

Geometrische Erwägungen über den Bau der Alpen.

Von Otto Ampferer.

(Vortragsbericht.)

Der nachfolgende Aufsatz gibt in abgekürzter Form den Inhalt eines Vortrages wieder, den ich am 4. April 1919 über Aufforderung unseres verehrten Präsidenten in der Abendsitzung der Geologischen Gesellschaft unter dem Titel „Meine Vorstellung vom Bau der Alpen“ gehalten habe. Ich schickte damals voraus, daß ich vom Vortragswesen im allgemeinen eine recht geringe Meinung habe, weil nach meiner langjährigen Erfahrung als Redner und Zuhörer das Ergebnis der meisten Vorträge in einer Vermehrung der Mißverständnisse besteht. Es hat dies seinen Grund in erster Linie in der Unmöglichkeit, einen fortlaufenden, ungestörten, geistigen Kontakt zwischen dem Vortragenden und seinen Zuhörern herzustellen. In abgeschwächter Weise gilt dies ja auch von der schriftlichen Gedankenübertragung.

Das einzige halbwegs verlässliche Mittel bleibt nach wie vor das Gespräch zwischen den wirklich Beteiligten, dessen Kultur uns leider so gut wie verloren gegangen ist, aber dringendst einer Neubelebung bedarf, wenn anders das ewige Aneinandervorbeireden nicht alles erlahmen soll.

Ich fügte dann noch einleitend hinzu, daß der vor länger Zeit gewählte Titel in keinem guten Verhältnis zum Inhalt des Vortrages stehe, weil ich nicht in der Lage bin, eine bestimmte Vorstellung vom Bau der Alpen zu entwerfen, sondern vielmehr nur die Absicht habe, die schon bestehenden, eben allzu bestimmten Hypothesen zu erschüttern, sie gebührend einzuschränken und das Gebiet für neue Betrachtungsweisen offen zu halten.

Es handelt sich mir dabei vor allem darum, wieder einmal zu zeigen, daß auch für die Geologie geometrische Überlegungen sich nicht nur nicht ausschalten, sondern sogar mit Vorteil verwenden lassen, soferne man überhaupt die Absicht hat, zu schärferen Fragestellungen und klareren Antworten zu gelangen.

In der tektonischen Geologie aber spielt die geometrische Betrachtungsweise wie bei allen Bewegungsvorgängen eine besonders wichtige Rolle.

Ihre Aufgaben sind hier gar mannigfach. Es gilt nicht nur die einzelnen Stadien der tektonischen Umformungen, ihre gegenseitigen Wachstumsverhältnisse graphisch zu verfolgen, Gesetzmäßigkeiten zu erforschen, die gestatten, aus wenigen in der Natur gemessenen Dimensionen andere, nicht zugängliche Teile derselben Formen zu konstruieren, es gilt vor allem auch, die Bereiche der tatsächlich vorhandenen Bauformen von den möglichen und den unmöglichen abzugrenzen und so das volle Ausmaß der Möglichkeiten zu überschauen.

Die Natur gibt ihrem Prüfer höchstens auf so viele Fragen Antwort, als er ihr zu stellen vermag.

Wer daher mit einem reicheren Vorrat überlegter Möglichkeiten herantritt, wird unter sonst gleichen Bedingungen eine vollere Ernte an Beobachtungen zu erwarten haben.

Die Erweiterung und Abgrenzung der Möglichkeiten ist daher eine notwendige und keineswegs eine müßige Arbeit.

Wenden wir uns nun einer geometrisch-tektonischen Betrachtung der Alpen zu, so empfiehlt es sich, der Übersichtlichkeit halber erst die Verhältnisse im Querschnitt, dann im Längsschnitt, in der Fläche und endlich im Raume, also eingeordnet in die Erdkugel, zu verfolgen.

Ich schreite dabei vom Einfachen zum Komplizierten vorwärts, einen Weg, den ja auch der historische Gang der Erkenntnis, wenn auch mit allerlei Ablenkungen, genommen hat.

Eine der ersten Möglichkeiten der Gebirgsbildung besteht in einer einfachen oder gestaffelten vertikalen Hebung (oder Senkung) von Schichtstreifen.

Es ist der Typus von Schollen- oder Horstgebirgen, der nicht selten vorkommt, aber für die Alpen ohne Belang und Vergleich bleibt. Dagegen hat die geologische Erfahrung erwiesen, daß ein Zusammenfallen der ganzen Gebirgsbreite mit jeweils einer Sattelwölbung nicht verwirklicht erscheint.

Wir wissen heute, daß die Wölbung des Gebirgsleibes von einer ganz anderen Rangordnung und oft auch von einer anderen zeitlichen Entstehung ist als seine einzelnen, viel kleineren Falteglieder.

Denkt man sich den Kern einer Großwölbung mit einer aktiven Eruptivmasse gefüllt, so hat man den Typus des vulkanischen Erhebungsgebirges vor sich, der bekanntlich in der Geschichte der Alpenklärung keine geringe Rolle gespielt hat.

Die Anwendungsfähigkeit dieser Erklärung wurde sofort scharf eingeschränkt, als man diese Eruptivkerne als gleichsinnig mit den Sedimentgesteinen gefaltet erkannte.

Wenn die Alpen, wie ihre Erschließung bald genug ergab, in jedem Querschnitt aus einer Vielheit von Falten bestehen, so haben wir eine Menge von Möglichkeiten in der Anordnung und Formung vor uns liegen.

Ich hebe in Kürze nur einige charakteristische Anordnungen und Verhältnisse hervor.

Da könnten zum Beispiel lauter gleiche kleinere Faltenwellen zu einer großen Welle vereinigt sein, sie könnten gegen die Mitte nach Größe und Höhe von beiden Seiten anschwellen.

Es könnten alles geschlossene Falten auftreten; es könnten ungleiche Falten miteinander wechseln, sie könnten in verschiedenen Niveaus liegen oder es könnten die großen Falten randlich, die kleinen zentral liegen.

Solche Faltenreihen kann man als „Faltenschriften“ bezeichnen.

Keine der hier erwähnten Faltenschriften ist in den Alpen verwirklicht worden.

Wohl aber ist die Einseitigkeit und die Zweiseitigkeit der Faltenanlage von einer entscheidenden Bedeutung gewesen. Die Erkenntnis der einseitig überstürzten und randwärts gesteigerten Faltung schien im Verein mit dem in derselben Richtung gekrümmten Verlauf des Alpenbogens ein sicheres Anzeichen für eine Entstehung der Alpen durch einen gegen außen gerichteten horizontalen Schub. Insbesondere E. Sueß hat den schroffen Gegensatz zwischen der überfalteten, enggepreßten Konvexseite der Alpen und der gezerrten vulkanoffenen Konkavseite stets hervorgehoben. Ihm gegenüber sind die Stimmen für einen doppel-einseitigen Bau der Alpen, den Schraubstocktypus, nie verstummt und manche Beweise dafür gefunden worden.

Die einseitige oder zweiseitige Überkippung der Falten kann aber nicht bloß für die ganze Alpenbreite, sondern auch

für einzelne Teilzonen schon in Betracht kommen. Auch für diese Möglichkeit lassen sich Beweisstellen aufzeigen.

Mit der Erforschung der einseitigen Faltung war aber noch ein wesentlicher Fortschritt verbunden. Insbesondere in den Schweizer Alpen zeigten sich vielfach in großartigen Ausführungen die stark mechanisch deformierenden Wirkungen des einseitigen Faltenwachstums.

Bei einem solchen Wachstum kann es unter entsprechender Belastung und bei geeigneten Materialien sehr leicht zu weitgreifender Verkümmernng des Mittelschenkels, zu einer scharfen Verdünnung und Auswalzung desselben kommen.

A. Heim hat diese Erscheinungen in ausgezeichneter Weise erforscht und beschrieben.

Bezeichnend für die bei dieser Mechanik auftretenden Deformationen ist die unbedingte Aufrechterhaltung der ursprünglichen Schichtenordnung. Mögen einzelne Schichtlagen auch papierdünn ausgewalzt werden oder streckenweise ganz zerrissen sein, eine Vermischung mit den Nachbarschichten wird dabei trotzdem streng vermieden.

So ist es möglich, auch in scharf verdünnten Mittelschenkeln noch die einzelnen darin angedeuteten Schichtglieder voneinander zu trennen.

Die einseitige Falte bietet auch die Möglichkeit zu einer verhältnismäßig sehr starken Übertreibung. Während der aufrechten Falte durch Festigkeit und Schwere ziemlich enge Grenzen gezogen sind und sie dann zur liegenden Falte übergehen muß, sind dieser, besonders wenn etwa noch Gleitung unterstützend dazu kommt, bedeutende Erstreckungen erreichbar.

In den zwei letzten Dezennien sind auch von der sogenannten Überfaltenlehre derartige liegende Riesenfalten in größtem Ausmaß für eine Erklärung des Alpenbaues herangezogen worden.

Mit der Möglichkeit einer so großen Ausdehnung einzelner Falten ist auch gleichsam eine Verlagerung ganzer Faltenzonen innerhalb oder sogar außerhalb des Gebirgskörpers eröffnet.

Die Deckenhypothese hat von dieser Vorstellung zur Erklärung des Alpenbaues ausgiebigen Gebrauch gemacht.

Die riesigen Dimensionen solcher Falten, die angeblich von der Südseite auf die Nordseite der Alpen reichen, rücken in

Verbindung mit der gewaltigen Höhe ihrer Anhäufung eine Zerstörung der erhabenen, mittleren Teile in greifbare Nähe.

Tritt eine solche Zerstörung ein, so haben wir zwei ganz getrennte Teile vor uns, im Süden das sogenannte Wurzel-land, im Norden das zugehörige Deckenland.

Die Herstellung ihrer ehemaligen Verbindung bietet vom Standpunkt der Deckenhypothese eine überaus wichtige und durch ihre Schwierigkeit auch vielfach reizvolle Aufgabe.

Auf die geometrischen Bedenken gegen die Möglichkeit einer solchen Mechanik habe ich bereits öfter hingewiesen und will es auch hier wieder tun.

Wenn wir die bisher vorgelegten Erklärungsversuche kurz überblicken, so erkennen wir, daß sie sich der in immer reichem Detail aus dem Unbekannten auftauchenden tektonischen Kompliziertheit nach Kräften anzuschmiegen versuchen.

Will man mit Faltung allein das Auskommen suchen, so steht uns noch die Faltung des Gefalteten, also die Faltung in der zweiten Potenz, zur Verfügung.

Es ist interessant, zu sehen, daß durch eine Faltung der zweiten Potenz anscheinend die Komplikation nicht vermehrt, sondern vermindert wird.

Bei genauerer Betrachtung wird man allerdings gewahr, daß die scheinbar einfachen Sättel und Mulden einen vielfach wechselnden Schichtenkern besitzen. Bei einer Faltung der dritten Potenz kommt eine solche oberflächliche Einfachheit noch stärker zum Ausdruck.

Bisher sind wohl nur Faltungen in der zweiten Potenz ernstlich zur Erklärung der alpinen Bauformeln herangezogen worden.

Das Endziel der gesteigerten Faltung kann man etwa als „Verknäuelung“ bezeichnen.

Auch hier ist nochmals zu betonen, daß selbst bei der ärgsten Verknäuelung keine regellose Vermischung der Gesteinsmassen, sondern eine Anordnung entsteht, die sich mit der nötigen Geduld und Sorgfalt nach dem Rezept der ursprünglichen Ablagerungsfolge muß auflösen lassen.

Es unterliegt nun aber keinem Zweifel, daß mit dem Hilfsmittel auch der gesteigertsten Faltung eine große Gruppe von tatsächlich vorhandenen alpinen Bauformen sich nicht behandeln lassen.

Ich meine hier zunächst die Störungen an Verschiebungsflächen, die meist daran geknüpften Zermahlungen von Gesteinszonen, sowie die Bildung von tektonischen Schichtgemischen.

Die Beobachtungen über das Auftreten von steil einschließenden Bewegungsflächen sind wohl sehr alt

Es gab dann eine nicht weit zurückliegende Zeit, wo man jede nicht gleich durch einfache Faltungsanweisung lösbare Schichtengleichung mit einer vertikalen Verschiebung zu erledigen suchte. Diese Erklärungsweise war immer in den Ostalpen weit gebräuchlicher als in den Westalpen, was in dem Vorherrschen von mächtigen, starren Kalk- und Dolomitmassen in der Osthälfte der Alpen seinen tieferen Grund hat.

Es ist merkwürdig, wie wenig heute von der großen Schar senkrechter Verwerfungen bei genauerer Prüfung stehen geblieben ist. Die meisten sind umgefallen und zu Überschiebungen geworden.

Entlang einer Überschiebungsfläche legen sich im allgemeinen zwei aufrechte Schichtfolgen übereinander. Die Überschiebungsbahnen stellen in der Regel Flächen vor, die in der Bewegungsrichtung einen geraden oder leicht gebogenen Verlauf zeigen, während sie senkrecht zu dieser Richtung viel stärkere Verbiegungen aufweisen können, ohne eine geradlinige Verschiebung zu stören. Solche Furchen und Rippen wirken dann wie „Führungsleisten“.

Die Lage der Überschiebungsflächen ist eine recht verschiedene. In vielen Fällen knüpfen solche Flächen an Zerreißen von einseitigen Falten an. Daneben gibt es aber auch Flächen, die ins Erdinnere leiten, Flächen zwischen zwei verschiedenen Faltungsstockwerken, Flächen zwischen Gesteinsmassen verschiedener Ausdehnungsfähigkeit, verschiedener Festigkeit.

Die Überschiebungsflächen können die Schichtsysteme unter Umständen glatt und reinlich wie mit einem Rasiermesser durchschneiden. In den weitaus meisten Fällen wird das Einreißen einer solchen Fläche und ihre Weiterbildung mit einer Menge von Zertrümmerungen und Vermischungen verbunden sein. Es gilt dies insbesondere, wenn die Schubfläche zum Beispiel während ihrer Benützung noch verbogen wird oder Hindernisse infolge der Kreuzung mit anderen Bewegungsflächen eintreten.

Auch der jähe Wechsel in der Reibung ist hier nicht zu vergessen.

Es kann als Regel angesehen werden, daß es bei solchen Verschiebungen längs der Schubbahn zu Gesteinsmahlungen, zum Mitschleppen von verschiedenen Gesteinstrümmern und zu deren Vermischung kommt.

Die Vermischungsmöglichkeiten sind jedoch bei geradliniger Verschiebung ziemlich bescheiden, so daß man meist schon an dem Grade der Durchmischung die tektonische und die sedimentäre Arbeit unterscheiden kann.

Das tektonische Schubmaterial kann ähnlich wie ein Moränenwall vor dem Gletscherende vor der Überschiebungsstirne lagern.

Wechselt die Schubrichtung, so steigt die Mischungsfähigkeit unter Umständen ganz beträchtlich.

Das Studium der Mischungsverhältnisse der Breccien ist daher für die moderne Tektonik eine allzeit wichtige Angelegenheit geworden.

Die Überschiebungen sind zum großen Teil an der Nord- und Südseite der Alpen gegen außen gerichtet.

Wir haben also wieder eine Art von hoch komplizierter Fächerstruktur vor uns. Der Unterschied liegt nur darin, daß hier Schubdecke auf Schubdecke in aufrechter Lage liegt und umgekehrte Schichtfolgen, ausgewalzte Mittelschenkel, Faltenstirnen eine recht seltene Ausnahme bilden.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, zum Beispiel an der Struktur unserer Nordalpen die Unterschiede dieser Erklärungsweise gegenüber der Überfaltungslehre genauer zu betonen.

Der Überfaltungslehre steht für die Deutung der Nordalpen als Deckenland eine zweifache Möglichkeit entweder als Tauchdecke oder als Springdecke zur Verfügung. Die beiden Formen unterscheiden sich besonders nach den Wachstumsverhältnissen.

Es ist nach der tatsächlich vorhandenen Anordnung der Schubdecken in den Nordalpen nur möglich, den Springdeckentypus zum Vergleiche heranzuziehen.

Führen wir diesen Vergleich mit dem typischen Schubschollenprofil der Nordalpen durch, so ergibt sich zunächst ein Hauptunterschied in dem Fehlen aller verkehrten Schichtfolgen. Wenn dieselben auch weitgehend ausgewalzt sein

können, müßte eine Nachweisung bei der riesigen Ausdehnung des Gebietes an vielen Stellen möglich sein.

Folgende Überlegung ist dabei zu machen: Wenn der Hangendflügel einer Großfalte in guter Verfassung die Alpen zu überschreiten vermochte, so können diese dagegen nur kleinen, ohne hohe Überlastung stattfindenden Abzweigungen keine scharfen Auswäzungen mehr veranlassen.

War aber der ganze Hangendflügel ohnedies schon bei der Ankunft auf der Nordseite der Alpen stark deformiert, so müssen sich hier die Hangend- und Liegendschenkel der kleinen Abzweigungen als ziemlich gleich beschädigt erweisen.

Der Feldbefund der geologischen Neuaufnahmen in den Nordalpen hat eine für diese Hypothese verhängnisvoll spärliche Anzahl von inversen Lagerungen, Auswäzungen und Faltenstirnen aufgedeckt.

Ebenso ist es nicht gelungen, an der ganzen Strecke des Südadsturzes der Kalkalpen vom Arlberg bis zum Semmering irgendwo mit Sicherheit einen verkehrten Liegendschenkel unter dem normalen Hangendschenkel nachzuweisen.

Endlich aber spricht der allenthalben zu beobachtende, relativ gute Erhaltungszustand der verschiedenen kalkalpinen Schichtmassen mit Entschiedenheit gegen ein derartig hohes Ausmaß von Deformationen, wie es eine so großartige Überrollung und mehrfache, noch dazu entgegengesetzte Durchbiegung so spröder Materialien erfordern würde.

Die Deformationen sind außerdem nicht genügend regional verteilt, sondern streng lokal entlang dem jeweiligen Ausstrich der Verschiebungsflächen angeordnet.

Es ist ein Verdienst der Überfaltungslehre, mit einer früher unbekanntem Energie das genaue Studium der Faziesentwicklungen als Hilfsmittel der Tektonik herangezogen zu haben.

Die wichtige Beobachtung, daß in den gefalteten Streifen der Erdhaut im allgemeinen eine reichere, mächtigere, marine Schichtfolge gegenüber den verarmten Serien der angrenzenden ungefalteten Gebiete zu finden ist, bot dazu den richtigen Ausgangspunkt.

Diese Beobachtung hat ja auch die isostatischen Hypothesen der Gebirgsbildung ins Leben gerufen. Die Vorstellung, daß die Auffaltung der Gebirge aus ehemaligen, allmählich gefüllten Meereströgen zur Ausgleichung der immer verschiedener

schweren Ablagerungs- und Abtragungsgebiete erfolgte, reicht für die heute sicher gestellten ungeheuren alpinen Baubewegungen gewiß nicht aus.

Die Überfaltenlehre nimmt am Eingang ihrer Überlegungen langgestreckte Meereströge an, in denen allmählich mächtige Schichtfolgen zur Ablagerung gelangten.

Es ist klar, daß diese Ablagerungen nach der mehr minder regelmäßigen Form eines solchen Meerestrogos eine symmetrische und ziemlich streng faziell geschiedene Anordnung erhalten müssen.

Die Differenzierungen werden aber, wie bekannt, in erster Linie innerhalb eines schmalen, der Küste folgenden Saumes vor sich gehen. Bedenkt man, daß die Breite der alpinen Geosynklinale etwa mit 200 bis 300 km und sogar darüber angenommen wird, so erkennt man leicht, daß nur an ihren beiden Rändern mit scharfen Differenzierungen in der Schichtentwicklung auf wenige Kilometer Breite zu rechnen ist.

Bei weitem der größte Teil des Ablagerungsraumes würde ja mit mehr gleichförmigen Sedimenten erfüllt werden.

Berücksichtigt man also einigermaßen die gegebenen Dimensionen, so kommt man zu der Meinung, daß für die Auflösung der großen Faltenknäuel nach dem einfachen Rezept einer einheitlichen Geosynklinale nicht allzuviel zu hoffen bleibt.

Man kann dem Zwang dieser Überlegung nur entgehen, wenn man annimmt, daß sich die Ränder der Geosynklinale im Laufe der Zeit sehr stark und wechselnd verengt und verbreitert haben.

Damit ist aber der einfache Grundtypus aufgegeben und wir kommen wieder zu natürlicheren, aber weit komplizierteren Ablagerungsformen zurück.

Es ist nach meinem Urteil gar nicht wahrscheinlich, daß das Baumaterial der Alpen in einem so einfachen Troge zubereitet wurde. Wahrscheinlich waren nebeneinander meist mehrere Tröge vorhanden, die sich vielleicht gelegentlich vereinigt haben.

Dazu kommt noch eine andere geometrische Forderung, die bei der Beurteilung der Überfaltenlehre ebenfalls nicht auszuschalten ist.

Es handelt sich um die Ernährungsverhältnisse beim Wachsen der einzelnen Riesenfalten. Nehmen wir wieder

an, das zum Alpengebäude zu verwendende Material wäre ein 200 bis 300 km breiter und wenige Kilometer dicker Schichten-teppich. Wenn man denselben durch Zusammenpressen faltet, so ist es nicht zu umgehen, daß sich anfänglich eine größere Zahl von annähernd gleichen, kleinen Falten ausbildet.

Sollen nun zum Beispiel drei von denselben allmählich zu Riesenfalten aufwachsen, so ist das nur möglich, wenn erstens diese drei Faltenkeime von Anfang an einen entsprechenden, genügend großen Abstand voneinander besitzen und wenn sie zweitens bei ihrer Entwicklung imstande sind, die dazwischen liegenden Nachbarfalten aufzusaugen und sich einzuverleiben. Das sind wohl so schwer erfüllbare Bedingungen, daß eine darauf erbaute Tektonik sich von den Zweifeln an ihrer Richtigkeit kaum zu befreien vermag.

Mit diesen Ausführungen beschließe ich die Diskussion der Alpenquerschnitte und wende mich jener der Längsschnitte zu.

Hier ist nicht viel Neues zu bemerken. Im allgemeinen treffen wir bei weitem weniger lebendige und viel flachere Formen, als sie in den Querschnitten aufzutreten pflegen.

Sehr steile Aufwölbungen und Einmüldungen fehlen. Es herrschen langgestreckte Formen vor, es treten aber auch Überfaltungen und Überschiebungen in der Streichrichtung des Gebirges auf. Die Bedeutung der sich im Streichen ergehenden Überschiebungen ist erst in den letzten Jahren in ihrem vollen Ausmaß gewürdigt worden.

Solche Verschiebungen sind durchaus nicht selten und scheinen in allen Teilen der Alpen vorhanden zu sein.

Manche früher den Querschüben zugesprochenen Gebiete fallen nunmehr den Längsschüben zu und müssen, da auch häufig zeitliche Intervalle gegeben sind, sorgfältig davon getrennt werden. Die Grenze zwischen Ost- und Westalpen fällt in eine solche Zone, wobei die Ostalpen auf beträchtliche Strecken den Westalpen aufgeschoben wurden.

Ich habe mich nun noch mit den Problemen der Einordnung der Faltengebirge in die umgebenden Flächen und Räume der Erde zu beschäftigen. Es liegt da eine solche Fülle von großenteils noch ungelösten Aufgaben vor, daß ich mich begnügen muß, einige wenige anzuführen, in der Hoffnung, an anderer Stelle eine weitere Übersicht geben zu können.

Es ist eine Eigentümlichkeit der irdischen Faltung, daß einzelne Falten verhältnismäßig sehr selten vorkommen, häufig dagegen Vielheiten derselben. Die Falten haben gleichsam ein geselliges, herdenartiges Auftreten.

Ihre Anordnung ist dabei eine höchst charakteristische, wenn wir dieselbe etwa im Gegensatz zu einer Reihe von nicht verwirklichten Gruppierungen betrachten.

Es ist eine offenkundig ziemlich streng durchgeführte Regelung ähnlich der Anordnung von langgestreckten Mineralien in einem kristallinen Schiefer. Quergestellte Elemente sind ebenso selten wie ein Vor- oder Rückspringen einzelner Falten aus der allgemeinen Marschordnung. Auch die Größenverhältnisse schließen sich aneinander.

Der Verlauf der Faltenstränge ist selten ein gerader, meist ein oft mannigfach gebogener. Es sind dabei die großen, einheitlichen Verbiegungen solcher Stränge von kurzen, scharfen Knickungen leicht zu unterscheiden, welche auch zumeist nur einzelne Fasern des ganzen Faltenstranges betreffen. Mit dem gebogenen Verlauf der irdischen Faltenstränge sind eine Anzahl von wichtigen Fragen verbunden.

Vom Standpunkte der Kontraktionshypothese aus hatte das Auftreten gebogener Faltenstränge nichts Verwunderliches.

Nimmt man an, daß sich innerhalb der langsam schrumpfenden Erdhaut Schollen von festerer Beschaffenheit befinden, so müssen sich um solche Schollen herum Faltenringe bilden.

Diese Faltenringe folgen dem Umriß der festeren Scholle und müssen daher in den meisten Fällen einen gebogenen Verlauf besitzen.

Charakteristisch für dieses Verhältnis von Scholle und Faltenring wäre aber die Geschlossenheit des Faltenstranges in sich selber.

Das finden wir aber bei keinem einzigen irdischen Faltenstrang verwirklicht.

So mannigfaltig unsere Faltenstränge auch verbogen sind, keiner kehrt in sich geschlossen zurück. Wir schließen daraus, daß ein solches Verhältnis von Scholle und Ring auf der Erde nicht verwirklicht ist und die Faltenbildung in keiner so einfachen Abhängigkeit zur angenommenen Kontraktion der Erde stehen kann.

Es ist aber nicht allein die Anordnung im großen nicht verwirklicht, es stimmt auch die Ausführung des Faltenplanes im einzelnen nicht mit den notwendigen geometrischen Forderungen überein. Es sei nur auf wenige Fälle hingewiesen.

Die Breite und Mächtigkeit des Faltenringes würde in erster Linie von der Gestalt der erzeugenden Scholle abhängig sein. Nur wenn diese Scholle einen kreisförmigen Umriss hätte (gleichförmiges Material vorausgesetzt!), könnte auch der Ring überall dieselbe Breite besitzen. Hätte die Scholle aber zum Beispiel einen elliptischen Umriss, so würde dem längeren Durchmesser unter sonst gleichen Verhältnissen immer eine breitere Faltenzone entsprechen.

Wir hätten also gerade an den schärferen Bugstellen Verbreiterungen der Faltenstränge zu erwarten, was wiederum nicht verwirklicht ist.

An den Außenseiten der Faltenringe müßten Zerrungen, an den Innenseiten aber Pressungen auftreten.

Wir sehen aber, daß häufig gerade im Gegenteil statt Zerreißungen und Streckungen Quersfaltungen vorliegen.

Wenn wir zum Beispiel das Schema des Faltenstranges von Alpen und Karpathen mit der Verteilung der Schubrichtungen betrachten, die etwa nötig wären, um aus einem ähnlich verlaufenden, nur entsprechend breiteren Ablagerungsstreifen das schmalere heutige Faltenband zu erzeugen, so erkennen wir leicht vier Stellen, von denen die Schubrichtungen gleichsam radial auseinanderstrahlen.

Zwei dieser Zentren sind auf der Außen-, zwei auf der Innenseite angeordnet.

Die Unterscheidung einer Außen- und Innenseite wird aber hier insofern hinfällig, weil auf beiden Seiten Strecken von konvergierenden Druckrichtungen mit solchen von divergierenden wechseln.

Es gilt dies sowohl bei der Annahme eines einseitigen als auch zweiseitigen Baues des Faltenstranges. Bei dieser Art der Verschlingung eines Faltenstranges nimmt ein und dieselbe Begrenzung bald die Rolle einer Innen-, bald die einer Außenseite an.

Auch dies ist eine Funktion, die mit einer einfachen Beziehung zur Erdkontraktion nicht zu lösen ist.

Man hat für die Erklärung des gebogenen Verlaufes von Faltensträngen des weiteren stauende Hindernisse bei ihrer Bildung mit in Betracht gezogen.

Schon vor langer Zeit wurde die Beobachtung angestellt, daß sich Faltenstränge nicht selten um sogenannte alte Massive oder Horste scheinbar herumschlingen. Die jüngere Faltung bricht nicht durch solche in ihrer Bahn liegende Gebiete einfach hindurch, sondern umgeht dieselben anscheinend. Es wurde nun die Annahme zur Erklärung herangezogen, daß diese störenden Gebiete aus widerstandsfähigerem Material bestehen sollen und die Faltung ihnen nur ausweicht, weil ihre Kräfte daran versagen.

Ich halte diese Auslegung nicht für wahrscheinlich, weil jenen Bewegungen gegenüber, welche die Faltenstränge aufwerfen, der Unterschied zwischen festeren und weicheren, zwischen gefalteten und ungefalteten Schichten verschwindet und jedenfalls eine Abschätzung so breiter und mannigfaltig zusammengesetzter Zonen immer schwer zu prüfen bleibt.

Eine andere Deutung ist die, daß entweder die ganze Faltenzone gegen solche Massive oder umgekehrt diese gegen die Faltenzone gedrängt worden sind.

Diese Deutung ist genauer zu erforschen, weil ihre Anwendung außerordentlich weite Konsequenzen mit sich führt.

Ich möchte das hier vorliegende Problem etwa mit folgenden Fragestellungen in Angriff nehmen:

Sind die gebogenen Faltenstränge an Ort und Stelle aus bereits ähnlich verlaufenden Meereströgen durch ein sehr kompliziertes System von kon- und divergierenden Schubkräften geschaffen worden oder waren die Ablagerungströge von mehr geradlinigem Verlaufe, wurden auch zuerst zu geradlinigen Faltensträngen zerpreßt und erst später durch neue mächtige Verschiebungen in die heutige Schlingenform übergeführt?

Wie wir schon betont haben, ist eine Ableitung der Bogenformen der Faltenstränge aus dem einfachen Kontraktionsverhältnis von Scholle und Ring nicht durchzuführen.

Mit der Annahme, daß die ursprünglichen Ablagerungstreifen bereits dieselbe Schlingenform besaßen, ist die Schwierigkeit der Formerklärung einfach von den Faltungssträngen auf die Ablagerungstreifen zurückgeschoben.

Entweder man begnügt sich, diese Schlingen für zufällige Produkte zu nehmen oder man versucht ihre komplizierten Formen auf ursprünglich einfachere zurückzuführen.

Nur das letztere entspricht wissenschaftlichem Denken. Aber selbst wenn man sich begnügt, die Schlingenform der Geosynklinalen als ursprünglich gegebene Formen zu nehmen, so hat man wenig gewonnen, da es ein sehr kompliziertes System von Druckrichtungen braucht, um aus diesen Ablagerungstreifen die heute vorliegenden Faltenstränge zu bilden.

Dieses System von kon- und divergierenden Druckrichtungen hängt allein an der heutigen Schlingenform des Faltungsstranges und läßt sich nicht aus der starren Form der ungefalteten Umgebung ableiten.

Ein Zusammenhang zwischen Faltenstrang und Umgebung ist nur denkbar, wenn nicht allein der Faltenstrang, sondern auch diese Umgebung von denselben Bewegungen durchdrungen wird, die in einem Fall zur Bildung von Falten, Überschiebungen, im anderen aber zu gegenseitigen horizontalen und vertikalen Schollenverschiebungen, Eruptivvorgängen führten.

Zu dem Bewegungsspiel des Faltenstranges ist unbedingt ein entsprechendes Bewegungsspiel des angrenzenden Umlandes nötig.

Daß dieser wichtige Zusammenhang so lange unbeachtet blieb, ist nur erklärlich durch die ungeheuren Verschüttungen, welche, von den hohen Faltensträngen ausgehend, ihre ganze Nachbarschaft verhüllt haben.

Durch diese breite Schuttisolierung wurde den Gebirgen ein Schein von Selbständigkeit verliehen, der ihnen sicherlich nicht zukommt. Wendet man sich aber von der Vorstellung des „Schraubstockes“ mit seinen starren Backen, die ja ohnedies unmögliche Verbiegungen haben müßten, ab, so kann man in dem Umland der Faltenstränge etwas ebenso, aber in anderer Weise Durchbewegtes sehen.

Auch die für eine starre Umgebung unverständlichen Erscheinungen der gesteigerten Überfaltungen und regionalen Überschiebungen verlieren bei dieser Betrachtungsweise ihren fremdartigen Charakter.

Im Rahmen dieser weit ausgedehnteren Verschiebungen und Verfrachtungen der ganzen Faltenstränge werden die heute schon weithin nachgewiesenen Überschiebungen zu einem völlig

verständlichen und für die Ausführung eines solchen Bauplanes geradezu notwendigen Bewegungsmittel.

Ebenso erscheint ihre Häufung und Steigerung an den stark gebogenen Teilen der Faltenstränge, zum Beispiel im Bereiche der Schweizer Alpen, eben als eine Folge der scharfen Verbiegung des Faltenstranges. Wenn ich also der Auffassung folge, daß die kräftigen Verbiegungen der irdischen Faltenstränge wenigstens zu großem Teil keine ursprünglichen, sondern erst später durch große Verschiebungen erworbene Formen darstellen, so bin ich mir der Schwierigkeiten wohl bewußt, die noch zu überwinden sind, bevor diese Erscheinungen zum Beispiel nur an dem Umland der Alpen, Karpathen, Dinariden im einzelnen nachgewiesen sein werden.

Das Ausmaß der Verschiebungen, die mit der Bildung der Faltungsstränge im Umland in Beziehung stehen, ist heute noch nicht bekannt.

Es bleibt mir nun noch zum Schlusse übrig, die Möglichkeiten der Einordnung der Faltengebirge zu ihrem Untergrunde kurz zu streifen.

Wir wissen, daß die Struktur eines Faltengebirges sich nicht in demselben Bauplan in große Erdtiefen fortsetzen kann.

Einerseits würden bei der heute für die Alpen sichergestellten, sehr starken Zusammenpressung der oberflächlichen Lagen bei einem Tiefergreifen desselben Bauplanes ganz gewaltige Überhöhungen zustande kommen, die eben nicht vorhanden sind, andererseits ist es aus physikalischen Gründen unmöglich, daß die Faltenstruktur in großen Tiefen existenzfähig bleibt.

Es wird sich also unter den oberflächlichen Faltensträngen ein andersartig gebauter Untergrund befinden.

Jede Hypothese der Gebirgsbildung, die nicht mit dem Vorhandensein eines solchen Bauwechsels in der Tiefe rechnet, kann nicht zum Ziele führen.

Die Kontraktionshypothese wird dieser geometrischen Forderung insofern gerecht, als die Faltenbildung nach ihrem Recepte nur jene oberste Zone der Erdrinde ergreift, die der notwendigen Konzentration nicht mehr mit molekularer Feinbewegung zu folgen vermag, während die tieferen Zonen dies noch vermögen.

Der Unterschied in dem Maße der Konzentration ist natürlich für kleine Stücke der Erdrinde ein recht geringer.

Deshalb ist diese Hypothese gezwungen, für die Bildung eines Faltenstranges die Überschüsse eines ganzen Erdumfanges zu summieren, was an der Unmöglichkeit einer derartigen Fernleitung so hoher Drucke scheitert.

Andere Hypothesen gehorchen wieder der obigen Forderung, indem sie zum Beispiel eine Gleitfläche zwischen Ober- und Unterbau eines Faltengebirges einschalten.

Ich hatte schon vor längerer Zeit zwischen einem aktiven Unter- und einem passiven Oberbau der Faltengebirge unterschieden, womit gesagt sein soll, daß die Gebirge bildenden Bewegungen in der Tiefe vor sich gehen und von der trägen, passiv darüber lastenden Erdhaut nur entsprechend verschleiert abgebildet werden.

Die Faltenstränge zeigen also nicht lediglich Stellen geringeren Widerstandes im Gefüge des Erdgewölbes an, sondern sie sind in Bewegungszonen tieferer Erdmassen begründet, welche so durch die Erdhaut hindurch steife und schwerfällige Abbildungen erhalten, die durch ihre eigene Starrheit lange Zeit hindurch zu bestehen vermögen.

In der ersten Zeit meiner Untersuchungen über die Entstehung der Faltengebirge schienen mir Hebungen des Untergrundes und dadurch angeregte Abgleitungen der oberen Erdhaut die wichtigste Rolle zu spielen.

Die fortschreitende Erkenntnis der in immer großartigeren Dimensionen sich enthüllenden alpinen Gebirgsbewegungen schränkte diese Deutung ein und ließ mich im Gegenteil an senkende Bewegungen des Untergrundes denken.

Nach meiner heutigen Einsicht möchte ich glauben, daß man auch damit nicht das Auslangen finden kann, sondern außerdem mit Verschiebungen größeren Stiles, und zwar mit breit angelegten Verfrachtungen zu rechnen hat, die nicht nur die Faltenstränge, sondern auch die angrenzenden Schollen ergriffen und in eine Art von „Landtrift“ zu versetzen vermochten.

Die Unterströmung ist eben nicht auf die Räume der Faltenstränge allein beschränkt geblieben, sondern hat, wenigstens zeitweise, weit ausgedehntere Bereiche der Erdhaut in Bewegung gebracht.
