, von denen jedes dadurch charakterisiert wird, daß es sich nicht mehr selbst zu tragen vermag, sondern durch den eigenen Druck bereits zermalmt wird. Da wir eine völlig gleichmäßige Massenverteilung vorausgesetzt haben, so ist unmittelbar klar, daß wir diese Gliederung in Teilstücke von jeder beliebigen Stelle aus beginnen können, mit anderen Worten, jede Stelle des Ringes ist gleichwertig und, da der Druck die Festigkeit ungeheuer überschreitet, tritt allgemeine Zermalmung ein. Der Ausdruck der Kontraktion unter dieser Annahme ist eine gleichmäßige, allgemeine Verdickung der

Ringschicht, ein allgemeines Aufquellen der Massen, wahrscheinlich verbunden mit oberflächlicher Runzelung. Es ist wichtig, zu bemerken, daß dieses allgemeine, gleichmäßige Aufquellen der Ringmassen als Abbildung der allgemeinen, gleichmäßigen Kontraktion des Erdinnern aufgefaßt werden kann. Zu demselben Ergebnisse gelangt man auch auf ganz anderem und sehr anschaulichem Wege, wenn wir das Ringgewölbe der Kontraktion unter den gleichen Verhältnissen unterwerfen und nun, wie es gewöhnlich geschieht, annehmen, daß der Ausdruck der Kontraktion durch das Aufwerfen einer Faltenzone gegeben sei.

Verfolgen wir die Verschiebungen, welche die einzelnen Teile des Ringgewölbes dadurch erfahren, so sehen wir, daß dieselben von einem dem Gebirge gegenüberliegenden Punkte ausgehen müssen und

Fig. 2.



nach beiden Seiten hin sich vergrößern. Die beiden Maxima der einander entgegenstrebenden Verschiebungen haben unmittelbar zwischen sich die Faltenzone liegen.

Den Punkt oder die Zone, von welcher die Verschiebungen ausgehen, die das Gebirge erzeugen, können wir als den **Erreger A** (Fig. 2) bezeichnen. Demselben ist unter gegebenen Umständen das Gebirge B völlig eindeutig zugeordnet. Da wir Gleichzeitigkeit angenommen haben, so ist ohne weiteres ersichtlich, daß jeder Punkt des Ringes ebensogut als Erreger betrachtet werden kann. Jedem Erreger muß daher eine Faltungszone zugeordnet sein können. Dies ist nur erfüllt, wenn eine allgemeine, gleichmäßige Runzelung längs des ganzen Ringes eintritt.

**Eine Teilung der Druckkräfte und Summierung zu zwei riesigen Verschiebungen ist ausgeschlossen.**

Es ist hier vielleicht am Platze, auf die Ungeheuerlichkeiten hinzuweisen, welche die Annahme einer solchen Summierung verlangt.

Die Faltungen und Schiebungen, welche wir in einem Gebirge beobachten können, sind unbedeutend kleine Erscheinungen gegen jene gewaltigen Verschiebungen, welche nahezu die ganze Erde umspannen. Um an einer bestimmten Stelle ein Gebirge zu erbauen, müssten von einem Gegenpol aus entgegengesetzte Bewegungen auftreten, welche fast die ganze Erdhaut von Ihrem Untergrunde ablösen und darüber hinwegstülpen würden.

Zu dieser völlig irrigen Ansicht konnte nur eine ganz falsche Vorstellung von der Druckfestigkeit der Erdhaut Anlaß geben. Es ist sicher, daß bei einer ungeheuren Festigkeit eine solche Summierung stattfinden könnte. Dabei ist aber scharf zu betonen, daß damit ein ganz bestimmtes Verhältnis von Druckfestigkeit zur Erdgröße verlangt wird. Es müßte eine Festigkeit sein, welche einerseits nicht stark genug wäre, um das Erdringgewölbe frei für sich schwebend zu erhalten, und die anderseits nicht so gering wäre, um durch den Druck von Teilgewölben zermalmt zu werden. Wir sehen, sie müßte der Erdgröße genau zugeordnet sein. Wie wir schon früher bei Definition der Erdhaut ausgeführt haben, ist deren Druckfestigkeit verschwindend gering gegen den Druck eines Erdringes. Die Erde ist viel zu groß für die Druckfestigkeit ihrer Schale. Eine Summierung der Druckkräfte in der angegebenen Weise könnte bei gleicher Festigkeit des Gewölbes nur an einem bestimmten, und zwar viel kleineren Weltkörper vor sich gehen.

Ein Vergleich wird dieses Verhältnis sofort recht anschaulich machen.

Denken wir uns einen Globus von über 12 *m* Durchmesser, der kontraktionsfähig sei. Auf diesem soll ein 1 *cm* dicker Ölfarbenanstrich eine 10 *km* mächtige Erdhaut darstellen. Der Ölfarbenanstrich soll oberflächlich sein, erhärtet sein, gegen die Tiefe zu aber noch seine Weichheit bewahrt haben. Lassen wir nun eine Kontraktion stattfinden, so wird nichts weiter als eine allgemeine Verdickung und Runzelung der Ölfarbensicht daraus hervorgehen. Diese Verhältnisse dürften den wirklichen schon ziemlich nahekommen.

Wir haben gesehen, daß der Ausdruck der völlig gleichmäßigen Massen- und Kontraktionsbedingungen durch eine gleichmäßige Runzelung und Verdickung der Erdhaut dargestellt wird. In Wirklichkeit kennen wir weder in geologischer noch geschichtlicher Vergangenheit irgendeine Erscheinung, welche für die Möglichkeit einer gleichmäßigen Bewegung der gesamten Erdrinde sprechen könnte.

So wenden wir uns den Unregelmäßigkeiten zu.

Der einfachste Fall ist Gleichzeitigkeit, Gleichartigkeit der Kontraktion mit Wirkung auf ein ungleichmäßiges Gewölbe.

Doch ist von vornherein, da jegliche Art von Sedimentbildung und Umlagerung auf eine Vermischung und Ausgleichung hinausläuft, eine sehr große Verschiedenheit nicht wahrscheinlich.

Wenn man eine Dicke der Erdhaut von 10—20 *km* ins Auge faßt, so dürften die Unterschiede an verschiedenen Stellen nicht gar

so bedeutend sein. Jedenfalls sind die Unterschiede zwischen den vulkanischen Gesteinen größer als zwischen den aus ihrer Verwitterung und Umschüttung gebildeten Sedimentmassen. Daneben äußern Wärme und Durchfeuchtung ihren starken Einfluß auf die Festigkeit aller Gesteine. Während sich diese Verhältnisse vorderhand noch nicht einfach und übersichtlich betrachten lassen, können wir einige andere wohl überschauen. Hier ist einmal zu bemerken, daß im allgemeinen die Bildung gleichartiger Sedimente gewöhnlich über große Strecken hin erfolgt. Darauf beruht ja überhaupt die Möglichkeit einer geologischen Kartierung. Des weiteren sind ebenfalls im allgemeinen die Ablagerungsbedingungen auf der Erdoberfläche gleichzeitig an vielen Stellen dieselben. Dank dieser Erscheinung konnte die Parallelisierung der Formationen über die ganze Erde ausgedehnt und in Übereinstimmung gebracht werden.

Aus diesen Überlegungen geht für unsere Betrachtung hervor, daß, wenn es in der Erdhaut stärkere und schwächere Stellen gibt, dieselben mehrfach vorhanden und jeweils ziemlich ausgebreitet sein werden.

Trotzdem es also recht unwahrscheinlich ist, daß entlang einem Erdringe nur eine schwächere Stelle vorhanden sein sollte, wollen wir doch diese Annahme machen, da sie ja für eine Summation der Wirkungen von vornherein die meisten Aussichten zu bieten scheint. Nehmen wir also an, der Erdring bestünde längs einer bestimmten Strecke aus weicherer, weniger widerstandsfähiger Masse. Der schärfste Ausdruck für dieses Verhältnis wäre die vollständige Unterbrechung des Ringes durch eine Lücke. Es ist klar, daß man hier die Zerlegung des Ringes in die Teilgewölbe nicht beliebig vornehmen kann, sondern unbedingt von den Rändern der Lücke ausgehen muß. So sehr man nun auf den ersten Blick hin glauben möchte, daß eine Kontraktion einfach zum Schließen der Lücke führen müßte, so ist das dennoch irrig. Denken wir uns, ausgehend von der Lücke, das übrige Ringgewölbe in lauter Teilgewölbe von bekannter Definition zerlegt. Jedes derselben würde für sich einfach dem Zuge der Schwere folgen. Da sich alle gleichzeitig in demselben zentrischen Schwerkräftfeld einwärts bewegen, so entstehen gewaltige seitliche Druckkräfte. Diese Druckkräfte erreichen nun schon zwischen verhältnismäßig kleinen Teilgewölben einen Wert, der die Gesteinsfestigkeit übersteigt. Der Überdruck bewirkt so lange Zermalmungen, Aufpressungen, Faltungen, bis er durch diese Veränderungen wieder unter den Druckwert der Gesteinsfestigkeit hinabsinkt. Die Übertragung eines Überdruckes ist nur dann möglich, wenn derselbe nicht mehr durch Zusammendrücken ausgeglichen werden kann.

Wenden wir diese Erkenntnis auf unseren Fall an, so können wir, ausgehend von der Lücke, das übrige Gewölbe in eine Anzahl von Teilen zerlegen, zwischen denen sich jeweils das angesammelte Übermaß von Druckkräften durch Faltung ausgleichen muß. Die Lücke selbst wird von den benachbarten Seiten her etwas mehr verengt werden, als wenn sie mit gleich starker Masse ausgefüllt wäre. Es werden nämlich von beiden Seiten bei der Kontraktion die anliegenden Teile sich gegen die Lücke um den Betrag ihrer Einschrumpfung

vorschieben. Die Größe dieser Teilgewölbe ist wieder durch die Gesteinsfestigkeit bestimmt. Die Kraft, welche nötig ist, um das Teilgewölbe aus seiner Schwerebahn gegen die Lücke zu drängen, kann nicht größer als die Festigkeit sein, weil das Übermaß durch Faltung aufgehoben wird. Wäre die Lücke mit gleicher Masse erfüllt, so würde sie nur genau ihrer Größe und der Kontraktion entsprechend verkleinert. Dagegen wird ein Einsatz von härteren Massen unbedingt zu faltenden Bewegungen Anlaß geben. Nehmen wir an, der Festigkeitsunterschied sei so beträchtlich, daß die feste Masse beim Niedersinken ihre Ausdehnung unverändert zu bewahren vermöge. Dann muß der gesamte, auf die Lücke entfallende Kontraktionsbetrag durch Aufstauung der weicheren Nachbarzonen getilgt werden. In diesem Falle müßte eine Faltungs- oder Schiebungszone die festere Scholle umschließen.

Dadurch, daß wir uns die Masse ganz entfernt, durch eine schwächere oder stärkere ersetzt denken, können unmöglich die gesamten Druckkräfte eine andere Richtung erlangen und hierher konzentriert werden.

Wir erkennen also, daß selbst die Einschaltung einer Lücke den allgemeinen Ausdruck der gleichmäßigen Kontraktion auf die Erdhaut nicht zu zerstören vermag. Auch in diesem Falle können wir von einer entsprechenden Abbildung reden.

Wir haben nur eine schwächere Stelle angenommen. Das wird in der Natur kaum erfüllbar sein, da, dem Charakter der ganzen Ablagerungen folgend, mehrere gleiche Stellen auf jedem Erdringe zu finden sein werden. Außerdem ist der angenommene schroffe Unterschied in der Festigkeit sicher nicht vorhanden und greifen allmähliche Übergänge ein.

Wenn wir uns also den ganzen Erdring in eine Anzahl von festeren Teilgewölben zerlegt denken, zwischen welche immer weichere Zonen eingeschaltet sind, so ist es möglich, daß die festeren Teile auch nach der Kontraktion ihre Größe beibehalten haben und die weicheren Zonen dafür allenthalben gefaltet sind. Durch eine solche Zerlegung wäre es denkbar, daß die ganze Kontraktionswirkung von einzelnen Zonen absorbiert und zur Faltung verwendet würde.

**Aus obigen Darlegungen geht somit klar hervor, dass bei gleichzeitiger Kontraktion und gleichförmiger oder ungleichförmiger Ringmasse niemals eine Summation der gesamten Druckkräfte und Zusammenleitung derselben gegen eine Stelle stattfinden kann.**

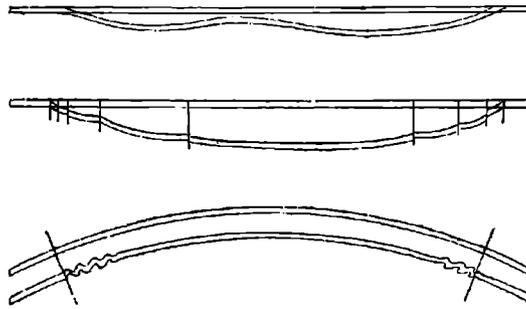
Beschäftigen wir uns nun mit den Erscheinungen einer ungleichzeitigen Kontraktion.

Damit ist natürlich schon an und für sich eine Abbildung des Erdinnern in der Erdhaut wenigstens als Zeitfunktion gegeben. Nehmen wir der Einfachheit wegen zuerst einen völlig gleichmäßigen Ring an, auf welchen die Kontraktion ungleichzeitig einwirke. Es ist hier am Platze (Fig. 3), darauf aufmerksam zu machen, daß durch Einsinken eines Gewölbeteiles nicht notwendig ein Zusammendrängen seiner Schichtmassen eintreten muß. Es sind Fälle denkbar, wo es dadurch zu Zerrungen kommen kann. Dies gilt jedoch nur für Senkungen,

welche im Vergleiche zur ganzen Ringwölbung klein sind. Dabei kommt es hauptsächlich auf den Zusammenhang der Senkung mit den stehengebliebenen Rändern an. Ist der Abbruch scharf, so muß eine Zusammendrängung entstehen; durch Einschaltung von Abbruchtreppen wird dieselbe schon vermindert, indem längs den vielen Brüchen Zermalmungen und kleine Verschiebungen auftreten. Ist der Übergang aber ein allmählicher, so braucht durchaus keine Drängung zu entstehen, es gibt viele Möglichkeiten, wobei die Gewölbekurve nach ihrer Durchbiegung dieselbe Länge oder sogar eine vergrößerte aufweisen kann. Die größere oder geringere Tiefe der Einsenkung ist hierbei nicht das Entscheidende.

Ist die Wölbung gering, so wird selbst bei gleichmäßiger Durchbiegung nur eine ganz geringe Zusammendrängung bis zur Sehne des Gewölbes stattfinden, während die weitere Senkung, falls der Zusammenhang der Schichten gewahrt bleibt, wieder zu einer Zerrung derselben führt. Da nun aber die Gesteine eine geringe Bruch- und

Fig. 3.



Zugfestigkeit aufweisen, wird diese Zerrung zu Zerreißen Anlaß geben. Noch wichtiger sind in einem solchen Falle die gleitenden Verschiebungen und Faltungen gegen die Tiefe der Versenkung, welche die Zerrung an deren Ränder, die Pressung aber gegen die Mitte verlegen.

Wie aus diesen kurzen Anmerkungen hervorgeht, sind die Formen und Wirkungen von Einsenkungen sehr mannigfaltig. Für unsere Untersuchung geht daraus mit Notwendigkeit der Schluß hervor, daß Einsenkungen des Gewölbes unter allen Umständen den Betrag ihrer Volumverminderung, falls eine stattfindet, an Ort und Stelle zum Austrag bringen.

Es ist keine Möglichkeit zur unmittelbaren weiteren Übertragung von Druckkräften durch einsinkende Gewölbeteile auf das übrige Ringgewölbe gegeben.

Ob durch Mitwirkung der tieferen Erdmassen eine weitere Ausbreitung von Bewegungen der oberen Schichten eingeleitet werden kann, soll an einer anderen Stelle besprochen werden. Hier handelt

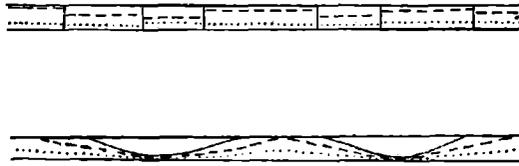
es sich lediglich um die unmittelbare Leitung und Summierung der Druckkräfte in dem ideellen Ringgewölbe.

Schreitet die Kontraktion durch viele kleinere Einsenkungen fort, so ist klar, daß dabei von einer Summierung der seitlichen Druckkräfte nicht die Rede sein kann.

Es ergeben sich nun zwei verschiedene Arten im Vordringen der Kontraktion. Entweder haben wir zugleich an mehreren Stellen (Fig. 4) Einsenkungen und die dazwischen noch erhabenen Teile sinken später ebenfalls als Einheiten nach oder die Einsenkungen verbreitern sich und wachsen allmählich zusammen.

Im ersten Falle können wir, besonders wenn die zwischen den Einsenkungen erhabenen Teile nicht zu ausgedehnt sind, dieselben als Gewölbe von viel stärkerer Krümmung auffassen. Diese Krümmung ist allerdings nicht gleichmäßig, sondern wird an den Rändern steiler. Senkt sich ein solches Gewölbe, so wird je nach seiner Größe eine mehr oder minder starke Zusammenpressung eintreten. Dieser Seitendruck wird sich an den Rändern, wo er leichter Verschiebungen bewirken kann, besonders äußern. Sind die Ränder gegen die Einsenkung

Fig. 4.



schroff und hoch, so werden gegen die letztere gerichtete Schiebungen auftreten müssen. Umfaßt ein solches Gewölbe mehrere Normalgewölbe, so wird im Innern desselben ebenfalls Zusammenpressung und Faltung stattfinden. Auch hier kann keine Übertragung des Seitendruckes in die Ferne erzielt werden.

Greifen die Einsenkungen allmählich weiter aus, so ist von vornherein eine größere seitliche Wirkung ausgeschlossen, weil ja immer nur kleine Massen gleichzeitig in Bewegung sind.

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen gelangen wir, wenn wir die Wirkung ungleichzeitiger Kontraktion auf einen ungleichmäßigen Ring ins Auge fassen.

Wenn die Grenzen der Einsenkungen mit jenen von weicheren und härteren Zonen des Ringgewölbes zusammenfallen, so werden sich die günstigsten Bedingungen für eine leichtere Bereitung von Faltungs- und Verschiebungszonen bieten. Je nachdem der zuerst einsinkende oder später nachfolgende Gewölbeteil aus festerer oder weicherer Masse besteht, können hier bei schroffen Rändern die Bedingungen für Unter- oder Überschiebungen gegeben werden. Keine der hier möglichen Kombinationen kann jedoch zu bedeutenden Fernleitungen von Überdrücken Anlaß geben.

Zu einer vollständigen Übersicht fehlt nun noch eine Zusammenstellung jener Wirkungen, welche erzielt werden, wenn sich zu den früheren Bedingungen noch ein örtlich verschiedenes Ausmaß der Kontraktion gesellt.

So reich auch hierdurch die Zahl der Möglichkeiten wird, jene einer allgemeinen Summierung der seitlichen Druckkräfte zu gewaltigen, die Erde umschlingenden Schubdecken ist nicht darunter.

**Wir haben die Betrachtungen an einem freien Erdring mit der Absicht begonnen, daran die Bedingungen der Summierung und Weiterleitung von seitlichen Druckkräften leichter zu überschauen. Wir sind zum Schlusse gelangt, dass eine solche grossartige Vereinigung, ein solch einheitlicher Antrieb des ganzen Ringgewölbes unter allen Umständen an der geringen Druckfestigkeit seiner Massen scheitern muss. Es ist ganz unmöglich, durch Massen Druckgrössen hindurch- und weiterzuleiten, welche die Festigkeit des Leiters bei weitem übersteigen. Wächst der Druck über die Festigkeit empor, so wird unbedingt Zermalmung, Faltung, Zerpressung, Aufhebung der Schichten eintreten, wenn dieselben irgendwie ausweichen können. Diese Möglichkeit zum Ausweichen gegen oben ist aber allerorten gegeben.**

Ich möchte an dieser Stelle auch daran erinnern, daß der Ansicht von dem starken Widerstande bereits gefalteter Schichten gegenüber neuen Faltungen vielfach eine zu hohe Schätzung der dadurch gewonnenen Festigkeit zugrunde liegt. Der Unterschied zwischen einem gefalteten, besonders aber einem aberodierten Gebiete und einem von flachliegenden Schichten dürfte anders zu beurteilen sein. Gegenüber jenen gewaltigen Drucken, denen ja angeblich die Gebirgsbildung entsprechen soll, verschwinden solche Unterschiede sicherlich. Dagegen können sie allerdings bei Drucken, welche die Gesteinsfestigkeit nicht gar zu hoch übersteigen, von ziemlicher Bedeutung sein. Ein bereits gefaltetes Gebiet ist von zahlreichen Zermalmungszonen durchschwärmt, von einem Gewirr von Rutschflächen und Spalten zerschnitten. Durch die Erosion wird seine oberflächliche Massenanhäufung verhältnismäßig bald entfernt und damit an zahlreichen Stellen der Zusammenhang der gleichen Schichtmassen, der harten und weichen Lagen zerstört.

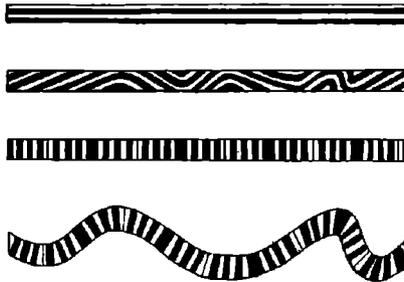
Wenn wir uns eine Folge von weichen und härteren Schichtbänken vorstellen, so ist es klar, daß dieselben (Fig. 5) einer seitlichen Zusammenpressung den größten Widerstand entgegenstellen, wenn sie senkrecht zu der Druckfläche gelagert sind, also in unserem Falle horizontal liegen.

Das Gegenteil davon ist in einem sehr heftig und eng gefalteten, abradierten Gebirge erreicht, wo die Schichten parallel den Druckflächen angeordnet sind. In einem Gebirge, das nicht ausgefaltet ist, haben wir vor allem schräge Lagen vor uns. Gleichsinnig schräg oder gegeneinander geneigte Lagen (um 45° herum) bieten einer Pressung einen mittleren Widerstand. Die meisten Gebirge, die wir genauer kennen, gehören nicht zu den vollständig ausgefalteten. Außerdem ist zu erwägen, daß eine Masse von horizontalen, abwechselnd weicheren und härteren Schichtplatten eine viel größere Bugfestigkeit besitzt als eine solche aus schrägen oder senkrechten Schichtplatten. So

kommen wir zu dem Urteile, daß ein bereits gefaltetes, aberodiertes Land der Faltung weniger Widerstand leistet als eines, das aus gleichen, aber horizontal ruhenden Schichtfolgen besteht. Desgleichen sind in einem gefalteten Gebiete den Verwerfungen gleichsam schon die Wege vorgezeichnet und ist ihre Auslösung erleichtert.

Auch kommt zwischen dem gefalteten und dem ebenen Schichtenkomplex ein großer Unterschied gegenüber gleitenden, faltenden Bewegungen zum Vorschein. Geraten solche Schichtfolgen in eine schräge Lage, so findet im zweiten Falle die gleitende Bewegung schon ihre Bahnflächen vorgezeichnet, wogegen im ersten, besonders bei steiler Schichtstellung, dies ausgeschlossen erscheint. Des weiteren kann im zweiten Falle sehr leicht eine Ablösung in einzelne dünnere Zonen erfolgen, die schon durch eine verhältnismäßig geringe Kraft zu Falten gezwungen werden können. So mag der ganze Verband leicht in eine Reihe von Faltungsstockwerken zerteilt werden, während im ersten Falle die faltende Kraft die ganze Masse einheitlich und zugleich

Fig. 5.



erfassen muß. Nach dieser Betrachtung erkennen wir sofort, daß eine ebene Schichtfolge unter sonst gleichen Umständen für Neigungen empfindlicher sein muß als eine verfaltete.

Volle Berechtigung hat die Betonung des störenden Einflusses von alten Massen. Zu den vulkanischen und den archaischen Gesteinen gehören überhaupt die härtesten Massen, die in der Erdhaut auftreten. Unterstützend tritt ganz gewaltige Mächtigkeit und vielfach auch Gleichförmigkeit hinzu. Wenn an bestimmten Stellen die Erdhaut ausschließlich von solchen Massen gebildet wird, so ist klar, daß andere Stellen, wo ein bedeutender oberer Teil von schwächeren Massen besetzt ist, den ersteren gegenüber weniger fest sind.

Dies hat für die lokale Ausbildung und Formung der Faltung eine hohe Bedeutung, besonders wenn nicht gar zu riesige Kräfte ins Spiel kommen. Eine großzügige Zusammenleitung der seitlichen Druckkräfte an einzelnen Stellen kann dadurch aber keineswegs erreicht werden.

## Über die Bildung von Faltungszonen im Geoidgewölbe.

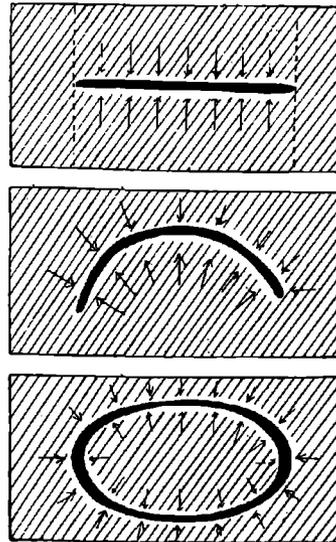
Die Grundbedingungen von Faltungen in der Ebene und im Geoidgewölbe. — Die Faltungsformen, welche aus Unregelmäßigkeiten bei der allgemeinen Kontraktion der Erdhaut entspringen. — Die gesetzmäßigen Zusammenhänge von Schollen und Faltenringen. — Unmöglichkeit der Summation und Zusammenleitung aller seitlichen Druckschübe an einer bestimmten Stelle der Erdhaut. — Das Verhältnis der Abbildung zwischen Schollen, Faltenringen und Untergrund.

(Textfigur 6—15.)

Nach dieser Abzweigung kehren wir wieder zu unserer Untersuchung zurück.

Am Erdring haben wir die Gesetze der Summierung und Weiterleitung von seitlichen Drucken verfolgt und gehen nun zum Geoidgewölbe über. Die Frage nach der Druckleitung ist hier schon durch

Fig. 6.



die Anwendung der am Erdring gewonnenen Ergebnisse teilweise erledigt. Dagegen haben Form, Zusammenhang und Verteilung der Faltungen uns eingehend zu beschäftigen.

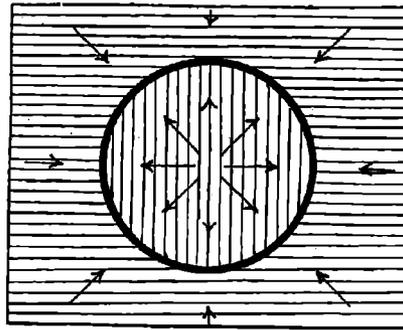
Es soll vorausgeschickt werden, daß für den Gang dieser Untersuchung die Abweichungen der Erdgestalt von der Kugelform ohne Bedeutung bleiben. Die gefällten Urteile würden ebenso für ein Ellipsoid oder einen anderen Rotationskörper zu Recht bestehen. Wir können von einer Ebene ausgehen, um vor allem zu zeigen, in welchen Abhängigkeiten Faltungen zu ihrem Umlande stehen.

Die Faltung wird dabei als das Ergebnis von Einwirkungen der Umgebung aufgefaßt, also im wesentlichen als eine seitliche Zusammendrängung und Auftürmung von Massen (Fig. 6).

Nehmen wir eine gerade und begrenzte Faltenwelle in der Ebene an. Diese kann nur erzeugt werden durch eine oder zwei zu ihrer Längserstreckung parallele Druckreihen. Ob sie durch ein- oder zweiseitigen Schub entstanden ist, kann in vielen Fällen aus der Form der Falte selbst entschieden werden. Die Falte braucht also zu ihrer Entstehung einen oder zwei Streifen des anliegenden Landes, welche sich gegen ihren Entstehungsort bewegen. Diese Landstreifen sind durch ihre Bewegung vor der übrigen Ebene ausgezeichnet.

Haben wir statt der geraden eine gebogene Faltenwelle in der Ebene, so müssen die erzeugenden Drucke konvergierend oder divergierend angeordnet sein. Hier muß zwischen einer Innen- und Außen-seite wohl unterschieden werden. Während zur Erzeugung der geraden Falte noch die einfache Bewegung der Massen gegeneinander hinreicht, müssen hier notwendig zugleich Veränderungen der bewegten Massen untereinander eintreten.

Fig. 7.



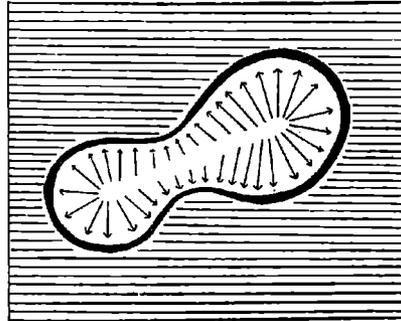
Nehmen wir an, die Bogenfalte würde durch konzentrischen Druck von außen erzeugt, so ist sicher, daß dieser Druck überhaupt nicht zur Äußerung kommen kann, wenn nicht zugleich eine Zusammen-drängung stattfindet. Ebenso kann kein Druck von innen ohne Ausdehnung das Aufwerfen einer Bogenfalte vollbringen.

Bei der ganz geschlossenen Falte treten diese Zusammenhänge noch viel deutlicher hervor. Soll hier die Ringfalte durch doppel-seitigen Druck gebildet werden, so muß innen Ausdehnung, außen Einschrumpfung zugleich in Wirksamkeit treten. Jede dieser beiden Äußerungen für sich kann mit der entsprechenden Druckanordnung ebenfalls die Ringfalte erzeugen. Ist die Ringfalte eine Kreisfalte, so strahlen (Fig. 7) die Drucke im Innern gleichsam von einem Punkte aus. Bei jeder anderen geschlossenen Kurve (Fig. 8) können nicht sämtliche innere Druckstrahlen in einem Punkte vereinigt werden. Bei manchen lassen sie sich in mehreren Punkten sammeln, bei anderen gehen sie von einer bestimmten Linie aus. Dabei muß im Auge behalten werden, daß die Druckstrahlen immer senkrecht auf

die Längsrichtung der Falte gezogen sind. Übertragen wir nun diese Erkenntnis auf die Erdkugelfläche und suchen wir die Bedingungen, unter denen sich durch Bewegungen der Erdhaut Faltungszonen in derselben bilden können!

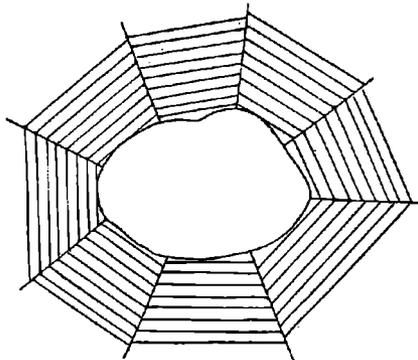
Kontraktion des Erdinnern zwingt die Erdhaut, nachzusinken und sich auf einer kleineren Kugelschale anzuordnen.

Fig. 8.



Folgen wir wieder derselben Teilung der Untersuchung wie beim Erdring, so hätten wir zuerst gleichmäßige, gleichzeitige Kontraktion auf einer gleichartigen Kugelschale zu erwägen. Durch ein-

Fig. 9.

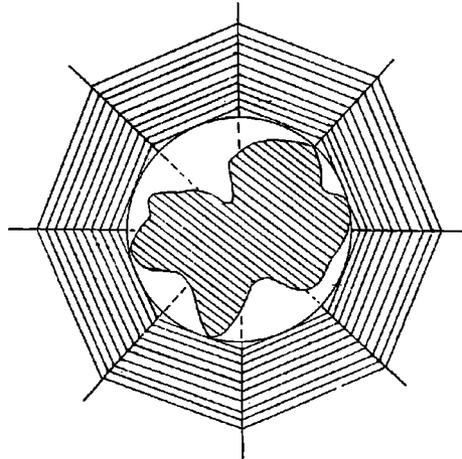


fache Übertragung des dortigen Ergebnisses erkennen wir, daß lediglich eine allgemeine, gleichmäßige Zermalmung und Runzelung der Ausdruck dieser Wirkung sein kann.

Äußert sich dieselbe Kontraktion auf einer ungleichmäßigen Schale, so können wir uns durch den Kreisring mit der Lücke eine Achse so gelegt denken, daß sie die Mitte der Lücke mit einem

Gegenpol verbindet. Durch Rotation erhalten wir eine Kugelschale mit einer kreisförmigen Lücke. Wir wissen, daß in jedem Kreisringe nur ein Schub der benachbarten Teile gegen die Lücke stattfinden kann. In der Kugelschale können aber auch diese Schübe gegen die Lücke (Fig. 9) nur jenes Ausmaß erlangen, das durch die Verkleinerung der anliegenden Massen vorgeschrieben ist. Wenn wir uns um die Lücke herum die Kugelschale durch eine Anzahl von größten Kreisen, welche sich im Mittelpunkte der Lücke schneiden, zerlegt denken, so haben wir gleichsam eine Anzahl von Keilen vor uns. Keiner derselben kann gegen die Lücke vordringen, ohne zusammengedrückt zu werden oder die anderen zu verdrängen. Da sich alle gleichzeitig senken, so kann die Lücke nur entsprechend der allgemeinen Kontraktion verkleinert werden. Was von einer Lücke bewiesen wurde, gilt auch von anderen.

Fig. 10.



Besitzt eine Lücke einen von der Kreisform abweichenden Umriss, so kann man ihr einen kleinsten Kreis umschrieben denken (Fig. 10). Die Massen außerhalb dieses Kreises hemmen sich gegenseitig im Vordrange gegen die Lücke, während jene innerhalb desselben allerdings unter Umständen frei sich entfalten können, das heißt ohne Zusammenpressung ihre Gestalt auch trotz der Kontraktion behalten. Doch sind diese Unregelmäßigkeiten nicht von größerer Bedeutung.

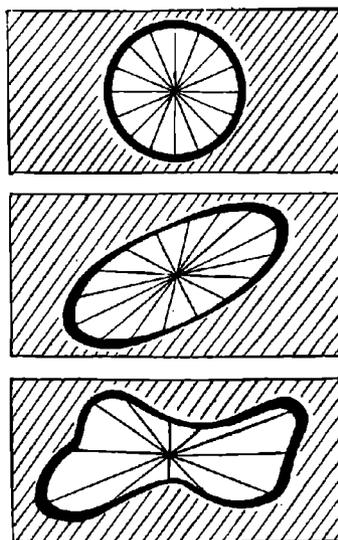
Wir können uns die Kugelschale von Löchern durchsetzt denken und trotzdem werden diese Löcher im allgemeinen nicht erheblich mehr zusammengedrängt als die anderen Massen. Die Annahme von Löchern gibt den äußersten, nie verwirklichten Fall von Ungleichmäßigkeit. Wie wir schon wissen, sind ja die Unterschiede in der Festigkeit der verschiedenen Erdstellen durchaus nicht so bedeutend. Unsere Kugelschale mit

den Löchern ist für den weiteren Gang der Untersuchung als bequemes, übersichtliches Anschauungsmittel noch beizubehalten.

Je nachdem wir uns die Lücken mit gleicher, weicherer oder härterer Masse gefüllt denken, haben wir andere Erscheinungen zu erwarten.

Die Erfüllung mit gleicher Masse stellt die allgemeine Gleichheit und die allgemeine Runzelung, Zermalmung, Aufquellung wieder her. Weichere Massen werden ebenfalls keine Veränderung hervorrufen, da sie sich leichter dem Übergange in einen kleineren Raum anschmiegen können. Denken wir uns dagegen die Lücken mit festeren Gesteinen besetzt, so werden daraus faltende Störungen folgen müssen.

Fig. 11.

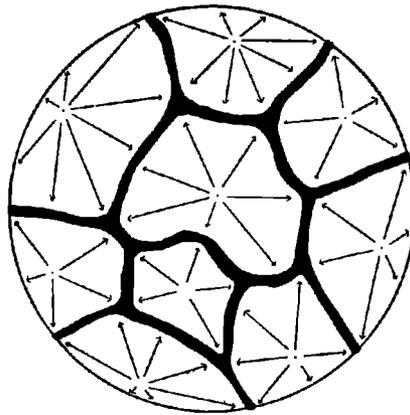


Die festere Scholle wird bei der Kontraktion ihr Volumen auf Kosten der nachgiebigen Umgebung beibehalten oder nur weniger davon einbüßen als die Umgebung. Die Folge davon ist ein gegen außen gerichteter Schub, welcher direkt proportional der entsprechenden Schollenbreite sein muß. Bei einer kreisförmigen Scholle ist er überall derselbe, wogegen zum Beispiel an einer Ellipse der längeren Achse ein größerer Vorschub entspricht als der kürzeren. Um diese Ausmaße bei einer unregelmäßigen Scholle zu erkennen, können wir folgende (Fig. 11) Überlegung benutzen. Von einer beliebigen Scholle, die ihr Volumen nicht der Kontraktion entsprechend verändert, bewegt sich nur ihr Schwerpunkt unverändert entlang seinem Radius gegen einwärts. Wenn wir den Schwerpunkt ermitteln und von ihm aus Strahlen gegen den Rand der Scholle ziehen, so müssen die einzelnen Ausmaße der Seitenschübe diesen Strahlenlängen entsprechen. Rings um eine solche Scholle

wird also ein Faltenwall aufgestaut, dessen Mächtigkeit eine getreuliche Abbildung der erzeugenden Scholle bildet.

Es braucht wohl nicht mehr besonders betont zu werden, daß eine sehr große Scholle nicht unverändert gegenüber der Kontraktion verharren kann, sondern nur soweit als ihre eigene Druckfestigkeit gestattet. Solche Schollen werden unter allen Umständen auch im Innern Zermalmungen und Faltungen erleiden. Hier handelt es sich daher nur um jenen Überschuß an Seitendruck, der an der Grenze festerer und weicherer Lagen zu faltenden Bewegungen frei werden kann. Als wichtiges Ergebnis ist festzuhalten, daß eine festere Scholle von einem Faltenringe umschlossen wird, dessen jeweilige Mächtigkeit nach der Form der Scholle sich richtet. Es können natürlich viele und sehr verschieden gestaltete festere Massen innerhalb von weicheren Zonen auftreten, doch müssen sie immer dieser Forderung gehorchen. Denken

Fig. 12.



wir uns viele und entsprechend große Schollen harter Gesteine in der Erdhaut angeordnet, so bilden die weicheren Gesteine in einem gewissen Stadium nur mehr ein Netz von verhältnismäßig schmalen Kanälen zwischen denselben. Diese Form hat insofern eine besondere (Fig. 12) Wichtigkeit, weil sie für die Theorie vom zweiseitigen Zusammenschub der Gebirge die einzig mögliche Grundformel darstellt.

Jede Scholle ist hier von einem Faltenringe umgürtet und da die Schollen einander sehr nahegerückt werden, so müssen die Faltenringe aneinanderschließen. Es ist natürlich auch denkbar, daß die Faltenringe an Stellen, wo ein ganz allmählicher Übergang der härteren in die weicheren Schichten stattfindet, sehr geschwächt, wenn nicht ganz unterdrückt erscheinen. Doch kann es sich hier der ganzen Annahme nach nur um einzelne Ausnahmefälle handeln.

In diesem Erd-bilde von Schollen und Faltungskanälen kann man bei oberflächlicher Betrachtung einige Ähnlichkeit mit der Verteilung der Gebirge und alten Tafeln entdecken. Wir werden uns

später genauer mit einer Darstellung seiner Formen und notwendigen Zusammenhänge zu beschäftigen haben, aus denen sich mit Sicherheit der Schluß ableiten läßt, daß die wirkliche Gebirgsverteilung nicht aus solchen Verhältnissen hervorgehen kann. Mit dem Gegensatze von harten Schollen und weichem Umlande sind jedoch noch nicht alle hierhergehörigen Möglichkeiten erschöpft.

Neben der ungleichen Festigkeit gegen Druck kann ungleiche Wärmeausdehnung und ungleiche Höhenlage noch in Betracht gezogen werden. Wir haben diese Gruppe von Unregelmäßigkeiten bei der Untersuchung am Erdringe außer acht gelassen, da sie für die Weiterleitung des Seitendruckes nichts Wesentliches bedeuten. Ungleiche Festigkeit gegen Druck gibt Anlaß zu lokalen Faltungen, die engstens mit den Schollen verbunden sind.

Nehmen wir nun an, zugleich mit der Kontraktion trete auch Wärmeveränderung in der Erdhaut ein. Ist dieselbe gleichmäßig, so geht nichts für die Faltung aus dieser Volumveränderung hervor. Haben wir aber in der Erdhaut, die sich im allgemeinen zusammenziehe, einzelne Schollen, die sich nicht oder nur wenig verkleinern, so erkennen wir sofort, daß damit wieder rings um diese Schollen gegen außen gerichtete Schübe auftreten müssen. Wir haben wieder Schollen und darum geschlungene Faltungsringe. Eine dritte Gruppe von Unregelmäßigkeiten kann dadurch zustande kommen, daß einzelne Schollen von vornherein eine erhöhte Lage gegen ihre Umgebung innehaben. Auch hier ist bei einer allgemeinen, gleichmäßigen Kontraktion entlang den Rändern der erhabenen Schollen wieder die Möglichkeit zum Aufwerfen von Faltungsringen gegeben. Jede dieser drei Gruppen vermag also, und zwar in ähnlicher Weise, Faltungen hervorzurufen. Ihre wesentlichsten Züge haben wir schon bei Beschreibung der ersten Gruppe hervorgehoben. Es ist klar, daß sich diese Unregelmäßigkeiten zu zweien oder dreien vereinigen können, wodurch nichts weiter als eine Erhöhung und Erleichterung der Faltenbildung erreicht wird.

**Mit diesen Ausführungen ist eine Übersicht jener Unregelmäßigkeiten geschaffen, die bei gleichzeitiger, allgemeiner Kontraktion den Anlaß zu faltenden Bewegungen geben können. Von einer Übertragung mächtiger Druckreihen und Absorption derselben an bestimmten Stellen kann keine Rede sein.**

Nunmehr wenden wir uns dem Einfluß ungleichzeitiger Kontraktion zu.

Ungleichzeitige Kontraktion zerlegt die ganze Kugelschale gewissermaßen in Einsenkungen und dazwischen erhabene Schollen. In diesem Zustande kann sie mit ungleichmäßiger Kontraktion verglichen werden, von der sie sich aber insofern unterscheidet, als durch ein späteres, gleichmäßiges Nachsinken die Ungleichheit wieder beseitigt wird. Eine Einsenkung bedeutet, wie wir schon am Erdringe näher ausgeführt haben, nicht unbedingt auch eine Zusammendrängung der sinkenden Massen. In den meisten Fällen ist damit lediglich eine vorzüglich in den Randzonen angehäufte Zermalmung und Zerstückelung verbunden. Nur die ganz regelrechte Einsenkung zwischen allseitig gegen innen konvergierenden Wänden muß eine Zusammendrängung zur Folge

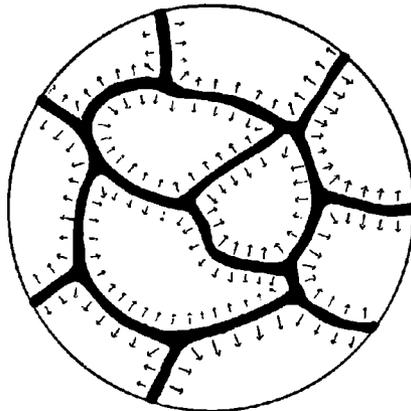
haben. In diesem Falle ist das Ausmaß der Raumverringering der Tiefe der Einsenkung und der jeweiligen Breite der sinkenden Scholle proportional. Hier könnte bei entsprechender Tiefe der Senkung und Größe der Scholle eine beträchtliche Zusammenstauung erzielt werden. In Wirklichkeit kennen wir keine so begrenzten und gleichmäßig gesenkten Schollen, welche bedeutende Dimensionen erreichen würden. Dabei müssen zwei Erscheinungen als besonders charakteristisch festgehalten werden. Einmal vermag eine sinkende Scholle, und zwar selbst eine von gewaltiger Ausdehnung, nicht, ihren Seitendruck in die Ferne zu senden. Der Seitendruck in ihrem Innern muß an Ort und Stelle vernichtet werden. Derjenige aber, welcher an den Rändern allenfalls frei werden kann, ist in keinem Falle hinreichend, um das Widerlager der erhabenen Umfassung in größerem Umfange beiseite zu schieben. Ist die Scholle klein, so sieht man unmittelbar, daß durch ihre Senkung nicht weit größere Massen, die zudem noch eine höhere Stellung innehaben, weggedrückt werden können. Unter sonst gleichen Verhältnissen kann im zentralen Schwerefeld nur eine größere (schwerere) Masse eine kleinere aus ihrer Bahn herausdrücken. Da aber, selbst wenn die Einsenkung gewaltige Massen beherrscht, doch nur eine verhältnismäßig schmale Randzone derselben für den Seitendruck gegen die Umrandung in Betracht kommt, so kann dieser Druck schon durch eine ebenso schmale Zone aufgehoben werden. In den meisten Fällen von Einsenkung wird es ja überhaupt nicht zur Entfaltung von Seitendruck kommen, in jedem Falle aber werden dieselben die erhabene Umrandung nicht in bedeutendem Maße zu verschieben vermögen. Zweitens ist aber noch die Art der Faltung wohl zu beachten, welche aus einer Senkung zwischen konvergierenden Wänden hervorgehen müßte. Da die Raumverminderung der jeweiligen Breite der Einsenkung entspricht, so muß die Faltungszone, wenn sie allein der Ausdruck der Pressung ist, an breiten Stellen mächtiger als an schmalen sein. Sie ist also eine Abbildung der Umrisse der Senkung.

Während wir der Senkung nur in Ausnahmefällen die Möglichkeit zur Schaffung von Seitendruck zuschreiben, kommt der Nachsenkung der erhabenen Teile jene Möglichkeit unbedingt zu.

Denken wir uns die Erdschale von zahlreichen Einsenkungen betroffen, welche jedoch keine Zusammendrängung der Schichten bewirken. Dieser erste Schritt der Kontraktion ist also ohne eine Zusammendrängung verlaufen. Senken sich nun die erhabenen Teile nach, so muß dieser zweite Schritt den ganzen Unterschied der kleineren und größeren Kugelschale auf einmal ausgleichen. Dadurch ist bis zu einem gewissen Grade die Möglichkeit einer Konzentration der Druckkräfte auf bestimmte Zonen gegeben. Wenn wir von einigen seltenen und darum unwahrscheinlichen Kombinationen zwischen erhabenen und gesenkten Gebieten absehen, so bleibt es am wahrscheinlichsten, daß die eine Art von Flächen von der anderen umschlossen wird. Wir hätten also wieder gleichsam Inseln zwischen einem Netzwerke von Kanälen. Je nachdem wir nun den Inseln oder den Kanälen den Vorsprung des ersten Einsinkens geben, können recht verschiedene

Formen von Faltungszonen entstehen. Bilden die erhabenen Teile Inseln zwischen schon gesenkten, so wird durch ihre Senkung ringsum ein gegen die Niederungen gerichteter Schub ausgelöst, der außerdem noch durch die schräge Neigung gefördert wird. Die Entstehung von randlichen Überschiebungen ist je nach Art der Randzone sehr erleichtert und unter Umständen der einfachste, mit der geringsten Kraft zu erreichende Raumgewinn. Die Falten- oder Überschiebungszone muß die erzeugende Scholle völlig umspannen und von Stelle zu Stelle eine Funktion ihrer jeweiligen Breite sein. Die Bewegung der einzelnen Schollenteile können wir uns wiederum ableiten, wenn wir von dem Schwerpunkte der ganzen bewegten Masse ausgehen, dessen Bahn durch seinen unveränderlichen Radius gekennzeichnet wird. Die Bedingung, daß die Faltenzone eine Abbildung des Umrisses der erzeugenden Scholle darstellen solle, ist nur bei kleinen Schollen genau erfüllt. Wir wissen ja, daß bei sehr großen auch im

Fig. 13.



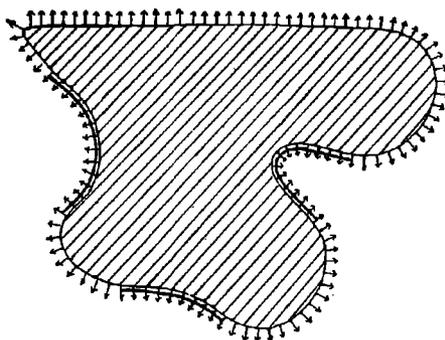
Innern bereits der Seitendruck der zusammendrängenden Massen die Festigkeit weit übersteigen und dieselbe überwältigen kann. Bei so großen Ausmaßen kommt für den gegen außen verfügbaren Seitendruck nur eine Randzone der ganzen Scholle zur Verwendung.

Wenn nun aber die erhabenen Teile der Kugelschale nicht Inseln, sondern Kanäle (Fig. 13) darstellen, so ist klar, daß hier der freien Entfaltung des Seitendruckes der Kampf um den Raum entgegenwirkt. Während im vorigen Falle die Kräfte von innen gegen außen, also divergierend, in gewissem Sinne auseinanderzerrend angriffen, haben wir hier konvergierende Schübe, welche nur zugleich mit einer Pressung der eigenen Massen auftreten können. Es lassen sich allerdings leicht Formungen der Kanäle denken, bei welchen zum Beispiel an langen Strecken fast gar keine Zusammendrängung die Bewegung gegen außen hemmt. Dafür müssen dann wieder Stellen vorkommen, an welchen diese Hemmung in den Vordergrund gelangt. Die Hemmung ist eine direkte Funktion der Krümmung des Randes

zwischen gesenkten und erhabenen Teilen. Verläuft diese Grenze auf große Strecken geradehin oder auswärts gebogen, so tritt dieselbe nicht ins Spiel. Dafür müssen auf solche Strecken umso schärfer einwärts gebogene folgen, an denen die gegenseitige Stauung der Massen eine Bewegung gegen außen zum Stillstand zwingen kann.

Bei kreisförmigem Umriß ist die Stauung eines Einwärtsschubes überall dieselbe. Der größere Kreis hat für dieselbe Strecke jedoch immer die kleinere. Alle anderen Umrissformen vereinen jeweils kleinere und größere in ihrem Bereiche. Hier kommt es zur Entwicklung von Maxima und Minima (Fig. 14), deren Extreme scharfe, nach ein- oder auswärts gekehrte Spitzen darstellen. Jede solche Hemmungsstelle bedeutet eine Unterbrechung der regelrechten Faltungs- oder Überschiebungszonen. Die Form der Faltung ist von der Form des Umrisses abhängig, und zwar entspricht der schärferen die heftigere Störung, der flacheren die Rückkehr zum ruhigeren Faltenwurf. Gerade

Fig. 14.



Strecken müssen durch regelmäßige Falten bezeichnet werden. In diesem Sinne können wir also auch die Faltung als eine Abbildung der Einsenkung auffassen. Die Art der Abbildung ist allerdings eine verschiedene. Im vorigen Falle entsprach der schärferen Biegung im allgemeinen ein größerer Vorschub, hier eine schärfere Störung der Faltung durch Auftreten von gekreuzten Druckrichtungen. Dort hatten wir im wesentlichen eine Abbildung der Form der Fläche, hier eine solche der Randkurvenform. Dabei darf man aber nicht vergessen, daß wir hier in der Mächtigkeit der auftretenden Faltungen unter bestimmten Beschränkungen den Ausdruck der Größe des vordringenden Hinterlandes vor uns haben. Erinnern wir uns für kurze Zeit der Ergebnisse der Untersuchung gleichzeitiger Kontraktion einer ungleichmäßigen Kugelschale. Auch dort hatten wir als wahrscheinlichste Formen Inseln und Kanäle einander gegenübergestellt. Aber während wir hier in beiden Fällen bei vertauschten Rollen Faltungszonen hervor- gehen sehen, hatten wir dort nur bei der Annahme von Verschiedenheiten der Höhenlage die Möglichkeit einer Faltungswirkung, je von Inseln und Kanälen aus. Es zeigt sich somit, daß zentrisch angeordnete Seiten-

drucke dann am ehesten faltende Bewegungen auslösen können, wenn ihnen noch ein im gleichen Sinne geneigtes Gefälle Unterstützung bietet.

Nunmehr haben wir die Wirkungen zu betrachten, die dann entstehen können, wenn zu den früheren Bedingungen als weitere Unregelmäßigkeit ein örtlich verschiedenes Ausmaß von Kontraktion hinzutritt.

Gleichzeitige ungleichmäßige Kontraktion kann man sich annäherungsweise zerlegt denken in eine gleichzeitige gleichmäßige + ungleichzeitige ungleichmäßige Kontraktion. Eine solche Zerlegung ist insofern auch in Wirklichkeit wahrscheinlich, als unter sonst gleichen Umständen eine tiefere Senkung länger andauern wird als eine flachere.

Beide Teilerscheinungen haben wir schon einzeln betrachtet und können darum auch ihre Kombination leicht überschauen.

Der erste Akt kann nur bei ungleichmäßiger Kugelschale zu faltenden Bewegungen Anlaß geben. Ihre Formen und Abhängigkeiten haben wir schon im einzelnen besprochen.

Der zweite Akt, der auf die Weiterbildung von Einsenkungen hinausläuft, wird durch das erledigt, was wir über Senkungen gesagt haben. In den meisten Fällen ist damit gar keine Zusammendrängung gegeben, wenn aber eine solche eintritt, so bleibt sie auf die nächste Nähe der Senkzone eingeschränkt.

Die zweite Gruppe von Kombinationen entspringt aus ungleichzeitig ungleichmäßiger Kontraktion. Dadurch können sowohl Verstärkungen für die faltenden Bewegungen als auch Schwächungen derselben abgeleitet werden. Wir haben gewissermaßen den ersten Schritt der ungleichzeitig gleichmäßigen Kontraktion hier als dauernde Erscheinung vor uns.

Hier muß eine Unterscheidung eingeschaltet werden.

Entweder bewegen sich überhaupt nur gewisse Teile der Erdhaut nach einwärts oder es bewegen sich alle, jedoch verschieden weit. Der erste Fall ist bereits früher erledigt worden, und zwar mit dem Hinweise, daß Einsenkungen meistens direkt keine Faltung hervorrufen können. Den zweiten Fall können wir wieder in eine gleichmäßige gleichzeitige und ungleichmäßige ungleichzeitige zerteilen. Dann gilt das, was vorhin darüber ausgeführt wurde.

Damit sind in flüchtiger Übersicht jene Gruppen von Unregelmäßigkeiten charakterisiert, aus denen faltende Seitendrucke in der Kugelschale unmittelbar bei deren Kontraktion hervorspringen können. Wir haben für alle ganz bestimmte Gesetze ihres Auftretens gefunden, die sich sowohl auf die Ausbildung der Falten oder Verschiebungen als auch auf deren Zusammenhänge beziehen. Die Gesetze der Faltenordnung in der Kugelschale sind lediglich eine Folge des zentrischen Schwerefeldes der Kugelfläche und der den irdischen Gesteinen zukommenden geringen Festigkeit.

Somit ist die Faltung von vornherein als eine Funktion der betroffenen Gesteine und der Erdgröße aufzufassen, wenn man die Faltungerscheinungen überhaupt von einer allgemeinen Kontraktion der Erde herleiten will. Diese Gesetzmäßigkeiten müssen die Grundlagen bilden, von denen wir zur Prüfung der Gebirge der Erde vorschreiten können, ob deren Formen und Verbindungen als die not-

wendigen Folgen einer allgemeinen Erdkontraktion angesehen werden dürfen oder nicht. Bei dieser Ableitung der Verteilungsgesetze sind natürlich die Faltenzonen als Einheiten großen Stils zusammengefaßt. Sie stehen hier im Gegensatz zu unzerdrücktem oder gleichmäßig zermahlenem Lande, in welchem das Übermaß und die Allseitigkeit des Druckes das Aufkommen von Faltungen erwürgte.

Bevor wir zum Vergleiche mit den Gebirgen der Erde übergehen, wollen wir nochmals in Kürze die wesentlichsten Sätze unserer Untersuchung betonen.

**Es gibt keine Möglichkeit innerhalb der Kugelschale, um die aus dem Zusammendrängen der Massen in dem zentrischen Schwerkraftfelde entstehenden Seitendrucke einseitig zu ordnen und in zwei ungeheure Druckreihen zusammenzufassen. Der dabei summierte Druck würde um das Viehhundertfache die Festigkeit der Gesteine**

Fig. 15.

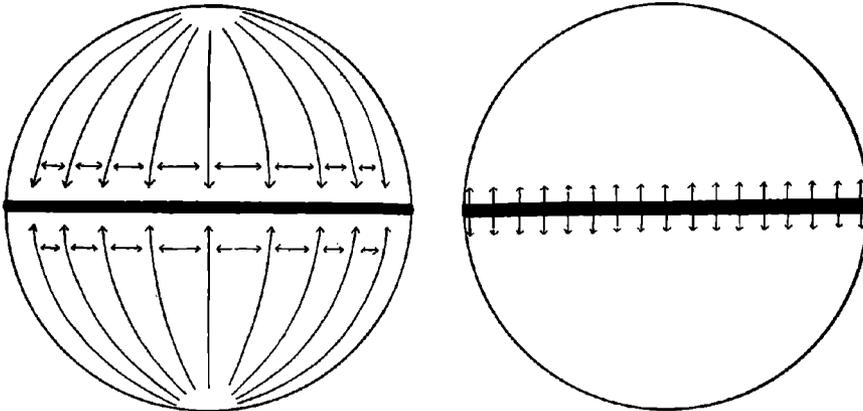


Fig. 15 a.

Fig. 15 b.

übertreffen und könnte daher unmöglich durch ein so schwaches Medium weitergeleitet werden. Bedeutende Überdrucke werden an Ort und Stelle durch Zermalmung, Faltungen, Schiebungen etc. vernichtet. Ausserdem könnte in einer Kugelschale niemals, auch bei entsprechend festen Leitungsgesteinen, eine einzelne Zone um den ganzen Kontraktionsbetrag eines grössten Kreises verringert werden. He im hat bekanntlich die Zusammenfaltung der Alpen aus dem Kontraktionsüberschusse eines vollen Erdringes abgeleitet. Wir haben das Ungeheuerliche, Unwahrscheinliche dieser Annahme schon am einzelnen Erdring erwiesen. In der Kugelschale erfordert diese Annahme noch weit umfassendere Umwälzungen aller Massen. Stellt man sich die ursprüngliche Geosynklinale, in welcher die Gesteine eines Gebirges zur Ablagerung kamen, als ein im Vergleich zur Erde kleines Becken dar, so wissen wir, daß die Zusammenpressung desselben nicht wesentlich größer sein kann als diejenige eines beliebigen anderen gleichen Flächenstückes. Der günstigste Ausnahmefall für diese Annahme

(Fig. 15 a, 15 b) ist erreicht, wenn die Geosynklinale längs eines größten Kreises die ganze Erde umspannt. Dann hätten wir die Geosynklinale gewissermaßen zwischen zwei riesigen Halbkugeln eingeschlossen, die sich bei einer Kontraktion von je einem Pole aus gegen die Synklinale allseitig in Bewegung setzen. Es ist klar, daß hierdurch von den beiden Polen aus gleichsam immer weitere Erdpanzerringe gegen den Äquator der Geosynklinale vorgedrängt werden. Es entsteht also, von den Polen ausgehend, in der Richtung gegen den Äquator eine immer heftigere Pressung, welche senkrecht zur ersten Druckrichtung und parallel der Geosynklinale angeordnet ist. Diese Pressung kann entweder durch allgemeines Aufquellen der Gesteine oder Einschaltung von Faltungszonen aufgehoben werden, welche, an Breite abnehmend, senkrecht von der Geosynklinale gegen die beiden Pole ziehen. Unter solchen Bedingungen kann die Geosynklinale eine sehr heftige Querpressung erleiden, welche die Längspressung überwiegt. Auch bei einer um die Erde geschlungenen Geosynklinale kann also unmöglich der ganze allseitige Seitendruck in zwei einseitigen Druckreihen entlang der Synklinale aufgestapelt werden. Ich halte eine solche Annahme aus folgenden Gründen für rechtlos.

Es hat keine Geosynklinale von dieser Gestalt und Lagerung jemals bestanden. Ebenso ist äußerst unwahrscheinlich, daß dieselbe von gleichartigen Gesteinen erfüllt würde. Die Festigkeitsunterschiede der irdischen Gesteine in größeren Komplexen sind durchaus nicht groß genug, um solche Wirkungen zu veranlassen. Andererseits ist die Gesteinsfestigkeit auch viel zu gering, um solche Drucke entlang der Erdoberfläche zu übermitteln. Die Verteilung der Gebirgszüge auf der Erde läßt sich nicht auf eine solche oder ähnliche Grundformel zurückführen. Wenn wir die Geosynklinale als weiche oder eingesenkte Zone zwischen festeren oder höheren Massen auffassen, so muß der Druck immer gegen das Innere derselben gerichtet sein. Nur wenn wir uns die ehemalige Synklinale als erhobene Zone vorstellen, kann der faltende Schub von innen gegen außen gerichtet sein. In allen Fällen muß die Faltung zweiseitig und symmetrisch angeordnet sein. Der einseitige, nach außen gerichtete Faltendrang, der an den meisten Gebirgszügen der Erde zur Schau tritt, ist unvereinbar mit einer solchen Entstehung.

Wenden wir uns nach dieser Abschweifung, welche der Heimschen Gebirgsformel galt, den weiteren Gesetzen zu!

Wenn keine Summation der Seitendrucke in großem Umfange möglich ist, so wird dadurch auch die Mächtigkeit jener Faltenzonen, welche aus der allgemeinen Kontraktion entspringen können, sehr beschränkt. Nur ganz riesige Ausmaße der Kontraktion könnten dann noch ausreichen, um die tatsächlichen großen Faltengebirge zu erklären.

Die Faltungen, welche durch irgendwelche Unregelmäßigkeiten in der Erdschale entstehen können, müssen immer die erzeugenden oder hemmenden Schollen umschließen. Schollen und Faltungsringe sind der

allgemeinste Ausdruck dieser engen und notwendigen Verbindung. Sie stehen gegenseitig in dem Verhältnisse der Abbildung. Diese Forderung kann, weiter gefaßt, als die Geschlossenheit der Druckreihen in einer Kugelschale bezeichnet werden. Als erzeugende Scholle wird diejenige angesprochen, von welcher die faltende Bewegung ausgeht, als hemmende jene, gegen welche die Bewegung gerichtet ist. Mit diesen Angaben sind in wenigen Strichen jene Faltungszonen charakterisiert, welche unmittelbar der allgemeinen Kontraktion zu entspringen vermögen. Nur in den Fällen, wo bei gleichmäßiger, gleichzeitiger Kontraktion infolge von Unregelmäßigkeiten der Gesteine Faltungszonen auftreten, sind diese vom Erdinnern unabhängig. Unter allen anderen Umständen können wir die Faltungen als Abbildungen von zeitlichen oder örtlichen Verschiedenheiten des beweglichen Untergrundes begreifen.

Diese Abbildungsfähigkeit von Vorgängen in der Tiefe ist ebenfalls eine Funktion der Gesteinsfestigkeit und nur eine bedingte, da wir uns sehr leicht Massen vorstellen können, welche dafür empfindlicher und ausdrucksvoller wären.

---

### Über das gegenseitige Verhältnis benachbarter Faltenringe.

Die Kriterien der Kontraktionsfaltungen in bezug auf Teilung, Schlingung, Innen-, Außenseite und Umbiegung. — Selbständigkeit der Faltungszonen der Erde.

(Textfigur 16—21.)

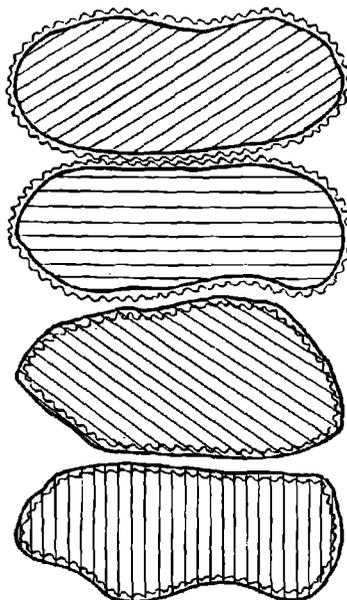
Der Fortschritt der Untersuchung gebietet nunmehr, das gegenseitige Verhältnis von Faltenringen zu betrachten, wenn sich dieselben nahekommen oder berühren. Eine Kreuzung derselben ist bei gleichzeitiger Entstehung ausgeschlossen, dagegen kann ein jüngerer Faltenring ganz wohl unter geeigneten Umständen einen älteren durchschneiden. Wie aus den früheren Ableitungen folgt, haben wir zwei verschiedene Gruppen von Faltungsringen zu unterscheiden. Bei den einen geht der erzeugende Schub von innen nach außen, bei den anderen in umgekehrter Richtung vorstatten. Legen sich (Fig. 16) zwei Ringe aneinander, so ist wohl zu beachten, daß das hierdurch entstehende, scheinbar einheitliche Gebirge aus zwei wohl geschiedenen Zonen zusammengeschweißt ist. Diese Zonen können je nach den Umständen in bezug auf ihre Mächtigkeit und Entwicklung gleichwertig oder ungleichwertig sein.

Man kann sich jede dieser Faltenzonen als durch einseitigen, überwältigenden Druck gegen ein ruhiges oder doch weniger bewegtes Vorland entstanden denken. In jedem Falle sind sie das Ergebnis eines

zum Stillstande gekommenen, einheitlichen und einseitigen Massengedränges. Stellen wir uns nun zwei benachbarte Schollen vor, welche gegen ihr gemeinsames Zwischenland hin je eine Faltenzone erzeugen. Es ist nun klar, daß jede dieser Faltenzonen für sich allein frei bestehen kann. Schwellen die Faltenzonen an, so können sie sich berühren, ja bei weitem Vordrange endlich zusammenpressen. So kann eine äußerlich einheitliche Faltenchar zustande kommen, deren innere Zwiespältigkeit sofort an den beiden Trennungsstellen der Ringe wieder zum Vorschein gelangen muß.

**Umgekehrt können wir behaupten, dass jeder aus der allgemeinen Kontraktion hervorspriessende Faltenstrang, welcher sich zu teilen**

Fig. 16.

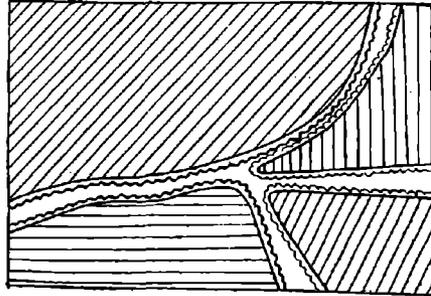


**vermag, überhaupt nicht einheitlich sein kann, sondern (Fig. 17) aus zwei Faltungsfäden bestehen muss.** Dieser Satz, der unmittelbar aus unseren früheren Überlegungen hervorgeht, steht mit der tatsächlichen Form der großen Faltengebirge in vollstem Widerspruche. Nach den Darstellungen von E. Suess müssen dieselben als einheitlich und gleichsinnig bewegte Massen verstanden werden. Wenn diese Gebirge von einer allgemeinen Kontraktion abstammten, so müßten sie unbedingt zweiteilig, und zwar mindestens von einer Abzweigung bis zur nächsten sein. Außerdem müßte der der Abzweigungsseite entgegengesetzte Teil stets den vollständigen, unzerteilten Stamm des ganzen Systems bilden. Das gilt natürlich nur für ein Gebirge, das wenigstens auf einer Seite einer einheitlichen Scholle zugehört.

So sehen wir, daß die Verzweigungen der Faltenzüge für deren Beurteilung und Entstehung sehr wichtig sind.

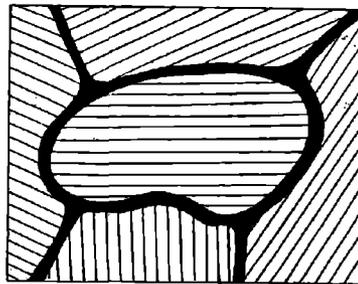
Ein Faltenring kann nicht nur einen, sondern auch mehrere Anschlüsse besitzen (Fig. 18). Diese Anschlüsse müssen immer und unbedingt auf der Außenseite der erzeugenden oder hemmenden Schollen sich einstellen. Wenn wir eine große Scholle sehen, die von

Fig. 17.



einem Faltenringe umwallt wird, der auf der Außenseite einen oder mehrere Anschlüsse anderer Ringe besitzt, so können wir mit Sicherheit die große Scholle als eine tektonische Einheit begreifen. Würde sie keine darstellen, so wäre sie noch von Faltenzügen oder Zermalmungsstreifen im Innern zerteilt. **Eine Einheitsscholle wird also von einem Faltenringe eindeutig bezeichnet und gegen die Einflüsse einer Nachbar-**

Fig. 18.

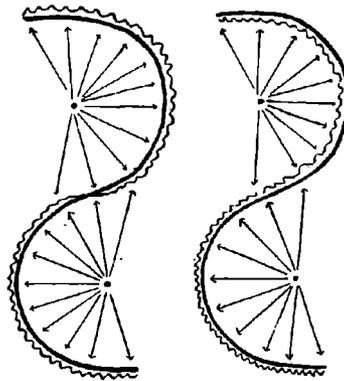


**scholle begrenzt. Es ist daher ganz ausgeschlossen, dass die Innenseite eines Faltenzuges durch Umbiegung zur Aussenseite einer anderen Scholle werden kann. Das wäre überhaupt nur dann möglich, wenn nicht völlig geschlossene Faltenringe, sondern Schlingen vorlägen. Solche S-förmige, mehr oder minder (Fig. 19) vollständige oder verzogene Faltenschlingen kommen in Wirklichkeit nicht selten vor.**

Jeden Halbring für sich kann man als einer Scholle, einem zentrischen Drucksystem, einer Schwerpunktsbewegung zugehörig betrachten. Wenn diese S-förmige Faltschlinge aus Kontraktionsschüben abzuleiten wäre, so müßte an der Stelle, wo die Faltenzone aus dem Gebiete der einen Schollenherrschaft in das der anderen übergeht, auch ein Wechsel der Struktur bedingt sein. Das könnte nur umgangen werden, wenn man annähme, daß der nach einer bestimmten Richtung drängende Faltschwung ebensogut durch entgegengesetzte Schübe erzeugt werden könnte.

Diese Annahme widerstreitet allen Erfahrungen. So wenig sicher man aus einer einzelnen überschlagenen Falte auf die erzeugende Druckrichtung schließen kann, so verläßlich wird dieser Schluß, sobald man das gesamte Stauungsbild betrachtet, welches durch das Ersterben einer mächtigen horizontalen Bewegung entsteht. Hier muß unter allen Umständen wenigstens zeitlich die Innen- und Außenseite

Fig. 19.



verschieden sein. Diese Verschiedenheit ist überhaupt eine Funktion des einseitigen Schubes an sich und kann nicht umgangen werden. Da sie bestehen muß, so kann eine S-förmige Faltschlinge nicht mit gleicher Struktur zwei entgegengesetzt wirkenden Schollenschüben zugeordnet sein. Das Bewegungsbild einer solchen Schlinge kann aus der allgemeinen Kontraktion der Erde nicht abgeleitet werden.

Nehmen wir nun den inneren Faltenring einer Scholle, an den von außen allseitig andere Ringe angeschlossen sind, so können wir diese ganze Faltungsgruppe wieder als eine Einheit nehmen. Hier steht nun dem allseitig geschlossenen inneren Faltungsringe ein unmittelbar anliegender äußerer entgegen, der notwendig aus mehreren Stücken verschiedener Faltungsringe bestehen muß.

Dieses Faltungsbild zeigt aufs anschaulichste die große Verschiedenheit zwischen dem geschlossenen inneren und dem aus mehreren Stücken zusammen-

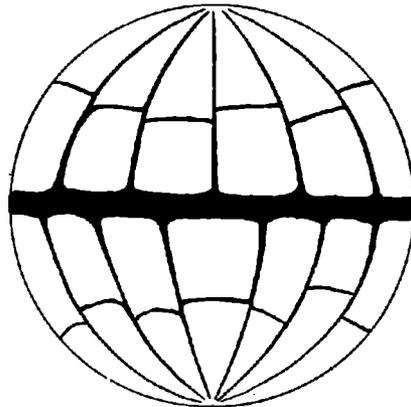
gebogenen äußeren Faltungsgürtel. Da der Umriß der Schollen stets ein im wesentlichen gegen außen gekrümmter sein muß, hätten wir also die unregelmäßige, mehrfach verknüpfte und von den Störungen der Anschlüsse zerteilte Zone stets als die konvexe im Verhältnisse zu den Schollen zu bezeichnen.

Genau das Umgekehrte beobachten wir an den Schlingen und Abzweigungen der wirklichen irdischen Gebirgszüge.

Da jeder Faltungsring im Verhältnisse zu seiner Scholle als Innenseite, im Verhältnisse zu benachbarten Schollen dagegen als Außenseite auftritt, so ist einleuchtend, daß von einer tektonischen Verschiedenheit nicht die Rede sein kann.

Die Unterscheidung einer äußeren Faltungs- und Verschiebungszone im Gegensatze zu einer inneren Zerrungszone kann an den Faltungsgebirgen der allgemeinen Erdkontraktion nicht gemacht werden.

Fig. 20.



Wir haben gesehen, daß jeder Faltenstrang, der Abzweigungen entsendet, zweifach sein muß. Diese Doppelseitigkeit hat aber mit dem Unterschiede einer äußeren Faltenlage und inneren Zerrungszone nichts gemeinsam. Beide Zonen sind tektonisch gleichwertig und nur durch den Gegensatz der Bewegungsrichtung geschieden. Eine Zerrungszone kann nicht vorhanden sein, wenigstens geht sie nicht unmittelbar aus einer allgemeinen Kontraktion hervor. Zerrungen können, wie wir erkannt haben, allenfalls zur Begleitung von Einsenkungen gehören, niemals aber zu der von Zusammenpressungen.

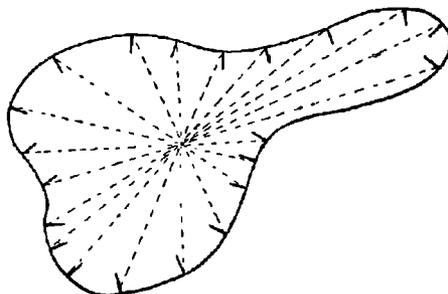
Damit ist wieder ein wichtiges Kriterium gegeben, welches uns beweist, daß die Faltenzüge der Erde in ihrem Verlaufe ganz wesentlich von jenen verschieden sind, welche aus der allgemeinen Kontraktion hervorgehen könnten.

Die Krümmung der Faltenstränge haben wir als eine notwendige Folge ihrer Entstehung aus Bewegungen erkannt, welche entweder

von Schollen ausgehen oder gegen solche gerichtet sind. Wenn die Größe der einheitlich auftretenden Schollen nicht durch die Gesteinsfestigkeit begrenzt würde, so wäre eine Erdhalbkugel jene Scholle, welche (Fig. 20) den größten Faltenring besitzen könnte. Eine solche Scholle muß in Wirklichkeit durch Unregelmäßigkeiten, durch innere Faltung und Zermalmung vielfältig zerteilt und in kleine Einheitschollen zerlegt sein. Sie kann also nicht von einem einheitlichen Faltungsringe umschlossen werden. Wenn es trotzdem durch eine seltsame Reihe von günstigen Bedingungen zur Entwicklung eines Faltenäquators kommen könnte, so würde dieser Faltenstrang an beiden Seiten aus je einer Reihe von aneinandergeschlossenen Faltungsringen bestehen. Wir hätten hier den einzig möglichen Fall, wo in der Kugelschale der Faltungsring einer Scholle durchaus geradlinig verlaufen könnte.

Dementsprechend hätten wir zu beiden Seiten Anschlußstücke, die aller Wahrscheinlichkeit nach in Meridianen auf diesen Äquator angeordnet wären. Eine Zerlegung der Erdkugel in zwei Schalen,

Fig. 21.



von denen die eine größer, die andere kleiner als die Halbkugel ist, hat, abgesehen von der unüberwindlichen Grenze der Gesteinsfestigkeit, auch darum keinen Sinn, weil die größere Schale unmöglich gegen die kleinere bewegt werden kann. In Wirklichkeit setzt die Gesteinsfestigkeit den einheitlich bewegbaren Schollen enge Grenzen der Größe.

Gebirgszüge, welche ohne Abzweigungen bedeutende Teile der Erdoberfläche durchdringen, können daher schon aus diesem Grunde nicht aus Schüben von Schollen hervorgehen, weil es keine so großen, einheitlichen geben kann. Die Zusammengehörigkeit von Schollen und Ringen bringt aber noch eine andere (Fig. 21) Erscheinung mit sich, auf welche hier hingewiesen werden muß.

Nur wenn die Scholle kreisförmig ist, stehen die Verbindungslinien des Randes mit dem Schwerpunkte senkrecht auf erstere.

Da wir wissen, daß die Bewegung einer Scholle durch jene des Schwerpunktes gegeben ist, stellen diese Verbindungslinien des Schwerpunktes mit einem Punkte des Randes genau die diesem Punkte entsprechende Schubrichtung dar. Die Länge der Verbindungslinien kann

zugleich als Maß des Vorschubes verwendet werden. Haben wir nun einen von der Kreisform stark abweichenden Schollenumriß, so ist es klar, daß die Druckrichtungen, welche vom Schwerpunkte ausstrahlen, nicht überall auf der Randkurve senkrecht stehen. Das tritt besonders bei schmal ausgezogenen Zungen von Schollen scharf hervor. Da die Falten senkrecht zur Druckrichtung angeordnet sind, so müssen sie an scharfen Ein- oder Ausbuchtungen schräg zum Umrisse der Scholle verlaufen. Mit anderen Worten, es kann eine Faltenzone, wenn sie einer Scholle zugehört, nicht scharfe Umbiegungen beschreiben, ohne daß an solchen Stellen das Streichen der Falten schräg zum Schollenrande gerichtet wird.

Je schmaler die von den Falten umschlossene Schollenzunge ist, desto schiefer stehen die Druckstrahlen und damit die Falten auf dem Schollenrande. In sehr extremen Fällen muß es an solchen Stellen sogar zu Zerreißen und Verschiebungen entlang dem Schollenrande kommen.

Damit haben wir wieder ein Kriterium für die Untersuchung der Faltenzüge entdeckt. Die scharfen und engen Umbeugungen lassen uns wichtige Aufschlüsse über die Struktur und Entstehung vermuten. In Wirklichkeit können wir an der Erdoberfläche vielfach sehr enge Umbeugungen von Faltenzonen beobachten, wobei jedoch die Falten auch an den Bugstellen dem Innenrande und untereinander parallel bleiben.

**Damit beweisen diese Faltenzonen ihre Selbständigkeit und Unabhängigkeit von erzeugenden oder hemmenden Schollen. Solche Umbiegungen, wo auch an den schärfsten Stellen noch immer der Druck auf dem Aussenrande senkrecht steht, können nur sehr schmale Bewegungszonen beschreiben. Dadurch wird ein Herkommen der Schübe aus grösserer Ferne aufs klarste widerlegt. Diese Umbeugungen sind absolut charakteristisch für eine verhältnismässig sehr schmale Bewegungszone. Faltenstränge mit solch glatten Umbeugungen beweisen uns sicher, dass sie nicht als Randerscheinungen von starren Schollen aufgefasst werden können. Hier liegen völlig selbständige Bewegungszonen vor.**

Die sogenannten Leitlinien der Gebirge besitzen durch die Lage der alten Gesteinsmassen und die Anhäufung von Faltungen einen ganz bestimmten Bewegungssinn. In diesem Sinne kann man bei den meisten Gebirgen von Einseitigkeit sprechen. Dieser Bewegungssinn steht allenthalben senkrecht auf den Leitlinien und schliesst so eine Entstehung durch Wirkung der umschlossenen oder umschliessenden Schollen aus. Er kann sich solcherart nur dann entwickeln, wenn er allein von der Faltungszone selbst abhängig ist. Er kann nur einer schmalen Zone bei allen ihren Bewegungen gefügsam bleiben. Die enge Verbindung der Leitlinien mit dem Bewegungssinne bezeichnet die Faltenstränge als Zonen eigener Entstehungskraft. Sie stellen keine passiven Zonen dar. Sie senden Bewegungen aus. Wir können sie als Kraftlinien im Antlitz der Erde bezeichnen.

## **Kritik der Faltungsformen von Gebirgsbildungen durch Volumschwankungen der Gesteine oder Massenverschiebungen an der Erdoberfläche.**

(Textfigur 22 und 23.)

Wir haben zu Beginn der Untersuchung die Hypothesen der Gebirgsbildung in zwei Gruppen geschieden; in solche, welche Kraft und Baumaterial aus dem Gebirgsraume oder dessen Umgebung beziehen, und in jene, welche die ganze Erde als Aufsamlungsgebiet derselben in Anspruch nehmen.

Zuerst wurde die Unmöglichkeit einer allgemeinen Summation und Konzentration der seitlichen Druckkräfte entlang der ganzen Erdfäche bewiesen. Aus einer allgemeinen Erdkontraktion können nur gewisse Faltungen hervorgehen, welche durch die Zusammengehörigkeit von Scholle und Ring charakterisiert sind. Wir haben dabei mehrfache Kriterien gefunden, welche uns zeigen, daß die Faltungen der Erdoberfläche wenigstens größtenteils auch mit diesen Formen unvereinbar sind und daher nicht einer allgemeinen Kontraktion entstammen können. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß wir dabei nur die unmittelbar der Kontraktion entspringenden Schubkräfte berücksichtigt haben. In allen Fällen, haben wir des weiteren erkannt, sind Schollen und Ringe engstens als Abbildungen miteinander verbunden. Außerdem muß sich jeder zeitlich oder örtlich verschiedene Einfluß des Erdinnern selbst bei der allgemeinen Kontraktion an der Erdoberfläche bemerkbar machen. Wir können also von Abbildungsfähigkeit des Erdinnern reden, was außerordentlich wichtig zu bemerken ist. Die Theorie des tangentiellen Schubes hat diesen tiefsten und innigsten Zusammenhang aller Erdhautbewegungen ganz in den Hintergrund gedrängt. Sie hat die Beziehungen des Nebeneinanders der Schichten vor allem betont und die viel wichtigeren des Untereinanders übergangen.

Wir haben durch unsere Untersuchungen das Vorwiegen der vertikalen Beziehungen und Bewegungen wieder klar gemacht, ohne darum etwa im geringsten die horizontalen Bewegungen zu verkennen. Die Faltungen, die Einbrüche, die Kontinente und Meeresbecken jedoch durch die jeweils geringere oder größere Festigkeit der Gesteine gegen Seitendruck zu erklären, ist unmöglich.

Durch den Nachweis von der Unmöglichkeit der Summation der Druckkräfte über den ganzen Erdraum hin sind jene Theorien überwunden, welche Kräfte und Material der ganzen Erdoberfläche für die Gebirgsbildung zusammenraffen.

Wir können nun zu der anderen Gruppe von Theorien übergehen, welche die Gebirge auf ihrem eigenen Grunde oder in dessen Umgebung entstehen lassen.

Hier sind zunächst jene Theorien zu betrachten, welche die Aufrichtung und Faltung der Schichtmassen durch Volumvergrößerungen

derselben zu erklären versuchen. Der durch solche Volumvergrößerungen erzeugte Druck ist notwendig ein allseitiger. Wenn gleichen Massen eine gleiche Ausdehnung entspricht, so ist klar, daß die Gesamtausdehnung einer Scholle überall ihren Dimensionen gemäß sein muß. Nehmen wir, wie es ja den langen, verhältnismäßig schmalen Faltenzügen entspricht, ein entsprechend lang- und schmalgestrecktes Ablagerungsbecken an. Aus irgendwelchen Gründen trete später eine auf die Schichten dieser Geosynklinale beschränkte Volumvergrößerung der Gesteine ein. Wenn wir nun beispielsweise das Verhältnis der Länge der Synklinale zur Breite gleich 10 : 1 setzen, so ist klar, daß sich die erzielbare Verlängerung zur Verbreiterung ebenfalls wie 10 : 1 verhalten muß. Steht der Ausdehnung nun an allen Seiten ein Hindernis im Wege, so kann unmöglich ein parallel geordneter Faltenstrang entstehen, sondern nur eine allgemeine Aufhebung, eine Verdickung der ganzen Masse, vielleicht verbunden mit dem Aufwerfen von kleinen, wirr verteilten Runzeln an der Oberfläche. Eine Ausnahme könnte nur eintreten, wenn zum Beispiel die Ausdehnung in die Länge gestattet, jene in die Breite verhindert würde. Dieser Fall kann bei einer Geosynklinale der Erdoberfläche nicht verwirklicht werden. Wenn es aber nicht möglich ist, aus dem allseitigen Drucke ein- oder zweiseitigen abzuleiten, so ist damit auch die Unmöglichkeit zur Erschaffung von langen, parallelen Faltenzügen erhellt. Die tatsächliche Struktur von langen, weithin parallel geordneten Faltenwellen ist vollständig unvereinbar mit einer Entstehung aus dem allseitigen Drucke von Volumvergrößerung der Massen.

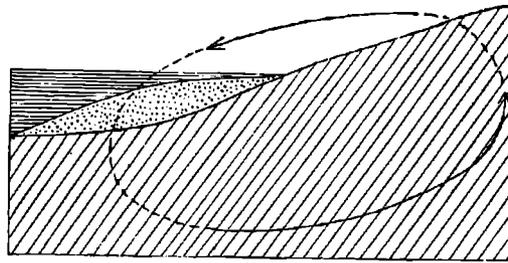
Neben den auf solche Massenschwellungen aufgebauten Theorien sind jene anzuführen, welche die oberflächlichen Massenverschiebungen für bedeutend genug erachten, um entsprechende Gegenströmungen in der Tiefe zu erzwingen. Die Bildung der ersten Unebenheiten auf der Erdoberfläche muß auch diese Theorie wie jede andere den Kräften des Erdinnern allein zuschreiben. Sind diese einmal zugleich mit den notwendigen Eigenschaften der Atmosphäre gegeben, so wird die Zerstörung unaufhörlich auf der Erdoberfläche an der Ausgleichung der Höhenunterschiede arbeiten. Im wesentlichen ist dadurch eine von den Höhen ausgehende sedimentäre Überschiebung der Tiefen gegeben. Die Höhen werden beständig erleichtert, die Tiefen ebenso fortwährend belastet. Nimmt man nun an, daß die ursprüngliche Höhen- und Tiefenverteilung einem Gleichgewichtszustande entsprach, so ist klar, daß derselbe fortwährend, und zwar in einem bestimmten Sinne gestört wird.

Denkt man sich nun die Erdhaut und das Erdinnere für solche Umlagerungen empfindlich genug, so hat man angeblich die Bewegungselemente für die Errichtung von Faltungsgebirgen in Händen. An der Erdoberfläche haben wir von jeder Höhe eine Massenströmung gegen die Tiefe. Dieser Oberstrom wird in seiner verschiebenden Wirkung durch einen entgegenlaufenden Unterstrom aufgehoben, der Massen, die in den Tiefen liegen, gegen die Höhen zu drängt. Wir haben also gewissermaßen (Fig. 22) eine geschlossene Bewegungsbahn vor uns, welche im Bereiche der Höhe aus dem Innern emporsteigt, im Bereiche der Tiefe aber hinabsinkt. Es wird nun angenommen, daß

der Ausgleich dieser Strömungen nicht allmählich, sondern ruckweise vor sich gehe, so daß eine entsprechende Anhäufung von Sedimenten erst den Unterstrom auszulösen vermag. Dieser Unterstrom soll nun stark genug sein, um die Sedimente zu einem Gebirge aufzustauen. Es ist wohl ohne weiteres klar, daß dieser einfache Schematismus die Erklärung der Gebirgsbildung nicht zu geben vermag. Abgesehen von all den unwahrscheinlichen Vorannahmen, ist gar nicht einzusehen, wie durch die Abtragung einer Erhöhung ein Unterstrom erzeugt werden könnte, der eine weit mächtigere und großartigere Erhebung hervorrufen soll.

Wenn man von dem ungeheuren, langsamen Wege dieser Abtragung und allem Kräfteverlust durch Reibung absieht, müßte doch immer das abgetragene Gebirge höher, größer gewesen sein als das später dadurch erzeugte. Das ist nun wider alle geologischen Erfahrungen. Im übrigen ist auch gar nicht erfindlich, warum dem allmählichen, stetigen Oberstrom nicht auch ein ebensolcher Unterstrom entspricht. Diese weit wahrscheinlichere Annahme würde aber zu einer

Fig. 22.



unendlichen Kreiswirkung und niemals zu Gebirgsbildungen führen können.

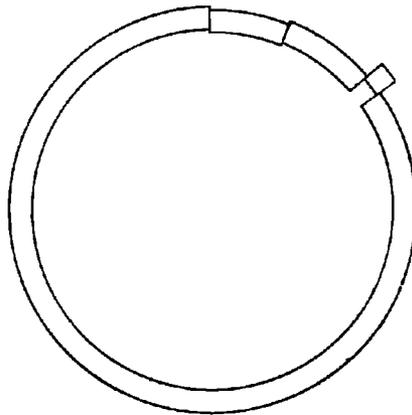
Auch in anderer Gestalt ist diese Erklärung verwendet worden.

Es sollen Einsenkungen von mehr oder minder ausgedehnten Schollen in der Nachbarschaft Erhebungen und Zusammenpressungen zur Folge haben können. Wir haben schon eingangs dieser Untersuchung hervorgehoben, daß die Erdhaut infolge ihrer geringen Druckfestigkeit sich auch nicht einmal in kleineren Gewölbeausschnitten frei schwebend zu erhalten vermag. Wir können also nicht von einem wirklich für sich allein bestehenden Erdgewölbe reden. Die Erdhaut muß jeder Senkung der Unterlage sofort nachgeben. Sie besitzt gegen das Erdinnere genaueste Empfindlichkeit und stete Folgsamkeit. Somit muß die Erdhaut als von dem Erdinnern getragen, gestützt betrachtet werden. Gibt der Untergrund nach, folgt die Schale und es wird dadurch kein auftreibender Druck an irgendeiner anderen Stelle geschaffen. Man könnte höchstens annehmen, daß der Nachbruch mit etwas zu großer Gewalt geschieht, so daß die neue Ruhelage der Scholle erst nach einem gewissen Schwingen erreicht wird. Auf solche

indirekte Weise durch Schwingungen oder Stöße könnte allerdings die Nachbarschaft beunruhigt werden. Im übrigen haben wir schon früher gesehen, daß Senkungen, besonders wenn sie große Gebiete betreffen, sicher nicht plötzlich und gleichzeitig eintreten. Auf jene Schwingungen und Stöße wird man wohl Erdbeben, aber niemals Gebirgsbildungen zurückführen können. Außerdem ist sehr zu überlegen, daß Senkungen sowohl an der Oberfläche als in der Tiefe eher zu einem Drängen der Massen gegen die neue Tiefe als zum Entgegengesetzten Anlaß geben müssen.

Die Vorstellung, daß durch Senkungen in der Nachbarschaft direkt Hebungen erzwungen würden, hat immer ein festes, für sich bestehendes Erdgewölbe zur Voraussetzung (Fig. 23). Würde hier nun gleichsam eine Scholle wie ein Stempel hineingetrieben, so müßte darinnen allerdings Kompression eintreten, welche einen Auftrieb an einer anderen, schwächeren Stelle bewirken könnte.

Fig. 23.



Es wird also die Erde wie eine gebogene Röhre behandelt, in welcher hydrostatischer Druck herrscht. Dabei müßte man immer annehmen, daß das Hinabdrücken der Scholle durch eine Gewalt von oben bewirkt wird. Das könnte nur durch sedimentäre Belastung sein. Damit haben wir wieder den schon erledigten Gedankengang der isostatischen Theorie vor uns liegen.

Eine andere Theorie der Gebirgsbildung bedient sich zur Erklärung der Faltungszonen des Einflusses der Schwere auf Massen längs schiefer Ebenen. Die Möglichkeit dieses Vorganges ist vollständig sicher und ebenso kann diese Annahme sehr viele Eigentümlichkeiten der Faltengebirge begreiflich machen. Trotzdem vermag sie, wenigstens in der bisher gegebenen Fassung, ebenfalls nicht die Gesamtheit der Erscheinungen zu durchdringen.

Wir werden uns später noch eingehender damit zu beschäftigen haben und können uns daher vorläufig mit dieser kurzen Anmerkung begnügen.

Wir haben nun die wichtigeren Theorien der Gebirgsbildung einer Prüfung unterzogen, welche sich auf die allgemeine Massenverteilung, die Anordnung, die Ausgestaltung und Verzweigung der Faltenstränge bezogen hat. Wie wir gesehen haben, genügen all die aufgeführten Erklärungen nicht einmal diesen Anordnungen der verschobenen Massen im großen.

Das großzügige Faltungsbild der Gebirge können wir nunmehr verlassen, um uns eingehender mit der Faltung im einzelnen zu befassen. Bisher wurden die Faltenzonen als große Ordnungen in ihrem Gesamtstil angeschaut, nun dringen wir in den anatomischen Aufbau, in die Elemente derselben ein.

Wir müssen die Entstehung der einzelnen Falten, ihre Aneinanderreihung, ihre Übertreibungen, ihre Störungen ins Auge fassen. Dasselbe gilt von den Überschiebungen, die für die moderne Auffassung der Faltengebirge eine solche Bedeutung erlangt haben, daß es dem Sinne mancher Forscher entsprechen würde, überhaupt nur von Überschiebungsgebirgen zu reden.

Hat man bisher die normale Faltung vor allem beachtet, so werden wir zeigen, daß es sich nunmehr in erster Linie um die gestörte handeln muß. Die Frage nach der Natur der Unregelmäßigkeiten wird uns eine Reihe von interessanten und wertvollen Aufschlüssen näher zu bringen vermögen.

---

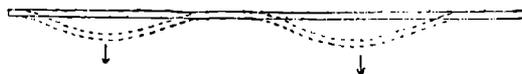
### Einige Grundbedingungen der Faltenbildung.

Verschiedene Entstehungsarten von Falten. — Umfang der Massenbewegungen bei Faltungen und Schiebungen. — Theorie der Schiebungen. — Wurzelzone. — Schublänge. — Förderung. — Die Fortpflanzung der Faltung. — Drucksicherung. — Verkehrt konische Struktur. — Höhe der Faltenwellen. — Unmöglichkeit der Ausbildung von Überfalten durch Über- oder Unterschieben.

(Textfigur 24—85.)

Die Faltenbildung kann mehrfachen verschiedenen Bedingungen entspringen und muß darum im einzelnen Falle untersucht werden, da sie nicht als eindeutiges Bild derselben Ursache angesehen werden kann. Wenn wir jedoch alle begleitenden Umstände beachten, so ist es nicht schwer, die unterscheidenden Merkmale zu entdecken.

Fig. 24.



Vor allem muß betont werden, daß ein wellig verbogener Schichtstreifen sowohl durch Zusammenpressen als auch durch Zerrung (Fig. 24) entstehen kann. Denken wir uns, eine ausgedehnte ebene Schichtplatte werde von einzelnen, nicht schroff begrenzten Einsenkungen oder Erhebungen betroffen, so haben wir eine durch Vertikalbewegung und

Dehnung erzeugte Wellenform vor uns. Nehmen wir ein altes Bergrelief mit parallelen Höhen und Tälern und lassen dasselbe von Gesteinsniederschlägen bedecken. Wird dieses System verfestigt und später erhoben, so ist ebenfalls eine wellenförmige Anordnung der oberflächlichen Sedimente gegeben, welche mit Faltung nichts gemein hat. Es ist jedoch sofort klar, daß auf solche Weise niemals heftig und hoch gefaltete Zonen entstehen können, wie wir solche in den Faltengebirgen auf Schritt und Tritt begegnen.

Bei entsprechend elastischen Stoffen, wie Tuch, Papier, Leder etc., kann sogar starke Faltung dadurch erreicht werden, daß man Streifen dieser Stoffe einer bedeutenden Zerrung unterwirft. Die Falten streichen in der Richtung des Zuges.

Solche Stoffe können jedoch vermöge ihrer Elastizität und Zähigkeit niemals mit Gesteinsmassen verglichen werden. Die großen, weithingestreckten, heftig bewegten Faltungszonen der Erde müssen wohl im wesentlichen als Gebilde seitlichen Druckes betrachtet werden. Dieser Druck kann ein- oder zweiseitig sein.

Ein mehrseitiger gleichzeitiger Druck kann nicht zur Bildung von langen und parallelen Faltenwegen führen.

Einseitiger Druck kann einmal durch den Andrang einer bewegten Masse gegen eine weniger oder gar nicht bewegte Schichtlage entstehen. Beispiele solcher Schübe haben wir bei der Prüfung der Kontraktionsfaltungen mehrfach gefunden. Ebenso kann einseitiger Schub durch Abgleiten von Massen längs schiefer Flächen erfolgen. Wenn wir unter der Erdhaut aus irgendwelchen Ursachen Verschiebungen von Massen und dadurch erregte Strömungen annehmen, so können diese ihre Oberdecken erfassen und in bestimmter Richtung falten.

Es darf nicht übersehen werden, daß alle einseitigen Schübe, insofern sie nicht aus einer allgemeinen Kontraktion entspringen, notwendig mit Zerrungen verbunden sein müssen. Während beim einseitigen Schub die eine Begrenzung ruhig bleibt oder sich langsamer in derselben Richtung bewegt, findet beim zweiseitigen Schub ein Gegeneinanderdrängen beider Begrenzungen statt. Es ist leicht einzusehen, daß der doppelseitige Schub viel rascher und intensiver wirken kann. Beispiele des doppelseitigen Schubes haben wir ebenfalls schon mehrere besprochen.

Ein wichtiger Unterschied zwischen einseitig oder zweiseitig verschobenen Massen wird dadurch gegeben, daß im zweiten Falle eine relativ ruhende Zone innerhalb der Faltenmasse liegen muß, während im ersten Falle jeder Punkt der bewegten Masse seine Lage verändert.

Je nachdem, wie sich die entgegennenden Druckkräfte verhalten, ist die Lage dieser ruhigen Zone verschieden. In ihrem Bereiche heben sich die entgegengesetzten Kräfte auf. Man kann also bei einem solchen Faltenystem in gewissem Sinne von einer Faltenknotenzone reden.

Des weiteren muß beachtet werden, daß nur im Falle einer oberen Massenströmung die Faltungszone den vollen Bereich der bewegten Massen darstellt.

Kommt ein- oder zweiseitiger übertragener Schub bei der Faltenbildung ins Spiel, so zeigt uns die Faltenzone nur einen Bruchteil der ganzen Massenverschiebung an. Dasselbe gilt bei der Unterströmung. Da beim seitlich übertragenen Schub diese Verschiebung notwendig eine Überschiebung gegen die untenliegenden Massen bedeuten muss, so steht jede derartige Faltenzone mit einer oder zwei Überschiebungen in innerlichem Verbands. Das Ausmass dieser Überschiebungen ist durch den Betrag der Zusammenfaltung durchaus nicht bestimmt (Fig. 25).

Bevor wir weitergehen können, müssen hier einige wesentliche Unterscheidungen aufgestellt und eingeführt werden. Man kann die Überschiebungen nach ihrem Verhältnisse zum Untergrunde in zwei Gruppen zerlegen (Fig. 26).

Entweder verschiebt sich die ganze obere Masse gegen ihre Unterlage oder die Verschiebung der beiden Teile beginnt an einer gewissen Stelle und steigert sich von da längs einer größeren oder kleineren Strecke entweder im Sinne der Bewegung oder umgekehrt.

Fig. 25.



Die Überschiebung der ersten Art bedeutet ein Gleiten der oberen über die unteren Schichten, wobei es beiderseits zu Faltungen kommen kann oder nicht.

Dabei ist wohl zu beachten, daß sich die gleitende Scholle allseits frei bewegen oder an ihrer Stirn mit dem Untergrund verbunden bleiben kann.

In diesem Falle, welcher zur zweiten Art gehört, können wir von einer **vorderen Wurzel der Überschiebung** reden.

Dieselbe stellt natürlich eine Zone von heftigen Faltungen dar.

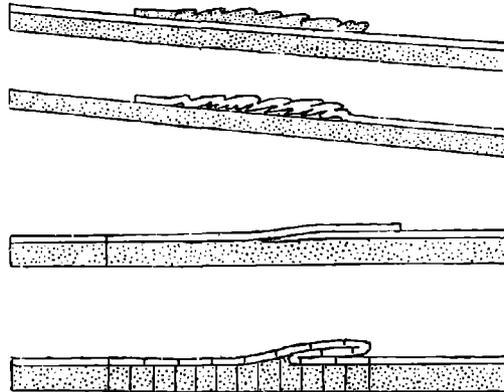
Durch eine völlig freie, selbständige Bewegung wird das Verhältnis der oberen und unteren Schichten vollständig gelöst und zerschnitten.

Die Überschiebungen der zweiten Art sind ganz anders gestaltet. Hier haben wir zwei Gesteinslagen, welche auch nach dem Eintritte der Überschiebung entlang einer oder zwei Zonen miteinander verwachsen sind. Diese Zonen kann man als die **Wurzeln der Überschiebung** bezeichnen, während dieser Ausdruck für die erstere Art von Überschiebungen völlig sinnlos ist. **Diese Wurzeln können nach dem Sinne der Überschiebung als vordere und hintere bezeichnet werden.**

Von der Wurzel ausgehend, sind die ehemals zusammengehörigen Teile entlang der Schubfläche getrennt worden. Diese Trennung der

entsprechenden Punkte der oberen und unteren Lage gibt uns an jeder Stelle das Maß der gegenseitigen Verschiebung an. Dabei muß natürlich Faltung und Volumveränderung wohl im Auge behalten werden. Hier sind nun die verschiedensten Möglichkeiten gegeben. Es können alle Punkte oder einzelne Teile gleichmäßig oder ungleichmäßig verschoben werden, es kann in bestimmter Richtung eine Steigerung, eine Abnahme etc. eintreten.

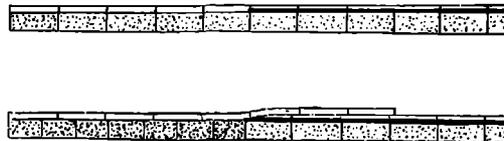
Fig. 26.



Es würde mich hier zu weit führen, alle diese Kombinationen zu untersuchen und vorzuführen. Das soll einer anderen Arbeit vorbehalten bleiben.

Es mag hier genügen, folgende Definitionen für den Gebrauch zu geben.

Fig. 27.



Unter einer Überschiebung dieser Art steckt 1. eine Masse, welche früher entlang der Schubfläche gleich ausgedehnt war wie ihre Decke; 2. eine Masse, welche entlang der Schubfläche eine Mindestausdehnung des ganzen Überschiebungsbetrages darstellt.

Die Gesamtlänge, längs welcher zwei Massen von einer Wurzel aus verschoben sind = Überschiebungslänge = Schublänge (Fig. 27).

Die größte Länge, um welche die einst zusammenhängenden Stellen nach der Verschiebung entlang der Schubfläche voneinander abstehen = Förderungslänge.

Es ist klar, daß eine Überschiebung von sehr bedeutender Schublänge sehr wenig fördern kann und umgekehrt. Schublänge und Förderungslänge (Schubmasse und Förderungsmasse) sind durchaus nicht proportional (Fig. 28).

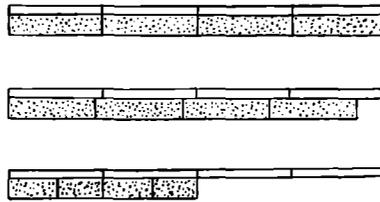
Ein Beispiel wird dieses Verhältnis sofort erklären.

A. Heim läßt die Alpen durch Summierung der Kontraktionschübe eines ganzen Erdringes entstehen. Wir hätten also zur Schaffung der Alpen zwei von einem Gegenpol ausgehende Überschiebungen von einer Schublänge von je ungefähr 20.000 *km*, denen zusammen eine Förderungslänge von 120 *km* gegenüberstünde. Man sieht, wie diese vielfach eingebürgerte Anschauung notwendig mit Überschiebungen von einem Ausmaße rechnen muß, gegen welche alle beobachteten geradezu lächerlich gering sind.

Haben wir hier gewissermaßen ungeheure Schublänge mit sehr geringer Förderung, so ist auch das Gegenteil theoretisch denkbar.

Der Zusammenhang von Faltungszonen und Überschiebungen, wie ihn die aus der Kontraktion entspringenden Faltformen alle mehr

Fig. 28.



oder weniger aufweisen, geht im Grunde wieder auf die ursächliche Verbindung von Schollen und Faltenringen zurück.

Die Faltungszonen, welche durch Gleiten oder Unterströmung gebildet werden, kann man als freie und zugleich gefaltete Schubmassen ansprechen.

Auch wurzelnde Schubmassen können gefaltet sein. Wir werden übrigens sehen, daß jede intensive, enge Faltungszone ganz notwendig an ihrer Basis eine Schubfläche haben muß.

Nehmen wir eine Schichtlage von größerer Mächtigkeit an, welche seitlichem Drucke unterworfen wird, so ist ohne weiteres klar, daß eine bestimmte Raumverengung in sehr verschiedener Weise erreicht werden kann. Wir wollen hier vor allem einen Umstand ins Auge fassen.

Es kann die gesamte Schichtmasse durch den Druck zu einheitlichen Falten gezwungen werden oder es können gleichsam (Fig. 29) mehrere Stockwerke verschiedener Faltung übereinander entstehen. Die letztere Erscheinung ist nicht selten zu beobachten.

Wir kennen in keinem Gebirge Faltenwogen, welche gleichmäßig die Schichtglieder aller dort vorhandenen Formationen umfassen. Das würde mit anderen Worten verlangen, daß der Kern jedes Gewölbes

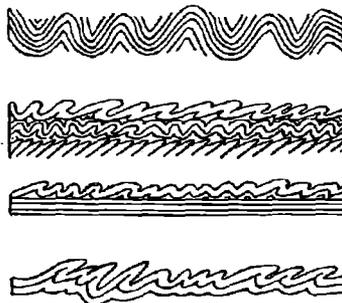
auch noch die archaischen Gesteine umschlösse. In Wirklichkeit haben wir es allenthalben immer nur mit Faltungen beschränkter Schichtgruppen zu tun. Sind in solchen Faltenzonen Mulden und Sättel ganz zusammengeklappt, so ist die Zone gegen unten und oben tektonisch selbständig, das heißt es können keine anderen Schichtgruppen in gleicher Weise an der Bewegung teilgenommen haben. Schubflächen müssen eine solche Zone wenigstens an der Unterseite begleiten.

Man darf übrigens aus einer gefalteten Zone der Oberfläche durchaus nicht schließen, daß auch die Unterlage gefaltet sein müsse. Es kann sowohl ein ganz ungefalteter oder ein anders gefalteter Komplex die Unterlage bilden.

Es ist hier auch vielleicht der Ort, darauf hinzuweisen, daß man bei großen Faltengebirgen sehr sorgfältig zusehen muß, was immer auf Rechnung einer bestimmten Faltung gesetzt werden darf.

In keinem großen Gebirge läßt sich eine und dieselbe Schichtfolge völlig zusammenhängend darüber hin verfolgen. Da wir wissen,

Fig. 29.



daß die Faltungen gewöhnlich nur verhältnismäßig nicht sehr mächtige Schichtlagen gleichförmig beherrschen, können wir sehr wohl verschiedenartige und auch gleichzeitige Faltungszonen unter- und nebeneinander haben. Insbesondere können die archaischen Gesteinsgruppen nicht unbedingt mitgezählt werden, da sie ja überall gefaltet vorliegen. Wenn gleitende Faltung ins Spiel tritt, so kann durch dieselbe ein schräges, mächtiges Schichtsystem so zerlegt werden, daß die einzelnen Faltungsstockwerke verschieden weit seitlich verschoben werden. Dadurch kann der Anschein einer heftigen Zusammenpressung der ganzen Masse hervorgerufen werden.

Zu erwähnen ist übrigens auch, daß durch Entlastung weiche, schmiegsame Schichten zum Faltenwerfen angeregt werden können.

Wenn sich ein ausgedehnter Schichtstreifen infolge eines Schweregefälles oder getragen von Unterströmungen in Bewegung setzt, so ist es sehr wahrscheinlich, daß diese Bewegung die ganze Masse gleichzeitig ergreift und umgestaltet. Hier sind somit wenigstens im großen alle Falten untereinander gleichartig.

Ganz andere Verhältnisse treten auf, wenn ein- oder zweiseitiger Druck auf eine ausgedehnte Schichtmasse faltend drängt. Im allgemeinen wird zwischen starrem, schiebendem und dem gefalteten Lande ein Unterschied der inneren Struktur bestehen. Die Ungleichmäßigkeiten, welche da von Wichtigkeit sind, werden im allgemeinen große, weitgedehnte Räume beherrschen, was ja übrigens schon aus dem Anblick der irdischen Faltengebirge überzeugend genugsam hervorgeht.

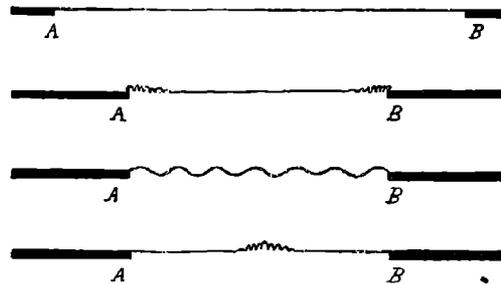
Nehmen wir also zwischen zwei festeren Schollen eine breite, langgedehnte, weichere Zone an, welche von den härteren Schollen zusammengedrückt wird.

Die Ausdehnung einer einzelnen Falte soll gegen die der ganzen weichen Zone verschwindend gering sein.

Wenn wir nun die Fortpflanzung oder Leitung der Faltung betrachten, so haben wir theoretisch drei sehr verschiedene Möglichkeiten vor uns.

*A* und *B* bezeichnen die Ränder der weichen Zone (Geosynklinale) und somit jene Stellen, wo sich die härteren und weicheren Medien

Fig. 30.



im selben Niveau berühren. Es sind nun bei zweiseitigem, gleichmäßigem Druck folgende Kombinationen da (Fig. 30):

I. Es bildet sich bei *A* und *B* je eine getrennte Faltenherde aus.

II. Es wird das ganze Stück *A—B* zu einheitlichen Falten verbogen.

III. Es erhebt sich in der Mitte von *A—B* eine Falte, an welche die übrigen zu beiden Seiten anschließen.

Bei I sind die beiden äußersten Falten zugleich die ältesten.

Bei II haben wir lauter gleichaltrige Falten.

Bei III ist die innerste Falte die älteste.

I gibt die einzig wahrscheinliche Form der Einwirkung einer vordringenden starren Scholle auf das weichere Vorland an.

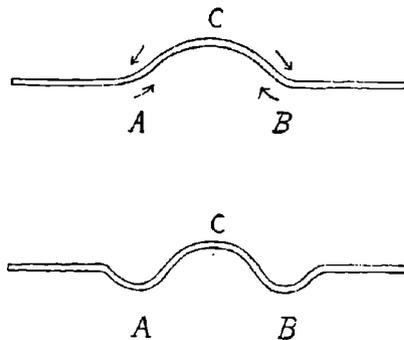
II ist überhaupt bei der großen Breite der Geosynklinale, bei der geringen Festigkeit der Gesteine und vor allem wegen der gewaltigen Trägheit der

schweren Massen unmöglich. Es ist ganz ausgeschlossen, daß eine breite Zone von weicheren Schichten durch horizontalen Seitenschub, der in derselben Schwerefläche angreift, gleichzeitig in gleichmäßige Falten gebogen wird. Eine solche Erscheinung ist nur beim Gleiten oder als Wirkung einer Unterströmung verständlich.

In diesen zwei Fällen wird nämlich jeder Punkt der gesamten Schichtmassen gleichzeitig von bewegenden Kräften erfaßt, während wir es hier mit der Weiterleitung, der Fortpflanzung einer Bewegung zu tun haben.

Bei ein- oder zweiseitigem Schub in der Ebene stößt eine bewegte gegen eine relativ ruhende Erdzone. Es ist nun unter allen Umständen leichter, den schmalen, gerade vorliegenden Saum der ruhenden Ge-

Fig. 31.



steine aufzustauen, als die ganze übrige Masse gleichmäßig faltend zu erregen.

Die Aufstauung der Falten an der Stirn der schiebenden Scholle ist der klare Ausdruck des großen Trägheitswiderstandes der ruhenden Massen gegen eine erzwungene Ortsveränderung.

III nimmt keine Rücksicht auf die Grenzen der beiden Medien und ist daher höchst unwahrscheinlich.

Aus unseren früheren Untersuchungen haben wir ersehen, daß Faltungszonen, insofern sie aus Seitendruck der Kontraktion entspringen, vor allem an den Grenzen verschiedener Gesteinsmedien auftreten müssen. Indessen sind auch innerhalb von gleichartigen Schichten Faltungszonen ganz wohl denkbar. Hier muß die Stelle, wo die Falte aufgeworfen wird, von den erzeugenden Bewegungen selbst bestimmt werden.

Denken wir uns nun, es bilde sich infolge von zweiseitigem Zusammenschub eine lang hinstreichende Aufwölbung der oberen Schichten.

Bezeichnen wir mit  $A$  und  $B$  die seitlichen Grenzlinien der Aufwölbung und mit  $C$  ihren Scheitel, so ist ohne weiteres klar, daß bei  $A$  und  $B$  der Druck auf die Unterlage stark gesteigert ist, während zugleich unter  $C$  Entlastung (Fig. 31) eintritt.

Diese Folgerung besteht natürlich nur so lange zu Recht, als das Gewölbe sich selbst zu tragen vermag und nicht anderweitig gestört wird. Schreiben wir der Unterlage entsprechende Plastizität zu, so muß von dieser Druckverteilung von beiden Seiten her eine Massenströmung gegen das Innere der Faltungskuppel eingeleitet werden. Ihre Folge ist eine Senkung der Aufwölbung und damit die Angliederung von je einer parallelen Muldenzone. So sehen wir, daß, ganz abgesehen von äußerlichen Umlagerungen durch Schichtenfaltung (Ableitungen von den Sätteln gegen die Mulden), auch innerliche Massenverschiebungen bei günstigen Verhältnissen angeregt werden können.

Die vielgenannten Firsteinbrüche können, soweit sie nicht überhaupt falsch gedeutete, ganz andersartige Vorgänge sind, leicht als Einbrüche in die durch oberflächliche Faltung erzeugten Hohlräume verstanden werden.

Es mag hier auch darauf hingewiesen werden, daß die Kraft, welche eine Gesteinsschicht von bestimmter Mächtigkeit zu einer Wölbung erhebt und endlich zusammenklappt, auf ihrem Wege eine erst ansteigende und dann absteigende Summe von Arbeit zu verrichten hat.

Das Zusammendrücken einer leeren Aufwölbung wird dem Seitendrucke umso leichter, je steiler die Wölbung ist. Ein Gewölbe und ebenso eine Mulde stellen also der Zusammenpressung, solange sie nicht zugeklappt sind, unter gewöhnlichen Umständen den geringsten Widerstand entgegen. Liegt also zum Beispiel zwischen dem ruhigen und dem andrängenden Lande eine noch geöffnete Faltenwoge, so kann dieselbe in gewissem Sinne als eine „**Drucksicherung**“ für das Vorland bezeichnet werden.

Der andrängende Schub kann sich dem Vorlande erst wieder stärker bemerkbar machen, wenn die Faltenzone zusammengeklappt ist. In diesem Sinne ist jede Falte die Bedingung für das Zustandekommen der nächsten anliegenden. Sie muß durch Zusammenklappen so viel Festigkeit erlangt haben, daß sie nunmehr selbst gleichsam zu einem Stück der drängenden, starren Scholle geworden ist.

Bilden sich in einer Faltenchar aus irgendwelchen Gründen einzelne hervorragende, höhere, stärkere oder breitere Gewölbezonen aus, so können dieselben beim weiteren Fortgang der Faltung zu einer ganz abweichenden Entwicklung gelangen, indem sich ihre oberen Teile der Zusammenpressung teilweise entziehen und so endlich gegen oben verbreitert erscheinen. Wir wollen diese häufig beobachtete Umgestaltung als „verkehrt konische Struktur“ bezeichnen.

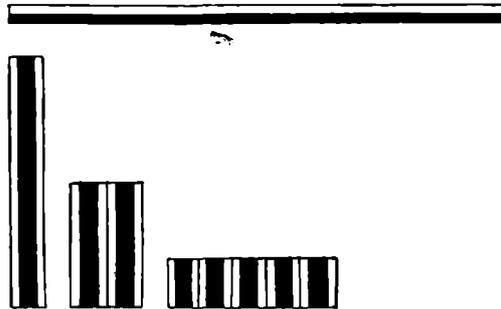
Die hervorragenden Aufwölbungen erlangen gewissermaßen innerhalb der Faltenwogen eine beschränkte eigene Selbständigkeit. Ihre

oberen Teile sind so weit erhoben (oder die angrenzenden Mulden so sehr gesenkt), daß sich der faltende Schub der Hauptsache nach nicht mehr entlang den Gewölben, sondern unter denselben gerade durch fortpflanzt. Sie sind somit teilweise ausgeschaltet und stehen mit ihren Rücken über dem Niveau der heftigsten Zusammenpressung. Die Folge einer solchen Ausschaltung ist eine stärkere Beanspruchung der tieferen Teile gegenüber den höheren. Es findet eine Zerlegung in eine tiefere, inniger, heftiger und kleinwelliger gefaltete Zone statt, über welcher die höheren, stärkeren, gröberen Stücke wie aufgehobene Keile und Decken lagern.

Die Muldenzonen zwischen solchen Aufwölbungen erscheinen gegen oben verengt. Je nach der Gesteinsart und dem Verlauf des Schubes wird sich die „verkehrt konische Struktur“ als Faltenfächer, Gewölbekeil, oder als mehrseitige Überschiebungsdecke entwickeln.

Faltenfächer kann man auch als Erzeugnisse einer zweimaligen Faltung betrachten (siehe Fig. 5, pag. 555).

Fig. 32.



Die „verkehrt konische Struktur“ zeigt uns unzweideutig den Oberflächencharakter einer Faltungszone an. Sie kann nicht in der Tiefe entstehen. Sie erfordert unbedingt freie Räume oder wenigstens Entlastung zwischen den obersten Aufwölbungen, damit sich dieselben vom Zwang der tieferen Faltung befreien können.

Diese Kriterien für das Wachstum von Faltenzonen sind sehr wichtig zur Beurteilung der vorhandenen Faltungen. Wer die Faltenzonen als zwischen zusammendrängenden starren Schollen entstanden annimmt, muß, falls der Druck im selben Niveau einwirkt, zugeben, daß die äußersten Falten die ältesten sein müßten. Desgleichen bilden dieselben die Stütze für alle weiter einwärts gelegenen. Das kann aber nur sein, wenn am äußeren Rande völlig zusammengeklappte Mulden und Sättel lagern.

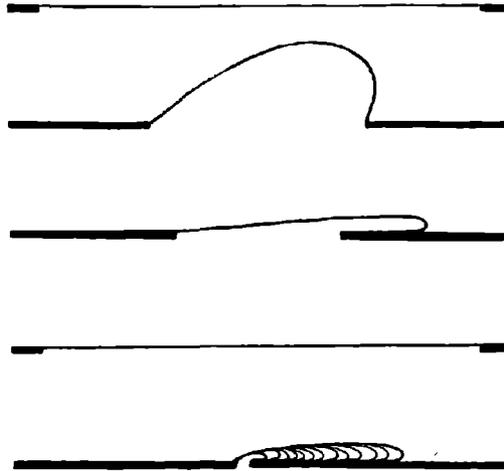
Das ist nun beides allen tatsächlichen Beobachtungen entgegen. Wir haben viele Gründe anzunehmen, daß die äußersten Falten weder die ältesten sind, noch aber als Träger der übrigen aufgefaßt werden können.

Außer der Fortpflanzung der Faltungswellen müssen wir auch die Höhe (Fig. 32) der Faltungswogen in Betracht ziehen.

Wir haben schon gesehen, daß die Mächtigkeit der von einheitlicher Faltung durchwogenen Schichtmassen eine sehr begrenzte ist. Das würde rein theoretisch noch nicht die Möglichkeit zu sehr hohen Faltungen in Ausschluß bringen. Tatsächliche Beobachtung aber lehrt uns, daß auch hier nur sehr beschränkte Ausmaße möglich sind. Nehmen wir wieder unsere breite, weiche Geosynklinale zwischen den festeren Seitenschollen! Sie möge etwa 200–300 *km* Breite besitzen.

Es ist nun leicht zu erkennen, daß eine Verschmälerung auf  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  etc. durch sehr verschieden hohen Faltegang erreicht werden kann. Die größte einheitliche Falte, welche so erzeugt werden könnte, würde die ganze Geosynklinale auf einmal umfassen. Es müßte die-

Fig. 33.



selbe zu einem ungeheuer großen Gewölbe (Fig. 33) aufgestaut werden, das dann endlich in eine Falte zusammengeklappt und umgeschlagen werden könnte. Wir brauchen die Ungeheuerlichkeit dieser Vorstellung nicht eingehend zu beweisen, so deutlich drängt sie sich uns auf.

**Die Bildung von Falten, welche 80–100 *km* Länge haben sollen, kann also niemals unmittelbar durch einheitliche entsprechende Aufwölbung erzielt werden.**

**Es ist durchaus notwendig, dass solche Falten, wenn sie überhaupt möglich sind, aus Anelnderreihung und Umstülpung vieler kleiner Falten entstehen.**

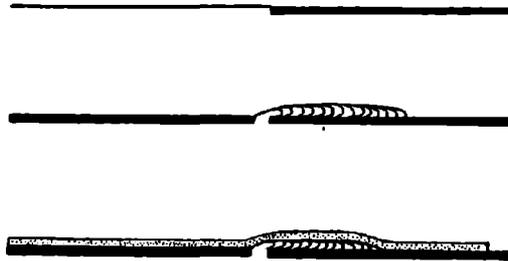
**Das heisst mit anderen Worten, abgesehen von den äusseren Randzonen, muss jede Stelle im Innern einmal zum Scheitel werden und dann überkippen. Es kann also eine sehr grosse Falte („Überfalte“), die immer eine liegende sein muss, nur durch eine lang fortgesetzte Überwälzung zustande kommen.**

Wenn wir den Beginn einer Überfalte an die Grenze verschiedener Gesteinsmedien verlegen, also etwa an den Rand einer mächtigen Geosynklinale, so kann nach dem, was wir über die Fortpflanzung der Faltungswellen erkannt haben, nur einseitiger Schub für die Ausbildung in Betracht kommen. Es kann die festere Scholle beim weiteren Vordringen die aufgestaute Falte über- oder unterschieben. Für die Einleitung dieser beiden verschiedenen Entwicklungen kommen eine Menge von örtlichen Verhältnissen ins Spiel, deren Kombination die eine oder andere Richtung entscheidet.

Nehmen wir nun einmal an, es schiebe sich die festere Scholle empor. Nun ist es am allerwahrscheinlichsten, daß damit eine Zerreißung im Scheitel der Falte eingeleitet und eine gewöhnliche Überschiebung geschaffen werde. Behalten die Schichten jedoch trotz des scharfen Buges ihren Zusammenhang, so wird allmählich Scheitel für Scheitel gebildet, umgelegt und es könnte eine gewaltige liegende Überfalte daraus erwachsen (Fig. 34).

Wenn sich diese Falte frei an der Oberfläche bildet, so ist ohne weiteres klar, daß die Gesteine

Fig. 34.



bei dieser Überwälzung vollständig aus ihrem Zusammenhange gerissen und zu einem Trümmerwerk aufgelöst werden müssen.

Wir hätten gleichsam an der Stirn der vordringenden Überfalte fortwährend niederrollende Bergstürze vor uns, indem die vorgedrückten Schichten der Decke ihren Halt verlieren und niederstürzen müßten. Wenn aber die überwälzten Schichten zu Trümmerwerk zerfallen, so kann unmöglich noch ihr Zusammenhang aufrecht bestehen. Besteht aber kein Zusammenhang, so muß es einfach zur Ausbildung einer gewöhnlichen Deckscholle kommen. Ziehen wir nun den Fall der Unterschiebung in die Untersuchung!

Hier ist bei der geringen Zugfestigkeit aller Gesteine schon von vornherein die Möglichkeit ausgeschlossen, daß die Schichten nicht nur umgebogen, sondern auch noch nach unten hineingezogen werden könnten. Eine Unterschiebung kann daher niemals eine Überfalte erzeugen, sondern eben nur eine gewöhnliche Unterschiebung.

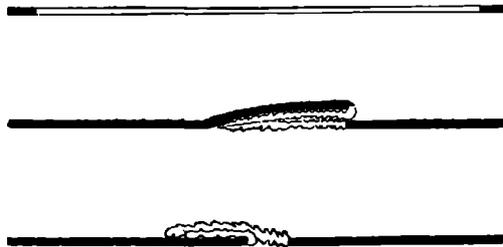
Es darf dabei übrigens nicht übersehen werden, daß die Gesteine der Geosynklinale im Falle der Überschiebung einfach von denen der schiebenden Scholle bedeckt werden (Fig. 35).

Nur bei der Unterschiebung kommen dieselben zur freien Entfaltung. Das Wesentliche für die Ausbildung einer Über- oder Unterschiebung ist daher nicht die Geosynklinale, sondern das Vorhandensein einer scharf ausgesprochenen Grenze zweier Medien.

Um nun diesen schroffen Unmöglichkeiten auszuweichen, wurde die Annahme geschaffen, daß sich diese Überfalten unter einer schweren Sedimentdecke vollzogen hätten. Auch diese Ausflucht ist eine vergebliche.

Nehmen wir an, daß jene Schichten, welche also die Überfalte bilden sollen, noch von einem mächtigen Sedimentschilde bedeckt seien. Setzt sich nun die einseitige Bewegung in Gang, so kann die oberste Serie entweder gleichmäßig mit der unteren oder ungleichmäßig (selbständig) daran beteiligt sein.

Fig. 35.



Das erstere führt zu keiner neuen Erscheinung.

Wir haben eine Überfalte von größerer Schichtmächtigkeit, für welche jedoch dieselben Gesetze geltend sind.

Im zweiten Falle jedoch kommt es an der Scheitelstelle der noch embryonalen Überfalte zu einer bedeutenden tektonischen Spaltung. Der obere Teil der Schichtmassen, der Rückenschild, befolgt nicht die Umwälzung der tieferen Massen und muß infolgedessen als Deckscholle vorwärts getrieben werden (Fig. 34).

Wird diese Deckscholle bei ihrem Vordrange nicht weiter zur Faltung gezwungen, so stellt ihre geförderte Länge den Betrag der Zusammendrängung der Überfalte dar. Die umgekehrte Entstehung einer Überfalte durch Unterschiebung wird durch Belastung auch nicht erleichtert. Die geringe Zugfestigkeit der Gesteine steht ein für allemal gegen eine solche Erklärung.

### Kritik der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese.

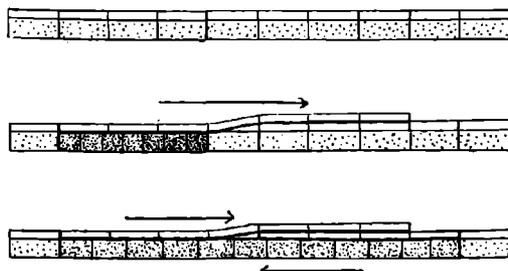
Existenzbedingungen von Überfalten. — Notwendiger Zusammenhang mit ungeheuren Überschiebungen oder riesigen Volumschwankungen des Untergrundes. — Unmöglichkeit der Ausquetschung mächtiger Gegsynklinalen durch Über- oder Unterschiebungen. — Über die sogenannten Wurzeln der Schardt-Lugeonschen Überfaltungen.

(Textfigur 36—38.)

Es wird nun gut sein, vor dem weiteren Fortschritte des Beweises gegen die Möglichkeit von riesigen Überfaltungen die nötigen Existenzbedingungen noch einmal kurz zusammenzufassen.

Wir haben eine schiebende Scholle, die zu dieser Rolle durch irgendwelche Eigenschaften ihrer Gesteinsmassen gelangt, welche ihr eine auszeichnende Stellung innerhalb ihrer Umgebung gewähren. Diese Schubscholle muß, falls es nicht eine gleitende oder getragene Scholle ist, eine Wurzelzone in dem früher bestimmten Sinne besitzen. Eine gleitende oder getriftete Scholle hingegen ist ihrem Wesen nach mit keiner solchen hinteren Wurzel verbunden.

Fig. 36.



Nimmt man Kontraktion als Ursache des einseitigen Schubes, so muß, wie wir schon wissen, eine hintere Wurzel vorhanden sein. Von dieser Stelle an, wo Decke und Untergrund noch ungestört zusammenhängen, greift eine Trennungs- und Bewegungsfläche ein (Fig. 36).

Wenn wir nun zum Beispiel eine Überfalte von 100 *km* Breite hätten, so muß diese aus einem ursprünglich ungefähr 200 *km* breiten Gesteinsstreifen entstanden sein. Nehmen wir die Mächtigkeit eines Schenkels der Überfalte zu 5 *km*, so wird durch das „Manometer“ der Überfalte eine Zusammenpressung von 200 auf 10 *km* angezeigt. Das entspricht zum Beispiel einem glatten Vorschub der erzeugenden Scholle um 190 *km*.

Es muß also die Unterlage zwischen der Wurzel der erzeugenden Scholle und dem Fußpunkt der Überfalte um diesen Betrag verengert worden sein. Es bedarf wohl keiner längeren Ausführung, daß eine solche Volumverminderung nur denkbar wäre, wenn sie sich über eine ganz gewaltige Fläche erstreckte. Wäre sie zum Beispiel 190 *km* breit,

so müßte die Masse dazwischen vollständig verschwinden, bei der zwei-, dreifach etc. größeren Breite hätten wir noch immer lineare Verminderung auf  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$  der ursprünglichen Erstreckung.

**Also entweder liegt die Wurzel der erzeugenden Scholle ungeheuer weit weg von der Fusszone der Überfalte oder es müssen ganz furchtbare Volumschwankungen des Untergrundes angenommen werden. Diese letzteren sind nicht nur völlig ausgeschlossen, sondern sie würden sich vor allem in riesigen Senkungen und Einbrüchen äussern müssen, da jede Volumverminderung des Untergrundes der Erdhaut notwendig damit verbunden ist.**

**Liegt aber die Wurzel der erzeugenden Scholle sehr weit zurück, so haben wir wieder die Unmöglichkeit der Summation der Seitendrucke innerhalb weiter Bereiche. Ausserdem sind alle anderen Kriterien über die Verbindung von Schollen und Faltenringen gegen eine solche Erklärung.**

Wir haben erstens die Überschiebung der erzeugenden Scholle und zweitens einerseits in der Tiefe die überschlagene Überfalte, andererseits in der Höhe die ihr entsprechende Überschiebung des Rückenschildes. Wer die Überfalten aus einer allgemeinen Kontraktion ableiten will, kann dem Zwange dieser Verbindungen nicht entgehen.

**Die Überfalte kann da absolut nur als Teilerscheinung einer viel gewaltigeren Gesamtbewegung verstanden werden. Zur Überfalte gehört notwendig eine in ihrem Ausmasse ungeheuer grössere, erzeugende Scholle.**

Damit ist ein weiterer Beweis für die Unmöglichkeit der Überfalten unter diesen Voraussetzungen gegeben. Wenn die tatsächlichen Faltungszonen mit so gewaltigen erzeugenden Schollen in Beziehung stünden, so könnten sie unmöglich so enge Bogen beschreiben, wie wir nicht selten beobachten können. Wir haben schon mehrfach darauf hingewiesen, daß es ganz unmöglich ist, die bestehenden Faltungsschlingen mit großen inneren erzeugenden Schollen in Verbindung zu bringen.

Die Faltungszonen haben durchaus den Charakter der tektonischen Selbständigkeit.

Wir müssen nun noch das Verhältnis einer Geosynklinale zu den begrenzenden festeren Schollen einer Prüfung unterziehen.

Wir wissen schon, daß eine breite, weichere Schichtzone, welche von einer oder zwei Seiten zusammengedrückt wird, zuerst an den Grenzen der verschiedenen Medien, also am Rande der Synklinale, Faltungen erhält. Je größer der Unterschied der Medien ist, also zum Beispiel je weicher die Schichten der Geosynklinale sind, desto schärfer wird der Ansatz der Faltung gegeben sein. Durch Unterschieben kann keine Überfalte entstehen.

Durch Überschieben kann aber nur eine Decke von festeren Gesteinen über die weicheren der Synklinale gebreitet werden. In keinem Falle also können hier die Gesteine der Synklinale selbst zur Überfalte verwendet werden.

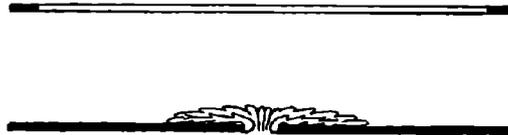
Man kann nun aber auch von anderen Voraussetzungen ausgehen, welche zwar nicht zur Bildung von Überfalten führen, aber doch wenigstens äußerlich ähnliche Erscheinungen zur Folge haben können.

Denken wir uns wieder, eine breite, mit weicheren Gesteinen erfüllte Geosynklinale sei zwischen festeren Schollen gelegen. Nunmehr sollen sich diese Schollen von einer oder beiden Seiten gegen die Mulde bewegen. Der einfachste und wahrscheinlichste Fall ist nun der, daß an einem oder beiden Rändern erst enge *Faltungszonen* aufgestaut werden, bis der Widerstand der trägen Massen den Vorder- teil der andrängenden Scholle aufhebt und nun die weitere Pressung lediglich den Vorschub der Decke betreibt.

Es wäre nun aber auch denkbar, daß durch den Widerstand der hochgestauten *Faltungszonen* *Unterschiebungen* eingeleitet würden. Diese könnten, wie wir wissen, keine zusammenhängenden *Überfalten* bilden. Bei der Mangelhaftigkeit der *Aufschlüsse* sind indessen immerhin Erscheinungen möglich, welche vielleicht als Teile von *Überfalten* gedeutet werden könnten.

Je nachdem wir nun einseitigen oder zweiseitigen Schüb wirken lassen, haben wir es mit einer oder zwei *Unterschiebungen* zu tun, über denen dann die jedenfalls heftig gefalteten *Sedimente* der *Geosynklinale* ruhen.

Fig. 37.



Hier wäre es theoretisch denkbar, daß bei entsprechender *Zusammendrängung* die ganzen Massen der *Synklinale* ausgequetscht, aufgehoben und nach beiden Seiten hinausgedrängt würden.

Diese Vorstellung von der Entstehung von *Faltungen*, welche teilweise den *Überfalten* ähnlich schauen, durch ein *Ausquetschen* mächtiger *Geosynklinalen* scheint ziemlich verbreitet zu sein und muß daher näher betrachtet werden (Fig. 37).

Daß durch *Unterschiebung* keine *Überfalten* gebildet werden können, ist schon betont worden. Ebenso können wir sofort den früheren *Beweisgang* auch hier wieder zur Geltung bringen.

Wenn eine *Geosynklinale* von 200—300 *km* Breite sozusagen völlig ausgequetscht wird, so bedingt das eine annähernd gleich ausgedehnte *Verengung*. Dieselbe muß im *Untergrund* auf der Strecke zwischen den *Wurzeln* der erzeugenden *Schollen* *ausgetragen* werden. Ist diese dadurch bezeichnete Fläche klein im Verhältnis zur *Schrumpfung*, so erfordert das eine ungeheure *Volumverminderung*. Diese müßte zu riesigen *Senkungen* und *Massenströmungen* des *Untergrundes* notwendig den Anlaß geben. Keine *Beobachtung* hat etwas Ähnliches je *geoffenbart*.

Ist aber die Fläche sehr groß im Verhältnis zur *Verminderung*, so stoßen wir an die *Unmöglichkeit* der *Druckleitung* und an die *Gesetze* der *Faltenanordnung* zu den erzeugenden *Schollen*.

Wir haben bei Besprechung der Kontraktion der Erdschale gesehen, daß so heftige Druckwirkungen wie die Ausquetschung von 200—300 *km* breiten Geosynklinalen eine ganze Reihe von notwendigen Begleiterscheinungen erfordern. Von diesen können wir tatsächlich nichts beobachten, obwohl sie in der Wirkung weit über die Gebirgsaufrichtung hinausgehen müßten. Es können aber unmöglich an einer bestimmten Zone der Erde so gewaltige Veränderungen ohne jegliche Folgenwirkung geschehen.

Es ist wichtig, festzuhalten, daß Ausquetschungen von bedeutenden Mulden nur durch Unterschiebungen geschehen können.

Überschiebung bewirkt unbedingt Überdeckung von seiten der festeren Schollen. Wenn wir den Aufbau der wirklichen Faltengebirge betrachten, so spricht deren ganze Struktur gegen eine Entstehung durch Unterschiebungen. Wären Unterschiebungen die Grundbedingungen für das Entstehen großer Faltengebirge, so möchten wir vor allem eine Zunahme der Faltungsintensität gegen das Innere vermuten. Bekanntlich ist die gegenteilige Erscheinung vorhanden. Wir haben stets den Eindruck, daß die gefalteten Massen im großen eine Be-

Fig. 38.



wegungssteigerung gegen die Gebirgsränder hin anzeigen. Die Beobachtungen so zahlreicher, gegen außen gerichteter Überschiebungen, welche oft recht erhebliche Ausmaße erlangen, erhöhen nur den Ausdruck dieser bedeutenden, nach auswärts gesteigerten Verschiebungen.

Wenn wir uns einen Querschnitt durch ein mächtiges Hochgebirge vorlegen, von dem ein- oder zweiseitig bedeutende Überschiebungen auslaufen, so ist ohne weiteres klar, daß ein solches Gebilde unmöglich durch ein- oder zweiseitigen Druck in derselben Ebene erzeugt werden kann (Fig. 38).

Dieses Faltungs- und Schiebungsbild zwingt denjenigen, welcher dasselbe aus allgemeiner Kontraktion ableiten will, unbedingt zur Annahme von Unterschiebungen.

Eine Zusammenpressung in demselben Niveau müßte absolut die gegen außen gerichteten Überschiebungen verhindert und gegen innen gekehrt haben.

Die Entwicklung einer Überschiebung ist nur bei freier Bewegung ihrer Stirn denkbar.

Wir stehen also vor folgenden Schlüssen:

**Gebirge mit nach auswärts zielenden Überschiebungen, Überfaltungen etc. können als Ergebnisse allgemeiner Kontraktion nur durch Unterschiebung gebildet werden.**

**Unterschlebung von so bedeutender Wirkung sind nur denkbar entweder in Verbindung mit ungeheuren Volumschwankungen der Unterlage oder im Gefolge von riesigen, erzeugenden Schollen. Beide Bedingungen haben wir als unmöglich erkannt. Eine Erklärung der Gebirgsbildung durch Unterschlebung ist ebenso unrichtig wie eine durch Überfalten.**

Bevor wir diesen Beweis verlassen, mag noch erörtert werden, daß jene Wurzeln, welche jetzt von den Anhängern der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese angestrengt gesucht werden, nichts mit den Wurzeln der erzeugenden Schollen gemein haben.

Die Vorstellung dieser Wurzeln ist von der Ausquetschung einer Geosynklinale hergenommen und bezieht sich auf jenen Bereich einer solchen Mulde, dessen ursprünglicher Zusammenhang mit dem Untergrunde nicht zerrissen worden ist.

Sie ist also zum Beispiel bei zweiseitiger Unterschlebung jener zwischen den erzeugenden Schollen eingeklemmte Muldenraum.

Bei einer durch einseitige Überschiebung gebildeten Überfalte wird die Wurzel durch die eine Fußzone dieser Falte dargestellt.

Während also die Wurzeln nach dieser Definition unbedingt noch im Raume der ausgequetschten Geosynklinale liegen müssen, hätten wir die Wurzeln der erzeugenden Schollen weit, weit außerhalb der Gebirge zu suchen.

### Gleit- und Unterströmungshypothese.

Die Faltengebirge sind im wesentlichen Streifen eigener Entstehungskraft. — Gebirgsbildung durch Wirkungen der Erdrotation. — Der Erklärungsbereich der Gleithypothese. — Erweiterung zur Unterströmungshypothese. — Gegensatz zur plutonischen Erhebungslehre. — Möglichkeit und Bedeutung von vertikalen Hebungen.

(Textfigur 39 und 40.)

Wir haben schon mehrfach hervorgehoben, daß weder die Anordnung, die Linienführung, die Verzweigungen, die Umbeugungen noch auch die innere Struktur der Gebirge die Annahme gestatten, daß dieselben Randerscheinungen von viel ausgedehnteren Schollen sind, welche sich gegenseitig verschieben.

Die Faltengebirge müssen wesentlich als Streifen eigener Entstehungskraft verstanden werden und können folglich auch nichts mit Überfalten zu tun haben, welche einem Übermaß von Kontraktion entspringen würden. Alle die zahlreichen aufgeführten Gegengründe vereinigen sich dahin, daß den Faltungszonen in vieler Hinsicht der Charakter der Eigenbewegung innewohnt.

Eine solche Eigenbewegung kann nun aber in mehrfacher Weise zustande kommen. Wir haben schon die Gleitung und Unterströmung als hierher gehörig genannt. Dazu könnten noch theoretisch Bewegungen kommen, die aus der Rotation der Erde als Abschleuderungen, Stauungen etc. durch entsprechende Hemmungen abgeleitet werden könnten.

Untersuchen wir zunächst die Berechtigung und Anwendbarkeit der Hypothese der Gebirgsbildung durch Eingriffe in die Rotation der Erde.

Es kann sich hier sowohl um eine gleichmäßige Rotation der ganzen Erde als auch um Eigenrotationen der äußeren Schale um den inneren Kern handeln.

Jede solche Rotation ist nur als Achsendrehung denkbar. Nun kann diese Achse zugleich die der inneren Drehung oder aber eine davon verschiedene sein. Ist die Achse gemeinsam, so müßte der Unterschied in der Drehgeschwindigkeit liegen. Nehmen wir nun an, durch irgendeine Kraft würde die Rotation gehemmt oder beschleunigt, so wäre es möglich, daß einzelne leichtere Zonen von der Fliehkraft in der Richtung der Drehung vorwärtsgerissen oder in der verkehrten aufgestaut würden.

Wenn wir die Möglichkeit eines solchen Vorganges zugestehen, obwohl keine Beobachtung dazu die Berechtigung gewährt, so steht doch die tatsächliche Verteilung und Gestaltung der jeweils gleichaltrigen irdischen Gebirge im schärfsten Widerspruche zu dieser Erklärung.

Der einseitige Tangentialschub müßte überall in derselben Drehrichtung erfolgen. Wir können aber die jeweils gleichaltrigen Faltungsstränge weder um die jetzigen noch um andere Pole so herumlegen, daß diese Grundforderung erfüllt würde. Zweiseitige Gebirge wären vollkommen unerklärlich. Ebenso alle die verhältnismäßig engen Umbeugungen. Wir finden keine Anordnung der Faltungsstränge zu irgendwelchen Polen und dementsprechend auch keine Zunahme der faltenden Kräfte gegen einen dazugehörenden Äquator.

Wir haben eine Anzahl von tatsächlichen Leitlinienbildern, welche unmöglich in eine solche Erklärung gefügt werden können. Es genügt, an die Leitlinien des Mittelmeeres zu erinnern, um sofort die Unmöglichkeit zu erkennen, die einseitigen Bewegungen dieser Faltenzüge in einen bestimmten Drehsinn zu ordnen. Wenn man die schematischen Profilzeichnungen der Überfaltentektoniker betrachtet, so möchte man allerdings am ehesten an eine solche Entstehung der Faltengebirge durch Vorwärts- und Übereinanderschleudern von weichen Massen denken.

Wir stünden damit aufs neue vor einer in ihren Folgen unübersehbaren Katastrophentheorie, die alle bisherigen Versuche, die Entwicklung des Erdganzen durch allmähliche Wirkungen stetiger Kräfte zu erklären, umstoßen würde.

Es ist ja ohne weiteres klar, daß eine plötzliche Hemmung oder Beschleunigung der Rotation vor allem die leichtesten und beweglichsten aller Erdmassen, die Meere und Gewässer, aus ihren Beeten herausschleudern müßte.

Die Wirkungen dieser ungeheuerlichen Sturmfluten wären für alle Erscheinungen des organischen Lebens eine unermessliche Verheerung und Vernichtung.

Wer Gebirge durch Stöße oder Schwünge entstehen lassen will, ruft damit zugleich die toten Ansichten der Katastrophentheorie neuerdings zum Leben.

Damit haben wir die Schwung- oder Stoßhypothese der Gebirgsbildung abgelehnt.

Es ist jedoch wohl zu beachten, daß damit etwa keineswegs die Möglichkeit einer allmählichen, stetigen Eigenrotation der äußeren Erdschale über dem Kern geleugnet wird.

Es erübrigt nun noch die Prüfung der Gleit- und der Unterströmungshypothese.

Beide Annahmen erfüllen die bisher erhobenen gesetzmäßigen Forderungen der Gebirgsbildung. Dessenungeachtet entdecken wir bei näherem Zusehen sofort, daß die Gleithypothese für sich allein nicht alle Erscheinungen der Gebirgsbildung erklären kann. Zur Entstehung des gleitenden Schubes ist unbedingt ein Schweregefälle nötig. In den meisten Gebirgen sind nun tatsächlich einerseits die Faltungszonen gegen außen geschoben, andererseits besteht in derselben Richtung ein Gefälle, das sich nicht nur durch die Höhenzunahme der Berge gegen innen, sondern vor allem durch das Empортаuchen von immer älteren Gesteinsschichten verrät.

Wenn wir die Höhenanordnung der ältesten, jeweils in größeren Verbänden auftretenden Gesteine beachten und uns von innen gegen außen entsprechend verlängert denken, so haben wir dadurch unter gewissen Beschränkungen gleichsam das „geologische Gefälle“

Fig. 39.



gegeben, das für die Schichtengleitung in Betracht kommt. Es ist nahelegend, daß das geologische und geographische Gefälle in Wirklichkeit (Fig. 39) nie zusammenfallen werden und im allgemeinen das geologische steiler und unregelmäßiger als das geographische sein muß.

Wenn man die Gleitung als eine oberflächliche Erscheinung begreift, so muß natürlich eine entsprechende schräge Bahn vorhanden sein; auf welcher sich die Massen in Bewegung setzen können. Es wäre vielleicht naheliegend, die Oberfläche der archaischen Gesteinsarten für diese Bahnfläche in Betracht zu ziehen.

Wenn wir nun die tatsächlichen Gebirge ins Auge fassen, so bemerken wir eine Reihe von Erscheinungen, welche für diese Erklärung sprechen, jedoch auch sehr wichtige, welche ihr entgegenstehen.

Für die Gleitfaltung sprechen vor allem folgende Beobachtungsgruppen:

1. In sehr vielen Fällen decken sich Faltungszonen mit einem geologischen Gefälle. In manchen anderen kann man ungezwungen durch nachträgliche Senkung den Mangel oder die Rückfälligkeit der Gleitbahn erklären.

2. Es besteht größtenteils Gleichsinnigkeit zwischen Fall- und Schubrichtung.

3. An vielen Stellen ist mit der Umkehr des geologischen Gefalles auch Umkehr der Faltungsrichtung verbunden. Die wichtigen hierher gehörigen Erscheinungen hat bereits E. Suess in weit-schauender Weise als „Vor- und Rückfaltung“ zusammengefaßt.

4. Das Schweregefälle steht in auffallend enger Beziehung zu dem geologischen.

Das ist besonders durch die neueren Schweremessungen klar-gelegt worden. In sehr vielen Gebirgen konnte direkt eine Zunahme der Schwerkraft von innen nach außen vermessen werden. Die Haupt-schwere liegt vor den Rändern der Gebirge.

5. Der scharf ausgeprägte Außenrand der Faltungszonen sowie die gegen außen zunehmende Intensität und Einseitigkeit der Faltung wird hier leicht verständlich. Desgleichen ist das häufig beobachtete langsame Ausklingen der äußersten Falten im Vorlande geradezu eine Forderung der Gleithypothese.

6. Ebenso ist das überwältigende Vorherrschen der Pressung senkrecht zu der Bewegungsrichtung erklärt.

7. Je steiler das Gefälle, desto kräftiger der Zusammenschub. Tatsächlich haben wir entlang der höchsten Gebirge die heftigsten Faltungen.

8. Die Gleitfaltung tritt stets bei Schaffung des entsprechenden Schweregefalles auf. Sie ist daher ein Vorgang, der unendlicher Wiederholungen und Abwechslungen fähig ist. Die gleichzeitige und ungleichzeitige Nachbarschaft von Stau- und Zerrzonen wird dadurch ermöglicht. So legt sie uns eine sehr lebendige und veränderliche Entstehung der Gebirge nahe, die ja der Wirklichkeit weit mehr entspricht als die schematisierenden Einheitsmodelle der anderen Theorien. Die Gebirge besitzen jene oft verlangte Einheitlichkeit durchaus nicht.

9. Während wir gesehen haben, daß die Faltung zwischen starren Schollen das Auftreten von flachen, weiten Überschiebungsdecken, die von den Gebirgen gegen außen laufen, nicht zu erklären vermag, ist das gerade einer der stärksten Beweise für die Gleittheorie. Durch die neuen geologischen Aufnahmen sind die Überschiebungen allenthalben als eine überaus verbreitete und häufige Bewegungsform der Erdmassen erkannt worden. Die Gleitung ist als Ganzes schon eine Überschiebung von der Höhe gegen die Tiefe und kann durch entsprechende Umstände leicht in mehrere Schubdecken zerblättert werden.

10. Erklärt man die Faltengebirge durch gleitende Bewegungen, so kann man der unwahrscheinlichen Annahme von großen Kontraktionschwankungen der Erde leicht entbehren. Die Selbständigkeit der Faltungszonen als Kraftstreifen im Antlitz der Erde wird dadurch erhellt.

11. Die enge Abhängigkeit der lokalen Faltungs- oder Überschiebungsform von der lokalen Struktur der Schichtmassen kann hier leicht verstanden werden, weil keine Drucke zur Anwendung kommen, vor deren Gewalt solche Unterschiede einfach verschwinden.

12. Endlich ist die hohe Empfindsamkeit der Faltungszonen für eingeschlossene und vorgelagerte härtere oder ungleich bewegte Schollen durch die Gleithypothese dem Verständnis sehr nahe gerückt.

Wenden wir uns nun den Gegen Gründen zu.

Hier ist vor allem zu bemerken, daß durch Gleitung nur jene Schichtzonen gefaltet werden können, denen ein Gefälle zur Verfügung steht. Somit könnte ein großes, mehrteiliges Gebirgssystem überhaupt nicht gleichzeitig gefaltet werden. Ebenso ist ein gefaltetes, ebenes Schichtsystem ein Hindernis für diese Erklärung. Desgleichen könnte ein Gebirge mit durchaus geschlossener Faltung nicht verständlich sein. Nach der Gleithypothese müssen neben Faltungstreifen immer auch Zerrzonen vorhanden sein.

Außerdem ist wohl zu erwägen, daß die Gleithypothese notwendig noch die Mithilfe von vertikalen Hebungen oder Senkungen in Anspruch nimmt, die vom Erdinnern ausgehen.

Sie ist somit auch nur eine Teilerklärung der Gebirgsbildung. Daß Emersion von feuchten Schichten auf schiefer Grundlage oder Wärmeausdehnung infolge von Belastung nicht zur Schaffung des notwendigen Gefälles ausreichen, ist leicht einzusehen. Emersion verlangt übrigens schon an und für sich vertikale Hebung oder Senkung. Die Wärmeausdehnung kann aber niemals jene großen Wirkungen erreichen, weil bei der Langsamkeit der Sedimentation die abgelagerten Schichten leicht immer gleichmäßig durchwärmt werden können.

Zudem könnte diese Erklärung nur jeweils für eine ununterbrochene Serie von Meeresablagerungen Anwendung finden. Sie ist daher ganz unzugänglich und kann die Mitwirkung der Kräfte des Erdinnern niemals ersetzen.

Eine Verfaltung von archaischen Gesteinen mit jungen Meereschichten, wie sie gar nicht selten vorliegt, ist dieser Annahme völlig unüberwindlich.

Es ist sehr wesentlich, zu bemerken, daß die Gleithypothese so wenig wie irgendeine der anderen der Mitwirkung des Erdinnern entbehren kann. Ob man dabei an vertikale Hebungen oder Senkungen denkt, ist für unsere Untersuchung vorerst noch belanglos.

Von dieser Überlegung ausgehend, erscheint die Gleithypothese überhaupt nur als ein Ausnahmefall einer viel weiteren und großartigeren Erscheinung.

**Wenn wir die Gleitbahn aus der Region der oberen, festen Gesteinszonen in jene Tiefe verlegen, wo infolge von Plastizität mit grosser Leichtigkeit seitliche Verschiebungen eingeleitet werden können, so haben wir die Theorie der „Unterströmung“ vor uns, welche die Gleitung als eine Teilerscheinung umschliesst. Nach dieser Annahme werden die oberflächlichen Faltungen und Überschiebungen von Bewegungen des tieferen Untergrundes bedingt und getragen. Solche Bewegungen können vor allem dadurch leicht entstehen, dass sowohl bei Vergrößerungen als auch bei Verkleinerungen der ganze Überschuss oder Verlust der räumlichen Volumschwankung sich am leichtesten in vertikalem Sinn äussert und daher hier in mehrfacher Verstärkung auftritt.**

Der ganze Betrag der kubischen Vergrößerung oder Verkleinerung wird also unmittelbar zu vertikaler Hebung oder Senkung verwendet (Fig. 40).

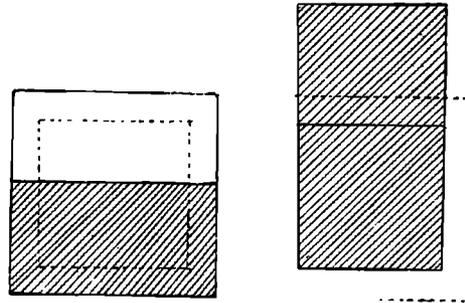
So tritt eine bedeutende Steigerung der vertikalen Verschiebung durch Konzentration der kubischen auf lineare Wirkung ein.

Das gilt natürlich nur für Massen, welche noch verhältnismäßig sehr nahe der Erdoberfläche gelagert sind.

Es ist hier auch der Ort, um darauf hinzuweisen, daß Ausdehnungen innerer Erdmassen ebensogut vorkommen können als Verkleinerungen. Wir kennen mehrfach Körper, welche sich selbst beim Durchlaufen einer absteigenden Wärmereihe an einzelnen Stellen wieder vergrößern. Außerdem ist die Wärmeabnahme des Erdinnern durchaus nicht erwiesen.

Die Annahme von beträchtlichen Massenverschiedenheiten unter der Erdhaut hat gar nichts Unwahrscheinliches, seitdem sogar vielfach Schwereschwankungen festgestellt worden sind. Es brauchen aber kompliziert zusammengesetzte Stoffe, welche sich beim Durchlaufen

Fig. 40.



derselben Wärmereihe sehr verschieden verhalten, nicht einmal notwendig ungleich schwer zu sein.

Wenn wir die über die ganze Erde verbreiteten, oft ungemein ausgedehnten breiten oder schmalen Einbrüche bedenken, so scheint es uns sehr wahrscheinlich, daß die Faltengebirge im Gegensatz dazu Streifen mehr oder minder intensiver Hebungen sind, von denen dann seitlich abfließende, vielleicht mehrfach hin und her schwankende Strömungen ihren Ausgang nehmen. Dabei können diese Erhabenheiten sowohl durch Ausdehnung des Untergrundes als auch durch Einsenkungen der Nachbarschaft zu ihrer ausgezeichneten Stellung gelangen.

Der oberflächliche Leser könnte nun in dieser Annahme eine Rückkehr zu der alten, plutonischen Erhebungstheorie vermuten und die gegen jene bestehenden Gründe auch hier zur Geltung bringen wollen.

Da bestehen jedoch ganz bedeutende Unterschiede.

Während dort feste oder weiche senkrecht empordringende Massen die Erdhaut zerreißen und zur Seite schieben, haben wir es da mit Massen zu tun, welche im Laufe riesiger Zeiten sich verschieden von ihrer Umgebung verhalten.

Tritt eine Hebung oder eine Senkung der Nachbarschaft ein, so ist damit die Gebirgsbildung noch lange nicht gegeben.

Diese Hebung oder Senkung kann aber unter entsprechenden Umständen Massenströmungen gegen die Tiefe und Rückflutungen etc. im Sinne eines Schweregefälles erzeugen.

Außerdem können sehr leicht selbständige „thermische Massenströmungen“ ins Spiel treten.

Diese Unterströmungen sind erst die Träger der oberflächlichen Faltungs- und Verschiebungserscheinungen. Erst die Einleitung der seitlichen Strömungen kann zu intensiven Faltungen führen. Es sind aber auch ganz wohl Hebungen und Senkungen ohne Auslösung dieser molekularen Massenverschiebungen denkbar. Hier entscheidet das Verhältnis der benachbarten Massen.

Der Hauptgrund gegen die alte Erhebungstheorie war durch die oftmals wiederholte Beobachtung gegeben, daß sich die Eruptivmassen selbst in großen Anhäufungen vollständig passiv gegenüber den Faltungen verhalten und die Zentralmassen größtenteils viel älter in ihrer Anlage sind als die anlagernden Faltungszonen. Eine Ausnahme behaupten die unter dem Sammelnamen der „Lakkolithen“ zusammengefaßten Eruptivgestalten.

Wenn inmitten eines flachen Tafellandes, das keine Spuren von Faltungen, dagegen vielfach solche von Senkungen und somit von Zerrungen aufweist, Lakkolithen vorkommen, so können die durch Tiefengesteine erfüllten Hohlräume unmöglich als Wölbungen betrachtet werden, die durch Zusammenpressung der obersten Gesteinsschichten entstanden sind. Einmal können jene häufig brotlaibförmigen Aufwölbungen überhaupt nicht durch Zusammenschub ihres Umlandes gebildet werden, weil ein solcher Schub schon durch die gegenseitige Hemmung der vordringenden Landkeile (siehe Fig. 9) notwendig verhindert würde. Es bliebe also nur die Erklärung, daß sich erst das Umland, dann der eigene Untergrund senkte und so endlich die obersten Schichten sich darüber als freie Kuppel erhielten. Das wird durch die flache Lagerung des Untergrundes widerlegt, welche übrigens schon an und für sich gegen eine allgemeine Zusammenpressung zeugt. Ebenso würde Zusammenstauung das Aufsteigen von Eruptivmassen verhindern. Somit kann eine solche Bildung einzig und allein als Hebung durch empordrängendes Magma erklärt werden. Lakkolithen dieser Art stellen die einfachste Form der Gebirgsbildung dar.

Wenn nun auch die Lakkolithen mit dem Auftreten der großen Granitkerne innerhalb der Hochgebirge viele Ähnlichkeit besitzen, so ist doch daran festzuhalten, daß wenigstens ein großer Teil derselben nachweisbar schon lange vor dem Auftreten der jungen Faltungen bestand.

Damit ist allerdings streng genommen noch gar nichts darüber ausgesagt, wie sich die beiden Kräftegruppen bei gleichzeitigem Wirken zueinander verhalten.

Daß der seitliche Schub emporgestiegene, also gewissermaßen leblos gewordene Eruptivmassen ebenso wie andere Gesteinslagen behandelt, kann nicht im mindesten verwundern.

Hier könnten nur gleichzeitig auf demselben oder eng benachbartem Boden wirkende vulkanische und faltende Kräfte zu einer Entscheidung führen. Es ist eine bemerkenswerte Tatsache, daß einigermaßen intensive Faltungszonen stets gleichsam einen Verschuß gegen größere Eruptionen bilden und daß in ihrer Nachbarschaft Zonen von lebhafter magmatischer Förderung bestehen. Wir können sagen, die beiden Kraftäußerungen treten in sehr vielen Fällen gemeinsam, doch örtlich geschieden hervor.

Stau- und Zerrzonen kann man so an den meisten Gebirgen mit gutem Rechte unterscheiden.

Eine Begründung für die örtlichen Zusammenhänge ihres Auftretens kann, wie wir wissen, nur durch Vermittlung des Untergrundes geschehen.

Es entsprach der Lehre der allgemeinen Kontraktion sehr wohl, alle magmatischen Bewegungen, welche die Erdhaut ganz oder teilweise durchdringen, als nebensächliche Begleiterscheinungen von Senkungen, Pressungen, Abstauungen etc. zu bezeichnen. Nachdem wir jedoch die Unmöglichkeit dieser Erklärung dargelegt haben, verliert dieser Schluß auch seine Notwendigkeit.

Damit soll etwa nicht im entferntesten behauptet werden, daß den emporgestoßenen Eruptivmassen, welche in der Erdhaut stecken, die Kraft zur Bildung von Gebirgen etc. innewohnen kann. Das ist sicher völlig ausgeschlossen und durch zahlreiche Beobachtungen über die ganze Erde hin festgestellt.

Solchen Massen kann an und für sich höchstens eine eng begrenzte örtliche Schichtstörung, niemals aber größere faltende Bewegung zugemutet werden.

Bedenken wir aber wohl, daß damit über die Fähigkeit der inneren Erdmassen zu Veränderungen ihres Volumens gar nichts entschieden ist.

Wenn wir zum Beispiel ein starkes Faß mit Wasser füllen und dasselbe gefrieren lassen, so wird die dabei auftretende Volumvergrößerung das Faß zersprengen. Dabei kann vielleicht auch Eis zwischen den entstandenen Fugen hervorgepreßt werden.

Wer wollte nun die ungeheure Kraft dieser Vergrößerung etwa durch den Hinweis widerlegen, daß die schmalen vorgequollenen Eisfäden unmöglich die dicken harten Eichenbretter an ihren Seiten haben zerreißen können. Man könnte diesem Vergleich entgegenhalten, daß er ein festes oder wenigstens zähflüssiges Erdinneres zur Voraussetzung für seine Anwendbarkeit fordere.

Es ist ohne weiteres zuzugeben, daß der Ausdehnungsdruck einer allseitig eingeschlossenen flüssigen oder gasförmigen Masse durch die Öffnung eines Ventils sofort aufgehoben und durch entsprechendes Ausstoßen von Masse ausgeglichen wird. Es kann aber doch unmöglich die Erde mit einem Gasballon etc. verglichen werden, der durch Anstechen allenfalls zum Zusammenschrumpfen gebracht werden könnte. Hier darf nicht vergessen werden, daß wir über den Zustand der Massen im Erdinnern wenig Sicheres wissen und daß es von vornherein sehr gewagt ist, Ausdrücke wie fest, flüssig, gasförmig dafür ohne Vorbehalt zu verwenden.

Wir kennen die Aggregationszustände des Erdinnern nicht und können bisher auch im Experiment nicht annähernd ähnliche Existenzbedingungen der Stoffe erreichen. Die Annahme eines festen, flüssigen, gasförmigen Erdinnern ist jeweils völlig unvereinbar mit den Erscheinungen der Erdoberfläche. Keine Aggregatform der Erdoberfläche kann mit ihren bekannten Eigenschaften unverändert zur Erklärung ausreichen.

Der früher angeführte Vergleich kann daher überhaupt nicht eine Ähnlichkeit mit dem Erdinnern anstreben, sondern wurde lediglich wegen des Verhältnisses des ausgestoßenen Eises zu den zersprengten Brettern gegeben. Dieses Verhältnis ist aber unter gewissen Bedingungen jenem von Eruptivmassen zu riesigen Sedimentlagen ziemlich ähnlich.

Der hier aufgedeckte Trugschluß liegt allen jenen Beweisen zugrunde, welche aus der mehr oder minder geringfügigen Wirkung von aufgestoßenen Magmamassen gegen ihre Umgebung auf die Unmöglichkeit von Hebungen großer Massen zu schließen versuchen. Es ist doch klar, daß eine Volumvergrößerung durchaus nicht mit einer Explosion verglichen werden kann. Und selbst diese verliert sofort von ihrer Heftigkeit, sobald ihr genügend Raum zur Verfügung steht.

Findet unter der Erdoberfläche eine solche Ausdehnung in bedeutendem Umfange statt, so vermag die hier wirksame, ganz ungeheure Gewalt mit Leichtigkeit ihre Decke entsprechend zu heben. Diese Hebung ist wie die Ausdehnung ein sehr allmählicher, langsamer Vorgang, der natürlich bei entsprechenden Umständen zu vielen plötzlichen, kleinen und durchaus sekundären Explosionen und Aufstößen Anlaß geben kann.

Solchen im Verhältnis zur ganzen, wahrscheinlich periodisch gestalteten Erhebung verschwindenden Episoden gehören vielfach die einzelnen Magmaförderungen an, welche wir an zahlreichen Stellen zwischen den Sedimentschichten bemerken.

Große, ausgedehnte Hebungszonen sind ebenso wie Senkungen auch ohne Austritt von Magmamassen zu verstehen.

Der Austritt dieser Massen steht zu jenen gewaltigen Bewegungen in einem ähnlichen Verhältnis wie gewisse sekundäre Schwingungen zu großen Wellen.

Wir sehen zum Beispiel eine große Masse einstürzen und nehmen nun wahr, wie eine ganze Reihe von kleinen Bewegungen und Schwingungen aus dem Einhalten der großen hervorsprießen. Eine große Bewegung kann in Wirklichkeit nicht so glatt, so stetig zum Stillstand kommen, daß nicht eine Anzahl kleiner und oft entgegengesetzter Schwingungen dabei entstände. Eine vollkommen regelmäßig verlaufende Hebung unter regelmäßigen Schichten, welche zudem die nötige Elastizität für Dehnungen innehätten, würde keine magmatischen Austreibungen zur Folge haben müssen (Lakkolithen).

Bei den Gesteinsmassen der Erdoberfläche ist aber besonders die sehr geringe Bug- und Zugfestigkeit zu allen Zeiten und allen Orten der Anlaß für zahlreiche Zerreißen, Klüftungen und damit für bedeutende Entlastungen gewesen.

Wenn man in diesem Sinne die Störungen der Erdhaut aus den Veränderungen des Untergrundes herleitet, so hat man also ebenfalls einerseits große, weitgedehnte Bewegungen, denen gegenüber die Emporförderungen von Magma an und für sich völlig machtlos sind.

Das Verhältnis des Zusammenbestehens von Falt- und Zerrzonen aber vermag diese Anschauung sehr leicht und gründlich zu erklären, da ja Faltung nach ihr meistens einerseits eine Zusammendrängung von Massen, anderseits eine Entlastung schafft.

Jede Entlastung, die sich gegen die Tiefe hin bemerkbar macht, muß das Emporsteigen von Tiefengesteinen erleichtern. Das gilt aber noch um so mehr, wenn jene Zerreißen, Entlastungen etc. selbst wieder durch Magmabewegungen im großen veranlaßt worden sind.

---

### Die tektonische Abbildung der Veränderungen des Untergrundes in der Erdhaut.

Selbständige Veränderung des Untergrundes. — Die Erde als schlecht gemischter Weltkörper.

Es bedarf keiner weiteren Ausführungen, daß für die Unterströmungshypothese einerseits alle Vorteile der Gleitung bestehen, anderseits aber auch die jener entgegenstehenden Hemmnisse gefallen sind.

Sie kann sowohl Faltungen einer ebenen Zone als alle im Gebirge vorliegenden Formen erklären. Desgleichen bereitet ihr das Vorkommen von Gebirgszügen ohne alte Kerne nicht die geringste Schwierigkeit.

Was aber für ihre Beurteilung noch wichtiger wird, das ist die Möglichkeit zu einer noch viel weiteren und großzügigeren Verallgemeinerung.

Nachdem wir gezeigt haben, daß die großen Faltengebirge weder durch Überschiebungen noch Überfaltung von seiten anliegender starrer Schollen erklärt werden können, bleibt von allen Faltungsmöglichkeiten der allgemeinen Kontraktion nur mehr die des Nachsinkens von Gewölben übrig. Das ist jener Fall, wo die Abbildung des Untergrundes am allerklarsten zum Ausdrucke kommt. Durch die Annahme von selbständigen Ausdehnungen des Untergrundes kann diese Art von Faltenerregung auch ohne Zuhilfenahme der allgemeinen Kontraktion sofort als Erscheinung der Unterstromtheorie begriffen werden.

Wir sehen, die Unterströmungen sind nur gelegentliche Äußerungen und Folgewirkungen der selbständigen Veränderungen der tieferen Erdmassen. Diese Veränderungen regen die darüber ruhende Erdhaut zu Bewegungen an, die sich an der Oberfläche je nach ihrer örtlichen und zeitlichen Ausbildung, je nach dem Material als Einsenkungen, Einbrüche, Faltungs- und Überschiebungszonen, Eruptionen, säkulare Hebungen oder Senkungen etc. geltend machen.

**Nach dieser Anschauung sind die Formen der Erdoberfläche nicht Folgen einer allgemeinen Zusammenpressung, die sich je nach der verschiedenen Stärke des Erdgewölbes verschiedenes äussert. Wir sehen in ihnen Wirkungen von tiefer liegenden Vorgängen und fassen so die gesamte Erdhaut als die Abbildung ihres lebendigen beweglichen Untergrundes.**

Wenn der Vergleich gestattet ist, so könnte man sagen, wir suchen die Begründung der Züge und des Mienenspiels im Antlitz der Erde aus den verborgenen Nervenregungen des Inneren abzuleiten.

Es ist ja klar, daß für die spezielle innere Eigenart und Ausbildung von Bewegungen der Erdhaut sicher die jeweilige örtliche Beschaffenheit der Sedimente von sehr wesentlicher Bedeutung ist. Aber daß hier das Alpensystem, dort der ostafrikanische Graben, da die skandinavische Überschiebung, dort die russische Tafel, hier ein Mittelmeer, dort ein gewaltiger Ozean oder ein Kranz von Feuerbergen gebildet wurde, das auf Rechnung von Stärke oder Schwäche der dortigen Sedimentmassen zu schieben, ist geradezu ein Unding.

Für den Ort einer Gebirgsbildung, einer Einsenkung etc. ist einzig und allein die Eigenart des Untergrundes bestimmend, für das Detail dieser Bildung, für die Architektur sind die Baumaterialien von großem Einfluß.

Es ist von dieser Anschauung aus möglich, alle Oberflächenformen, soweit sie nicht durch Kräfte der Atmosphäre erzeugt sind, einheitlich zu erfassen.

Wir kennen keine Formen der Erde, welche nicht durch die Wirkungen der atmosphärischen Kräfte umgestaltet werden. Keine Form ist rein erhalten und unsere Kenntnis derselben beruht ja größtenteils auf den Eingriffen der Zerstörung.

Wir haben stets nur Ruinen vor uns, aber nicht in dem gewöhnlichen Sinne, weil nie der volle Bau wirklich bestand. Die Kräfte der Erdoberfläche können also niemals jene Bauten errichtet haben, weil jede ihrer Äußerungen eine Vernichtung derselben anstrebt.

Somit können sie nur durch Kräfte, welche in der Erdhaut oder unter derselben tätig sind, erzeugt worden sein. Wir haben aber gezeigt, daß die Kräfte der Erdhaut unmöglich Gebilde dieser Art zu erbauen vermögen. So stehen uns allein noch die Kräfte der Tiefe zur Verfügung, mit deren Walten sich alle Erscheinungen begreifen lassen.

Die Kräfte der Tiefe, das heißt des Untergrundes der Erdhaut, sind nach dieser Anschauung die Äußerungen von benachbarten ungleichen Massen, zwischen denen aus physikalischen und chemischen Ursachen mannigfache Strömungen eingeleitet werden.

Das widerspricht einer vollständig gleichmäßigen Ordnung aller Teilchen durch die Fliehkraft.

Wir haben schon angeführt, daß durch die modernen Schweremessungen solche Verschiedenheiten erwiesen sind und es außerdem

noch andere geben kann, welche sich solchen Messungen überhaupt entziehen.

Es ist auch gar nicht unwahrscheinlich, daß verschiedene Geoid-schalen auch verschiedene Bewegungen befolgen.

So besteht keine Notwendigkeit, die Erde als einen bis zu den Molekülen genau ideal nach der Schwere und Geschwindigkeit geordneten Rotationskörper anzusehen.

Wir können also in gewissen Grenzen die Erde als einen schlecht gemischten unregelmäßigen Körper betrachten.

Soweit wir von der Oberfläche aus Einblicke erhalten, besteht die Erdhaut aus einer groben und ungleichen Gesteinsmischung. Wäre der Untergrund der Erdhaut aber jemals vollständig gleichmäßig gewesen, so hätte auch keine so ungleichartige Decke daraus gearbeitet werden können.

Es ist wohl naheliegend, daß diese Abweichungen von der streng regelmäßigen Massenordnung, welche wir hier für den Untergrund der Erdhaut in Anspruch nehmen, im Vergleich zur ganzen Erde etwa jenen Rang einnehmen, wie die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche gegen die glatte Wölbung.

Die Verteilung im großen wird dadurch nicht im geringsten verschoben.

Die Erdhaut selbst erscheint als im Vergleich zum Erdinnern träg, abgestorben und passiv.

Sie bedeutet eine Hülle, welche jedoch durchaus nicht stark genug ist, um frei zu bestehen und sich der Einwirkung der Tiefe zu entziehen. Dabei ist wohl zu beachten, daß allgemeine Senkungen der Erdhaut unbedingt in allen Fällen mit strenger gegenseitiger Beeinflussung verbunden sind. Einzelne begrenzte Senkungen können sich von demselben befreien. Allgemeine Hebungen sind dagegen ebenso selbständig wie vereinzelte.

---

### Über die sedimentäre Abbildung.

Ableitung der zeitlichen Abbildung in der Sedimentation. — Beschränktheit der sedimentären Abbildungen. — Die Erklärung der Formationsreihen und der Transgressionen von diesem Standpunkt. — Graphische Darstellung der geologischen Bewegungskurven verschiedener Erdstellen.

(Textfigur 41.)

Wenn wir die Unregelmäßigkeiten und Bewegungen des Untergrundes für die Ursache der inneren tektonischen Struktur der Erdhaut annehmen, so ist damit noch lange nicht die Tragweite dieser Auffassung erschöpft.

Es ist sehr naheliegend, daß verschiedene Massen, welche im Laufe ungeheurer Zeiten eine gemeinsame Reihe von Veränderungen durchlaufen, sich im allgemeinen häufig verschieden dabei verhalten.

Gleiche, auch weit örtlich getrennte Massen werden unter denselben Bedingungen wie unter denselben Veränderungen sich gleichen. Ungleiche werden im großen und ganzen ihre Ungleichheit bewahren,

wenn auch wohl zu bedenken ist, daß sie unter entsprechend verschiedenen Umständen sich in ihren Äußerungen mehr oder weniger ähnlich werden können.

Wenn wir diese Überlegungen auf den Untergrund der Erdhaut übertragen, so gewinnen wir in Rücksicht auf die letztere neben der örtlichen Abbildung auch noch eine zeitliche. Um noch einmal darauf hinzuweisen, so beruht diese Anschauung auf der Annahme von verschiedenenartigen mehr oder weniger ausgedehnten Massen, von denen aller Wahrscheinlichkeit nach im Bereiche der ganzen Erdschale die meisten an getrennten Stellen mehrfach vorhanden sind.

Wir haben also im großen und ganzen unter der Erdhaut verschiedene Gruppen von Unregelmäßigkeiten. Die Zusammengehörigkeit einer Gruppe ist durch Gleichheit oder nahe Ähnlichkeit ihrer Äußerungen und Veränderungen in der Zeitfunktion gegeben.

Denken wir uns nun dieses System von der Erdhaut bedeckt und einer langen Reihe von physikalischen und chemischen Veränderungen unterworfen.

Jede Gruppe wird für sich so eine Reihe von typischen Bewegungen, von Ausdehnungen, Einsenkungen, von mancherlei Schwingungen, Stößen, Erschütterungen, Strömungen etc. beschreiben.

Die darüberliegende Erdhaut muß in gewissem Ausmaße, wie wir wissen, allen diesen so sehr variablen Äußerungen und Anregungen gehorchen. Dabei ist aber wohl zu unterscheiden, daß diese Bewegungen je nach ihrer Art nicht etwa nur zu tektonischen Umlagerungen, sondern größtenteils zu sedimentären Massenbewegungen Anlaß geben. Ohne Meer und Atmosphäre könnten wir nur tektonischen Umbau der Erdhaut von uns haben. So besitzt jedoch die Erdoberfläche einen eigenen Motorenbetrieb, der sofort jegliches Erzeugnis der Tiefe ergreift und in Bearbeitung nimmt.

So muß jede tektonische Neuordnung mit einem neuen Umtrieb der Sedimentation verbunden sein.

Jedem tektonischen Aufbau entspricht also im allgemeinen ein sedimentärer Zerstörungskranz.

Damit ist schon nahegerückt, daß einer bestimmten Gruppe von Massen des Untergrundes nicht bloß im Laufe der Zeiten eine bestimmte Folge von Dislokationen, sondern auch eine bestimmte Serie von Ablagerungen zugeordnet sein muß.

Die Verhältnisse der Tiefe sind sicherlich weit komplizierter, als es diese Übersicht verlangt und gewiß bestehen unzählige Abweichungen und noch unbekanntere Verbindungen. Es werden vielleicht die einzelnen Gruppen nicht so scharf getrennt sein, als es auf diesem grobgezeichneten, vorläufigen Umriß erscheinen muß. Es kann sich hier aber auch nicht um die Erklärung einzelner Details, sondern nur um die Erkennung großer, weitgespannter Zusammenhänge handeln.

Wir hätten also, von den verschiedenartigen Massen des Untergrundes ausgehend, in der Erdhaut sowohl eine sedimentäre wie eine tektonische Abbildung derselben vor uns.

Auch hier sind natürlich nur große Verhältnisse ins Auge gefaßt, denn für kleine, eng begrenzte müssen schon notwendig dadurch Abänderungen entstehen, daß sich ja die tektonische Baufläche und die zugehörigen Sedimentierflächen nicht genau decken können. Hier müssen in vielen Fällen, so besonders bei Gebirgsbildung und Vulkanismus, beträchtliche Verschiebungen Platz greifen. Es gibt ja selbstverständlich Fälle, wo die sedimentäre Verbreiterung eine so bedeutende wird, daß von keinem Zusammenhang mehr mit Recht gesprochen werden kann. Wenn z. B. bei einer Vulkanexplosion der Aschenschleier über einen großen Teil der Erde gebreitet wird, so ist jene enge Verbindung zweifellos zerrissen.

Es muß also festgehalten werden, daß die tektonische Abbildung in allen Fällen weit getreuer und einheitlicher ist als die sekundäre-sedimentäre. Eine schematische, volle Zuverlässigkeit kann von der letzteren nie verlangt werden.

Trotzdem werden in den meisten und größten Fällen auch hier die Bildverzerrungen richtig gedeutet und verstanden werden können.

Wir haben gefunden, daß jede als Einheit großen Stils zu bezeichnende Erdstelle einerseits durch ihre gesamte Tektonik, andererseits durch ihre volle Sedimentserie charakterisiert wird.

Wenn wir die Charakteristik, welche die Sedimentserie gewährt, mit der nötigen Vorsicht in Anwendung bringen, so ist uns damit ein sehr wertvolles Mittel zur Beurteilung der Tektonik gegeben. Wenn wir den eben aufgestellten Satz ins einzelne übertragen, so können wir sagen, daß zum Beispiel die Geschichte eines Gebirges, eines Tafellandes, eines Ozeans, eines Mittelmeeres, einer Vulkanreihe etc. mit gewissem Vorbehalt schon aus den Aufzeichnungen ihres Sedimentgrundes zu entnehmen ist.

Die Ausdrucksmöglichkeiten der Sedimenturkunden sind dabei sehr reiche und können durch entsprechende Vertiefung ihrer Erforschung noch weit feiner entziffert werden.

Welch intimer Ausdruck ist da nicht häufig schon manch begrenzter Schichtserie zu eigen. Eine Fülle von rasch wechselnden Lagen, Bänken, Blättchen, Knollen, von den verschiedensten Gesteinen, von Kalken, Mergeln, Lehmen, Sandsteinen, Konglomeraten, Tuffen, Ergußgesteinen etc. tritt uns oft in einem einzigen Aufschlusse entgegen.

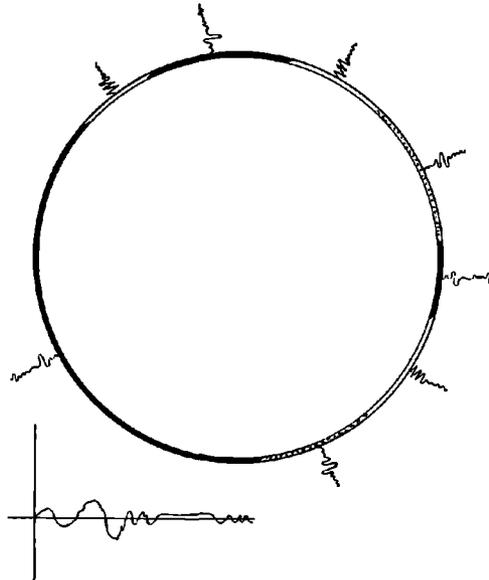
Hier ist der Ausgangsort für weite und höchst bedeutungsvolle Untersuchungen.

Dieser oft unbeschreiblichen, reichen, großartigen Fülle im einzelnen steht trotzdem eine höchst merkwürdige und für die ganze Geologie grundlegende Zusammenfassung der Ablagerungen zu gewissen typischen Serien gegenüber. Es wäre sehr wohl denkbar, daß entlang der ganzen Erdfläche fortwährend neue und abgeänderte Serien von Ablagerungen auftreten würden. Es könnte ja jede immer eine ganz beträchtliche Ausdehnung besitzen und trotzdem nur einmal vorhanden sein.

Stellen wir uns nun eine so gestaltete Erdhaut vor, deren Oberfläche zum größeren Teil von Meeren verhüllt wird, so ist völlig klar, daß eine Übertragung und Gleichstellung einer bestimmten Sedimentserie auf andere Erdteile vollkommen ausgeschlossen wäre. Die Aufstellung von Formationen und Unterabteilungen derselben, mit deren Hilfe sich heute die Geologen aller Länder wohl verständigen können, wäre dadurch ganz unmöglich gemacht. An der jetzigen Erdoberfläche sehen wir klar die großen Umschlingungen der Meere, die häufige Wiederkehr gleicher oder doch ähnlicher Verhältnisse in weitgetrennten Lagen vor uns.

Ebenso müssen aber, so weit die Geologie zurückzuschauen vermag, von jeher große und mehrfach gleiche Gruppierungen und weite Umschlingungen stattgefunden haben.

Fig. 41.



**Vom Standpunkt der Abbildungslehre aus sind diese Erscheinungen leicht und klar zu überschauen. Hier sind die Formationen durch die entsprechend harmonischen Bewegungen von sehr ausgedehnten und mehrfach wiederkehrenden gleichartigen Massen des Untergrundes vorgezeichnet.**

Diese so verbreiteten Massen bilden gleichsam eine Art von Netzwerk von gleichen tektonischen und sedimentären Bedingungen über die Erde hin.

Mit Hilfe dieses im Laufe der Zeit veränderlichen und verschiebbaren Grundnetzes, das vielfach zu riesigen Flächen verbreitert erscheint, gelingt es fast immer, dazwischenliegende andersartige Serien mit dem für eine bestimmte Zeit vorherrschenden Hauptnetz in Beziehung zu bringen. Solche Hauptnetze sind natürlich immer die Meere

mit allen ihren Gliedmaßen etc. Sie verschieben sich in sehr beträchtlichem Ausmaß, doch nicht bis zur vollständigen Umkehrung.

Um diese äußerst wichtigen Verhältnisse bequem im Schema zu überblicken, können wir uns vielleicht mit Vorteil folgender Darstellung bedienen.

Im großen werden die Veränderungen einer Erdstelle, wie wir wissen, durch vertikale Hebungen und Senkungen bedingt, von denen unter Umständen allerlei seitliche Strömungen sekundär ihren Ausgang nehmen. Diese Schwankungen können wir als eine örtliche und zeitliche Funktion begreifen und uns dieselben durch eine Schwingungskurve (Fig. 41) versinnlichen. Wir tragen z. B. die vertikalen Hebungen und Senkungen von einem willkürlich angenommenen Nullpunkt + und - in senkrechtem Maßstabe auf. Die Zeitfunktion aber bilden wir durch entsprechende Abschnitte in der Horizontalen ab. Es ist das nur ein ganz einfaches Beispiel, es ließen sich aber auch die seitlichen Verschiebungen etc. ganz wohl in ein Kurvenbild bringen.

Wir würden so theoretisch für die verschiedenen Einheitsgruppen eine Anzahl von Schwingungskurven erhalten und könnten dieselben dann vergleichen.

Auf einer Karte kann man entsprechend jeweils jene Stellen durch Linien (isotektonische Linien) oder Farben zusammenfassen, welche innerhalb einer bestimmten geologischen Periode gleichartige, gleichsinnige Bewegungen ausgeführt haben.

Es ist wohl zu beachten, daß natürlich absolut den gleichzeitigen Hoch- und Tiefständen nicht unbedingt gleiche Sedimentausdrücke entsprechen müssen. Im allgemeinen aber dürfte es stimmen. Der Grund für dieses Zusammenstimmen ist in dem Vorhandensein des Wassers gelegen, das im allgemeinen durch die Schwere in den Hohlräumen angeordnet wird. Diese Anordnung wird aber auch dadurch noch verfeinert, daß sich je nach Ufernähe und Tiefe ganz bestimmte und wohl charakterisierte Ablagerungszonen ausbilden müssen.

Es kann also in gewissem Ausmaß die vertikale Senkung noch wohl abgelesen werden, während die Höhe einer Hebung nicht so leicht genauer bestimmt werden kann.

Die Sedimente des trockenen Landes geben viel weniger scharf umzeichnete Bilder. Hier werden wir es vor allem mit Lücken in der Sedimentation, mit bedeutenden Erosionsbahnen, mit Gebirgen etc. zu tun haben.

Eine solche Darstellung der verschiedenen Erdgebiete durch charakteristische Schwingungskurven ist bei dem gegenwärtigen Stand unseres Wissens nur schwer und unzureichend ermöglicht, wird aber in Zukunft sicherlich durchführbar sein.

Dadurch ist der rascheste Überblick geschaffen und die Vergleichung überaus anschaulich und nahe gemacht.

---

### Kritik anderer Erklärungsversuche.

Unmöglichkeit einer Erklärung der Formationsreihen, Transgressionen und Strandverschiebungen durch periodische Schwankungen der Meere oder durch Senkungen. — Notwendigkeit eines Wechselspieles von Hebungen und Senkungen.

(Textfigur 42.)

Wir haben die Möglichkeit von vertikalen Hebungen und Senkungen erkannt.

Beide Vorgänge können sehr wohl ohne seitliche Druckleistungen für sich und abgeschlossen bestehen.

Die Faltengebirge sind Äußerungen von seitlicher Zusammensetzung, von Strömungen, die an Hebungen und Senkungen je nach der inneren Beschaffenheit der erzeugenden Massen des Untergrundes gebunden sein können. Die vertikalen Bewegungen sind wahrscheinlich allezeit die ersteren, die tieferen, die wichtigeren Bewegungen, von denen die horizontalen als zweite und bedingte Erscheinungen erst abfließen. Der Versuch, alle Formen der Erdhaut aus ihrer Gegenseitigkeit abzuleiten, kann daher zu keiner Lösung ihrer Rätsel führen.

Des weiteren haben wir außer der örtlichen tektonischen Abbildung des Untergrundes auch noch die ungenauere sedimentäre kennen gelernt. Die Begründung der allgemeinen Gültigkeit der Formationen, der weiten Bereiche der Transgressionen etc. kann ebenfalls von diesem Standpunkt aus gegeben werden. Es erhebt sich nun die Frage, ob diese Erscheinungen nicht vielleicht ebensogut durch Vermehrung oder Verminderung des Wasserbesitzes der Erdoberfläche erklärt werden könnten.

Die umgestaltenden Motoren der Erdoberfläche streben unausgesetzt Gebirge und Länder zu erniedrigen und zu verbreitern. Im Laufe gewaltiger Zeiten werden die Meere dadurch beengt und zugleich die Ufer verflacht. Das Wasser wird so allmählich aus seinen Behältern herausgedrängt und kann sich mit Leichtigkeit über weite flache Gefilde ergießen.

Eine allgemeine insellose Überflutung müßte das Ende dieses Kräftespieles bedeuten. Damit ist überhaupt das notwendige Ende aller Zerstörungskräfte gegeben, wodurch sie sich ja so wesentlich von den erzeugenden inneren Gewalten des Planeten unterscheiden.

Die größte denkbare Transgression wäre damit erreicht, zugleich aber auch das Ende der weiteren unorganischen Sedimentation. Eine neue Periode könnte erst wieder durch den Angriff der inneren Kräfte der Erde eingeleitet werden. Auch sie könnte wieder allgemach in der Überflutung enden. Es ist leicht eine solche Reihe zu konstruieren, wobei es ja gar nicht nötig ist, daß die Transgressionen den letzten Grad von Vollendung erreichen. Ihr Vordrang kann auch früher durch innere Arbeit gehemmt werden.

Wir sehen aus dieser Überlegung, daß das Vorhandensein von mehr als einer Transgression schon an und für sich das Eingreifen von inneren Kräften notwendig erfordert, wenn man nicht willkürliche Schwankungen des Meeresspiegels zu Hilfe rufen will.

Nehmen wir nun an, das Wasser der Erdoberfläche würde durch irgendwelche Einflüsse so beträchtlich vermehrt, daß bedeutende Über-

flutungen die Folgen wären. Wir hätten also wieder eine Transgression gegeben, die allerdings von der früheren verschieden ist. Diese Transgression kann durch innere Kräfte oder durch Wasserverminderung rückläufig gemacht werden. Eine periodische Reihe von Vergrößerungen und Verkleinerungen der allgemeinen Wassermenge würde so unter bestimmten Voraussetzungen eine Folge von Transgressionen bewirken können.

Dabei ist aber zu beachten, daß auch diese Reihe ohne innere Zutaten notwendig mit allgemeiner Überflutung endet. Außerdem ist aber noch zu bemerken, daß diese Transgressionen ohne das Zwischen spiel von inneren Kräften ungeheuer regelmäßig verlaufen müßten. Wir kennen auf der Erde überhaupt keine Ablagerungen, welche so regelmäßig ausgebreitet wären, wie es dieser Annahme entsprechen müßte.

Weitere Unwahrscheinlichkeiten treten bei näherer Prüfung dieser Annahme zutage.

Ausgedehnte flache Teile, wie der größte Teil unserer heutigen Tiefebene, müßten vor allem von den Transgressionen betroffen werden. Die Ablagerungen dieser Länder hätten Transgressionsdecken, welche jedesmal der Erosion verfallen müßten. Es kommt dabei darauf an, welche Wirkung die größere ist, die aufschüttende, sedimentschaffende der Überflutung oder die wegführende der Erosion. Nehmen wir jenen Fall heraus, wo die Erosion gegenüber der Sedimentation zurückbleibt. Dann sehen wir auf einer erodierten Basis eine Sedimentlage, in diese ein Erosionsrelief eingesenkt, darüber wieder eine Sedimentdecke, wieder ein Relief usw. Es ist klar, daß die Begrenzung jeder solchen Schichtdecke unten und oben durch eine Erosionsfläche gegeben sein muß. Des weiteren ist leicht einzusehen, daß ein solches Gebiet dauernd überflutet, ganz verlandet wird oder die vollständige Serie aller Überflutungen und Trockenlegungen mitmachen muß. Der Schluß hat natürlich die Abwesenheit innerer Störungen zur Voraussetzung. Wieviel von der vollständigen Ablagerungsserie der Transgressionen erhalten ist, hängt von den Eingriffen der Erosion und somit besonders von der Dauer der Trockenlegungen ab. Wenn wir bedenken, daß zahlreiche Ebenen in großem Umfange die Sedimente von Tertiär, Kreide etc. Buchten bis heute wohl zu erhalten vermochten und daß auf solchen Flächen, besonders in der Nähe von höherem Lande, die Zuführung der Abtragung ganz wohl standhält, so wird man zugeben, daß ein ähnliches Verhältnis auch für die älteren Trockenlegungen sehr wahrscheinlich ist.

Dann hätten wir solche Tiefebene geradezu als Museen der Transgressionen zu bezeichnen. Wir besitzen auf der Erde eine Anzahl von ausgedehnten Tiefebene, welche durch ihre Lage zwischen Meeren und Gebirgen ganz vorzüglich zu solchen Museen geeignet wären. Dieselben sind weder dauernd überflutet noch auch durch Sedimentation so erhöht, daß sie namhaften Niveauschwankungen des Meeres entzogen wären.

Trotzdem kennen wir keine einzige Ebene, welche eine volle Sammlung der großen Transgressionen in ihrer Sedimentfolge darstellen würde.

Durch gleichartige vertikale Bewegungen kann sowohl die weite Dehnung der Transgressionen als auch der Zusammenklang der Formationen an den verschiedenen Stellen der Erdoberfläche erklärt werden. Es sind die Ausdrücke einer mehr oder minder harmonischen, vertikalen Bewegungsart von zusammenhängenden oder getrennten Teilen der Erde.

Die Annahme von bedeutenden periodischen Vermehrungen und Verminderungen des irdischen Wasserbesitzes ist einmal vollständig unerwiesen und kann außerdem ohne Mitwirkung von inneren Veränderungen die wirkliche Schichtverteilung nicht verständlich machen.

In gewissem Sinne ist diese Annahme auch schon durch die Unmöglichkeit widerlegt, die Strandverschiebungen lediglich durch das Schwanken des Meeresspiegels zu erklären.

Wir übersehen heute mit ziemlicher Genauigkeit ein über die ganze Erde gebreitetes Beobachtungsnetz, aus dem mit Sicherheit zu entnehmen ist, daß Hebungen und Senkungen des Landes gleichzeitig an der Arbeit sind. Dasselbe läßt sich an den tertiären Sedimenten erweisen und gilt zweifellos auch für die älteren Formationen. Die Kräfte der Verwitterung müssen bei genügender Entfaltungszeit unbedingt zur allgemeinen Einebnung und damit zur vollständigen Überflutung führen. Eine periodische Schwankung des Wasserbesitzes (zum Beispiel durch periodische Vereisungen) vermag ebenfalls nicht die tatsächlichen Erscheinungen zu erklären.

Es fragt sich nun, ob vielleicht Verwitterung im Verein mit Einsenkungen alle Formen der Sedimentschätze erzeugen kann. Hier ist einmal zuerst daran zu erinnern, daß Senkungen einzelner Teile der Erdoberfläche im allgemeinen weder notwendig mit Auffaltungen der eigenen Massen noch mit Emporpressungen benachbarter Teile verbunden sind. Dann ist wohl zu beachten, daß selbst Senkungen von gewaltigen Erdmassen nur geringe Schwankungen der Weltmeere zu verursachen vermögen.

Der durch eine Senkung gebildete Hohlraum wird von dem Wasser erfüllt und dadurch gleichmäßig auf eine ungeheure Fläche verteilt. Senkungen im Bereiche der Meere haben notwendig Landgewinn zur Folge. Senkung innerhalb der Festländer bedeutet Landverlust, solange dieselbe nicht entweder riesige Räume betrifft oder bis zu gewaltiger Tiefe vorschreitet. Diese Entwicklungen können als sehr unwahrscheinlich oder unmöglich außer acht gelassen werden.

So können wir annähernd behaupten, Senkung im Meerbereiche bedeutet Landgewinn, Senkung im Festlande im allgemeinen Landverlust. An den Grenzen kann es leicht zu kombinierten Wirkungen kommen.

Wenn wir nun annehmen, daß Senkungen im Laufe großer Zeiträume ziemlich regelmäßig über die ganze Erdoberfläche hin verbreitet sind, so haben wir also ein Vorherrschen von Landgewinn aus dem großen Vorherrschen der Wasserflächen zu erwarten.

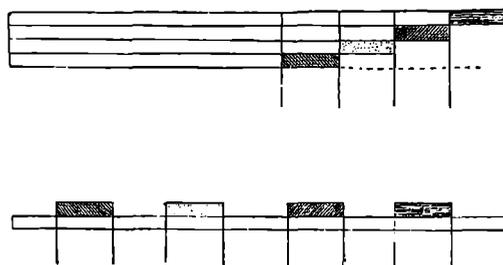
Dem steht die stetige Arbeit der Einebnung aller Festländer durch Verwitterung und die Ausbreitung der Meere durch Sedimentzudrang gegenüber.

Es ist leicht einzusehen, daß durch diese Wirkungen nur ein ziemlich eng begrenztes Feld von Umgestaltungen der Erdoberfläche eröffnet wird.

Jedes Festland wird von einem stetig breiteren, gleichmäßigeren Gürtel von Sedimenten umschlungen. Fällt daher nicht gerade die Grenze eines Einbruches mit einem Küstensaum zusammen, so müssen lauter flache, träge Ufer im Laufe der Zeiten zustande kommen. Ein Auftauchen von höheren neuen Inseln oder Festlandmassen ist so gut wie ausgeschlossen. Der Eingriff der inneren Gewalten, welcher sich in den Versenkungen äußert, vermag keine selbständigen Formen zu schaffen, sondern läuft mit einem Antrieb von Niveauschwankungen des Meeres ab. Gleichzeitiges Untertauchen und Auftauchen aller flachen Küstensäume und meeroffenen Tiefländer ist der Hauptcharakter dieses Mechanismus.

Sieht man von ganz ungeheuerlich großen oder tiefen Einbrüchen ab, so sind diese Niveauschwankungen nicht sehr beträchtlich. Wir wissen bereits, daß die Faltungszonen der Festländer nicht aus einer allgemeinen Kontraktion abgeleitet werden können. Halten wir das fest, so ist damit gezeigt, daß durch Seitendruck der Einbrüche auch nicht die tatsächlichen Erhebungen der Festländer zeitig worden sind.

Fig. 42.



Wenn aber nicht durch Erhebung von Gebirgen und Hochländern die Erosion neu belebt wird, so ist eine Belebung überhaupt nur an den Küstensäumen bei Meeressenkungen denkbar. Diese kann ihrer Natur nach nur sehr schwächlich sein, weil sie auf einer gering geneigten Fläche zur Entfaltung gelangt. Außerdem ist hier das Einschneiden in den weichen Massen sehr erleichtert.

Wenn man sich diese Charakteristik vor Augen hält, erkennt man sofort, daß damit der Reichtum der tatsächlichen Verhältnisse durchaus nicht erschöpft wird.

Noch größer werden die Schwierigkeiten, wenn man die hohe Lage jener gewaltigen Massen von Meeressedimenten, die an zahlreichen Orten beobachtet wurden, durch Senkungen deuten will. Die Erklärung für die Bildung von 5—6000 m mächtigen Meeressedimenten, die durchaus nicht den Charakter von Tiefseegebilden an sich haben, kann nur durch Annahme von ziemlich allmählichen Senkungen geboten werden. Wer nun aber diese Schichtfolge durch Senkungen zu Land machen will, muß dazu eine allgemeine Senkung des Meeresspiegels um mindestens 5—6000 m zu Hilfe rufen.

Nehmen wir zum Beispiel an, die hochliegende Sedimentfolge hätte eine Ausdehnung von  $\frac{1}{100}$  der Erdoberfläche und das Meer sei gleich  $\frac{75}{100}$ , so muß sich nach dieser Auffassung ein 75mal so großes Gebiet um 5 bis 6000 m senken.

Bedenken wir nun, daß wir in der langen geologischen Entwicklung nicht eine, sondern viele und ungleichzeitig erhobene Sedimentfolgen von großer Dicke kennen, so wird dieser (Fig. 42) Erklärungsversuch ins Gebiet des Unwahrscheinlichen verwiesen. Die ältesten verlandeten Schichtsysteme müßten die höchsten sein und, falls sie nicht nachträglich wieder selbständig gesenkt sind, den vollen Betrag aller seitherigen Senkungen darstellen.

Wenden wir das auf unsere geologischen Erfahrungen an, so würden diese Schichten auf mindestens 20—30.000 m hohen Sockeln ruhen müssen. Davon ist keine Spur.

Die Faltengebirge mit ihren Aufstauungen gehören natürlich gar nicht in diese Gruppe von Erscheinungen, da wir nur die flachen erhabenen Sedimenttafeln betrachten, welche ohne Gebirgsstauung zu ihrer Stellung gelangt sind. Hier sind aber die Unterschiede nicht größer als die Mächtigkeiten einzelner dicker Sedimentlager.

Um das zu erklären, müßte man also ein zweites System von Senkungen zu Hilfe rufen, welches diese riesigen Schichtenstufen wieder ins gewöhnliche Niveau herabführt. Damit das erreicht wird, müßte die Senkung je nach dem Alter stufenweise verschieden sein.

Wir haben bei der Berechnung der Meeresspiegelsenkung der Einfachheit wegen angenommen, daß der ganze übrige Meeresboden sich einheitlich und gleichmäßig zum Beispiel um 5—6000 m senke. Das ist sicher eine äußerst unwahrscheinliche Annahme. Nimmt man aber enger begrenzte unregelmäßige Senkungen an, so muß man zu sehr viel tieferen seine Zuflucht nehmen. Das ist ebenfalls wieder gegen alle Erfahrungen.

Die Leugnung der vertikalen Hebungen zwingt so zu den ungeheuerlichsten Annahmen, die in ganz riesigen Ausmaßen der Senkungen ihren Ausdruck finden.

Nur die Annahme, daß Hebungen ebenso wie Senkungen an der Umgestaltung der Erdoberfläche teilnehmen, bietet einen Mechanismus dar, welcher nicht zu außerordentlichen Größen seiner Bewegungen greifen muß.

Wenn einzelne Teile von Meeresboden zu Land werden, so ist die einzige natürliche, ungezwungene Erklärung dafür die der Erhebung. Um das frühere Schema zu benutzen, so wird hier zur Erklärung der Hebung von einem  $\frac{1}{100}$  der Erdoberfläche eben der gerade entsprechende Untergrund, also  $\frac{1}{100}$  desselben in Anspruch genommen. Die andere Erklärung braucht für das  $\frac{1}{100}$  die Bewegung von  $\frac{75}{100}$ . Dadurch wird anschaulich genug der Wust und ungeheure Umweg dieser Erklärungsweise versinnlicht.

Unsere erste Untersuchung über die Verteilung und die Zusammenhänge der Faltungsstränge hat gezeigt, daß dieselben, wie sie tatsächlich vorliegen, größtenteils nicht als Werke der allgemeinen Kontraktion begriffen werden können. Derselbe Schluß hat sich dann aus der Betrachtung der Faltungs- und Schiebungsformen ergeben. Wir haben uns daher der Unterströmungstheorie zugewendet, welche wohl Erhebung voraussetzt. Diese Erhebung kann allerdings auch durch benachbarte Senkungen geschaffen werden, doch ist dies in vielen Fällen unwahrscheinlich.

Die Erscheinungen der Strandverschiebungen, der Transgressionen weisen unzweideutig auf Hebungen und Senkungen hin. Die Verteilung und Lagerung der älteren Sedimentfolgen ist ebenfalls ohne das Wechselspiel von Hebung und Senkung nur äußerst schwerfällig zu deuten.

---

### Abschluß.

Wir sind von der Druckspannung des ideellen Erdgewölbes und von den Festigkeiten der irdischen Gesteine ausgegangen und haben erkannt, daß eine Fernleitung der Seitenschübe ganzer Erdringe, sowie eine Zusammenfassung derselben an einzelnen Stellen der Erdhaut vollständig unmöglich ist.

Diese Erfahrungen über die Weiterleitung und Anhäufung von Druckspannungen, welche die Festigkeit ihres Leiters weit übertreffen, wurden sofort auf das Geoidgewölbe übertragen. Die weitere Verfolgung dieser Überlegungen führte nun zur Aufstellung der hauptsächlichsten Faltungstypen, welche aus Unregelmäßigkeiten bei der allgemeinen Kontraktion der Erdhaut zu entstehen vermögen. Im wesentlichen sind diese Faltungen durch das Verhältnis von Scholle und Ring, also durch Geschlossenheit der Faltzonen bezeichnet. Nähern sich solche Faltenringe einander, so können sehr mannigfaltige Formen daraus entspringen.

Wir haben aus den hier auftretenden Erscheinungen der Teilung, Schlingung, Innen-, Außenseite und Umbeugung wichtige Kriterien für die Erkennung der Kontraktionsfaltungen abgeleitet.

Die Faltungszonen der Erde können größtenteils nicht mit diesen Kriterien in Einklang gebracht werden und erweisen sich so schon im Stil ihrer äußeren Anlage als Gebilde, welche von der allgemeinen Kontraktion unabhängig sind und eine bestimmte Selbständigkeit besitzen.

Damit sind alle Hypothesen der Gebirgsbildung abgelehnt, welche Kräfte und Massen zum Gebirgsbau aus weiter Ferne zusammenschleppen. Auch die Hypothesen der Gebirgsbildung durch Volumschwankungen der Gesteine oder Massenverschiebungen an der Erdoberfläche reichen zur Erklärung nicht hin.

Nach diesen Ausführungen, welche auf die Anlage der Gebirge im großen, auf ihr Weltbild gerichtet sind, folgen nun Untersuchungen der Faltung und Schiebung im einzelnen.

Auch hier werden wieder Kriterien abgeleitet, welche aus dem Faltungs- oder Schiebungsbild auf die Entstehung schließen lassen. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Gesamtumfang der Massen-

bewegung bei Faltung und Schiebung gewidmet und gezeigt, daß beide ursächlich miteinander verbunden sind.

Diese Erscheinung ist sehr wichtig und führt uns zur Widerlegung der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese. Die Annahme der Bildung von Überfalten durch Ausquetschung von gewaltigen Geosynklinalen ist vollständig unberechtigt. Ebenso können die großen Faltengebirge der Erde nicht aus Wirkungen der Erdrotation, also aus Stößen und Schwüngen, abgeleitet werden.

Zahlreiche Faltenzonen müssen als Streifen eigener Entstehungskraft begriffen werden.

Da die Ursache ihrer Bildung in vielen Fällen weder im Umland noch in ihren eigenen Massen liegt, so muß dieselbe im Untergrund begründet sein. Von dieser Überlegung geleitet, kommen wir zur Gleithypothese und prüfen deren Erklärungsbereich. Auch sie vermag manche Erscheinungen nicht aufzulösen. Die Gleitung selbst stellt sich indessen nur als ein Teilfall einer viel umfassenderen Massenbewegung dar, welche wir unter dem Namen der „Unterströmung“ begreifen.

Durch diese Erweiterung wird auch der Erklärungsbereich vergrößert. Es liegt hier nahe, die Unterströmungshypothese mit der alten plutonischen Erhebungslehre zu vergleichen, von der sie sich jedoch wesentlich unterscheidet. Damit stehen wir vor der Frage der vertikalen Hebungen, welche in bejahendem Sinne entschieden wird.

Die Unterströmungen selbst gehören als bestimmte Gruppe zu den in gewissem Sinne selbständigen Veränderungen des Untergrundes der Erdhaut. Diese Auffassung verlangt für das Innere der Erde eine einigermaßen unregelmäßige Massenverteilung, welche jedoch im Verhältnis nicht erheblicher zu sein braucht als die Reliefabweichungen der Erdoberfläche von der glatten Wölbung.

Die Veränderungen des Untergrundes prägen sich nun der Erdhaut einerseits als tektonische, andererseits als sedimentäre Abbildungen ein. Die letztere Abbildung ist sehr viel ungenauer und verzerrter. Beide Reihen von Abbildungen, die örtliche und die zeitliche, deuten durch ihr Zusammenwirken völlig ungezwungen die Erscheinungen des weltweiten Zusammenklanges der Formationen und Transgressionen. Periodische Schwankungen der Meere oder ein System von reinen Senkungen können diese Erscheinungen nicht erklären.

Das Wechselspiel von Hebungen und Senkungen erweist sich zu ihrer Erklärung als unumgänglich nötig. Ohne fortgesetzte innere Eingriffe müßten alle großen Sedimentierprozesse ganz anders verlaufen.

Die Oberflächenerklärung der Gebirgsbildung aus dem Nebeneinander verschiedenartiger Sedimentgruppen reicht in vielen Fällen nicht aus. Das Auftreten von Faltengebirgen, Mittelmeeren, Sprungländern, Ozeanen, Vulkanreihen etc. kann nicht als eine Funktion der jeweiligen örtlichen Gesteinsfestigkeiten verstanden werden. Die dazu nötigen Unterschiede sind in wechselreichen, mächtigen Sedimentfolgen durchaus nicht vorhanden.

Dagegen weisen ganze Gruppen von Merkmalen und Beziehungen gleichsinnig darauf hin, daß die Ursache aller dieser Gebilde in Äußerungen des Untergrundes der Erdhaut zu suchen ist.

Es muß noch besonders betont werden, daß mit diesen Erörterungen durchaus nicht die Anwendungsfähigkeit der verschiedenen anderen Hypothesen für einzelne Fälle geleugnet werden soll.

Dagegen läßt sich keine mit Recht zu einem einheitlichen geologischen Weltbild vergrößern.

Alle Versuche, die Gebirgsbildung durch einheitliche Bewegungen zu erklären, sind von vornherein mißlungen.

Die Faltengebirge stellen sich nicht als einheitliche Bewegungsbilder der Gesteinsmassen dar, welche durch eine Bewegungsformel in ihre ursprünglichen Ablagerungsformen zurückgeführt werden können.

Hier liegt ein mächtiger, wechsellvoller Bereich von mannigfaltigen Bewegungen vor uns, von Hebungen, Senkungen, Schiebungen, von Vor- und Rückfaltungen, Hin- und Herflutungen, von Zerrungen und Pressungen, von Magmaförderungen und Einbrüchen.

Aufwärtsbewegung wechselt mit abwärts und seitwärts gerichteter, Zerrung mit Pressung und der Sinn des Faltenschubes ist keineswegs ein unveränderlicher.

Die Einheitlichkeit dieser großen Gebirge ist nicht vorzüglich der Ausdruck einer geschlossenen, gleichsinnigen Bewegungsschöpfung. Sie kommt vielmehr vor allem dadurch zustande, daß die Bewegungen des Gebirgsraumes im Laufe ungeheurer Zeiten stets mehr oder weniger von jenen der Umgebung verschieden gestaltet waren.

Es ist nicht ein Bewegungsakt, sondern eine lange Reihe von solchen, welche diesen Streifen der Erdhaut ihre ausgezeichnete Stellung bereiten.

Wir haben die selbständigen Veränderungen des Untergrundes für die Erklärung dieser Erscheinungen herangezogen. Diese Veränderungen können physikalische oder chemische sein.

Man könnte nun vielleicht sagen, daß damit nichts weiter als ein räumliches Tieferlegen der Ursachen der Gebirgsbildung erreicht sei.

Dem ist indessen nicht so, einmal weil diese Tieferlegung eine notwendige ist und dann, weil durch die Umkehrung, durch den Schluß von den Formen der Erdhaut auf die Zusammensetzung und Art des Untergrundes die Möglichkeit einer systematischen, wissenschaftlichen Erforschung der tieferen Erdzonen nähergestellt wird.

Damit ist einer bedeutenden Erweiterung der geologischen Forschungs- und Erkenntnisgebiete überhaupt Bahn gebrochen.

Beendet, Wien, Mitte März 1906.

---

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Einleitung</b>	589
<b>Vorbemerkungen</b>	542
Wichtige Ausmaße der Erde . . . . .	542
Faltungskraft und Gesteinsfestigkeit . . . . .	542
Äußere Umarbeitungs- oder Mischungszone . . . . .	542
Begriff der gleichmäßig getreuen Verkleinerung . . . . .	544
Charakteristik der Erdhaut . . . . .	545
<b>Über die Summierung von seitlichen Druckkräften in einem Erdring</b>	546
Gewölbe im parallelen und zentrischen Kraftlinienfeld der Erde . . . . .	546
Ideelles Erdgewölbe . . . . .	546
Die wichtigsten Kombinationen der Kontraktion und ihre Bewegungsbilder . . . . .	547
Unmöglichkeit der Weiterleitung von Druckkräften, welche die Festigkeit eines freien Leiters bedenkend überwältigen . . . . .	554
Bedeutung und Einfluß älterer, gefalteter Massen bei neuerlicher Faltung . . . . .	554
<b>Über die Bildung von Faltungszonen im Geoidgewölbe</b> . . . . .	556
Die Grundbedingungen von Faltungen in der Ebene und im Geoidgewölbe . . . . .	557
Die Faltungsformen, welche aus Unregelmäßigkeiten bei der Kontraktion der Erdhaut entspringen . . . . .	558
Die gesetzmäßigen Zusammenhänge von Schollen und Faltenringen . . . . .	560
Unmöglichkeit der Summation und Zusammenleitung aller seitlichen Druckschübe an einer bestimmten Stelle der Erdhaut . . . . .	567
Das Verhältnis der Abbildung zwischen Schollen, Faltenringen und Untergrund . . . . .	569
<b>Über das gegenseitige Verhältnis benachbarter Faltenringe</b> . . . . .	569
Die Kriterien der Kontraktionsfaltung in bezug auf Teilung, Schlingung, Innen-, Außenseite und Umbeugung . . . . .	570
Selbständigkeit der Faltungszonen der Erde . . . . .	575
<b>Kritik der Faltungsformen von Gebirgsbildungen durch Volumschwankung der Gesteine oder Massenverschiebungen an der Erdoberfläche</b>	576
<b>Einige Grundbedingungen der Faltenbildung</b>	580
Verschiedene Entstehungsarten von Falten . . . . .	580
Umfang der Massenbewegungen bei Faltungen und Schiebungen . . . . .	581
Theorie der Schiebungen . . . . .	582
Wurzelzone . . . . .	582
Schublänge, Förderung . . . . .	583
Fortpflanzung der Faltung . . . . .	586
Drucksicherung . . . . .	588
Verkehrt konische Struktur . . . . .	588
Höhe der Faltenwellen . . . . .	589
Unmöglichkeit der Ausbildung von Überfalten durch Über- oder Unterschieben . . . . .	590
<b>Kritik der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese</b>	593
Existenzbedingungen von Überfalten . . . . .	593
Notwendiger Zusammenhang mit ungeheuren Überschiebungen oder riesigen Volumschwankungen des Untergrundes . . . . .	594
Unmöglichkeit der Ausquetschung mächtiger Geosynklinalen durch Über- oder Unterschiebungen . . . . .	595
Über die sogenannten Wurzeln der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese . . . . .	597

	Seite
<b>Gleit- und Unterströmungshypothese</b> . . . . .	597
Die Faltengebirge sind im wesentlichen Streifen eigener Entstehungskraft	597
Gebirgsbildung durch Wirkungen der Erdrotation .	597
Der Erklärungsbereich der Gleithypothese	599
Erweiterung zur Unterströmungshypothese	601
Gegensatz zur plutonischen Erhebungslehre . . . . .	602
Möglichkeit und Bedeutung der vertikalen Hebungen	608
<b>Die tektonische Abbildung der Veränderungen des Untergrundes in der Erdhaut</b> . . . . .	606
Selbständige Veränderungen des Untergrundes	606
Die Erde als schlechtgemischter Weltkörper	607
<b>Über die sedimentäre Abbildung</b> . . . . .	608
Ableitung der zeitlichen Abbildung in der Sedimentation	608
Beschränktheit der sedimentären Abbildungen . . . . .	610
Die Erklärung der Formationsreihen und der Transgressionen von diesem Standpunkt . . . . .	611
Graphische Darstellung der geologischen Bewegungskurven verschiedener Erdstellen	612
<b>Kritik anderer Erklärungsversuche</b> . . . . .	613
Unmöglichkeit einer Erklärung der Formationsreihen, Transgressionen und Strandverschiebungen durch periodische Schwankungen der Meere oder Senkungen . . . . .	613
Notwendigkeit eines Wechselspieles von Hebungen und Senkungen	617
<b>Abschluß</b>	618