

Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen.

(3. Fortsetzung.)

Von **Otto Ampferer.**

(Mit 14 Zeichnungen.)

In dem Kampfe, der nun schon fast 25 Jahre gegen die Übertreibungen der Deckentheorie geführt wird, ist von seiten der Gegner, sooft auch eine Umformung dieser Lehre sich als nötig erwies, restlos verschwiegen worden, welchen Anteil die vorausschauende Kritik an diesen Änderungen genommen hat.

Auf solche Weise ist wenigstens in der Öffentlichkeit den westalpinen Geologen die Rolle der Pfadfinder, den ostalpinen dagegen die Rolle von unfruchtbaren Kritikern zugeteilt worden.

Diese Bewertung ist eine unrichtige und sie mag in späterer Zeit wohl auch wieder einmal zurechtgerückt werden.

Im übrigen ist ja auch in den Ostalpen die Auflösung des Gebirgsbaues in seine mechanischen Einheiten heute schon weit vorgeschritten, ohne jedoch hier wie in den Westalpen gerade für die meistumstrittenen Annahmen irgendwelche abschließende Beweise zu liefern.

Wenn wir die neuesten Modelle des Alpenbaues betrachten, wie sie in den Alpenbüchern von Argand, Heim, Jenny, Kober, Staub veröffentlicht worden sind, so kann man nur staunen, daß es möglich ist, diese phantastischen Geschwülste für Abbildungen des wirklichen Alpenbaues zu halten.

Mir ist jedenfalls in 30 Jahren Alpengologie noch nirgends ein damit vergleichbares tektonisches Gebilde begegnet.

Es ist mir auch nicht klar, ob diese Zeichnungen wirklich die mechanischen Vorgänge oder nur eine Art von Stammbaum, eine Abstammungsgeschichte der verschiedenen Decken und ihrer Verzweigungen und Verwandtschaften vorstellen sollen.

Im letzteren Falle wäre natürlich jede mechanische Kritik hinfällig. Für eine Reduktion dieser Gebilde auf eine wahrscheinlichere Bauform kommen vor allem zwei Prinzipien ernstlich in Betracht.

Es ist dies einmal der Ersatz von manchen liegenden Falten durch einzelne Faltennadeln oder Walzstücke und weiter der Ersatz der sogenannten Wurzeln durch Bewegungsbahnen, denen keine Körperlichkeit zukommt und welche nur die Wege andeuten, welche gewisse Falten oder Schubmassen einst beschrieben haben.

In den früheren Teilen dieser Untersuchung ist weiter der große Unterschied zwischen fließend-gleitender Umformung und der Pressung in einem Spannrahmen scharf betont worden.

Die erstere ist genetisch mit einer Bewegung vom Höheren zum Tieferen verbunden. Sie erzeugt ebenso lebendige wie rasch veränderliche tektonische Gebilde.

Die Pressung liefert dagegen viel einförmigere Gestaltungen mit dem Endziel einer vertikalen Schichtenstellung.

Ausführlicher wurde sodann die Bildung der mediterranen Faltenbögen untersucht und auf eine Verbiegung von ursprünglich mehr geradlinig angeordneten Faltensträngen zurückgeführt.

Eine andere Untersuchung wurde den Reliefüberschiebungen gewidmet, die im Alpenbau eine heute noch kaum beachtete wichtige Rolle spielen.

Im Folgenden sollen nun zunächst einige Überlegungen über die Entwicklung von Faltungen bei verschiedenem Verlauf von Kontraktionsvorgängen eingeschaltet werden.

Eine einzelne Falte oder Faltenzone zieht unsere Aufmerksamkeit am leichtesten auf sich, wenn sich dieselbe in einer ungefalteten Umgebung befindet.

Wenn die ganze Erdhaut hin und hin in Falten gelegt wäre, so würde unsere Betrachtungsweise eine ganz andere sein.

Erst der Gegensatz von gefalteten und ungefalteten Teilen der Erdhaut gibt der Frage nach der Entstehung der Faltung einen so besonderen Reiz.

Wenn die Erdhaut überall in Falten geworfen wäre, so würde man diesen Zustand wohl am einfachsten als den Ausdruck einer Schrumpfung der Erde aufzufassen haben.

Fig. 1 A stellt im Schema diesen Vorgang dar, wie er gewöhnlich zur Ableitung der irdischen Faltungen als Folge der Erdkontraktion hingestellt wird.

Diese Ableitung der Faltung aus der Erdkontraktion ist jedoch eine unrichtige, wie die folgende Überlegung ohne weiteres ergibt.

Sie entsteht dadurch, daß man sich gleichsam den äußeren Rand der Erdkugel festgehalten denkt und nun bei der fortschreitenden Abkühlung gegenüber dem eisigen Weltraum der heiße Erdkern kleiner werden soll. Dadurch soll zwischen der festgehaltenen äußeren Erdrinde und dem schrumpfenden Kern ein Hohlraum entstehen, in welchen dann die Erdrinde durch ihr ungeheueres Eigengewicht hineingepreßt wird.

Die Wirkung eines solchen Vorganges müßte eine mehr oder minder gleichmäßige, wirre, kleinwellige Faltung der ganzen Erdrinde sein.

Eine solche durchlaufende Verfaltung der Erdrinde besteht jedoch in Wirklichkeit keineswegs.

Diese Ableitung der Erdkontraktion ist aber deshalb unrichtig, weil bei dem Vorgang der Abkühlung einer glühenden Erdkugel im eisigen Weltraum gerade umgekehrt der heiße Kern am wenigsten sich verändert und im Gegenteil die äußere Hülle sich stark abkühlen und deshalb auch sich stark verkleinern muß.

Wir haben also gerade umgekehrt über einem ziemlich gleichbleibenden heißen Kern eine stark einschrumpfende äußere Hülle. Fig. 1 B gibt im Schema den Grundzug dieser Ableitung an.

Nun ist aber Folgendes zu beachten:

Nehmen wir z. B. an, die Erdhülle hätte heute eine Dicke von zirka 40 km. Zu Beginn der Betrachtung hätte sie aber noch eine Dicke von vielleicht 41 km besessen. So hat sich die Dicke der Erdrinde in dieser Zeit von 41 auf 40 km vermindert.

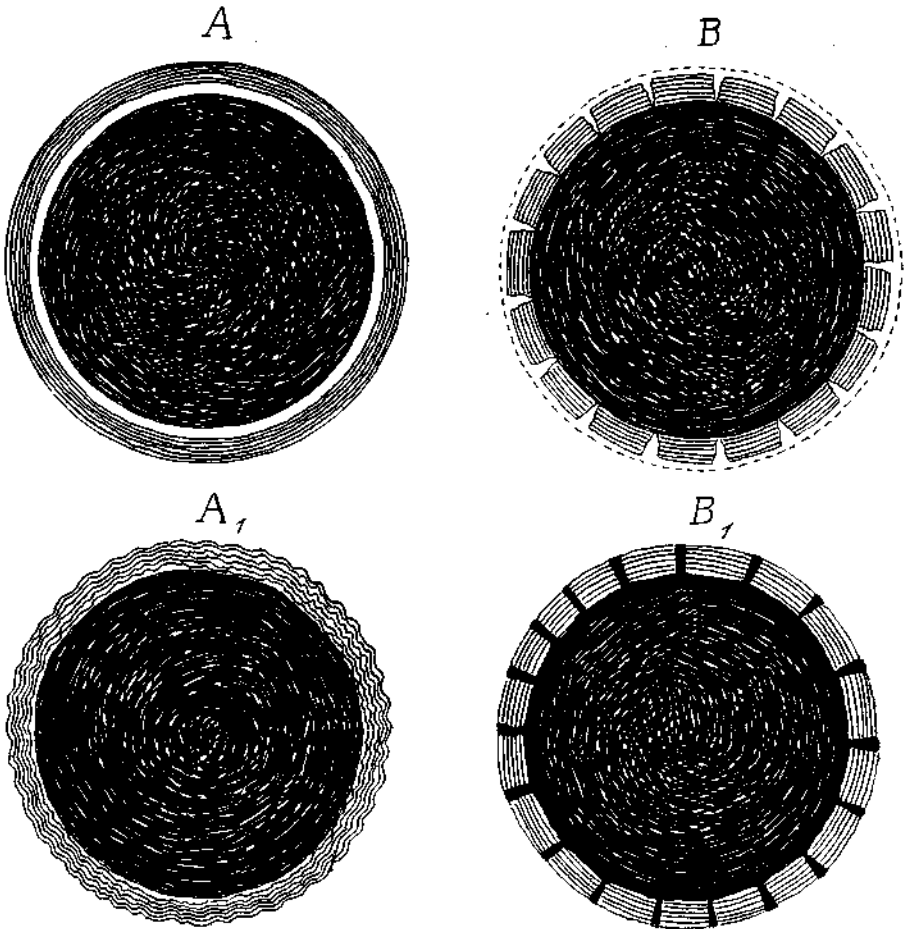


Fig. 1.

$A-A_1$ = Schema der Erdkontraktion mit Faltung der äußeren Hülle.

$B-B_1$ = " " " " Zerreißung der äußeren Hülle.

Wenn sich die Dicke der Erdrinde um 1 km verkleinert hat, so muß sich notwendigerweise der Umfang derselben im gleichen Maße vermindert haben.

Da auf 40 km zirka 1 km Schrumpfung kommen, so haben 40.000 km zirka 1000 km Schrumpfung aufzuweisen.

Das heißt mit anderen Worten, die Erdhülle, auf deren Kosten in der Hauptsache die Wirkung der Abkühlung vor sich gegangen ist, wird dem viel weniger abgekühlten Kern viel zu klein.

Sie muß also zerreißen, und in die Risse und Klüfte wird das glutflüssige Magma durch den Druck der einsinkenden Schollen hineingepreßt.

So kommt im Gegenteil statt Faltung der äußeren Hülle eine gewaltige Zerreißung derselben und ein Aufsteigen des tieferen Magmas in die geöffneten Spalten zustande. Die zwei Ableitungen von Fig. 1, Typus *A* und *B*, können gleichsam als Wirkungsextreme der verschiedenen Deutung der Erdkontraktion einander gegenübergestellt werden.

Typus *A* würde eine gewaltige Zusammenballung und Runzelung der ganzen äußeren Erdhülle und damit einen dichten Abschluß dieser Hülle gegen den tieferen Erdkern bedeuten. Diese Form von Kontraktionswirkung ist in Wirklichkeit bestimmt nicht vorhanden. Typus *B* würde im Gegensatz dazu nicht nur keinen Abschluß gegen das Erdinnere, sondern sogar eine vielfache Möglichkeit zum Aufsteigen des Magmas an allen Orten und zu allen Zeiten ergeben.

In dieser Hinsicht entsprechen die tatsächlichen Verhältnisse gewiß viel besser dem Typus *B* als dem Typus *A*.

Es ist eine geologische Grunderfahrung, daß die Schichten der Erdoberfläche an zahlreichen Stellen von Magmaergüssen durchbrochen wurden und daß ganz gewaltige Massen von Tiefengesteinen zwischen die Sedimente eingedrungen sind.

Das würde mit dieser Ableitung der Kontraktionswirkungen in gutem Einklang stehen.

Es ist nun aber weiter zu beachten, daß sich nach Herstellung einer äußeren Rinde, die also aus Schollen der Erdhülle und dazwischen aufgestiegenen tieferen Schmelzflüssen zusammengeflochten ist, bei noch weiterem Fortschreiten der Abkühlung die ganzen Bedingungen ändern. Es wird ein Stadium eintreten, wo die äußere Hülle sich nur mehr unbedeutend verkleinert und die stärkste Kontraktion bereits unter ihr stattfindet.

Wenn dieser Fall eingetreten ist, so wird also die Hauptkontraktion zwischen der erstarrten Hülle und dem heißen Kerne vor sich gehen. Es wird sich hier dasselbe Spiel wiederholen, das wir früher von der äußeren Hülle beschrieben haben. — Fig. 2.

Diese Zone der Hauptkontraktion wird nicht nur in vertikaler Richtung, sondern parallel der Kugelschale dieselbe Volumsverkleinerung erfahren.

Die Auswirkung dieser Verkleinerung wird aber sowohl in Senkungen als auch in Zerreißungen bestehen.

Da sich aber unsere Zone zwischen der Erdhülle und dem Erdkern befindet, so werden sowohl das Hangende als auch das Liegende von der Schrumpfungzone beeinflusst.

Die Zerreißungen können sowohl durch aufsteigendes tieferes Magma als auch durch Nachbrechen der starren Decke von oben geschlossen werden.

Es ist auch hier noch möglich, daß bei dem Nachbrechen der äußeren Hülle Magmamassen bis zur Erdoberfläche aufdringen können. Immerhin ist aber die Verbindung zwischen dem heißen Kern und der Erdoberfläche schon sehr erschwert.

Diese Formeln erschöpfen aber keineswegs den Gang der Erdkontraktion, weil wir ja z. B. gar nicht wissen, ob nicht auch gelegentliche Umkehrungen, also Volumsvergrößerungen, in diesen Prozeß eingeschaltet sind.

Außerdem ist nach den Erfahrungen der Radiumforschung unbedingt damit zu rechnen, daß wir hier vor einer neuen, in ihrer Bedeutung noch nicht genauer abschätzbaren, aber mächtigen eigenen Wärmequelle der äußeren Erdhülle stehen.

Ich will mit diesen Überlegungen nur zeigen, daß eine so einfache Verknüpfung von Faltung und Gebirgsbildung mit der Kontraktion der Erde, wie sie auch heute noch gewöhnlich angenommen wird, sicherlich nicht besteht.

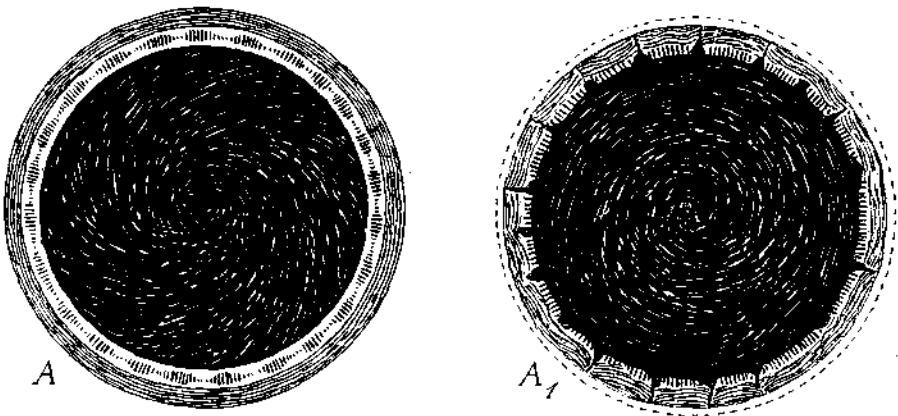


Fig. 2. Schema der Erdkontraktion bei einer Lage der Hauptkontraktion unterhalb der äußeren Hülle.

Viel eher kann man die Kontraktion der Erde für das Zerreißen ihrer äußeren Hülle und das Aufsteigen der tieferen Magmamassen verantwortlich machen.

Ich versuchte seit langer Zeit, die Faltung und Gebirgsbildung unabhängig von der Erdkontraktion für sich als einen Bewegungsvorgang oder als einen Bauvorgang zu betrachten.

In dieser letzteren Richtung möchte ich mich auch hier mit der Faltung beschäftigen.

Wenn man die Falten als Bauwerke auffassen will, so ist dazu nötig, daß man den Zustand vor dem Bau, während und nach demselben kennt.

Außerdem ist die Herkunft und Herbeiförderung des Baumaterials, seine Verwendung zum Bau zu untersuchen.

Dasselbe gilt auch für die Abtragung des Bauwerks. Eine wichtige Rolle spielt weiters auch der Untergrund des Bauwerks, ob derselbe nun beim Bau rein passiv bleibt oder ebenfalls als mitbauender Faktor eingreift.

Wenn wir von einer einfachen Faltung (Fig. 3) ausgehen, so können wir an derselben zunächst feststellen, daß rein äußerlich dasselbe

Gebäude sowohl durch seitlichen Schub als auch durch entsprechende vertikale Bewegungen hergestellt werden kann.

Während aber im ersten Fall der Untergrund passiv bleibt und das Baumaterial von den Seiten hereingeschoben und entsprechend gehoben wird, ist im zweiten Fall der Untergrund aktiver Baufaktor.

Das Baumaterial ist aber im wesentlichen nur vertikal verschoben worden.

Diese vertikale Verschiebung des Baumaterials kann aber auch wieder verschiedenartig sein. Es kann sich nur um eine verschiedene Hebung, bzw. Senkung des Untergrundes handeln, es kann aber auch fremdes Material, z. B. eine Magnamasse, aus der Tiefe herbeigeführt worden sein, welche dann die Aufwölbung der Deckschichten erzwungen hat.

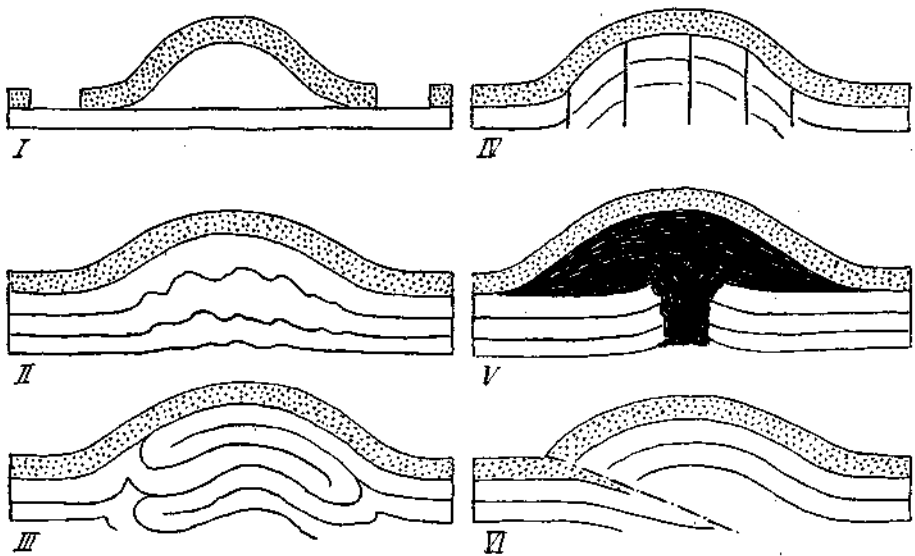


Fig. 3. Schema derselben äußeren Form in sechs verschiedenartigen Bauweisen.

Es kann aber auch die Wirkung der Faltung gegen die Tiefe zu mehr allmählich erlöschen oder sich in andere kleinere Formen verteilen. Es kann im Gegenteil die Intensität der Schichtenverbiegungen gegen die Tiefe zu noch gesteigert sein.

Es kann die Aufwölbung aber auch das Ergebnis einer Überschiebung sein.

Jedenfalls sehen wir, daß auch ein äußerlich so einfaches Bauwerk wie die Falte von Fig. 3 innerlich eine recht verschiedene Entstehung und Bauweise besitzen kann.

In der Natur hat es der Geologe meist relativ leicht, sich für eine bestimmte Bauweise zu entscheiden, weil die meisten hier vorliegenden Bauten bereits von der Erosion angeschnitten sind.

Bei unverletzten Formen können aber für die Deutung Schwierigkeiten entstehen.

Einzelne Falten treten uns in der Natur nur selten entgegen. Vielmehr handelt es sich um ein geselliges Auftreten von Faltungen, die, wie die Erfahrung gelehrt hat, in langgestreckten Zonen neben und hintereinander angeordnet sind. Wir wollen uns nun mit dem Wachstum von einzelnen Faltungskörpern beschäftigen. Das Weiterwachsen von Faltungskörpern ist zunächst einmal je nach ihrer Herkunft ein verschiedenes.

Im allgemeinen hängt ein Weiterwachsen natürlich von einer weiteren Materialzufuhr in den Bauraum ab.

Eine solche Materialzufuhr kann z. B. bei einer einfachen Faltform (Fig. 4) von beiden Seiten gleichmäßig oder ungleichmäßig erfolgen. Im ersten Fall sprechen wir von einer zweiseitigen, gleichmäßigen Zufuhr oder Ernährung, im zweiten Fall von einer einseitigen.

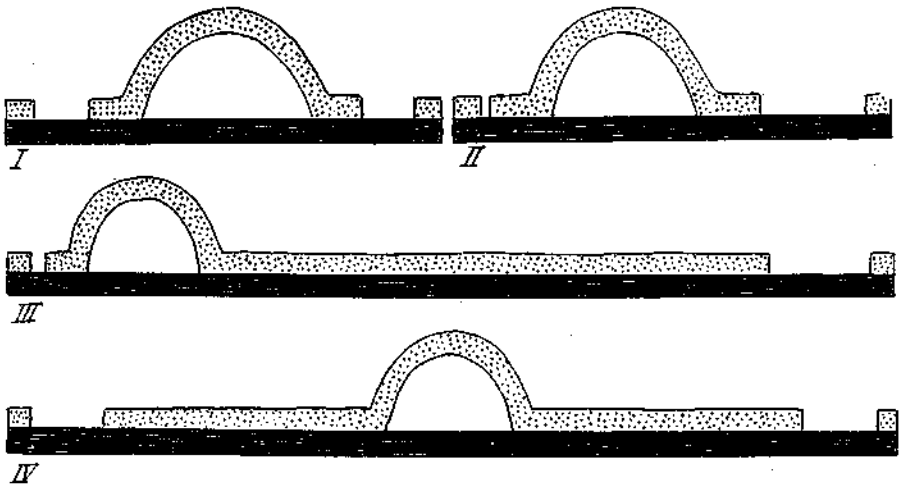


Fig. 4. Schema von verschiedenartiger, gleich- und ungleichseitiger Materialzufuhr zu einem Faltenbau.

Es ist des weiteren von Interesse, aus welcher Entfernung die Baustoffe herbeigeliefert werden. Wir können hier wieder zwischen einer nahen oder einer fernen Zulieferung mit allen Zwischenstadien unterscheiden.

Es ist klar, daß die Bauverhältnisse und das Wachstum um so schwieriger werden, je weiter das Baumaterial herbeigeschleppt werden muß.

Aus diesem Grunde habe ich schon im Jahre 1906 die Ableitung des Aufbaues eines Faltengebirges aus dem Überschuß der Kontraktion eines ganzen Erdringes für völlig unwahrscheinlich erklärt und damit den besonderen Groll von E. Sueß und A. Heim erregt.

Dieses Mißverhältnis zwischen Bauraum und Materiallieferung läßt sich aber nicht aus der Welt schaffen.

Es ist gerade so, als ob man zum Bau einer Stadt in Mitteleuropa die Bausteine aus Südafrika oder Südamerika herbeiholen wollte.

Für die Betrachtung des Wachstums einer Faltform ist es von Wichtigkeit, auch die Beziehungen zum Innenraum und zum Untergrund einer solchen Form dauernd zu verfolgen.

In Fig. 5 ist das für einen ganz einfachen Fall in schematischen Umrissen dargestellt. Die hier vorliegende Faltform entsteht durch regelmäßiges, seitliches Zusammenschieben. Dabei erscheint die Länge des Verbiegungskörpers durchaus festgehalten.

Die Zusammenschiebung bewirkt eine stetige Erhöhung der Falte in Verbindung mit einer ebenso stetigen Verschmälerung.

Das Ende dieses Vorganges ist eine Zusammenklappung der beiden Faltschenkel.

Es ist nun von Interesse zu beobachten, wie sich während dieses Vorganges der Zusammenfaltung die Rolle des Innenraumes verkehrt.

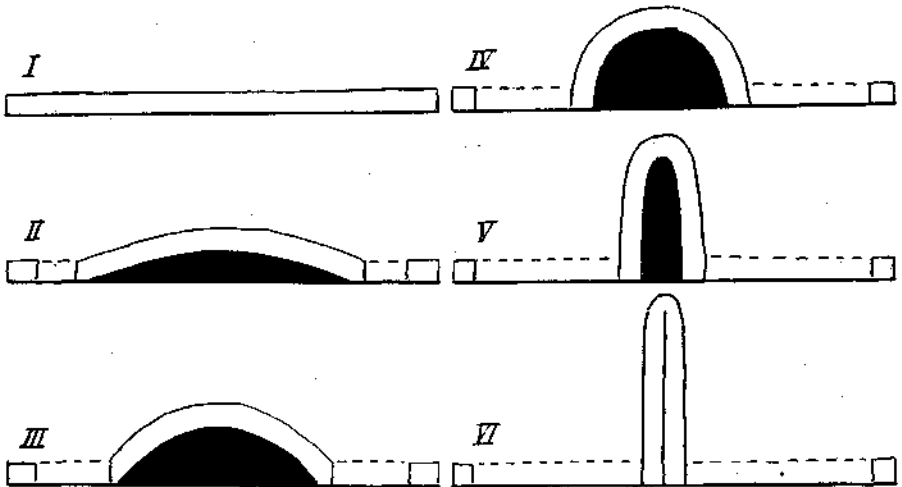


Fig. 5. Wachstumsschema eines Faltenbaues mit Hervorhebung des Innenraums.

Der Innenraum, hier der Raum zwischen dem Verbiegungskörper und dem passiven Untergrund, steigt von 0 bis zu einem Maximum an, um dann wieder kleiner zu werden und in der Endstellung auf 0 zu sinken.

Im ersten Teil der Auffaltung wird daher bei der Vergrößerung des Innenraumes gleichsam eine ansaugende Wirkung, bei der nachfolgenden Verkleinerung eine ausstoßende Wirkung hervorgerufen.

Steht z. B. der Innenraum einer Faltform mit beweglichen Flüssigkeiten oder Gasen in Verbindung, so findet bei sonst geeigneten Verhältnissen erst Ansaugung und dann Auspressung statt.

In der Natur haben wir es gewöhnlich nicht mit so einfachen Modellen zu tun, welche hier nur deshalb gewählt werden, weil sie eine klare Übersicht über die gegenseitigen Grundbeziehungen gestatten.

Zumeist handelt es sich also nicht um eine große Einzelfalte, sondern vielmehr um einen Verband von kleineren Falten, doch spielen sich auch in einem solchen Verbande ähnliche Vorgänge ab. Auch hier wirken die Falten bei der Verbiegung erst ansaugend und dann ausstoßend.

Die Gesamtwirkung eines solchen Verbandes ist natürlich nur schwer zu übersehen und hängt davon ab, in welchem Verhältnis die sich öffnenden und sich schließenden Kleinfalten jeweils zueinander stehen.

Die in Fig. 5 vorgelegte Entwicklungsform einer Einzelfalte kann nicht als eine normale Wachstumsfolge bezeichnet werden.

Es wächst bei derselben ja nur die Höhe ständig, die Masse des Verbiegungskörpers selbst bleibt gleich und der Inhalt der Form wächst nur bis zu einer gewissen Grenze, um von dort an wieder abzunehmen. Die Formenreihe von Fig. 5 zeigt, wie bei der Faltung das Wachstum in einer bestimmten Baurichtung mit dem Gleichbleiben oder Schwinden in anderen verbunden sein kann. Es gibt aber Formen, bei denen wirklich alle erkennbaren Baugrößen wachsen, wenn auch nicht in demselben Verhältnis.

Dabei bleibt wohl zu beachten, daß sich das allgemeine Wachstum aller Baugrößen bei den weiteren Bewegungen sehr leicht verändern kann. Jedenfalls ist die Herausbildung von besonders großen, einheitlichen Faltformen nur unter günstigen Umständen möglich.

Die gleichseitig aufwachsende Falte vergrößert vor allem ihren Innenraum. Als Hohlform ist sie dabei nur in beschränktem Umfang bestandfähig.

Ist sie dagegen als Vollform entwickelt, so stellt sie eine Bauform dar, welche ihre Wurzeln bis in größere Tiefen hinab entsenden kann.

An einer solchen weitgespannten Faltform können noch relativ tiefliegende Schichten nach demselben Bauplan Anteil nehmen.

An die Möglichkeit oder Nichtmöglichkeit der gleichsinnigen Anteilnahme von tiefer gelegenen Schichten an den Bauformen der Erdoberfläche scheint mir der Unterschied zwischen den sogenannten epirogenetischen und orogenetischen Formen gebunden zu sein.

Bei den weitgespannten, gleichseitigen Faltformen ist für denselben Bauplan eine vertikal tiefgreifende Kapazität gegeben. Diese Bauformen besitzen mit anderen Worten einen großen Tiefgang.

Bei den weitgespannten, einseitigen Faltformen ist im Gegensatz nur ein ganz geringer Tiefgang möglich.

Hier muß notwendigerweise der Bauplan bereits in geringer Tiefe erlöschen oder einem ganz anderen Platz machen.

Es wäre jedoch verfehlt zu glauben, daß nur die epirogenetischen Formen ihre motorische Begründung in größerer Tiefe besitzen. Das Gleichbleiben oder Wechseln des Bauplanes sagt allein über den Sitz der Faltungsursache noch nichts Entscheidendes aus.

Es würde dies ja nur der Fall sein, wenn unter dem oberflächlich sehr belebten Faltenplan sich ein ungefalteter Untergrund befinden würde. Es kann aber der oberflächlich sehr lebendige Bauplan auch in einen tieferliegenden ebenso lebendigen, aber andersartigen Plan überspringen. Auch bleibt die Möglichkeit offen, daß der Ausgleich zwischen der Faltung eines oberen und eines unteren Stockwerkes sich nicht gerade an derselben Stelle vollziehen muß. Es kann hier auch ein räumliches Abwechseln vorhanden sein (Fig. 6) und die Ausgleichung des Zusammenschubes sich erst bei der Betrachtung eines größeren Raumes ergeben.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den gleichseitigen und den ungleichseitigen Faltformen bezieht sich auf die Mechanik ihrer Entstehung.

Für die gleichseitigen Faltformen kommt als Baumotor vor allem seitlicher Zusammenschub sowie vertikale Hebung in Betracht. Für die einseitigen Formen ist aber neben dem Zusammenschub auch noch die Wirkung eines Schweregefälles, also Abgleiten und Rollen, ins Auge zu fassen.

Bei der großen Bedeutung, welche die gleitenden und fließenden Faltformen für die Tektonik der Alpen besitzen, ist es wohl am Platze, noch einmal auf die Unterschiede der Faltung einzugehen, welche durch Pressung im Spannrahmen oder durch Gleitung zustande gekommen sind.

Das beste unterscheidende Merkmal wäre natürlich die Konstatierung der Gleitbahn, auf welcher sich eben die Abgleitung vollzogen hat.

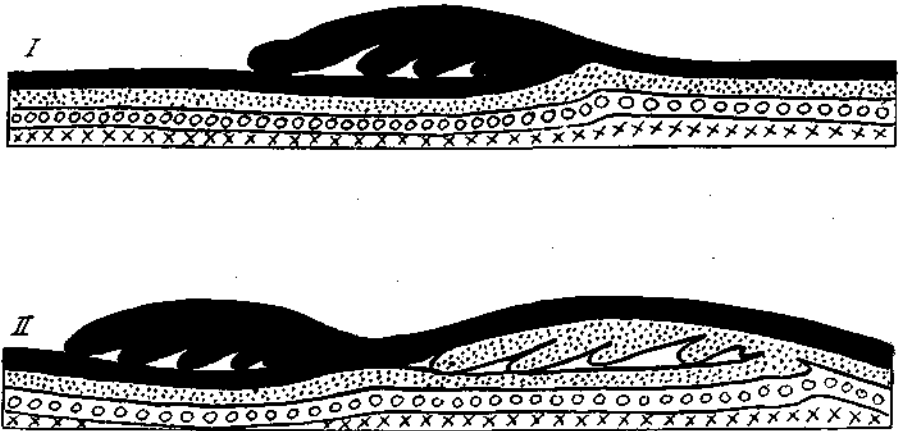


Fig. 6.

I = Der Untergrund der Überfaltung ist nicht kompensiert.
 II = " " " " " teilweise kompensiert.

Dieses Merkmal ist jedoch in sehr vielen Fällen nicht mehr auffindbar, weil sich vielfach die Gefällsverhältnisse seit der Bauzeit ganz verschoben haben und Gebiete, die einst hoch lagen, heute tief oder einst tiefe heute hoch liegen.

In anderen Fällen war wieder von Anfang an gar keine starre Gleitfläche vorhanden, sondern nur eine tiefere, in Bewegung befindliche Masse, auf welcher sich die höhere bewegte.

In der Ruhestellung, welche heute die obere Gleitmasse und die untere Bewegungsmasse einnehmen, ist häufig keine Spur der ehemaligen Gleitbahn mehr zu finden.

Sie bestand eben nur während der Bewegung. Während bei kleineren Rutschungen und Bergstürzen sehr häufig die Gleitbahnen gut erhalten blieben, sind für die großen Gleitmassen, welche beim Bau der Alpen zur Auslösung gekommen sind, die Bahnflächen zumeist unbekannt und wohl vielfach auch nicht mehr vorhanden.

Wir müssen uns daher zur Unterscheidung von Gleitfaltungen und Preßfaltungen anderer Hilfsmittel bedienen.

Solche sind vor allem in der inneren Bauweise zu finden.

Ich habe schon im ersten Teil dieser Untersuchung — Jahrbuch 1923 — auf eine Reihe von solchen Unterschieden hingewiesen und kann mich hier auf diese Darstellung beziehen. Einiges will ich aber doch noch der Deutlichkeit halber hinzufügen.

Als eine besonders charakteristische Form der gleitenden Faltung wurden Rollfalten, Walzen, Faltennudeln . . . bezeichnet.

Es sind dies Formen, bei denen eine meist nicht sehr mächtige Schichtenzone infolge von ungleicher Bewegung oder ungleicher Reibung unter entsprechender Belastung zu einer Einrollung gezwungen wird.

Solche Gebilde zeichnen sich meist sowohl in vertikaler wie in horizontaler Richtung durch eine rasche Veränderlichkeit aus (Fig. 7 A). Will man solche Gebilde (Fig. 7 B) nicht durch Gleitung, sondern allein durch Faltung erklären, so ist dies nur durch Heranziehung von zwei verschiedenen Faltungen möglich.

Die erste Faltung schafft eine entsprechende liegende Falte. Die zweite Faltung aber bildet nicht mehr die liegende Falte in ihrer Anlage weiter aus, sondern ergreift das ganze Gebilde und verbiegt nun die Überfalte nochmals.

Auf diese Weise ist es möglich, durch Doppelfaltung Gebilde zu erhalten, die den Walzfalten der Gleitung ähnlich sehen.

In der Schweiz hat sich für diese Art von Doppelfaltungen der Ausdruck „Einwickelungen“ eingebürgert.

In vielen Fällen mag diese Ableitung zu Recht bestehen, in anderen handelt es sich aber wahrscheinlich doch um Walzfalten einer großangelegten Gleitung.

Wenn man sich vor Augen hält, daß schon die Herausbildung einer großen liegenden Falte ein Zusammentreffen von besonders günstigen Wachstumsbedingungen erfordert, so stellt das Umspringen des Bauplanes auf eine andere Art der Faltung noch einen Sonderfall dar.

Wir sind also der Meinung, daß manche der sogenannten Einwickelungen nicht Doppelfaltungen ihre Form verdanken, sondern Anzeichen von lebhafter Gleitfaltung vorstellen.

Jedenfalls wird die Bedeutung der gleitenden und fließenden Deformationen im Bewegungsbild des Alpenbaues auch heute noch wesentlich unterschätzt, obwohl die zahlreichen liegenden Falten in deutlicher Sprache dafür Zeugenschaft ablegen.

Auf eigenartige Weise hat Walter Schmidt die Entstehung von liegenden Falten durch einscharige, differentiale Gleitbewegungen zu erklären versucht.

Nach meiner Einsicht kommt diese Erklärung aber nur für Kleinfaltungen in bestimmten Materialien in größerem Umfang in Betracht. Ich halte es für unmöglich, die großen liegenden Falten der Alpen aus dieser Mechanik abzuleiten, u. zw. aus Gründen, welche auch schon Sander im Jahrbuch 1926 zu einer weitgehenden Einschränkung des Gültigkeitsbereiches dieser Erklärung geführt haben.

Schmidt geht von der Anordnung der Gleitflächen (Scherflächen) in einem Pressungskörper zwischen zwei parallelen Preßbacken aus. Wir erkennen hier das Auftreten von zwei sich kreuzenden Gleitflächenscharen, wie es Fig. 8 angibt.

Bei der Pressung des Alpenkörpers zwischen Vor- und Rückland soll es sich aber vor allem um einscharige Differentialgleitungen handeln. Diese einscharigen Gleitflächen sollen nun die Schichten weitgehend

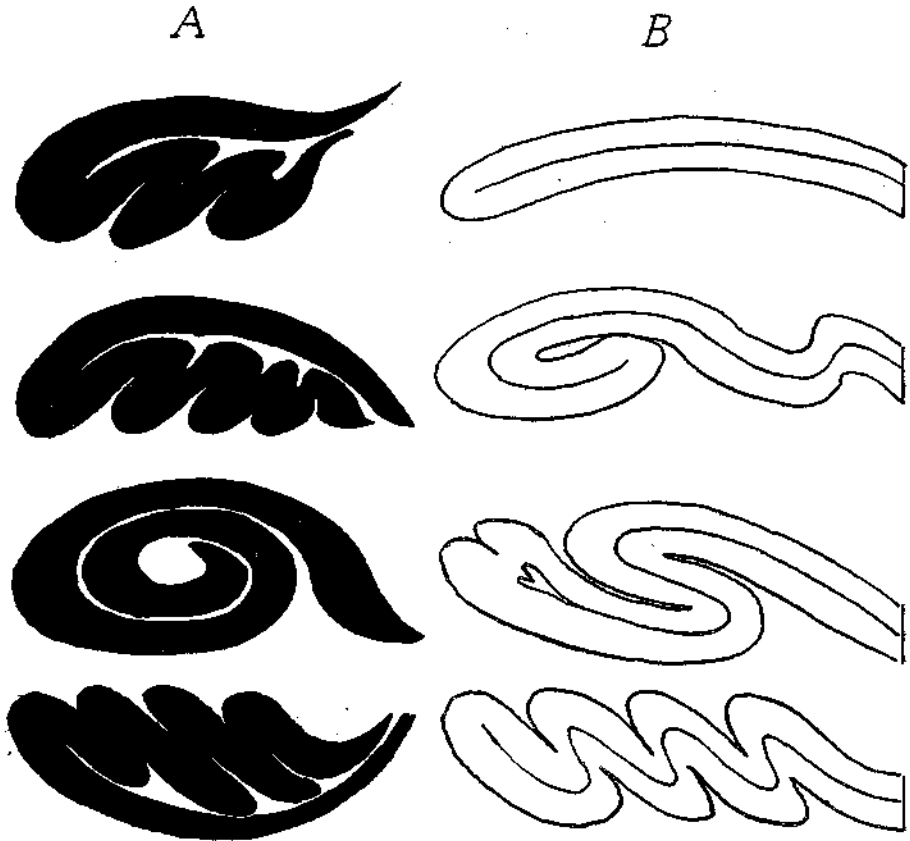


Fig. 7.

A = Reihe von Einrollungen, die durch Gleitungen hervorgerufen wurden.
B = Verschiedene Formen von Umfaltung einer Liegfalte.

unabhängig von schon vorhandenen Strukturen schräg zerschneiden. Diese Vorstellungen knüpfen sich nach meiner Meinung zu enge an den Vorgang in einer Preßmaschine an.

In der Natur haben wir niemals einen derartig großen Material- und Festigkeitsunterschied, wie er im Experiment zwischen dem Probestein und den stählernen Preßbacken besteht.

Wir haben weiter niemals ebene oder parallel angeordnete Preßbacken.

Wir haben sogar zumeist nicht einmal eine scharfe Abgrenzung zwischen Preßgut und Preßbacken.

Das „Drückende“ und das „Gedrückte“ ist vielfach aus demselben Material und ist fortlaufend miteinander in Bewegung.

Es kann sogar seine Rolle wechseln, die gegenseitigen Festigkeitsverhältnisse können sich völlig verschieben, ja sogar umkehren. Auf diese Weise kann ein Vergleich mit der Preßmaschine und mit dem durch sie erzeugten Gleitflächenplan hier bestenfalls nur für kurze Momente der Bewegung überhaupt gelten.

Der Gleitflächenplan muß sich also fortlaufend ändern und führt zu so komplizierten Formen, daß dieselben nicht mehr zu verfolgen und festzuhalten sind.

Weiter bleibt zu bedenken, daß in der Natur die Schichtenflächen und die meist mit der Schichtung verbundenen starken Materialänderungen doch bei allen Deformationen das entscheidende Leitmotiv bleiben.

Die Gleitflächen, welche für größere Verschiebungen in Betracht kommen, verlaufen daher auch erfahrungsgemäß in solchen bereits vorgezeichneten Flächen.

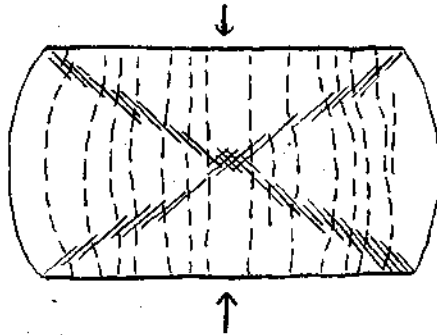


Fig. 8. Entstehung von zwei Scharen sich kreuzender Gleitflächen in einem Pressungskörper.

Schmidt spricht meist nur von Zeichnungen im Material.

In Wirklichkeit handelt es sich aber um tiefgreifende Schichtenfugen, die vielfach noch mit leicht schmierenden, fettigen, schiefrigen, glimmrigen Zwischenmitteln ausgestattet sind.

Die Materialunterschiede ändern sich häufig sprungweise von Bank zu Bank.

Der Vergleich mit der Presse und dem künstlich zugeschnittenen Probekörper kann hier sehr leicht irreführen.

In der Presse kann sich das Material nicht mehr seiner Struktur entsprechend einstellen. Es ist völlig vergewaltigt und aus dem Zusammenhang gerissen.

Hier ist es möglich, daß der so aufgezwungene Gleitplan die Schichten wirklich schräg zerscherte, weil dies der einzige Ausweg ist. Bei deutlich geschichteten Preßkörpern ist aber auch in der Preßmaschine der Einfluß der Schichtung unverkennbar.

Ich führe in Fig. 9 einige Beispiele eines Preßversuches an, den Herr Dr. A. Leon im Jahre 1910 im mechanisch-technischen Laboratorium der Wiener Technik in meiner Gegenwart zur Ausführung gebracht hat.

Man erkennt auf den ersten Blick den starken, verzerrenden Einfluß der Schichtung auf den Gleitplan.

In der Natur vollziehen sich aber die mechanischen Vorgänge, insofern unter wesentlich anderen Bedingungen, weil das Material weitgehend die Möglichkeit behält, seine alte Struktur der neuen Beanspruchung oder umgekehrt die neue Beanspruchung der alten Struktur anzupassen.

Das Material hat also eine gewisse Freiheit in der Einstellung gegenüber den sich ändernden mechanischen Bedingungen der Umgebung.

So findet eine Wechselwirkung zwischen der Struktur des gedrückten und des drückenden Körpers statt, welche in unseren Preßmaschinen vollkommen ausgeschlossen erscheint.

Der Versuch von W. Schmidt, die großen Liegfalten durch einschichtige Differentialgleitungen zu erklären, ist jedenfalls sehr interessant, aber doch nicht der geologischen Wirklichkeit entsprechend. Die Liegfalten sind wohl Gleitgebilde, aber in einem ganz anderen Sinne.

Es handelt sich hier um gleitende Vorgänge, wie solche schon E. Reyer in weitschauender Weise für die Erklärung der Gebirgsbildung herangezogen und vielfach auch experimentell nachgebildet hat.

Die Vorstellungen und Experimente von E. Reyer sind immer stark, manchmal sogar schroff schematisch vereinfacht, um den Kern der Erscheinungen bloßzulegen.

Sie sind daher nicht für eine unmittelbare Anwendung berechnet, sondern schließen nur neue Auffassungen und Arbeitsrichtungen auf.

Die sehr schematische Darstellungsweise von E. Reyer ist auch mit ein Grund gewesen, weshalb seine tektonischen Arbeiten nicht jene Anerkennung gefunden haben, welche ihrer hohen und freien Geistigkeit gebührt.

Wenn man die neuen Modelle des Alpenbaues von Argand—Heim—Jenny—Kober—Staub betrachtet, so fallen vor allem zwei Richtungen der Umbildung gegenüber den älteren Modellen auf.

Es sind dies einerseits die ständige Vermehrung und damit auch Verkleinerung der einzelnen tektonischen Einheiten und andererseits die Erhöhung des ganzen Alpenbauwerkes.

Beide Richtungen leisten hier vielleicht unbewußt der weiteren Verwendung der Gleit-, Walz- und Wälztektonik unbedingten Vorschub.

Die Auflösung in kleinere Bewegungseinheiten verleiht dem ganzen Mechanismus vor allem eine größere Beweglichkeit und Geschwindigkeit. Sie entspricht dabei sowohl dem Fortschritte unserer Erfahrungen als auch den mechanischen Forderungen der Gleit- und Walzbewegung. Die mächtige Erhöhung des ganzen Alpenbaues aber liefert gleichsam automatisch das für die Ableitungen nötige Gefälle.

Das in diesen Modellen zur Schau gestellte einseitige Gefälle der Alpen ist bereits größer als es zur Ausführung der Ableitungen hier nötig ist.

Es beträgt z. B. für einen Querschnitt durch die Alpen der Zentralschweiz nach A. Heim auf zirka 100 km Breite über 20 km.

Wenn man bedenkt, daß in den Zeiten der Gebirgsbildung sicherlich der ganze Untergrund tief erschüttert und von Wärmeströmungen

durchflutet ist, so kommt man zu der Anschauung, daß schon ein weit geringeres Gefälle zur Auslösung großer Abgleitungen genügen dürfte. Das Wesentlichste bleibt die Bewegtheit des Untergrundes, welche gleitende Bewegungen der höheren Schichten ungemein erleichtert. Man kann sich von dieser Wirkung leicht überzeugen, wenn man z. B.

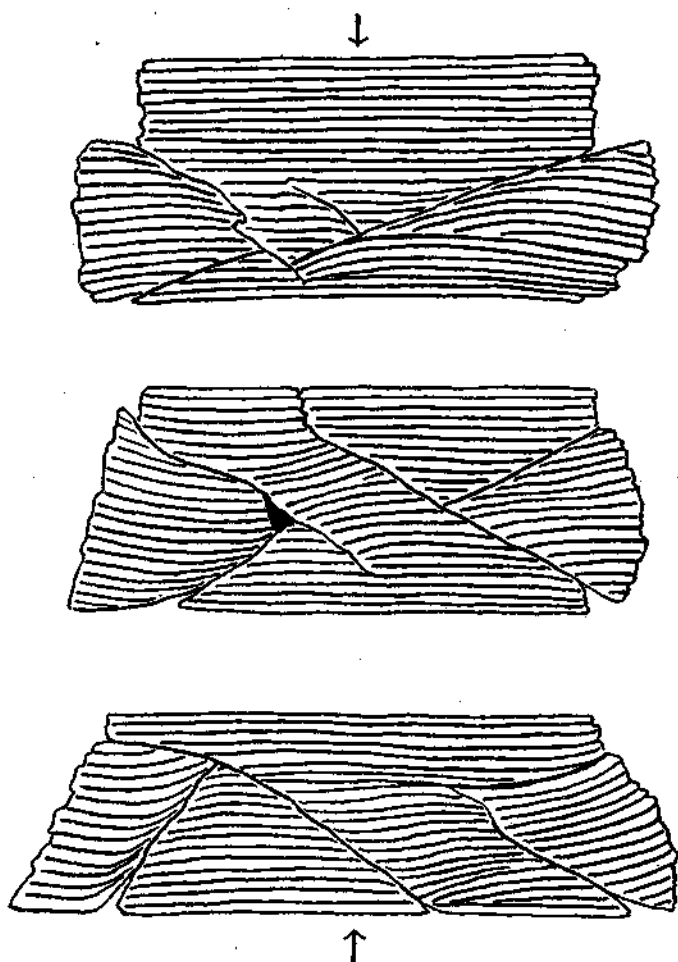


Fig. 9. Verzerrung der Gleitflächen bei deutlich geschichteten Preßkörpern.

einen Körper über eine schiefe Ebene herabgleiten läßt. Ist die Unterlage ruhig, so wird der Körper bei einem bestimmten Neigungswinkel zu gleiten beginnen. Versetzt man aber die Unterlage in Erschütterung, so tritt die Gleitung schon bei einem kleineren Neigungswinkel ein.

Nach meiner Einsicht ist die Wirkung des durch und durch erschütterten Untergrundes für das Verständnis der Gebirgsbildung von weittragender Bedeutung.

Auch das Aufsteigen von Wärmeströmungen begünstigt die Ausführung der Bewegungen in hohem Maße.

Es ist nun weiter überlegenswert, ob die in diesen Modellen zum Ausdruck kommende riesige Bauhöhe der Alpen eine wirkliche oder nur eine ideell ergänzte vorstellt.

Nach allen morphologischen Erfahrungen erscheint es ausgeschlossen, daß die Alpen im Jungtertiär eine wirkliche Höhe von 20.000 m besessen haben sollen.

Wir wissen von den Ostalpen, daß dieselben bereits im Miozän wenn nicht eingeebnet, so doch schon eingerundet waren.

Die Gleichzeitigkeit von so tief abgetragenen Ost- und so hoch aufragenden Westalpen ist zu unwahrscheinlich, als daß man nicht nach anderen Auswegen suchen würde, ja suchen müßte.

Das Mißverhältnis zwischen Tektonik und Morphologie in den Ost- und Westalpen dürfte auch schon den der Alpenforschung fernstehenden Geologen genügend aufgefallen sein.

Z. T. liegt dasselbe wirklich in dem Höhenunterschied der beiden Alpentteile begründet, z. T. geht es jedoch auf führende Persönlichkeiten vom Range von E. Sueß und A. Heim zurück, die beide der morphologischen Forschung fremd und ablehnend gegenüberstanden.

E. Sueß hatte durch seine summarische Leugnung der Hebungen der Morphologie jede Lebensfähigkeit entzogen.

A. Heim hinwieder versuchte, die ganze Mechanik der Gebirgsbildung auf Faltung zurückzuführen. Für ihn hat weder die Überschiebung noch die Gleitung oder Walzfaltung irgendeine wesentliche Bedeutung für die Gebirgsbildung.

Alles geht auf Pressung, Faltung, Ausquetschung und Überfaltung zurück.

Mit jeder möglichen Sorgfalt werden alle Fetzen, Schuppen und Schüppchen als ausgequetschte Mittelschenkel von Falten gedeutet und so ergänzt.

Es ist klar, daß auf diese Weise bei der Summierung endlich Riesengebilde von übereinandergehäuften Falten zustandekommen mußten. Auch diese übermächtige Tektonik hat der Morphologie keinen Spielraum gewährt.

In den Ostalpen ist der Aufstand gegen die geologische Weltauffassung von E. Sueß schon frühzeitig erwacht, in den Westalpen ist noch heute der geistige Einfluß von A. Heim entscheidend.

Trotz des Widerstandes dieser großen Meister und ihrer Schülerschaft ist die junge Wissenschaft der Morphologie langsam und unaufhaltbar emporgewachsen.

Sie hat uns gelehrt, daß die Erhebung des Alpenkörpers durchaus nicht gleichbedeutend mit der Faltung dieses Körpers ist.

Die heutige Höhenlage ist nicht etwa ein Rest jener Bauhöhe, welche bei der letzten Alpenfaltung geschaffen wurde.

Der Alpenkörper hat seit seiner letzten Großfaltung bereits mehrere Abtragungen und Neuhebungen durchgemacht.

Infolge dieser mehrmaligen tiefen Abtragungen des Alpenkörpers, die, wie wir wissen, bis in die Kreide zurückreichen, hat auch die

ganze Tektonik einen wesentlich anderen Verlauf genommen, als wenn es sich um vorher nicht zerschnittene Schichten und Bauformen gehandelt hätte.

So spielt die „Kerbwirkung“ eine sehr große Rolle, welche ebenfalls in der westalpinen Geologie bei der Deutung des Zusammenwirkens von Morphologie und Tektonik so gut wie gar nicht beachtet wird. Ich habe den Begriff der „Kerbwirkung“ im Jahre 1916 in die geologische Literatur eingeführt und seither ständig verwendet und erweitert. In der neuesten Zeit hat sich auch E. Seidl, Berlin, denselben bedient und auf seine vielfache Verwendbarkeit hingewiesen. Die ganze Wechselwirkung zwischen Morphologie und Tektonik wird durch den Begriff der „Kerbwirkung“ beherrscht und geregelt.

So gehört heute dieser Begriff schon zum Werkzeug sowohl der modernen Tektonik als auch der modernen Morphologie.

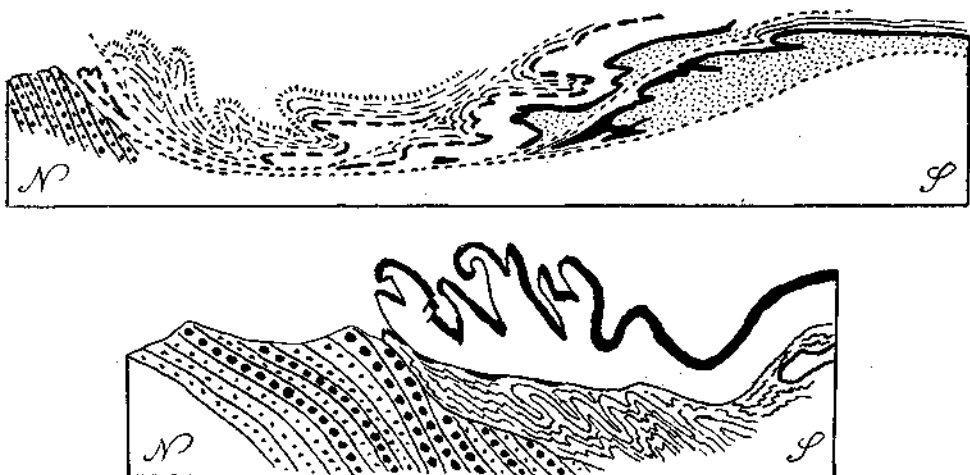


Fig. 10. Schema der Glarner- und Säntisdecken nach A. Heim, „Geologie der Schweiz“.

Es ist also der Unterschied zwischen West- und Ostalpen sowohl in Tektonik als auch in Morphologie nicht so sehr der einer grundverschiedenen Naturanlage als vielmehr der einer recht verschiedenartigen Betrachtungsweise.

Der Morphologie aber fällt hier die Aufgabe zu, die tektonischen Übertreibungen mancher Geologen auf ein richtigeres Ausmaß zurückzuschrauben.

Die Wachstumsverhältnisse einer Gleit- und einer Preßfalte sind ebenfalls recht verschieden.

Während die erstere nur von der Rückseite als von der höheren Seite her genährt werden kann, ist bei der Preßfalte wenigstens theoretisch eine Ernährung von beiden Seiten her möglich.

Die Gleitfalten entstehen vor allem leicht, wenn bei der Gleitung die vorderen oder unteren Teile infolge von Reibung oder durch ein Relief der Gleitbahn gegenüber den anderen Teilen gehemmt werden.

Dann entsteht eine Überrollung, die theoretisch bis zur vollkommenen Umdrehung, zu einem „Purzelbaum“ führen kann.

Durch ein solches Überrollen, ein Vordrängen der höheren Massen über die tieferen, kommt zunächst ein extrem einseitiger Faltenbau und weiter eine oft weitgehende Zerlegung der ganzen Gleitmasse zustande.

Tiefere Anteile bleiben zurück, höhere eilen vor und häufen sich dort an.

Die oberen Schichtenmassen zeichnen mit ihrem Schwung den Faltenwurf vor und die tieferen werden zur Ausfüllung der Lücken verwendet. Daher finden wir gerade am Ende einer Gleitfaltung den gesteigertsten Ausdruck von Lebendigkeit, wie er bei einer Preßfaltung niemals zu erreichen wäre.

Aus den Alpen und besonders aus der Schweiz sind heute zahlreiche genau erforschte Profile bekannt, welche aufs deutlichste ihre Abstammung von Gleitfaltungen zur Schau tragen.

Ich führe als ein Beispiel aus der „Geologie der Schweiz“ von A. Heim nur das schematische Profil der Glarner Säntisdecke an. Fig. 10.

Ein unverhüllter herrlicher Schwung liegt in dieser Architektur einer mächtigen Gleitung hier aufbewahrt.

Auch die Zerlegung in mehrere Gleitstockwerke ist aufs klarste durchgeführt.

Ebenso deutlich erkennt man, daß die Gleitung über ein älteres Relief hin erfolgt ist.

Für die Auffahrt der Gleitmasse auf das Relief des Molassegebirges hat bekanntlich Arnold Heim den glücklichen Ausdruck „Brandung der Decken“ geschaffen.

Es liegt in der Natur einer Gleitung begründet, daß dieselbe nicht eine ganz langsame, etwa Millimeter für Millimeter vorrückende Masse darstellt, sondern vielmehr eine in vollem Schwunge vollzogene Neuformung bedeutet.

Nur auf diese Weise scheint mir jener wunderbare Zusammenklang aller Bauformen vom größten bis zum kleinsten verständlich zu sein, der gerade aus den Gleitgebilden so lebendig zu uns spricht.

Der Annahme eines raschen Vollzuges von so ausgedehnten Abgleitungen stehen besonders in der Erklärung der dazu nötigen Vorbereitungen große Schwierigkeiten entgegen. Um eine solche riesige Masse gleichzeitig in Bewegung zu versetzen, ist es nötig, daß dieselbe schon vollständig am oberen Ende der Gleitbahn in Bereitschaft steht.

Es ist kaum vorstellbar, daß diese Massen erst durch eine Überschiebung allgemach in eine Lage gebracht werden, welche dann die Abgleitung gestattet.

Es ist vielmehr wahrscheinlicher, daß die Heraufförderung der Masse aus ihrer früheren Heimat schon vorher stattgefunden hat. Heraufförderung der Masse und Abgleitung können also schwerlich gleichzeitige Ereignisse sein.

Denn während die Abgleitung eine rasche Massenbewegung vorstellt, ist dies von einer Heraufförderung recht unwahrscheinlich.

Ich komme also zu der Meinung, daß Heraufförderung und Abgleitung zwei ganz getrennte Vorgänge darstellen.

Wäre die Masse z. B. allgemach von S her über eine hohe Schwelle heraufgeschoben worden, so hätte sich nie eine so große, einheitliche Abgleitung, sondern nur eine Menge von kleineren Abgleitungen herausbilden können. Die ganze Masse muß also wohl zuerst in eine Lage gebracht worden sein, daß eine Hebung oder Schrägstellung ihres Untergrundes zur Auslösung der Gleitung bereits genügte.

Wir versuchen also, den ganzen tektonischen Vorgang in mehrere Phasen aufzulösen, u. zw.:

1. Emporförderung der Massen, welche später dann die Gleitmassen bilden sollen.
2. Schrägstellung dieser Massen, welche dann durch entsprechende Bewegungen des Unterbaues die Gleitung auslösen kann.
3. Entfernung der ursprünglichen Ablagerungsbasis unserer Gleitmassen.

Wenn man nun nach den geologischen Dokumenten für solche Vorgänge in der Natur Umschau hält, so stößt man auf eine merkwürdige Erscheinung.

Die Abgleitungsmassen sind vielfach prachtvoll in allen Details zu beobachten.

Dagegen finden wir nirgends eine entsprechend große Schwelle, auf welcher die Gleitmassen ursprünglich abgelagert und beheimatet waren.

Es fehlt also für eine raumrichtige Ergänzung des ganzen Abgleitungsmechanismus der sehr wichtige Ursprungsbereich.

Die Überfaltungstheorie hilft sich über diese Schwierigkeit dadurch hinweg, daß sie das ganze Heimatsgebiet einfach als ausgequetschtes Wurzelgebiet betrachtet.

Damit ist aber auch nicht viel gewonnen, da man ja doch nur das Material der Falte als Ausquetschungsmaterial beanspruchen kann. Die Gleithypothese ist hier sogar besser daran, denn für sie muß ja gerade das abgeglittene Material im Hinterlande fehlen.

Für das Verhalten des tieferen Untergrundes ist aber mit Ausquetschen auch gar nichts zu machen.

Ich habe bereits im Jahre 1911 bei der Beschreibung des Alpenquerschnittes vom Allgäu zum Gardasee diese Schwierigkeit durch die Hypothese zu lösen versucht, daß wir hier eine „Verschluckungszone“ vor uns haben. Das heißt mit anderen Worten, daß südlich von dem heutigen Lagerplatz der Gleitmassen früher ein Gebiet an der Oberfläche lag, auf welchem einst diese Sedimente abgelagert und beheimatet waren.

Die tektonische Entwicklung dieses letzteren Gebietes hat dann zu einer Abspaltung der oberflächlichen Schichten von ihrem Untergrund geführt.

Während die oberflächlichen Schichten erst erhoben wurden und dann zum Abgleiten kamen, muß ihr Untergrund zur Tiefe gesunken sein.

Diese Doppelrolle, einerseits Abstoßung der oberen Teile, andererseits Einsaugung der unteren, habe ich dann weiter für eine Elementarfunktion der Gebirgsbildung erklärt.

Eine schematische Darstellung von solchen Zerlegungen in zwei entgegengesetzte Bewegungen habe ich später in den Verhandlungen 1920 angeführt.

In der Schweiz hat man diesen Überlegungen insofern Recht gegeben, als die alten vertikalen Auspressungsprofile verschwunden sind und durch neuere ersetzt wurden, in denen die Hauptwirkung auf schräge, sehr ausgedehnte Überschiebungen übertragen scheint.

Damit ist ja zugestanden, daß der Untergrund im wesentlichen in die Tiefe gegangen ist, während die Oberschichten die gewaltigsten Verfallungen erlitten.

Diese Umformung der westalpinen Alpenmechanik ist zuerst von E. Argand befürwortet worden.

Wenn sich somit in dieser Richtung eine natürlich uneingestandene Annäherung an meine Vorstellungen vollzogen hat, so bleiben doch noch genügend viele andere Unterschiede bestehen.

Eine wichtige Frage bleibt es, ob die Gleitmassen ihre Struktur wirklich allein erst bei der Abgleitung von ihrer Schwelle erhalten haben oder ob sie vielleicht schon mit mehr minder entwickelter Baustruktur über diese Schwelle herübergeschoben worden sind.

Wenn man die letztere Annahme benützt, so wird dadurch der innige Zusammenhang zwischen dem Schwung der Bauformen und dem Schwung ihrer Gleitbahn zerstört oder zumindest in der Wirkung ausgeschaltet.

Das scheint mir ein großer Verlust an mechanischer Durchsichtigkeit zu sein und ein Zerreißen jener feinen Zusammenhänge, die zwischen den Bauformen und den sie bildenden Bewegungen bestehen.

Ich möchte also doch an diesem Zusammenhang festhalten. Dabei ist es zunächst gleichgültig, ob die Gleitmassen für sich allein oder bereits mit anderen Decken belastet diese Gleitung vollzogen haben. Das letztere ist für die Wirkung der Gleitung nur noch eine weitere verstärkende Zugabe.

Wenn wir einen der modernen Alpenquerschnitte betrachten, so scheint mir für eine Erklärung der Gebirgsbildung durch den Vorschub einer Kontinentalmasse über eine andere die feinfingerige Zerlegung und Verfallung an der Stirne dieser Schubmasse innerlich nicht zu stimmen. Es ist dabei gleichgültig, ob der Vorschub 200 km oder 1000 km beträgt.

Die Falten, welche durch den Vorschub einer schweren Masse über eine andere sich bilden, entstehen durch Abschürfung und Zusammenstau vor der Stirne der vorrückenden Schubmasse. Die letztere selbst wird in den Stirnteilen ebenfalls in Falten geworfen und zum Alpenbau verwendet.

Wir haben also bei dieser Erklärung nicht mehr wie bei der Schraubstockform zwei in derselben Kugelschale gegeneinander vorrückende Preßbacken, sondern einen absteigenden und einen aufsteigenden Kolben, die sich übergreifen. Fig. 11.

Die ganze Gebirgsbildung ist dadurch in die Formel einer riesigen Überschiebung gebracht.

Dieser Formel macht vor allem die Herbeischaffung des Baumaterials keine Beschwer.

Eine andere Frage ist es aber, ob der Aufbau der Alpen wirklich sich mit dieser großen Überschiebungsformel erklären läßt.

Der Mechanismus von Argand hat auf alle Fälle den Vorteil von Einfachheit und Durchsichtigkeit.

Er ermöglicht auch die Ausdehnung seiner Wirksamkeit über eine große Zeitstrecke.

Von dieser Möglichkeit haben auch Argand und seine Anhänger bereits ausgiebigen Gebrauch gemacht. Es hat sich dabei eine Zerlegung in viele Phasen ergeben, von denen die ältesten bis ins Paläozoikum zurückreichen sollen.

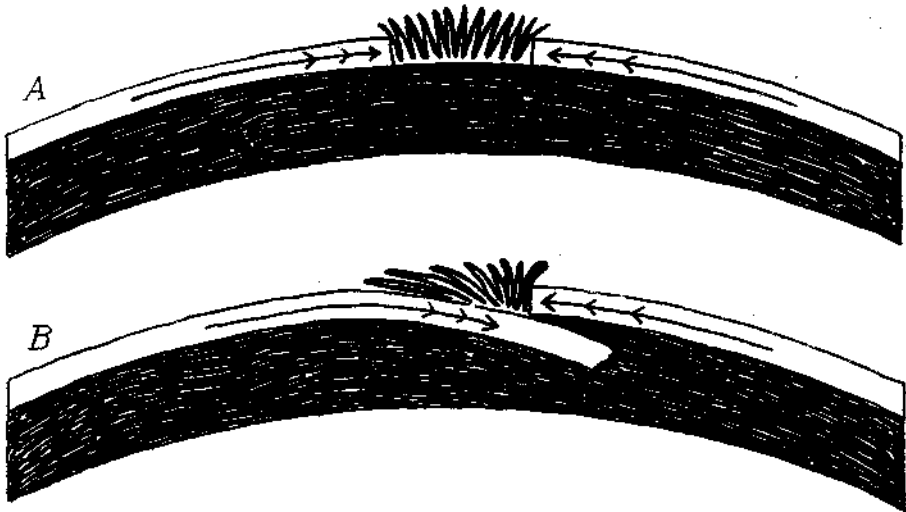


Fig. 11.

A = Schema der Anordnung und Wirkung der einfachen Schraubstockpressung für die Gebirgsbildung.

B = Schema der Anordnung und Wirkung von zwei sich übergreifenden Schubkolben für die Gebirgsbildung.

So ist an die Stelle der früher so laut gepriesenen zeitlichen Einheitlichkeit des Alpenbaues nun eine Verzettlung des Baues über einen riesigen Zeitraum getreten.

Auch damit ist einer Forderung nachgegeben worden, welche gerade die ostalpinen Geologen seit dem ersten Auftreten des Nappismus diesem gegenüber immer geltend gemacht hatten.

Heute habe ich den Eindruck, daß einzelne der westalpinen Geologen in dieser Auflösung in einzelne Phasen bereits viel zu weit gehen und daß ein solches Zurückverfolgen der Decken bis in ihre Keimzellen wohl ein Ding der Unmöglichkeit bedeuten dürfte.

Immerhin verlangt diese Art der zeitlichen Auflösung der Alpenmechanik eine genauere Prüfung, bevor man sich dafür oder dagegen entscheiden kann.

Fig. 12. Schema der Anordnung der Faltenembryonen nach E. Argand.



Nach der Darstellung von E. Argand (Fig. 12) sollen die einzelnen Falten- oder Deckenembryonen in großen Abständen voneinander angelegt worden sein.

Diese Annahme ist geometrisch ganz folgerichtig, weil ja unbedingt ein großer Zwischenraum vorhanden sein muß, damit die kleinen Falten überhaupt zu großen aufwachsen können.

Eine andere Frage ist es aber, wie von Anfang an eine so merkwürdige Faltenanlage zustande kommen soll.

Ich kann eine solche Faltenanlage nicht verstehen und begründe im Folgenden meine Zweifel an ihrer Möglichkeit.

Das hier vorliegende Faltenproblem habe ich bereits im Jahrbuch 1906 in der Arbeit über das „Bewegungsbild der Faltengebirge“ S. 586 in kurzen Umrissen behandelt.

Damals bin ich zu der Ansicht gekommen, daß in einem solchen Falle bei dem Zusammenschub einer breiten Zone zwischen zwei festeren Massen am wahrscheinlichsten sich die entstehenden Falten vor den Stirnen der vorrückenden Massen anhäufen. Ihr Wachstum würde also bei zweiseitigem Vorrücken von den zwei Rändern, bei einseitigem von einem Rande her gegen die Mitte des Faltungsraumes hin erfolgen — Fig. 13.

Wir hätten also bei den Alpen nach Argand mit einem ganz extrem einseitigen Bau zu rechnen, hervorgerufen durch einen aktiven Vorschub von Afrika gegen und über Europa.

Bei dieser Großanordnung würde sich nach meiner Einsicht zuerst vor der Stirne von Afrika eine Auffaltung bilden, welche bei dem weiteren Vormarsch vor dieser Masse hergeschoben würde. Bei diesem Weiterschieben würde einerseits der Faltenhaufen immer mehr zusammengepreßt, andererseits fände an seiner Vorderseite eine fortlaufende Angliederung neuer Falten statt.

Wir hätten also im allgemeinen die jüngsten Falten an der Vorderseite zu erwarten.

Nach der Vorstellung von Argand sollen aber die in großen Intervallen voneinander auftauchenden Falten so ziemlich gleichaltrige Bildungen sein.

Ich halte es für unmöglich, durch den Vorschub von Afrika gegen Europa an weitgetrennten Stellen solche gleichzeitige Falten hervorzurufen und weiterzubilden.

Das wäre nur bei einer entsprechenden Mitwirkung des Untergrundes des Faltungsraumes und hier nur mit einer sehr gekünstelten Arbeitsverteilung ausführbar.

Eine weitere Schwierigkeit für das Verständnis einer solchen Mechanik liegt dann in der überaus ungleichen Mächtigkeit des gefalteten Schichtenraumes und der schiebenden Schollen begründet — Fig. 14.

Wenn wir ein modernes Überfaltungsprofil auf diese Dimensionen hin prüfen, so kommen wir zu dem erstaunlichen Ergebnis, daß die Mächtigkeit der zur Faltung verwendeten Schichten kaum 2000—3000 *m* beträgt, während für die Dicke der schiebenden Schollen etwa der zehnfache Betrag, also 20.000—30.000 *m*, angenommen wird.

Diese Umformung der Schiebemechanik hat natürlich den Vorteil, daß der Unterschied zwischen der dünnen Faltungsdecke und den dicken Schubkolben recht in die Augen springt.

Die Zusammenpressung der schwachen Faltenleiber zwischen den dicken, starken Schubkolben erscheint wie selbstverständlich und ist doch nur eine Täuschung. Wie soll durch den Vorschub einer so dicken Scholle eine Menge von so dünnen Falten gebildet werden? Wie soll vor

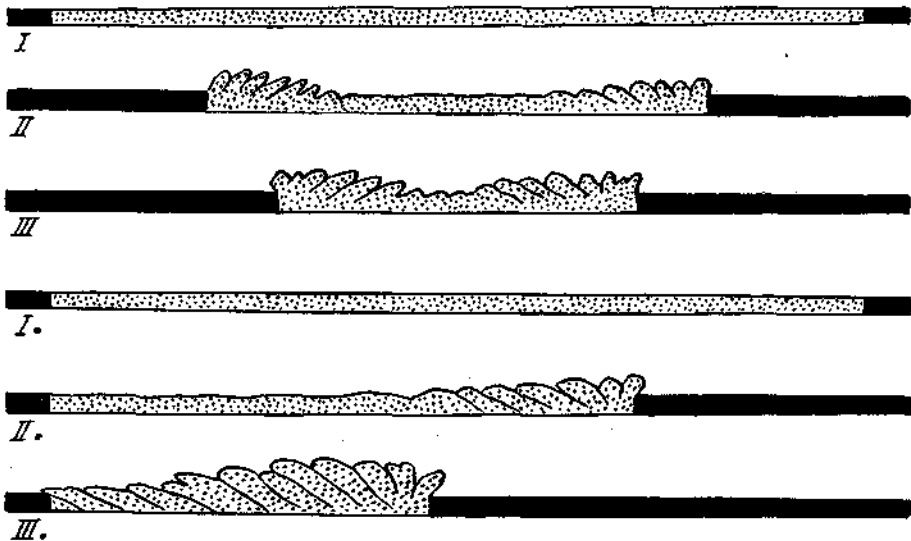


Fig. 13.

I—II—III = Schema des Faltenwachstums bei zweiseitigem (*I—II—III* = bei einseitigem) Vorrücken von Schubmassen gegen eine leichter faltbare Zone.

der plumpen Schubscholle auf einmal ein so feingliedriges Faltengebilde entstehen, das wie eine Schar von gereizten Schlangen emporzüngelt?

Zwischen den schiebenden Schollen und den dazwischen zusammengeschobenen Falten besteht hier kein begreifbares Bauverhältnis mehr.

Man kann nicht mit so plumpen Schubschollen so feine und so leicht geschwungene Falten erzeugen. Die Feinheit der Faltenbildung und des Faltenschwunges ist mit der Grobheit und Schwerfälligkeit der Schubschollen mechanisch unvereinbar.

Zwischen Werkzeug und Arbeitserzeugnis bestehen innige Zusammenhänge.

Man kann nicht Goldschmiedarbeiten mit einem Steinschlegel ausführen.

Außerdem hat diese Anordnung noch weiter den Nachteil, daß das Mißverhältnis zwischen der wahnsinnig gefalteten, dünnen Oberschichte und ihrem Untergrund nur um so störender wirkt.

Was ist nun mit dem Untergrund des Faltungsraumes geschehen?
 Wenn man annimmt, daß die schiebenden Schollen eine starre Mächtigkeit von 20 bis 30 km besessen haben, so ist dies doch auch für den Faltungsraum anzunehmen.

Von dieser ganzen Mächtigkeit ist nur eine dünne Oberschichte von höchstens 2000 bis 3000 m Dicke in den Faltenwurf einbezogen worden. Was ist mit den übrigen neun Zehnteln der Mächtigkeit vor sich gegangen?

Wären sie ebenso mitgefaltet worden, so würde ein zirka neunmal so großer Faltenhaufen entstanden sein.

Von diesem riesigen Faltenhaufen ist nichts mehr zu sehen. Wenn er also jemals bestanden hat, so muß er versunken, eingeschmolzen und



Fig. 14. Schema nach A. Heim.

- I = Südalpen — Schubmasse von Afrika.
 II = Überwältigte Zentralmasse — Masse von Europa.
 III = Überfaltungsknäuel.

Dieser Faltenknäuel stellt ein Bauwerk vor, das niemals mit dem einfachen Aufschub von I auf II erzeugt werden kann.

weggeführt worden sein. Wir stehen also wieder vor der Verschluckungshypothese als einzigem Ausweg.

Der heute über die ganze Erde hin festgestellte Befund, daß die Faltengebirge nur von relativ dünnen, aber stark gefalteten und mehrfach überschobenen Oberschichten aufgebaut werden, läßt vom Standpunkte der Kontraktionstheorie aus nur zwei räumliche Lösungen zu.

Es könnte einmal unter einer relativ dünnen starren Hüllschichte gleich die Zone der molekularen Kontraktion beginnen. In diesem Falle würde der Faltungsüberschuß eines bestimmten geologischen Zeitalters der gleichzeitigen Schrumpfung des Untergrundes entsprechen.

Diese Annahme führt zu höchst unwahrscheinlichen Folgerungen für das ganze Faltungsbild der Erdoberfläche.

Es könnte aber auch unter einer wesentlich stärkeren Erdhülle stellenweise eine mehr gesteigerte Einschrumpfung tieferer Zonen stattfinden, während die darauf lagernde dünne Oberschichte heftig verfaltet wird.

Dieser letzteren Deutung bedient sich in ganz allgemeiner Fassung die Verschluckungshypothese.

Ich habe in den früheren Teilen dieser Untersuchungsreihe gezeigt, daß man auch mit der Verschluckungshypothese allein nicht das Auskommen finden kann, sondern noch machtvolle Verbiegungen im Streichen dazu treten, die Verengerungs- und Verbreiterungsbereiche schaffen.

Nach meiner Einsicht ist es ausgeschlossen, die Meckanik der Alpen mit einer langsamen und ruckweise gesteigerten Überschiebung von Afrika über Europa auflösen zu wollen, ob man nun diesem Vorgang auch noch so lange Dauer zuschreibt.

Auch Argand ist derselben Anschauung gewesen und hat darum seiner Grundhypothese der Aufpressung der Alpen zwischen Europa und Afrika noch die Hilfhypothese der ungleichen Vorauseilungen hinzugefügt.

Durch ein Vorauseilen der Falten in den Räumen zwischen entgegenstehenden Hindernissen sollen nämlich die bogenförmigen Anordnungen der Faltenzonen zustande gekommen sein.

In meinen Untersuchungen vom Jahre 1924 und 1926 habe ich bereits Bedenken gegen diese Deutung der Faltenbögen vorgebracht und letztere im Gegenteil als Verbiegungen von früher mehr geradlinig angeordneten Faltensträngen aufgefaßt.

Es ist meine Absicht, hier den Unterschied der vorliegenden Deutungen noch schärfer auszuziehen.

Nach Argand rückt die riesenhafte Masse von Afrika seit alter Zeit meist langsam, zeitweise aber auch rascher gegen und über die Masse von Europa vor.

Dadurch soll eine durchschnittlich etwa 1000 *km* breite Oberschichte zu der Faltenzone von Alpen—Karpathen—Apenninen—Dinariden.. zusammengestaut worden sein. Um aber die auffallend starken Verbiegungen dieser Faltenzonen verständlich zu machen, wird die Annahme gebildet, daß diese Bögen Vorauseilungen zwischen Hindernissen vorstellen, welche den allgemeinen, gleichmäßigen Vormarsch gebremst haben sollen.

Meine Ansicht geht dahin, daß von Anfang an hier getrennte Faltenstränge vorhanden waren, die durch angenähert nordsüdliche Bewegungen geschaffen worden sind.

Später wurden diese Faltenstränge durch mehr ostwestliche Strömungen stark verbogen und dabei bald eng aneinandergedreht, bald wieder weiter voneinandergerissen.

Die Alpen stellen eine solche Verengerungszone dar, während z. B. das ungarische Becken eine Aufreißung zwischen Karpathen und Dinariden bildet.

Zwischen diesen so grundverschiedenen Erklärungsversuchen von Argand und mir nimmt die Deutung von Kober eine Mittelstellung ein. Kober hält zunächst an der Grundvorstellung des Schraubstockes fest.

Bei regelmäßiger Ausbildung ist daher ein Faltengebirge nach seiner Auffassung nicht einseitig, sondern zweiseitig.

Die beiden Teile sind naturnotwendig durch entgegengesetzten Bewegungs- und Bausinn ausgezeichnet.

Die beiden Zonen starker Faltung können unmittelbar aneinanderstoßen, wie in den Alpen, oder es kann, wie zwischen Karpathen und Dinariden, ein sogenanntes „Zwischengebirge“ eingeschaltet sein.

Man erkennt auf den ersten Blick, daß die Deutung von Kober sich mehr der meinigen als jener von Argand nähert.

Nach Kober ist das „Zwischengebirge“ in den Alpen bis auf eine „Narbe“ zwischen den nord- und südbewegten Faltenzonen ausgequetscht. Der Unterschied zwischen meiner Deutung und jener von Kober ist also bezüglich des Zwischengebirges der folgende:

Nach Kober ist das „Zwischengebirge“ zwischen der nord- und südbewegten Faltenzone in dem Schraubstockmechanismus mehr oder weniger stark zusammengedrückt, bzw. ausgequetscht.

Nach meiner Deutung ist aber das „Mittelfeld“ infolge der mächtigen Verbiegungen im Streichen nirgends mehr in seiner ursprünglichen Breite und Struktur vorhanden, sondern je nach dem Sinne dieser Verbiegungen bald verengert, bald verbreitert.

Kober glaubt, mit einer Schraubstockmechanik auszukommen.

Ich versuche, die Gebirgsbildung zunächst unabhängig von der Erdkontraktion zu betrachten, und halte das Nacheinandereingreifen von verschiedenen gerichteten Strömungen für das Wesentliche.

Zu einer ähnlichen Meinung ist auch Koßmat gelangt, welcher sich vorstellt, daß weichere Schichtenbänder zwischen steiferen Schollen durch die Verschiebung der letzteren zusammengepreßt und im Streichen zu „Schlingen“ verbogen worden sind.

Meine Ableitung der Gebirgsbildung besteht unabhängig von dem Vorhandensein einer Kontraktion der Erde. Sie könnte auch bei einer Volumsvergrößerung der Erde wirksam sein. Die Kontraktion ist jedoch sehr wohl in stande, die Wirksamkeit von Strömungen zu unterstützen und zu verstärken.

Wenn wir die hier vorgelegten Überlegungen noch einmal kurz überfliegen, so können wir sagen, daß auch die heute in Mode stehenden Alpenbaumodelle noch große innere Unwahrscheinlichkeiten enthalten und verhüllen.

Die Alpen sind kein Gebilde, das aus lauter von S gegen N übereinander gehäuften Liegfalten und Schubmassen besteht.

Sie enthalten im Gegenteil vielfach Baustücke einer freien Gleitung und mehr Überschiebungen als Überfaltungen.

Viele der sogenannten Überfalten sind nie mehr als einzelne Roll- oder Walzfalten gewesen. Die sogenannten Wurzeln bedeuten vielfach nur einst beschriebene Bewegungsbahnen, u. zw. sowohl Ausgangsstrecken als auch Umkehrstellen oder Abreißungen.

Außerdem sind die Alpen durchaus nicht etwa in ihrem Bausinn einheitlich.

Wir haben schon Gleitgebilde von Pressungsgebilden unterschieden.

Es spielen aber auch große Verschiebungen im Streichen eine sehr wichtige Rolle, die ebenfalls von dem Nappismus ganz übersehen wird. Man kann daher die Mechanik des Alpenbaues gar nicht im Rahmen eines Querschnittes vollständig zur Darstellung bringen.

Die starken Verschiebungen im Streichen machen sich sowohl in den Nordalpen als auch in den Zentralalpen und Südalpen durch ein „Hakenwerfen“ der Faltenzüge häufig genug bemerkbar.

Ich halte die Verschiebungen im Streichen durchaus nicht für etwas Nebensächliches, sondern im Gegenteil für einen Strukturzug, dessen Beachtung und genaueres Studium zu neuen Einblicken führen wird.

Es ist schon hervorgehoben worden, daß weiter auch ausgedehnte Fehlzonen (Verschluckungen) und mächtige Aufdringungen von Schmelzflüssen zum Bauinventar der Alpen gehören.

Gegen O zu gewinnen auch Zerreißen immer mehr an Bedeutung und Einfluß. Die Morphologie hat uns gelehrt, daß die Höhenlage des Alpengebirges nicht mit der tektonischen Auffaltung streng zusammenhängt, sondern einem anderen darüber hinausgreifenden Rhythmus zugehört.

Wir sind endlich zu der Meinung gekommen, daß für die Auslösung der vielen großen Gleitfaltungen die Bewegtheit des Untergrundes von entscheidender Bedeutung war. Was bei ruhiger Grundlage kaum ausführbar gewesen wäre, hat der tieferschütterte, durch und durch bewegte und von Wärme durchflutete Bauuntergrund zur Möglichkeit erhoben.

Zum Schlusse möchte ich noch Folgendes zu prüfen geben:

Es ist scheinbar Gebrauch geworden, jede Kritik an dem Nappismus wenn nicht schon als eine Art von Verbrechen, so doch als den Beweis von Rückständigkeit und Beschränktheit hinzustellen.

Das heißt nichts anderes, als der Kritik jeden Wert von geistiger Mit- und Weiterarbeit abzusprechen.

Das wird kein Einsichtiger, wenn er sein eigenes Geistesleben prüfend überschaut, bestätigen wollen.

In Wirklichkeit sind auch zahlreiche Änderungen im Aus- und Umbau aller tektonischen Hypothesen vor allem durch die Kritik erzwungen worden.

Und so halte ich auch diese ebenso gut für ein Werkzeug des Fortschrittes als das Herbeitragen und Vermehren des geologischen Beobachtungsmaterials.

Wien, März 1928.

Dieser Aufsatz war schon gedruckt, als mir ein Bericht über einen Vortrag von G. Kirsch in die Hände kam, den derselbe am 9. Februar dieses Jahres in Wien in der Fachgruppe der Berg- und Hütten-Ingenieure über das „Radium in der Wärmewirtschaft der Erde“ gehalten hat.

Dieser Vortrag beschäftigt sich in einer sehr interessanten Weise mit den Wärmeverhältnissen der Erde und auch mit der Frage der Kontraktion und ihrer Folgewirkungen.

Kirsch geht von folgender Überlegung aus. Die Vorstellung, daß unsere Erde ein sich stetig abkühlender Körper sei, ist in dieser einfachen Fassung nicht mehr zu halten. Hätte sich die Erde seit ihrer Erstarrung einfach abgekühlt, so könnten seit jener Zeit bis heute nur etwa 20 Millionen Jahre vergangen sein.

Dieser Zeitraum muß aber nach den geologischen Ereignissen unbedingt ein vielfach längerer gewesen sein.

Auch würde die Zusammenziehung der Erde in diesem kurzen Zeitraum nur einen Betrag an Oberflächenverkleinerung ergeben, der keine Erklärung der beobachteten Gebirgsbildungen zuließe.

Schließlich müßte auch die Gebirgsbildung räumlich und zeitlich viel gleichmäßiger auf der Erde verteilt sein.

Die Altersbestimmungen für die geologische Geschichte der Erde, gemessen an radioaktiven Mineralien aus dem Verhältnis der Zerfallsprodukte (Blei und Helium) zu den Muttersubstanzen (Thor und Uran), ergeben annähernd übereinstimmend einen Wert von ca. 1600 Millionen Jahren.

Unter der Voraussetzung dieser Altersangabe und einer geothermischen Tiefenstufe = 1°C auf je 32 m läßt sich die Mächtigkeit der radioaktiven Oberflächenschichte der Erdkugel zu etwa $13\text{--}16\text{ km}$ errechnen.

Wenn man auch noch die schwache Radioaktivität des weitverbreiteten Kaliums in Betracht zieht, so müßte man die Dicke der Kalium-Thorium und Uran führenden Gesteine auf weniger als 10 km reduzieren, wenn man die Folgerung vermeiden wollte, daß die Erde gegenwärtig an Wärmegehalt zunimmt. Die Vorstellung der sich stetig abkühlenden Erdkugel wird dadurch gänzlich unhaltbar. Die für die Gebirgsbildungen erforderlichen Kompressionsbeträge sind jedoch auch bei einer Abkühlungsdauer von ca. 1600 Millionen Jahren nicht zu erhalten. Die Erkenntnis dieser mächtigen neuen, eigenen Wärmequellen des Erdkörpers eröffnet auch neue Ausblicke auf die Großtektonik unserer Erdkruste.

Zunächst wird durch diese Eigenwärmung auf alle Fälle der Prozeß der Abkühlung der Erdkugel außerordentlich verzögert. Es ist aber auch möglich, daß sogar eine Umkehrung stattfindet und die Temperatur der Erdkruste ansteigt.

Die starke Verzögerung der Erdabkühlung setzt natürlich auch die Kontraktionswirkung außerordentlich herab. Eine Umkehrung des Temperaturgefälles würde sogar eine Ausdehnung der äußeren Erdhülle bewirken. Eine Ausdehnung der Erdhülle über einem gleichbleibenden Kern könnte zu einer Runzelung der ersteren führen, doch kaum zu einer lokal stark betonten Gebirgsbildung. Wenn man jedoch in der Erdkruste nicht eine gleichmäßige, sondern eine ungleichmäßige Verteilung der radioaktiven Bestandteile annimmt, so ist die Möglichkeit zu Konvektionsströmungen im „Magmaozean“ gegeben.

Damit stehen auch für die tektonischen Umformungen der Erdkruste wesentlich stärkere Motoren zur Verfügung.

Die Versuche von J. Joly und H. Holmes, die Tektonik der Erdkruste auf radioaktive Vorgänge zurückzuführen, gehen von der Annahme einer isostatischen Verteilung von Kontinentblöcken und Meeresbecken aus. J. Joly stellt sich vor, daß etwa die großen Deckenbasaltergüsse den Durchschnitt des subkontinentalen Materials vorstellen. Diese basaltischen Massen weisen nur etwa ein Drittel der Radioaktivität der granitischen Massen auf. A. Holmes nimmt unter einer basaltischen

noch eine tiefere peridotitische Magmaschicht mit etwa siebenmal geringerer Radioaktivität an. In den Kontinentaltafeln staut sich die Wärme an, bis es zum Aufschmelzen kommt. Auch unter den Meeresböden tritt endlich Schmelzen ein.

Nun können zwischen den ungleich schweren Massen Konvektionsströmungen wirksam werden.

Die Ozeanböden kühlen sich rascher ab und so kann sich das Magma wieder verfestigen. Ist ein solcher Zyklus abgelaufen, so beginnt das Spiel von neuem. Das Schmelzen und Erstarren von mächtigen Zonen des Erdinnern bedeutet jedesmal Expansion und Kontraktion an der Erdoberfläche.

Die mit dem Schmelzen verbundene Dichteänderung bewirkt weiter eine verschiedene Schwimmlage der Kontinente.

Während des Schmelzens sollen die Kontinente sinken und bei der Verfestigung wieder ansteigen.

Nach A. Holmes würde die Erdgeschichte etwa 40 kleine Basaltzyklen und sechs große umfassen, von denen die Hälfte auf das Präkambrium entfällt und die letzten drei den Anlaß zur kaledonischen, variszischen und alpinen Gebirgsbildung geben. Gegenwärtig soll das Erdinnere im wesentlichen fest sein und dementsprechend die Kontinente hochliegen. Ich habe nicht die Absicht, hier in eine nähere Besprechung dieser geologischen Hypothesen einzutreten. Ich möchte nur festhalten, daß die in meiner Untersuchung abgeleiteten Grundlinien des Aufbaues der Alpen mit den Ergebnissen der Radiumforschung unschwer vereinbar sind.

Seit 1906 habe ich vom Bewegungsbild der Faltengebirge ausgehend die Unmöglichkeit hervorgehoben, die irdischen Faltungen einfach als Kontraktionswirkungen des sich stetig abkühlenden Erdkörpers zu erklären. Ich habe weiter die tektonischen Großformen der Erdoberfläche als Abbildungen von Bewegungsvorgängen des tieferen Erdinnern aufgefaßt.

Dies ist nur möglich, wenn die Erde auch in ihren tieferen Zonen noch erhebliche Unregelmäßigkeiten aufweist. Die Radiumforschung scheint mir berufen zu sein, hier schärfere Einblicke zu eröffnen und neue Möglichkeiten für die Tiefentektonik zu erschließen.

Ihr Erklärungsinventar ist ein viel reicheres als das der alten Kontraktionshypothese. Sie hat nicht nur eine, sondern viele Abkühlungsreihen zur Verfügung, die durch Erwärmungsreihen getrennt werden. Schmelzen und Erstarren kann in vielfachem Wechsel vor sich gehen.

Damit aber sind umfangreiche Massenströmungen im schmelzflüssigen Untergrund gegeben, deren Wirkungen die äußere Erdhülle widerspiegelt und in ihrer starren Formensprache wenigstens eine Zeitlang aufzubewahren vermag.

Wien, April 1928.

