

GEOLOGISCHE UND GEOGRAPHISCHE EXPERIMENTE.

AUSGEFÜHRT MIT UNTERSTÜTZUNG
DER
KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
VON
ED. REYER.

III. HEFT:
RUPTUREN.

IV. HEFT:
METHODEN UND APPARATE.

LEIPZIG, 1894.
WILHELM ENGELMANN.

III. Heft: Rupturen.

Brüche entstehen infolge von Tensionsdifferenzen, und zwar können wir folgende Fälle unterscheiden:

I. Zerrung. a) Wenn brüchige Massen einen kleineren Raum einnehmen und benachbarte Partien verschiedene Wege zurücklegen, so tritt Ruptur ein, sobald die Elasticitätsgrenze überschritten ist. Dies trifft unter Anderem zu beim Eintrocknen, wenn die äusseren Theile einer Masse mehr Wasser verlieren als die inneren. Substanzverlust infolge von Auslaugung oder krystalliner Umlegung kann dieselbe Wirkung haben.

b) Substanzaufnahme hat Quellung zur Folge, welche gleichfalls zur Ruptur führen kann (wir erinnern an gewisse Pseudomorphosen).

c) Endlich entstehen Zerrungsrisse infolge von Massenbewegungen, Hebung, Senkung oder flacher Verschiebung.

II. Pressung. Während in diesen Fällen infolge von Zerrung klaffende Brüche entstehen, können andererseits auch unter hohem Drucke Rupturen entstehen, falls namhafte Tensionsdifferenzen herrschen. Die Rupturen klaffen aber in diesem Falle nicht, sondern es bleiben die Massen auch im Gebiete des Bruches aneinandergeschmiegt; es entstehen Gleitflächen, Schleppungen etc., aber keine klaffenden Spalten.

* * *

Die experimentelle Nachahmung der Risse, welche infolge von Substanzverlust, respective -Aufnahme, entstehen,

kann übergangen werden, während die mannigfaltigen Brüche, welche durch steile oder flache Massenbewegungen verursacht werden, durch Experimente erläutert werden sollen. Das vorliegende Material ist so reich, dass wir uns im Folgenden auf wenige Typen beschränken müssen.

Flache Verschiebungen.

1. Wenn ein Schichtsystem flach gleitet, kann dasselbe compact bleiben, falls die Unterlage flach und homogen ist. Bewegen sich die in der Schubrichtung vorne liegenden Massen langsamer als die rückwärtigen, so tritt Stauung ein, und je nach der Consistenz des Materiales erfolgt Faltung, Ueberschiebung, Schuppenbildung (Geol. Exp., Heft I, Fig. 61 f.)

2. Bewegen sich hingegen die vorne liegenden Partien des Schichtsystems rascher als die rückwärtigen, so entstehen klaffende Risse. In beiden Fällen streichen die Falten und Ueberschiebungsbrüche einerseits, die klaffenden Risse andererseits senkrecht gegen die Schubrichtung.

Ist das Material und die Bewegung im zweiten Falle in allen Punkten der betreffenden longitudinalen Zone gleichartig, so entsteht eine geradlinige Spalte. Variationen des Materiales oder des Schubes bewirken, dass kurze, beiderseits auskeilende Risse sich bilden, wie Fig. 1 (Exp. 400) deren zeigt.

Hält der Schub an, so entsteht an der schwächsten Stelle zwischen zwei benachbarten Spalten eine quer verlaufende Spalte, welche beide Risse zu einem Riss (mit ein- und ausspringenden Winkeln) vereint: Fig. 2—5 zeigt, wie mehrere longitudinale Risse sich allmählig erweitern und durch eine Querspalte verbunden werden (4 Stadien desselben Experimentes).

Wenn die gleitende Bewegung des Schichtsystems im Streichen sich stetig ändert (wächst oder sich vermindert), entstehen Spalten, welche schräg gegen die Normale verlaufen, wie Fig. 6 (Exp. 401) zeigt. In diesem Falle wurde die Oberfläche in quadratische Felder von verschiedener Färbung eingetheilt. Die Pfeile zur Rechten, welche gegen N. länger werden, zeigen, um wieviel der Schub in dieser Richtung zunimmt; die Verzerrung des Feldes zeigt die Deformation des Schichtsystems an.

3. Wenn eine Platte windschief gebogen wird, entstehen sich kreuzende Spalten. In Fig. 7 (Exp. 442) war eine derartige Deformation mit Zerrung verbunden. Gewisse Längs- und Querrisse bilden eine geschlossene Einheit, während andere Längs- und Querrisse klaffen (weiss in der Figur). Diese Erscheinung spielt in der Natur eine grosse Rolle. Man findet oft einen Theil eines Ruptursystems geschlossen, während ein anderer Theil des Systems von Eruptivmaterial oder Erzen erfüllt erscheint.

4. Während in diesen Fällen im Wesentlichen verschiedene Horizontalbewegung die Ruptursysteme verursachte, werden die Brüche in anderen Fällen durch Bewegungsdifferenzen in steiler, zumeist verticaler Richtung verursacht. Auch in diesem Falle entstehen im einfachsten Falle weithin streichende Spalten, welche die Regionen diverser Bewegung trennen. Auf der einen Seite der Spalte mag das Schichtsystem stationär bleiben, während die Massen jenseits der Spalte sich gehoben oder gesenkt haben; in anderen Fällen mögen beide Flügel sich bewegt haben, und zwar scheint insbesondere der Fall häufig vorzukommen, dass beide Verwerfungsflügel sich senken — jedoch um verschiedene Beträge.

5. Variirt die Beschaffenheit des Materiales oder ist die Bewegung in benachbarten Gebieten verschieden, so treten wie im Falle der diversen Horizontalbewegung mehrere

kurze, vicarirende Spalten auf, welche häufig durch Querspalten zu einer Einheit verbunden werden.

Fig. 8 (Exp. 418) zeigt den Vorgang im Aufblick und im Profil (I, II, Fig. 9, 10). In diesem Falle waren die tieferen Partien des Schichtsystems plastisch, und die Brüche beschränkten sich auf die obersten brüchigen Theile, welche in Profil I um einen geringen Betrag absitzen, während im benachbarten Profil II stärkere Verticalbewegung eintrat, welche zu einer Flexurverwerfung führte.

6. Geschlossene und klaffende Rupturen. Zusammenhang der Rupturen mit Flexuren; Grabenbrüche.

In Fig. 11 (Exp. 416) erfolgte das Absitzen nach einer NS-Linie (vgl. Profil Fig. 12). Im Gebiete der schwarzen, klaffenden Spalte war die Zerrung namhaft, dagegen die Absenkung gering, im benachbarten westlichen Gebiete sank der Flügel längs einer geschlossenen Spalte ab.

Wenn das Schichtsystem während des longitudinalen Absitzens auch eine transversale Verschiebung erleidet, erweitern sich die longitudinalen Spalten zu weiten Klaffen, welche sich in der Richtung gegen den stärksten Schub ausbiegen. In Fig. 13, Exp. 403 und Profil I, II, Fig. 14, 15 bildete sich eine Flexurverwerfung längs einer NS.-Linie. Die Neigung der Schichten war aber in diesem Falle im südlichen Gebiete in der Richtung gegen SW. so beträchtlich, dass das Schichtsystem im Süden in dieser Richtung vorschob, wie die drei deformirten (grauen) Normalstriche anzeigen.

In Fig. 16, Exp. 418 sieht man, wie der Charakter einer Verwerfung sich im Streichen rasch ändert. Die Breite, in welcher die liegenden Schichten infolge der Verwerfung zu Tage treten, ist in der oberen Fig. 16 durch den schwarzen Ton hervorgehoben. Im westlichen Profil III, Fig. 17 klafft die Spalte, in der Mitte bei IV, Fig. 18 ist die Verwerfung

geschlossen, bei V aber ist der abgesunkene Flügel überstülpt, wie man aus dem Profil Fig. 19 ersieht.

Fig. 20, 21, Exp. 417 zwei Parallelprofile. Man sieht ein starres Schichtsystem im Liegenden (schwarz), darüber einen weichen Complex (grau), zu oberst ein plastisch-rupturell deformirtes Schichtsystem. Die Flexur hat die Tendenz, zu einer vollständigen Ueberstülpung zu führen (analog Fig. 19, Exp. 418, Profil V).

Fig. 22, Exp. 437 zeigt einen Grabenbruch mit absinkenden Bruchkeilen. In Profil Fig. 23, Exp. 419 endlich bildet sich eben ein breiter Graben mit flach versinkendem Mittelstück. Während in Fig. 22 das ganze Schichtsystem sich bis in grosse Tiefe¹⁾ rupturell deformirte, war in Fig. 23 die liegende Masse so plastisch, dass sie einen Flexurgraben bildete; nur die oberen (grauen) Schichten sind in Schollen zerlegt.

Wenn eine Spalte örtlich eine starke Weitung aufweist, tritt, falls das Gestein nicht sehr resistent ist, ein ovaler Niederbruch ein (Pinge oder Einbruchdoline), Fig. 24, 25. Die Dimensionen des Einbruches variiren in verschiedenen Horizonten je nach der Festigkeit des Materiales. In Fig. 24 sind die weissen Schichten (gesiebter Gyps) resistenter als die schwarzen, daher die Weitungen im Gebiete der schwarzen Schichten beträchtlicher sind.

Der Charakter der Deformationen ändert sich mit dem Material, wie das letztbesprochene Experiment zeigt. Wechseln brüchige und plastische Schichten, so werden erstere rupturell, letztere aber plastisch deformirt. Das Vicariren von Flexur und Verwerfung (Fig. 9, 10, 20) ist hierdurch bedingt.

¹⁾ Will man dies erreichen, so muss das ganze Schichtsystem aus gesiebten Schichten bestehen, gegossene Breischichten ergeben Flexuren (Fig. 23).

Falls eine Schichte breiförmig ist, wird sie im Falle der Zerrung nur gestreckt, während die starren Schichten klaffende Risse aufweisen, welche successive durch die benachbarten breiigen Massen ausgefüllt werden. In Fig. 26, Exp. 440 dringt das Material der grauen hangenden Schichte in die Spalten der liegenden schwarzen Schichten. In Fig. 27, Exp. 189 sind die schwarzen Massen breiig; sie vereinigen sich, sobald die helle starre Schichte rupturrell deformirt wird, und nun scheinen die Schollen der letzteren Schichte im dunklen Material zu «schwimmen». In Fig. 28 waren die hangenden schwarzen Massen nicht so weich, dass sie die entstehenden Spalten in den liegenden (grauen) Sedimenten ganz ausfüllen konnten; sie senkten sich nur zapfenförmig in die breiteren Risse nieder und liessen Lücken frei (weiss).

Im Falle einer elliptisch domförmigen Auftreibung entstehen Längsrisse (parallel der grossen Axe), peripherische und radiale Rupturen. In Fig. 29 (Exp. 424) dominiren die Radialrisse. Intrusivmassen erzeugen derartige Ruptur-systeme.

Analoge Systeme bilden sich, wenn ein Schichtsystem muldig einsinkt. Im ersten Falle klaffen die Spalten gegen oben, im letzteren gegen unten.

Bei geneigter Schichtlagerung verursachen Verwerfungen mitunter intensive Massenbewegung. Unter Umständen tritt eine Vorfaltung, in anderen Fällen eine einfache gleitende Verschiebung ein. Profil Fig. 30 (Exp. 404) zeigt die beginnende Verwerfung; die hangenden hellen Schichten sind starr, die liegenden grauen hochplastisch, darunter folgen abermals feste Schichten (schwarz). Die starre hangende Scholle gleitet, da sie seitlich nicht mehr gestützt ist, über den abgesunkenen Flügel hin, wie Profil Fig. 31 zeigt. Hiedurch wird eine Doppelung des Schichtsystems zur Linken erzeugt.

Die mit der Faltung zusammenhängenden Längs- und Querbrüche, sowie die Ueberschiebungsbrüche wurden im I. Heft der geologischen Experimente erörtert.

Vulcanische Spalten und Faltgebirge.

Suess hat uns in der «Entstehung der Alpen» tektonische Typen vor die Augen geführt und Ordnung in das Chaos der Thatsachen gebracht. Der dritte Band des «Antlitz der Erde» aber wird uns, so weit dies auf Grund der vorliegenden Aufnahmen möglich ist, eine stratigraphische und tektonische Weltgeschichte bieten. Es ist uns geläufig geworden, den einseitigen Schub, welcher eine Zone von Sedimenten in Falten legt, in genetischen Zusammenhang zu bringen mit den Senkungsfeldern, welche hinter den Faltgebirgen auftreten. Die Ruptursysteme (Längs-, Quer- und Ueberschiebungsbrüche, endlich die peripherischen Brüche) erscheinen durch diese tektonische Grundlage bedingt.

Ueber die letzten Ursachen dieser tektonischen Bildungen gehen die Meinungen derzeit noch weit auseinander. Während die Einen die Gebirgsbildung als einen durch die Schrumpfung der Erde bedingten Runzelungsvorgang betrachten,¹⁾ verweisen die Gegner auf die unlöslichen Widersprüche, welche der anscheinend einfachen Hypothese entgegenstehen, und führen die Gebirgsfaltung wenigstens in vielen Fällen auf Thermal-

¹⁾ Günther's Hypothese, betreffend den gasförmigen Zustand des Kernes, verleiht der Contractionshypothese neuerdings ein grosses Gewicht; ob aber die Faltengebirge auf dies Agens zurückzuführen seien, scheint uns fraglich. — Professor Bombicci-Porta hebt hervor, dass er das Gleiten der Schichten bereits in seiner Monographie «Il sollevamento del Apennino, Bol. 1882» als Ursache der Faltung bezeichnete. Diese Arbeit war mir nicht bekannt, als ich das erste Heft publicirte, doch führe ich in meiner «Theoretischen Geologie», 1888, p. 479 mehrere Autoren an, welche die Möglichkeit der Gleitfaltung erörtern.

intumescenz und hiedurch bedingte gleitende Verschiebung zurück.¹⁾

Die Coexistenz klaffender (vulkanischer) Spalten im Senkungsfeld mit der Faltung in der vorderen Zone scheint mit der Contractionshypothese nicht vereinbar; wenn die Faltung wirklich durch den Schrumpfungsdruck in der Kruste erzeugt wird, können unmöglich Spalten neben der Faltungszone klaffen. Wollen wir diese Thatsache erklären, so müssen wir die Contractionshypothese durch eine andere Annahme ersetzen, welche die Existenz einer Pressungszone neben einem Zerrungsgebiet voraussetzt und erklärt. Experimente sind geeignet, diesbezüglich Aufschluss zu geben:

Wenn wir ein Schichtsystem aus gesiebttem Lehm etc. aufbauen, in demselben örtlich einige Gelatineblätter einschalten, dann befeuchten und sich selbst überlassen, entstehen im Gebiete der Gelatineblätter infolge der Quellung Runzeln, während in benachbarten Gebieten, sobald die feuchten Massen trocknen, Risse sich bilden. Dieses Experiment ahmt allerdings die Coexistenz von Zerrungs- und Pressungszonen nach, doch leuchtet es ein, dass es keine adäquate Erklärung für das typische Faltgebirge abgibt.

Untersuchen wir hingegen die Vorbedingungen, unter welchen eine Gleitfaltung eintritt, so finden wir, dass hier thatsächlich eine Pressungszone neben einer Zerrungszone auftritt unter Bedingungen, welche den natürlichen Verhältnissen entsprechen.

Die Voraussetzung der Entstehung eines einseitigen Faltgebirges mit anstossendem Senkungsfeld (mit oder ohne Vulcane) sind folgende:

Das Gebirge bildet sich niemals am Festland, sondern im Gebiete der Seichtsee — zumeist wohl längs einer Küste. Die Bildung der Faltenzüge geht Hand in Hand mit Emersion,

¹⁾ E. Reyer, Ursachen der Deformation und der Gebirgsbildung, 1892.

was zur Anschauung führt, dass beide Thatsachen in causalem Zusammenhang stehen. Die Durchwärmung des betreffenden Schichtsystems sammt seiner Unterlage hat eine thermale Auftreibung zur Folge; das Schichtsystem rückt über den Wasserspiegel auf; das Gleichgewicht wird gestört, es tritt Massenbewegung in der Richtung vom Lande gegen das Meer ein. Der Schub muss in dieser Richtung vor sich gehen, weil

1) der ursprüngliche Meeresgrund, d. i. die Basis des längs der Küste abgelagerten Sedimentcomplexes von Anfang an eine in der Richtung vom Lande gegen das Meer geneigte Böschung besass,

2) ist der Sedimentcomplex am mächtigsten nahe dem Lande und keilt gegen die offene See hin aus. Die Durchwärmung des Complexes und der Basis hat mithin nahe dem Lande die stärkste Intumescenz zur Folge. Die Neigung des Schichtcomplexes wird also infolge der Durchwärmung vermehrt und dem entsprechend wächst die Tendenz einer seewärts gerichteten Massenbewegung.

In Fig. 32 ist das Grundgebirge (schwarz) im marinen Gebiete überlagert von jungen Sedimenten (grau). In Fig. 33 erscheint dieser Küstenstrich sammt seiner Unterlage (infolge thermaler Schwellung) gehoben, wie die Pfeile andeuten. Zwischen dem gehobenen Küstenstreifen und dem stationären Küstenlande entstehen Rupturen. In Fig. 34 ist dargestellt, wie die gehobenen Küstensedimente von der Gleitfaltung bewältigt werden. Im Experiment wird die Hebung nicht durch thermale Intumescenz, sondern durch mechanische Einwirkung (Hebung der Unterlage des rechten Flügels) erzielt. Da in diesem Falle nicht nur die jungen Sedimente, sondern auch die Basis (das Grundgebirge) infolge der thermalen Quellung nahe dem Lande stärker gehoben werden als im Gebiete des offenen Meeres, entsteht nicht nur in den jungen Sedimenten, sondern auch in der meerwärts geneigten Unter-

lage, mithin in der ganzen Erdkruste die Tendenz, sich meerwärts vorzuschieben. Während der Festlandflügel der anhaltenden Erosion (und Abkühlung) entsprechend absinken muss (Waagbalkenbewegung, angedeutet durch die Richtung der Pfeile in Fig. 34).

Zwischen dem aufsteigenden und meerwärts vordringenden Flügel und dem Festlandflügel müssen nothwendig klaffende Spalten entstehen, aus welchen eventuell das Magma empordringt. Hinter dem Faltengebirge entsteht also ein Senkungsfeld, in welchem sich unter Umständen Vulcanzüge aufbauen.

Nach dem Gesagten haben wir im Gebiete der Gebirgsbildung zwei Horizonte zu unterscheiden, welche sich tektonisch verschieden verhalten: das obere Schichtsystem gleitet auf weite Strecken hin vorwärts und legt sich demgemäss in Falten; die Basis (das Grundgebirge), auf welcher das Gleiten der jüngeren Sedimente erfolgt, hat aber nur die Tendenz, als Scholle um einen geringen Betrag seewärts zu drängen. Während das obere Schichtsystem vorgleitet und das Grundgebirge hinter sich freilegt, zeigt die Basis (das Grundgebirge) nur klaffende Risse.¹⁾

Wenn man ein solches gleitendes Schichtsystem quadriert, bevor die Bewegung beginnt, erhält man durch die Deformation (Zerrung, beziehungsweise Pressung) der Quadrate unmittelbar einen quantitativen Aufschluss über Art und Mass der Zerrung, beziehungsweise Pressung. Im Aufblick Fig. 35 herrscht im Norden das Zerrungs-, im Süden hingegen das Pressungsgebiet. Vom Norden gleiten die Sedimente gegen Süden, im Süden stauen sie sich als Faltengebirge auf (rechts von der Figur ist der Massstab notirt; Fig. 36).

* * *

¹⁾ In den meisten Fällen dürfte die Gleitfaltung seicht sein; im Falle der Appalachen scheint allerdings ein grosser Theil der Erdkruste von der Faltung ergriffen worden zu sein.

Gegen die Gleithypothese wird eingewendet, dass man sich unmöglich vorstellen könne, wie mächtige Schichtsysteme bei mässiger Neigung der Basis eine gleitende Bewegung ausführen können, und diese Einwendung scheint Manchem genügend, um diesen Vorstellungskreis ohneweiters zu verlassen.

Dagegen ist zu erinnern, dass die Schwierigkeit, sich eine natürliche Beziehung vorzustellen, uns nicht wohl abhalten darf, der Frage nahezutreten. Es gab auch eine Zeit, in welcher die Bewegung und die Kugelgestalt der Erde den Forschern so wenig plausibel war, dass man die bezüglichen Vorstellungsreihen ohne weitere Prüfung verwarf. Es kam aber eine Zeit, in welcher man gezwungen war, die unwahrscheinlichen Vorstellungen als Thatsachen hinzunehmen, und so mag es wohl auch in diesem Falle gehen. Die gleitende Bewegung ganzer Landestheile mag uns befremden — doch werden wir uns mit der Thatsache abfinden müssen.

Man betrachte eines jener gewaltigen Ueberschiebungsgebiete, welche durch die Forschungen der Schweizer, der französischen und englischen Geologen erschlossen wurden, und man wird zur Vorstellung weitreichender gleitender Bewegungen unwiderstehlich gezwungen. Mag man in diesem Falle die Contraction oder die Gravitation als Ursache der Deformation bezeichnen — die Umwendung und weitreichende flache Verschiebung der Schichten können doch nur auf eine gleitende (und rollende) Bewegung zurückgeführt werden. Nun erinnern wir uns aber auch an Fälle, in welchen solche Massenbewegungen selbst bei sehr geringer Neigung der Massen eintreten können, wenn durch Veränderung des Wasserspiegels oder durch mechanische Eingriffe (Eisenbahneinschnitte u. s. w.) das Gleichgewicht in den betreffenden Massen gestört wird.

Wir sehen hier vor unseren Augen oberflächliche Massenbewegungen, und zwar wirkt hier sicher nicht die Contraction

der Erde, sondern nur die Gravitation. Was hindert uns, im Falle der flachen Ueberschiebung gleichfalls eine durch die Gravitation bedingte gleitende Massenbewegung anzunehmen?

Die Gegner werden einwenden, dass es sich in obigen Fällen doch nur um plastisches (meist tertiäres bis recentes) Material handelte, während in den Gebirgen starre Schichtsysteme gewaltsam deformirt erscheinen.

Hingegen ist aber zu bemerken: 1) dass die betreffenden Schichtsysteme doch immer mächtige Einlagerungen von hochplastischem Material besitzen und auf eben solchem aufruhend, und dass starre Schichten leicht bewältigt werden, wenn sie zwischen plastischen Massen eingeschaltet sind; 2) dass die steinigen, starren Schichten der Faltegebirge gewiss zum grossen Theil plastisch waren, bevor die Faltung begann. Die Phyllite hatten den Habitus von Schieferthon oder Schlamm, die Quarzite und Sandsteine waren ursprünglich lose oder doch nur schwach cementirte Sande u. s. w. Solches Material aber führt leicht Massenbewegungen aus. Die hiedurch eingeleiteten oder doch wesentlich beförderten chemischen Prozesse haben den Schichtsystemen der Faltegebirge erst jenen Habitus verliehen, welcher es vielen Forschern so sehr erschwert, die Gleithypothese anzunehmen.

Wenn man diese Momente gebührend berücksichtigt, wird die Gleitfaltungshypothese dem Verständnisse wesentlich näher gerückt.

Von höchster Wichtigkeit für den Tektoniker ist es, die in der Gegenwart sich vollziehenden, theils paroxysmischen, theils langsamen Umformungen der Erdkruste zu studiren. Die Hebungen, Senkungen und anderen Massenbewegungen sind häufig von Erdbeben begleitet und in vielen Fällen so bedeutend, dass die Beträge der Dislocationen gemessen werden können, und wenn man auch in früheren Zeiten abweichende Resultate geodätischer Vermessungen

immer auf Beobachtungsfehler zurückführte, ist jetzt die Exactheit der Methoden so bedeutend, dass man im einzelnen Falle mit Bestimmtheit thatsächliche Veränderungen behaupten kann. Geodäten und Geographen werden ein ausgedehntes Beobachtungsnetz entwerfen, welches den Tektoniker in die Lage versetzen wird, die verwickelten Deformationen gewisser Theile der Erdkruste zu construiren. Erst an der Hand dieser Thatsachenreihen wird man mit voller Bestimmtheit über den Werth der verschiedenen Gebirgsbildungstheorien ein Urtheil fällen können.

IV. Heft: Methoden und Apparate.

Je kleiner der Massstab des Experimentes, um so feiner muss das Material und desto geringer muss die Cohäsion des Materiales sein; andererseits muss man das Material derart wählen, dass es seinerzeit die Herstellung von haltbaren Präparaten gestattet. Ich bespreche im Folgenden nur jene Methoden und Verrichtungen, welche sich gut bewährt haben.

Will man plastische Deformationen darstellen, so mag Lehmbrei von verschiedener Consistenz und Färbung verwendet werden; doch muss man unter dieser Voraussetzung bei grösseren Experimenten wochenlang warten, bis das Material (durch Trocknen) so weit consolidirt ist, dass man Profilschnitte legen kann, überdies bilden sich bei raschem Trocknen störende Risse. Im Allgemeinen wird man Lehmbrei nur dann anwenden, wenn man nichts weiter als die oberflächliche Deformation studiren will (Schlammströme, Relief eines Faltgebirges etc.). Wünscht man Profilschnitte zu legen, so ist man auf Gyps angewiesen. Man versetzt das Wasser, in welches der Gyps eingetragen wird, mit Leimlösung, wodurch das Erstarren des Gypses verzögert wird (0.1 Liter Tischlerleimlösung auf 1—4 Liter Wasser). Soll der Brei gefärbt sein, so rührt man einige Löffel Mineralfarbe in das Wasser ein, bevor man das Gypspulver einträgt.

Mit breiförmigen Materialien von verschiedener Consistenz lassen sich die meisten Deformations- und Eruptionsexperimente ausführen; für gewisse Studien empfiehlt es sich aber, einfach trocken gesiebte Materialien anzuwenden.

Man kann durch trockene schichtweise Streuung lockere Schichtsysteme (von verschiedener Färbung und verschiedener Consistenz) aufbauen, welche eine so geringe Cohäsion aufweisen, dass man durch geringe mechanische Einwirkung (Zerrung, Erschütterung) prägnante Ruptursysteme, Bergstürze, Wirkung der Erdbeben etc. hervorrufen und nachahmen kann.

Nachdem wir diese Materialien charakterisirt, führen wir zunächst einige einfache Verwerfungs-, respective Flexur-experimente aus.

Zwei horizontale Bretter stossen aneinander. Wir tragen (mittelst Siebes) viele Lagen pulverförmigen Materiales auf, bis beide Bretter von einem einheitlichen Schichtsystem (in der Dicke von circa 1 Cm.) bedeckt sind. Um das Abfallen der Massen über den Rand der Bretter zu verhindern, umgibt man die Brettränder — mit Ausnahme der zwei Ränder, welche aneinanderstossen — mit einem Blechrahmen, welchen man mittelst weniger Stiften an den Brettern befestigt. Um das Durchfallen des gesiebten Materiales zwischen den Brettern zu verhindern, werden die aneinanderstossenden Brettränder durch einen beiderseits angenagelten Tuchstreifen verbunden, welcher den Brettern eine freie Bewegung innerhalb enger Grenzen (etwa 5 Cm.) gestattet. Senkt man nun eines der Bretter langsam, so kann man die Entstehung einer Ruptur verfolgen, entfernt man die Bretter in horizontaler Richtung, so entstehen Grabenbrüche, gestattet man dem einstürzenden Material gegen unten durch die Bruchspalte zu versinken, so kann man die Entstehung von Bruchweitungen, Dolinen studiren. Fig. 37 zeigt die Anordnung des Apparates, bevor die Verwerfung erfolgte, Fig. 38 die Anordnung, nachdem die Dislocation vollzogen ist. Das Absitzen des einen Verwerfungsflügels kann durch Ausziehen eines Keiles (Fig. 40) bewirkt werden. An der Basis der oberen Kufe zur Rechten ist ein Keil angebracht (schwarz), darunter liegt ein er-

gänzender Keil (grau), welcher gegen rechts gezogen wird, wenn man die Kufe senken will. Man passt das System zur Rechten an die Kufe zur Linken (Fig. 39), welche auf einem Sockel ruht. Um das seitliche Abrieseln des aufgesiebten Materiales aus der Verwerfungsspalte zu verhindern, wird beiderseits eine Blechführung angebracht.

In diesem Apparat kann man nicht nur gestreute Schichtsysteme, sondern auch plastische Lehm- oder Leim-Gyps-Schichtsysteme behandeln (Darstellung von Flexuren). Ueberstreut man Breischichten mit trocken gesiebttem Material (welches aus den liegenden Breischichten Wasser anzieht), so kann man Combinationen von plastischer und ruptueller Deformation darstellen (z. B. Association von Flexur und Verwerfung).

Trocken gestreute Schichtsysteme geben nur bei vorsichtiger Behandlung Profilschnitte, und das Präparat eignet sich nicht zur Conservirung. Will man das Experiment aufbewahren und präpariren, so muss man dem Leimpulver geringe Mengen Gyps oder Zucker beimischen. Nachdem die Verwerfung platzgegriffen hat, wird der Apparat in eine Wasserkufe gestellt, so dass die Schichten sich von unten durchfeuchten, ohne dass die Oberfläche überschwemmt wird. Nachdem die Feuchtigkeit bis an die Oberfläche des gestreuten Schichtsystems gedrungen, hebt man das Stück aus der Wasserkufe und lässt es langsam trocknen. Das gestreute Material stellt nun eine steinige Masse von mässiger Cohäsion dar und lässt sich leicht schneiden und sägen. Man legt nun mehrere Querschnitte mittelst der Säge, bessert den Sägeschnitt mit dem Schnitzmesser nach und stellt die Profilstücke in Respectdistanz von einander in der ursprünglichen Reihenfolge auf. Man übersieht so mit einem Blick die Oberfläche und die Profilschnitte.

Es lassen sich auch Verwerfungen bei fixer Basis erzielen. Man modellirt ein Berggehänge aus Thon (schwarz

in Fig. 42) und überdeckt das Gehänge, sowie die anstossende Ebene mit breiigen Sedimenten. Diese breiigen Lagen übersiebt man mit pulverförmigem Material (Lehm, Gyps etc.). Wird nun das Brett, auf welchem dieser Complex ruht, leicht erschüttert (Erdbeben), so bilden sich, insbesondere dort, wo das Steilgehänge an die Ebene anstösst, Spalten; das aufgetragene Material setzt sich (vgl. Aufblick Fig. 41). In Fig. 43 wird in analoger Weise in Folge von Beben der junge Sedimentcomplex dislocirt; zwischen dem Hochland und dem absitzenden Sediment senkt sich ein Graben ein (Fig. 44).

Die oberflächliche Wirkung eines Rupturbebens lässt sich darstellen, indem man ein von Rissen durchsetztes Brett (Aufblick Fig. 45) wählt und dieses an drei Rändern am Experimentirtisch mit Nägeln befestigt. Die vierte Brettseite (rechts im Bild), an welcher ein tiefer Riss einsetzt, bleibt frei. Man siebt zwei Lagen verschieden gefärbten Pulvers auf das Brett und hebt nun im Gebiete der freien Brettseite das Brett mittelst Hebels um einige Millimeter, worauf man den Hebel plötzlich loslässt, so dass das Brett energisch auf den Tisch zurückschnellt. Es entstehen «Klangfiguren», wie der Aufblick Fig. 45 zeigt; die Gebiete stärkster Zerrüttung im aufgestreuten Sediment entsprechen den Rissen in dem Basalbrett (d. i. Verwerfungen im Grundgebirge).

Seebeben lassen sich in folgender Weise darstellen: Man versieht eine Kufe mit einem niederen, flach auslaufenden Uferstrand, welcher eben vom Wasser bespült wird. Als Boden dient dieser Kufe statt eines Brettes ein wasserdichtes Tuch, welches ringsum wasserdicht befestigt wird. Ist die Kufe mit Wasser gefüllt, so baucht sich der Tuchboden aus; man unterlegt ihn mit zwei Brettern, wovon das eine plötzlich um einige Millimeter gesenkt wird (Schollensenkung am Meeresboden). Das Wasser stürzt gegen die Depression, es staut sich hier, während es sich vom flachen Ufer zurückzieht,

dann erfolgt ein wiederholter Wogenschwall, welcher das Ufer überspült.

Strömung, Ueberrollen.

Schlamm oder Schmierseife (mit Wasser zu einem dünnen Brei verkocht) bildet schöne Ströme. Die Deformation der Stromkruste lässt sich darstellen, wenn man die Oberfläche mit Lehm-Gypspulver bestreut. Je cohärenter die aufgestreute Schichte, um so grössere Schollen und um so weniger Risse bilden sich; je weniger Cohäsion, desto zahlreicher sind die Risse in der aufgestreuten Kruste.

In einem bestimmten Moment des Fliessens streut man mit gefärbtem Pulver in gleichen Abständen Striche quer über den Strom; die Deformation dieser Striche zeigt die Strömung an. Schlamm bewegt sich nur dann gut, wenn die Unterlage dem Schlamm das Wasser nicht entzieht (Blechverkleidung), auch gleitet der Schlammstrom, wenn man nicht grosse Massen verwendet, nur bei namhafter Neigung des Bodens, während Schmierseife selbst bei kaum merklicher Neigung des Bodens stetig fortfließt.

Will man das Experiment conserviren, so muss man Gyps mit starkem Leimzusatz verwenden.

Die rinnenförmige Basis construirt man am besten in der Weise, wie Fig. 46 zeigt (Gerüst mit Segeltuch überspannt). In diesem Falle tritt in Folge der Reibung an der Basis ein intensives Ueberrollen des Stromes ein. Man bestreut das Stromende und verfolgt, wie die bestreute Partie sich überrollt und unter den nachwälzenden Massen begraben wird. Uebergiesst man die Basis reichlich mit Schlamm oder verwendet man eine Blech- oder Glasbasis, welche mit Schlamm überzogen wird, so tritt statt des Ueberrollens ein einfaches Gleiten der Massen ein.

Faltung.

Will man die Faltung eines Schichtsystems studiren, so theilt man jede Schichte in bestimmten Abständen (etwa 1 Cm.) durch Querstriche ab, indem man mit Farbpulver einen kleinen Damm quer über die Oberfläche aufschüttet (Fig. 47). Man mag zu diesem Zwecke entweder eine Zeile von Farbpulver auf eine Glastafel streuen, deren Rand man der betreffenden Partie des Schichtsystems nähert, bis der Pulverstreifen von der sanft geneigten Glastafel abgleitet. Jede folgende Schichte wird in gleicher Weise eingetheilt (Fig. 48). Man kann auch ein Blech mit Schlitzten (Fig. 49) nahe der Oberfläche halten und durch die Schlitze das Pulver aufstreuen oder sieben. Soll die Deformation der Oberfläche studirt werden, so schlägt man aus einem Blech ein Schachbrettmuster, wie Fig. 50 zeigt, und siebt, nachdem man das Blech der einzutheilenden Oberfläche genähert, farbiges Pulver auf, wodurch die Oberfläche schachbrettförmig eingetheilt wird (Detail Fig. 51).

Im Falle der Faltungsexperimente müssen die Schichten ihrer Hauptmasse nach breiförmig sein, die unterste Schichte muss schlammig sein, widrigenfalls wird die Wandreibung nur bei sehr bedeutender Neigung der Basis überwunden. Je grösser die angewendeten Massen und je zarter die schlammige Gleitschichte ist, desto leichter erfolgt auch bei geringer Neigung der Basis jene gleitende Verschiebung, durch welche die Faltung nach meiner Ansicht wenigstens in vielen Fällen bedingt wird. Zwischen den weichen Schichten mag man einzelne starre Schichten von geringer Mächtigkeit einschalten (aufgesiebter Gyps), welche dann rupturrell deformirt werden, während die Hauptschichten sich plastisch falten. Die Trennung der einzelnen Breischichten wird erzielt, indem man auf die erste Breischichte pulverförmiges Material (Thonfarbstaub) aufsiebt, so lange die aufgestreuten Massen aus den

liegenden Schichten Feuchtigkeit aufsaugen. Die folgende Breischichte muss vorsichtig aufgetragen werden, da sonst die aufgestreute Kruste der ersten Lage deformirt und durchbrochen wird. Entweder hält man ein flach geneigtes Blech nahe an die Oberfläche der ersten Schichte und schüttet in kleinen Portionen den Brei auf, während man das Blech langsam weiterbewegt (Fig. 52), oder man hält einen grossen Löffel nahe der Oberfläche und schüttet den Brei auf denselben, worauf der Brei langsam über den Rand abfließt (Fig. 53); oder man benützt einen flachen Trichter (Fig. 54), an dessen unteres Ende sich eine Blechtafel anschliesst, oder man verwendet ein Sieb, durch welches man das Material aufträgt (Fig. 55).

Meist wird man davon absehen, dem Schichtsystem eine grosse Breitenausdehnung zu geben, weil man in diesem Falle viel Material verbraucht, und weil der Leimgyps so rasch erstarrt, dass das ganze System bereits unbeweglich geworden, wenn man den Faltenschub erzeugen möchte. Es genügt für die meisten Zwecke einen Schichtstreifen von wenigen Decimetern Breite zu verwenden. Man schneidet ein Blech randlich ein, wie Fig. 56 zeigt, biegt dann die Seitentheile auf (Fig. 57), wodurch ein beweglicher Trog entsteht. Die Länge des Troges mag 1.5 - 2 M. betragen, was für ein Schichtsystem von 1—2 Dm. Mächtigkeit genügt.

Die Schichtung wird auf horizontaler Basis ausgeführt; nachdem das ganze System aufgebaut ist, hebt man die Gleitrinne auf einer oder auf beiden Seiten, worauf die gleitende Bewegung beginnt (Fig. 58, 59).

Beide Enden der Rinne schliesst man mittelst eines Walles von Thon oder mittelst eines Brettes, um das Entweichen des schlammigen Materiales zu verhindern.

Schlamm mit Thonpulver bestreut zeigt schöne oberflächliche Deformation, conservirt sich aber nicht. Will man das Experiment aufbewahren und präpariren, so verwendet

man verschieden gefärbte Leimgypsschichten mit zwischen-gestreuten Pulverlagen. Gestreutes Gypspulver gibt eine starre Einlagerung, welche sich rupturrell deformirt.

Das Auftragen des Leimgypses muss rasch vor sich gehen, da das Material auch bei reichlichem Leimzusatz bald zähe wird. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die untersten Lagen des Systems aus Schlamm aufzubauen und den Gyps nur für die obersten Lagen zu verwenden. Nachdem man in diesem Falle die gefalteten obersten Gypslagen abgehoben, kehrt man die Oberfläche des abgehobenen Complexes nach unten, unterstützt das Stück sorgfältig, reinigt die Fläche mittelst Wasserstrahles und Bürste, umwallt das Stück mit einem Lehmrand, dessen Höhe der Mächtigkeit der entfernten Schlammschichten entspricht, und giesst diesen Rahmen mit Gyps aus. Nun hat man einen soliden Block, durch welchen man mittelst der Säge mehrere Profilschnitte legen kann.

Die deformirten Gypsschichten müssen um so dicker sein, je grösser das Experiment angelegt war, damit das Object nicht während des Präparirens breche.

Für grosse Faltexperimente empfiehlt es sich, ein Gestell zu construiren, in welchem die Gleitrinne fest ruht: In ein Basalbrett (schwarz in Fig. 60) sind senkrecht Winkeleisen eingelassen (schwarz), gegen diese Stangen stützen sich seitlich Blechtafeln. Auf die Stangen setzt man einen gelochten Rahmen, in dessen Löcher die Stangen passen (Fig. 61). Man kann zwei oder drei solche Gleitrinnen aneinanderfügen, in der Weise wie Fig. 60 und Detail Fig. 62 zeigen. Ein Blechkeil verhindert das seitliche Ausrinnen des Materiales an der Stelle, wo die zwei Rinnen aneinanderstossen (Fig. 62).

Die Hebung der ursprünglich flach gelagerten Rinnen mag bei kleinen Rinnen frei aus der Hand besorgt werden, bei grossen Experimenten verwendet man einen Basalkeil, welchen man langsam eintreibt (vgl. Fig. 40).

Will man die Deformirung der Normalen (senkrechten Theilstriche) eines Systems studiren, so stösst man an den Kreuzungspunkten eines die Oberfläche der Schichte bedeckenden Eintheilungsnetzes senkrechte Löcher, welche man mit farbigem Pulver füllt, und verzeichnet nach erfolgter Deformirung die Gestalt dieser farbigen Streifen in den einzelnen Profilen. Man kann auch in einer zu deformirenden Lehmtafel, welche auf anderen Lehmtafeln liegt, ein grosses Quadrat ausschneiden, welches dann durch ein Kreuz von Blechstreifen in vier kleine quadratische Kammern geschieden wird (Fig. 63). Alternirend giesst man in diese vier Kammern rothen und grünen Leimgyps, wartet, bis der Gyps die Consistenz der Lehmtafel hat, deckt die Lehmtafel mit einer Lehmplatte, welche mit Schlamm benetzt ist, und schiebt nun dies System zusammen. Die Deformirung der ursprünglich cubischen rothen und grünen Gypskörper veranschaulicht die Bewegungen, welche in diesem Theile des Schichtsystems sich vollzogen haben. Man kann auch eine ganze Schicht aus verschieden gefärbten Kuben von Leimgyps oder Modellirthon bilden (Fig. 64) und darüber sowie darunter eine Platte von Thon legen, worauf man das System deformirt.

Aenderung des Streichens eines Falgebirges wird erzielt, indem man auf eine ausgedehnte Blechtafel eine Schichte von Schlamm oder dünnem Leimgyps aufträgt, dann mit Thonpulver, respective Gyps besiebt und nun die Basis in verschiedenen Gebieten verschieden stark hebt, beziehungsweise senkt. In Gebieten mit weichem Material und namhafter Neigung erfolgt ein stärkerer Vorschub, und demgemäss ändert sich das Streichen der Faltenzüge. Wenn man, sobald die Faltung beginnt, einige Fixpunkte an der Oberfläche anbringt, kann man den Betrag der absoluten und relativen Verschiebungen messen. Fig. 65, 66 (Exp. 337) zeigt zwei Stadien. Im Westen glitten die Massen stärker vor, daher das NO.-Streichen der Falten. In

Fig. 66 sieht man, wie die vier Faltenzüge sich einander nähern.

In Fig. 67, 68 (Exp. 338) sind gleichfalls zwei Stadien dargestellt, und zwar sind zwei ursprünglich quadratische Flächen (welche durch die weissen Mittelstriche getrennt sind) ins Auge gefasst, so dass man den Betrag des Schubes unmittelbar messen kann. In diesem Falle war die Basis muldenförmig, daher das bogenförmige Streichen der Faltenzüge. Links in der Figur verlief die Neigung gegen Ost, oben in der Figur aber gegen Süd, wie die Pfeile anzeigen, und dementsprechend dreht sich das Streichen der Falten, welche von Antiklinaufbrüchen durchsetzt sind.

In Fig. 69 war der Schub gegen Ost gerichtet, und zwar war er in der unteren Partie der Figur stärker, daher die NW.-Drehung der Faltenzüge. In diesem Falle war die relative Bewegung der benachbarten Theile so stark, dass die Antiklinen von vielen Rupturen quer durchsetzt wurden. Das Gebiet wurde nach erfolgter Faltung partiell überschwemmt, wodurch das Relief prägnant gekennzeichnet erscheint. Wünscht man die Deformirung des ganzen Systems in allen Theilen zu messen, so empfiehlt es sich, die Oberfläche zu quadriren, doch wird durch dies Eintheilungsnetz die Zeichnung des Reliefs gestört, weshalb ich es vorziehe, nur wenige Fixpunkte anzubringen, bevor die Faltung beginnt.

Eruptivexperimente.

Ein horizontales Blechrohr Fig. 70 trägt zwei kurze senkrechte Ansatzrohre, in letztere passen zwei Schläuche, und diese tragen je einen Trichter. Das horizontale Rohr ist rechts mit einem Pfropf geschlossen, links dringt eben ein Stempel ein (eine Stange mit Scheibe, welch' letztere mit Tuch umhüllt ist, Fig. 71). Auf der horizontalen Röhre ist

ein horizontales Blech *T* angelöthet, ein longitudinaler Schlitz (schwarz) durchsetzt Blech und Rohr, dieser Schlitz stellt die Eruptivspalte dar. Auf die Blechtafel *T* wird Lehmbrei aufgetragen, darauf das mit einem Schlitz versehene Brett *B* (Fig. 72) gesetzt, so dass es hermetisch anschliesst. Zwei oder mehr Blechtafeln können seitlich (durch Führungen) in der Richtung der Pfeile vorgeschoben werden, bis sie den Schlitz abschliessen. Fig. 73 zeigt den Querschnitt des Hauptrohres, der schwarze Horizontalstrich oberhalb des Querschnittes entspricht der Blechtafel *T*, darüber (punktirt) eine Lehm-breilage, darüber das Brett *B* mit Schlitz. Der Verschluss des Schlitzes zeigt in dieser Figur eine Variante gegen Fig. 70, indem hier nicht seitlich, sondern longitudinal ein Blech (dünner schwarzer Strich) in einer Führung (gekrümmte schwarze Linien in Fig. 73) eingeschoben wird. Wenn man diese Variante wählt, kann man nur ein senkrechtes Ansatzrohr anwenden. Wenn der Apparat zusammengestellt ist, wie Fig. 70 zeigt, und das Schlitzbrett *B* (Fig. 72) auf der Tafel *T* aufgekittet ist, giesst man zunächst Lehmbrei in beide Trichter, bis der Brei aus der Spalte entweicht, dann wird successive verschieden gefärbter Leimgyps eingeschüttet, welcher sich als Eruptivfladen, beziehungsweise Strom oder Kuppe auf dem Brett ausbreitet (Exp. Heft II, Fig. 38, 70 f.).

Siebt man Thonpulver, Gyps etc. auf die Ergussoberfläche, so entsteht eine Kruste, welche man mit Eintheilungsstrichen, respective einem Quadratnetz versieht. Man verfolgt die Deformirung der Theilstriche, respective Felder, das Entstehen von Sprüngen (Exp. Heft II, Fig. 95—101, 137 f.), das Ueberrollen, intrusive Anwachsen, Ueberguss und Flankenströme (Exp. Heft II, Fig. 170, 174, 189). Ist das Experiment abgeschlossen, so schliesst man die Spalte mittelst der Verschlussbleche (*B* in Fig. 72) und hebt die Basis des Experimentes, *B* von der Blechtafel *T* ab. Die Schläuche und Röhren müssen sogleich gereinigt werden, bevor der Leimgyps im

Apparat erstarrt ist (man stösst den Stempel Fig. 71 durch die Röhre, welche unter Wasser gehalten wird).

Häuft man grössere Eruptivmassen, so dass ein seitliches Abrinnen über die Basis *B* zu befürchten ist, so muss das Basalbrett mit einem Rahmen umgrenzt werden. Der Rahmen muss aus einzelnen Stücken bestehen, um das Experiment nach erfolgtem Erstarren leicht präparieren zu können. Die Wände werden ebenso wie die Röhren vor dem Experimentiren mit Lehmbrei bestrichen, damit der Gyps sich nicht ankitte. Eine aus Oel und Talg warm gemischte Salbe erfüllt denselben Zweck.

Man verwende als Rahmen mehrere Bleche, welche durch Steinwürfel gegen aussen gestützt werden (Fig. 74). Auch ein Messingdrahtgitter welches, wie Fig. 75 zeigt, geformt ist und auf der klaffenden Seite mittelst Stiften oder Haken verbunden ist, mag als Rahmen verwendet werden. Dies empfiehlt sich insbesondere wenn man Lehmbrei verwendet, welcher durch Abtrocknen consistent und präparirbar wird.

Das Verhalten der Intrusivmassen zu den hangenden Sedimenten wird studirt, indem man den Eruptivfladen mit dem Rahmen umgibt, Pulver aufsiebt, Brei aufträgt, abermals Pulver aufsiebt u. s. w., bis man ein Schichtsystem aufgebaut hat und nun neuerdings Eruptivmassen aus der Basalspalte dringen lässt.

Ein anderer Eruptivapparat ist in Fig. 76 dargestellt. Man sieht eine Platte (Tischplatte), in welche ein Eisen-cylinder eingesenkt ist. In den Cylinder dringt von unten ein eingeschliffener Stempel ein, welcher mittelst Zahnstange und Zahnrad emporgehoben werden kann (in einer Führung). Auf diesen Apparat legt man ein Basalbrett gleich *B* in Fig. 72 mit einer oder mehreren Spalten. In Fig. 77 ist der Apparat im Profil dargestellt; das schichtweise verschieden-färbige Eruptivmaterial füllt den Cylinder, zum Theil hat es die Oberfläche des Brettes in Form eines Fladens überdeckt.

Ist das Material verbraucht und will man das Experiment fortsetzen, so schiebt man die Verschlussbleche (Fig. 72) ein, so dass der Brei nicht durch die Spalte zurückfließen kann, hebt das Brett ab, lässt den Stempel nieder, füllt neue Breimassen ein, setzt das Brett wieder auf und lässt den Stempel wirken.

Wenn man sehr weiche Sedimente als Decke einer Eruptivmasse anwendet, werden dieselben durch die nachquellenden Eruptivmassen beiseite geschoben; haben die Sedimente eine höhere Consistenz, so werden sie gesprengt und die Intrusivmassen können zum Durchbruch kommen (Exp. Heft II, Fig. 166, 167, 200).

Wird auf die dünnbreiigen Sedimente, welche die Eruptivmasse bedecken, eine starre Schicht (Gyps, Thon) aufgestreut, so wird diese Decke durch nachdringende Intrusionen, nachdem dieselben sich in den weichen Sedimenten ausgebreitet, sanft gehoben, gesprengt und endlich in Schollen zerbrochen. Die Schollen werden von den aufdringenden Intrusivmassen umwallt (Exp. Heft II, Fig. 169) und endlich überströmt: die Intrusivmassen werden effusiv.

Wenn man, während eine Eruptivmasse anwächst, nebenan fortwährend Sedimente aufträgt (siebt), deren Anwachsen mit der Anhäufung der Eruptivmassen Schritt hält, so entsteht wiederholte Wechsellagerung von Eruptivzungen und Sedimentkeilen (Flankenströme des Adamello, Exp. Heft II, Fig. 170, 174).

Ist das Intrusivmaterial dünnflüssig, so bleibt der Eruptivstock unbedeutend im Verhältniss zu den Strömen; ist das Material consistent und der Sedimentcomplex weich, so bildet es einen dicken Stock, welcher eventuell die Sedimente abdrängt und überschiebt (Exp. Heft II, Fig. 162, 166 f., 172, 174).

Sind die über dem Basalbrett liegenden Schichten dünnflüssig (schlammig) und mit einer resistenten Kruste (aufgestreute Thonschichten) bedeckt, so breitet sich das nachdrin-

gende Magma als Lagergang aus (Exp. Heft II, Fig. 175 a, b). Die Sedimentkruste wird gehoben (Exp. Heft II, Fig. 176—178) und kann schliesslich gesprengt werden; der Lagergang hängt dann mit der oberflächlichen Effusion zusammen (Exp. Heft II, Fig. 188—189).

Verwendet man zwei Spalten im Basalbrett, so kann man das Anwachsen zweier benachbarter Massivs mit Einfaltung, Klemmung der Sedimente, Ueberschiebung (Montblanc, Elk Mounts) etc. darstellen (Exp. Heft II, Fig. 194, 208, 214). Es entstehen in dieser Weise auch combinirte Massivs, welche sich ineinanderschmiegen, wie Fig. 196, 201 f. Exp. Heft II zeigen (vgl. die scandinavischen Granit- und Gabbrogebiete, Aufnahmen von H. Reusch und Anderen).

Man kann auch zwei Apparate gleich Fig. 70 nebeneinander befestigen, um diese Phänomene darzustellen.

Hydraulische Präparation.

Will man aus verschieden gefärbten Massen bestehende Experimentstücke in Bezug auf ihre Textur ins Einzelne untersuchen, so gewinnt man durch Profilschnitte ungenügende Aufschlüsse; man ist vielmehr veranlasst, gewisse verwickelt gebaute Partien herauszupräpariren. Besteht das ganze Stück aus verschieden gefärbtem Gyps, so ist die Präparation langwierig und undankbar, besteht das Stück aus verschiedenen Lehmlagen, so springt und zerbröckelt es zu leicht, dagegen empfiehlt es sich, alternirend Lehm- und Gypsbrei anzuwenden, wobei die Massen des Gypses bedeutend überwiegen müssen. Bei Faltungsexperimenten genügt es, zwischen den aufeinanderfolgenden Gypsschichten je eine dünne Thonschichte einzulagern (sieben). Die Theile welche aus Lehm, respective Thon bestehen, werden dann im Profilschnitt mittelst eines feinen Wasserstrahles herausgespült oder unter Wasser reingebürstet.

In dieser Weise veranschaulicht man trefflich die schließliche Wechsellagerung verschiedener Magmen in einer Kuppe; in Exp. Heft II, Fig. 152 besteht der erste Kuppenerguss aus Leimgyps, die nachfolgenden Massen bestanden aus Lehmbrei, welcher intrusiv anschwellt und endlich als Flankenstrom abfließt. Nachdem der Gyps erstarrt, wurde die junge eruptive Lehmmasse hydraulisch beseitigt. Im Exp. Heft II, Fig. 175 a, b, 176—182 besteht der Lagergang, respective die Intrusivmasse aus Gyps, die umgebende Masse, in welche das Intrusivlager eindrang, aus Lehm. Nachdem das Stück einige Zeit geruht, kann man Profilschnitte durchlegen und den Lehm, soweit es dienlich ist, hydraulisch herauspräparieren, so dass die Intrusivblätter und Knollen klar hervortreten. Der Einblick in die Structur und Genesis ist in solchen Fällen vollständiger als der durch einfache Profilschnitte gewährte Aufschluss. Auch bei Faltungsexperimenten empfiehlt es sich, die einzelnen Gypslagen durch dünne (eingesiebte) Thonschichten zu trennen, wodurch die klare Ablösung jeder einzelnen Schichte bis in das feinste Detail ermöglicht wird.

Gangstructur.

Ein Blechrahmen (Fig. 79) wird auf dem Tisch befestigt, in diesen passt ein zweiter Rahmen (Fig. 78), so dass er sich wie ein Stempel einsenken lässt. Den zweiten kleineren Rahmen füllt man mit Modellirthon und schneidet hieraus eine Gangspalte, wie Fig. 78 zeigt. Man füllt den Rahmen (Fig. 79) mit verschiedenen gefärbten Gypslagen und legt auf den Rahmen (Fig. 78) ein Brett mit einem Schlitz (Fig. 80), welcher der Gangspalte des Rahmens (Fig. 78) entspricht. Will man nicht nur den Gang, sondern auch die Ergussmasse erhalten, so umgibt man das Basalblech mit einem Rahmen (Fig. 81). Nun bestreicht man die inneren Flächen des Rahmens mit Lehmbrei, so dass der kleinere Rahmen wie

ein Stempel passt, und versenkt den Rahmen Fig. 78 in den Rahmen Fig. 79, bis die Massen an der Oberfläche zum Erguss gelangen.

Nach dem Erstarren präparirt man den Gypsgang aus der umgebenden Lehmmasse heraus, sägt die Kuppe, falls sie nicht von selbst abbricht, ab und legt Querschnitte durch die Gangmasse, wodurch deren schlierige Textur erschlossen wird (vgl. Exp. Heft II, Fig. 51—52).

Gaseruptionen. Versinken des Grundes: Senkungsfelder.

In den Boden eines am Tisch befestigten Rahmens füllt man Lehmbrei (graue Masse an der Basis der Fig. 82). Eine Grube in dieser Lehmmasse wird mit Gypsstücken gefüllt, in die Grube mündet von oben und von der Seite her kommend ein Rohr, durch welches Luft getrieben werden kann.¹⁾ Man schüttet in den Rahmen eine Lage Leimgyps (schwarz in der Figur), darüber siebt man Thon, darüber giesst man eine helle Lage Gyps (mit wenig Leim). Treibt man nun durch das Rohr Luft ein, so bildet dieselbe entweder Höhlungen im Gyps und treibt die Oberfläche auf, wie Fig. 41—44, Exp. Heft II zeigt, oder sie bricht wie in Fig. 82 durch und reisst den dunklen Brei aus der Tiefe mit. Die mitgerissenen Massen drücken die weisse Schichte nieder, wie Exp. Heft II, Fig. 120—124 zeigt. Die ursprünglich horizontale Schichte versinkt unter dem Druck der ausgeschleuderten Eruptivmassen.

Transparentmodelle.

Verwickelte räumliche Beziehungen stellt man dar, indem man mehrere Glasscheiben, welche wie Fig. 84, 85

¹⁾ Das Rohr kann auch gegen oben münden und wird dann durch einen Nagel verschlossen (Fig. 83).

zeigen, horizontal oder senkrecht hintereinander in eingefeilten Winkeleisen ruhen, mit Transparentfarben bemalt. Man übersieht so mit einem Blick eine ganze Serie von Horizontal-, beziehungsweise Verticalschnitten, welche durch eine Eruptivmasse, ein Faltgebirge etc. gelegt sind.

* * *

Die beschriebenen Experimente sind einfach und billig zu beschaffen, so dass sie der Fachmann ohne grossen Aufwand durchführen kann. Wer einige Experimente ausgeführt hat, wird dieses Hilfsmittel der Forschung gebührend würdigen.



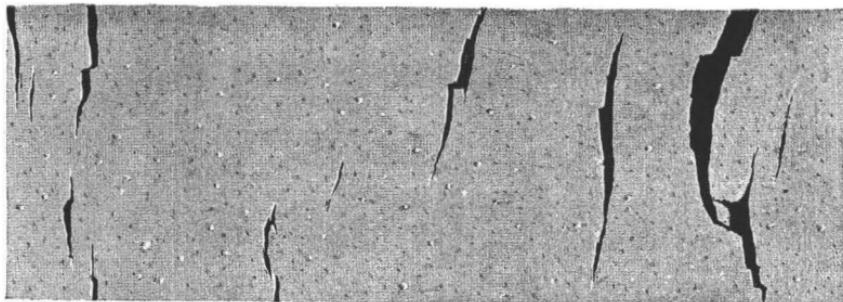


Fig. 1.

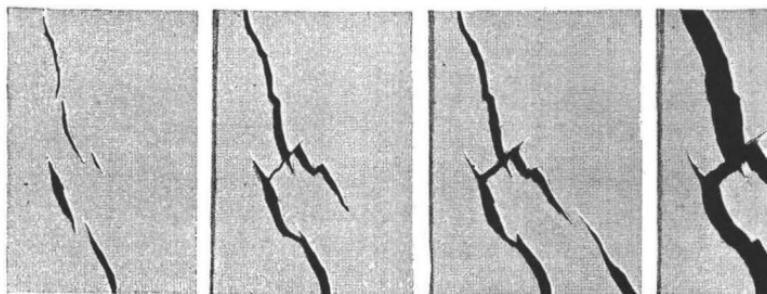


Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

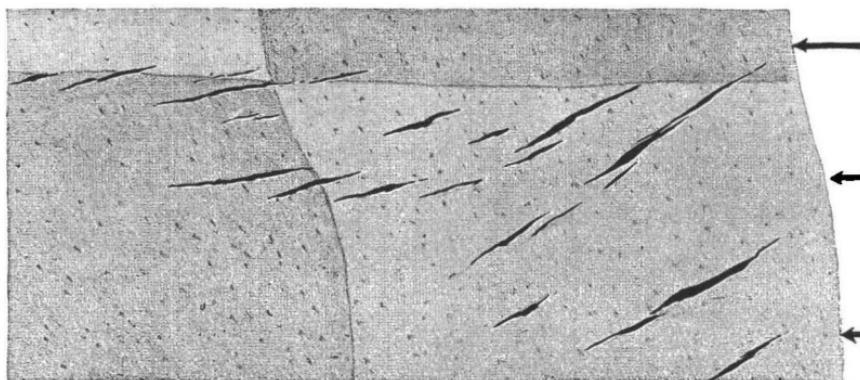


Fig. 6.

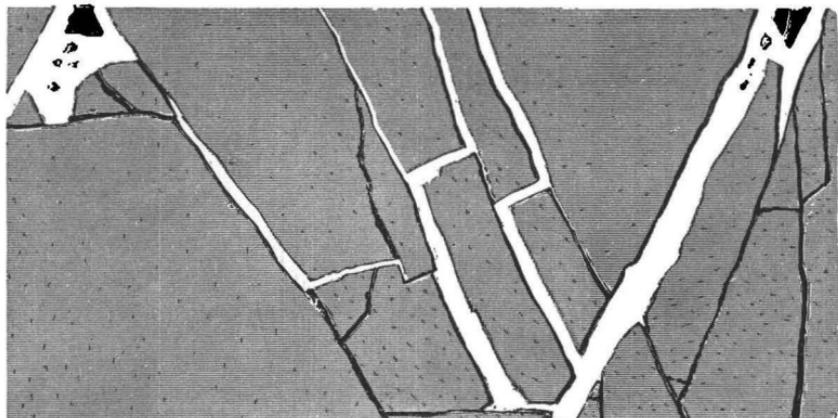


Fig. 7.

Fig. 8.

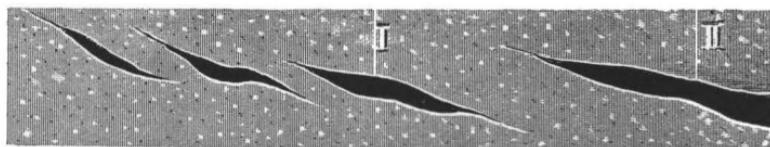


Fig. 9.



Fig. 10.

Fig. 11.

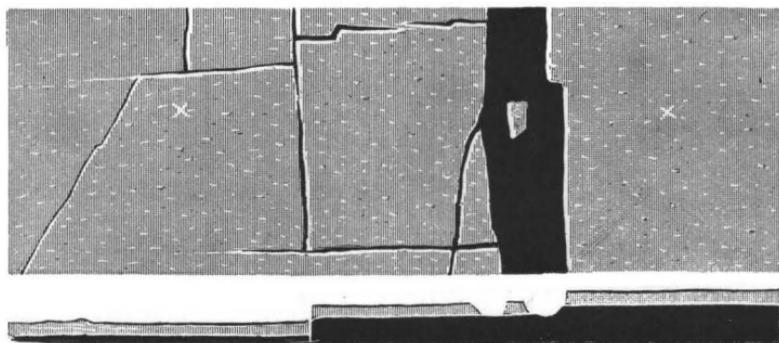


Fig. 12.

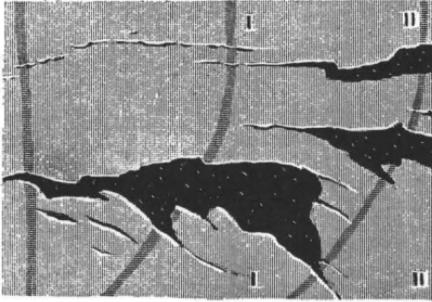


Fig. 13.



Fig. 14. Fig. 15.

Fig. 16.

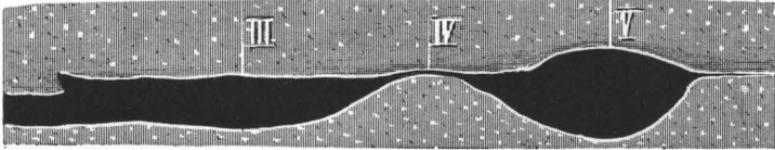


Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.

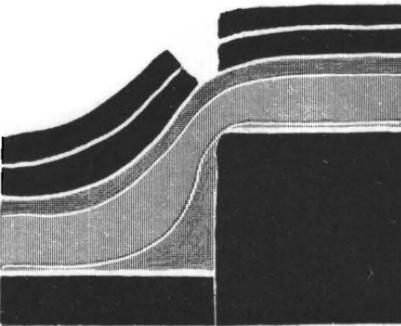


Fig. 20.

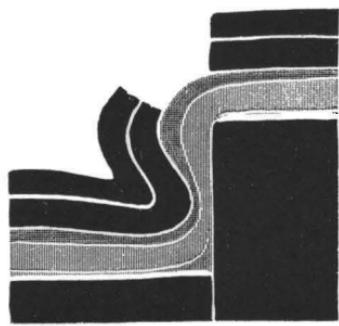


Fig. 21.

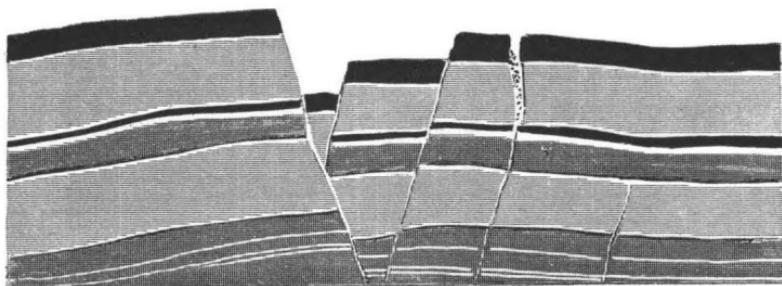


Fig. 22.

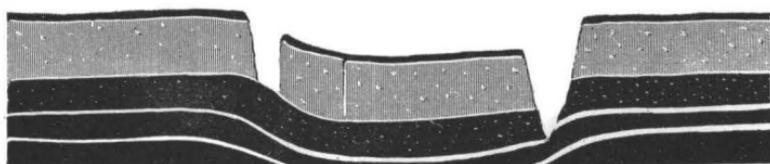


Fig. 23.

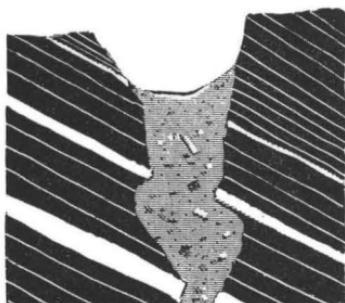


Fig. 24.

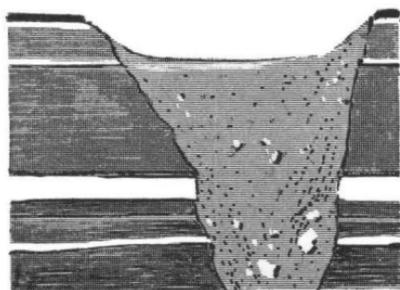


Fig. 25.

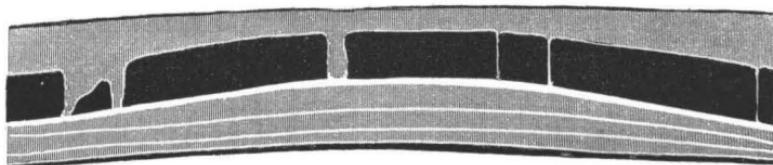


Fig. 26.

Fig. 27.

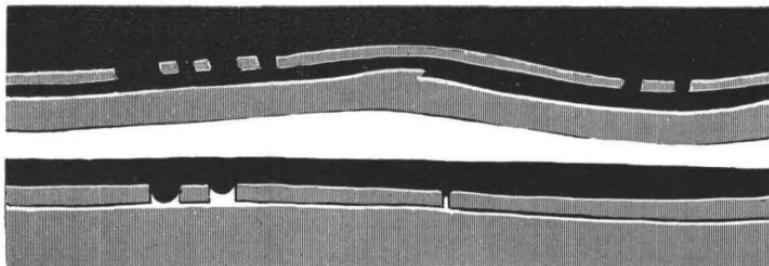


Fig. 28.

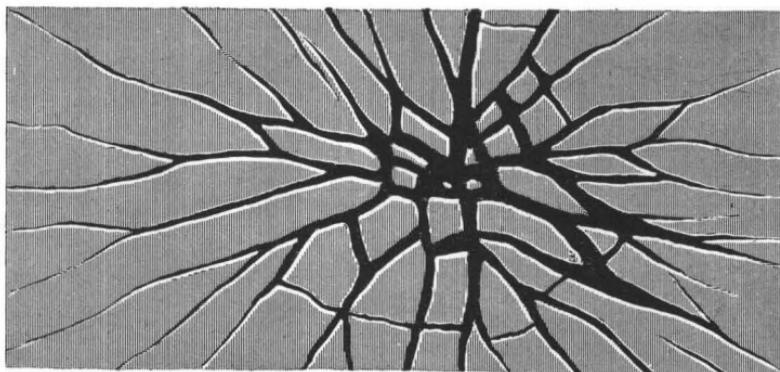


Fig. 29.

Fig. 30.

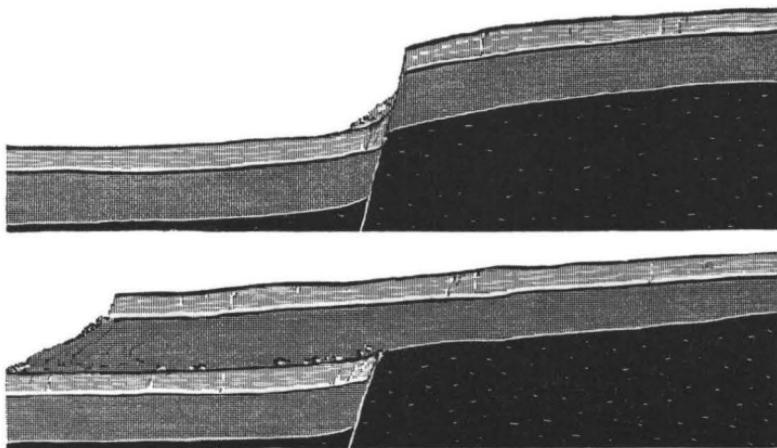


Fig. 31.

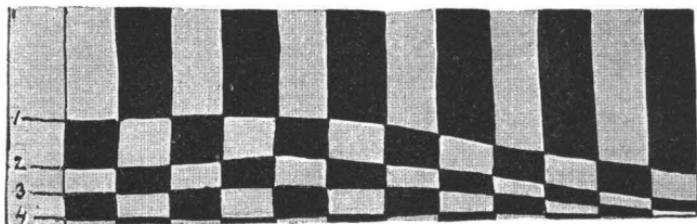


Fig. 35.



Fig 36.

Fig. 37.

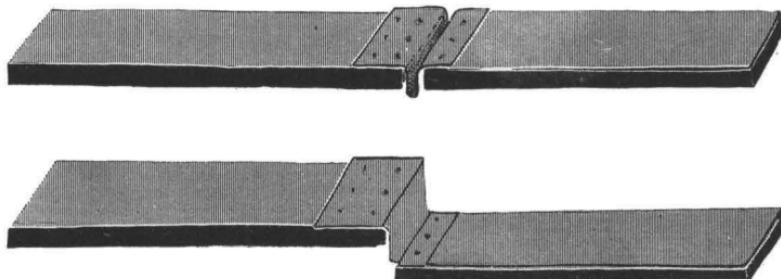


Fig. 38.

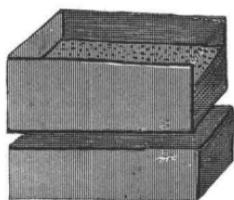


Fig. 39.

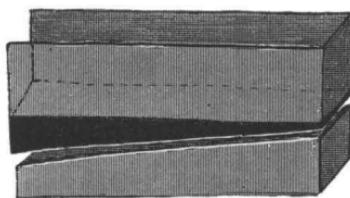


Fig. 40.

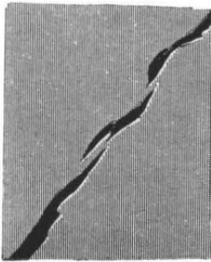


Fig. 41.

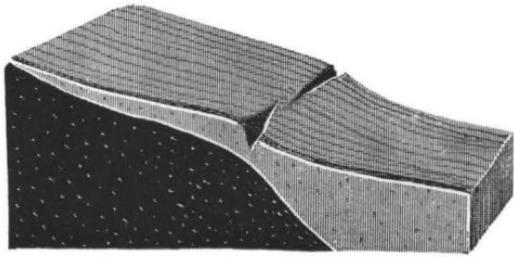


Fig. 42.

Fig. 43.

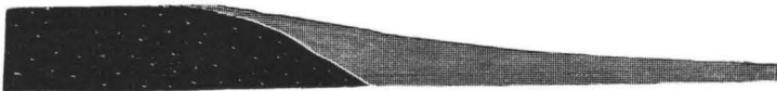


Fig. 44.

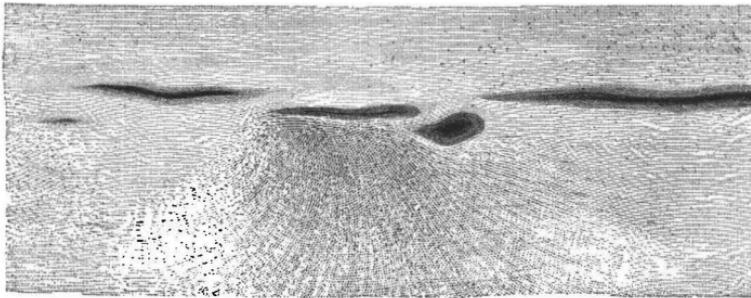


Fig. 45.

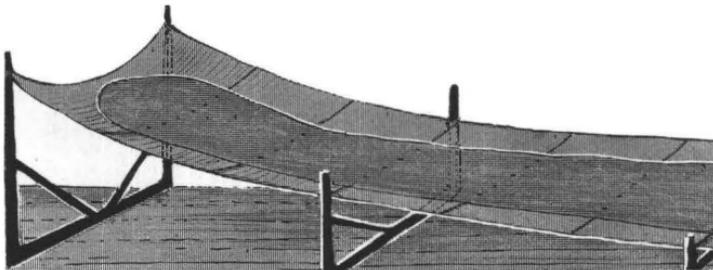


Fig. 46.

Fig. 48.

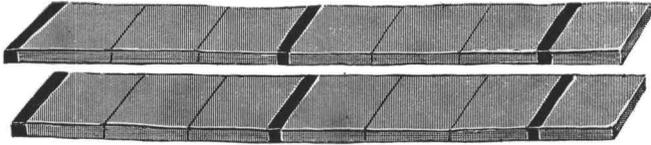


Fig. 47.

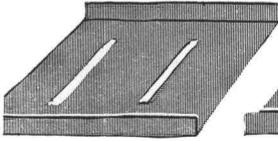


Fig. 49.

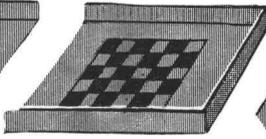


Fig. 50.

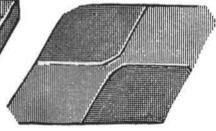


Fig. 51.

Fig. 52.

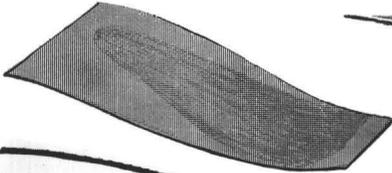


Fig. 53.



Fig. 54.



Fig. 55.



Fig. 56.

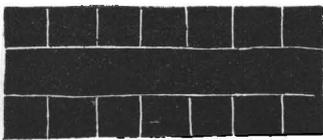


Fig. 57.

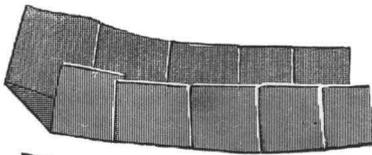


Fig. 58.

Fig. 59.



Fig. 61.

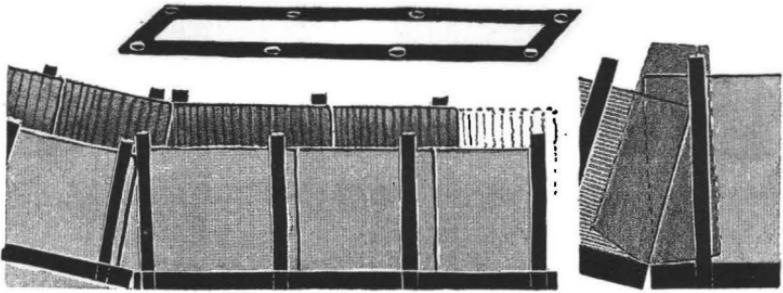


Fig. 60.

Fig. 62.

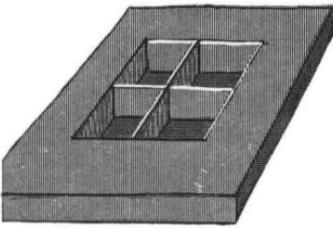


Fig. 63.

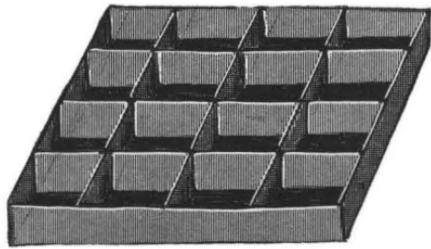


Fig. 64.

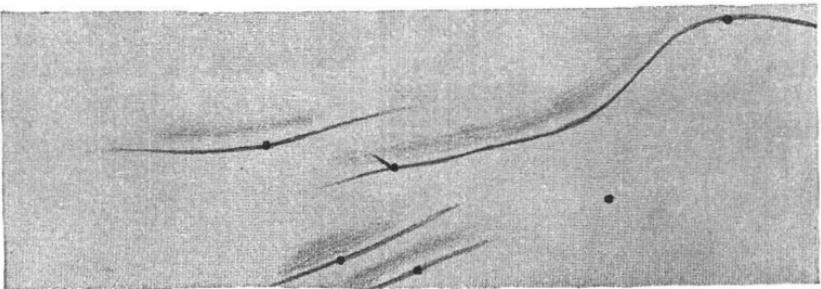


Fig. 65.

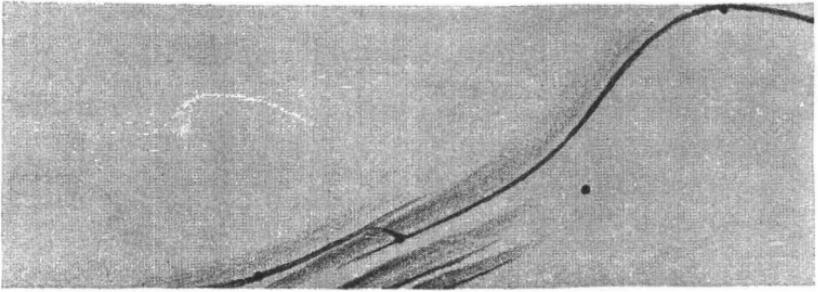


Fig. 66.

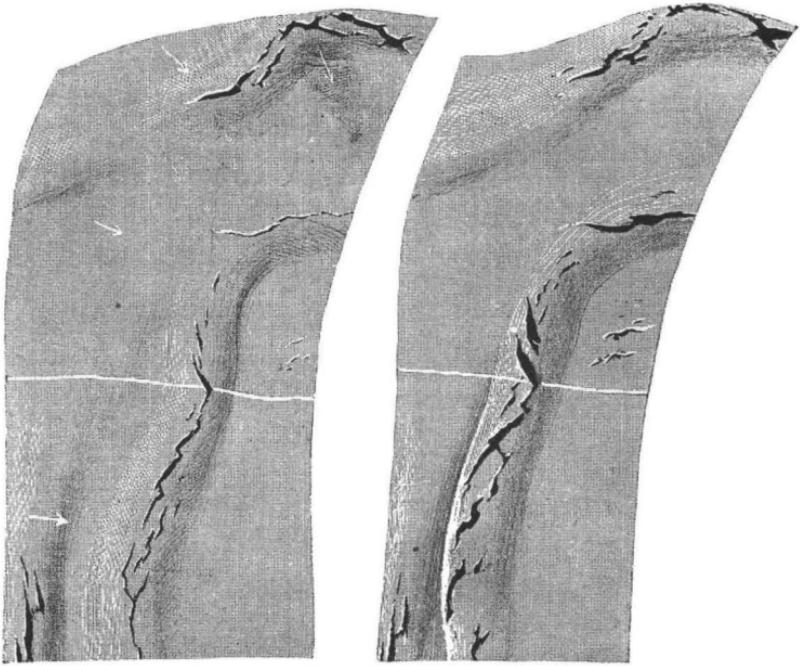


Fig. 67.

Fig. 68.

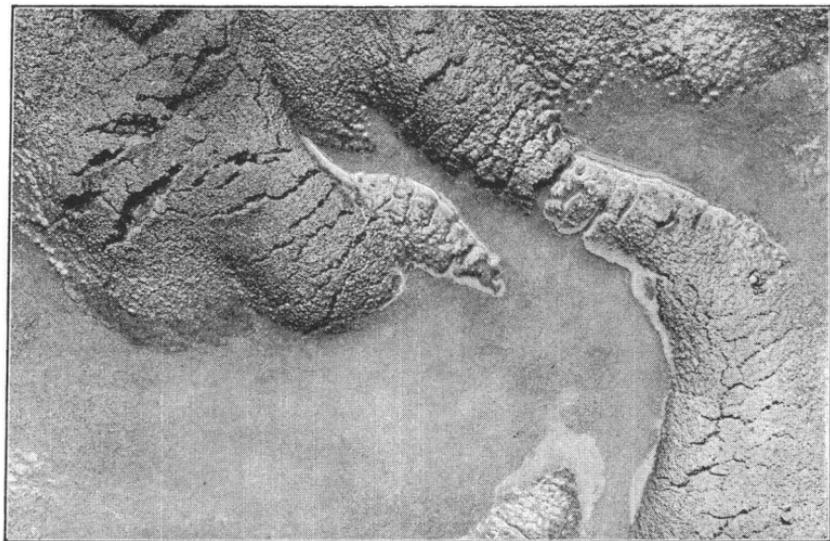
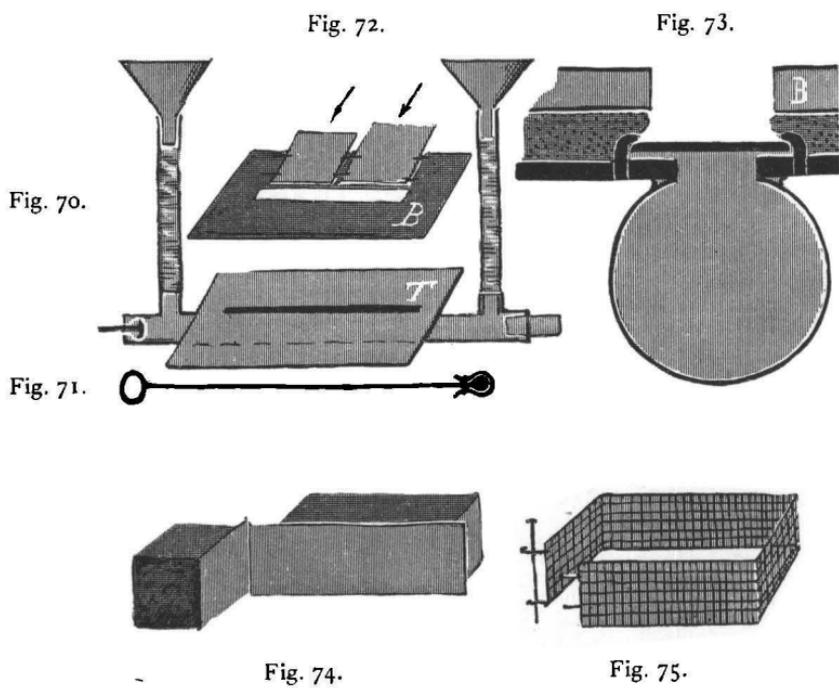


Fig. 69.



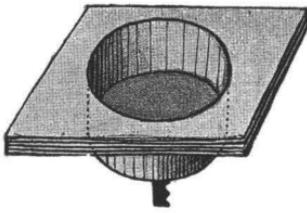


Fig. 76.

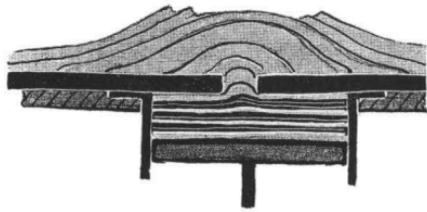


Fig. 77.

Fig. 78.

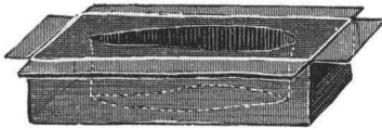


Fig. 80.

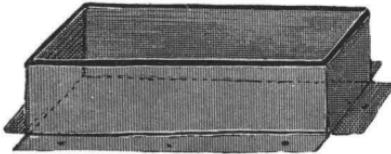
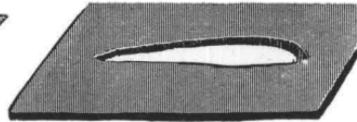


Fig. 79.

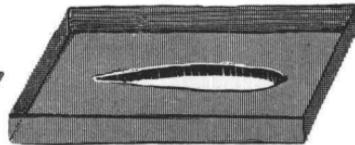


Fig. 81.

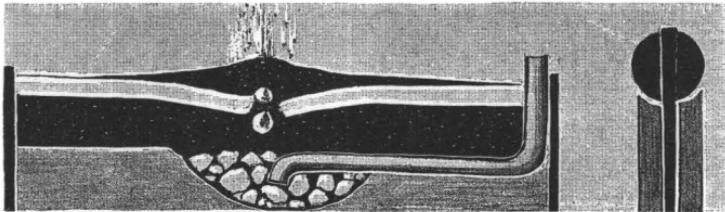


Fig. 82.

Fig. 83.

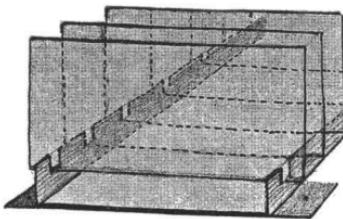


Fig. 84.

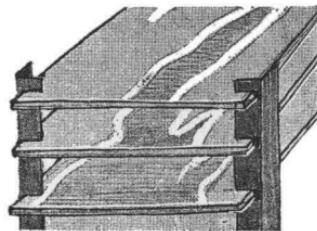


Fig. 85.