

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Das Experiment in der Geologie

Paulcke, Wilhelm

Karlsruhe, 1912

3. Geologische Versuche

[urn:nbn:de:bsz:31-289039](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289039)

schmelzenden Gesteinsmagmen auf Kalkstein als Kontaktmineralien, Gehlenit, Augit und Magneteisen.

In großem Maßstab wiederholte *J. Morozewicz*¹⁾ die Versuche von *Fouqué* und *Michel-Lévy* und stellte eine große Reihe von Gesteinen, besonders Andesite und Basalte, künstlich her; ferner ein quarzführendes Liparit-ähnliches Gestein.

Doelter führt in seiner historischen Darstellung der Arbeiten über künstliche Silikatgesteine (Handbuch der Mineralchemie, Bd. I. 5. 608) eine große Reihe von diesbezüglichen Versuchen an, und in diesem Werk findet sich auch eine instruktive Darstellung der Versuchsapparate, Öfen und Heizmikroskope etc.

Auf das große Kapitel der Erforschung der Silikatschmelzen und die vielgestaltigen Versuche zur Klärung der Eigentümlichkeiten des vulkanischen Magmas, und der Genese der Eruptivgesteine kann in dieser Darstellung²⁾ nicht eingegangen werden, in der nur ein allgemeiner Überblick über die vielgestaltigen Forschungen im Gebiet der experimentellen Untersuchungen, die der Lösung geologischer Fragen dienen, gegeben werden soll.

3. Geologische Versuche.

G. A. Daubrée gebührt das Verdienst, die experimentelle Geologie in ihrer Tragweite richtig erkannt und ihrer Bedeutung entsprechend nach Kräften ausgewertet zu haben. In seinen *Études synthétiques de Géologie Expérimentale*, Paris 1879,³⁾ vereinigte er Schilderungen der bis zu seiner Zeit bekannt gewordenen Experimente mit der Darstellung seiner vielseitigen

¹⁾ *J. Morozewicz*, *Tschermaks mineralog. Mitt.* 19. 1. 1899.

²⁾ Dieses Kapitel ist in vorzüglicher Weise von *Doelter* in seiner *Physikalisch-Chemischen Mineralogie*, Leipzig 1905, und in dem im Erscheinen begriffenen, groß angelegten *Handbuch der Mineralchemie*, herausgegeben von *C. Doelter*, Dresden 1911, durch den Herausgeber und seine Mitarbeiter behandelt.

³⁾ Deutsche Übersetzung von *A. Gurlt*, Braunschweig 1880.

eigenen Versuche. Während einzelne seiner Vorläufer hie und da tastend das Experiment zur Klärung geologischer Fragen anwandten, sucht *Daubrée* dasselbe in allen Zweigen der geologischen Wissenschaft nutzbringend einzuführen oder auszubauen.

Daubrée's Erfolge beruhen auf seiner richtigen Wertung des Experimentes, die ihn vor Überschätzung des erreichbar Möglichen bewahrt. Sein klarer Blick, seine vorzügliche Beobachtungsgabe lassen ihn mit großer Sicherheit die Gebiete und die Einzelfragen erkennen, für welche durch den Versuch wertvolle Klärung oder einwandfreie Lösung gefunden werden kann, und die Art der Fragestellung, die der Ausführung des Experiments zugrunde liegt, zeigen seine eminente Begabung für diese Art der wissenschaftlichen Forschung.

In der Einleitung zu seinen »Synthetischen Studien zur Experimental-Geologie« spricht er besonders klar seine Ansichten darüber aus, wieviel, oder wie wenig wir vom geologischen Versuch erwarten können.

»Diese Methode (des Experimentes), die in der Geologie noch nicht die ihr gebührende Rolle eingenommen hat, läßt sich auf die allerverschiedensten Erscheinungen, sowohl chemische und physikalische, wie auch rein mechanische, anwenden.«

»Was auch sonst der Nutzen des Experiments sei, so ist doch sein Wert nicht immer derselbe. Wenn es sich um mechanische Erscheinungen handelt, ist seine Rolle im allgemeinen eine kleinere, als bei chemischen oder physikalischen Phenomenen, denn die Apparate und Kräfte, die wir anwenden können, sind immer beschränkt, sie können die geologischen Erscheinungen nur insoweit nachahmen, als der Maßstab unserer Hilfsmittel es zuläßt.«

»Demnach kann man sich damit an viele Fragen wagen, wenn auch nicht, um sie vollständig zu lösen, so doch um sie wenigstens aufzuklären und ihre Lösung vorzubereiten.«

Daubrée vergleicht dann die jetzt auf der Erde stattfindenden Vorgänge mit Experimenten, die sich vor unseren Augen vollziehen, deren Studium aber weit davon entfernt ist, das von Menschenhand ausgeführte Experiment zu ersetzen. Beim Versuch können wir »die Tatsachen nach Willen hervorrufen, sie unter der Anschauung halten, und ihre Entstehungsbedingungen wechseln lassen«; die »aktive Beobachtung folgt der passiven« (*John Herschel*).

»Wenn die Beobachtung gänzlich stockt und ohnmächtig stillsteht, bemächtigt sich das Experiment des Phenomens, leitet und bestimmt seine Erzeugung; so weist es die Bedingungen der Aufgabe nach und dringt in inniger, tiefer Weise in die Frage ein.«

»Um nützlich und entscheidend zu sein, muß der geologische Versuch durch denjenigen selbst zur Ausführung kommen, der in der Natur beobachtet, alle Umstände, die bei der Lösung der Frage in Betracht kommen, überlegt, und sich so über die möglichen Ursachen des Phenomens unterrichtet hat, denn (*Chevreul*) der Versuch kommt erst nach der direkten Beobachtung, *a posteriori*, um der Schlußfolgerung als Kontrolle zu dienen.«

»Indem die Geologie sich als Grundlage die Beobachtung und das logische Urteil bewahrt, muß sie auch noch experimental werden.«

A. Versuche über vulkanische und postvulkanische Erscheinungen.

Es liegt nahe, zu Lehrzwecken durch geeignete Vorrichtungen so auffallende Erscheinungen, wie Schichtvulkane experimentell vor den Augen der Studierenden entstehen zu lassen, und es ist dies wohl auch mehrfach versucht worden.

*G. Linck*¹⁾ hat mittels Gasdruck Sand von wechselnder Korngröße durch ein Rohr emporgeblasen, und auf diese Weise

¹⁾ *G. Linck*, N. Jahrb. f. Min. u. Geologie, Festband 1907, S. 91.

stratovulkanartige Gebilde erhalten. *Ed. Reyer*¹⁾ hat eine größere Reihe von Versuchen veröffentlicht, die vulkanische Fragen klären sollen.

Als Materialien wurden Seife mit wenig Wasser gekocht, Lehm, Gips etc., an Stelle des »Magmas« (als Lavaergüsse und Intrusivmassen) verwendet, also Stoffe, die aber auch rein gar nichts mit magmatischen Substanzen und ihren Eigentümlichkeiten zu tun haben, sodaß dieser Versuchsreihe und ihrer Deutung wenig Überzeugungskraft beigemessen werden kann.

Über Bewegung von Lavaströmen, Bildung von Erstarrungskrusten, Zerreißen derselben (Breccienbildung), Überlappungen, Leerlaufen von Lavaströmen bei Durchbruch an der Stromzunge und fehlendem Nachschub, lassen sich sehr schöne experimentelle Versuche und Beobachtungen in Eisengießereien anstellen, oder in Fabriken, welche Materialien aus Silikatschmelzflüssen herstellen (Steinknopffabriken).

*Daubrée*²⁾ hat auch im Bereiche dieser Versuchsmöglichkeiten ein Experiment angestellt, durch welches gezeigt wird, in welcher Weise hochgespannte Explosionsgase verschiedenartige Gesteine, wie Tone, Kalke und Laven, durchschlagen, und erhielt dabei kanalförmige Durchschlagswege, wie man sie für Tuffröhren und Maare annimmt, bzw. streifenförmige Durchbrechungen.

Neuere Versuche von *Gautier*³⁾ und *Brun*⁴⁾ beschäftigen sich mit dem Gasgehalt von kristallinen Gesteinen und den Beziehungen desselben zum Eruptionsphenomen.

An dieser Stelle mögen auch die mehrfach angestellten Versuche wenigstens erwähnt werden, welche die Entstehung der

¹⁾ *Ed. Reyer*, Geologische und geographische Experimente. III. Heft, Vulkanische und Masseneruptionen, Leipzig 1892. IV. Heft, Methoden und Apparate, 1894.

²⁾ *Daubrée*, Bull. soc. geologique de France, 1891. S. 313 mit Abbildungen des Apparates etc.

³⁾ *Gautier*, Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, Bd. 131. 132. 136.

⁴⁾ *Brun*, Revue générale des Sciences, Vol. 21, Paris 1910.

kraterförmigen Bildungen auf dem Mond, durch Aufschlagen von Fremdkörpern (Meteoriten) erklären sollen, um die vulkanische Entstehung dieser Formen in Abrede stellen zu können. — Durch Fallenlassen von Bleikugeln, Schrotkörnern etc. auf lockeren

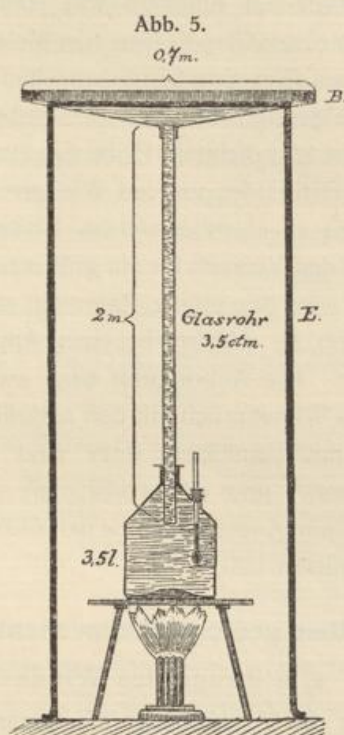


Abb. 5. Geysirapparat nach *Andreae* (modifiziert).

- B. Bleischale.
- E. Eisendreifuß zum Tragen der Bleischale.

Boden entstehen naturgemäß rundliche kraterartige Formen, deren Vergleich mit den Mondkratern jedoch der Überzeugungskraft entbehrt, da die Kriterien für vulkanische Ursachen zur Erklärung des Mondreliefs so gut und vielseitig begründet sind, daß eine

so rein äußerliche morphologische Ähnlichkeit nicht als Beweismittel herbeigezogen werden kann.

Bekannt sind die Versuche, das Geysirphenomen nachzuahmen. In den meisten geologischen Instituten findet sich der im allgemeinen nach den Angaben von *Andreae*¹⁾ konstruierte Geysirapparat. An einem Glas-Kolben oder Metallgefäß ist ein Steigrohr (am besten aus Glas zum Sichtbarmachen der Vorgänge) mit guter Dichtung aufgesetzt, das oben in eine nicht zu flache Schale (aus Blech) mündet (gut dichtet). Höhe des Steigrohrs und Lumen desselben, sowie Größe des unteren Wasserreservoirs müssen im richtigen Verhältnis zu einander stehen. Färben des Wassers mit Anilinfarbe macht den Versuch für ein größeres Auditorium besser sichtbar. Geheizt wird das untere Reservoir am besten mit einer Bunsenflamme (Abb. 5). *Müller*²⁾ hat einen Apparat mit zwei Heizstellen konstruiert. Die Anbringung einer zweiten Heizstelle am Steigrohr steht im Widerspruch mit den natürlichen Verhältnissen. Auch Apparate mit geknicktem Rohr sind hergestellt worden (*Lang* und *Petersen*),³⁾ und es ist klar, daß sich in Einzelheiten die Versuchsanordnung, verschiedenen natürlichen Vorkommnissen entsprechend, variieren läßt.

B. Versuche über geologische-mechanische Vorgänge.

a. Wirkung des Windes.

Überall, wo die Verwitterung die Gesteinmassen gelockert und zerkleinert hat, bemächtigt sich der Wind dieser Zerstörungsprodukte, hebt sie empor, trägt sie fort und treibt sie dabei sowohl gegeneinander, wie gegen anstehendes, noch mehr oder weniger festes Gestein. Windtransport und Winderosion gehen Hand in Hand und sind besonders in vegetationsarmen, oder

¹⁾ *Andreae*, Neues Jahrb. f. Min., Geol., 1893. Bd. 2. Hier findet sich auch eine Zusammenstellung älterer Versuche.

²⁾ *J. Müller*, Annalen der Physik und Chemie. Bd. 19. 1850. 356.

³⁾ *Petersen, J.*, Neues Jahrb. f. Min., Geol. etc. 1889. Bd. II. 55.

vegetationslosen Gebieten (Wüsten) von überaus weittragender Bedeutung für die Gestaltung dieser Gegenden.

Über die Wirksamkeit dieser Zerstörungsart geben uns Experimente mit Sandgebläse vorzüglich Auskunft. Sande aus verschiedenen harten Mineralkomponenten, werden gegen die verschiedensten Gesteinsarten geblasen, wobei die Stärke des Gebläses, und der Winkel, unter dem die Sandmassen gegen die Versuchsflächen getrieben werden, beliebig variiert werden können.

R. Hedström¹⁾ erzielte durch Sandgebläse auf künstlichem Wege typische sog. »Windkanter« aus Kalksteinen, Sandsteinen, Porphyr, d. h. die charakteristischen Kantengerölle der Flugsandgebiete, welche dabei auch die so bezeichnende narbige Oberfläche mit mattfirnisartiger Politur erhielten.

b. Direkte und indirekte Wirkung des Wassers und Eises.

Über chemische Wirkungen, bzw. Mitwirkung des Wassers bei Zerstörung von Mineralien und Gesteinen (chemische Verwitterung) liegen eine große Anzahl von experimentellen Untersuchungen vor, die zum Teil auch praktische Zwecke verfolgen (z. B. Widerstandsfähigkeit von Baumaterialien gegen Lösung und komplizierte chemische Verwitterung). Zu den mechanischen Versuchen gehören diejenigen über Wasseraufnahmefähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Gesteine, Capillaritätswirkung in Tonen, Sanden, Schottern, Gesteinen etc., Untersuchungen, welche für Festigkeits- und Verwitterungsfragen, wie für die Beurteilung der ganzen Wasserzirkulation an der Erdoberfläche, wie in tieferen Regionen von weittragender Bedeutung sind. —

Die Wirkung des Frostes demonstrieren künstliche Frostproben, wie sie z. B. zur Feststellung der Frostbeständigkeit der Gesteine bei den gesteintechnischen Versuchen angewandt werden.

¹⁾ R. Hedström, Förhandl. geol. Fören, Stockholm 1903, 25. S. 413.

Die erosive Tätigkeit des Wassers ist vielfach gemessen worden, teils durch direkte Laboratoriumsbeobachtung, besonders in lockerem Material (Flußbaulaboratorien, Beobachtung über Entstehung von Erdpyramiden durch Einwirkung einer Wasserbrause auf ein Gemisch von Sand und größeren Steinen), teils durch Verfolgen und Messen erosiver Tätigkeit fließenden oder brandenden Wassers (Messung des Wellendrucks an Küsten) in der Natur. —

Über die transportierende Tätigkeit des Wassers, die Art der Sonderung des Materials nach Größe und Schwere ist experimentell viel in Flußbaulaboratorien gearbeitet worden, und über die Art der Entstehung von Geschieben, Sand und Schlamm, d. h. die Zerreibungsvorgänge während des Wassertransportes und durch denselben, verdanken wir auch abermals *A. Daubrée*¹⁾ die ersten systematischen experimentellen Untersuchungen. —

Daubrée befestigte an einer Welle zylindrische Trommeln aus Eisen, resp. Sandstein (letztere zur Untersuchung der chemischen Vorgänge an Materialien, auf welche Eisenabgabe störend wirkt), in welche die zu untersuchenden eckigen Gesteinsmaterialien mit Wasser eingebracht werden, worauf Drehung der verschlossenen Trommeln erfolgt.

Die eckigen Gesteinsbruchstücke werden rasch in gerundete Geschiebe, Sand und Schlamm verwandelt. Eckige Granit- und Quarzstücke von Faust- bis Nußgröße zeigten schon nach einer Umdrehungsdauer, die einem zurückgelegten Wege von 25 km entspricht, vollständige Abrundung der Kanten. Dabei verloren diese eckigen Granitstücke während dieser 25 km $\frac{4}{10}$ ihres Gewichtes, während vollständig abgerundete Stücke nur mehr $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{400}$ ihres eigenen Gewichtes bei gleicher Weglänge verlieren. —

¹⁾ *Daubrée*, Comptes rendus de l'Academie des Sciences T. XLIV p. 997. Annales des Mines, 5^e Serie T. XII, Experimentalgeologie 1880, pg. 190 ff.

Abb. 6.

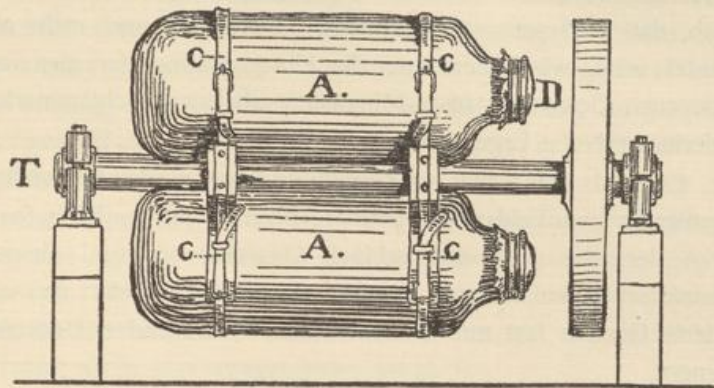


Abb. 7.

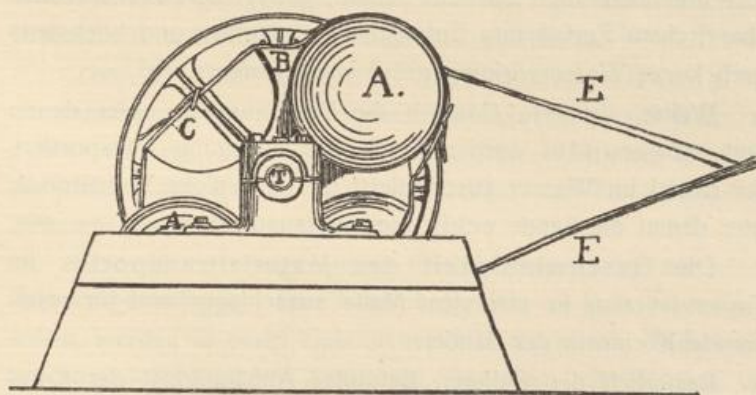


Abb. 6 u. 7. *Daubrée's* Rotationsapparat.

Zur Erzeugung von Geschieben, Sand und Schlamm, sowie zur Zersetzung von Silikaten unter Mitwirkung von mechanischen Einwirkungen.

A, A cylindrische Trommeln aus Eisen oder Sandstein, die an eine rotierende Welle T, T, mittelst eines Holzrahmens mit Vorsteckern und Riemen C, C, befestigt sind. D Verschuß der Gefäße mit Korkstöpsel und Kautschukkappe.

E Treibriemen für die Welle T. Maßstab 1:12.

Aus *Daubrée*: Experimentalgeologie S. 208.

Weiter untersuchte *Daubrée* die relative Menge des erzeugten Zerreibungsschlammes bei verschiedenen Mineralien, wobei sich ergab, daß Feldspath mit gerundeten Ecken zehnmal mehr abgenutzt wird, wie Feuerstein; die Untersuchung der aus verschiedenen Gesteinen, resp. Mineralien erhaltenen Schlammarten förderte wertvolle Ergebnisse.

Es ergab sich weiter bei Zerreibung von Graniten fast völlige Zerstörung des Feldspathes; als restierende Masse blieb Sand übrig, der fast ganz aus eckigen Quarzkörnern und einigen Glimmerschuppen bestand. Auch an Granitküsten liefert das verwitterte Gestein fast nur feldspatharmen Quarzsand mit eckigen Körnern.

Nur wenn sich der Granit in situ zersetzt, erhalten wir ein Gemenge von Quarz, Glimmer und Feldspath; das Experiment führt uns also auch zu dem Schluß, daß Arkosesandsteine subaerischem Zerfall ihre Entstehung verdanken, und höchstens durch kurze Wasserwirkung geschichtet worden sind. —

Weiter studierte *Daubrée* die Bedingungen, unter denen Sande abgerundet werden (noch von Strömung transportiert, aber nicht im Wasser suspendiert) und diejenigen Verhältnisse, unter denen die Sande eckig bleiben (suspendiert).

Die Geschwindigkeit des Materialtransportes im Wasser ist also in stärkstem Maße ausschlaggebend für resultierende Kornform der Sande.

Bezüglich der weiteren Befunde: Abhängigkeit der Korngröße und Form von der Dichte des Materials, Verhalten von Edelsteine und Metalle führenden Anschwemmungen etc., sei auf *Daubrées* Originalarbeiten¹⁾ ²⁾ hingewiesen, in denen ein besonderer Abschnitt den goldführenden Kiesmassen des Rheins gewidmet ist.

¹⁾ Comptes rendus de l'Acad. des Sciences T. XLIV. pg. 997, Annales des mines, 5^e serie, T. XII 1857. Bulletin de la Société géologique de France, 2^e sér. T. XXIV. pg 421, 1861.

²⁾ *Daubrée*, Experimentalgeologie. S. 190 ff.

Hand in Hand mit der mechanischen Zerstörung geht bei diesen Zerreibungsvorgängen die chemische Zersetzung derselben. *Daubrée* untersuchte das Verhalten verschiedener gesteinsbildender Mineralien während der Zerreibung im Rotationsapparat unter Einwirkung destillierten Wassers, von Salzwasser, kohlenensäurehaltigem Wasser, Kalkwasser, wobei sich u. a. ergab, daß das reinere Wasser in sehr starkem Maße dem Feldspath das Kali entzog, während z. B. mit Salzwasser unter gleichen Bedingungen nur eine geringe alkalische Reaktion erhalten wurde. Näheres hierüber, sowie über Untersuchung des mechanisch erzeugten Feldspathschlammes im Gegensatz zu dem aus chemischer Zersetzung allein hervorgegangenen vergl. ¹⁾.

Rotationsmaschinen finden auch zur Untersuchung der Abnutzbarkeit trockener Gesteine Verwendung, um z. B. über Widerstandsfähigkeit von Schotter-Geleisbettungsmaterialien, Staubbildung etc. exakte Beobachtungen zu gewinnen. —

Zum Studium der Kritz- und Schleifwirkung von Gesteinsmaterial über Gesteinsmaterial mit Bezug auf Glacial-schrammung, konstruierte *Daubrée*²⁾ einen Apparat (Abb. 8), der demjenigen gleicht, welchen *Colomb* zur Ermittlung der Reibungsgesetze anwandte.

Eine 80 cm lange glatte Gesteinsplatte wird auf einem Rahmen gut befestigt. Die Geschiebe, welche als Reibsteine dienen sollen, werden in einen Hainbuchenklotz eingesetzt, an dem eine Schnur befestigt ist, die horizontal über eine Leitrolle läuft, und am Ende eine Wagschale trägt, deren Belastung die Geschwindigkeit reguliert, mit welcher die Geschiebe über die zu bearbeitende Platte gezogen werden. Der geschiefeführende Klotz selbst wird mittels eines Doppel-Bügels, welcher eine weitere Wagschale trägt,

¹⁾ l. c. S. 205 ff.

²⁾ A. *Daubrée*, Comptes rendus de l'Académie des sciences T. XLIV pg. 997. Annales des mines, 2^e serie, T. XII 1858. Experimentalgeologie 1880, pg. 214 ff.

die den Druck der Reibsteine reguliert, gegen die Gesteinsplatte gepreßt. Der Versuch wurde mit Reibsteinen von Quarz und Feldspath und einer Granitplatte ausgeführt.

Als Ersatz für den beschriebenen, und durch Abb. 8 dargestellten, Apparat schlägt *Daubrée* l. c. Verwendung einer Eisenhobel-

Abb. 8.

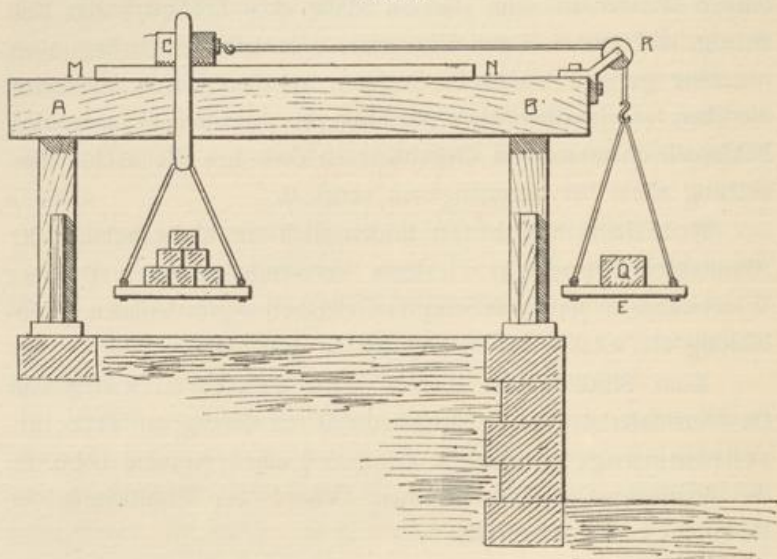


Abb. 8. Apparat zur Herstellung von Schrammung und gekritzten Geschieben nach *Daubrée*.

A—B Tisch als Unterlage für die Gesteinsplatte M—N. C Holzblock, dessen untere Fläche die Geschiebe festhält; wird durch Doppelbügel mit angehängter Wagschale und Gewichten gegen die Gesteinsplatte gedrückt. Gewichte regulieren die Druckstärke. E Wagschale, die mit einer über die Rolle R geführten Schnur am Block C befestigt ist und ihn mit einer durch das Gewicht C bestimmten Geschwindigkeit über die Gesteinsplatte M—N zieht.
Maßstab 1 : 25.

Nach *Daubrée* Experimentalgeologie S. 210.

maschine (vergl. Beschreibung: Experimentalgeologie pg. 215/16) vor. Zum Studium der Wirkung einzelner Geschiebe bestimmter Art, setzte er dieselben einzeln in einen Bohrerhalter und drückte sie (nach Art des Sklerometers) unter verschiedener Belastung gegen

die Platte, wobei die Geschwindigkeit der Geschiebebewegung durch verschiedene Radübersetzung stark variiert werden konnte.

Während des Versuchs wurde die Granitplatte naß gehalten.

Das Ergebnis war rasche Abnützung der ursprünglich eckigen Reibsteine; schon nach einer Bewegung von wenigen Metern waren echte kantengerundete Geschiebe und außerdem eckiger Sand gebildet.

Die eckigen Geschiebe erzeugten die Kritzer (geritzte Furchen), während sie nach der Abrundung ihrer Gestalt entsprechende Furchen aushöhlen, und die scharfen Kritzer verwischen.

Material gleicher Härte scheuert sich gegenseitig. Weicheres Gestein unter genügender Pressung ritzt auch härteres Gestein.

Statt die Scheuersteine mit Holz gegen die Unterlage zu pressen, verwandte *Daubrée* zu diesem Zweck auch einen Eisblock, der gleichfalls die Geschiebe zwang, Kritzer einzugraben.

Jedenfalls lassen sich mittels der *Daubrée'schen*, oder ähnlich angeordneten und weiter variierten Experimenten brauchbare Werte für die Intensität der Glazialerosion gewinnen, zumal man die Druckintensität der Gletschermassen, und die Geschwindigkeit der Eisbewegung kennt. Wenn man dann noch als besonders wichtigen Faktor die Dauer der Wirkung mit in Rechnung stellt, wird man zu Ergebnissen kommen, welche die Gegner kräftiger Glazialerosion widerlegen dürften; klassische Aussprüche wie »mit Butter hobelt man nicht« werden dann wohl auch von hartnäckigen Gegnern erosiver Gletschertätigkeit nicht mehr wiederholt werden, falls sie einsehen, daß Butter und Eis recht verschieden wirkende Agentien sind, und begreifen, daß die unter dem Eis transportierten Geschiebmassen intensiv abschürfend wirken.

Natürlich ändert sich die Wirkung der Gletscher-Erosion beträchtlich, wenn die Geschiebe in eine teigige Masse (feuchten Ton) eingebettet werden, da in diesem Fall, den *Daubrée* auch experimentell nachahmte, die Geschiebe rasch in die teigige Masse eindringen, und mit ihr über die Unterlage weggleiten.

Daß lokal solche rein tonigen Partien in Grundmoränen vorkommen, ist sicher, aber ebenso sicher ist, daß in weitem Ausmaß direkte Berührung harten Materials mit dem Untergrund unter den Gletschern erfolgt.

Ohne Schwierigkeiten lassen sich an Salz- und Gipsmassen Lösungs- wie Erosionsvorgänge experimentell nachahmen. Nachahmungen von Auskolkung durch Strudelbewegung des Wassers mit und ohne Mahlsteine, Bergschlipfen, Schuttrutschungen, Schlammströmen und ihr Verhalten, Wiedergabe von Sedimentationserscheinungen (Sonderung des Materials nach der Schwere) und dergleichen einfache Vorgänge mehr, sind sowohl eingehenderen Forschungen durch systematisch angestellte Experimente, wie dem Demonstrationsversuch leicht zugänglich. —

c. Druck-, Zug-, Scheerungswirkungen etc.

In dieses Kapitel¹⁾ gehören die mannigfachen Untersuchungen über die Festigkeit der Gesteine, welche in den Materialprüfungsanstalten mit hydraulischen Pressen und vielgestaltigen Spezialapparaten angestellt werden. — Diese vorwiegend praktischen Fragen dienenden Untersuchungen sind auch von größtem geologischen Interesse, doch kann an dieser Stelle nicht näher auf dieses große Sondergebiet experimenteller Versuche eingegangen werden. — Besonders klar erhellt aus diesen Versuchen der enge Zusammenhang zwischen der Gesteinsstruktur (primäre, wie sekundäre, durch Druck erzeugte, Struktur) der Gesteine und ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber verschiedenen Arten der Beanspruchung. — Es ergibt sich, daß die Art des Mineralverbandes das ausschlaggebende Moment für die Verbands- oder Haftfestigkeit ist, während demgegenüber die »Härte« der Mineralien und des Gesteins eine untergeordnete Rolle spielt.

¹⁾ Vergl. J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung Bd. 1 und 2, 1911/12.

d. Druckmetamorphose.

Als Ursache für das charakteristische strukturelle Erscheinungsbild einer großen Anzahl von Gesteinen wird der durch mächtige gebirgsbildende Vorgänge erzeugte Dislokations-Druck angenommen. Eine große Zahl der verschiedenartigsten Gesteine verdanken dieser Dynamometamorphose — Dislokationsmetamorphose — die für sie bezeichnenden Eigentümlichkeiten, welche teils auf rein mechanischen Ursachen beruhen, teils in Verbindung mit diesen auch chemische Veränderungen erlitten haben. —

Es lag daher nahe, den Einfluß starken Druckes auf Mineralien und Gesteine experimentell festzustellen.

Seit langem war bekannt, daß das Eis bei rasch wirkendem Zug spröde ist, daß es bei allmählich gesteigertem Zug sich fast wie ein elastischer Körper verhält, und daß es auf Druck plastisch erscheint. Eine größere Anzahl von Versuchen¹⁾ beschäftigen sich mit dem Studium dieser Eigenschaften des Eises.

Von großer Bedeutung sind die Versuche über die Plastizität der Metalle von *Fresca*,²⁾ denen erfolgreiche Deformationsversuche an einer großen Anzahl von Mineralien folgten. —

Ein vorzügliches zusammenfassendes Referat über »Plastizität der Mineralien und Gesteine« mit ausführlicher Literaturangabe veröffentlichte *L. Milch* in der »Geologischen Rundschau« Bd. II, 1911, S. 145—162. Bezüglich kristallographisch-physikalischer Behandlung des Stoffes sei auf die Arbeiten und Literaturnachweise von *O. Lehmann* verwiesen.

Theoretische kristallographische Behandlung erfuhr die Frage nach der Plastizität der Kristalle, z. T. in Verbindung mit experimen-

¹⁾ Zum Teil zitiert, resp. referiert in *H. Heß*: Die Gletscher. Braunschweig 1904. Von den Experimentatoren seien *Pfaff*, *Koch*, *Mc. Connel*, *Kidd*, *Hagenbach-Bischoff*, *Tyndall*, *Helmholtz*, *Mügge*, *Heß* genannt.

²⁾ *Fresca*, Comptes rendus Acad. des Sciences 1864. Mém. prés. à l'Institut 1868, 1872.

tellen Untersuchungen durch *O. Lehmann*,¹⁾ *Th. Liebisch*,²⁾ *A. Mügge*,³⁾ *G. Tammann*,⁴⁾ *Spring*⁵⁾ u. a. Vorzügliche Versuche über plastische Deformation von Mineralmassen gelangen erstmals *G. Kick*,⁶⁾ welcher Marmorkugeln, ohne daß sie zertrümmert wurden, unter allseitigem Druck abplattete, und dem es gelang, Marmor zu prägen (1300 Atmosphären Druck). Vergl. Wiederholung und weiteren Ausbau der Versuche durch *F. Rinne*.⁷⁾

Von weitestgehendem geologischen Interesse ist die Gruppe von Druckversuchen, welche *Frank D. Adams*⁸⁾ (Mc. Gill University, Montreal), teils allein, teils unter Mitwirkung von *J. Th. Nicolson* und *E. G. Coker* ausführte. Anfangs hatte *Adams* nach dem *Kick'schen* Verfahren gearbeitet, welches er dann beträchtlich verbesserte (Beschreibung des Apparates und Verfahrens mit Abbildung im *American Journal of Science* 4. ser. 1910, S. 465—487). — *Adams* untersuchte, preßte außer Mineralien carrarischen Marmor, lithographischen Kalk von Solenhofen, belgische Kalke, Dolomit, dolomitischen Kalkstein und Granit von Baveno.

Die ersten Versuche wurden unter normalen Temperaturen ausgeführt, und es ergab sich, daß Mineralien von der Härte 5 der *Mohs'schen* Skala, oder geringerer Härte, deutliche plastische Deformation aufweisen, während härtere Mineralien nur z. T. plastische Bewegungen zeigen, und sehr harte Mineralien

¹⁾ *O. Lehmann*, Flüssige Kristalle, sowie die Plastizität der Kristalle im allgemeinen. Leipzig 1904, Zeitschr. f. phys. Chemie IV, 267.

²⁾ *Liebisch, Th.*, Neues Jahrb. f. Min., Geol. etc.

³⁾ *Mügge, A.* in einer Reihe von Abhandlungen im Neuen Jahrb. f. Min. (i. sp. 1883, 1886, 1896).

⁴⁾ *Tammann, G.*, Kristallisieren und Schmelzen, Leipzig 1903.

⁵⁾ *Spring, W.*, Bulletin de l'Acad. de Belgique Cl. des Sciences III. 37. I. 1899.

⁶⁾ *Kick, F.*, Abh. des Vereins deutscher Ingenieure, Berlin 1892, Bd. 36,

⁷⁾ *F. Rinne*, N. Jahrb. f. Min. I. 1903.

⁸⁾ *Adams, F. D.* und *Nicolson, J. Th.*, Philos. Transact. Royal Soc., London 195, S. 363, 1901. *Adams* und *Coker*, American Journal of Science, 4. series 179, S. 465 ff. 1910. *Adams, J. Th.*, Journal of Geology 18, S. 489 ff. 1910. *Adams, Fr. D.*, Journal of Geology, Vol. XX, No. 2, 1912; daselbst auch eine Arbeit von *L. V. King* über Gesteinsfestigkeit in großen Tiefen.

keine Anzeichen von Plastizität erkennen lassen, sondern in ihrer Struktur zertrümmert, bezw. in Pulver verwandelt werden. — Z. T. tritt (Flußspath) durch Druck Farbänderung ein.

Bei Gesteinen liegen die Verhältnisse ähnlich; weichere Gesteine, wie Marmor, Dolomit und Kalksteine zeigen hier plastische Deformation, teils Kataklaststruktur. Harte Gesteine, wie Granit, zerbröckeln; in der Mitte des Versuchsstückes hatte sich bei gepreßtem Granit eine grobe Gneis-Struktur durch Parallelanordnung von Glimmer und Feldspathkörnern entwickelt.

Durch die verbesserte Versuchsanordnung (1910) (Einbringen der Versuchskörper in dickwandige Nickelstahlhülle und Pressung mit Chrom.-Wolfram Stahlstempeln),¹⁾ sowie unter Anwendung von Temperaturerhöhung bis zu 1000° C. gelang *Adams* und *Coker* die plastische Gesteinsdeformierung weit besser, und zwar wurden die Versuche mit und ohne Wasseranwesenheit durchgeführt. Diese Versuchsreihe zeigte, daß der Marmor um so druckfester wird, resp. bleibt, je langsamer er deformiert wird, sodaß angenommen werden kann, daß der in der Natur äußerst langsam deformierte Marmor durch die Pressungsvorgänge nicht an Festigkeit verliert. — Deformation unter erhöhter Temperatur erfolgt leichter, rascher und mit dem Ergebnis größerer Druckfestigkeit, als unter normaler Temperatur. Bei den ausgeführten Experimenten ließ sich ein erkennbarer Einfluß des Wassers auf den Charakter der Deformation nicht nachweisen, doch wird betont, daß damit nicht gesagt sein soll, daß Wasseranwesenheit auch unter anderen Bedingungen nicht von Einfluß sein kann. — Die Dichte (sp. Gew.) der gepreßten Gesteine erlitt keine Veränderung.

Die weiteren Versuche *Adams* an anderen Gesteinen (Granit etc.) ergab dynamometamorphe Bilder, die denen, welche an natürlichen Gesteinen bekannt sind, gleichen, sodaß das Experi-

¹⁾ Abbildungen etc. des Apparates im »American Journal of Science« 4. Ser. Vol. XXIX. 1910, S. 471 u. 472; vergl. ferner: Journal of Geology Vol. XX 1912, pg. 106.

ment sich für das Studium der Dynamometamorphose als überaus fruchtbar erwiesen hat,¹⁾ Dem bekannten Ausspruch »Le Dynamométamorphisme est mort« kann man auch auf Grund exakter Versuche den Ruf folgen lassen: Vive le Dynamométamorphisme!

Der mit so großem Erfolg beschrittene Weg zeigt, daß wir von dem weiteren Ausbau solcher petrographischen Versuche noch sehr wertvolle Ergebnisse erwarten dürfen, zumal wenn auch die Mitwirkung von Wasser²⁾ etc. in sachgemäßer Weise in die Experimente über Gesteinsmetamorphose einbezogen wird.

Versuche über Dislokationen und damit zusammenhängende Erscheinungen.

Zur Klärung gebirgsbildender Vorgänge und der damit in Zusammenhang stehenden Erscheinungen sind mannigfache Experimente angestellt worden.

Daubrée's Versuche³⁾ über Schichtstörungen, wie diejenigen über Entstehung von Verwerfungsspalten, Klüften und Sprüngen in Gesteinen sind auch hier wieder als besonders gut durchdacht in erster Linie zu nennen. An den Anfang dieses Abschnittes soll ein Satz *Daubrée's* gestellt werden, der sich in der Einleitung des tektonischen Kapitels in der Experimentalgeologie findet und der wieder klar erkennen läßt, in welchem Geiste die *Daubrée'schen* Versuche durchgeführt wurden:

»Bei Lösung mechanischer Fragen hat aber der Geologe mehr noch als der Künstler gegenüber seinem Modelle, oder der Zeichner gegenüber dem Spiegelbild, im Geiste beständig die Gesamtheit der Naturerscheinungen vor Augen zu behalten, die er studieren will.«

¹⁾ In der letztzitierten Arbeit von *Adams* finden sich u. a. interessante Angaben über Schließen, resp. Offenbleiben künstlicher Löcher in stark gepreßten Gesteinen.

²⁾ Vergl. *Rieke, Ed.*, Nachr. Kgl. Gesellschaft d. Wissensch. math.-naturw. Klasse 1894, S. 278 ff.

³⁾ *A. Daubrée*, Experimentalgeologie, S. 221 ff.

Spalten und Klüfte:

Abgesehen von Kontraktionsrissen und Klüften, die durch Abkühlungsvorgänge in erkaltenden Schmelzflüssen entstehen, oder von Trocknungsrisen, deren Entstehung auf Wasserverlust in gewissen Sedimentmassen zurückzuführen ist, entstehen Risse und Klüfte in Gesteinen durch die in der Erdkruste herrschenden, von mancherlei Ursachen bedingten Druck-, Zug- und Torsionsvorgänge.

Daubrée erzeugte auf Gyps- und Spiegelglasplatten, die (zum Bewahren des Zusammenhaltes) auf Papier geklebt waren, durch Torsion regelmäßige Kluftsysteme mittelst folgendem Versuch (Abb. 9—12): Eine lange rechteckige Platte der zu untersuchenden Substanz wurde an einer der schmalen Seiten mittelst klammerartiger, festgeschraubter Hölzer, wie zwischen einen Schraubstock, eingespannt. Das andere schmale Ende wurde in einen entsprechend gestalteten Drehschlüssel (mit Pappe gedichtet) festgeklemmt.

Beim Drehen des Schlüssels um seine vertikale Axe wird eine Torsion herbeigeführt, die zu Zerreißen der Versuchsplatte führt. Beim Vergleich der Form und Anordnung der Sprünge (Krümmungen derselben) mit Vorkommnissen in der Natur kommt *Daubrée* zu dem Schluß, daß die Torsion für Entstehung von Klüften und Verwerfungen eine der häufigsten und wahrscheinlichsten Ursachen unter den mechanischen Kräften gewesen ist, welche mitgewirkt haben.

Weitere Zerreißen verdanken ihre Entstehung Druckwirkungen. Druckversuche unter hydraulischen Pressen erläutern den Mechanismus dieser Vorgänge, welche sich vorzüglich bei Festigkeitsversuchen von Gesteinsmaterialien beobachten lassen.

Eingehende Auseinandersetzungen über Form, Anordnung in bestimmten Systemen, Fallen und Streichen von Klüften in den verschiedensten Gegenden, und die Ähnlichkeit der Erschei-

Abb. 9.

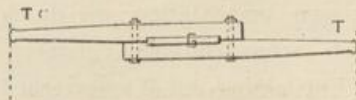


Abb. 10.

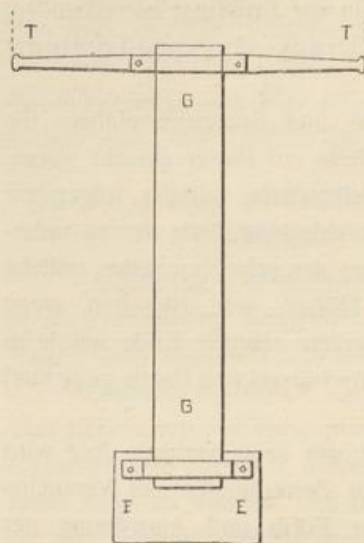


Abb. 11.

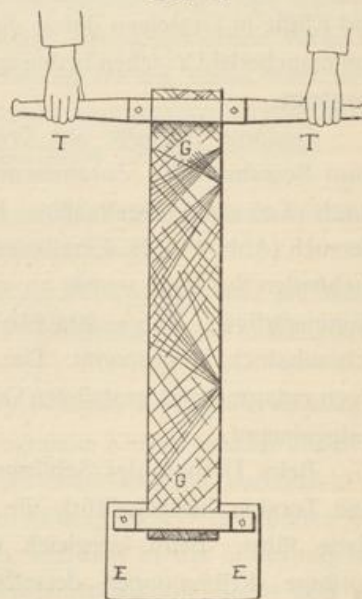
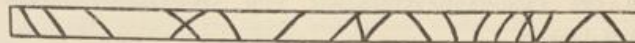


Abb. 9 u. 10. Einspannen einer Spiegelglasplatte zum Zerreißen durch Torsion, nach *Daubrée*.

G, G, Glasplatte; E, E, Schraubstock, der das feste Ende festklemmt; T, T, Drehschlüssel, in den das andere Ende des Spiegelglases eingespannt ist. Maßstab 1:6.

Abb. 11. Spiegelglasscheibe nach dem Torsionsversuch. Es sind zwei sich kreuzende Systeme von Sprüngen entstanden. Nach *Daubrée*. Bezeichnungen und Maßstab wie Abb. 10.

Abb. 12.



Querschnitt durch eine mittels Torsion zersprengte Glasplatte; zeigt das verschiedene Einfallen der Sprünge. Ihre Biegungen konnten nicht gut zur Darstellung kommen. Natürliche Größe. Nach *Daubrée*.

nungen zwischen Naturvorkommnis und Experiment folgen der Darstellung der Torsions- und Druckversuche. Es wird u. a. auf die in der Natur bestehende, wie beim Versuch sich ergebende Tendenz der Zerreißungsklüfte, sich zu Systemen zu ordnen, bei denen die Neigung vorherrscht, sich unter einem dem rechten angenäherten Winkel zu schneiden, eingegangen. Sehr richtig wird daraus geschlossen, daß Klüfte und Verwerfungen von sehr verschiedener Richtung, ja selbst solche, die sich unter rechtem Winkel kreuzen, gleichzeitig von ein und derselben Kraft verursacht worden sein können. Natürlich wird auch zugegeben, daß Zerreißungen in derselben Gegend zu sehr verschiedenen Zeiten durch verschieden gerichtete Druckkräfte nacheinander entstanden sein können, ein Fall, der aber noch heute von manchem Geologen als die einzige Erklärungsmöglichkeit sich kreuzender Spaltensysteme angesehen wird, was fraglos unrichtig ist. — Auf lokale Ursachen für Erklärung von örtlichen Unregelmäßigkeiten geht *Daubrée* gleichfalls ein, und kann nachweisen, daß wir: »im Großen wie im Kleinen, in der Natur, wie bei den Versuchsergebnissen, schlagende Ähnlichkeiten bei den Zerreißungen, sowohl in Form wie Anordnung, finden, und daß in beiden Fällen die Züge von Regelmäßigkeit, wie auch von Unregelmäßigkeit mit ihren wesentlichen Kennzeichen erscheinen.«

Neuere geodätische Untersuchungen haben gezeigt, daß offenbar Verbiegungen in der Erdkruste eine sehr große Rolle spielen, und *Daubrée's* Torsionsversuche, wie seine Schlußfolgerungen, verdienen eine viel größere Beachtung, als ihnen bisher im allgemeinen zuerkannt worden ist, zumal noch vielfach die Entstehung und Anordnung aller Klüfte vorwiegend auf Druck- und Zugserscheinungen zurückgeführt werden. Z. T. müssen bei Horizontalschüben in den Gegenden, in denen sich ihnen Widerstände entgegenstellten, gleichfalls Torsionen stattgefunden haben.

In Verbindung mit diesen Untersuchungen und Betrachtungen findet sich auch die Benennung von Klüften als Dia-

klasen, Zerreißen, die von einer Verschiebung begleitet sind, als Paraklasen, für beide zusammen als Lithoklasen.

Ein ausführliches, sehr beachtenswertes Kapitel ist dem Zusammenhang zwischen Lithoklasen und Talbildung gewidmet.

Weitere Versuche¹⁾ *Daubrées* beschäftigen sich mit der Entstehung gekrümmter, polierter und gestreifter Flächen (Spiegel, Rutschflächen, Harnische), sowie mit der von Stylolith-artigen Bildungen, und mit der Entstehung von Geschieben mit Eindrücken,²⁾ wie sie sich z. B. häufig in der Molasse finden.

Schieferung und verwandte Erscheinungen:

Die Tatsache, daß Transversal-Schieferung von Gesteinen, wie Verzerrung von Versteinerungen und anderen Einschlüssen nur in solchen Gebieten gefunden wird, die von Dislokationen betroffen wurden, legten schon lange den Gedanken nahe, daß es sich bei diesen Erscheinungen um Folgen der Einwirkung mechanischer Kräfte handelt.

Die ersten zur Kontrolle dieser Annahme dienenden Versuche unternahm *Sorby*,³⁾ der auf Grund der Beobachtung des mikroskopischen Bildes von geschieferten Gesteinen, als Ursache für die charakteristische Schieferstruktur Pressungsvorgänge annahm. Er mischte Roteisensteinschuppen mit Ton, preßte das Gemenge stark, wobei eine deutlich geschieferte Masse entstand.

*John Tyndall*⁴⁾ erhielt gleichfalls auf experimentellem Wege durch Pressung und eine Art von Plättung stark geschieferte Massen aus ungeschiefertem, mit feinen Glimmerblättchen durchmengtem Material. Die vorher regellos verteilten Glimmerblättchen ordnen sich bei solchen Versuchen unter sich parallel, und mit ihren

¹⁾ Experimentalgeologie S. 286.

²⁾ Ebenda S. 291.

³⁾ *Sorby*, Edinburgh new Philosoph. Journal T. LV, pg. 437, 1853. London, Edinburgh and Dublin, Philosoph. Magazine T. XI, pg. 20 und T. XII, pg. 27, 1856.

⁴⁾ *John Tyndall*, The London, Edinburgh and Dublin, Philos. Magazine T. XII, pg. 35, 1856.

Flächen senkrecht zum Druck, wodurch die als Schieferung sich äußernde Spaltbarkeit bedingt ist.

Diese leicht zu wiederholenden Versuche demonstrieren aufs klarste, warum gerade insonderheit feinste oder gröbere elastische Glimmerblättchen führende Gesteine in erster Linie die ausgesprochenste Tendenz zur Schieferung aufweisen. Parallelversuche mit körnigen, glimmerfreien, und mit glimmerarmen Gesteinen zeigen statt Schieferung, Zerpressung der Versuchsstücke in unregelmäßige Brocken.

*Daubrée*¹⁾ hat auch diesen Fragen eingehende Studien und Versuche gewidmet, z. T. auf Grund der Erfahrungen von *A. Tresca*²⁾ und unter dessen Mithilfe.

Daubrée's Versuche mit Ton wurden vorwiegend mit der hydraulischen Presse (Abb. 13) ausgeführt, welche *A. Tresca* für seine klassischen Versuche benutzt hatte. Ton mit Quarzsand oder mit Glimmerblättchen in verschiedenartiger Vermengung wurde gezwungen, aus einer zylindrischen Form, in die er eingebracht war, auf engem Wege in Form einer Säule mit verschiedenem Querschnitt nach oben auszutreten.

Das Ergebnis war flaserige-schieferige Strukturen. Besonders glimmerreiche Tone nehmen eine vorzügliche Schieferstruktur an, wobei sich die Glimmerblättchen stets in die Bewegungsrichtung einstellen. Bei rechteckiger Austrittsöffnung stellen sich die meisten Glimmerschuppen parallel zur größeren Fläche des Rechtecks, und eine viel geringere Zahl parallel zur schmaleren Rechteckfläche.

Bei Einbringung des Tones in ein rechtwinkliches Prisma mit spaltenartig verengter, rechteckiger Öffnung von gleicher Breite, aber 10 mal geringerer Weite erfolgt die Ordnung der Glimmer-

¹⁾ *Daubrée, A.*, Études et expériences synthétiques sur le Métamorphisme, Annales des mines 5^e série 1859—1860. Experimentalgeologie S. 311 ff.

²⁾ *A. Tresca*, Mém. des savants étrangers, T. XVIII, pg. 733, T. XX, pg. 75.

Abb. 13.

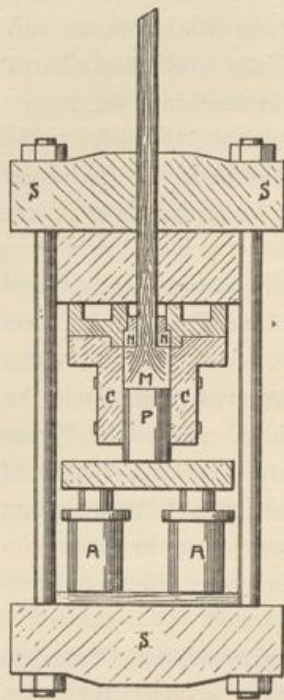


Abb. 15.

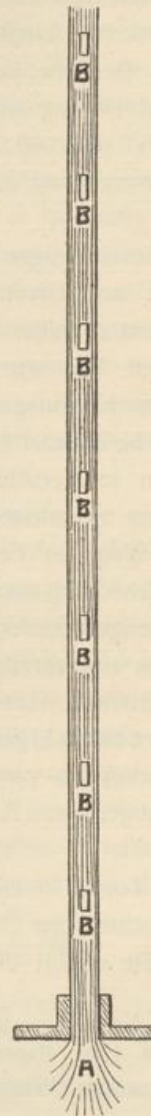


Abb. 13. Hydraulische Presse zur Erzeugung von Schieferung in Ton. P Druckkolben; M Ton; N Stahlmatrize; C, C Cylinder; S, S, S Preßbalken; A, A Preßcylinder; B Preßplatte; eine Öffnung im oberen Preßbalken läßt die Tonsäule hindurch, deren Schieferung in der Richtung der Bewegung erfolgt.

Maßstab 1:10 (nach Daubrée).

Abb. 14. Kreidenachahmung eines Belemniten. B in Tonmasse A, A eingebettet; mit dem Kolben P einer hydraulischen Presse ausgepreßt, um eine Zerstückelung und Verlängerung zu erfahren.

Maßstab 1:3 (nach Daubrée).

Abb. 15. Ergebnis des Versuches.

B, B, B, B weit voneinander entfernte Bruchstücke des beim Auspressen des Tones A zerissenen, künstlichen Belemniten von Abb. 14.

Nach Daubrée.

Abb. 14.

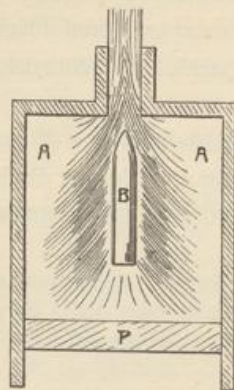


Abb. 16.

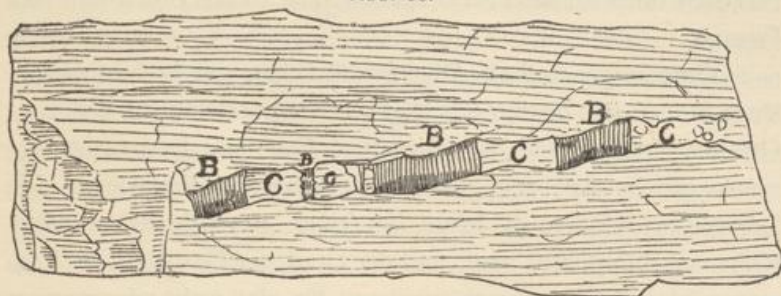


Abb. 17.

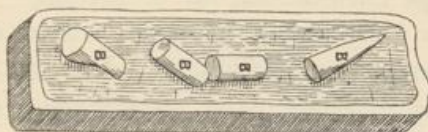


Abb. 18.

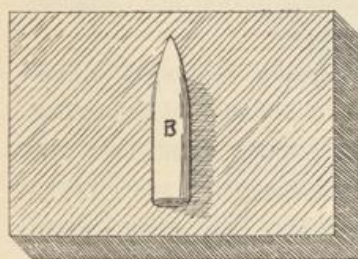
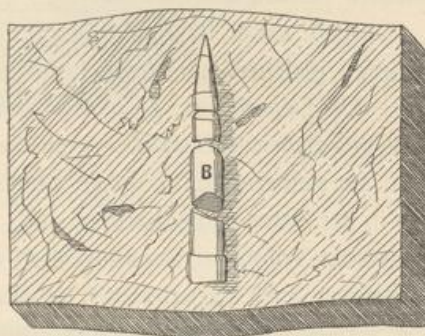


Abb. 19.



- Abb. 16. Durch gebirgsbildende Vorgänge zerrissener Belemniten aus den Liasschiefern von Fernigen. B Belemnitenstücke; C Kalkspathausfüllung der Zwischenräume, natürl. Größe. Original. Geol. Inst. Techn. Hochschule, Karlsruhe.
- Abb. 17. Conisch-zylindrisches Kreidestück in Belemnitenform durch starken Druck auf den Ton zerbrochen, mit zerrissenen Stücken. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.
- Abb. 18. Belemnites niger. B in ein Bleiprisma aus 2 Stücken eingegossen, um unter der hydraulischen Presse senkrecht gepreßt zu werden. Maßstab 1:2.
- Abb. 19. Verlängerung und Zerstückelung desselben Belemniten von Abb. 18 unter starkem Druck. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.

blättchen noch vollkommener parallel zur breiteren Fläche des Prismas.

Größere quadratische Glimmerstückchen von 4—5 cm Seitenlänge ordnen sich noch regelmäßiger in der geschilderten Weise. — Größere Kristalle anderer Mineralien (Sanidine, Feldspäthe etc.) zeigen gleiche Anordnung bei entsprechenden Versuchen. Die Schieferung wird umso feiner, je feiner die kleinsten Teilchen (Glimmerschüppchen) sind, und der Grad der Plastizität der Tonmasse ist außerdem ausschlaggebend für eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Entwicklung der Schieferung.

Aus dieser Tatsache erklärt es sich, warum diejenigen Gesteine am stärksten geschiefert sind, welche die größte Menge toniger Substanz enthielten, bzw. die Richtigkeit dieser aus der direkten Beobachtung sich ergebenden Erkenntnis wird experimentell bestätigt.

Auch durch Wärme erweichte Massen (bleireiches Flintglas) wurden gleichartigen Versuchen unterworfen.

Die Experimente *Daubrées* über so häufig, besonders in tonigen, geschieferten Gesteinen, gefundene Zerreißung und Verzerrung von Versteinerungen ergaben durchaus analoge Ergebnisse, wie sie in der Natur zu beobachten sind. Die bekannten Erscheinungen verzerrter Trilobiten, Brachiopoden, zerrissener Belemniten können unschwer auch experimentell erhalten werden.

Teils wurde Auspressung durch eine enge Öffnung (Abb. 14 u. 15) wie beim obenbeschriebenen Schieferungsversuch angewendet, teils Auswalmung (Plättung), teils senkrechter Druck.

Da nicht sehr starke Drucke angewendet werden konnten, wurden für einige Versuche Kreidestücke in Belemnitenform in den Ton eingebettet. Die *Daubrée'schen* Ergebnisse sind in Abb. 17—19 wiedergegeben. Abb. 16 zeigt Zerreißung eines Belemniten durch Plättung. Abb. 18 zeigt einen natürlichen Belemniten (*Bel. niger*), der in ein parallelepipedisches Bleistück eingebettet, einem Druck von 50000 kg ausgesetzt wurde, wobei auch Zerreißung, Abb. 19,

die Folge war. Lösungsvorgänge und sekundäre Ausscheidung von Kalkspath in den Zwischenräumen der getrennten Stücke, wie sich das in der Natur findet, Abb. 16, könnten bei diesen Versuchen nicht erreicht werden. Einfache Quetschung und Auswalgung, wie sie Versteinerungen, wie Mineral-Einschlüsse häufig zeigen, sind experimentell leicht nachahmbar (vergl. das Walzverfahren, mit dessen Hülfe in England außer Kurs gesetzte Münzen »demonstrirt« werden Abb. 20).

Abb. 20.



Abb. 20. Quetschung einer Münze mit dem Bildnis Georgs des III. unter einem Walzwerke erinnert an gewisse analoge Formveränderungen von Versteinerungen (Trilobiten etc.)

Eine gleichfalls nicht genügend berücksichtigte Schlußfolgerung *Daubrées* sei hier besonders hervorgehoben; er wendet sich gegen die landläufige Art der Bestimmung von Mächtigkeit kristalliner Schiefer, Gneise etc., bei denen sicher oft Schichtung und Schieferung verwechselt wird. Zudem kommen evtl. noch Schicht-Wiederholungen durch Faltung und Schuppung vor, worauf ich mit Bezug auf die, meiner Ansicht nach, meist überschätzten Mächtigkeiten¹⁾ der Flyschablagerungen hinwies.

¹⁾ *W. Paulcke*, Tekton. Exper. Ber. Versammlg. Deutscher Naturforscher u. Ärzte, Karlsruhe 1911, Leipzig 1911.

Abb. 21.



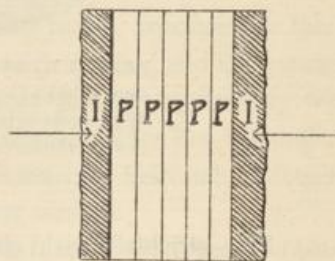
Entstehung der Fächerstruktur in einer Tonmasse, welche zwischen 2 Preßplatten zusammengedrückt wurde. Der horizontale Druck der Preßplatten gibt dem Ton zuerst Schieferstruktur, die sich über die Grenzen der Platten hinaus fächerförmig erweitert. Maßstab 1:3. Nach *Daubrée*.

Abb. 22.



Entstehung der Fächerstruktur in zwei rechteckigen Bleiplatten P-P zwischen zwei Eisenplatten I-I unter 500 Atmosphären Druck, um, wie beim Ton (Fig. 21), das Metall auszuquetschen. Oberansicht. Maßstab 1:3.

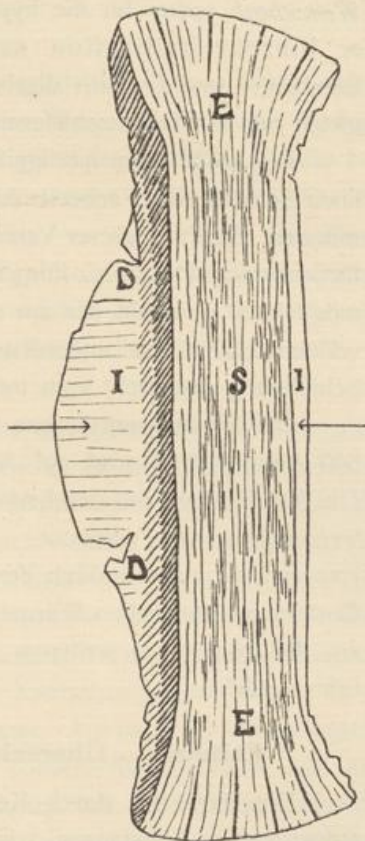
Abb. 23.



Entstehung der Fächerstruktur in Blei bei dem Versuche Fig. 21. Seitenansicht von Abb. 22. Bezeichnung wie dort. Maßstab 1:3.

Abb. 24.

Abb. 24. Ergebnis des Versuches zur Hervorbringung der Fächerstruktur in Blei (Fig. 22 u. 23). S = Teil des zwischen den Preßplatten gequetschten Bleis; E, E über den Rand der Platten ausgequetschtes Blei, das Fächerstruktur angenommen hat. Die stärker ausgezogenen, nach außen divergierenden Linien über, resp. unter den Buchstaben E E entsprechen den vor der Pressung auf dem Bleiprisma gezogenen parallelen Linien (Abb. 23), um die Formänderungen anzugeben. I = dünner Bleilappen, der sich zwischen die Preßplatten und den Rahmen eingquetscht hat und bei D aufgerissen ist. Die Pfeile geben die Druckrichtung an. Maßstab 4:5. Nach *Daubrée*.



Aus seinen Druckversuchen mit nicht vollkommen erstarrten Massen schließt *Daubrée* auch auf Entstehung von einer Art primärer Parallelstruktur durch Druck auf zähflüssige Schmelzflüsse, sodaß sich seine Anschauungen beinahe mit den Ansichten decken, die *Weinschenk* später für die hypothetischen Vorgänge äußerte, die er *Piezokristallisation* nannte. Auch die Entstehung der Blaublätter und *Tyndalls* diesbezügliche Versuche werden in Vergleich mit der Druckschieferung von *Daubrée* gezogen.

Die so überaus häufige Steilstellung der Gneise und kristallinen Schiefer, die Fächerstruktur mancher alpinen Massive wird mit dem Ergebnis dieser Versuche in Verbindung gebracht. Die fächerförmige Divergenz führt *Daubrée* auf die größere Ausweichmöglichkeit oberhalb der am stärksten gepreßten Massen zurück, während das Ganze außerdem, je nach Material, ausgesprochene Schieferung senkrecht zum intensiven Seitendruck aufweist.

Die Versuchsergebnisse mit Ton und Blei unter Druck bis 500 Atmosphären sind auf Abb. 21 bis 24 wiedergegeben. — Die Abbildungen mit den beigefügten Erläuterungen genügen zum Verständnis der Versuche. In einem weiteren Kapitel über Experimente zum Studium der durch mechanische Wirkungen in Gesteinen entwickelten Wärme schneidet *Daubrée* ein Thema kurz an, das fraglos bei weiterem Ausbau zu wertvollen Ergebnissen führen dürfte. —

Faltung — Überschiebung — Schuppung.

Die Versuche durch Kontraktion von Gummiballons mit aufgetragenen Substanzen, wie sie u. a. auch *Daubrée* ausführte, haben bis jetzt noch nicht zu Ergebnissen geführt, denen man größere Tragweite mit bezug auf das Kontraktionsphänomen der Erde und die damit zusammenhängenden gebirgsbildenden Vorgänge beimessen dürfte. —

Schichtverbiegungen, Faltungen, Schuppen, Überschiebungserscheinungen sind dagegen schon in vielgestaltigster Weise experimentell nachgeahmt worden.

Das erste Experiment, welches das Faltenphänomen zum Gegenstand experimenteller Untersuchung hatte, war der schon erwähnte Versuch (Abb. 1 und 2) von *James Hall*,¹⁾ dem wir auch die Konstruktion des ersten tektonischen Apparates verdanken (Abb. 3).

Halls Versuche (1812)

konnten naturgemäß noch nicht größere Probleme lösen; doch stellte er jedenfalls fest, in welcher Weise ein erodiertes Faltenprofil zu rekonstruieren ist, und zeigte experimentell, daß seitlicher Druck Falten erzeugt. Von besonderem Interesse ist, daß er auflastenden Massen (obschon er die Art der Belastung unnatürlich gestaltete) eine wichtige Rolle bei der Faltenbildung zuwies, ein Faktor, der von den meisten späteren Autoren nicht genügend berücksichtigt, oder überhaupt vernachlässigt wurde. —

Alphons Favre (1878)²⁾

beschritt zur künstlichen Nachahmung des Faltenphänomens einen andern Weg. In seinen »Expériences sur les effets des refoulements ou écrasements latéraux en géologie.«³⁾ *Favre* ging von der Kontraktionshypothese aus, nach welcher anzunehmen ist, daß als Folge des Kleinerwerdens des Erdkerns resultierender Seitenschub die oberflächlichen Krustengebiete zusammendrückt. Zur Nachahmung des Kontraktionsvorgangs und seiner Wirkung auf Schichtmassen, wählte er breite Kautschukbänder, welche er in einen Apparat einspannte und dehnte. Auf das gestreckte Gummiband wurden, 25—26 mm dick, Tonschichten gebracht (ein Abgleiten an beiden Enden verhinderten auf dem Bande befestigte Holzklötzchen, die als Widerlager dienten), worauf ein langsames oder rascheres Nachlassen erfolgte, sodaß Verkürzung des Gummibandes erfolgen konnte.

¹⁾ Transactions of the Royal Soc. of Edinburgh, vol. VII 1815, pg. 79 bis 108, Taf. I—V.

²⁾ Comptes rendus de l'Académie des Sciences. 25. Avril 1878.

³⁾ Archives des Sciences Physiques et Naturelles nouv. pér. Tome 62. Genève 1878, pg. 193—211, planche I—III.

Paulcke, Das Experiment in der Geologie.

Auf diese Weise wurden die aufgelagerten Tonschichten zu Dislokationen gezwungen (Abb. 25 und 26), welche sich in Falten und kleinen Überschiebungen äußerten. Die Verkürzung des Gummibandes erfolgte von 62 cm auf 45 cm, bzw. von 60 cm auf 40 cm und von 58 cm auf 38 cm; einmal von 45 cm auf 25 cm.

Im allgemeinen ergab sich eine in der Tiefe geringe, an der unbelasteten Oberfläche stärkere Faltungsreaktion (vergl. Abb. 25), welche im großen und ganzen mit einfacher Juratektonik zu vergleichen war. Eine Komplikation in der Versuchsanordnung erzielte *Favre* dadurch, daß er in einigem Abstand von einander Halbzylinder aus Holz (Abb. 26 bei a u. b) auf dem Gummiband anbrachte, und zwischen dieselben regelmäßige Schichten von Tonen einfügte. Diese Holzklötzchen sollten alte, aus verfestigtem Material bestehende, Gebirge darstellen, welche von weichen Sedimentmassen am Grunde eines Meeres umgeben waren. —

Das Ergebnis des Kontraktionsversuches war Bildung von stärkeren Dislokationen im Gebiete der Holzstücke, und zwar sowohl eines Tales bei a, wie einer kräftigen Überschiebung bei b unter Einklemmung eines invers gelagerten Stückes.

Allgemeine Schlußfolgerungen zog *Favre* aus seinen Versuchen nicht.

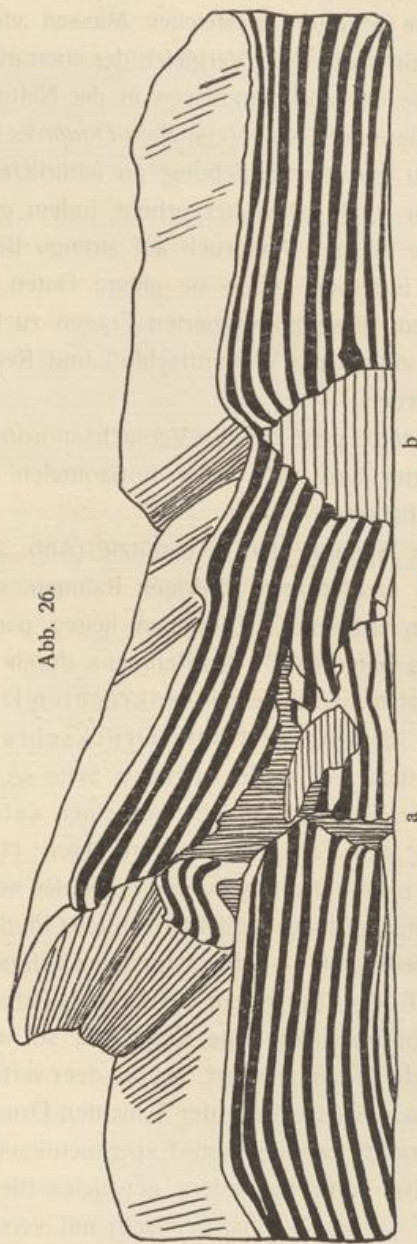
A. Daubrée (1878)

hatte im gleichen Jahre wie *Favre*, und, wie aus dessen Publikationen (l. c.) hervorgeht, schon vor ihm verschiedenartige tektonische Experimente ausgeführt, bei welchen er Seitendruck anwendete. Er preßte z. B. Prismen aus Schichten verschieden gefärbten Wachses zusammen (Abb. 27—30). Eine Zeit lang erfolgt Biegung, dann bisweilen an der Stelle weiterer Krümmung Zerreißen, und zwar gewöhnlich auf einer die Schichten schräg durchsetzenden Fläche (Abb. 28). Bei weiter fortgesetztem Druck erfolgt entweder stärkere Überschiebung, oder erneute Zerreißen an einer anderen Stelle mit folgender Überschiebung (Abb. 29 und 30). Derartige Versuche an einem freien Wachsprisma dürften für das

Abb. 25.



Abb. 26.



Versuch Favre's, Tonschichten durch Kontraktion eines Gummibandes zu falten.

Abb. 25. (Nach Favre Pl. II, Fig. 6). Zusammenschub von 60 auf 40 cm. Normal-Mächtigkeit 30 mm. Höchste Erhebung nach Zusammenschub 62 mm.

Abb. 26. (Nach Favre Pl. III, Fig. 8). Zusammenschub von 60 cm auf 40 cm. Normal-Mächtigkeit 4,5 cm. Höchste Erhebung nach dem Zusammenschub ca. 10 cm. Bei a und b Holzcyllinder eingefügt.

allgemeine Studium plastischer Massen etc. Wert haben, doch scheint mir ein direkter Vergleich der eben geschilderten Versuchsergebnisse mit Vorkommnissen in der Natur nicht angebracht. — Eine weitere Serie von Versuchen *Daubrées* leidet an dem gleichen Fehler zu geringer Beziehung zu natürlichen Verhältnissen, was der Autor auch selbst hervorhebt, indem er sagt, daß diese Experimente »keinen Anspruch auf strenge Beweisführung erheben können; indessen geben sie einige Daten, welche man bei den Versuchen, diese komplizierten Fragen zu lösen, benutzen kann, bis sich einmal ein Vernunftschluß und Rechnung ihrer bemächtigen werden.«

Daubrée geht bei der Versuchsanordnung von der richtigen Überlegung aus, daß außer horizontalen auch vertikale Kräfte gewirkt haben.

Der Apparat, den er benützte (Abb. 31), besteht aus einem eisernen, rechteckigen niedrigen Rahmen, der die zu pressenden Schichten aufnimmt. Dieselben liegen parallel zu den langen schmalen Seiten (A. B.) des Rahmens, durch welche die Schraubenbolzen gehen, welche einen senkrechten Druck auf die Schichten ausüben können: Vertikale Druckschraube. Die in rechtem Winkel dazu stehende kürzere Seite (A. C.) trägt ebensolche Schrauben, die auf die Schichten einen seitlichen Druck in der Richtung ihres Streichens hervorbringen: Horizontale Druckschrauben. Der Druck wird entweder auf die Fläche, oder auf den Querschnitt der Schichten mittelst Preßplatten aus Holz oder Eisen übertragen. — Schließt man den Rahmen an seinen Seiten zum Teil mit Böden, die so ein rechteckiges Parallelepiped einschließen, oder gibt man ihm eine Kreisform, so wird seine Anwendung noch mehr verallgemeinert. Außer dem vertikalen Druck kann man dabei noch in der Ebene der Schichten Druckäußerungen ausüben.

Daubrée wählte zum Experimentieren Platten aus Bronze, Zink, Eisen und besonders gewalztes Blei von verschiedensten Stärken. Ferner Wachs, gemischt mit verschiedenen Substanzen,

Abb. 27.

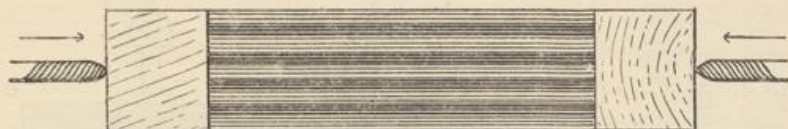


Abb. 27. Prisma aus Lagen von verschieden gefärbtem Wachs. Druck erfolgt in der Richtung der Pfeile. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.

Abb. 28.



Abb. 28. Wirkung mäßigen Druckes auf Prisma Abb. 27. Erzeugung einer Bruchüberschiebung nach erfolgter Biegung. Überschiebungsfläche ca. 45° gegen Richtung des Druckes geneigt. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.

Abb. 29.

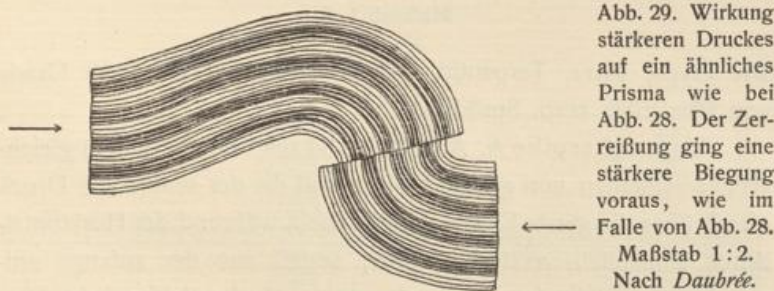


Abb. 29. Wirkung stärkeren Druckes auf ein ähnliches Prisma wie bei Abb. 28. Der Zerreißung ging eine stärkere Biegung voraus, wie im Falle von Abb. 28. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.

Abb. 30.

Abb. 30. Entstehung von 2 Bruchüberschiebungen resp. Verwerfungen, in einem Prisma, wie Abb. 27. Maßstab 1:2. Nach *Daubrée*.



Abb. 31.

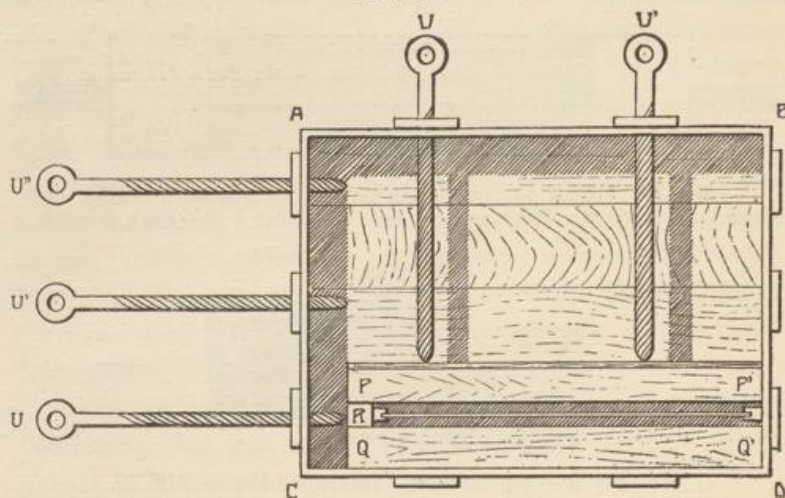


Abb. 31. Seitenansicht des Apparates, um Pressungen verschiedener Art auf Schichten auszuüben (nach Daubré).

A, B, C, D, rechteckiger, eiserner Rahmen VV' vertikale, U, U', U'' horizontale Druckschrauben. P P', Q, Q' vertikale, R horizontale Preßplatten.

Maßstab 1 : 5.

wie Gyps, Harz, Terpentin, zur Erzielung verschiedener Grade von Plastizität, resp. Sprödigkeit.

Versuchsreihe A. Abb. 32 bis 34 zeigt das Verhalten gleichartiger Schichten von gleicher Dicke, auf die der senkrechte Druck gleich über die ganze Fläche verteilt blieb, während der Horizontaldruck allmählich verstärkt wurde, sodaß aus der anfangs entstandenen Antiklinale, mit zunehmendem Horizontaldruck (= Verkürzung des Raumes für die Schichten) immer mehr Falten entstanden (erst 3, dann 5). —

Versuchsreihe B. Abb. 35 bis 37 zeigt das Verhalten einer gleich dicken Schicht bei ungleichartig wirkendem Vertikaldruck, und zunehmendem horizontalem Zusammenschub. Unabhängig von der Richtung, aus welcher der Druck kommt, entsteht Faltung im Gebiet geringeren Gegendruckes.

Abb. 32.

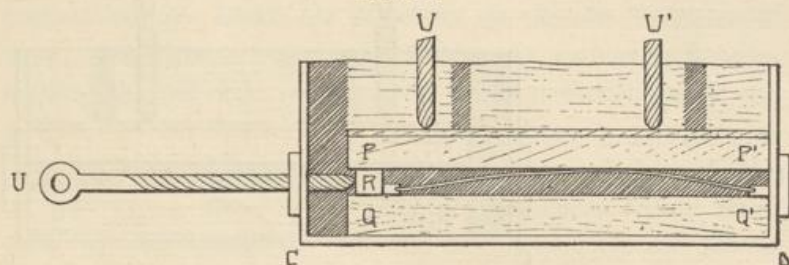


Abb. 33.

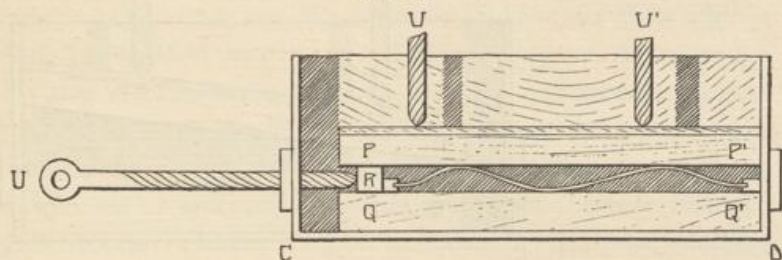
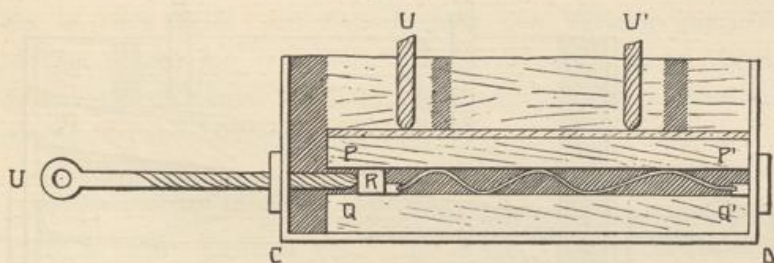


Abb. 34.



Versuchsreihe A.

Abb. 32 bis 34. Biegungen einer unter vertikalem und horizontalem Druck stehenden Schicht. Buchstaben wie bei Abb. 31. Nach *Daubrée*.

Abb. 32. Einfache Biegung bei verhältnismäßig schwachem Drucke.

Abb. 33. Biegung in drei Falten bei stärkerem Druck.

Abb. 34. Biegung in fünf Falten bei noch stärkerem Druck.

Abb. 35.

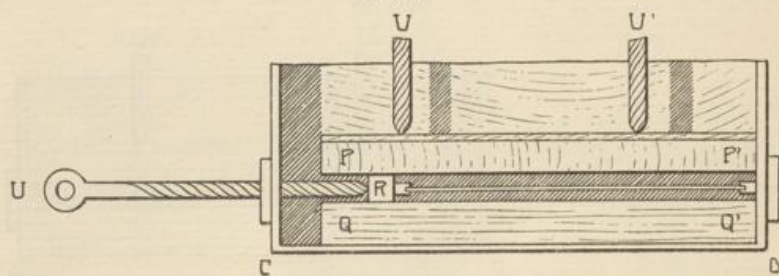


Abb. 36.

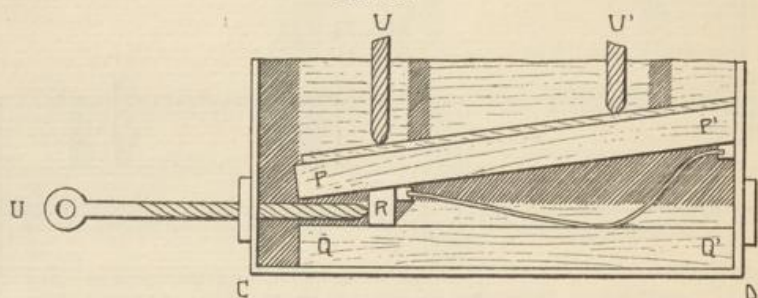
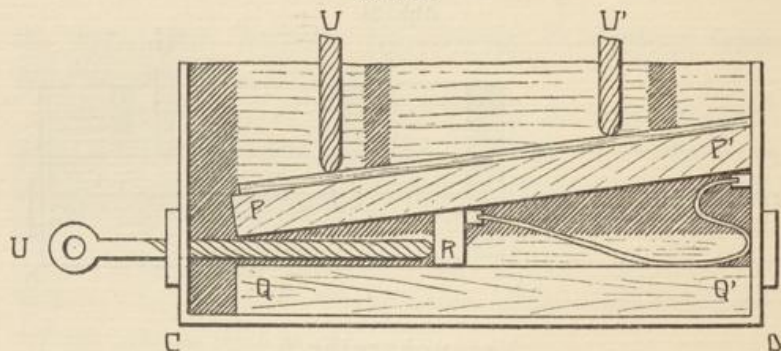


Abb. 37.



Versuchsreihe B.

Abb. 35 bis 37. Unsymmetrische Biegungen einer Schicht unter dem Einfluß ungleichmäßig verteilter vertikaler Druckkräfte. Beschreibung und Maßstab, wie bei Abb. 31. (Nach Daubrée).

Abb. 35. Schicht vor dem Beginn des Versuchs.

Abb. 36. Verstärkter horizontaler Druck und verminderter Vertikaldruck bei U'. Faltung bei U'.

Abb. 37. Noch mehr verstärkter Horizontaldruck. Vertikaldruck wie bei Abb. 36. Stärkere Faltung bei U'.

Versuchsreihe C. Abb. 38 bis 40 zeigt die Wirkung der Ungleichheit der Dicke der Schichten als Ursache für Faltenbildung. Die Faltung beginnt im Gebiet der geringsten Schichtmächtigkeit, und rückt bei stärkerem Zusammenschub gegen den dickern Teil der Schicht vor, wobei der Krümmungsradius der Einzelfalten am stärksten im Gebiet der geringsten Schichtdicke ist, und gegen die Seite größerer Schichtdicke kleiner wird; dabei ist gleichgültig, ob sich das schwache Ende der Schicht an der Druckseite, oder an der Widerstandsseite befindet. —

Versuchsreihe D. Abb. 41 und 42 zeigt Verhalten einer Schicht, bei welcher das Minimum der Dicke in der Mitte liegt. — Auch hier entsteht die Faltung im Gebiet geringsten Widerstandes.

Die von *Daubrée* in den obigen Abbildungen wiedergegebenen Faltungsversuche erläutern zwar einige grundlegende Erscheinungen, erlauben aber kaum den Vergleich mit natürlichen Verhältnissen. Das Verhalten einer frei im Raum gespannten Lamelle läßt sich nicht mit dem Verhalten kompakt über einander liegender Schichten in direkte Beziehung setzen. —

*Friedrich Pfaff*¹⁾ (1880)

hat in einer Reihe von Experimenten den Versuch gemacht, strittige Fragen aus dem Gebiete der Gebirgsbildung zu klären. Seine Untersuchungen über Plastizität harter Gesteine müssen als mißglückt betrachtet werden. —

Das Verhalten plastischer Massen bei seitlichem Druck, und die Fortpflanzung desselben in ihnen, untersuchte *Pfaff* in einem Kasten²⁾ von $\frac{1}{2}$ m Länge, $12\frac{1}{2}$ cm Breite und 15 cm Höhe, durch dessen kurze Seitenwände je zwei starke Schrauben durchgingen. Die vordere lange Seite war mittelst eines starken Glases geschlossen. Vor die Schrauben konnten im Inneren des Kastens genau eingepaßte Platten von verschiedener Höhe gestellt werden. In den Kasten wurden Lagen von

¹⁾ *Pfaff, Fr.*, Der Mechanismus der Gebirgsbildung. Heidelberg 1880.

²⁾ l. c. pg. 23. Abb. 8—10.

Abb. 38.

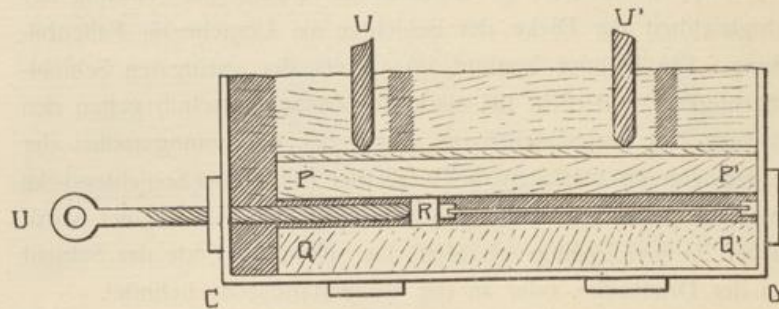


Abb. 39.

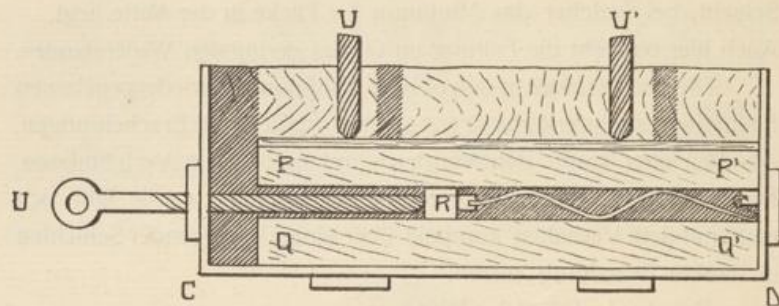
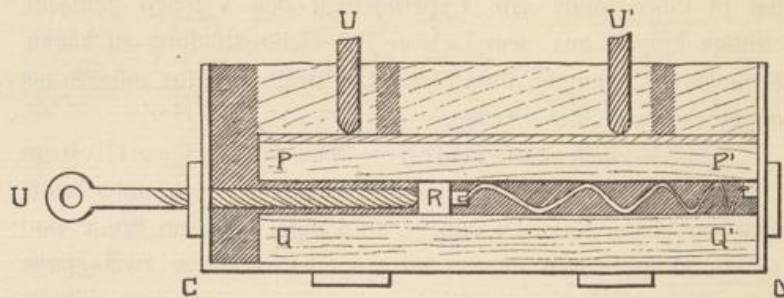


Abb. 40.



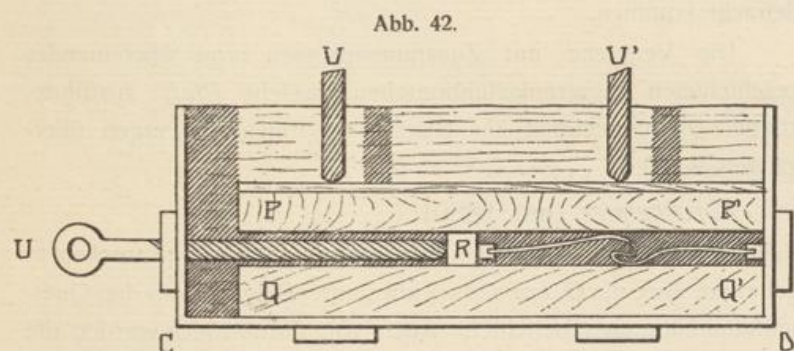
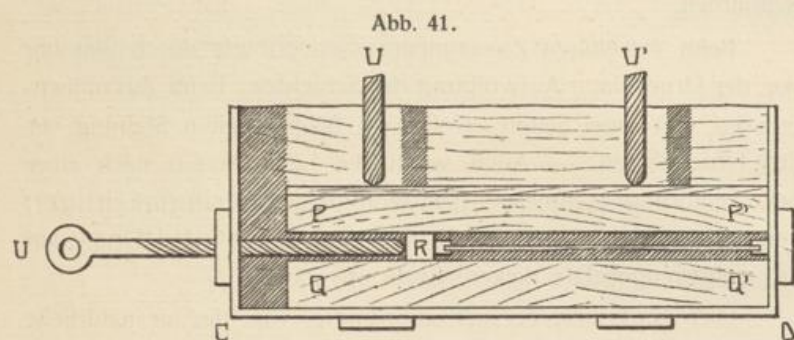
Versuchsreihe C.

Abb. 38 bis 40. Unsymmetrische Biegungen einer an Stärke nach der einen Seite abnehmenden Schicht, bei gleichbleibendem Vertikaldruck
Bezeichnung und Maßstab wie bei Abb. 31. (Nach *Daubrée*.)

Abb. 38. Schicht vor Beginn des Versuches.

Abb. 39. Zunahme des vertikalen Zusammenschubs: Entstehung von 3 Falten mit stärkster Faltung am schwächsten Ende.

Abb. 40. Noch mehr verstärkter Zusammenschub: Entstehung von 4 Falten, von denen die am schwächsten Ende am steilsten sind.



Versuchsreihe D.

Abb. 41 und 42. Ungleiche Biegungen einer in der Mitte schwächeren Schicht bei gleichbleibendem Vertikaldruck. Bezeichnung und Maßstab wie bei Abb. 31. (Nach *Daubrée*.)

Abb. 41. Schicht vor Beginn des Versuchs.

Abb. 42. Entstehung einer übergelegten Falte in der Gegend geringster Schichtdicke.

Lehm, wechselnd mit solchen von Papiermaché-Brei, eingebracht. Zusammendrücken der Massen erfolgte durch Anziehen der Schrauben.

Beim einseitigen Zusammenpressen erfolgte durch Stauung vor der Druckplatte Aufwölbung der Schichten. Beim Zusammenpressen von zwei Seiten erfolgte an beiden Seiten Stauung vor den Druckplatten. — Auch wenn die Lehmmassen nach einer Seite keilförmig »schmäler« (soll wohl heißen geringmächtiger) gemacht worden waren, blieb das dünnere Ende bei Druck auf das entgegengesetzte dickere Ende unverändert. —

Hier liegt eine Versuchsanordnung vor, die für natürliche Verhältnisse, wie sie bei den Teilen der Gebirge, deren Entstehung wir vor uns sehen und ergründen wollen, gar nicht in Betracht kommen.

Die Versuche mit Zusammenpressen von übereinander geschichteten Zigarrenkistenbrettchen, welche *Pfaff* ausführte, können als ungeeignet zur Klärung tektonischer Fragen übergangen werden. —

Forchheimer (um 1880)

stellte Versuche über die Deformation von nassem und trockenem Lehm an, über die *O. Lehmann*¹⁾ kurz unter Beigabe von drei Querschnittabbildungen berichtet. Auch von *Forchheimer* wurden die geschichteten Lehmmassen durch eine Druckplatte vorgeschoben. Es entstanden vor derselben Stauungen vor der Druckplatte (cf. *Pfaff*), »wobei die Deformation in stetigen Linien verläuft (wie bei homogenen Körpern), während sowohl bei nassem, wie bei trockenem Sand eigentümliche Knickungen und Unstetigkeiten auftreten.« — Im gleichen Werk wird auch über *Forchheimer's* Untersuchungen über Bewegung des Sandes beim Fließen berichtet (l. c. pg. 63. Fig. 49 und 50).

¹⁾ *O. Lehmann*, Molekularphysik, Bd. I. Leipzig 1888, S. 61/62, Fig. 46—48.

An dieser Stelle sollen die Mitteilungen *Forchheimers*¹⁾ über Gleitflächenbildung und Schichtenfaltung, in der sich u. a. Bemerkungen über das verschiedenartige Verhalten von Material verschiedener Cohäsion finden, erwähnt werden.

*Hans Schardt*²⁾ (1884)

ging auf dem Wege, den *Favre* beschritten hatte, einen Schritt weiter. Auch er wählte zur Erreichung des lateralen Schubes, bzw. der seitlichen Kompression, die Methode mit dem sich kontrahierenden Gummiband. (Länge 15 cm, dehnbar auf 23 cm, Breite 8 cm. Aus zwei Streifen von je 5 cm Dicke zusammengesetzt, evéntl. Hinzufügung eines dritten Streifens von gleicher Dicke.) Aber er nahm nicht nur weiche Massen, sondern härtere und weiche Schichten in Wechsellagerung. *Schardt* wählte folgende Anordnung des Materials:

1. Nur weiche Schichten allein.
2. Eine härtere Schicht zwischen zwei weiche Schichtkomplexe eingebettet.
3. Eine härtere Schicht über einem weichen Schichtkomplex.
4. Zwei härtere Schichten zwischen drei weichen Schichtkomplexen.

Schon die Anordnung zeigt, daß *Schardt* besonderen Wert darauf legte, die Wechselwirkung verschiedener Härten übereinander liegender Schichten zu studieren, wobei er auch Bilder erhielt, welche an Verhältnisse im Juragebirge erinnern. *Schardt* erhielt vor allem Falten, Faltenverwerfungen und Faltenüberschiebungen, beschreibt den Mechanismus der Vorgänge, zieht eine Reihe wertvoller Schlußfolgerungen aus den Experimenten, und stellt Vergleiche derselben mit Vorkommnissen in der Natur an.

¹⁾ *Ph. Forchheimer*, Neues Jahrb. f. Mineralogie 1893. I. Bd., pg. 137, Taf. VIII.

²⁾ *Hans Schardt*, Études géologiques sur le Pays-d'Enhaut Vaudois. troisième partie. A. Mécanisme des Dislocations. Chapitres XV—XVII. Planches VI—IX. Bulletin de la Soc. Vandoise des Sciences naturelles Vol. XX Nr. 90, 1884.

Schon *Schardt* weist auf den starken Einfluß weicher, plastischer Massen (Flysch), auf Gleitvorgänge, Überschiebungen hin. Besonders in den letzten Jahren haben nach ihm manche Geologen, wie ich selbst auch, unabhängig von neuem, die wichtige Rolle solcher stratigraphischen Schmiermittel betont. Durch die Versuche, und die an sie geknüpften Betrachtungen, kommt *Schardt* zu wertvollen Ergebnissen, welche vor allem zeigen, daß die Fragestellung für die Versuche aus reichen Beobachtungen natürlicher Verhältnisse in unseren Gebirgen erwachsen ist. Vor allem erkennt *Schardt* den Wert des geologischen Experimentes für die Klärung tektonischer Verhältnisse, und kommt zu dem Schlusse, daß sicherlich: »Avec des appareils plus perfectionés et de plus grands dimensions, les résultats seront beaucoup plus supérieurs« und fügt hinzu: »La Géologie expérimentale, dont on commence à peine à utiliser les résultats pratiques est loin d'avoir dit son dernier mot dans l'explication des phénomènes orographiques.

Mellard Reade (1886)

veröffentlichte ein größeres Werk¹⁾ über die Entstehung der Gebirge, in dem auch neben Zusammenstellungen von Beobachtungsmaterial aus der Natur, und theoretischen Erwägungen, experimentelle Untersuchungen Platz gefunden haben. — *Reade* studierte experimentell die Ausdehnungsfähigkeit der verschiedensten Materialien unter Einwirkung von Wärme (Metalle, Sandsteine, oolithische und andere Kalksteine, Marmore), und sieht in der Ausdehnungsfähigkeit erwärmter Massen das wichtigste Agens für gebirgsbildende Vorgänge.

Nach ihm soll durch den Druck starker Sedimentanhäufungen, lokal unter denselben, starke Temperaturerhöhung stattfinden; daraus resultiere von diesen Regionen aus allseitige

¹⁾ *Mellard Reade*, On the origin of mountain ranges considered experimentally, structurally, dynamically and its relation to their geological history. London 1886.

Expansion, die Anschwellen und Faltung der Sedimentmassen zur Folge haben soll. Tangential wirkenden Kontraktionsdruck in der äußeren Kruste als Folge der Kontraktion des schrumpfenden Erdkerns leugnet *Reade*.

Mellard Reade's primitive Experimente mit Papierstreifen und Tonschichten besitzen keine Überzeugungskraft, und sind nicht imstande, die Kontraktionshypothese zu widerlegen. Seine Neu belebung der Expansionstheorie *Huttons* vermochte sich nicht durchzusetzen.

*Henry M. Cadell*¹⁾ (1888)

wurde, wie seiner Zeit *J. Hall*, durch die tektonischen Erscheinungen Schottlands veranlaßt, auf experimentellem Weg die ihm entgegnetretenden Fragen zu klären. —

Cadell benutzte als tektonischen Apparat (Tafel II) einen kräftig gebauten, hölzernen Kasten, dessen eine Schmalseite durch eine Schraube vorwärts bewegt wird.

Die Versuchseinrichtung ist primitiver, als die der früheren Experimentatoren, ja der Apparat *Cadells* steht sogar weit unter demjenigen, den 1812 *James Hall* konstruierte. —

Als Material wählte *Cadell* Lagen feuchten, verschieden gefärbten Sandes, auf welchen er Gipspulver streute. Dieses Pulver nahm Feuchtigkeit aus dem Sande auf, und erhärtete zu dünnen spröden Lamellen, die meist bei der Zusammenpressung zerbrachen, bisweilen aber auch Faltenbildung zuließen. — Bei einigen Experimenten wurde schwarzer, plastischer, gut durchfeuchteter Lehm angewandt.

Nahezu sämtliche Experimente *Cadells* zeigen (wie bei *Pfaff*, *Forchheimer* u. a.) starke Stauungserscheinungen vor der Druckwand, die sich bei sprödem Material in Schuppungen, bei Wechsel

¹⁾ *Henry M. Cadell*, Experimental Researches in Mountain Building. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Vol. XXXV. pg. 337. read Febr. 1888.

von plastischem und sprödem Material teils in Schuppungen, teils in Faltenüberschiebungen und Faltungen äußerten.

Abb. 43.

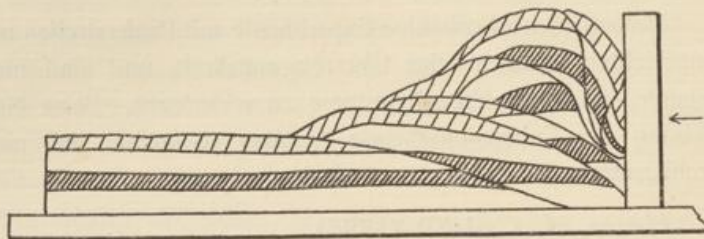


Abb. 43. Schuppen sekundärer Verbiegungen und Aufwölbungen, Einfallen der Überschiebungsfäche gegen die Druckplatte.

Neu bei *Cadell* ist die Anordnung der Schichten auf einer stark beweglichen Unterlage in Gestalt eines kräftigen, biegsamen Wachstumstreifens von drei Fuß Länge und sechs Zoll Breite, welcher mit den auflagernden Schichten im Faltungsapparat zusammengeschoben wurde. Bei der Betrachtung der auf diese Weise erzielten Faltungen etc., wurde ich stark an den Bau des Juragebirges erinnert. Es ergaben sich interessante Bilder, die denen aus den Darstellungen *Buxtorfs*¹⁾ vom Juragebirge als Abscherungsdecke etc. z. T. auffallend gleichen. Besonders schön entwickelten sich dabei Falten vom Koffer- bis Fächertypus, sowie Überschiebungen, die sich nicht weit nach innen fortsetzen; auch oberflächliche Abschiebungen fanden statt. Vergl. *Cadells* Profil 15—20a und diejenigen *Buxtorfs* in den angeführten¹⁾ Veröffentlichungen. Ich werde jedenfalls mit dieser Methode erweiterte Parallelversuche anstellen, welche die Prüfung

¹⁾ *A. Buxtorf*, Zur Tektonik des Kettenjura, Bericht über die XXX. Versammlung des Oberrhein. geol. Ver. zu Lindau. Karlsruhe 1907. Ferner: *A. Buxtorf*, Einige Bemerkungen über den Gebirgsbau des Nordschweizerischen Kettenjura etc. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., Bd. 63. 1911 und derselbe: Über den Gebirgsbau des Clos du Doubs etc. Ber. Oberrhein. geol. Ver., Karlsruhe 1909.

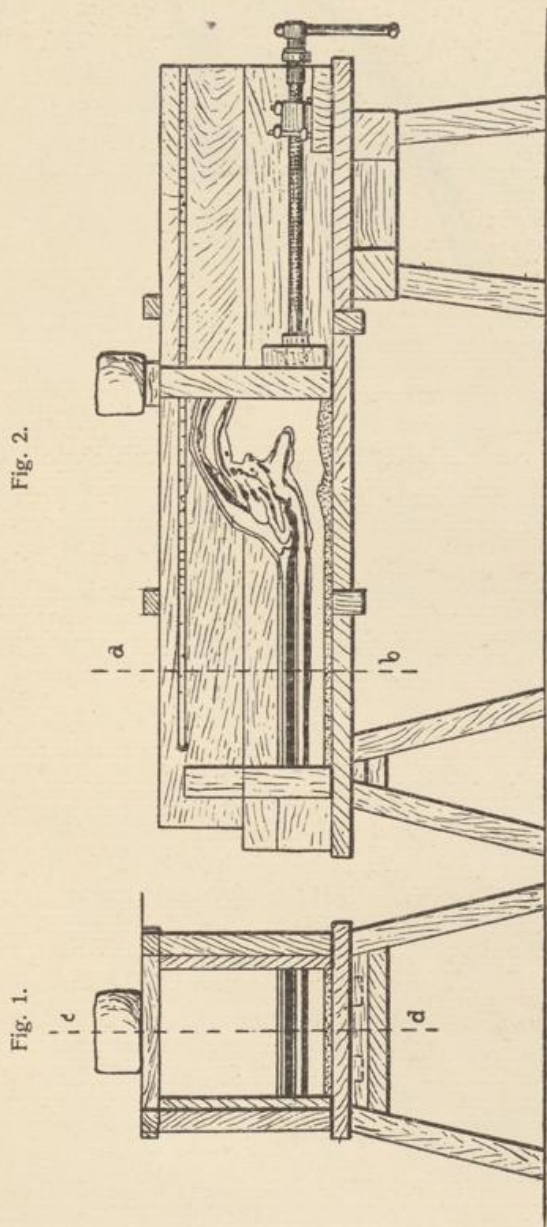


Fig. 1.

Fig. 2.

H. M. Cadell's Faltungsapparat.

Fig. 1 Querschnitt durch a, b von Fig. 2.

Fig. 2 Längsschnitt durch c, d von Fig. 1.

Abb. 44.



Abb. 44. Faltung mit beweglicher Unterlage. Nach *Cadell* Fig. 18.

der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Entstehung des Kofferfaltentypus und Abschiebung von der Unterlage, sowie sonstige Nachahmung jurassischer Tektonik zur Aufgabe haben.

Von den Schlußfolgerungen, welche *Cadell*¹⁾ zieht, scheinen mir nicht alle zutreffend. Bemerkenswert erscheinen mir folgende Punkte aus seiner Summary of Results:

4. Überschiebungen und überkippte Falten sind nicht notwendigerweise die Folge von zersprungenen Überfaltungen, sondern sind oft von vornherein durch den Horizontalschub entstanden.
5. Eine tiefliegende Überschiebung kann oben in eine Antiklinale übergehen, und braucht nicht die Oberfläche zu erreichen.
6. Eine größere Überschiebung an der Oberfläche kann — und voraussichtlich ist das immer so²⁾ — aus einer in der Tiefe noch erhaltenen Falte entstehen. —
8. Der Stirnteil einer Gesteinsmasse, welche über eine Überschiebungsfläche hingeschoben wird, hat die Tendenz sich vorwärts zu wölben, und sich unter die rückwärtigen Massen zu wälzen. —
10. Je starrer das Gestein, desto besser ist das Überschiebungsphänomen ausgebildet.
11. An den Flanken von Fächerfalten besteht starke Tendenz zu Überschiebungen. —

¹⁾ *Cadell* l. c. Seite 356.

²⁾ Diese Verallgemeinerung stimmt nicht. W. P.

*Ed. Reyer*¹⁾²⁾ (1892—94)

hat eine große Anzahl von Experimenten ausgeführt, welche in Beziehung zu den meisten dynamisch-geologischen Erscheinungen stehen. —

In Heft 4 seiner »Experimente« finden sich die Angaben über Material und Anordnung für verschiedene Arten von Versuchen. Die Apparate und Methoden, deren sich *Reyer* bediente, sind meist sehr einfach; darin liegen große Vorteile, wie rasche Herstellbarkeit und Billigkeit, sowie die Möglichkeit, mit geringen Mitteln nach seinen Angaben Demonstrationsversuche für Studierende auszuführen. Es ruht aber auch in den *Reyer'schen* Methoden der große Nachteil (auf den schon bei Erwähnung der vulkanologischen Experimente hingewiesen wurde), daß sie sich in ihrer ganzen Veranlagung sehr oft stark von den in der Natur wirksamen Bedingungen entfernen, sodaß zwar gewisse Ähnlichkeiten der äußeren Erscheinung entstehen, die aber in der Natur vielfach auf ganz andere Weise entstanden sein können oder müssen. —

Reyer schildert Versuche über Entstehung von Flexuren, Rupturen, Erdbeben und Seebeben etc.

Bei Versuchen über Strömung von Schlammassen lassen sich leicht Ergebnisse erhalten, welche natürlichen Verhältnissen entsprechen.

Faltungerscheinungen erzeugt er durch Fließbewegungen (!) von breiartigen Massen, die in einem beweglichen, rinnenförmigen Trog aus Blech eingebracht werden. Die breiflüssigen, oder pulverigen Massen werden übereinander mit Trichter, Löffel und

¹⁾ *Ed. Reyer*, Ursachen der Deformationen und der Gebirgsbildung, Leipzig 1892.

²⁾ *Ed. Reyer*, Geologische und geographische Experimente, Leipzig 1892—94, I. Heft Deformation und Gebirgsbildung 1891. II. Heft Vulkanische und Masseneruptionen 1892. III. Heft Rupturen 1894. IV. Heft Methoden und Apparate 1894.

Sieb auf den horizontalliegenden Trog aufgebracht. »Nachdem das ganze System aufgebaut ist, hebt man die Gleitrinne auf einer oder beiden Seiten, worauf die gleitende Bewegung beginnt etc.« — Für »große Faltenexperimente« empfiehlt *Reyer* ein Gestell zu konstruieren, in welchem die Gleitrinne fest ruht (folgt Beschreibung l. c., pg. 23). Durch Kippen in verschiedener Richtung wird die Fließrichtung modifiziert. —

Die nachträglich erhärteten Modelle präparierte *Reyer* zum Teil später mit Hilfe feiner Wasserstrahlen. — Die ganze Versuchsanordnung zeigt, daß wir zur Klärung des Problems der Gebirgsbildung mit den *Reyer'schen* Methoden nicht viel anfangen können. Die gefalteten, gestauchten, überschobenen Schichtkomplexe unserer Gebirge sind nicht durch Fließbewegungen in breiigem Aggregatzustand disloziert worden, und deshalb können Versuche mit fließenden Breimassen auch nicht zur Erklärung der Entstehung geotektonischer Verhältnisse herangezogen werden. — Wenn wir auch nie imstande sein werden, die natürlichen Verhältnisse vollkommen exakt nachzuahmen, müssen wir doch versuchen, uns denselben bei Experimenten, welche Klarheit über ihre Genese schaffen sollen, nach Möglichkeit zu nähern.

Reyers Versuche sind nur durch seine Hypothese der Gleitfaltung, welche er 1907¹⁾ eingehender behandelt, verständlich. Er führt tatsächlich die Faltungen und Überschiebungen auf Gleitbewegungen, Abrutschen der Schichtkomplexe etc. zurück, doch bin ich — trotz Anerkennung vieler wertvoller Beobachtungen und Betrachtungen, die sich bei ihnen finden —, außer Stande seiner Argumentation folgen, und die meisten seiner Versuchsmethoden als brauchbar annehmen zu können. —

Bailey Willis (1893)

fügt in seiner Arbeit über den Bau des Appalachians ein größeres Kapitel über experimentelle Untersuchungen ein. *Willis* ist von

¹⁾ *E. Reyer*, Geologische Prinzipienfragen. Leipzig 1907.

allen denen, die sich mit tektonischen Experimenten beschäftigten, derjenige, welcher mit der klarsten Fragestellung an seine Versuche heranging. —

Bevor und während ich meine eigenen Versuche unternahm, kannte ich seine Arbeit noch nicht, und ich freute mich beim Durchlesen derselben feststellen zu können, daß wir in völliger Unabhängigkeit von einander in gleicher Weise zu einigen der wichtigsten Grundlagen für die Ausführung tektonischer Versuche kamen.

B. Willis geht davon aus, daß Biegen, Brechen, Scheren rein mechanische Vorgänge sind. Das Material, welches Biegungen, Zerbrechungen, Scherungen erlitten hat, wurde von einer äußeren Kraft betroffen, welche die ihm innewohnenden Widerstände überwandt. Die Faltungen und Überschiebungen auf der Erde weisen die Wirkung dieser drei genannten Vorgänge auf, und gehorchen dabei mechanischen Gesetzen. Wir müssen also imstande sein, experimentell diese Strukturen nachzuahmen, sofern wir imstande sind, einigermaßen analoge Verhältnisse im Kleinen herzustellen.¹⁾ —

Dabei fragt es sich:

1. Wie waren ursprünglich Charakter und Anordnung der gefalteten und überschobenen Schichten, und welches waren dementsprechend die in ihnen liegenden Widerstände.
2. Unter was für Bedingungen standen die von außen einwirkenden Kräfte, und wie wurden sie übertragen.
3. Welches ist der wahrscheinliche Ursprung für die Kräfte, welche qualitativ und quantitativ ausreichten, die beobachteten Ergebnisse hervorzubringen. —

Der Autor kommt dann zu dem Ergebnis, daß man im Verhältnis zu den zur Verfügung stehenden Kräften relativ weiche

¹⁾ *B. Willis*, The Mechanics of the Appalachian Structure. U. S. Geological Survey. Thirteenth Annual Report, Washington 1893. S. 210—283. Plates XLVI—XCVI.

Massen, wie Wachs nehmen müsse, welches er, um widerstandsfähigere Lagen zu erhalten, mit Stuckmaterial härtete, und zur Herstellung weicherer Massen mit Terpentin mischte. —

Eine weitere prinzipiell wichtige Überlegung ist folgende: Die Biegsamkeit einer Masse (Schicht) ist eine Funktion ihrer Tiefenlage in der Erdkruste, bzw. der auf ihr ruhenden Last. Nun sind Schichtenlagen nie homogen, sie variieren an Festigkeit je nach ihrem petrographischen Charakter (Sandsteine, Kalksteine, Tone). An der Erdoberfläche sind sie alle mehr oder weniger brüchig, in der Tiefe zeigen sie sämtlich größere Plastizität; doch sind stets, *ceteris paribus*, Unterschiede in dieser Hinsicht in benachbarten Lagen vorhanden. —

Als Bedingungen, welche die Deformation der Schichten beherrschen, erwähnt *B. Willis* folgende:

1. Die Unterlage der oberflächlichen Krustenteile ist latent plastisch.
2. Wenn massive und geschichtete Gesteine gleichen Druck erleiden, so erleiden die letztern die stärkere Deformation.
3. Biegsamkeit und Brüchigkeit von Schichten stehen in umgekehrtem Verhältnis zu der Dicke und Starrheit der Schicht; sie sind, je nach der darüber liegenden Last, für ein und dieselbe Schicht verschieden. —
4. Die Art der Übertragung eines Schubes, die zur Deformation führt, ist eine Funktion der Festigkeit jeder Schicht und der auf ihr ruhenden Belastung.

Als Vorbedingung für erfolgreiche Experimente ist daher zu fordern, daß:

1. Die Schichten im Verhältnis zu ihrer Ausdehnung so dünn sind, daß ihre Festigkeit (Starrheit) nicht ausreicht, in horizontaler Lage ihre eigene Last selbst zu tragen. —
2. Eine plastische Unterlage für diese Schichten.

3. Das Material muß, analog dem in der Natur, mit weitem Spielraum, stark vom starren zum plastischen variiert werden können. —

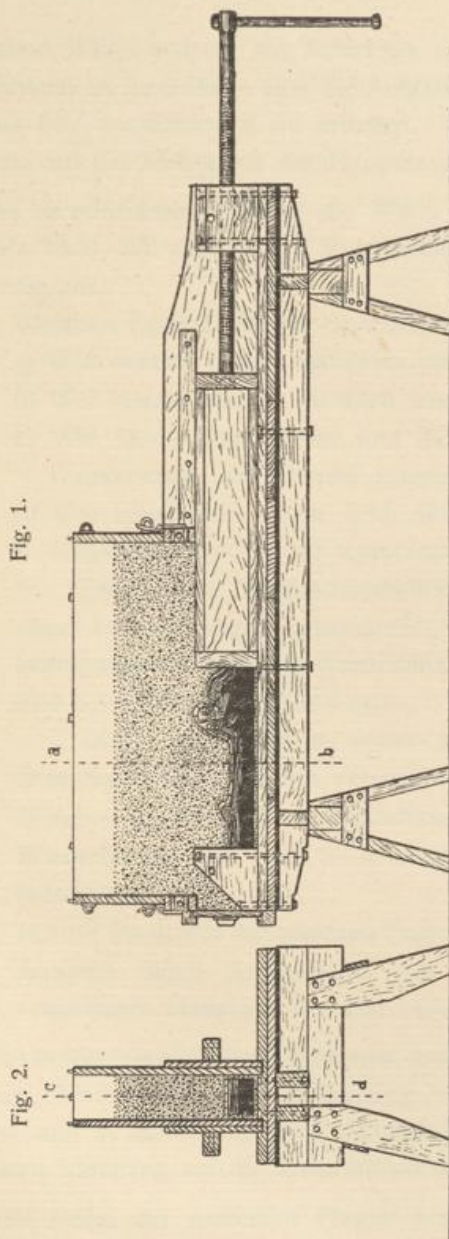
Da die Plastizität der Gesteine das Ergebnis des Belastungsdruckes ist, müssen wir entsprechende Bedingungen während des Versuchs einführen, doch darf natürlich der Belastungsdruck den Faltungsdruck nicht aufheben. —

Auch bei meinen Experimenten führte ich, unabhängig von *Willis*, starken Belastungsdruck von oben ein. *Willis* verwendete Schrotmassen, welche er über die zu faltenden Schichten anordnete, ich hatte ursprünglich die gleiche Idee, löste aber dann dieses Problem jedoch auf andere Weise, und erhielt damit die Möglichkeit, den Belastungsdruck lokal zu modifizieren, was meiner Ansicht nach von großer Wichtigkeit für tektonische Vorgänge ist.

Die Maximalbelastung der ganzen Versuchsfläche betrug bei *Willis* 1000 pounds, d. h. 5 pounds pro Quadrat Zoll.

Der Versuchsapparat ist auf Tafel III abgebildet; er besteht aus einem kräftigen Kasten aus Eichenholz, in dem ein Stempel angebracht ist, der durch eine Schraube vorgetrieben werden kann. — Der Druckraum ist 3 Fuß $3\frac{3}{8}$ inches (= 1 Meter) lang, und 6 inches breit. Die Seitenwände lassen sich entfernen, sind aber während des Versuches fest miteinander durch Bolzen verbunden. Der Block, der die Schraube führt, wie der, gegen welchen die Masse gepreßt wird, ist mit der basalen, mittelst Bänder versteiften Platte, durch Bolzen fest verbunden, und, da die Bolzen, welche die Seitenwände fixieren, gleichfalls in diese zwei Blöcke eingelassen sind, ist der Abstand zwischen ihnen beiden gut fixiert. Der Stempel besteht aus einem festen Kasten aus Eichenholz, und die Schraube ist so daran befestigt, daß sowohl Vor-drücken, als Zurückziehen desselben möglich ist.

Die Höhe dieses Preßkastens beträgt nur einen Fuß, doch kann nach Einbringung der Schichten durch einen enganschließenden Rahmen der Schrotbehälter erhöht werden.



Faltungsapparat von *Bailey Willis*

aus U. S. Geol. Survey 13th annual Rep. Pl. LXVI.

Fig. 1. Längsschnitt durch Linie c, d von Fig. 2. Fig. 2 = Querschnitt durch Linie a, b von Fig. 1.

Schon *Willis* ordnete die Schichten nach bestimmten Gesichtspunkten an, und stellte sich die Aufgabe, ein gewolltes tektonisches Bild experimentell zu erhalten. Das Ergebnis sollte die Probe auf die Richtigkeit der Hypothese sein.

Die verschiedenen Fragen, die *Willis* durch die während der Jahre 1888—93 angestellten Experimente zu lösen suchte, waren folgende:

1. Welchen Einfluß übt die Stratigraphie aus?
 - a) Wie werden dünne Schichten allein gefaltet?
 - b) Wie werden dicke Schichten allein gefaltet?
 - c) Wie falten sich dünne und dicke, in verschiedener Kombination übereinander gelagerte Schichten?
 - d) Wie falten sich dünne und dicke Schichten in verschiedener horizontaler Kombination?

Damit eine Vergleichsmöglichkeit der Ergebnisse dieser 4 Anordnungen vorhanden ist, müssen die Versuchsbedingungen Druck und Konsistenz der Schichten für je eine Serie von a—d gleich sein.

Diese Überlegungen waren größtenteils auch die Grundlagen für *Schardt's* Versuche.

2. Welchen Einfluß hat die Belastung? — Antwort durch Wiederholung der Serie a—c unter verschieden starker Belastung.
3. Hat die Plastizität den gleichen Einfluß, wie die Belastung? Antwort durch Anwendung von Schichten aus verschiedenem Material unter konstanter Last.

Zusammenfassend: Bei gegebenen drei Variablen: Schichtungsart, Konsistenz und Belastung werden zwei konstant gehalten, und es ist festzustellen, welchen Einfluß die Variation der dritten Variablen auf die Deformation ausübt.

Eine Reihe der gestellten Fragen konnte *Willis* mit den Experimenten beantworten, doch kann hier auf die Einzelergebnisse

nicht eingegangen werden. Auf 21 Tafeln sind dieselben wiedergegeben. Bei diesen zahlreichen Versuchsergebnissen fällt die starke Monotonie der Profilbilder auf, die sich besonders darin äußert, daß fast stets in der Region vor dem Druckkasten starke Stauungen auftreten, die wegen der Art der Versuchsanordnung z. T. Formen (Taf. LXXXIV—LXXXV) annehmen, wie sie mir aus der Natur in großen Verhältnissen nicht bekannt sind.

Sehr schön tritt die in einer ganzen Reihe von Versuchen nachgewiesene Abhängigkeit der Faltenentstehung von der primären Neigung der Schichten zutage, vgl. Tafel IV, Fig. a' b' (cop. nach Pl. LXXIX), Tafel V, Fig. a—c (cop. nach Pl. LXXVII), Abb. a—d. Bei dem auf Tafel VI abgebildeten Versuch (cop. nach Plate LXXXVIII), sollte der Druck des Kastens auf die weiche Unterlage ausgeschaltet, und damit die Stauung vor dem Druckkasten vermieden werden. Auch hier ergab sich Faltenbildung im Gebiete der primären Schichtneigung; vor der primären Antiklinale folgte die Bildung einer zweiten, die schließlich das dominierende Element wurde, Pl. LXXXVIII f. g. — Die Profilbilder z. B. von Tafel XCI bis Tafel XCV u. a. zeigen, daß es *Willis* nicht gelungen ist, Profile zu erzielen, welche die Abhängigkeit der Tektonik von der Stratigraphie gut darlegen, überall sehen wir hier die Faltenauslösung nicht durch stratigraphische Differenzen in der Horizontalen bedingt, sondern es erfolgt nur Stauung vor dem Druckkasten. —

Sehr schön tritt bei diesen Experimenten im Stauungsgebiet die Tektonik im kleinen zutage, welche durch die verschiedenartige Anordnung der Schichten in der Vertikalen bedingt ist. Vergl. besonders Plate XC bis XCVIII.

Die Versuche von *Bailey Willis* bedeuten jedenfalls in vieler Hinsicht einen großen Schritt vorwärts auf dem Wege experimenteller, tektonischer Untersuchungen, und das Studium von Einzelheiten der von ihm erhaltenen Profile ist eine lohnende Aufgabe. —

Tafel IV.

Nach *Bailey Willis* Plate LXXIX. Modell C, Fig. a' und b'.
Illustrationen 0,223 der Originalgröße.

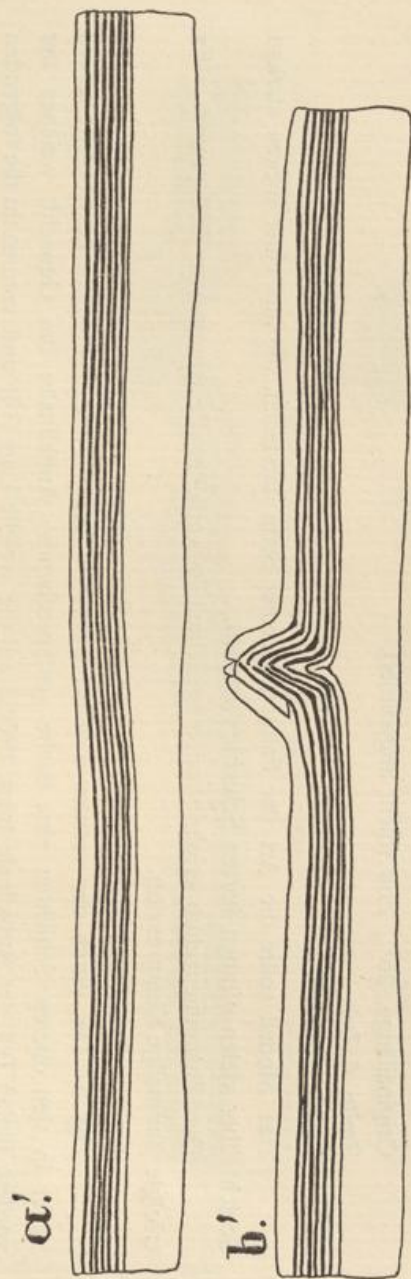
Modellbeschreibung:

Originallänge, $39\frac{3}{8}$ Zoll = 1 Meter. Fig. a'.
Breite, 5 Zoll.
Dicke, $3\frac{1}{8}$ Zoll.

Fig. a'. An der Basis weiche Massen, oben harte Lagen. Zuerst wurde die Basisoberfläche so geformt, wie sie auf Fig. a' erscheint, dann wurden die in sich parallelen harten Lagen aufgebracht, und zwei Stunden lang mit 1,100 pounds belastet, sodaß sich die primäre Neigung der Schichten bildete. Die Linie der primären Neigung lag bei 18 Zoll, d. h. weit vor dem Schubkasten, von dem die Bewegung ausgeht.

Fig. b'. Auf einmaligen Zusammenschub, unter Belastung von 1,100 pounds, entstand im Gebiet der primären Neigung eine scharfe Falte.

Tafel IV.



Faltungsversuch von *Bailey Willis*.

Tafel V.

Nach *Bailey Willis* Plate LXXVII. Fig. a. b. c.
Illustrationen $\frac{1}{3}$ der Originalgröße.

Modellbeschreibung:

Originallänge, $26\frac{1}{2}$ Zoll (nicht abgebildet).

Breite, 6 Zoll.

Dicke, $2\frac{7}{8}$ Zoll.

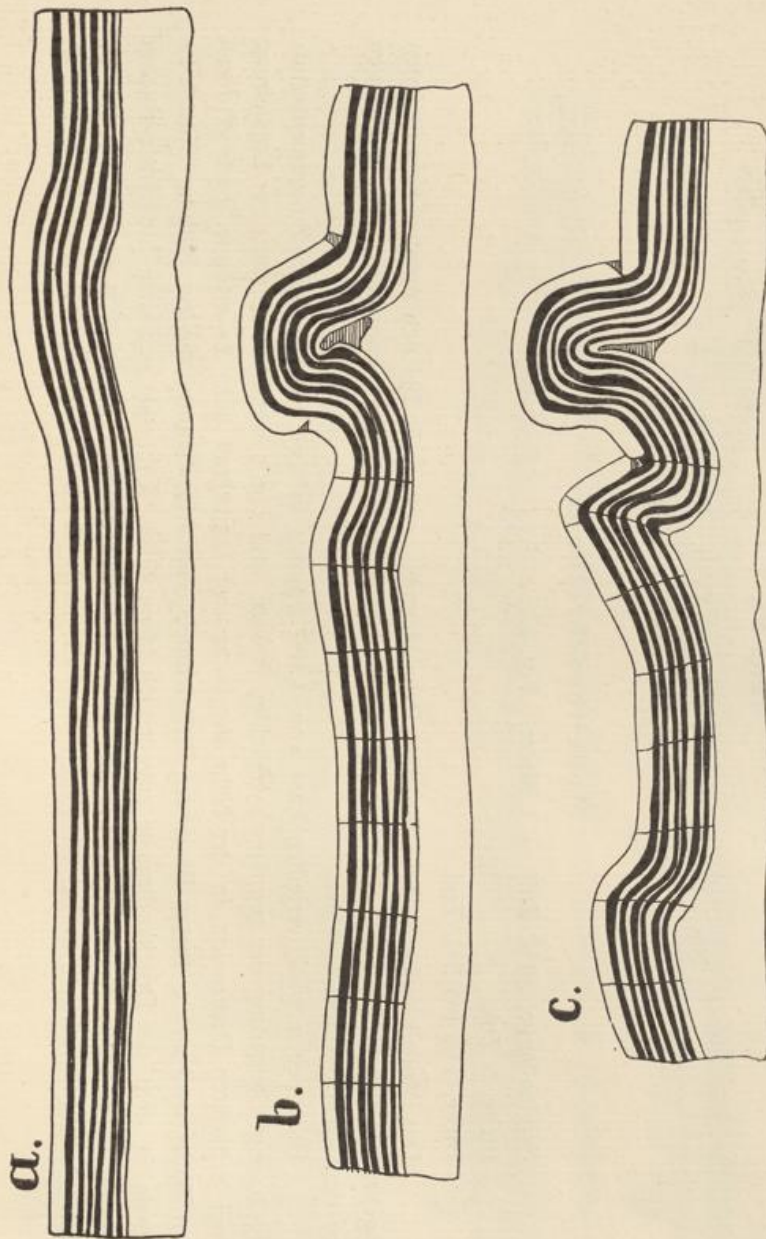
Das Modell sollte die Art der Faltung in einer Serie darstellen, die aus einer dicken starken Schicht über vielen dünnen harten Schichten besteht.

Der Zusammenschub erfolgte unter gleichmäßig verteilter Belastung von 500 pounds. Es erfolgte fünfmalige Kompression.

Fig. a. Antiklinale Stauung der unteren weichen Masse.

Fig. b. Der durch den rechten Teil der primären Aufwölbung nach oben übertragene Druck bildet in den oberen Schichten eine flache »entsprechende« Antiklinale; das Gewicht, welches der vordere (linke) Teil der Antiklinale trägt, drückt auf die weiche Lage (14) und verursacht die folgenden Neigungen und den Beginn der folgenden Antiklinale. Eine solche Biegung der Schichten stellt sich bei den Widerstandsstellen ein.

Fig. c. Weitere Ausbildung von Antiklinale 1 und 2 an der Stelle des Widerstandes, Beginn einer Stauung in den weichen Schichten, und Bildung einer entsprechenden Antiklinale.



Paulcke, Das Experiment in der Geologie.

Faltungsversuch von Bailey Willis.

Tafel VI.

Nach *Bailey Willis* Plate LXXXVIII. Fig. a, b, c, d.
Illustrationen 0,22 der Originalgröße.

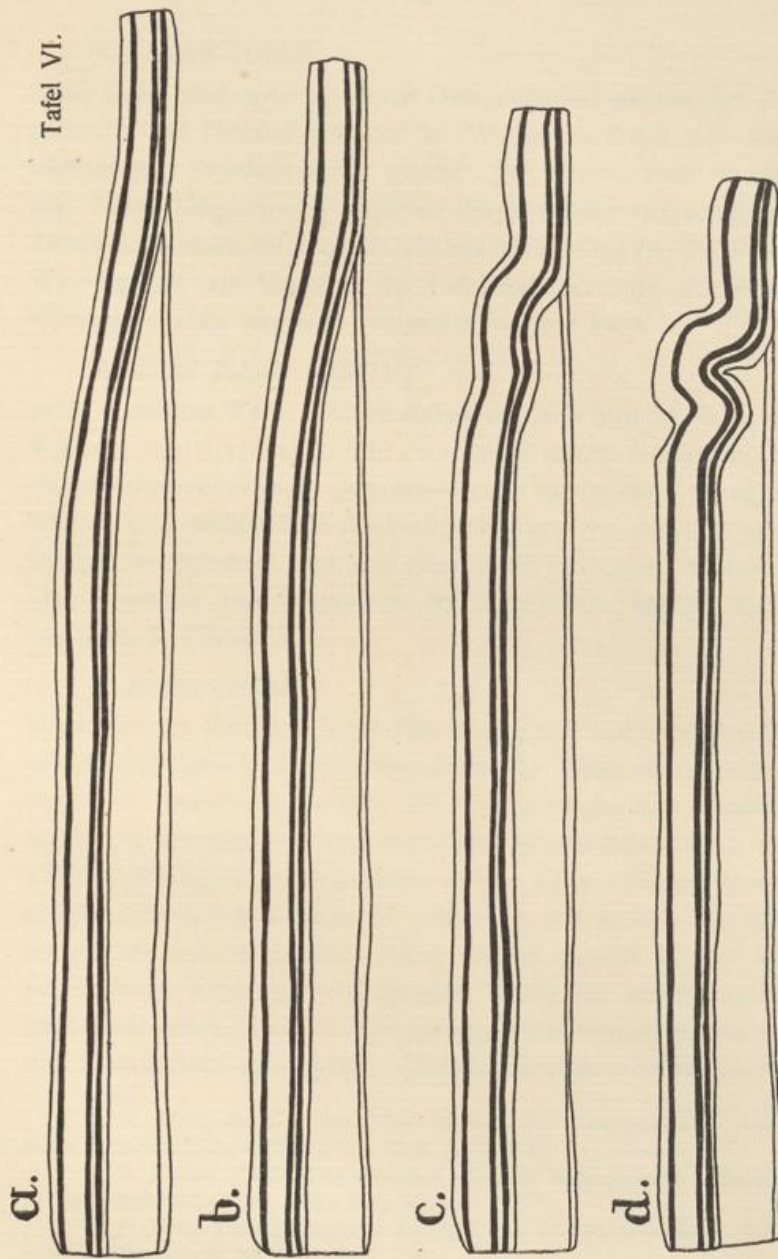
Modellbeschreibung:

Originallänge, $39\frac{3}{8}$ Zoll = 1 Meter. Fig. a.
Breite, 5 Zoll.

Dicke, $1\frac{3}{4}$ bis $3\frac{1}{2}$ Zoll.

Das Modell sollte den Einfluß des Druckstempels gegen die bei den meisten Experimenten angebrachte weiche Basis der Schichten vermeiden, da bei dieser Art der Anordnung stets Stauungen vor dem Druckstempel eintraten.

Unter einer gleichverteilten Last von 1,100 pounds erfolgte sechsmaliger Zusammenschub. Fig. b zeigt Steigerung der primären synklinalen Anlage, und Fig. c weist die Tendenz zur Entstehung einer schärferen Depression in der Nähe der wirkenden Druckkraft auf. Es erfolgte, bedingt durch den Widerstand an der festen Basis des Preßstempels, eine Aufwölbung, die zur Bildung einer Antiklinale in dem der Druckkraftquelle zugeneigten Hang führt. Die erste gebildete Antiklinale erzeugt eine ihr vorgelagerte zweite, welche (was hier nicht wiedergegeben wurde) sich zum dominierenden Faltelement entwickelt, wobei Überlegen der Falte nach rückwärts gegen die Druckquelle erfolgt.



Faltungsversuch von Bailey Willis.

G. Linck (1902)

führte einen billigen Apparat¹⁾ zur Demonstration tektonischer Experimente im Hörsaal ein, der im Prinzip durchaus den alten tektonischen Druckapparaten gleicht. Die Seitenwände wurden von dicken Glasscheiben gebildet, durch welche der mittelst Zusammenpressen von bunten Gelatineschichten mit verschiedenem Wassergehalt (zur Variation der Plastizität) erzeugte tektonische Vorgang in statu nascendi beobachtet werden kann. —

Mellard Reade (1903)²⁾

sucht in seinem Werk: *The evolution of Earth Structure* u. a. die Wirkung multilateraler, oder, wie er es nennt, zirkumferentialer Kompression als gebirgsbildendes Agens zur Geltung zu bringen, und veröffentlicht diesbezügliche Versuche, welche fraglos von großem Interesse sind, und einen weiteren Ausbau verdienen; über Apparatur und Ergebnisse der Experimente handelt *Reade* vor allem in Kapitel XV.

J. Blaas (1910)

beschreibt ein Verfahren³⁾ zur Herstellung von Gipsmodellen für den geologischen Unterricht, besonders zur Übung des Verständnisses für tektonische Formen. Die Art der Herstellung bezweckt nicht, zur Klärung von hypothetischen Fragen beizutragen, das Endziel ist lediglich das tektonische Modell. Gips wird verschieden gefärbt und durch Zusätze so präpariert, daß er sich wie Teig zu Platten auswalzen läßt. Diese Platten werden in der verschiedensten Weise nach Mächtigkeit, Stärke etc. variiert, eventl. mit auskeilenden Schichten, Einlagerungen von Intrusivmassen etc. und übereinander geschichtet. Das Ganze wird in verschiedener

¹⁾ *G. Linck*, Apparat zur Demonstration der Gebirgsbildung, *Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geologie etc.* 1902, pg. 362 ff.

²⁾ *T. Mellard Reade*, *The evolution of Earth Structure with a Theorie of Geomorphic Changes.* New-York 1903.

³⁾ *J. Blaas*, Über geologische Studien- und Unterrichtsmodelle. *Geologische Rundschau*, Bd. I, S. 49 ff.

Weise durch Druck oder Zug deformiert; hierauf läßt man erhärten, und präpariert mit Bildhauerwerkzeugen im Groben und in Einzelheiten ein der erzeugten tektonischen und stratigraphischen Grundlage entsprechendes Relief ein. Schließlich zersägt man das Ganze in geeigneter Weise, sodaß Oberflächenansicht und Profil dem Studium zugänglich sind. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß derartige Reliefs und ihre Herstellung von größtem didaktischen Nutzen sind, und zwar nicht nur für Studierende, sondern auch für lehrende Geologen.

Eigene Versuche.

a. Allgemeines.

Seit mehr als zehn Jahren, als die Debatte über alpine Tektonik, Überschiebungs- und Deckenbau die Gemüter besonders stark zu erregen begann, faßte ich, veranlaßt und bestärkt durch die Beobachtungen bei der Arbeit im Felde, den Plan für diese Fragen auch auf experimentellem Wege Lösung zu suchen. —

Da mir anfangs die zur Verwirklichung meiner Absicht nötigen Mittel fehlten, mußte ich mich darauf beschränken, in Gedanken und auf dem Papier tektonische Apparate zu konstruieren, die möglichst vielseitigen Anforderungen gerecht werden sollten, und Versuchsanordnungen zu ersinnen, die geeignet schienen, Licht in die Genese komplizierter Lagerungsverhältnisse zu bringen. —

Die wenigen mir damals bekannten bisher zu ähnlichen Zwecken konstruierten Apparate waren für die Beantwortung der Fragestellungen, welche sich mir besonders bei der Arbeit in Jura und Alpen aufdrängten, durchaus ungeeignet. Auch nachdem ich jetzt die Literatur über tektonische Versuche durchgearbeitet habe, zeigte es sich, daß selbst mit den bisher besten Versuchsanordnungen, z. B. denen von *Bailey Willis*, nur eine beschränkte Anzahl von tektonischen Problemen auf experimentellem Wege in Angriff genommen werden konnte. Mit diesen Versuchen wurde