

(Als Manuscript gedruckt.)

Zur Mechanik der Schichtenfaltungen.

Eine Antikritik

von

Dr. F. M. Stapff,

Ingenieur-Geolog der Gotthardbahn.

Nach dem Erscheinen von A. Heim's denkwürdigen «*Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*» veröffentlichte ich im *Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1879, pag. 292 f. und 792 f., einige Aphorismen über «*Mechanik der Schichtenfaltungen*». Der Gegenstand hatte mich schon längere Zeit beschäftigt; der eigentliche Grund meiner Veröffentlichung war die Hoffnung, Belehrung über einige mir dunkle Fragen zu erhalten; nächster Anstoss zur Veröffentlichung allerdings Heim's eben genanntes Werk. Dennoch habe ich unterlassen, dasselbe in meinem Aufsatz zu citiren, weil es mir lediglich um die Sache zu thun war, nicht um eine Polemik mit Herrn Professor Dr. Heim, noch weniger um eine Bekrittelung seiner schönen Arbeit; und weil die von mir angefochtenen Ansichten schon vor Heim von anderen Geologen geltend gemacht worden waren. Thurmann verwendete z. B. eine von Heim «*latente Plasticität*» genannte (übrigens unbekannt) Eigenschaft von Gesteinen — «*Pelomorphismus*» — zur Erklärung der Faltung starrer Schichten.

Heim hat in *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 1880, p. 262 f., gleichzeitig Dr. Friedrich Pfaff's «*Mechanismus der Gebirgsbildung*» und meinen Aufsatz einer Kritik unterzogen. Der allgemeine Theil derselben ist zwar gegen uns beide gerichtet, doch fühle ich mich durch denselben nicht getroffen; habe auch eben eine Erklärung abgegeben, welche mich freien dürfte von der Beschuldigung, «*rechtlose Mittel im Kampfe gegen eine andere wissenschaftliche Anschauung*» gebraucht zu haben. Heim's Buch habe ich gelesen, allerdings nicht so gründlich studirt als dasselbe sicherlich verdient. Man hat eben vielerlei zu lesen, und die Stunde zum Studiren von Büchern schlägt mir überhaupt erst, wenn ein Professor das Tagewerk seiner Studien zu schliessen pflegt.

Wie es möglich ist, die *Mechanik der Gebirgsbildung* zu ergründen, ohne mathematische Behandlungsweise, d. h. ohne streng logische Application der bewiesenen Gesetze der Geometrie und theoretischen Mechanik und ohne strenges Festhalten an den bekannten physikalischen Eigenschaften der Körper, bleibt mir auch nach

Heim's Mittheilungen auf pag. 264 ein Räthsel. Ist « die Geologie einer mathematischen Behandlungsweise noch lange nicht zugänglich », so dürfte es auch noch lange nicht an der Zeit sein, die *mechanischen Probleme* der Gebirgsbildung zu lösen zu suchen. Wie *schwierig* es ist, geologisch-mechanische Fragen mathematisch zu untersuchen, kenne ich ein wenig aus eigenen Versuchen (die paar simplen Rechenexempel in meinem citirten Aufsatz, gegen welche *Heim* zu Felde zieht, sind hier nicht gemeint). Denn « wir sind zu Annahmen gezwungen » — nicht mehr und nicht weniger, als wenn wir dieselben Probleme *ohne* Rechnungsveruche, nur durch plausible Raisonsnements, zu lösen trachten — « was wir beobachteten, sind meist viel zu complexe und nicht genügend isolirbare Wirkungen, als dass sie sich in einfache . . . physikalische Vorgänge . . . auflösen liessen » — deshalb ist es allerdings am *einfachsten*, einen *Deus ex machina* zu citiren, welcher auch ohne Gleichungen alle Schwierigkeiten überspringt. — Und dennoch gibt es kein besseres Mittel, eine klare Vorstellung über den Zusammenhang zwischen supponirter Ursache und beobachteter Wirkung zu gewinnen, als Rechnung. Führt dieselbe zu einem anderen Resultat, als den beobachteten Daten, so haben wir unrichtige Ursachen supponirt, oder unrichtige Prämissen und Substitutionen gemacht, oder einen falschen Gedankengang verfolgt; diese *Erkenntniss* allein aber lohnt die gehabte Mühe. Dass auf die absoluten Zifferresultate solcher Rechnungen kein grosses Gewicht gelegt werden kann, habe ich schon in meinem Aufsatz (l. c. pag. 797) hervorgehoben. Darum handelt es sich in diesem Fall aber auch viel weniger, als um die Beweisführung, dass ein vorausgesetzter Vorgang mechanischen Gesetzen und physikalischen Eigenschaften nicht widerspricht, und als um das Feststellen von *Verhältnisszahlen*. $\frac{a}{b}$ verhält sich bekanntlich nicht wie $\frac{a \pm \alpha}{b \pm \alpha}$; aber letzteres Verhältniss *nähert* sich dem ersteren um so mehr, je kleiner α gegen a und b . Wir können also in vielen Fällen durch die Proportionirung zweier Functionen ganz brauchbare *Verhältnisszahlen* erzielen, selbst wenn wir genöthigt wären, *eine und dieselbe* Constante oder sogar unwesentlichere Variable in *beiden* Functionen *gleichzeitig* wegzulassen oder nach dem « Taktgefühl » zu substituiren. Hauptsache bleibt der *Bau* der Function, d. h. der *Ausdruck der Beziehung* zwischen Urvariabler (Ursache) und abhängig Variabler (Wirkung). Ob man eine solche Beziehung durch die gebräuchlichen algebraischen Zeichen (d. h. durch eine Formel) ausdrückt oder durch Worte, ist im Grunde genommen nebensächlich. Jede Formel lässt sich schliesslich durch Worte ausdrücken, aber nicht jede wörtliche Deduction durch eine Formel; und wer täglich viel rechnen muss, liest die Beziehungen aus einer generellen Gleichung kürzer, leichter und sicherer heraus, als aus seitenlangen Periphrasen, in denen oft genug Beobachtungen, Eindrücke, Vermuthungen, Annahmen, richtige und unrichtige Schlüsse durch eine bestechende Dialektik verknüpft sind.

Lamartine nannte zwar Rechnen « die Verneinung jedes edlen Gedankens »; — er war aber auch Poët.

Durch den zweiten, speciell gegen meinen Aufsatz gerichteten Theil seiner Kritik setzt sich *Heim* öfters demselben Vorwurfe « des einfachen Nichteintretens auf die Begründung des Gegners etc. » aus, welchen er uns (*Pfaff* und mir gemeinsam) vorher (p. 265) gemacht hat. Er beschäftigt sich hauptsächlich mit Formelkram und übersieht das Wesentliche: den Gedankengang und die Resultate.

In Nr. 1 und 2 meines Aufsatzes habe ich gezeigt, dass der *Mittelwerth* aller möglichen Winkel, unter denen eine gerade Linie gebrochen werden könne, rund 79° ist; und die *mittlere Form* aller möglichen *einfachen* Biegungen der *Halbkreis*, dessen Länge sich zum Durchmesser wie $0,6366 : 1$ verhält. Diese « *geometrischen* Thatsachen, deren Eintreffen das Vorhandensein eines Mittelwerthes aller hier beteiligten mechanischen Kräfte und aller jener Verhältnisse voraussetzt, unter denen diese Kräfte wirken ». (St. p. 292.) « Die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der sub 1. und 2. entwickelten Mittelwerthe ist $0,477$. Man darf also a priori erwarten, dass bei etwa $\frac{1}{2}$ aller einfachgeknickten oder gefalteten Schichten eine Verkürzung von $0,6366$ der ursprünglichen Länge eingetreten ist » (folgen Beispiele). « Fehlen Anzeigen, wonach

auf die *Form* der Faltungen an einem gegebenen Punkt geschlossen werden kann, so würde ich deshalb *Halbkreise* oder *unter 79° gebogene Zickzacklinien* zwischen die beobachteten Falten legen » (St. p. 797).

Um der Willkür beim Aufzeichnen von Profilen einen Zaum anzulegen (p. 798), habe ich also *versucht*, von der Wahrscheinlichkeitsrechnung Gebrauch zu machen. *Heim* nimmt die Sache leichter. Auf pag. 288 seiner Kritik steht z. B., dass in der *Glarner-Falte* der Röthidolomit etwa 3000^m, der Gneiss etwa 4000^m unter Meer liegen etc. — diese seine Ziffern beruhen aber auf Profillinien, welche von *Heim* lediglich *nach dem Gefühl* ausgezogen, d. h. *arbiträr* sind. Haben sie grösseren Werth als andere, welche man sich wenigstens *bemüht*, der grössten Wahrscheinlichkeit anzupassen ?

Heim's Tadel meiner Definition einfacher und mehrfacher Faltungen ist durch den Wortlaut in Nr. 5 (St. p. 294) gerechtfertigt. Ich wollte daselbst nur sagen, dass man halbkreisförmige Faltungen (durch welche die Endpunkte der Schicht einander auf 0,6366 ihrer ursprünglichen Entfernung genähert sind) *einfache* nennen könnte; eine Faltung, welche die Verkürzung $0,6366 \times 0,6366$ hervorgebracht hat, eine *mehrfache* (multiplizierte, potenzierte) etc. Diese Bezeichnungsweise der *Falten* hat aber mit dem *Verlauf* des Faltungsprocesses nichts zu schaffen. Es ist mir in der That nie eingefallen, dass im letzteren eine Pause eintreten müsse, wenn die Verkürzung 0,64 erreicht hat; dann wieder eine Pause, wenn sie $0,64 \times 0,64$ beträgt etc.

Festhalten will ich dagegen den Satz in derselben Nummer: « Die Summe der Projektionen aller Kettengebirgslinien auf die Meridianbögen der Erde müsste gleich sein der Summe ihrer Projektionen auf die Aequatorialbögen; » — natürlicherweise mit allen angedeuteten Cautelen (und einigen ferneren).

In Nr. 3 (p. 293) führe ich den Beweis, dass « durch Zusammenquetschen eines horizontal liegenden Schichtencomplexes zu einem halbcylindrischen Sattelgebirge, dessen Höhe gleich seiner halben Breite ist, dieser Schichtencomplex nicht mehr verkürzt wird, als durch die Kräuselung zu unendlich vielen kleinsten, sich berührenden, halbkreisförmigen Fältchen. » *Heim* hat wohl oft schon von diesem Satz stillschweigend Gebrauch gemacht, ohne daran zu denken, dass er auch eines *Beweises* bedürfe. In seiner Kritik ignorirt er denselben, oder bezieht sich auf denselben vielleicht der Vorwurf des « Einrennens offener Thüren, was wie Sieg klingt? » (p. 265.)

In Nr. 6 (p. 297) habe ich mich bemüht, durch Application bekannter mechanischer Gesetze eine *begründete* Vorstellung zu gewinnen: über den *verhältnissmässigen* Arbeitsaufwand zum Biegen einer *ductil* und *elastisch* gedachten Schicht *) in einen *Halbkreis* und jenen zum Biegen *derselben* Schicht in *viele* kleine Halbkreise, unter Voraussetzung *desselben* Zusammenschubes (0,64) der Schicht durch beide Vorgänge. Ferner: über die verhältnissmässige Zunahme oder Abnahme der *Faltenzahl* bei verschiedener Belastung (durch überliegendes Gebirge) der zusammengebogenen Schicht. In Nr. 7 (p. 792) wird eine entsprechende Rechnung durchgeführt, aber unter der Voraussetzung, dass die Schicht durch den Zusammenschub nicht nur *gefaltet*, sondern auch *zerquetscht* wird. Innerhalb der mir gezogenen Grenzen, für die gemachten Prämissen, und für die (nur beispielsweise) substituirten numerischen Werthe werden diese Fragen beantwortet. Es ist einem Jeden unbenommen, in meine Schlussformeln (a—f) *andere numerische* Werthe einzusetzen, oder die gestellten Fragen *allgemeiner* oder *spezieller* zu behandeln, oder unter andern Prämissen. Für mich war damals ein solches Detailliren und Variiren zwecklos; und überdiess wäre es wohl eine starke Zumuthung an die Redaktion des Neuen Jahrbuches gewesen, noch einige Bogen für überwiegend arithmetische Exercitien zu beanspruchen, welche schliesslich doch kaum Jemand aufmerksam liest. Nicht einmal *Heim*, welcher doch meine veröffentlichten Rechnungen zum Hauptgegenstand seiner Kritik macht, hat sich dieselben richtig angesehen. Deshalb verdient er denselben Vorwurf des ungenauen Studiums der Arbeiten seiner Gegner, welchen er *Pfaff* und mir macht (p. 265 seiner Kritik). Auch wäre sehr zu wünschen gewesen, dass *Heim* auf diesen Theil seiner Kritik klein wenig mehr der mechanischen Kenntnisse verwendet hätte, welche er sich nach p. 264 seiner Kritik erworben hat.

*) „Latent plastisch“ habe ich mir die Schicht allerdings *nicht* denken können.

Er sagt p. 267: « 1° Der Modul E der rückwirkenden Festigkeit des Schichtenmaterials ist nicht, wie die Rechnung annimmt, constant etc. » Ich kann nur antworten, dass es noch keinem theoretischen Mechaniker oder Ingenieur eingefallen ist, bei Inanspruchnahme von Säulen etc. auf rückwirkende Festigkeit *innerhalb der Elasticitätsgrenze* (wie ich voraussetze, da die Biegung der Schicht *ohne Bruch* erfolgen soll) einen mit der Biegung sich ändernden Festigkeitsmodul in Rechnung zu führen, und dass diess auch nicht geschehen dürfte, bis die Lehre von der « latenten Plasticität » bewiesen ist. Denselben Fehler (oder vielmehr den der Annahme eines unveränderlichen Zerdrückungsmoduls) soll nach *Heim* (p. 267, vorletzte Zeile) auch meine zweite Entwicklung haben. Es heisst aber in derselben (p. 794): « Da während des *Zerquetschens* der Schicht der *Zerdrückungsmodul allmählig von K auf 0 sinkt . . . so beansprucht das Zermahlen die Arbeit $\frac{K+0}{2} \times \dots$ » !*

In Nr. 4 der Tadelliste (H.; p. 267) heisst es: « die innere Reibung bei der Umformung, welche wohl alle anderen Widerstände weit übertrifft, ist gar nicht in Rechnung gezogen » (nämlich bei Betrachtung der Biegung, *ohne Brechung*, einer *ductil* und *elastisch* gedachten Schicht). — Natürlicherweise nicht, denn wenn man auch bei allen Biegungen fester Körper innere Reibungen voraussetzen muss, so gehört deren Ermittlung der Molekularphysik an, und in der Mechanik begnügt man sich mit der Einführung eines Moduls für relative oder rückwirkende Festigkeit, welcher streng genommen schon den Widerstand der innern (Molekular-) Reibung in sich fasst. Handelt es sich um Zermahlen fester Körper, so gilt bis zum Entreffen des Bruches dasselbe, d. h. der angewandte Druck hat nicht nur die Cohärenz, sondern auch die innere Reibung der Körperteilchen zu überwinden (zwei vielleicht sehr schwer von einander zu isolirende Eigenschaften), und der durch Versuche ermittelte Festigkeitsmodul gegen das Zerdrücken umfasst im Grunde genommen *beide*. Während des Verschiebens der Gesteinssplitter beim Biegen der *zermalmten* Schicht treten freilich Reibungen ein, welche mit den bisher erörterten nicht verwechselt werden dürfen. *Hierüber* heisst es (St.; p. 294): « Die Arbeit, welche durch innere Reibung während des Quetschens der Schicht consumirt wird, entzieht sich der Berechnung. » Dass dieselbe « alle anderen Widerstände weit übertrifft » (H.; p. 267), mag *Heim's* subjektive Ansicht sein, — ist aber nicht bewiesen.

Heim's übrige Anmerkungen (2, 3, 5, p. 267) wurden schon im Vorgehenden erledigt. Zu Nr. 2 (p. 268) habe ich nur noch zu fügen, dass eine auf 0,64 ihrer ursprünglichen Länge durch Kleinfältelung oder Quetschung zusammengeschobene Schicht $\frac{1}{0,64} = 1,57$ mal so dick als ursprünglich werden muss, falls mit dem Zusammenschieben keine Volumänderungen verknüpft sind. *)

*) Im ersten Abschnitt dieser Antikritik wurde schon präcisirt, wie weit mir mathematische Behandlung geologisch-mechanischer Fragen gegenwärtig gerechtfertigt und nutzbringend scheint. Dass ich die Tragweite der so erzielten Resultate am wenigsten selbst überschätze, ergiebt sich deutlich aus einigen Stellen meines Aufsatzes, z. B. p. 297: „Die folgenden Rechnungen sind ganz approximativ.“ p. 299: „Diese Tabelle giebt jedoch nur eine einseitige ideelle Vorstellung von dem Vorgang der gleichzeitigen Faltung übereinander liegender Schichten. Da die höheren Schichten an der Krümmung der unterliegenden mehr oder weniger Theil nehmen müssen, während sie gleichzeitig auch je für sich gefaltet werden, so sind sie *mehrfacher* Faltung ausgesetzt und es treten andere Verkürzungen (und Faltenzahlen) ein, als die im Vorgehenden unter Voraussetzung *einfacher* Faltung und biegsamen Materiales berechnet.“ p. 797: „Da beim gleichzeitigen Zusammenschieben vieler übereinander liegender Schichten die unteren zu einem gewissen Grad vom Gewicht der oberen entlastet werden, so gestaltet sich der natürliche Faltenwurf noch etwas anders, als der in vorgehender Nummer unter der Annahme berechnet, dass jede Schicht einzeln unter dem todtten Gewicht aller überliegenden (vom Seitendruck nicht ergriffenen) zusammengeschoben werde. Ich will diese Rechnungen nicht weiter fortsetzen, da auf die durch selbige erzielbaren absoluten Zifferwerthe doch kein grosses Gewicht gelegt werden kann, schon deshalb nicht, weil wir in der Natur mit ungleich festen (häufig schon vorher verklüfteten) Schichten zu thun haben, auf welche die Schübe unter gar verschiedenen Richtungen wirken können, so dass sie viele a priori unbestimmbare Formveränderungen hervorbringen. Nur für die *Beurtheilung des Vorganges im grossen Ganzen* geben solche Rechnungen eine *Richtschnur* und führen zu praktisch recht brauchbaren *Verhältnisszahlen*.“

Das Meiste von dem, was *Heim* in seiner Kritik, p. 269 (und auch in seinem Buch), über das «Steigen des Bodens und Sinken der Decke» etc. etc. in Bergwerken anführt, widerspricht dem Sachverhalt, sei es in Folge unrichtiger Beobachtung, oder unrichtiger Auffassung gewordener Mittheilungen, oder unrichtiger Interpretation von lokalen Erscheinungen, welche mit Pelomorphismus starrer Gesteine *nichts* zu schaffen haben. Ich bin seit meinem 16. Jahr als Eleve, Arbeiter und Bergingenieur in Gruben beschäftigt gewesen, habe auch 5 Jahre lang Bergbaukunde und angewandte Geologie etc. an der nun eingezogenen Bergschule in *Falun* docirt, darf mir also wohl erlauben, über *Heim's* verkehrte Vorstellungen in solchen Dingen einfach wegzugehen, zumal er *nirgends* eine bestimmte Beobachtung in einer bezeichneten Grube als Beleg anführt.

Unrichtig ist auch seine Behauptung (p. 270), dass die 1555^m hohe Bergmasse über den von mir erwähnten *offenen* Krystalldrusen und *klaffenden* Spalten im *Gotthardtunnel* «pyramidal, nicht prismatisch sei, dass ihr westlich sofort ein Thal folge, ebenso etwas entfernter südlich und nördlich» etc. Fragliche Drusen etc. wurden unter *Greno di Prosa* angefahren, einem (in Tunnellinie) 2715^m hohen *Rücken* zwischen dem *Pizzo Centrale* (3003^m), *Tritthorn* (2927^m) und anderen *Bergen* östlich von der Tunnellinie; dem *Blauberg* (2816^m) und *Monte Prosa* (2738^m) westlich und südwestlich von ihr. Die tiefste Einsenkung des Terrain's, 1 Kilom. nördlich von diesem Rücken, erreicht im *Guspisthal* noch 2385^m, die tiefste Einsenkung 1 Kilom. südwärts im *Val Torta*, 2232^m (beides in Tunnellinie). Wollte man hier die vertikale Höhe durch ein sog. Massennivellement vermitteln — ein Verfahren, welches *Heim* hier zum ersten Mal opportun zu sein scheint — so käme man vermuthlich zu keiner viel niedrigeren Gebirgsdecke über diesen natürlichen Hohlräumen im Berginneren als 1555^m!

Zu dem erwähnten Beispiel aus dem Jahr 1878 kam Ende 1879 ein zweites (siehe Text zum *Geologischen Gotthardprofil*, p. 33, Anmerkung) noch schlagenderes: *offene Krystalldrusen* bei 7377 N zwischen *Aelpetligrat* und *Kastelhorngrat*, unter 1646^m *Gebirgsdecke*! *Heim* nimmt «latente Plasticität» unter einer mittlern Belastung durch eine 2000^m dicke Gesteinsschicht an; unter 1600 à 1700^m ist von dieser latenten Eigenschaft der Gesteine erfahrungsgemäss keine Spur wahrnehmbar. Welch' niederträchtige 300 à 400^m, die uns dies Säisbild verschleiern! Ueber einem *eventuellen tiefen Simplontunnel* würde auf 2 à 3 Kilom. Länge eine Gebirgsdecke von etwa 2200^m *mittlerer* Höhe liegen. Ich bedaure die *Simplon*interessenten, wenn ihnen auf Grund von *Heim's* «latenter Plasticität» der Gneiss des *Monte Leone* und *Wasenhornes* gleich gepresstem Blei in der Tunnelröhre entgegenquellen sollte.

In Nr. 10 (p. 809 f.) habe ich die Höhe abgeleitet, welche Berge aus Gesteinen verschiedener Festigkeit und Dichtigkeit besitzen müssten, um ihren Sockel zu zerquetschen oder durch Einsinken Faltungerscheinungen um denselben herum hervorbringen. Es ergibt sich empirisch, dass eine Faltung *starrer* Gesteine auf diese Weise durch die an der Erdoberfläche *vorhandenen* Berge ausgeschlossen ist. Dass die Annahme pelomorphen Zustandes starrer Gesteine unmittelbar zum Schlussatz führt, «dass die Gebirge in der Erde versinken müssten, denn für eingeschlossene, breiartig «fließende» Gesteinmassen sollen doch wohl keine anderen Gesetze als die bekannten hydrostatischen geltend gemacht werden?» scheint mir trotz *Heim's* Einwänden (p. 270 und 271) unwiderlegbar. Das Wort «fließend» habe ich (auch in meinem Aufsatz) absichtlich apostrophirt, um anzudeuten dass es im Sinne von *Tresca's* «écoulement» zu verstehen ist, d. h. ein Phänomen ausdrücken soll, welches *allein, und freilich nur durch Analogieschlüsse, Heim's* «latente Plasticität» plausibel erscheinen lassen könnte. Sagt nicht *Heim* selbst (p. 268): «Die bruchlose Umformung fester Gesteine . . . ist . . . die allerhöchste innere Zermalmung . . . in Moleküle vielleicht; sie ist die vollständigste Ueberwindung der inneren Cohäsion und inneren Reibung.» Was ist dies anders als eine Art Definition des flüssigen Aggregatzustandes?

Meine elementäre Rechnung in derselben Nummer (p. 812), aus welcher hervorgeht, dass zur Ueberwindung der Cohärenz durch die Schwere die Kubikeinheit eines Gesteins *wenigstens* viermal so viel wiegen muss als der zum Zerquetschen erforderliche Druck auf die Quadrateinheit beträgt (eine Eigenschaft, welche *kein* bekanntes starres Gestein der Erde besitzt), ist verwendbar für Beurtheilung gar mancher geologisch-mechanischer Fragen, auf welche einzutreten hier aber nicht der Ort ist.

Die Gründe, welche mich zur Ueberzeugung führten, dass bei Faltung *starrer* Gesteinsschichten stets deren Zerquetschung vorausgesetzt werden müsse; ferner Pressung der durch die Quetschung entstandenen Splitter etc. in bedingte Formen; endlich Verfestigung des Materials durch Secretion oder Cementirung, habe ich in Nr. 9 (p. 798) dargelegt. Als Antwort auf *Heim's* Kritik gegen diesen Theil meiner Arbeit brauchte ich nur dessen Inhalt einfach zu wiederholen, bitte desshalb den Leser, selbigen nochmals durchzusehen.

Heim sah sich veranlasst, zur Erklärung «*bruchloser Faltung*» bei starren Gesteinen eine unbekanntere physikalische Eigenschaft vorauszusetzen. *Thurmann* hatte vor mehr als 20 Jahren dieselbe Idee und nannte die Eigenschaft *Pelomorphismus*; *Heim* nennt sie «*latente Plasticität*», gegen welche Bezeichnung um so weniger etwas einzuwenden habe, als mir des Wortes Sinn dunkel und unverständlich war und trotz aller Umschreibungsversuche *Heim's* auch geblieben ist.

Was heisst, eine neue unbekanntere Eigenschaft der Körper ersinnen? Das heisst **schöpfen** wollen! und streift an Autotheismus. Ebenso wenig als es der menschlichen Phantasie je gelungen ist oder je gelingen wird, andere Gebilde zu schaffen als neue Gruppierungen wahrgenommener Erscheinungen, welche endlos variirt und combinirt werden können, ebenso wenig kann es ihr gelingen aus sich heraus *neue* physikalische Eigenschaften der Körper zu erfinden; sie kann nur neue Modifikationen und Combinationen der sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften bilden; darüber hinaus sind ihre vermeintlichen Werke imaginär; unfassbar, undefinirbar; — *Nichts*. Die «*latente Plasticität*» als *neue*, durch Speculation oder Phantasie ermittelte Eigenschaft starrer Gesteine ist *nichts*; als Compilation *bekanntere* Eigenschaften (nämlich *Zermalmbarkeit* und *Uebergang des festen in flüssigen Aggregatzustand*) muss sie sich in letztere zergliedern lassen.

Wir kennen drei Aggregatzustände*), deren Eintreffen von dem auf die Körper wirkenden *Druck* und *Wärmegrad* abhängt. Beobachten wir dass Gesteine, welche weich («*flüssig*») gewesen sein müssen (d. h. nach unserer Ansicht), *keine* Merkmale tragen, die auf gleichzeitige erhöhte Temperatur deuten, so können wir *nur* schliessen, dass sehr hoher Druck ihren Schmelzpunkt verrückt hat. Hierdurch wird die sogen. «*latente Plasticität*» aller überflüssigen Anhängsel entkleidet und entpuppt sich als die *bekanntere* physikalische Erscheinung des Schmelzens fester Körper bei niedriger Temperatur unter hohem Druck. Welcher Druck erforderlich sein mag, um den Schmelzpunkt von z. B. Gneiss um etwa 2000° zu verschieben und ob dies in der Erdkruste eintreffen kann, ist eine stricte physikalische Frage, welche durch *Heim's* Behauptung, dass es unter einem Gebirgsdruck von 2000^m der Fall sei, ihrer Lösung kein Haar breit genähert wird.

Wir kommen nun zum zweiten Theil der Frage, nämlich ob die beobachteten geologischen Erscheinungen dazu zwingen, plastischen Zustand (im physikalischen Sinn des Wortes) starrer Gesteinsschichten während ihrer Faltung vorauszusetzen? So weit meine Erfahrung reicht, muss ich die Frage verneinen. Alle uns bekannten Gesteine können durch hinreichenden Druck zermalm werden; das beweisen künstliche Experimente, zufällige Ereignisse (zerdrückte Steinkonstruktionen), technische Operationen (Quetschen von Erzen etc.); aber noch nie hat man dabei ein Flüssig- oder Plastischerwerden der Steine wahrgenommen**). Eintreten dieses Zustandes setzte also *noch grössere* Drücke voraus als die zum Zermalmen erforderlichen. Nun kann aber Sand und Mehl (oder wie sonst man das letzte Produkt der Zermahlung von Gesteinen

*) Durch *Faraday's*, *Cagnard de la Tour's*, *Andrew's* Versuche ist ein Intermediärzustand zwischen dem gasförmigen und flüssigen nachgewiesen. Ob das *Erweichen* des Platins, Schmiedeeisens etc. vor dem Schmelzen dieser Metalle als Andeutung eines Uebergangsstadiums aus dem festen in den flüssigen Zustand angesehen werden darf, vermag ich um so weniger zu beurtheilen, als mir unbekannt ist, ob vor dem Schmelzen, aber während des Erweichens, dieser Metalle Wärme *latent* wird. Existirte ein solches intermediäres Stadium, so könnte es als *Plasticität in physikalischem Sinn* bezeichnet werden. Jetzt können wir wohl *dünnflüssig* und *dickflüssig* unterscheiden, haben aber allenfalls nur mit *einem flüssigen* Aggregatzustand zu thun. Die durch *mechanische Zerkleinerung*, *eine gewisse Feuchtigkeit* und andere Umstände, hervorgebrachte *Plasticität* des Thones etc. ist eine mit obiger *nicht zu verwechselnde* Eigenschaft, welche aber *ähnliche* oder analoge äussere Erscheinungen bedingen kann.

***) Ich rede hier nicht von Thon etc. oder scheinbarer Plasticität *feuchter* Steine etc.

nennen will) in Formen gepresst werden (*Formsand* der Eisengiessereien!), und die auf einander folgenden zerquetschten Schichten bilden bei dem Faltungsvorgang je die Formwandungen für die zwischenliegenden. Wir erhalten also fertige Schichtenfalten von Gesteinsbruchstücken und können dabei die unter noch höherem Druck etwa eintretende Schmelzung (bei niedrigerer Temperatur) ganz und gar entbehren!

Die Consolidation zersplitterter und gefalteter Schichten zu festem Stein erfolgt wohl vorzugsweise durch Ausscheidung von Mineralien aus Lösungen, welche in den Rissen circuliren. Doch hat für Beantwortung dieser Frage Rothpletz ein weites Forschungsfeld geöffnet, indem er die begründete Vermuthung aussprach, dass während des Quetschprocesses selbst chemische Verbindungen gelöst, nach Beendigung des mechanischen Vorganges aber wieder reconstruirt würden.

Ich habe noch nie Schichtenfaltungen gesehen ohne Risse und Sprünge; seien es klaffende; oder geschlossene, aber nicht vernarbte; oder mit Kalkspath, Quarz, Feldspath, Glimmer, Chlorit, Zeolith und andern Mineralien verwachsene, welche dann als Gänge, Adern, Wülste und dergleichen erscheinen. Auch die Mikrostruktur der *Gotthardtunnelgesteine* zeigt in mehr als 500 untersuchten Dünnschliffen eine Fülle von Erscheinungen, welche ich mir nur durch innere Quetschungen, selbst mikroskopischer Mineralindividuen, erklären kann. Als Autodidakt in der mikroskopischen Gesteinsuntersuchung unterwerfe ich aber solche Beobachtungen am liebsten der Prüfung von Autoritäten dieser Branche, bevor ich darauf gebaute Schlüsse veröffentlichen mag. Auffällig ist mir immer geblieben, dass dieselben Quetschungen, Zerreibungen, Verschiebungen der Mineralbestandtheile nicht nur in gefalteten Gesteinsschichten gewöhnlich sind, sondern auch in solchen mit ebenen Structurflächen. Letztere Schichten scheinen also denselben quetschenden Drücken ausgesetzt gewesen zu sein, aber ihre Verkürzung nicht durch Faltschlagen erlitten zu haben, sondern durch Ineinander-schieben der Partikel, d. h. durch Dickerwerden der Schicht.

Es mangelt mir an Zeit jetzt auf Detailirung dieser hier nur flüchtig skizzirten Ansichten über die Faltung starrer Gesteinsschichten einzugehen oder die Faltung plastischer (in des Wortes täglicher trivialer Bedeutung) auch nur zu berühren. Einige einschlägige Beobachtungen aus dem *Gotthardtunnel* und darauf basirte theoretische Spekulationen finden sich im Text zu dem *Geologischen Profil des St. Gotthard*, welches kürzlich mit den Berichten des schweizerischen Bundesrathes über den Gang der Gotthardunternehmung veröffentlicht wurde.

<Die> (in vorliegender Antikritik gegen Herrn Professor Heim) <hie und da nicht zu vermeidende Schärfe gilt der Methode, nicht der Person.>

Airolo, 11. October 1880.

