

Ueber Gebirgsbildung.

Vortrag, gehalten am 24. Jänner 1880

von Prof. Dr. R. Hoernes.

(Hierzu Tafel 1.)

Hochverehrte Anwesende!

Ehe ich die Besprechung des Gegenstandes beginne, ist es meine Pflicht, ihre Entschuldigung dafür nachzusuchen, dass ich ein von der Geologie noch keineswegs endgiltig gelöstes Problem hier zu erörtern unternehme. Es kann weder meine Absicht sein, auf ältere Ansichten über Gebirgsbildung zurückzugehen und eine Kritik derselben zu versuchen, noch eine gerundete Theorie derselben zu entwickeln, zumal ich mir nicht erlauben kann, die complicirten Erscheinungen, welche die Structur der Kettengebirge darbietet, eingehend zu erörtern. Es soll nur meine Aufgabe sein, die neuesten Ansichten, welche, sei es auf dem Wege der Betrachtung eines Abschnittes im Kettengebirge, sei es auf dem Wege des Experiments im Laboratorium, sei es rein theoretisch gewonnen, in letzter Zeit veröffentlicht worden sind, anzuführen, den Widerstreit der Meinungen namhafter Forscher vor Ihnen zu enthüllen, und an einem Beispiele zu zeigen, wie grosse und schwierige Probleme die junge Wissenschaft der Geologie noch zu lösen hat und wie viele Erfahrungen gesammelt werden müssen, um zu sicheren Resultaten und richtigen Theorien zu gelangen.

Ich befinde mich in der angenehmen Lage, hinsichtlich der Kritik älterer Ansichten und des Inhaltes des S u e s s'schen Buches über die Entstehung der Alpen auf einen Vortrag hinweisen zu können, welchen Herr Prof. Dr. S t a n d f e s t am 28. October 1876 in unserem Vereine gehalten hat. Da ich voraussetzen darf, dass ein grosser Theil der Anwesenden bei diesem Vortrage zugegen

war und sich an dessen Inhalt, der leider in den Mittheilungen des naturwissenschaftlichen Vereines nur sehr kurz wiedergegeben erscheint, zu erinnern vermag, so darf ich wohl unmittelbar an denselben anknüpfen. Als Hauptresultate der Suess'schen Erörterung der Entstehung der Gebirge dürfen wir wohl die folgenden Sätze betrachten:

Es ist unmöglich, eine dem Vulcanismus verwandte Kraft des Erdinneren, welche eine Reaction auf die Erdoberfläche ausgeübt hätte, als Entstehungsursache der Kettengebirge zu betrachten. Alle Kettengebirge besitzen einseitigen Bau und sind Resultat eines Horizontalschubes. Diese horizontal wirkende Kraft kann nur durch ungleiche Contraction des Erdinneren vermöge einer Abkühlung erklärt werden.

Die Einwirkung des Suess'schen Buches „Die Entstehung der Alpen“ ist es wohl, die eine ganze Reihe grösserer und kleinerer Veröffentlichungen verursachte, welche sich mit der Erklärung der Gebirgsbildung beschäftigen. Es ist die Frage nach der Entstehung der Gebirge auch seither von allen jenen, welche die Geologie eines Kettengebirges oder eines Theiles eines solchen näher untersuchten, ungleich mehr berücksichtigt worden, als dies früher der Fall war, und wir dürfen auch wohl hierin eine Einwirkung des Suess'schen Buches wahrnehmen. Zahlreiche und namhafte Geologen haben sich in letzter Zeit mit geologischen Detailuntersuchungen in dem grossen Kettengebirge, welches die Mitte unseres Erdtheiles schmückt, beschäftigt, und bei ihren Untersuchungen auf die Ergründung der Gebirgsbildung den höchsten Werth gelegt. Man sollte meinen, dass ihre Untersuchungen eines sehr wesentlichen Theiles des grossen Kettengebirges übereinstimmende und sichere Anhaltspunkte zur endgiltigen Lösung dieser Fragen geliefert hätten. Indessen contrastiren die Ansichten, welche in den letzten Jahren von Lepsius, Mojsisovics, Heim, Vacek über die Aufrichtung der von ihnen untersuchten Gebirgtheile ausgesprochen wurden, ausserordentlich und lassen sich kaum in ein einheitliches Bild der Entstehung der Alpen vereinigen. So hat Lepsius, theilweise noch in älteren Lehren und Irrthümern befangen, bei seinen geologischen Studien in S. W. Tirol den Adamellogranit für passiv aus der Tiefe emporgehoben erklärt, während er doch

seinem Empordrängen die Fältelung der krystallinischen Schiefern und die Störung und Marmorisirung der Triaskalke zuschrieb. Das Wort „passiv“ welches Suess zur Kennzeichnung der Rolle der alpinen Centralmassen hinsichtlich der Gebirgsbildung gebrauchte, wird von Lepsius ganz irrthümlich angewandt. Lepsius muthet dem Adamellogranit geradezu eine active Rolle zu. — E. v. Mojsisovics hat in einer Untersuchung des geologischen Baues von Südost-Tirol die wahre passive Rolle der Granitstöcke der Cima d'Asta und des Brixener Granites, die jedenfalls als Analoga des Adamello zu betrachten sind, klar gestellt — ob jedoch diese Granitmassen als Gangstöcke zu paläozoischen Lagern von Eruptivgesteinen (Botzener Porphyr) gehören, wie Mojsisovics will, muss wohl bezweifelt werden. Höchst wichtig ist der Nachweis, dass in Südost-Tirol seit der Permzeit bis zur Gegenwart gebirgsbildende Vorgänge thätig waren und in der Triasperiode die eigenartige Entwicklung der Corallriffe sowie den Vulcanismus des Gebietes beeinflussten. Am ausführlichsten hat A. Heim in seiner Monographie der Tödi-Windgällengruppe die Gebirgsbildung erörtert und darf sein Werk wohl als die wichtigste neuere Publication über diesen Gegenstand betrachtet werden. Heim zeigt, dass Centralmassive stets nur sehr intensiv gefaltete Theile der Erdrinde sind — in seinem Gebiet wird der Zusammenschub der Erdrinde, der im westlichen Theile desselben sich in der Faltung der Centralmassive ausspricht, östlich durch die grosse Glarner Doppelschlinge compensirt.

Es ist nicht wohl möglich, mit wenigen Worten ein Bild des verwickelten Baues jenes Gebietes zu geben, welches Heim monographisch behandelt hat, auch zahlreiche Profile und ihre Erörterung unter Hinweis auf die geologische Karte könnten in dieser Richtung nicht zum Ziele führen. Die Betrachtung eines „Profilreliefs“ allein könnte hier ausreichen. Mit dem Worte Profilrelief bezeichnet Heim eine von ihm erdachte und zum ersten Male gelegentlich der Weltausstellung 1873 gezeigte Methode der graphischen Darstellung des Gebirgsbaues, welche darin besteht, dass auf der geologisch-colorirten Karte die in gleicher Weise colorirten Profile auf zahlreichen, senkrecht gestellten Wänden aufgesetzt erscheinen. Sieht man senkrecht zwischen

denselben durch, so erhält man durch die geologische Karte das Bild der Oberflächenbeschaffenheit, blickt man schräg auf die Profile, so erhält man eine Vorstellung des inneren Baues. Lediglich zur Orientirung sei hier eine Skizze der gewaltigen Doppelschlinge gegeben (vergl. Fig. 1), welche die gewaltigste Störung darstellt, die bis nun auf der Erdoberfläche constatirt wurde. Es möge übrigens gleich an dieser Stelle bemerkt sein, dass die Existenz der Glarner Doppelschlinge, welche bereits von Escher von der Linth behauptet, von Baltzer eingehend studirt und von Heim ausführlich begründet wurde, in neuester Zeit in Frage gestellt wird und zwar von einer Seite, welche, wie unten zu erörtern, hiezu nicht ganz unberechtigt erscheint.

A. Heim hat jedenfalls in seinem Werke den Mechanismus der Gebirgsbildung ausführlicher, als dies je vor ihm geschehen, erörtert und unstreitig die endgiltige Lösung der Gebirgsbildungsfrage sehr nahe gerückt. Mit dem durch Heim geführten Nachweis, dass die Centralmassive nichts weiter sind als intensiv gefaltete Stellen der Erdkrinde, ist die grösste bisher nur hypothetisch überbrückte Lücke in der Kenntniss des Baues der Alpen ausgefüllt; und der Satz, dass der Erdkern allmählig für die Kruste zu klein geworden ist, so dass letztere Falten, Gebirge bilden musste, ist, seitdem auch die Centralmassive als Product der Zusammenschiebung erkannt wurden, keine blossе Hypothese mehr. Heim versucht es durch ausführliche Berechnung zu zeigen, dass der Materialverlust des Erdinnern durch Eruptionen nicht genügt, diese Verkleinerung des Erdkernes zu erklären, dass jedoch ein selbst geringer Fortschritt in der Abkühlung des Kernes vollständig zu der für die Erklärung der Kettengebirge nöthigen Contraction führt. Wenn auch die Anwendung der Rechnung im allgemeinen zu sichern Resultaten führt, so ist dies doch nicht immer der Fall; eine Berechnung kann richtig sein, ihr Resultat aber immer noch nicht den Thatsachen entsprechen, sobald die Prämissen unrichtig sind. Pfaff ist durch Zugrundelegung anderer Prämissen zu dem entgegengesetzten Resultate gelangt, wie später gezeigt werden soll. Auch sonst ist gegen Ausführungen Heim's manche Einwendung möglich, da sie mit den von andern Beobachtern in den Alpen constatirten Verhältnissen der Gebirgsbildung nicht gut übereinstimmen. So

behauptet Heim, dass in dem von ihm untersuchten Gebiet bis gegen die Mitte der Tertiärformation nur continentale Verticalschwankungen stattgefunden hätten, während eigentliche Schichtaufrichtung durch Faltung erst zur Miocänzeit zum ersten Male eingetreten sei. Vom Röthidolomit bis zu den Eocänschichten liegen seinen Untersuchungen zu Folge die Sedimente untereinander concordant, alle nehmen in entsprechender Weise an den Faltungen theil, während die einzige, ziemlich allgemeine Discordanzfläche, welche zwischen den Gesteinen des Centralmassives und dem Röthidolomit sich findet, dadurch erklärt wird, dass die älteren, paläozoischen Sedimente bei der Runzelung der Erdrinde von den jüngeren Sedimenten abgelöst und in die centralmassivischen Falten mit einbezogen wurden. Hiegegen liesse sich erinnern, dass in den Ostalpen allenthalben sichere Anzeichen älterer, gebirgsbildender Vorgänge wahrgenommen werden können, und in jüngster Zeit, wie oben bemerkt, durch Mojsisovics für Südost-Tirol solche von der Permzeit bis zur Gegenwart herauf nachgewiesen wurden. Es wird daher auch für die Schweizer Alpen als höchst unwahrscheinlich bezeichnet werden müssen, dass sie erst gegen Ende der Tertiärzeit gebildet worden seien. Heim erörtert im ersten Abschnitte des zweiten Theiles seines grossen Werkes unter dem Titel: „Die mechanische Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung“ die Frage: Wie konnten die Gesteine die thatsächlich vorhandenen Lagerungsstörungen eingehen? Er zeigt zunächst, dass die Annahme, dass die Gesteine zur Zeit der Faltung alle noch weich gewesen wären, im Widerspruche mit Allem steht, was wir von den zur Erörterung von Sedimenten nothwendigen Zeiten und Bedingungen kennen oder vermuthen, und was wir von dem relativen Alter der Bildungs- und Faltungsvorgänge verschiedener Gesteine wissen; dass ferner in vielen Fällen die Gesteinsumformung mit Bruch, in anderen jedoch und selbst bei den sprödesten Gesteinen ohne Bruch erfolgt. Um dem Wesen der Umformung näher zu kommen, leitet Heim sechzehn „Gesetze der Erscheinung“ ab, auf welche allerdings der Name „Gesetz“ nicht passt, so wenig als die Häckel'schen „Gesetze“ der Descendenzlehre diesen Namen verdienen. Es handelt sich hier nur um Erscheinungsformen, nicht aber um unabänderliche Gesetze, wie sie etwa die Physik

kennt. Aus den beobachteten Erscheinungen leitet He i m eine Theorie der Gesteinsumformung ab, welche er folgendermassen in einen Satz zusammenfasst:

„In einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche sind die Gesteine weit über ihre Festigkeit belastet. Dieser Druck pflanzt sich nach allen Richtungen fort, so dass ein allgemeiner, dem hydrostatischen Drucke entsprechender Gebirgsdruck allseitig auf die Gesteinstheilchen einwirkt; dadurch sind dort die sprödesten Gesteine in einen latent plastischen Zustand versetzt. Tritt eine Gleichgewichtsstörung durch eine neue Kraft — den Gebirgsbildenden Horizontalschub — hinzu, so tritt die mechanische Umformung in dieser Tiefe ohne Bruch, in zu geringen Tiefen bei den spröderen Materialien mit Bruch ein.“ —

Dieser Satz verdient aus dem Grunde nicht den Namen einer Theorie, weil die Behauptung, dass selbst die sprödesten Materialien durch über ihre Festigkeit hinausgehenden, allseitig wirkenden Druck in plastischen Zustand versetzt werden können, vorläufig eine reine und zwar ziemlich willkürliche Hypothese ist. He i m selbst bedauert, dass Versuche über sehr grossen, allseitig wirkenden Druck bisher noch nicht ausgeführt worden seien, und in der That werden erst solche Experimente die schwebende Frage lösen. Dabei wird man wohl zwischen Körpern zu unterscheiden haben, welche im flüssigen und festen Zustande einen grösseren oder geringeren Raum einnehmen — ein Unterschied, der von He i m nicht berücksichtigt wurde, denn er führt als Beleg seiner Ansichten folgendes Experiment an:

„Wenn wir ein Stück ganz klaren, dichten Wassereises schneiden und in dasselbe (vielleicht mit einer hydraulischen Presse) einen Stempel zu prägen versuchen, so bricht das Eis plötzlich mit Knall spröde auseinander. Bringen wir es aber vorher in ein festes, eisernes Gefäss, in welches es genau passt, so dass das Gefäss überall fest anschliesst, verschliessen wir es fest mit einem Kolben, so können wir an irgend einer Stelle durch eine Oeffnung, die in der Gefässwandung angebracht ist, einen Stempel einpressen, ohne dass das Eis in Stücke geht. Wir erhalten den entsprechenden Eindruck im Eisstück und der Kolben wird dem Volumen des Eindruckes entsprechend etwas zurückgedrängt. Wenden wir bei Kolben und Stempel nur ge-

ringen Druck an, so geschieht eine Zertheilung des Eises in kaum mit der Loupe erkennbare Körner, wird aber ein sehr starker Druck angewendet, so geschieht die Umformung vollkommen homogen. Allseitiges Einschliessen in hohen, allseitigen Druck hat den spröden Körper in einen plastischen umgewandelt.“

Gegen die Verallgemeinerung dieses Satzes lässt sich nun einwenden, dass Eis durch hohen Druck, selbst bei einer weit unter dem Schmelzpunkt liegenden Temperatur flüssig gemacht werden kann, so dass es für obigen Versuch zweifelhaft bleibt, ob wirklich hochgradige Plasticität des Eises erzielt wurde, oder nicht vielmehr eine Verflüssigung und Wiedererstarrung stattfand. Selbst dann: wenn, was als wahrscheinlicher zugegeben werden mag, Eis durch Druck plastisch gemacht werden kann, fragt es sich noch, ob gleiches auch für jene Körper gilt, bei welchen der Schmelzpunkt durch Druck nicht erniedrigt, sondern erhöht wird. E. R e y e r unterscheidet in seinen Untersuchungen über die Physik der Eruptionen scharf zwischen beiden Categorien der Körper und gelangt zu einem, den Heim'schen Ansichten ziemlich widerstrebenden Schlusse. Da das Erdinnere hauptsächlich aus Substanzen besteht, welche sich beim Erstarren zusammenziehen, wird nach R e y e r daselbst das Magma durch den Druck der lastenden Schichten verfertigt, trotzdem die zunehmende Wärme hinreichen würde, die Schmelzung zu bewerkstelligen, wenn der Druck eben nicht vorhanden wäre.

Aber nicht nur theoretische Bedenken lassen sich gegen Heim's Ansicht geltend machen, auch die von ihm selbst als Beleg der Plasticität dichter Kalksteine angeführten Beispiele besitzen nicht unbedingte Beweiskraft. Nach den Zusammenstellungen, welche Heim selbst veröffentlicht, beträgt der Druck, welcher angewendet werden muss, um ein Gesteinstück von 1 cm^2 Querschnitt zu zerbrechen, bei dichten Kalksteinen 300 bis 500 Kilogramm. Die Säule von Kalkstein, welche eben noch von ihrem Fusse getragen werden kann, misst 1100 bis 1800 Meter Höhe. Höhere Säulen werden ihren Fuss zermalmen, oder wenn es sich um Schichten der Erdrinde handelt, unter der oben angeführten Tiefe wird auch dichter Kalkstein in latent plastischem Zustande sich befinden. Heim versucht zu zeigen, dass die Be-

lastung, unter welcher die jüngsten, rein bruchlos umgeformten, thonfreien Kalksteine der Centralalpen, die er kennt, gestanden haben, den von der Theorie geforderten Beträgen vollständig entsprechen. Es sei nun gestattet, die Beispiele für bruchlose Umformung zu prüfen. Viel Werth wird in dieser Hinsicht auf gestreckte Belemniten und zerquetschte Ammoniten gelegt. Was die ersteren anlangt, scheinen sie kaum in dem Masse für die Plasticität des umgebenden Materiales zu zeugen, als Heim glauben machen will. Das Zerreißen eines Belemniten in zahlreiche Fragmente kann auch ohne Streckung des umgebenden Gesteines dann erfolgen, wenn eine Verwerfung denselben der Länge nach berührt, wie dies Fig. 2 darstellt. Bewegen sich die Seiten *A* und *B* in der Richtung der Pfeile, so wird bei der Structur des Rostrums leicht ein Zerreißen in zahlreiche kurze Stücke stattfinden, welche nach stattgehabter Bewegung etwa die Stellungen einnehmen werden, welche Fig. 3 zeigt. Die einzelnen Fragmente werden dabei in der Regel im Sinne der Bewegung etwas schräg gestellt werden, und die Hohlräume, welche zwischen ihnen frei bleiben (*c*), später durch Calcit ausgefüllt erscheinen. Diese Ausfüllung durch Calcit, welche sich auch an den durch Heim zur Abbildung gebrachten, gestreckten Belemniten wahrnehmen lässt, documentirt am besten, dass das umgebende Material nicht plastisch war, denn sonst hätte es ja in die Hohlräume hineingepresst werden müssen. Wohl für die meisten gestreckten Belemniten kann angenommen werden, dass sie einem ähnlichen Vorgang, nicht aber einer Zerrung durch das plastische Umgebungsmaterial ihre Deformirung verdanken.

Was ferner die gequetschten und verzerrten Ammoniten anlangt, sei auf den auffallenden Umstand hingewiesen, dass in den höheren Schichtsystemen der Alpen, die doch unter geringerer Belastung standen, ganz allgemein solche verzerrte Ammoniten auftreten, während sie in tieferen selten sind oder ganz fehlen. Die Ammoniten des Hallstädter Kalkes z. B. sind sehr häufig von Sprüngen durchsetzt, auf welchen eine kleine Verschiebung der angrenzenden Theile stattgefunden hat — eine Umformung durch Bruch, bei welcher es oft geradezu unmöglich ist, im umgebenden Gesteinsmaterial die betreffende, kleine Verwerfung nachzuweisen, so gut hat die spätere Verkittung des Sprunges

stattgefunden. Gleiches gilt von den Schalenexemplaren der Dachsteinbivalven, und an den Megalodonten des Dachsteinkalkes lässt sich nur dann eine Deformirung beobachten, wenn es sich (ein ziemlich häufiger, bis nun aber wenig beachteter Fall) um Sculptursteinkerne handelt. Andererseits sehen wir in oberjurassischen Knollenkalken und im Neocom fast keinen Ammoniten, der nicht in höherem oder geringeren Grade verquetscht wäre. Die petrographische Beschaffenheit ist eben in viel höherem Grade bestimmend für die Art der Gesteinsumformung als die Druckverhältnisse und muss im allgemeinen wohl bezweifelt werden, dass über die Festigkeitsgrenze hinausgehender allseitiger Druck die spröden Steine in plastischen Zustand zu versetzen vermag. In diesem Sinne äusserte sich auch in letzterer Zeit G ü m b e l gegen die von Heim behauptete, bei der Faltenbildung vermöge des Druckes wirksame Plasticität der Gesteine. In einer geognostischen Beschreibung des Fichtelgebirges spricht er sich folgendermassen über den Vorgang bei der Faltung aus: „Erst bei näherer Betrachtung erweist es sich, welche wichtige Rolle bei dieser Krümmung, die oft fast bis in's Unendliche gehende Zerklüftung gespielt hat, durch welche das Material eine gewisse Verschiebbarkeit, selbst einen gewissen Grad von Elasticität erlangt. Für meine Anschauung sind diese Zerspaltungen und Zerspaltungen, durch welche das Gestein bis zu einer Art Pulver zertheilt und zerstückelt werden kann, zureichend, um die Gleichförmigkeit der Schichtenbiegung zu erklären. Dabei darf man sich nicht durch den Umstand täuschen lassen, dass zahllose solche Klüfte und Spältchen wieder für das unbewaffnete Auge verschwunden sind.“ G ü m b e l spricht sich in dem angeführten Werke auch über die Verzerrung organischer Reste ohne Bruch, wie sie z. B. bei den Clymenien im Oberdevon und bei den Ammoniten insbesondere in den Mergeln der *Tenuilobatus*-Zone vorkömmt, dahin aus, dass dieselbe vor der Verfestigung der gesteinsbildenden Elemente erfolgt sei.

M. V a c e k hat in den letzten Jahren die Kreidebildungen Vorarlbergs zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht und deren Resultate im letzten Hefte des Jahrbuches der Geologischen Reichsanstalt 1879 veröffentlicht. Dieselben interessieren uns an dieser Stelle hauptsächlich deshalb, weil V a c e k

durch das detaillirte Studium der Störungen der Vorarlberger Kreide (welche in regelmässigeren Falten bestehen) veranlasst wurde, das Vorhandensein der schon von Escher von der Linth angenommenen, von Baltzer und Heim näher begründeten Glarner Doppelschlinge in Zweifel zu ziehen. Nach Vacek wäre eine grosse, regelmässige, nach Nord überschobene Falte und ein gewaltiger parallel verlaufender Bruch vorhanden. Es müsste in diesem Falle die Hauptmasse der nach der Auffassung Heim's und Baltzer's im Muldentheile befindlichen, eocänen Schiefer (welchen allerdings Nummulitenkalke in häufigstem Vorkommen gesellt sind) ein viel höheres, wahrscheinlich paläozoisches Alter besitzen und nördlich dem von Vacek angenommenen Bruche concordant unter der gesammten Reihe jüngerer Schichten bis zum Eocän hinauf liegen, während dieses discordant und den älteren Aufbrüchen eingelagert auftreten müsste. Auch die Ansichten Vacek's haben manches für sich und verdienen wohl durch Untersuchung der Glarner Doppelschlinge nochmals geprüft zu werden, da in der That diese Störung ausserordentlich ungewöhnlich und befremdend im Alpengebäude uns entgegentritt.

Doch wenden wir uns von den Untersuchungen einzelner Gebirgstheile zu der Betrachtung jeder Experimente, welche in neuerer Zeit hinsichtlich der Gebirgsbildung angestellt worden sind. Wiewohl in dieser Hinsicht jene, deren Resultate Daubrée im „Bulletin de la société géologique de France“ veröffentlicht hat, am wichtigsten zu erachten sind, muss doch an dieser Stelle von ihrer ausführlichen Besprechung Umgang genommen werden. Die Daubrée'schen Versuche erweisen klar, dass jene Falten, welche der Geologe so häufig in den gestörten Schichten der Erdrinde, in den Kettengebirgen antrifft, durch Horizontalschub erzeugt worden sind, und führen sonach zu demselben Resultate, zu welchem auch jene Geologen gelangt sind, welche sich mit der Beobachtung der Störungen in den Kettengebirgen und ihrer Erklärung beschäftigt haben. Es ist dies deshalb von grossem Werthe, weil in neuerer Zeit von Prof. Fr. Pfaff die Möglichkeit der Gebirgsbildung durch Horizontalschub und durch Rindenrunzelung der Erde vermöge der Abkühlung und Contraction ihres Inneren gerade auf Grund angestellter Experimente geläugnet

wurde. Doch Prof. Pfaff wendet sich in einem erst 1880 erschienenen Buche „Der Mechanismus der Gebirgsbildung“ zunächst gegen die von Heim behauptete Plasticität auch spröder Gesteine unter hohem Druck. Versuche über die Wirksamkeit hohen Druckes in dieser Richtung wären allerdings von grösster Wichtigkeit, vorausgesetzt, dass sie unter den nöthigen Cautelen angestellt wären, um die Frage endgiltig zu beantworten. Um die Bedeutung derselben klar zu machen, sei auf die Widersprüche hingewiesen, welche diesbezüglich in den Theorien Mallet's, Reyer's und Heim's zu Tage treten. Nach Mallet werden die Gesteine durch den Druck der lastenden Schichten zertrümmert und die hiebei entstehende Wärme bedingt den Vulcanismus — nach Reyer (und diese Ansicht scheint mir die richtigste) wird durch diesen Druck das im Erdinnern befindliche Magma, trotz grosser Hitze und Durchtränkung mit Liquiden, verfestigt — nach Heim endlich bewirkt grosser, allseitiger Druck Plasticität auch der unter gewöhnlichen Verhältnissen spröden Gesteine. Pfaff behauptet auf Grund seiner Untersuchungen: 1. Gesteinsplatten von mässiger Dicke halten selbst einen Druck von 21800 Atmosphären. 2. Sie zeigen sich auch bei diesem hohen Drucke nicht ductil oder plastisch, sondern behalten ihre Gestalt unverändert bei. Er bemerkt über die Experimente, welche ihn zu diesen Sätzen führten: „Die Versuche, aus denen ich diese Sätze ableitete, habe ich zum Theil schon in meiner „Allgemeinen Geologie“ beschrieben. Sie bestanden darin, dass mittelst eines starken, eisernen Hebels Stempel von wohlgehärtetem Stahl auf Solenhofener Kalkplatten gepresst wurden. Der Druck wurde Tage, ja Wochen constant erhalten. Die Stempel hatten entweder eine ganz ebene Grundfläche, oder waren in der Mitte derselben durchbohrt oder mit Rinnen versehen (also auf dem Durchschnitte von der Form Fig. 4 a und b). Nie wurde nun bemerkt, dass sich die Kalkplatte etwas in die Vertiefung (bei b oder bei a) eingedrängt hätte, ähnlich wie beim Prägen das Metall die Vertiefungen des Stempels ausfüllt. Wir müssen daraus den Schluss ziehen, das feste Gesteine selbst bei einem einseitigen Druck von nahe 22000 Atmosphären fest und spröde bleiben und nicht ductil oder plastisch werden.“ — Heim hat bei Erörterung dieser Versuche, wie ich glaube, ganz richtig sein

Urtheil dahin abgegeben, dass Pfaff die Gesteine nicht auf Plasticität, sondern auf Compressibilität untersucht hätte, und daher zu obigen Schlüssen unberechtigt gewesen sei. Pfaff hat nun, um in einer Weise zu operiren, an der auch „Heim nichts auszusetzen haben wird,“ den Versuch in anderer Weise wiederholt. Es sei gestattet, denselben mit seinen eigenen Worten zu schildern:

„Ein starke, rechteckige Eisenplatte (*E*, Fig. 5), war in der Mitte mit einer cylindrischen Bohrung versehen. In dieselbe passte ganz genau ein Stahlcylinder (*S.*), der seinerseits mit einem $4 \frac{m}{m}$ weiten cylindrischen Hohlraume versehen war. Eine kleine Seitenöffnung (bei *a*) führte in den inneren Hohlraum. Nun wurde ein kleiner Kalkcylinder von Solenhofer Kalk (*K*), der ganz genau die innerste Bohrung ausfüllte, in dieselbe gebracht, der Canal *a* ganz genau mit Wachs ausgefüllt, aber so, dass am äussersten Ende des Canales derselbe ein klein wenig concave Fläche zeigte, und nun durch einen kurzen Stahlstempel (*P*) der Kalkcylinder einem starken Drucke, 2 Tage von 2000 und 4000, dann 7 Wochen lang von 9970 Atmosphären ausgesetzt. Nach dieser Zeit wurde der Stahlcylinder herausgenommen. Es zeigte sich keine Spur davon, dass Wachs aus dem Canale (bei *a*) ausgetreten wäre und nachdem der Verschluss bei *a* weggenommen war, konnte der Kalkcylinder unzerbrochen durch das untere Ende hindurchgeschoben werden. Es war nicht die geringste Veränderung an demselben bemerklich. Ich konnte trotz seiner geringen Dimensionen noch ganz gut ein Stück der Quere nach absägen und ihn ebenso der Länge nach durchsägen und Dünnschliffe daraus fertigen. Die mikroskopische Untersuchung ergab nicht den geringsten Unterschied im Vergleiche mit ungepresstem Solenhofer Kalk. Ich glaube daher, zu der Folgerung vollkommen berechtigt zu sein, dass bis zu den Druckgraden, welche wir hervorzurufen im Stande sind, die Gesteine fest bleiben und nicht plastisch werden.“

Obwohl ich die Ueberzeugung Pfaff's theile, dass grosser Druck allein nicht hinreicht, um Plasticität spröder Gesteine zu bewirken, glaube ich doch, dass auch der letzte Versuch Pfaff's nicht allen Anforderungen entspricht, welche gestellt werden müssen, wenn auf Grund eines solchen Experimentes die

Unrichtigkeit der Heim'schen Hypothese von der Plasticität der Gesteine unter hohem Druck nachgewiesen werden sollte. Meiner Meinung nach wäre es vor allem nothwendig, das zu erprobende Gestein unter einen entsprechenden allseitigen Druck zu setzen, der am sichersten durch eine Flüssigkeit ausgeübt werden könnte, dann erst die entsprechende dislocirende Kraft auf das Gestein einwirken zu lassen. Eine kleine Modification des Natterer'schen Gascompressionsapparates könnte hier wohl zum Ziele führen, vorausgesetzt, dass man es überhaupt beabsichtigt, einen derartigen Versuch, der aller Wahrscheinlichkeit nur zu einem negativen Resultate führen kann, anzustellen. — Der grösste Theil des Buches ist übrigens einer keineswegs exacten, sondern auf ziemlich unsicheren Füssen stehenden Widerlegung der seit dem Erscheinen des S u e s s'schen Buches „Ueber die Entstehung der Alpen“ wohl allgemein angenommenen Lehre von der Gebirgsbildung durch Runzelung der Erdrinde vermöge der Contraction des sich abkühlenden Erdkernes gewidmet. Die Rechnungen Pfaff's mögen richtig sein, die Prämissen sind ganz willkürlich. Jede Rechnung, welche von den Verhältnissen bei erster Erstarrung einer Rinde auf dem gluthflüssigen Planeten, von einer damals geherrscht habenden Temperatur, von einer bestimmten Rindendicke der Erde u. s. w. als von gegebenen Grössen ausgeht, ist a priori als falsch zu betrachten, da man jede dieser Grössen mit demselben Rechte doppelt so gross oder um die Hälfte kleiner — nach Umständen auch zehnmal grösser oder zehnmal kleiner ansetzen könnte. Es sei hier darauf aufmerksam gemacht, dass Heim ganz ähnliche Berechnungen anstellt, und zu dem Resultate kommt, dass die Verminderung des Erdradius vermöge der durch Abkühlung bewirkten Contraction ganz gut seiner Ansicht entspreche, dass die Rindenrunzelung in Folge der Abkühlung Ursache der Gebirgsbildung sei. Nach der Rechnung Heim's reicht die Abkühlung und die durch sie bewirkte Contraction vollkommen aus, um eine seit der Eocänperiode vor sich gegangene Faltung der Alpen zu erklären. Es ist dies jedoch, wie ich nochmals betonen will, gar nicht nöthig, da die gesammte Aufrichtung der Alpen sich keineswegs, wie Heim will, erst seit der mittleren Tertiärzeit vollzog, sondern, wie namentlich von österreichischen Geologen nachgewiesen wurde,

Gebirgsbildende Thätigkeit schon in viel früheren Formationen zu dem Aufbaue des grossen Kettengebirges beitrug. Zu bedauern ist, dass Heim durch seine, wenn auch von einigermaßen berechtigten, doch immer noch hypothetischen Prämissen ausgehenden Berechnungen den Anstoss zu den, von ganz willkürlichen Voraussetzungen ausgehenden Pfaff'schen gegeben hat. Pfaff zeigt übrigens in seinem Buche deutlich, dass er nie die Structur eines Kettengebirges aus eigener Anschauung kennen gelernt habe. Es geht dies aus zahlreichen Stellen, ebenso wie aus dem Schlusse hervor, zu welchem er gelangt und der in nichts anderem als in dem Wiederhervorsuchen der Volger'schen Hohlschichten besteht. Einem „exacten Forscher“ ist freilich alles möglich, deshalb auch die Erklärung der gewaltigen Störungen, die wir in Kettengebirgen über ungeheure Räume verfolgen können, durch unterirdische Aushöhlung, hervorgerufen durch die Thätigkeit des Wassers. Diese Thätigkeit kann allen Beobachtungen zu Folge nur ganz locale Hohl-Räume in gewissen Schichtcomplexen (Kalkstein) hervorbringen, nie aber jene Weitungen erzeugen, die ein Nachsinken ganzer Gebirgsketten gestatten könnten.

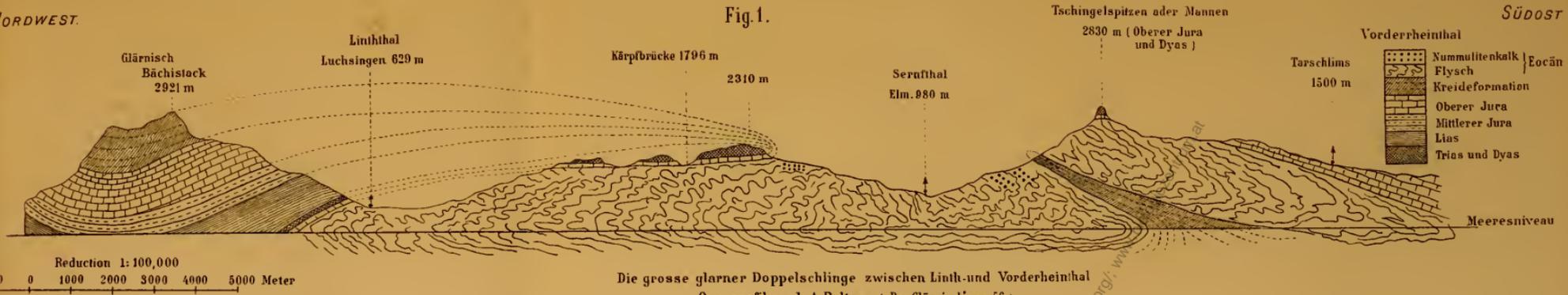
Ist auch die Art und Weise der Einwirkung noch nicht ganz aufgeklärt, so müssen wir heute wohl daran festhalten, dass die durch die Abkühlung bewirkte Contraction der Erde allein Ursache jener Rindenrunzelung sein kann, die wir als Gebirgsbildung bezeichnen.

Es sei gestattet, nachträglich noch auf die seit Abhaltung des Vortrages erschienene Arbeit E. Reyer's „über die Bewegung im Festen“ — Jahrb. der geolog. Reichs-Anstalt 1880, pag. 543 — zu verweisen, in welcher die Umformung und Umlagerung starrer Körper eine sehr interessante Besprechung erfährt, und mit Recht auf die hohe Bedeutung der Durchtränkung aufmerksam gemacht wird.

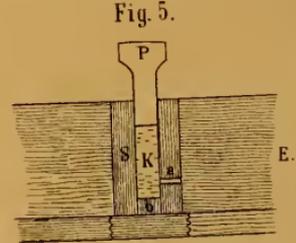
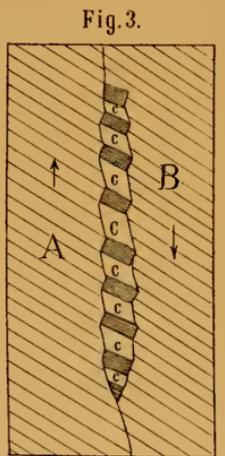
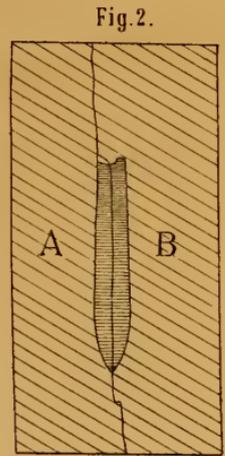
R. H.

NORDWEST.

SÜDOST



Die grosse glarner Doppelschlinge zwischen Linth- und Vorderrheinthal
 Querprofil nach A. Baltzer („Der Glärnisch“ pag 56)



NB: Figur 4 und 5 entlehnt aus Fr. Pfaff:
 Der Mechanismus der Gebirgsbildung pag. 17 und 18.