

## Vergleich der tektonischen Wirksamkeit von Kontraktion und Unterströmung.

Von Otto Ampferer.

(Mit 10 Textfiguren.)

Verkleinerung der Erde und Unterströmung brauchen sich keineswegs gegenseitig auszuschließen. Unterströmung kann auch bei Kontraktion noch stattfinden, wenn auch in vermindertem Ausmaß. Ihr Ende ist erst mit dem Erstarren des Erdinneren gegeben.

In geologischem Sinne besteht aber für die Erklärung der bei diesen Vorgängen auftretenden Bewegungen doch ein wesentlicher Unterschied.

Die Kontraktionshypothese ging von der Annahme aus, daß sich innerhalb der Erdschale eine ungleiche Verteilung von nachgiebigeren und steiferen Bestandteilen befindet, von denen die ersteren bei einer Verkleinerung der Oberfläche der Erdkugel zwischen den steiferen Bereichen zu Falten zusammengedrängt werden sollen.

Es handelt sich also hier in erster Linie um eine Abgrenzung der weicheren und festeren Felder der Erdschale durch die Gewalt eines allseitigen Zusammenschubes. Es ist nun klar, daß eine solche Abgrenzung nicht allein von den vorliegenden Materialunterschieden, sondern auch vom Ausmaß der jeweils auftretenden Druckkräfte abhängig ist.

Nur in dem Falle, wenn der Gewölbedruck noch imstande ist, die weicheren Zonen zu falten, die steiferen aber nicht mehr, kann es zu einer reinlichen tektonischen Trennung dieser beiden Gebiete kommen.

Ist der Gewölbedruck zu klein, so kann keine Faltung eintreten, ist er aber zu groß, so werden weichere und festere Stellen ähnlich überwältigt und zerdrückt.

Eine Abgrenzung von Faltengebirgen und wenig gestörten Tafelländern ist also nur bei einem relativ geringen Ausmaß des Gewölbedruckes möglich.

Nun soll der ideale Gewölbedruck in der freien Erdschale nach der Berechnung von Oberbaurat G. Wepfer (Vierteljahrsschrift der Natur-

forschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang L—1905, Seite 135 bis 150) ungefähr 1720mal größer als die Druckfestigkeit des Granits sein. Dabei wird die Druckfestigkeit von Granit etwa pro Quadratmeter mit 10.000 Tonnen eingesetzt.

Damit erscheint wohl eine Trennung von weicheren gefalteten Zonen, welche die relativ starrereren Schollen umgürten sollen, infolge des riesenhaften Gewölbedruckes der schrumpfenden Erdkugel ausgeschlossen. Bei diesem Uebermaß an Druck müßten ja die an sich nicht großen Festigkeitsunterschiede in der Erdschale in einer allgemeinen Gesteinszerdrückung und Runzelung verschwinden.

Es ist also vor allem das Uebermaß des Gewölbedruckes, welches eine Trennung der langen Faltungszonen von den ausgedehnten wenig oder gar nicht gefalteten Bereichen zur Unmöglichkeit macht.

Aehnlich steht es ja auch bei der Hypothese einer Angliederung der Faltengebirgszonen an die Trift der Kontinente im Sinne von E. Argand und R. Staub.

Auch hier könnte z. B. das Vorrücken der ungeheuren Afrikamasse gegen und über die Europa—Asien-Masse spielend die Kräfte für eine Auffaltung eines dazwischenliegenden Faltenwulstes zur Verfügung stellen.

Dagegen ist es unmöglich, die feingliedrigen Faltungen, Ueberschiebungen und engen Bögen der mediterranen Faltengebirge mit derartig schweren und plumpen Werkzeugen zur Ausführung zu bringen.

Demgegenüber versucht die Unterströmungshypothese mit weit geringeren Kräften das Auslangen zu finden. Sie geht von der Vorstellung aus, daß unter der erkalteten Sedimenthülle der Erde ein heißerer, vielgestaltiger und nicht regelmäßig gemischter Erdkern verborgen liegt, dessen Bewegungen durch die Hülle hindurch wenigstens teilweise noch eine Abbildung erfahren können.

Ob diese Bewegungen im Erdinnern von kosmischen Gewalten angetrieben werden oder von unregelmäßigen Verteilungen von Schwere, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Chemismus oder Radioaktivität verursacht werden, ist für unsere folgenden Ueberlegungen vorläufig gleichgültig.

Die Unterströmungshypothese stützt sich also auf Massenverschiebungen im heißen Untergrund der Erdhaut und zieht neben senkenden auch aufsteigende Strömungen in Betracht, sowie auch solche, die sich parallel unter der Erdhaut ausbreiten. Auch die Bildung von Wirbeln erscheint nicht ausgeschlossen.

Ein weiteres mächtiges Arbeitsmittel des heißen Erdinnern stellen dann hochgespannte Dämpfe und Gase vor, welche die Kräfte be-

sitzen, die Sedimenthülle zu durchdringen und mit Stoffen tiefer Erdzonen auszustatten. Wenn man bedenkt, welche Rolle bei der menschlichen Arbeit heiße Dämpfe und Gase spielen, so wird man ihre Mitwirkung bei der tektonischen Umgestaltung der Erdhaut gewiß nicht unterschätzen.

Sie sind vor allem infolge ihrer Flüchtigkeit das einzige Treibmittel, welches nach vollbrachter Arbeit fast spurlos in die Lufthülle entweichen kann.

Man sieht schon aus diesen kurzen Hinweisen, wie reich an Arbeitsmitteln das heiße Erdinnere ausgestattet ist, wahrscheinlich sogar noch viel reicher, als wir heute ahnen, weil seine Keller noch voll Verborgheiten sind.

Im folgenden soll nun an einer Reihe von tektonischen Bauwerken gezeigt werden, wie sich ihre Bauerklärung jeweils mit den Hilfsmitteln der Kontraktion und der Unterströmung gestaltet.

Wir gehen von einfachen Bauformen aus, welche sich in ungezählten Einzelfällen in allen Kontinenten wiederholen. Als erstes Beispiel ziehen wir die Bildung einer Erhebung (Fig. 1) in Betracht. Innerhalb eines horizontalen Schichtsystems soll eine kreisförmig umgrenzte Aufwölbung errichtet werden. Für die Unterströmung ist dies ein leichter Bauauftrag.

Mit Hilfe einer Zerrung oder einer Aufschmelzung oder einer Explosion wird ein Kanal durch die horizontalen Schichten gebrochen und durch diesen hochgespannte Gase oder Magmen aufgepreßt, welche dann die obersten Schichten kuppelartig auftreiben können.

Verwirklichungen dieses Vorganges sehen wir in der Mechanik der viel beschriebenen Lakkolithen. Es stellen aber auch die häufig auftretenden Querkuppen Teile dieses Vorganges ohne verhüllende Deckschichten in aller Klarheit dar.

Je nach der Form des Zuführungskanals können runde, ovale oder unregelmäßig umgrenzte Auftreibungen entstehen. Streichen die Zuführungsspalten weiter fort, so ist es möglich, daß ganze Reihen von Kuppeln gebildet werden.

So leicht mit Hilfe der Unterströmungen solche Bauformen verständlich sind, so schwierig ist dies bei Verwendung von allseitigem Seitendruck als Bauantrieb. Zunächst müßte die Stelle, welche zu einer Kuppel aufgetrieben werden soll, von ihrer Umgebung offenbar durch größere Festigkeit ausgezeichnet sein. Die weichere Umgebung kann dann auf Kosten der Steifheit unserer Scheibe stärker zusammengedrückt werden. Durch den steigenden Seitendruck kann es dann um

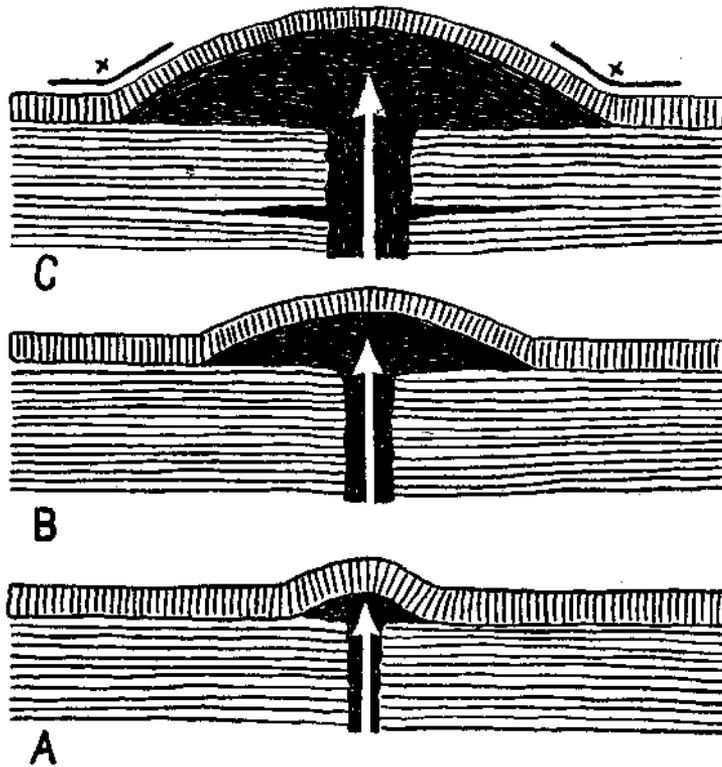


Fig. 1.

A—B—C = 3 Stadien einer durch Aufpressung von Magma wachsenden Aufwölbung.

x = Winkel eines einfachen und glatten Ueberganges der Wölbung in die Ebene. Die Wölbung wächst von unten gegen oben und zugleich von innen gegen außen.

die Scheibe her unter günstigen Umständen zur Auffaltung eines Wulstes und zur Aufstauung einer Kuppel kommen (Fig. 2).

Eine weitere Schwierigkeit bildet dann die Füllung des Hohlraumes der Kuppel. Als Hohlraum ist eine größere Kuppel nicht bestandfähig. Sie würde wohl zum Einsturz kommen. Befinden sich aber unterhalb der Kuppel weiche, gut bewegbare Schichten, so wäre es denkbar, daß diese durch den Seitendruck in den Hohlraum eingepreßt werden oder daß die schwere Kuppel in diese weicheren Schichten einsinkt.

Diese Erklärung mit Hilfe allseitigen Seitendruckes setzt das Zusammentreffen einiger besonders günstiger Umstände, wie z. B. einen großen Materialunterschied zwischen Kuppel und Umland und eine Unterlagerung durch weiche plastische Schichten voraus. Ein solcher

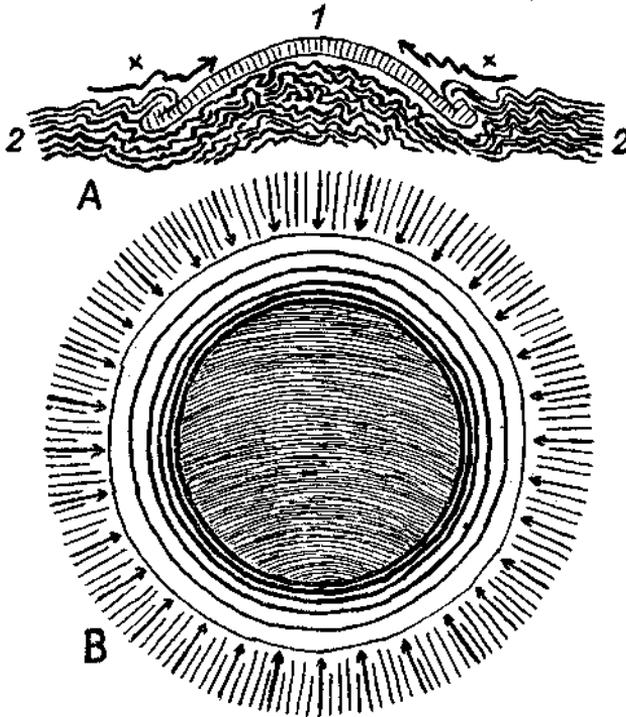


Fig. 2.

**A = Querschnitt durch eine infolge von allseitigem Kontraktionsdruck entstandene Aufwölbung.**

1 = steifere kreisförmige Scheibe.

2 = weichere Schichten.

x = der Uebergang der Wölbung in die Ebene erfolgt durch eine Faltenzone.

**B = Kartenbild von A.**

Die Aufwölbung ist von einem Pressungsring umschlossen.

Zustand ist als Seltenheit begreifbar, kann aber für eine Häufung von ähnlichen Formen nicht mehr herangezogen werden.

Auch Mulden treten uns als Einzelformen entgegen. Insbesondere ist dieser Fall oft innerhalb von bereits tief erodierten Faltengebirgen verwirklicht, wenn in ihre Täler jüngere Meeressedimente eingelagert wurden. Wie Fig. 3 erläutert, finden sich nun in solchen alten Talrinnen gar nicht selten auffallend tiefe Mulden eingeschaltet. Die Annahme einer Einfaltung ist wegen der nicht dazu passenden Lagerung des umgebenden Gebirges ganz unwahrscheinlich. So bleibt für eine Erklärung die Annahme am nächsten, daß sich entlang des Talzuges eine Senkung vollzog, welche zuerst dem Meere den Zutritt öffnete und weiterwirkend auch die abgelagerten Schichten noch in die Tiefe zog.

Fig. 3 zeigt diese Verhältnisse an dem Beispiel der tiefen Tertiärmulde des tirolischen Unterinntales, dessen Verhältnisse hier durch Bergbau und Tiefbohrungen aufgeklärt sind.

Sehr deutlich tritt die Beziehung zu Unterströmungen auch bei den zahlreichen und oft weithin streichenden Grabenbrüchen in Er-

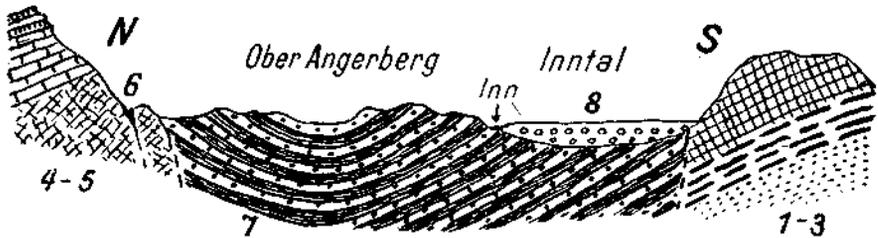


Fig. 3.

- 8 = Innaufschüttungen.
- 7 = Angerberg Sch. = Oberoligozän.
- 6 = Einklemmung von Häringer Sch. = Obereozän.
- 5 = Oberrätkalke.
- 4 = Hauptdolomit, geschichtet, unten zerdrückt.
- 3 = Wettersteindolomit.
- 2 = Muschelkalk.
- 1 = Buntsandstein.

Die große und tiefe Mulde ist nicht durch seitliche Pressung, sondern durch Senkung entstanden.

scheinung, deren Erklärung der Kontraktionshypothese nur auf sehr gekünstelten Umwegen gelingt.

Fig. 4 führt ein Bauschema vor, das in vielerlei Variationen an zahlreichen Stellen der Erde zur Ausführung gekommen ist.

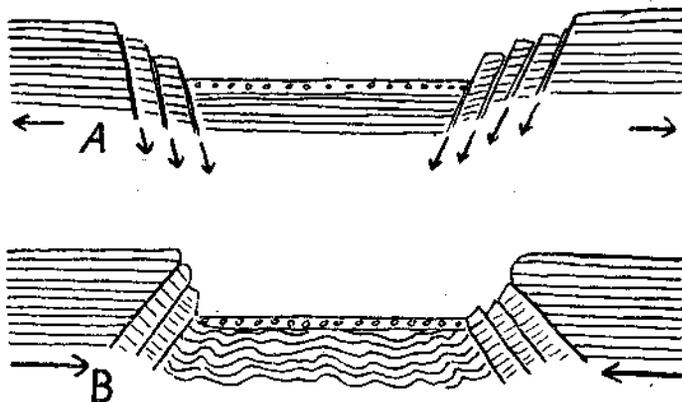


Fig. 4.

- A = Grabenbruch als reine Senkungsform mit deutlichen Anzeichen von Zerrung.
  - B = Grabenbruch als Einfaltung mit Zuschiebung von den Seiten her.
- In die Sohlen des Grabenbruches ist eine jüngere Aufschüttung erfolgt.

Vom Standpunkt der Unterströmung ist die Erklärung einfach. Offenbar hat in der Tiefe entlang der Achse des Einbruches eine Abströmung von Material stattgefunden. Zum Ersatz ist von oben her Masse nachgerückt. Bei einer geringeren und vor allem langsamen Senkung könnte sich eine solche Abströmung auch in der Form einer geschlossenen Mulde an der Oberfläche abbilden. Es könnte dabei in idealem Falle im Querschnitt eine Kurve ähnlich wie beim Durchhängen eines Drahtseiles zustande kommen.

In Wirklichkeit vollzieht sich aber die Senkung in vielen Fällen mit Zerreibungen. Es ist dies in der relativ geringen Zugfestigkeit der geologischen Schichten begründet.

Außerdem hängt das Nachrücken auch sehr von der Form der tiefer liegenden Abströmung ab. Beispiele von seichten Abströmungen finden sich bei vielen Lavaergüssen unter der oberflächlich erstarrten Decke.

Im allgemeinen wird sich die Breite der Abströmung bei der Abbildung in den hangenden Schichten vergrößern. Das bedeutet, daß die Randstörungen eines Einbruches steil gegen dessen Achse einfallen.

Auf diese Weise wird dem Boden des Grabenbruches eine größere Bewegungsfreiheit als den schmalen Randteilen ermöglicht. Er kann also dem Zug nach unten leichter und ungehinderter folgen. Es ist dies dieselbe Art von Vorauseilung, welche auch die mittleren Teile eines Flusses gegenüber den seitlichen zeigen. Gegen die Ufer steigt eben die Reibung verhältnismäßig rasch und stark an.

Vom Standpunkt der Unterströmung aus ist zu erwarten, daß ein Grabenbruch, welcher sich auf eine größere Strecke ausdehnt, nicht mit einem Ruck entsteht, sondern in der Strömungsrichtung ein Wachstum zeigt. Daher sind also wahrscheinlich die einzelnen Teile nicht gleichzeitig, sondern nacheinander entstanden. Eine andere Frage ist es dann, ob sich dieses Wachstum auch geologisch nachweisen läßt. Für eine sehr wichtige Gruppe von Einsenkungen, die sog. Geosynklinalen, läßt sich das Wachsen der Senkung sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung durch die im Hohlraum zur Ablagerung kommenden Meeressedimente ausgezeichnet in allen Einzelheiten verfolgen und beweisen.

Der Kontraktionshypothese hat die Erklärung von Grabenbrüchen und Geosynklinalen seit jeher Schwierigkeiten bereitet. Innerhalb einer druckgespannten Kugelschale ist kein Platz für eine derartige Auflockerung des Gefüges. Jedenfalls müßte sogar ein irgendwie entstandener Einbruch bald wieder zgedrückt und aufgefüllt werden.

Wir wenden uns nun einem anderen Baubild zu, das ebenfalls in weiter Verbreitung an der Erdoberfläche zu finden ist.

Fig. 5 gibt in Umrissen den Grundzug dieses Bildes an. Wir sehen eine gefaltete Schichtserie, die oben von der Erosion auf ein bestimm-

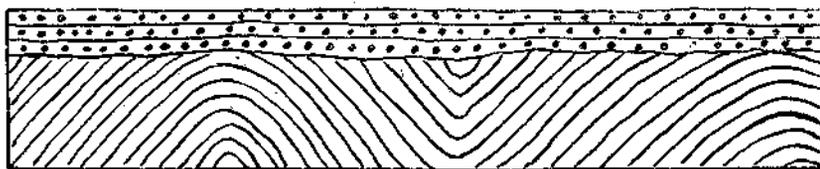


Fig. 5.

Eine locker gefaltete Schichtfolge wurde abgetragen, eingeebnet und mit neuen Schichten bedeckt.

Wir haben also Einstellung der unvollendeten Faltung, Abtragung und Ablagerung neuer Schichten an einer und derselben Stelle.

tes Niveau abgetragen wurde. Später ist dieser Abtragungsfläche dann eine neue, horizontale Schichtfolge aufgelagert worden.

Für unsere Fragestellung gehen aus diesem Baubild folgende wichtige Angaben hervor. Es liegt hier eine Faltung zugrunde, welche aber nicht bis zu ihrer Vollendung getrieben worden ist. Unter Vollendung oder Ausfaltung wäre hier das Zusammenklappen aller noch offenen Mulden und Sättel zu verstehen.

Das heißt mit anderen Worten, hier hätte durch einfache Engerfaltung noch eine erheblich größere Schrumpfung erreicht werden können.

Die zweite Einsicht lautet, daß diese unvollendete Faltung eingestellt und sogar abgetragen wurde. Wie die darauf abgelagerten horizontalen Schichten beweisen, hat diese Ruhestellung bis auf den heutigen Tag angedauert. Vom Standpunkt der Unterströmung folgt daraus, daß an dieser Stelle nur ein Zusammenschub von mäßiger Stärke und kürzerer Dauer stattgefunden hat.

Für die Kontraktion beweisen solche Stollen, daß die Gewölbspansung kein stetig und stets wirkender Zustand sein kann, sondern daß im Laufe der Erdentwicklung halb vollendete Faltungen an vielen Stellen zum Stillstand gekommen sind.

Fig. 6 liefert einen weiteren Bildbeitrag, der ebenfalls vielfältige Ausführungen gefunden hat. Hier sehen wir, daß eine alte, ebenfalls unvollendete Faltung eingestellt wurde und später sogar zur Zerreißung kam.

In die Zerrspalten wurde von unten Magma eingepreßt, das dann darin erstarrt ist.

Als Wirkungen von Unterströmungen ist dieser schroffe Wechsel von Pressung und Zerrung unmittelbar verständlich. Für die Kontrak-

tionsdeutung bleibt ein solcher unverständlich, soferne man überhaupt an der Stetigkeit der Erdkontraktion festhalten will.



Fig. 6.

Eine locker gefaltete Schichtfolge wurde zerrissen. In die Spalten steigt Magma auf und erstarrt darin. Später folgt Abtragung.

Wir haben also Einstellung einer unvollendeten Faltung, Zerreißung derselben und Verheilung der offenen Spalten mit aufsteigendem Magma.

Einen Wechsel in der ganzen Bauart zeigen auch die Reliefüberschiebungen an, wie Fig. 7 an einem Profilschnitt des Stanserjochs vorführen soll.

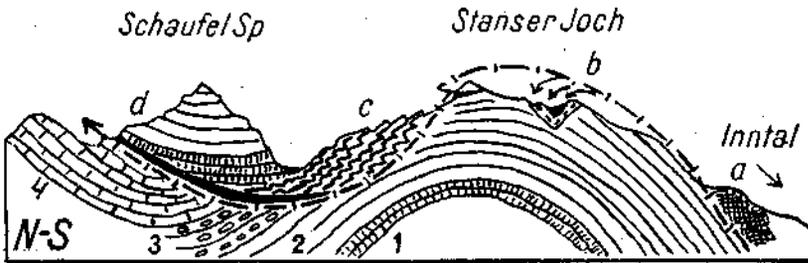


Fig. 7.

- 1 = Muschelkalk
  - 2 = Wettersteinkalk Kalk-Dolomit
  - 3 = Raibler Sch.
  - 4 = Hauptdolomit
- } Lechtaldecke.

a—b—c—d = Schubreste der Inntaldecke.

Die Lechtaldecke zeigt lockere Faltung und tiefe Abtragung. Die Inntaldecke wurde der Lechtaldecke von S her aufgeladen und in ihre Furchen geschoppt. Wir haben zwei Schubmassen ohne Ausfaltung in der Richtung von S gegen N, welche durch lange Abtragung getrennt waren.

Hier haben wir eine alte Faltung des Karwendelgebirges vor uns, die ebenfalls unvollendet nicht nur zur Einstellung, sondern auch zu tiefer Abtragung kam. Eine gegen 2000 m mächtige Schichtdecke muß bereits vom Scheitel des Stanserjochs entfernt gewesen sein, als von S her eine schwere Schubmasse über Berg und Tal gegen N zu vorgeschoben wurde.

Hier haben wir also die Reihenfolge von Einstellung einer noch nicht vollendeten Faltung, tiefe Abtragung und endlich als unerwartete

Fortsetzung die Einwanderung einer mächtigen Schubmasse von S her. Dabei wissen wir heute aus der Neuaufnahme des Karwendelgebirges, daß sich der gewaltvolle Vorgang einer Reliefüberschiebung hier sogar zweimal abgespielt hat.

Wir haben also Einstellung einer alten unvollendeten Faltung, tiefe Abtragung und dann neuerliche Fortführung des Baues mit den Mitteln von Reliefüberschiebungen. In diesem Beispiel ist die Schubrichtung der alten Faltung und der jüngeren Reliefüberschiebungen ungefähr dieselbe geblieben.

Es gibt aber auch viele Fälle, wo nicht nur die Faltung mit Schiebung, sondern auch Schiebungen mit sehr verschiedener Bewegungsrichtung wechseln. Besonders schöne Beispiele für einen solchen Schiebungswechsel stellen sich am Westende der Ostalpen ein, wie Fig. 8 zu erläutern versucht.

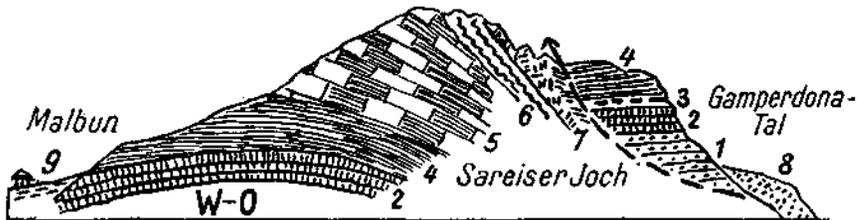


Fig. 8.

- |                    |                   |                 |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| 1 = Buntsandstein. | 4 = Partnach Sch. | 7 = Rauhacken.  |
| 2 = Muschelkalk.   | 5 = Arlberg Sch.  | 8 = Moränen.    |
| 3 = Pietra verde.  | 6 = Gipslager.    | 9 = Hangschutt. |

Die Gruppe 2—7 gehört zu der von S gegen N vorgeschobenen Lechtaldecke. Die Gruppe 1—4 ist dagegen nach tiefer Abtragung der Lechtaldecke von O gegen W als jüngere Reliefschubmasse eingefüllt worden. Wir haben hier also zwei verschieden gerichtete Schubmassen übereinander. In jeder ist die Faltung noch unvollendet.

Den Unterbau stellt die große Schubmasse der Lechtaldecke vor, die von S gegen N auf das Vorarlberger Flyschgebirge aufgeschoben liegt. In Erosionslücken der Lechtaldecke wurden später noch östlichere Schuppen der Lechtaldecke auf dem Weg von O gegen W eingeschoben. Am Westende der Ostalpen hat dieser Wechsel von älterem S → N-Schub mit jüngerem O → W-Schub große Ausdehnung und Formgewalt. Beide Schubbewegungen sind als Reliefüberschiebungen ausgebildet. Auch war das ältere Gebirge bereits tief abgetragen, als auf seine Ruinen der neue Einschub erfolgte.

Wir wissen heute, daß auf der Erde gerade viele der schönsten und lebendigsten Faltungen gar nichts mit der Erdkontraktion zu tun haben.

Vielmehr handelt es sich, wie Fig. 9 angibt, um typische Faltungen von Gleitmassen im Zuge der Schwere. Zur Herstellung des dazu

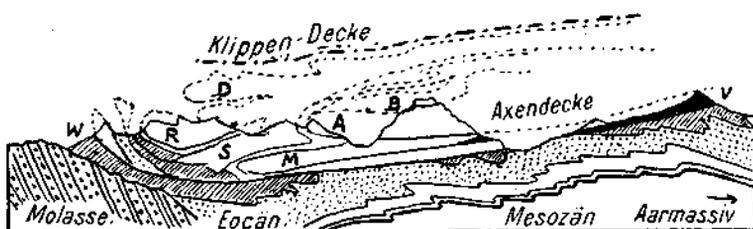


Fig. 9.

**Die Decken der Glarner Alpen nach Arnold Heim.**

V = Verrukano + Trias + Jura + Kreide. W = Wildflysch.  
 Glarner Decken: M = Mürtchen D., Axen D., B = Bächistock D.,  
 S = Säntis D., Räderten D., Drusberg D.

Ueber den Sedimentmantel des Aarmassivs glitt zuerst die Wildflyschdecke ein. Ihr folgten dann die Glarnerdecken. Diese brandeten an dem bereits tief erodierten Molassegebirge empor. Die Stirnen der frei übereinandergleitenden Decken sind teilweise noch schön erhalten.

nötigen Gefälles sowie für die zur Ablösung nötigen Erschütterungen dürften wieder aus der Tiefe aufsteigende heiße Massen die Grundbedingungen liefern. Durch Wärmezufuhr und kräftige Erschütterungen kann zugleich auch das Gleitgefälle wesentlich erniedrigt werden.

Aber selbst innerhalb der Faltengebirge kommen einzelne Gebiete vor, deren Faltungsart uns beweist, daß sie nicht durch seitliche Zusammenpressungen erzeugt worden sind.

Solche Gebiete sind in besonderer Schönheit in den Westalpen vorhanden und hier durch die Schweizer Geologen auch vorbildlich erforscht und dargestellt worden.

Ich benütze in Fig. 10 einen Querschnitt, der von Rudolf Staub 1926 beigezeichnet worden ist.



Fig. 10.

I = alte, ausgefaltete, kristalline Schichten.  
 II = Freigleitdecken der Glarner Alpen.  
 III = tiefe Senkungszone im Alpenkern mit Gleitdecken.  
 IV = junge, granitische Aufschmelzungsmasse.

Hier wird offenkundig, in welcher großer Ausdehnung im Kern der Hochalpen flachliegende Falten vorhanden sind, welche nie in einem allseitigen Preßrahmen, sondern nur als freie Gleitungen entstanden sein können.

Diese Falten liegen mehrfach übereinander und füllen einen breiten und tiefen Hohlraum aus.

Innerhalb eines Faltengebirges kann ein solcher Hohlraum wiederum nur durch eine Versenkung und eine Abwanderung tieferer Massen geschaffen worden sein.

Der Hohlraum wurde dann mit einseitig einrollenden Falten zugefüllt, die eine merkwürdige Umwicklung von Gneiskernen mit Bündnerschiefern und sehr verarmter Trias zur Schau stellen. Versucht man, diese Falten im Geiste auszuglätten, so erkennt man leicht, daß hier ein breites Schichtland aufgerollt und versenkt worden ist. Wahrscheinlich hat diese tiefe Versenkung erst die Möglichkeit für das Hereingleiten dieser Rollfalten eröffnet.

Die Auffüllung dieses Hohlraumes ist mit diesen Falten so gut ausgeführt, daß erst die geologische Detailaufnahme sein Vorhandensein aufzudecken vermochte.

Für die Anwendung der Erdkontraktion auf die Erklärung der Faltengebirge bildet die Einschaltung von so tiefgreifenden Versenkungen im Kern der Alpen ein ernstes Hindernis. Für die Unterströmung ist hingegen ein Hin- und Herfluten, Absinken und Aufsteigen nur ein Zeichen für die Lebendigkeit der unter der Erdoberfläche verborgenen Massenverschiebungen.

Die hier zu einer kurzen Uebersicht vereinigten Baubeispiele lassen uns erkennen, daß für alle diese Einzelfälle der Unterströmung genügend Hilfsmittel für die Erklärung zur Verfügung stehen, während dies nicht in gleichem Maße für die Kontraktionshypothese gelten kann. Man könnte nun fragen, ob dies überhaupt eine Ablehnung der Erdkontraktion bedeuten soll.

Dies ist keineswegs der Fall schon aus dem einfachen Grunde, weil unsere geologischen Dokumente dafür ja gar nicht weit genug zurückreichen und die Erde erst betreffen, als diese schon in eine Erstarrungshaut eingehüllt war.

Die Hauptfunktionen der Kontraktion liegen aber viel weiter zurück und haben sich vor allem in dem gasig-flüssigen Zustand der Erde ausgewirkt. Die Erforschung dieser Möglichkeiten ist aber keine Aufgabe der Geologie, sondern der Astronomie.

Immerhin kann man für die geologisch belegbare Zeit der Erdentwicklung behaupten, daß sich die Tektonik auch ohne Zuhilfenahme

einer ständig wirksamen Kontraktion unschwer erklären läßt. Was wir an greifbaren Bewegungsbildern der Erdhaut besitzen, läßt sich sogar ungewollt und einfacher durch Wirkungen von Strömungen in ihrem immer noch heißen Innern verstehen.

Diese Strömungen sind vielleicht noch ein Erbe aus der Zeit jener stürmischen gasig-flüssigen Vergangenheit. Wahrscheinlicher bilden sie sich aber immer aufs neue durch Massenverschiebungen im heißen Innern, welche neuen und feineren Gleichgewichten zustreben.

Wenn die irdische Tektonik tatsächlich nur der Ausdruck eines unwiderstehlich wirksamen, allseitigen Gewölbedruckes wäre, so hätten wir einerseits eine gleichmäßige Gesteinszerdrückung und Kleinrunzelung, andererseits ein fortdauerndes Wachstum dieser Wirkungen in derselben Richtung zu erwarten.

Nun wird aber das gerade Gegenteil in unseren geologischen Erfahrungen bestätigt.

Immer wieder sehen wir Faltengebirge und Tafelländer entstehen und vergehen. Kein einziges Faltengebirge ist jemals zur vollen Ausfaltung gereift. Immer wurde die Faltung vorzeitig abgebrochen und vor der Vollendung eingestellt. An die Stelle von Faltung trat vielfach Auflockerung und Zerreißen. An anderen Stellen wurde die Faltung eingestellt und nicht mehr durch Faltung, sondern durch Ueberschiebung fortgesetzt. Häufig wechselt an denselben Stellen die Richtung von Faltung und Ueberschiebung.

Es ist nicht richtig, daß durch Faltung eine allgemeine Verfestigung der Erdhaut eintritt. Nur in einer Richtung tritt Wellblechversteifung ein. Auch diese bietet keinen Schutz gegen neue Umformungen.

Die Gebirgsbildung erhält ihren Antrieb nicht von der Seite her, sondern aus dem heißen Untergrund. Wie die oft lebhaften Verfaltungen und die Gliederung in dünne Bewegungsdecken beweisen, müssen die Zonen für eine Gebirgsbildung zuerst von unten her wohl durch Aufschmelzungen verdünnt und beweglich gemacht werden. Hätte tatsächlich auch noch in geologischen Zeiten eine ständige Kontraktion stattgefunden, so wäre durch eine solche Zusammenpressung schon längst die erstarrte Schale für so feingliedrige Gebirgsbildungen zu dick geworden. Die wunderbare Kugelballung der Himmelskörper konnte nur von Kontraktion und Rotation in einem gasigen oder flüssigen Zustand der Materie in einer solchen Vollendung gelingen. Mit der Bildung von festen Oberflächen war dann die Hauptarbeit der Kontraktion geleistet, welche fortan in der Umklammerung und Festhaltung des Erdinneren bestand. Alle für uns noch auflösbaren Oberflächen-

bilder der Planeten zeigen keinerlei Pressungsstrukturen, sondern nur Bewegungsbilder ihres eigenen Innenlebens.

Das tritt an Sonne und Mond für uns am deutlichsten hervor. Das Eigenleben ist hier im feurig-flutenden Sonnenglanz ebenso klar wie in dem stillen Antlitz des Mondes.

Überall wird die gewaltige Rundballung der Kontraktion in bescheidenem Ausmaß von den Wirkungen des Innenlebens durchbrochen. Diese Wirkungen würden auch auf der Erde viel bedeutender sein, wenn die tektonischen Höhen der Gebirge nicht durch Verwitterung und Abtragung, die Tiefen der Meere nicht durch Verschüttungen ständig vermindert würden. Auch die Höhe der Vulkanausbrüche verliert durch die Last der Atmosphäre und die Gewalt der Winde viel von ihrer Großartigkeit. Ohne Atmosphäre würde die Erde noch zackiger als der Mond aussehen.

Unsere Uebersicht der Hauptbauformen der Erde hat uns die Einsicht gegeben, daß dieselben weit einfacher und leichter mit dem Spiel des Innenlebens der Erde, als mit der Gewalt der Kontraktion zu erklären sind.

Würde die Gestaltung der Erdoberfläche nur der Gewalt der Kontraktion anvertraut gewesen sein, so hätten wir eine höchst einfache und regelmäßige Uniformierung derselben zu erwarten. Das Uebermaß dieser Gewalt würde keinerlei Auswüchse von individueller Gestaltung dulden.

Das Werk der Kontraktion besteht durch den ganzen für uns erkennbaren Weltraum hin in einer Kugelballung der Materie. Trotz dieser gewaltigen Zusammenballung von so vielen und so verschiedenartigen Stoffen bleibt im Innern der geballten Kugeln, so lange sie nicht völlig erstarrt sind, ein großer Schatz an Eigenleben bestehen.

Dieses Eigenleben ist es nun, welches die geglätteten Kugelflächen immer wieder durchbricht und stört.

So ist auch das Relief der Erdkugel kein Gebilde der Kontraktion, sondern im Gegenteil eine Störung ihrer Glättung durch die Abbildungen der endlosen Umwälzungen und Strömungen des verborgenen heißen Erdinnern. Sie gaben erst der Erde ihre eigenartige Zeichnung, die sie von allen anderen Himmelskörpern unterscheidet. Aus der Hand der Kontraktion gehen alle diese Kugeln in gleicher Vollendung hervor.

Erst die Kräfte ihres Inneren rufen dann auf den bereits erstarrten Kugelflächen nach und nach eine im Verhältnis zur Kugelgröße nur zarte Reliefzeichnung hervor. Diese Feinzeichnung dürfte voraussichtlich auf allen Himmelskugeln wieder im Detail eine andere sein. Es

ist fast wie bei den Fingerabdrücken der menschlichen Hände. Die Kräfte, welche diese Reliefzeichnungen hervorrufen, sind weit geringer und weit unbeständiger als jene der Kontraktion und werden auch von dieser Hochgewalt im Zaume gehalten.

Wir halten also fest, daß die Kontraktion immer in demselben Sinne mit großer Gewalt zusammentreibend wirkt, wogegen das Verschiebungsspiel des bunt gemischten heißen Erdinnern mannigfaltige Wirkungen auslösen kann. Das ist auch der Grund für die zahlreichen unvollendeten Bauwerke, für den Wechsel der Bewegungsrichtungen, den Wechsel von Pressung und Dehnung, für Aufschmelzungen und Erstarrungen, Hebungen und Verschluckungszonen. Dieses, heute erst zu einem geringen Teil bekannte Bewegungsinventar kann uns auch die Handhaben liefern, um Schlüsse auf die genauere Zusammensetzung des Untergrundes der Erdhaut zu gewinnen.

Freilich darf man bei dieser Forschung nicht so wie es heute leider noch mehrfach geschieht, die Anzeichen von Pressung und Dehnung, von Hebungen und Senkungen, von Verschluckungen, Freifließzonen, Gleitungen usw. alle in einen Topf werfen und als Wirkungen einer und derselben Kontraktion beschreiben.

Hier kann man nur mit einer sorgfältigen reinlichen Scheidung dieser verschiedenartigen Bewegungen und Umformungen wirklich zu neuen und tieferen Einsichten gelangen.

Die hier betonte Scheidung der Arbeitskräfte und Arbeitsweise zwischen der mächtigen allbeherrschenden Kontraktion der Himmelskörper und zwischen ihrem Innenleben hat im Laufe der Weltentwicklung ihre Grenzen vielfach verändert.

Ein Innenleben hat sicher auch schon in den ersten riesigen Gasballen bestanden, nur war es von einer unfaßbaren Veränderlichkeit.

Im flüssigen Zustand waren seine Bahnen schon genauer umschrieben.

Mit der Umkrustung der immer rascher rotierenden Kugeln war der Bereich ihres Innenlebens schon weitgehend abgegrenzt, wenn es auch häufig genug zu Durchbrechungen gekommen sein mag.

Wir halten also fest, daß in der geologischen Zeit der Erde das Reich ihres Innenlebens gegenüber der Uebergewalt der Kontraktion bereits deutlich abgegrenzt war. Die schöne Kugelform war hergestellt und im Innern eine ungefähr dazu passende Ordnung erzwungen. Diese Ordnung war aber keineswegs eine endgültige; vielmehr dauern ihre Erschütterungen bis auf den heutigen Tag.

Es ist aber nicht wahrscheinlich, daß in geologischen Zeiten die Verkleinerung der Erdkugel noch größere Fortschritte machte. Da-

gegen ist der Ausbau im Innern immer wieder zu neuen Ordnungen fortgeschritten.

Der Wärmebesitz des Erdinnern braucht innerhalb der geologischen Zeit auch nicht wesentlich gesunken zu sein, weil gegen die Abkühlung radioaktive Wärmespeicherungen und die Sonneneinstrahlung hemmend gewirkt haben.

Der Wärmebesitz des Innern stellte auch die Kräfte und den Anreiz für die vielerlei Bewegungen zur Verfügung, welche sich hier abgespielt haben und welche auch zum großen Teil die Erdhaut in Mitleidenschaft gezogen haben.

Die großen Formungen der Weltkörper und ihre Verteilung im Weltraum können als Wirksamkeiten von Kontraktion und Rotation verstanden werden. Es besteht aber daneben getrennt und für sich ein Innenleben der noch nicht völlig erstarrten Himmelskörper und dieses Innenleben ist es nun, dessen Aeüßerungen uns durch die geologischen Dokumente der Erdhaut wenigstens teilweise aufbewahrt wurden.

Dieses Innenleben verfügt aber nur über weit bescheidenere Kräfte, die aber in bezug auf Richtung und Stärke einem lebhaften Wechsel unterliegen. Daher zeigen auch die von ihnen in der Erdhaut erzeugten Bauwerke einen so mannigfaltigen Stil und eine so reiche Abwechslung.

Charakteristisch ist das gegen den Sinn einer fortschreitenden Kontraktion stets unvollendete Stehenlassen dieser Bauwerke und das Nichtzusammenschließen derselben. Sie fügen sich nirgends gleichsinnig aneinander, vielmehr durchbrechen sie sich oder lösen sich gegenseitig ab. Eine solche Mannigfaltigkeit wäre bei der Einheitlichkeit und Stärke der Kontraktion unverständlich. Es kann derselben nur eine noch größere Mannigfaltigkeit der schaffenden Bewegungen zugrunde liegen. Der Sitz dieser Bewegungen kann sich aber nur im Innern der Erdkugel befinden. Die Zurückführung der Gebirgsbildung auf die ungeheuren Kräfte des Gewölbedruckes hat zu einer verschwenderischen Verwendung von Faltungsbeträgen verlockt. Wenn man sich an die Alpenquerschnitte aus den ersten Zeiten des Nappismus erinnert, wo man Stöße von Riesenfallen 20 km hoch in den Konstruktionen aufzuhäufen pflegte, so wird man sich dieser Ueberschätzung des Zusammenschubes voll bewußt.

Nur ein Bruchteil dieser Konstruktionen hat sich indessen als haltbar erwiesen. Wie viel davon ist als Gleitbildung auszuscheiden oder auf die zeitlich getrennte Rechnung der  $O \rightarrow W$ -Bewegungen zu setzen. Von den verkehrten Schenkeln der riesigen Ueberfallen ist nur wenig nachweisbar geblieben. Zwischen der  $S \rightarrow N$ - und der  $O \rightarrow W$ -

Bewegung hat eine tiefgreifende Abtragung stattgefunden. An Stelle der ausgequetschten Wurzelzonen sind Verschluckungszonen wahrscheinlicher geworden. Im Untergrund haben gewaltige Aufschmelzungen aufgeräumt und neue Massen Ordnungen geschaffen.

So ist der Alpenbau in unserem Geiste weniger phantastisch, dafür aber einfacher und verständlicher geworden.

Das Massenaufgebot der Alpen ist wesentlich kleiner und braucht nicht aus weiter Ferne herbeigeschleppt zu sein.

Vielmehr ist dasselbe über einem reich bewegten, lebendigen Untergrunde entstanden und kann nicht als ein Beweis für eine großartige Kontraktion der Erde angeführt werden.

---