©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen.

(V. Fortsetzung und Schluß.)

Von **Otto Ampferer.**

(Mit 12 Zeichnungen.)

Während die ersten fünf Teile dieser Untersuchung einem reinen Vorwärtsschreiten in tektonischen Fragen und Antworten gewidmet waren, bleibt diesem Schlußteil neben dem Vorwärtsgehen doch notwendig auch eine Rückschau vorbehalten.

Diese Rückschau bildet den zweiten Abschnitt der vorliegenden Arbeit und bringt auch eine Übersicht des wichtigsten Inhalts aller früher erschienenen Teile.

Von der Überzeugung ausgehend, daß sich zu ausgedehnte und zu komplizierte Profile auf alle Fälle unserer Einsicht und unserem Verständnisse entziehen, war und ist es mein Bestreben, wenigstens die einzelnen Teilstücke in ihrer Mechanik zu begreifen.

Ich habe diesen Weg zur Auflösung von tektonischen Bauformen sehr häufig mit Vorteil benutzen können.

Ich erinnere hier nur an einige wenige Beispiele, wie die „Mulde ohne Sohle", die Struktur des „mühsamen Berganstieges einer Schubmasse", die „Stirneinrollung", die „Faltennudeln"...

Jedenfalls kommt man mit dieser Methode zwar langsamer, aber sicherer vorwärts als mit den völlig undurchsichtigen und tektonisch unkontrollierbaren Wucherformen der Überfaltungshypothese.

Ich möchte mich nun in dieser Arbeit zunächst mit den Verbindungsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Teilbaustücken eines größeren Profiles beschäftigen.

Wer sich in gut aufgeschlossenen und zusammenhängend erforschten Gebieten mit der Aneinanderreihung der einzelnen geologischen Bauformen beschäftigt hat, kommt unschwer zu der Einsicht, daß hier unter zahlreichen theoretisch möglichen Verbindungen nur eine ziemlich engbegrenzte Gruppe zur praktischen Verwendung gekommen ist.

Um diese Behauptung zu illustrieren und anschaulicher zu machen, will ich zunächst eine Reihe von Formverbindungen vorführen, die in der Natur nicht verwirklicht worden sind.

Der Einfachheit wegen benutze ich als Bauformen nur Modelle von Mulden und Sätteln sowie von unverbogenen Elementen. Die Variationsfähigkeit solcher Reihengebilde ist eine sehr große, da sowohl die Größe und Form der einzelnen Glieder, ihre Reihenfolge und vor allem auch die Niveaulage der Reihung veränderlich sind.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Der einfachste Fall ist gegeben durch eine Reihung von lauter gleichen Bauelementen auf ebener Bausohle. (Fig. 1.)

Die Bogenstücke können dabei als Sättel oder als Mulden aneinandergereiht sein. Die Bindung der Bauelemente kann durch Knickung oder durch Brechung ausgeführt werden.

Die tektonische Geologie kennt in ihrer Erfahrung nirgends auf der Erde diese einfachste Art der Baureihung.

Sie kennt aber auch die folgenden hier nur als Beispiele aufgeführten Reihungen nicht. (Fig. 2.)

Kombination von Bogenstücken mit geraden Strecken. (I)
Kombination von kleinen und großen Bogenstücken. (II)
Kombination von ungleichen Sätteln zu Paaren. (III)
Reihung auf schräger Bausohle. (IV)
Reihung auf gestaffelter Bausohle.
Reihung auf verbogener Bausohle.

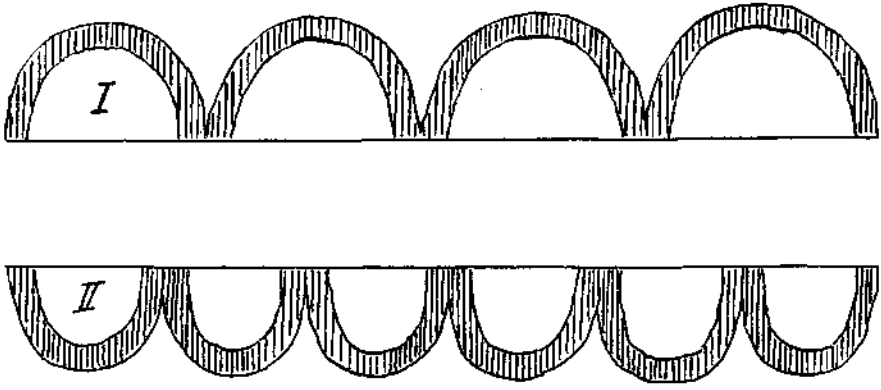

Fig. 1. I Reihung von Sätteln. II Reihung von Mulden.

Man sieht jedenfalls schon aus diesen wenigen Beispielen, wie verhältnismäßig engbegrenzt das wirklich verwendete Reihungsinventar der tektonischen Geologie ist.

Es erhebt sich nun die Frage, was eigentlich die tatsächlich vorhandenen Reihungen von der weit größeren Schar der theoretisch möglichen unterscheidet.

Da drängt sich sofort die alte Erfahrung auf, daß vor allem jeweils entgegengesetzt gebogene Teilelemente aneinandergereiht werden. Es gehört meist ein Sattelstück mit einem Muldenstück zusammen und diese zwei Elemente ergänzen sich zu einer „Falte".

Nun gibt es zwar in der Natur verhältnismäßig gar nicht häufig regelrecht ausgebildete Falten, wohl aber kann man in sehr vielen Fällen einer Falte angenäherte Verbiegungen der Schichten feststellen.

Die Schwierigkeit für die Verfolgung der Faltformen liegt einerseits darin, daß meistens die obere Umbiegung von der Erosion zerstört wurde, anderseits sich die untere Umbiegung der Beobachtung in der Teufe entzieht.

Dies gilt natürlich nur für die Großfalten.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Ganz anders liegen die Verhältnisse für die Kleinfalten, die sich vielfach bereits an einem angeschliffenen Handstück in wunderbarer Vollständigkeit beobachten lassen.

Das Problem der Reihung der Kleinfaltenelemente ist trotz vieler Ähnlichkeit aber doch verschieden von jenem der Reihung der Großfaltenelemente.

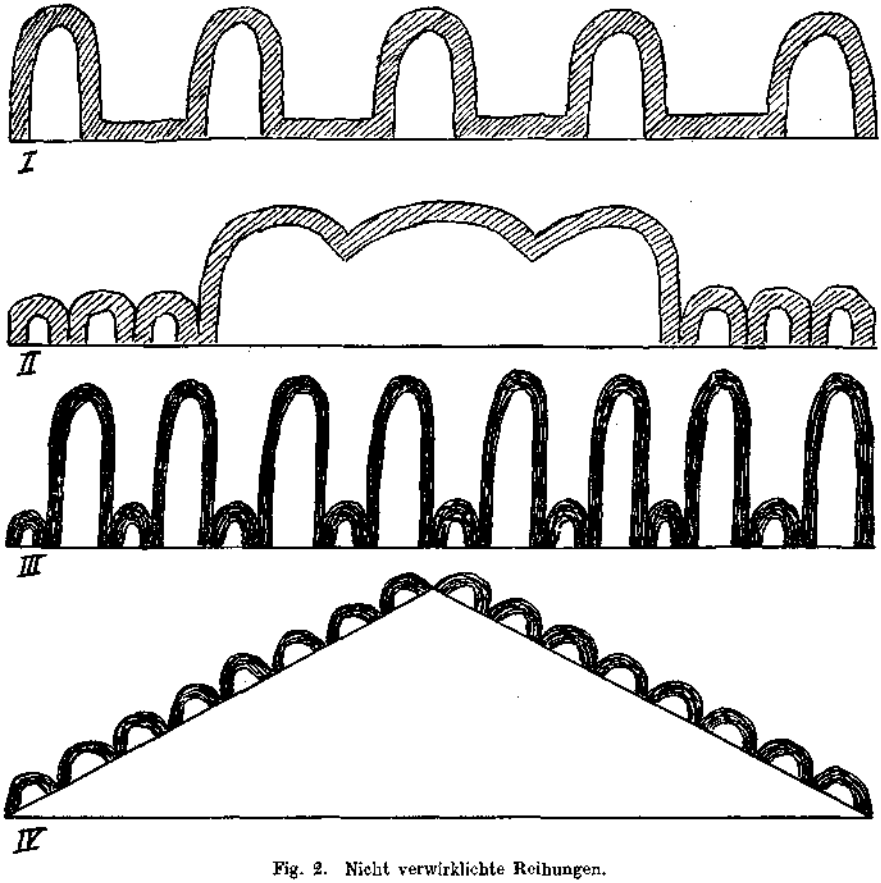

Fig. 2. Nicht verwirklichte Reihungen.

Diese Verschiedenheit ist vor allem darin begründet, daß sich die Kleinfaltung zumeist in einem allseits umschlossenen Arbeitsraum ausgebildet hat, während für die Großfaltung doch immer die Freiheit gegen oben oder gegen eine Seite hin in Betracht kommt.

Diese Entlastung und Ausweichmöglichkeit ist häufig keine vollständige, sondern nur eine relative.

Immerhin ist sie imstande, sowohl die Ausbildung der Einzelfalten als auch die Aneinanderreihung derselben leitend zu beeinflussen.

Die Unterscheidung der Reihung der Großfaltenelemente und jener der Kleinfaltenelemente läßt sich aber bei genauerer Betrachtung noch wesentlich schärfer betonen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Großfaltenreihungen zeichnen sich meist dadurch aus, daß sie gegen unten schon infolge der beschränkten Fassungskraft der einzelnen Teilstücke einen natürlichen Abschluß besitzen.

Dieser natürliche Abschluß kommt durch ein Ausklingen des Faltenausschlages zustande. In die Satteläume einer bestimmten Faltung kann nur eine beschränkte Schichtengruppe aufgenommen werden. Die darunterliegende Schichtengruppe kann an diesem Faltenplan schon nicht mehr gleichsinnig teilnehmen.

Es ist naheliegend, daß eine derartige Bausohle von Falten, wenn dieselbe vielleicht später in eine schräge Lage gerät, sehr leicht zu einer Gleitfläche umgearbeitet werden kann. (Fig. 3.)

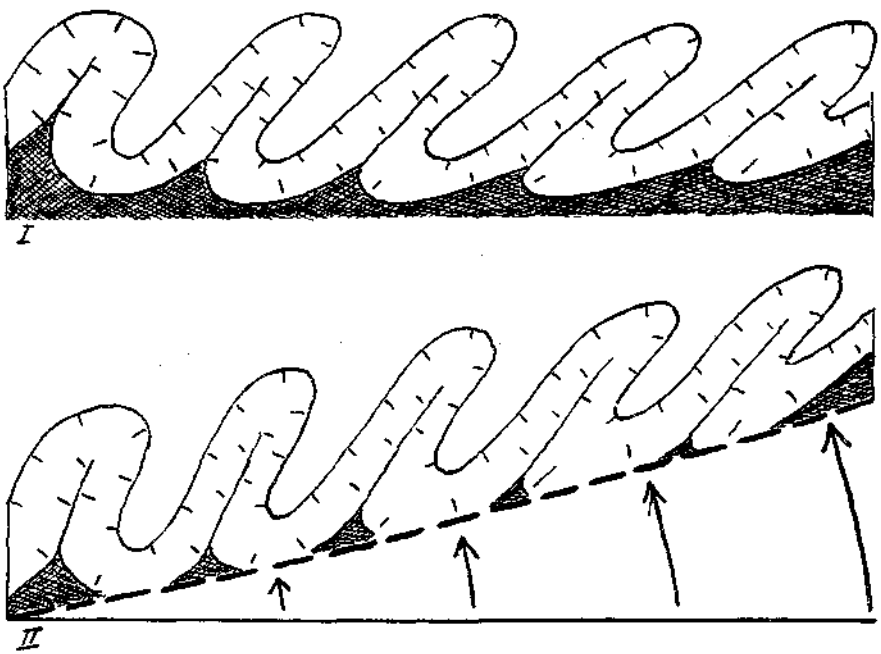

Fig. 3. I = Ausklingen einer Hochfaltung gegen die Teufe. II = Durch Schrägstellung wird die Bausohle der Hochfaltung in eine Gleitbahn verwandelt.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei der Reihung von Kleinfalten.

Hier ist die Reihung der Falten nicht mehr eine unabhängige, sie muß vielmehr mit der Reihung der darüber- und darunterliegenden Schichten in einem gewissen Einklang stehen. Die einzelnen ungefalteten Schichten, die von sehr verschiedenartiger Beschaffenheit sein können, werden bei umschließender Zusammenpressung nicht nur alle auf dasselbe Maß der Verkürzung gebracht, sondern auch so aneinandergepreßt, daß sich alle Zwischenlücken schließen.

Dies ergibt gegen das Bild der oberflächenfreien Reihung der Großfalten einen sehr charakteristischen Unterschied und zugleich weitere Einblicke in die Bedingungen, unter denen eine solche Faltung vor sich gegangen ist.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Ich versuche im folgenden, eine schematische Darstellung der hier vorliegenden Probleme zu geben.

Unter „Schließfaltung" verstehe ich, daß die Reihungen verschiedener gefalteten Schichten nicht nur dieselbe räumliche Verkürzung erfahren haben, sondern daß auch die benachbarten Schichten nach der Faltung so aneinanderschließen wie bei der horizontalen Ausgangslagerung. Es können, wie Fig. 4 zeigt, verschiedene Schichten genau dieselbe räumliche Verkürzung erfahren haben, ohne jedoch irgendwie aneinanderzuschließen.

Daher ist zwischen einer bloß in ihrem Endergebnisse gleichen Verkürzung und einer Schließfaltung derselben Schichten ein großer Unterschied.

Der einfachste Weg, um z. B. im Experimente eine ziemlich gute Schließfaltung zu erhalten, besteht darin, zuerst eine bestimmte seitliche

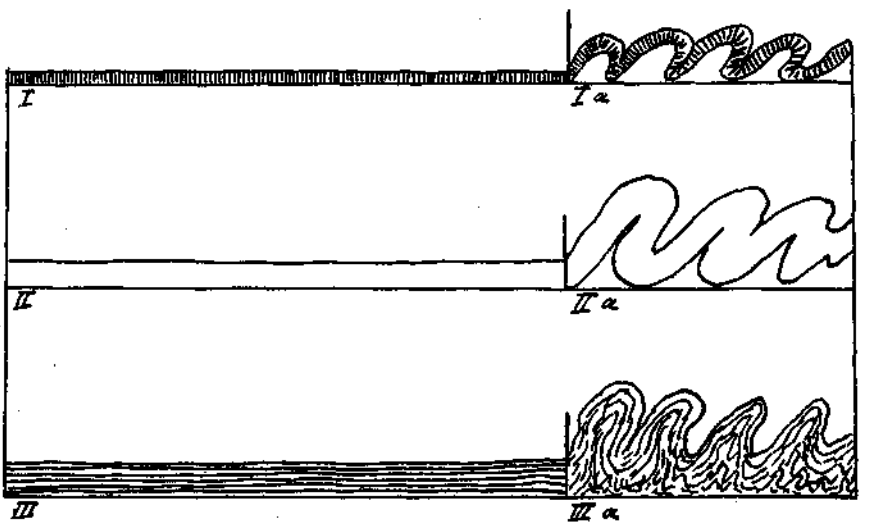

Fig. 4. Die Schichtenteile I, II, III werden durch Zusammenschub auf dieselbe Verkürzung gebracht und ergeben dann die Reihungen I *a*, II *a*, III *a*.

Zusammenpressung herbeizuführen, dann diese festzuhalten und nun die entstandenen Falten so stark vertikal zu pressen, bis sich alle Hohlräume schließen.

Fig. 5 illustriert in Umrissen diesen Vorgang, der aber nicht der Weg ist, auf welchem in der Natur die Schließfaltungen gebildet wurden.

Es soll damit nur gezeigt werden, daß die Funktion des Schließens der Faltenlücken eine geologisch beachtenswerte Rolle spielt.

In dem Bilde von Fig. 4 werden zunächst mehrere verschieden starke Schichten um gleiche Beträge seitlich zusammengepreßt. Es ergibt dies die Faltbilder I_a, II_a, III_a.

Nun wird der Versuch in der Weise wiederholt, daß vier verschiedene Schichten zusammengefaltet werden.

Hier zeichnet die mächtigste Schichte das Faltbild vor, dem sich die schwächeren anschmiegen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In diesem Faltbild ist eine Schließfaltung der Schichten gegeneinander vorhanden, jedoch nicht gegenüber ihrer Basis.

In dem untersten Schema ist durch Einwirkung von entsprechendem Vertikaldruck endlich eine annähernd vollständige Schließfaltung erreicht. Diese Schließfaltung ist nur mit dem Material der verwendeten Schichten zustande gekommen.

Das Maß der erreichten Schließdichte hängt davon ab, ob genügend Material vorhanden ist, welches bei den auftretenden Drucken so plastisch wird, um in die Lücken zu wandern.

Außerdem spielt natürlich die Zeit eine wichtige Rolle für das Ausfüllen der Faltenlücken.

Bei einer raschen Zusammenpressung wird die Schließung der Lücken weit unvollkommener gelingen als bei langsam vorschreitender Pressung.

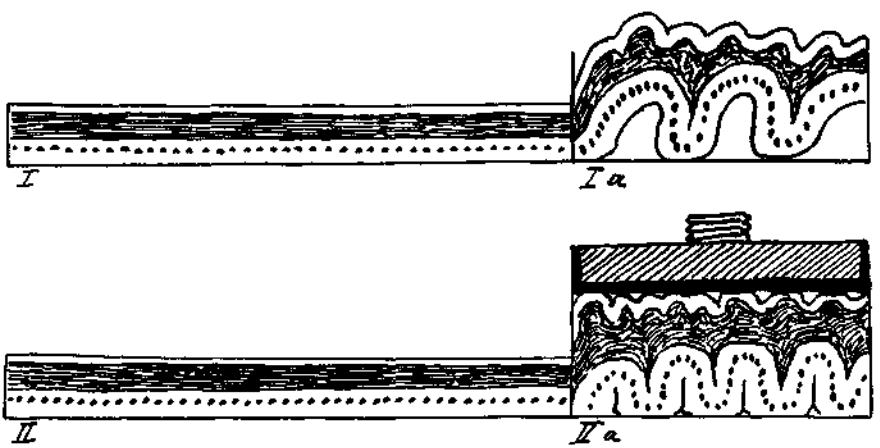

Fig. 5. Die Schichtfolge I wird durch Zusammenschub zu der freien Reihung I*a* umgeformt. Die freie Reihung I*a* wird dann durch Vertikaldruck zu der geschlossenen Reihung II*a* gepreßt.

Die Vollkommenheit der Schließung der Faltenlücken ist also in gewissem Sinne ein Maß für die Geschwindigkeit der Faltenbildung.

Je langsamer und bedächtiger die Falten gebildet werden, desto vollkommener ist auch die Lückenschließung.

Es kann aber auch durch erhöhten Druck und vor allem durch das Mitspiel von Lösungen ein verhältnismäßig rasches und dichtes Lückenschließen erreicht werden.

Das Mitspiel von Minerallösungen ändert die Schließung von Faltungslücken in mannigfacher Hinsicht ab.

Es kann sich hier einerseits um ein gleichzeitiges Zusammenwirken von Faltung und Lösung handeln, anderseits kann die Lösung ungleichzeitig mit der Faltung auftreten.

Im allgemeinen dürften Schichten mit einem Lösungsgehalt leichter zu falten und daher wohl auch leichter zu schließen sein.

Bei einem gleichzeitigen Zusammenspiel von Faltung und Lösung wird der Lösung, als dem beweglichsten Teil der Materie, die erste Rolle bei der Schließung der durch die Faltung hervorgerufenen Lücken zufallen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Hiebei sind nun verschiedene Möglichkeiten für den Vorgang einer solchen Lückenschließung gegeben.

Es können z. B. Lücken einfach aufgerissen werden, die von der Faltung nicht mehr weiter beansprucht und umgebildet werden.

Solche stabile Hohlräume können dann von den vorhandenen Lösungen in aller Ruhe ausgefüllt werden. Es werden also bei diesen Lückenschließungen die ungestörten Kristallisationen der Lösungen ihr Spiel zu Ende führen können.

Ganz anders wird aber die Lückenschließung verlaufen, wenn die fortschreitende Faltung die einmal aufgerissenen Lücken immer wieder umformt und weitergestaltet.

Hier eröffnen sich wieder für die Detailausführung der Lückenschließung zahlreiche Möglichkeiten.

Entscheidend ist das Verhältnis der Bauzeit der Lücken zu der Bauzeit der Lösungsausscheidungen. Ist die Umformung der Hohlräume rascher als die Ausscheiduug der Lösungen, so wird die letzte festgehaltene Form der Lücken erst von den Lösungen eine Dauerauskleidung erhalten können.

In sehr vielen Fällen wird aber z. B. die tektonische Umformung der Lücken ruckweise mit eingeschalteten Stillständen vor sich gehen.

In diesen Fällen ist eine mehrmals begonnene Mineralauskleidung zu erwarten, die jeweils wieder von der Tektonik unter- und zerbrochen worden ist.

Wir haben also eine Lückenfüllung vor uns, in welcher die Mineralausscheidungen mehrmals von tektonischen Gewalteingriffen gestört worden sind.

Hier treten in der Natur sehr viele Fälle auf, welche die verschiedensten Kombinationen in den Geschwindigkeiten und Zeitverhältnissen zwischen unregelmäßiger Tektonik und verschiedenartiger Mineralausscheidung in der Füllstruktur der Faltungslücken abbilden.

Die Mehrzahl dieser Fälle wird durch eine Art von Breccienstruktur charakterisiert.

Diese Breccien kommen dadurch zustande, daß die teilweise ausgeführten Wandverkleidungen der Hohlräume durch die fortschreitende Umformung des Hohlraumes wieder zerrissen werden und nun als Trümmer von der nächstfolgenden Mineralauskleidung umwachsen werden.

Da zugleich mit der fortschreitenden Umformung der Faltungshohlräume auch jeweils der Bereich und Umfang der Lösungsmittel verändert wird, so lassen sich häufig die einzelnen Lösungskleider an ihren verschiedenen Farben und verschiedenen Mineralstoffen gut voneinander unterscheiden.

Es liegt im Sinne der Faltung, daß innerhalb eines größeren Faltungskörpers das Öffnen und Schließen von Faltungslücken durchaus nicht etwa gleichmäßig oder etwa rhythmisch erfolgt.

Es kann sehr wohl die Schließung von Lücken mit dem Aufreißen von neuen Hohlräumen zeitlich zusammenfallen.

Daher darf man aus der Struktur einzelner Lückenfüllungen noch lange nicht auf Gesamtverhaltungen größerer Faltungsmassen schließen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Viel einfacher gebaute Lückenfüllungen ergeben sich, wenn die Lösungen ganz oder doch in der Hauptsache erst nach der bereits vollzogenen und starr verbliebenen Aufreißung zu Wirksamkeit gelangen.

Hier sind keine Druckwirkungen von den Seiten der Hohlräume auf die darin befindlichen Lösungen mehr zu erwarten. Die Ausscheidung der Mineralstoffe kann also lediglich nach dem Mineralgehalt sowie dem Druck und der Temperatur der Lösungen vor sich gehen. Von den Seitenwänden der Lücken gehen keine mechanischen Wirkungen, sondern höchstens noch chemische auf die Lösungen über.

Sehr wichtig bleibt bei dieser starren Anordnung der Hohlräume, ob die einzelnen Lücken je für sich abgeschlossen sind oder mehr weniger weitreichende offene Verbände bestehen.

Wir wissen heute, daß der Bestand von offenen Gerinnen selbst noch in großen Erdtiefen möglich ist.

Im Falle des Bestandes von offenen Gerinnen ist auch die Möglichkeit einer Auslaugung der Hohlräume gegeben.

Durch die Wegführung von gelösten Stoffen können die Faltungslücken wesentlich vergrößert werden. Kommen endlich ausgedehntere unterirdische Gerinne zustande, so kann das unter hohem Druck stehende und bewegte Wasser oft bis ins Gigantische gesteigerte Hohlwege erzeugen.

Solche Räume machen sich dann vielfach durch mächtige Einbrüche der Hangendschichten bis zur Erdoberfläche bemerkbar.

Solche von großen Hohlräumen durchbohrte Kalkmassen müssen auch, wenn sie zu einer neuen Tektonik als Bausteine verwendet werden, sehr unregelmäßige und wirre Bauwerke liefern.

Sie werden keine Biegungen ohne ein Zerbrechen in unregelmäßige Teilschollen mehr vertragen.

Die einzelnen Schollen werden außerdem mit ihren Rändern nicht mehr zusammenpassen, wodurch sich diese durch Hohlräume veranlaßten Zerreißungen von rein mechanischen Zerreißungen von unzerbohrten Kalkplatten unterscheiden.

Die gar nicht selten an tektonisch zerbrochenen Kalkmassen auftretenden, einwärts gewölbten Begrenzungen sind vielleicht am einfachsten als Bruchstücke von alten Höhlenwandungen aufzufassen.

Wie diese kurzen Ausführungen zeigen, bedeutet die Untersuchung der bei der Faltung oder Schiebung notwendig auftretenden Lücken eine auch für die Tektonik größerer bewegten Massen wichtige Ergänzung.

Das Auftreten der Lücken ist nicht nur bei der Faltung der obersten Schichtmassen zu erwarten, es reicht bis in sehr große Tiefen und erlischt erst im Gebiete der magmatischen Aufschmelzungen.

Sind in einer Schichtfolge, welche der Faltung unterliegt, große Unterschiede der einzelnen Schichten in bezug auf Widerstandsfähigkeit gegen die Verbiegung vorhanden, so werden die stärker widerstehenden Lagen gegenüber den nachgiebigeren bei der Vorzeichnung des „Faltungsplanes“ die Führung übernehmen.

Die Reihung der Faltenelemente wird daher weitreichend von der Reihung der festeren Schichten vorgezeichnet.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Es werden in einem System weicherer und festerer oder auch dünner und dicker geschichteten Gesteine die festeren oder die dickeren Lagen die Vorzeichnung des Faltenplanes, die weicheren oder dünneren dagegen die Nachzeichnung übernehmen. Die führenden Lagen eilen in der Faltung gleichsam etwas den schwächeren Lagen zeitlich und räumlich voraus.

Sie zeichnen das „Faltungsmuster" vor, das dann die schwächeren Lagen im Detail nachbilden.

Schichtfolgen mit einem lebhaften Wechsel von starreren und weicheren Lagen sind vor allem befähigt, den Anforderungen einer starken Verkürzung gut zu entsprechen.

Dagegen besitzen Schichten von gleichmäßiger, starrer Beschaffenheit oder Serien von dicken Schichtbänken wenig Geschmeidigkeit und zeigen Faltungsbilder, die durch die vielen nicht oder nur schlecht ausgefüllten Faltungslücken bemerkbar sind.

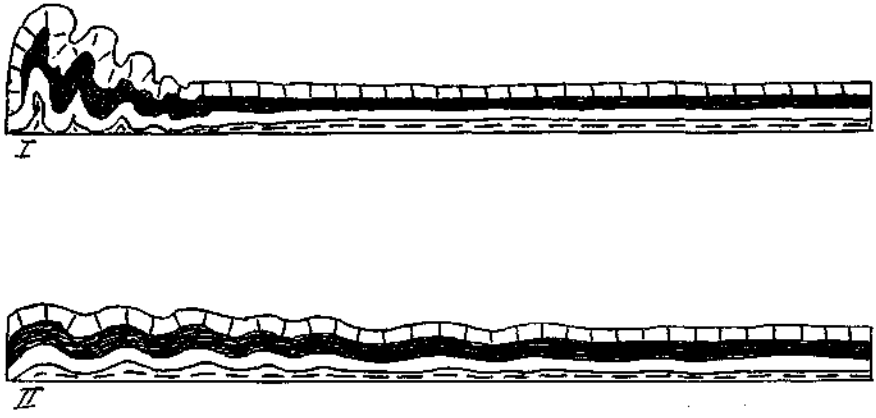

Fig. 6. I Aufwulstung durch einen raschen Stoß. II Faltung durch langsamen Anschub.

Ein weiterer für die Ausführung der Reihungen und der Schließfaltung sehr wichtiger Umstand liegt dann in der Geschwindigkeit des Faltungsvorganges begründet.

Derselbe kann z. B. stoßartig erfolgen oder als langsam anwachsender Schub sich auswirken.

Im ersten Falle trifft der Anstoß auf ein ruhendes Schichtsystem und formt nur die zunächstliegenden Massen um.

Es fehlt die Zeit für eine weitere Ausbreitung, weil der Stoß sehr rasch verklingt.

Die Wirkung des Stoßes kann an sich sehr beträchtlich sein. Sie bleibt auf die nächste Umgebung der Stoßstelle beschränkt und drückt sich, wie Fig. 6 schematisch darstellt, mehr durch eine Aufwulstung als durch eine Faltung aus.

Von einer Schließfaltung ist bei einem so kurzen Anstoß wohl kaum zu reden.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse, wenn auf eine ruhende Schichtfolge ein langsam vordringender Zusammenschub ausgeübt wird.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In diesem Falle pflanzt sich die durch den Schub erzwungene Umformung wesentlich weiter und regelmäßiger fort.

Die Faltungswellen ergreifen ein viel ausgedehnteres Feld.

Auch für diese Reihung und Ausbreitung von Faltungswellen spielen die Materialunterschiede eine wichtige Rolle.

Es gelingt z. B. auch bei langsam vorschreitendem Schub nicht, sehr weiche und plastische Schichten zu einer weiterreichenden Ausbildung von Faltwellen anzuregen.

Diese Schichten stauen sich unmittelbar vor der Angriffsstelle zusammen, ohne die ihnen aufgezwungene Raumverkürzung in der Form von Faltungswellen über einen größeren Raum zu verteilen.

Wir erkennen auch hier wieder, wie wichtig für eine regelrechte Reihung von Falten der Besitz von steiferen Gesteinslagen in einem Faltungskörper ist.

Sie sind die eigentlichen Träger und Leiter der Faltung. Die weichen Lagen schmiegen sich nur ihrer Vorzeichnung an.

Dieses Gesetz findet man in der Natur bei der Untersuchung der wirklich ausgeführten Falten auf Schritt und Tritt bestätigt.

Zwischen den steiferen Gesteinsverbänden, welche den Faltungsplan im großen beherrschen, erscheinen die weicheren Schichten vielfach als Ausfüllmittel für die kleinen und größeren Lücken.

Dabei zeigen diese zwischengelagerten weichen Schichten innerhalb solcher Lücken eine häufig ganz unglaublich wilde und phantastische Verfaltung.

Man würde weit fehlgehen, wenn man aus dieser wilden Lückenfaltung auf eine ebenso gesteigerte Großfaltung schließen wollte.

Wir haben uns bisher nur mit der Reihung von Falten beschäftigt, deren Bauachsen mehr minder horizontal verlaufen.

In der tektonischen Geologie treten aber auch Reihungen von Falten auf, welche vertikale Bauachsen besitzen.

Sie sind nicht so häufig wie die horizontalachsigen Falten, nehmen aber dafür stellenweise weit großartigere Dimensionen an.

Ich brauche da nur an die Schlingen der großen Faltungszonen, wie z. B. jene der mediterranen Gebirgszüge, zu erinnern.

Die vertikalachsigen Faltungen sind von den horizontalachsigen wesentlich unterschieden, u. zw. vor allem durch ihr Verhältnis zur Schwere.

Während bei der horizontalachsigen Faltung ein entgegengerichtetes Heben und Senken der Massen notwendig eintritt, können bei der vertikalachsigen Faltung alle teilnehmenden Massen in ihrem Schwerefeld verbleiben.

Dies gilt natürlich nur für jene Verbiegungen, die ohne seitliche Zusammenpressungen vor sich gehen.

Bei den in der Natur beobachtbaren vertikalachsigen Faltungen sind wohl stets auch gleichzeitig horizontalachsige mitbeteiligt.

Die vertikalachsige Verbiegung kann äußerlich viele Ähnlichkeit mit dem Schlingenbild von Flußmäandern aufweisen.

Die Faltung ist jedoch eine Reihung von Biegungen, welche nicht nur periodisch die Richtung ändern, sondern die auch gegenseitig voneinander abhängig sind.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Bei den Biegungen eines Flußlaufes besteht dagegen eine gegenseitige weitreichende Unabhängigkeit.

Die Ähnlichkeit ist also nur äußerlich, aber nicht innerlich.

Dagegen ist es möglich, daß durch Strömungen im Erdinnern die oberflächlichen Gesteinsschollen ergriffen und längs der Strömungsbahn in Bewegung versetzt werden.

Dieses Bewegungsbild ist mit dem Bilde eines Stromes zu vergleichen, auf dem dichtgereihte Treibeisschollen schwimmen.

In einem solchen Schollentreibstrom werden die Biegungen in seiner Bahn völlig anders ausgeführt als bei einer Verbiegung mit Vertikalachsen.

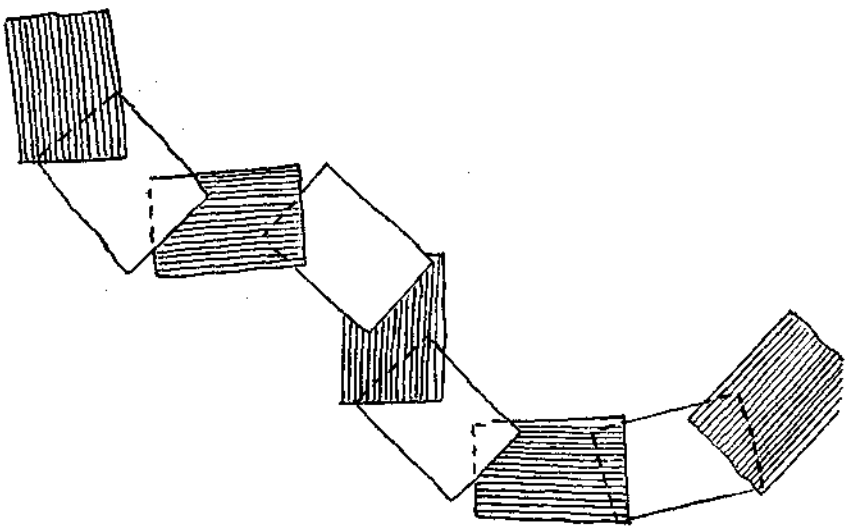

Fig. 7. Biegungen im Bereiche eines Treibstromes durch Übereinanderschieben und Drehen von Teilschollen.

Fig. 7 stellt schematisch den Vorgang einer Biegung innerhalb eines Treibstromes dar. Wir sehen sofort, daß die bogenförmige Anordnung der Schollen mit einer wirklichen Biegung nichts mehr zu tun hat.

Während bei einer richtigen Verbiegung an der Außenseite Dehnung, an der Innenseite Pressung auftritt, kann hier sowohl an der Innen- als auch an der Außenseite Pressung auftreten.

Es ist aber auch möglich, daß an der Biegung innen und außen Dehnungen auftreten.

Wir haben eigentlich eine Verschleppung von Schollen in gebogener Anordnung vor uns.

Das Auftreten von Pressungen und Dehnungen hängt innerhalb eines Treibstromes nicht allein von der Bahnkrümmung ab, sondern auch von der Umgrenzung, Größe und Materialbeschaffenheit der einzelnen treibenden Schollen.

Insbesondere ist die Größe und Form der Schollen in einem Treibstrome für die Ausführung von Krümmungen wichtig.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die oberflächlichen Schollen können dem Zug eines tiefer liegenden Treibstromes nur dann gehorchen, wenn sie entsprechend zerteilt sind.

Es ist also die erste Wirkung des Eingreifens eines Treibstromes, eine seiner Bewegung möglichst günstige Schollenzerlegung herbeizuführen.

Natürlich wäre die für eine Bahnfolgsamkeit günstigste Schollenzerlegung eine möglichst kleinstückige.

Eine derartige Zerlegung kommt aber für die Bereiche der tektonischen Oberflächengeologie der Erde nicht in Betracht.

Wir haben es immer mit verhältnismäßig großen Scholleneinheiten zu tun.

In den Flüssen erhalten die treibenden Eisschollen häufig durch gegenseitige Reibung rundliche oder ovale Umgrenzungen.

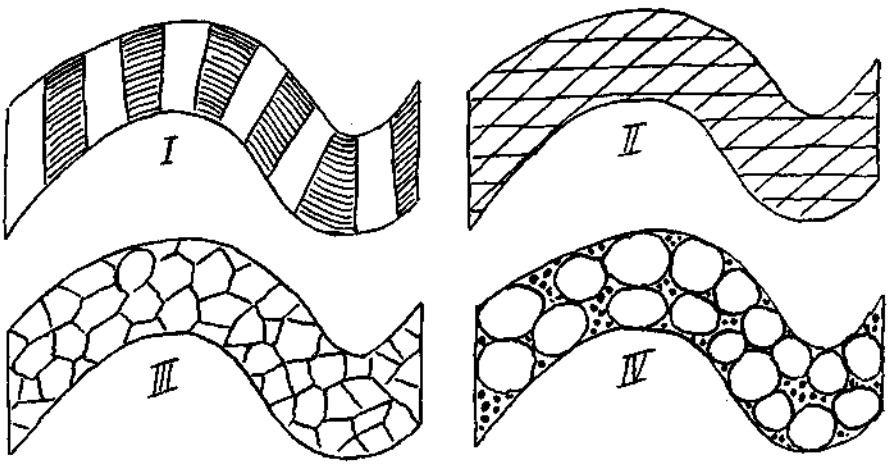

Fig. 8. Schematische Muster für Schollenzerlegungen in der Bahn eines Treibstromes.
I = Querschollung — für die Einordnung in die Bewegung sehr ungünstig. II = Rhombische Schollung — etwas günstiger. III = Mehrseitige Schollung — günstiger. IV = Kugellager-Schollung — sehr günstig.

Auch das ist für die geologische Schollentrift so gut wie ausgeschlossen.

Hier kommt an Stelle der Abschmelzungen und Abreibungen der Eisschollen vielmehr ein gegenseitiges Unter- und Überschieben in Betracht.

Fig. 8 bringt einige schematisch vereinfachte Schollenmuster eines Treibstromes.

Es fällt gleich bei Betrachtung solcher Muster auf, wie die einzelnen Schollen mehr minder ringsum von Über- und Unterschiebungen eingefaßt werden müssen, um die Gesamtbewegung zu ermöglichen.

Alle diese Schiebungen sind weiters durch ihre wechselnde Schubrichtung und durch ihr rein lokales und beschränktes Ausmaß charakterisiert.

Auch in einem solchen Schollenstrom muß es an den Krümmungen nicht bloß zu Überschiebungen, sondern gelegentlich auch zum Aufreißen von Lücken kommen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Füllung solcher Lücken kann nun einerseits durch ein Hineinbröckeln von den Nachbarschollen, anderseits durch ein Aufpressen von tieferen Massen vollzogen werden.

Das letztere kommt besonders in jenen Fällen in Betracht, wo sich im Untergrund leicht bewegliche Massen, wie Öle, Salze, Schwimmsande . . . befinden. Solche Massen können dann leicht durch die Druckentlastung gegen auftretende Lücken hin in Bewegung versetzt werden.

Innerhalb eines solchen Treibstromes können also an benachbarten Stellen einerseits heftige Pressungen und Überschiebungen, anderseits Zerrungen und Lücken mit ihren oft recht eigenartigen Ausfüllungen auftreten.

Die Breite von Schollentreibströmen kann ganze Kontinente umfassen.

In solchen Fällen ist es richtiger, nicht mehr von Treibströmen, sondern von Treibströmungen zu sprechen.

Ich wende mich nun nach diesen Ausführungen über die verschiedenen Reihungen von Falten und Schollen der Zusammenfassung der Reihen zu Gebirgszonen zu.

Die Zusammenfassung einer Reihung von Falten zu einer tektonisch höheren Bewegungseinheit beruht zumeist auf einem ähnlichen und beschränkten Inhalt der benachbarten Falten. Es gibt z. B. in den nördlichen Kalkalpen keine Mulde und keinen Sattel, die so großzügig angelegt wären, daß sie auch noch die Schichten der Grauwackenzone und der kristallinen Schiefer gleichmäßig mitumspannen könnten.

Der Faltenbau der Kalkalpen ist vielmehr so engzellig, daß er nicht einmal die ganze Schichtgruppe von Trias—Jura—Kreide—Tertiär zu umfassen vermag.

Wir wissen heute, daß die Reihung der Falten und Schuppen jeweils nur bis zur mechanischen Einheit einer Schubmasse vollzogen worden ist. Die Abgrenzung der Schubmassen gegeneinander besorgen die Schubflächen als die Bahnen, längs welcher die Schubmassen ihre Bewegung ausgeführt haben.

Eine Ausnahmestellung nehmen hier die „Relief-Überschiebungen" ein, bei welchen Schubmassen über ein Erosionsrelief vorgewandert sind.

Bei dieser Wanderung erleidet sowohl die Schubmasse als auch ihr Untergrund starke mechanische Umformungen, mit denen ich mich in den früheren Teilen dieser Untersuchung bereits mehrfach beschäftigt habe.

Die zwei Hauptleistungen der mechanischen Umformungen im Geleite der Reliefüberschiebungen sind die Einstopfung fremder Schichtmassen in ein älteres Relief und die Abscherung von oft großen Teilen der vordringenden Schubmassen. Wir haben es mit einer großangelegten „Feilwirkung" zu tun.

Die Überfaltungslehre hat die vorliegenden Schubmassen von Überfaltungsdecken abzuleiten versucht.

Überfaltungsdecken sind große, sehr einseitig übertriebene Falten, welche angeblich aus einer Wurzelzone herausgepreßt sein sollen.

Dieser Annahme stehen eine Reihe von heute sichergestellten Feldbefunden ablehnend gegenüber. Zunächst lassen sich die Schubmassen

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

größtenteils nicht auf die Formel einer einseitigen Falte zurückführen. Die Stirnbiegungen haben sich als einfache Einrollungen zu erkennen gegeben, welche durch die Reibung beim Vorschub entstehen. Von Auswalzungen der Liegendschenkel ist sehr selten etwas zu sehen.

Dagegen treten hin und hin Abscherungen auf, welche mit Auswalzungen nicht das Geringste zu tun haben.

Während also die Ableitung der Schubmassen von riesigen liegenden Falten nicht zu ihrem Ziele geführt hat, bleibt die Frage, ob jeweils eine Schubmasse oder eine Gleitmasse vorliegt, auch heute noch von lebendigem Interesse. Für die Entscheidung, hie Schubmasse, hie Gleitmasse ist der Umstand sehr erschwerend, daß die für eine Abgleitung der vorliegenden Massen notwendigen Gleitgefälle zumeist nicht vorhanden sind.

Man hat also nur die Wahl, entweder wegen des Fehlens der Gleitbahnen auf die Deutung als Gleitmassen zu verzichten oder anzunehmen, daß die einstigen Gleitbahnen heute eben verschwunden sind.

Meiner tektonischen Erfahrung liegt die letztere Deutung näher.

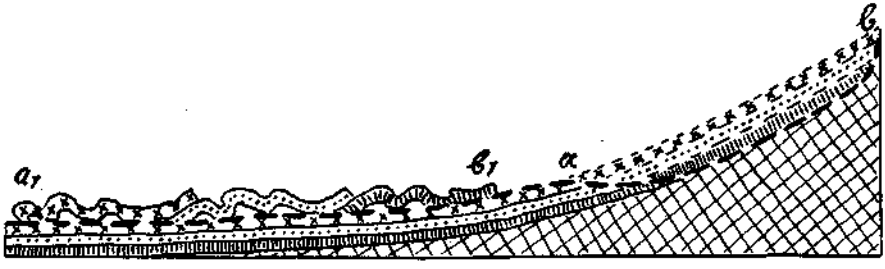

Fig. 9. Die Gleitmasse a—b zerteilt sich beim Abgleiten in drei Teilgleitmassen, welche nun die breitere Lagerstätte a_1—b_1 beanspruchen.

Die Schubmassen der nördlichen Kalkalpen, welche mein hauptsächliches Erfahrungsgebiet vorstellen, zeigen hin und hin die Struktur und den Zuschnitt von Gleitmassen.

In ihrem heutigen tektonischen Ablagerungsraum liegen ihre Schubmassen 2 bis 3 fach übereinander. Aus dieser Tatsache kann man aber nicht unbedingt schließen, daß das zugehörige Abgleitfeld 2 bis 3 mal so breit wie der Streifen der nördlichen Kalkalpen gewesen sein muß. Es ist bei der Abgleitung auch möglich, wie Fig. 9 andeutet, daß eine mächtige Schichtenmasse in mehrere Gleitstockwerke zerteilt wird. Diese können unter Umständen nach der Gleitung einen viel breiteren Lagerraum beanspruchen als vor der Gleitung. Auch bei den Bergstürzen ist der Lagerraum der Trümmer weit größer als die Ausbruchnische.

Bei den Schubmassen der nördlichen Kalkalpen scheint eine derartige Zerlegung der Gleitmassen jedoch keine wichtigere Rolle zu spielen.

Wir kommen daher zu der Vorstellung, daß die Schubmassen der nördlichen Kalkalpen, wenn sie als Gleitmassen aufzufassen sind, ein wesentlich breiteres Gleitfeld beanspruchten, als ihre heutige Lagerstätte einnimmt. Ein solcher Raum ist heute an ihrer Südseite nicht vorhanden.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Wenn man die Schubmassen der nördlichen Kalkalpen also als Gleitmassen verstehen will, so ist man gezwungen, für die Zeit ihrer Abgleitung wesentlich andere Gefälle und Dimensionierungen ihres Hinter- und Mutterlandes anzunehmen.

Eine weitere große Schwierigkeit für die Mechanik dieser Schubmassen liegt dann darin, daß wir es nicht mit einer einzigen Bewegung derselben, sondern mit einer Reihe von Verschiebungen zu tun haben. Zwischen den einzelnen Bewegungsphasen sind längere Zeiträume mit Sedimentations- und Erosionsperioden eingeschaltet.

Aus diesen Beobachtungstatsachen ergibt sich z. B. die merkwürdige Erscheinung, daß die älteren Schubbahnen von den jüngeren gleichsam unterschnitten werden (Fig. 10). Die eingreifende Erosion hat hier eben auch das Niveau der jüngeren Schubbahn gesenkt.

Diese mehrmals belebte Verschiebung der alpinen Schubmassen bildet ein Problem, das in gleicher Weise der Annahme von Überfaltungen wie auch von Gleitungen Schwierigkeiten bereitet.

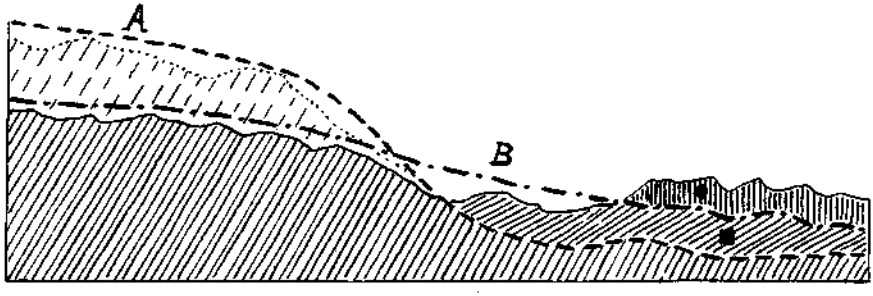

Fig. 10. *A* = Ältere Gleitbahn. Zu ihr gehört die Gleitmasse ■. *B* = Jüngere Gleitbahn. Zu ihr gehört die Gleitmasse ●. Die jüngere Gleitbahn unterschneidet teilweise die ältere.

Ob man nun den Streifen der nördlichen Kalkalpen als Niederlassung von Decken auffaßt, die von der Südseite der Zentralalpen herüberkamen, oder als Lagerstätte von Schollen, die von den Zentralalpen abgeglitten sind, so verliert die Zone der nördlichen Kalkalpen auf alle Fälle ihre Bedeutung als aufbauendes Element der Alpen.

Sie wird zu einer Lagerstätte von freilich gigantischen Trümmern, die sich beim Bau der Alpen als überschüssiger Abfall ergeben haben.

Wir wissen nicht, was für eine Zone der Alpen oder des Vorlandes unter den Schubmassen der nördlichen Kalkalpen begraben liegt. Die Erosion ist noch nicht so weit vorgeschritten, um diese riesige Trümmerlast wegzuräumen und den wirklichen Sockel der nördlichen Alpen freizulegen.

In den Konstruktionen der Nappisten ist der Untergrund der nordalpinen Schubmassen zumeist mit Verlegenheitsrunzeln von Flysch angefüllt.

Da der Flysch eine verhältnismäßig junge Ablagerung vorstellt, kann auch er das tiefere Grundgefüge nur verhüllen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Frage bleibt offen, ob wir uns im Untergrund der nördlichen Kalkalpen bereits im Vorland der Alpen oder doch noch auf ihrem eigenen Grund und Boden befinden.

Diese Frage ist für denjenigen von Wichtigkeit, welcher sich über einen tiefer reichenden Querschnitt der Ostalpen eine in ihrer Gesamtmechanik begründete Vorstellung schaffen will.

Für die Konstruktion einer Querschnittsform dieses Faltengebirges kommt zunächst das Verhältnis der Vorländer zum Gebirgskörper in Betracht.

Hier läßt sich gleich eine wichtige Feststellung machen.

Der Gebirgskörper ist nach unseren heutigen Erfahrungen mit seinen Vorländern nicht etwa durch Aufbiegung, sondern im Gegenteil durch Einbiegung verbunden (Fig. 11).

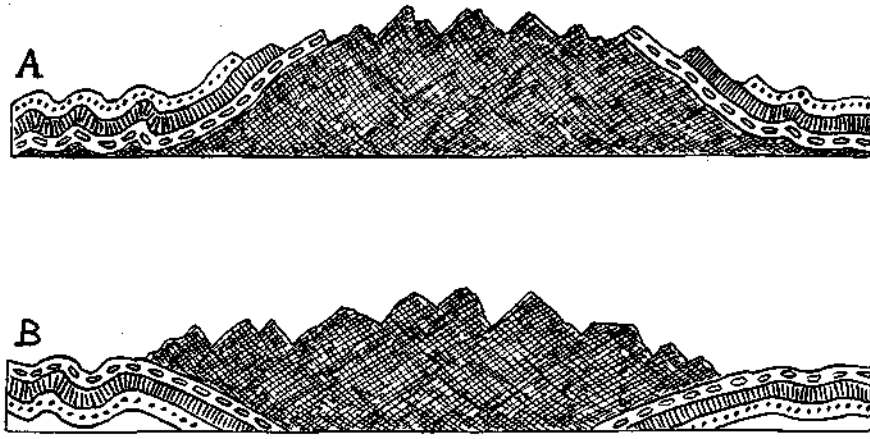

Fig. 11. *A* = Der Gebirgskörper ist mit seinem Umland durch Aufbiegung verbunden.
B = Der Gebirgskörper ist mit seinem Umland durch Eindrückung verbunden.

Wir haben es also mit einem „Belastungsproblem" großen Stiles zu tun.

Wenn man von der Struktur und dem Inhalte des Gebirgskörpers absieht, könnte man auch durch das Aufdringen einer großen Magmamasse und das Niederdrücken ihrer Grundlage eine ganz ähnliche Belastungserscheinung hervorrufen.

Jede Belastung bedeutet zugleich eine Umladung von Massen.

In dem zuletzt erwähnten Fall der aufsteigenden Magmamasse wird eine große tiefbeheimatete Masse in die Höhe gehoben und eine andere höherliegende Masse dafür in die Tiefe gedrückt.

Bei den Faltengebirgen liegt der Fall der Massenumladungen, betrachtet im Rahmen der Querschnitte, durchaus nicht so einfach.

Am durchsichtigsten wären hier die Umladungen nach dem Schema der Kontraktionshypothese.

Hier wäre die Hauptmasse des Gebirges aus der Ferne herbeigeschoben und hätte durch ihr Übergewicht die Grundlage eingedrückt.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Da die Gebirgsmasse durch den unaufhörlichen Abtrag der Erosion ständig in ihrem Gewicht erleichtert wird, wäre anzunehmen, daß durch Isostasie der Rest des Gebirges immer wieder von Zeit zu Zeit gehoben würde.

Man könnte hier das Gebirge mit einer Kerze vergleichen, die immer tiefer niederbrennt und von Zeit zu Zeit in die Höhe geschraubt wird.

Wir wissen aus den Angaben der Morphologie, daß in den Alpen tatsächlich die ältesten erkennbaren Reste von Landoberflächen heute sehr hoch liegen und durch zeitweilig eintretende Hebungen der Gebirgsmasse immer tiefere Verebnungen wenigstens zum teilweisen Ausbau gelangten.

Es hat also sicherlich hier seit dem jüngeren Tertiär ein mehrmaliges ganz beträchtliches Herausheben des Gebirgskörpers stattgefunden, das der Erosion immer wieder neue Belebung und neue Arbeitsziele verschaffte.

Die Formel der Kontraktionshypothese steht also mit den mechanischen Forderungen des typischen Alpenquerschnittes in Übereinstimmung, soweit sich diese auf die hier wahrnehmbaren Belastungs- und Entlastungserscheinungen beziehen. Dagegen lassen sich die Schlingen, welche die Faltengebirgsstränge vielfach beschreiben, weit leichter mit dem Vorstellungskreis einer großangelegten Schollentrift vereinbaren.

Für diese Vorstellung bilden die Faltenstränge und die sie einschließenden Schollenländer eine zusammengehörige Bewegungseinheit größten Stiles.

Die Zusammengehörigkeit beruht darauf, daß jede Verschiebung der Begleitschollen auch die Faltenstränge umformt, und auch die tektonischen Umlagerungen im Gebiet der Faltenstränge sich auf ihr Umland auswirken.

Das Umland ist für diese Anschauung durchaus nicht starr, sondern ebenso wie die Faltenstränge von Bewegungen erfüllt.

Es ist von diesem Standpunkte aus auch wegen der im Durchschnitt nur geringen Festigkeitsunterschiede der Vorland- und Faltlandgesteine eine scharfe Abgrenzung zwischen Vorland und Gebirge gar nicht wahrscheinlich.

Es ist verfehlt, die Abgrenzung zwischen Schollengebieten und Faltensträngen auf solche geringfügige und zumindest gar nicht meßbare Festigkeitsunterschiede stützen zu wollen.

Nach meiner Einsicht sind die Ursachen für die Gliederung der Erdoberfläche in Schollenländer und Faltungsstränge in der verschiedenen Beschaffenheit des lebendig warmen Untergrundes und seiner Bewegbarkeit zu suchen.

Für tektonische Überlegungen über die Wirkung von Volumänderungen innerhalb der Erdkugel ist eine Darstellung in Keilschnitten eines Erdkreises besonders bequem und übersichtlich.

Diese Darstellung geht von der Überlegung aus, daß Volumänderungen im Erdinnern auch unregelmäßig verteilt sein können und sich erst allmählich gleichmäßiger ausbreiten.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Durch die Darstellung in kleinen Keilausschnitten kann man sowohl die Entstehung wie auch die Ausgleichung solcher Änderungen anschaulich machen.

Fig. 12 bringt hier einige Beispiele dieser Darstellungsweise.

Als Ausgangsstelle dient der Verlauf einer völlig regelmäßigen Kontraktion der Erdkugel *(a)*.

Diese Entwicklung ist in der Natur bestimmt nicht vorhanden. Hier bleiben die Keilschnitte in ihrer Gestalt während einer beliebig starken Kontraktion unverändert bis auf die Verkürzung des Radius.

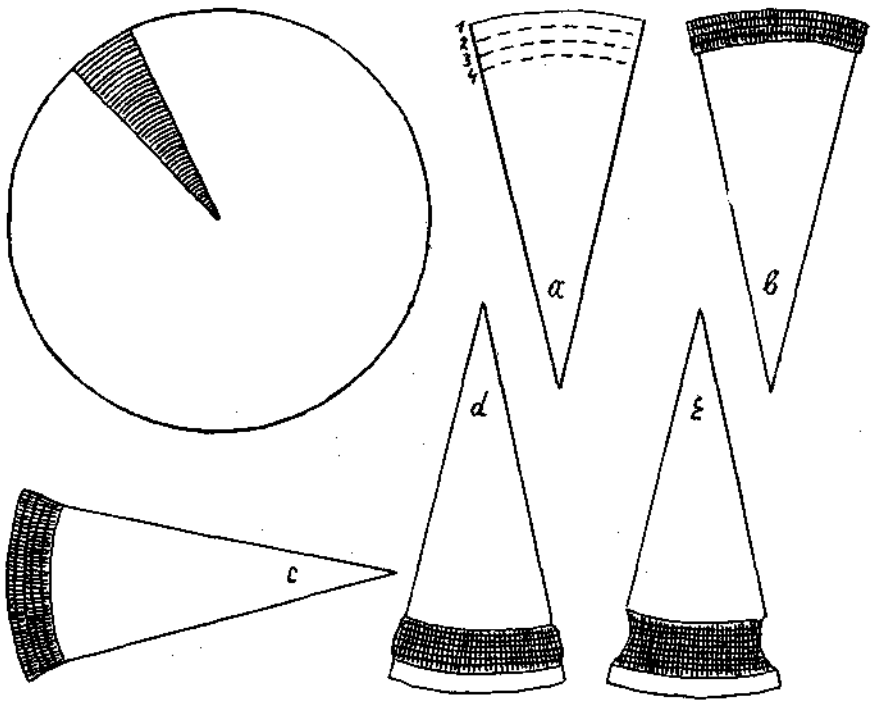

Fig. 12. Darstellung von Volumänderungen des Erdinnern durch Keilschnitte.
a = gleichförmige Kontraktion. *b* = ungleichförmige Kontraktion. Die oberste Zone schrumpft weniger. *c* = ungleichförmige Kontraktion. Die oberste Zone schrumpft weniger und geht allmählich in die Kernschrumpfung über. *d* = ungleichförmige Kontraktion. Eine tiefere Zone schrumpft weniger. *e* = ungleichförmige Kontraktion. Eine tiefere Zone schrumpft mehr.

Eine solche durchaus regelmäßige Verkleinerung oder auch Vergrößerung der Erdkugel würde die ganze Mannigfaltigkeit und Buntheit der Tektonik und Geologie ausschalten.

Die gebräuchlichste und zumeist für die Erklärung der Faltengebirge verwendete Form der Erdkontraktion wird in Keilschrift durch das Schema *(b)* dargestellt. Die Unregelmäßigkeit ist bei dieser Hypothese auf die oberste Erdzone beschränkt.

In dem folgenden Schema *(c)* nimmt die Unregelmäßigkeit allmählich gegen innen zu ab.

Die tektonische Wirkung von *c* ist von jener von *b* kaum wesentlich verschieden.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In beiden Fällen würde sich für die Oberfläche der Erde eine wirre, nach allen Richtungen hin ziemlich gleichmäßige Zusammenpressung und Runzelung ergeben. Auch dieser Fall ist im Haushalt der Erde nicht verwirklicht worden.

Das Schema *(d)* bringt eine Kontraktion zur Geltung, bei der die Unregelmäßigkeit erst unter der obersten Erdzone beginnt und gegen die Tiefe zu ausklingt.

Die tektonische Wirkung dieser Anordnung besteht in einer Hebung und Zerreißung der obersten Zone.

In dem Ablauf der tektonischen Erdentwicklung dürfte dieser Fall schon von Bedeutung gewesen sein.

Das Schema *(e)* bringt wieder eine Kontraktion, bei der die Unregelmäßigkeit ebenfalls erst unter der obersten Zone einsetzt, aber gerade in entgegengesetztem Sinne wie bei *d*.

Die tektonische Wirkung bestünde hier in einer Senkung und Kompression der obersten Zone.

Zwischen der tektonischen Auswirkung der Anordnung *b* und *e* ist kein wesentlicher Unterschied vorhanden.

Das sind nur einige der allereinfachsten geometrischen Möglichkeiten. Ich sehe hier von einer Darstellung der komplizierteren Möglichkeiten völlig ab.

Alle bisher ins Auge gefaßten Kombinationen sind dadurch charakterisiert, daß sie für alle Keilschnitte der Erdkugel in gleichem Sinne gelten. Sie würden also als motorischer Antrieb jeweils auf der ganzen Erdoberfläche eine ähnliche Tektonik erregen. Wir kommen nun zu jenen Anordnungen, die nicht mehr für beliebige Stellen der Erde, sondern nur noch für bestimmte ausgezeichnete Bereiche Geltung haben. Damit ist auch schon ein mehr lokaler Charakter der von ihnen veranlaßten Tektonik gegeben.

Hier sind nun auch sehr viele Kombinationen möglich, welche als motorische Untergründe für eine reichgegliederte Tektonik der Erdhaut dienen können. Es können z. B. schmale Bereiche von tieferliegenden Schrumpfungen zwischen Gebieten von normaler Kontraktion liegen. Dies wird sich an der Oberfläche durch Einsenkungszonen verraten, gegen die von den Seiten her Zuströmungen und Druckwirkungen auftreten.

Schmale Streifen von tieferliegenden Ausdehnungszonen werden sich an der Oberfläche als Hebungen abbilden, von deren Scheitel abgleitende Strömungen stattfinden.

Es würde hier zu weit führen, eine genauere Übersicht über dieses große Feld von Untergrundbewegungen zu entwerfen, welche alle ihre bestimmten Abbildungen in der darauf lastenden Erdhaut finden müssen.

Wir haben bei diesen Teildarstellungen aber auch noch die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß sich die Volumänderung eines Teiles im Ablauf geologisch langer Zeiträume wesentlich ändern, ja sogar in ihrer Richtung umkehren kann. Damit ergibt sich auch für die Abbildungen in der Erdhaut die Möglichkeit für Umkehrungen im tektonischen Bewegungssinn.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Rückschau.

Die sechs nunmehr vorliegenden Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen sind in dem Zeitraume von 1923 bis 1931 in diesem Jahrbuch erschienen.

Dieselben sind weder in einem strengen Zusammenhang entworfen, noch auch in irgendeiner Richtung als abschließend gedacht.

Es war mir vor allem darum zu tun, zu zeigen, daß neben den gebräuchlichen tektonischen Lehrmeinungen noch viele andere ebenso gute oder noch bessere Vorstellungen möglich sind, um die in den deformierten Gesteinen hinterlassenen Wegzeichen zu lesen und zu verstehen.

Es hat sich dabei herausgestellt, daß neben den alten Hauptrichtungen der tektonischen Erklärung der Lagerungsformen, welche einerseits von den Brüchen, anderseits von den Falten ausgehen, eine neue Richtung des tektonischen Denkens von der sogenannten „Kerbwirkung" aus gewonnen werden kann. Während die Lehre von den verschiedenen Arten von Brüchen und von Falten heute bis ins Detail ausgebaut und kaum mehr einer Erweiterung oder Vertiefung fähig erscheint, steht die Lehre von den Kerbwirkungen erst in ihrem Anfangsstadium.

Der Begriff der „Kerbwirkung" wurde von mir im Jahre 1916 in die tektonische Literatur eingeführt und in den folgenden Jahren dann schrittweise weiter ausgebaut. Einen wesentlichen Fortschritt brachte hier dann meine Erkenntnis der Reliefüberschiebung, welche in diesen Beiträgen in den Jahren 1924 und 1930 eingehender besprochen wurde. Die Lehre von den Kerbwirkungen führt in die tektonische Betrachtung die Verwendung von bereits verletzten Schichten ein. Solche Verletzungen der Schichten werden vor allem durch die Einschnitte der Erosion, aber auch durch eine ältere Tektonik herbeigeführt.

Durch die Mitverwendung der Einschnitte von älterer Erosion und Tektonik erlangt die nachfolgende Tektonik eine viel mannigfaltigere, wenn auch auf den ersten Blick hin unregelmäßigere Ausdrucksform.

Die Formen, welche die Erosion aus einer Schichtenfolge herauszuschneiden vermag, sind unendlich mannigfaltiger und kühner als die Formen, welche die Tektonik mit Hilfe von Brüchen und Falten zu erzeugen imstande ist.

Bei der Reliefüberschiebung kann nun auch das ganze reiche Formeninventar der Erosion mit in das tektonische Bauprogramm aufgenommen werden.

Es bedeutet dies eine ganz wesentliche Erweiterung der erklärbaren und verständlich gewordenen tektonischen Formenwelt.

Viele Bauformen, welche z. B. mit Hilfe reiner Faltung nur sehr kompliziert erklärbar sind, lassen sich durch das Zusammenspiel von Erosion und Tektonik weit einfacher lösen. Die Anwendungsfähigkeit dieser Methode ist sehr ausgedehnt und viele Profile sowohl inner- als auch außerhalb der Alpen sind auf diese Deutung hin unbedingt neuerdings prüfenswert geworden. Die Methode hat aber auch für die morphologische Forschung neuen Spürsinn und Formerklärungswert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die bei Reliefüberschiebungen benützten und durch Überdeckung aufbewahrten Oberflächenstücke sind vielfach die ältesten noch bis heute erhaltenen Landformen.

Ein Gegenstand eingehender Überlegung bildete dann in diesen Beiträgen die Unterscheidung zwischen Strukturen, welche einerseits die einheitliche Pressung von großen Gebieten, anderseits die freie Gleitung hervorruft.

Die Anwendung dieser wichtigen mechanischen Unterscheidung auf Querprofile der Alpen führte zu der Erkenntnis, daß in diesen Profilen Strecken von Pressung mit solchen der Freigleitung wechseln.

Bei der Beschreibung der tektonischen Gebilde der Freigleitung wurde gezeigt, daß sich vielfach die liegenden Falten mit Vorteil durch Stirneinrollungen ersetzen lassen, welche bei den Konstruktionen große, nicht vorhandene Massen auszuschalten gestatten.

Eine ebenfalls sehr wichtige Bauform sind dann die „Faltennudeln", Gebilde des Schichtwälzens, die neben intensiver Einrollung im Querschnitt in ihrer Längsachse starke Streckungen aufzuweisen pflegen. Ihre Bedeutung für die erklärende Tektonik hat auch B. Sander schon hervorgehoben.

Für die Gleitung großer Schichtenkörper und ihre Umformung spielt neben dem Gefälle vor allem auch die Ruhe oder Unruhe des Untergrundes sowie seine Erwärmung eine große Rolle.

Bei bewegtem und erschüttertem Untergrund kommt die Ablösung von Gleitmassen viel leichter zustande.

Weitere Untersuchungen galten dann der Zerlegung großer Gleitkörper in kleinere und den hier bevorzugten Zuschnittformen. Diese Zuschnittformen von Gleitmassen finden sich an den Umgrenzungen der Schubmassen der nördlichen Kalkalpen häufig verwirklicht.

Neben den keilförmigen Zuschneidungen der Gleitkörper treten dann in kleinen wie in sehr großen Dimensionen an den Schubmassen Abscherungen oder Abschrägungen auf.

Sie finden mit Hilfe der Reliefüberschiebungen als Verluste der Reliefreibung ihre einfachste Erklärung.

Es ist von großem Interesse, daß diese Abscherungen häufig an Stellen auftreten, wo man früher mit Ausquetschungen gerechnet hatte.

Da jedoch die an die Abscherung angrenzenden Gesteinsteile in ihrer Struktur von keiner Ausquetschung betroffen wurden, so ist die Deutung als Ausquetschung wohl ausgeschlossen.

Vielmehr sprechen die durchgewetzten Sohlen der Schub- oder Gleitmassen für eine weite Wanderung und scharfe Abnützung bei der Reliefüberschiebung.

Solche zerfetzte Schubsohlen können uns schon bei der Feldaufnahme auf die Existenz einer Reliefüberschiebung aufmerksam machen.

Eine längere Betrachtung wurde dann dem Verhältnisse zwischen Großformen und den ihre Räume erfüllenden Feinformen gewidmet. Es zeigte sich dabei, daß dieses Verhältnis recht mannigfaltig sein kann. Einige Formen von Zusammenklang und Mißklang zwischen Groß- und Kleinformen fanden dabei eine schematische Abbildung. Unter Kleinformen sind hier Formen verstanden, die immerhin noch ohne Ver-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

größerungsmaschinen erkennbar sind. Die tektonische Herstellung von Gesteinsverknetungen, Auswalzungen, Plättungen kann nicht an Ort und Stelle geschehen. Eine solche Materialbearbeitung hat erst der Mensch erfunden. Die Tektonik kann solche Materialbearbeitungen nur durch Verschleppungen längs einer gewissen, heute noch unbekannten Wegstrecke erreichen. Es gibt also für die Umformungen von Gesteinsstrukturen jeweils bestimmte, unbedingt erforderliche Arbeitsweglängen. Die Deformationen stehen dadurch mit den erzeugenden Bewegungen in einem engen Verbande.

Während man z. B. aus einem Stück ausgewalzten Eisens nur auf eine vielfache, vor- und rückwärts gerichtete Bewegung schließen kann, vermögen wir aus einem Stück von ausgewalztem Gestein auf eine entsprechend lange, meist geradlinige Bearbeitungsbahn zu schließen.

Der Mensch hat bei seiner Materialbearbeitung eben künstlich die langen Wegstrecken in vielmals geteilte Stückchen zerlegt, indem er entweder immer wieder Umkehrungen einschaltete oder durch Drehungen die langen Wege aufwickelte.

In der tektonischen Geologie würde die Kenntnis der Weglängen, welche hier für bestimmte Deformationen unbedingt erforderlich sind, einen wesentlichen Fortschritt bedeuten.

Ein wichtiger Teil der hier nun abgeschlossenen Beiträge beschäftigte sich mit den Problemen der verbogenen Faltengebirgsstreifen.

Die merkwürdigen Bögen der mediterranen Faltengebirge fordern immer wieder zu neuen Versuchen für ihre Mechanik heraus. In diesen Beiträgen wurde von der Idee ausgegangen, daß es sich hier im wesentlichen um nachträgliche Verbiegungen von früher mehr geradlinig angeordneten Faltengebirgen handle.

Außerdem wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß sich zwischen zwei getrennten Faltensträngen ein anders gebautes, sogenanntes Mittelfeld befunden habe.

Die Verbiegung betraf also nicht nur zwei Faltenstränge, sondern auch einen dazwischenliegenden Erdstreifen.

Die notwendig dazugehörigen Deformationen der Außenfelder wurden einstweilen noch nicht näher gegliedert.

Wird nun ein solches dreiteiliges Gebilde einer horizontalen Verbiegung unterworfen, so ist eine starke Deformation des versteifenden Mittelfeldes zu erwarten. Es wird in seiner Breite bei den Verbiegungen bald sinngemäß verschmälert, bald verbreitert werden. An Stellen scharfer Abbiegungen kann das Mittelfeld ganz zusammengedrückt werden. Im Schlingenbild der mediterranen Gebirge stellen z. B. die Alpen eine solche scharfe Bug- und Quetschstelle vor.

Die Verschmälerungen und Verbreiterungen des Mittelfeldes können auch nur mit Hilfe von Unterströmungen zu lebendigen Bauteilen umgeschaffen werden.

Durch ihr Eingreifen wird es möglich, hier Massen zu entfernen und dort wieder zuzuführen.

Auf diese Weise würden die Horizontalverbiegungen der Erdhaut mit mächtigen in der Tiefe verlaufenden Umlagerungen Hand in Hand gehen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Diese Überlegungen führen notwendig auch zu einer inneren Beziehung zwischen den Horizontalverbiegungen der Faltenstränge und einer entsprechenden Schollentrift der sie umschließenden Außenfelder. Die hier vorhandenen tektonischen Zusammenhänge zwischen dem Umland und den Gebirgen sind heute noch sehr wenig erforscht.

Sie werden uns die tektonischen Zusammenhänge großer Bewegungsbereiche in der Zukunft zu enthüllen haben.

Einige Überlegungen dieser Beiträge beziehen sich endlich auch noch auf die ganze Erde. Es handelt sich hier vor allem um die geometrischen Auswirkungen einer Kontraktion der Erde.

Es zeigt sich, daß die gebräuchliche Ableitung der Kontraktionshypothese hier irreführend ist.

Bei einer vom Weltraum aus erfolgenden Abkühlung der Erdkugel bleibt der Erdkern relativ wenig betroffen. Die Abkühlung ergreift vor allem die Erdhülle. Deshalb muß die Erdhülle gegenüber dem Erdkern sich weit rascher kontrahieren und für denselben zu klein werden. Es wäre also in der Erdhaut statt Zusammenpressung im Gegenteil Zerreißung und Aufdringen von tieferen Magmen zu erwarten.

Für die Darstellung der vielen Kombinationen von unregelmäßigen Volumänderungen einzelner größerer und kleinerer Teile des Erdinnern wird die Verwendung von Keilschnitten vorgeführt.

Dieselben ermöglichen eine geometrische Veranschaulichung von solchen Veränderungen im Erdinnern, deren Wirkungen dann durch unmittelbare Übertragung in der Erdhaut eine Art von Abbildung erfahren. Diese Abbildung wird immer verschwommener und breiter, je tiefer die Volumänderungen vor sich gehen.

Die Ausdrucksfähigkeit und Empfindlichkeit der Abbildung von Tiefenvorgängen nimmt mit der Dicke der Erdhaut verhältnismäßig rasch ab.

Ich bilde nun noch kurz den Abschluß dieser Beiträge.

In den hier vorgebrachten Beiträgen zur Auflösung der Mechanik der Alpen und natürlich auch anderer Gebirge ist sehr vieles ein unmittelbares Ergebnis von langjähriger Aufnahmsarbeit im Hochgebirge und Vertrautheit mit seiner Formenwelt.

Andere Standpunkte wurden wieder auf dem Wege von Überlegungen und Folgerungen erreicht.

Andere Beiträge sind endlich Anregungen und können ihren Wert erst durch künftige Arbeiten erhalten.

Sie sind aber gerade oft jene Beiträge, die uns besonders freuen, weil in ihnen auch noch etwas von jenem Mut lebendig bleibt, der so häufig erforderlich war, um die mühsamen und gefährlichen Wege zu begehen, auf denen der Alpengeologe wie der Wildheuer hoch über den Abgründen seine Ernte sammelt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1931

Band/Volume: 81

Autor(en)/Author(s): Ampferer Otto

Artikel/Article: Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen (V. Fortsetzung und Schluß) 637-659