2. Zum „Mechanismus der Gebirgsbildung".

Von Herrn Albert Heim in Zürich.

1. Allgemeines.

Im „Neuen Jahrbuch für Min., Geol. u. Paläontol." 1879 findet sich in zwei Theilen von Dr. F. M. Stapff, Ingenieur-Geolog der Gotthardbahn, ein Aufsatz „Zur Mechanik der Schichtenfaltungen", welcher an der Hand von Rechnungen einzelne der Sätze, zu welchen ich in meinen „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe" gelangt war, als unrichtig zurückzuweisen versucht. Der Aufsatz enthält ausserdem einige werthvolle Beobachtungen, welche unsere Kenntniss bereichern. Stapff discutirt die allgemeine Ursache des Horizontaldruckes in der Erdrinde nicht, sondern blos die localen Wirkungen auf die Gesteine.

Zu Ende 1879 ist ferner ein Buch erschienen: Dr. Friedrich Pfaff, „Der Mechanismus der Gebirgsbildung". Dieses Werk ist ein Versuch, die Theorie der Kettengebirgsbildung durch Horizontalschub in der Erdrinde, welche von Jahr zu Jahr festeren Boden gefasst hat, als unhaltbar hinzustellen.

Währenddem die Differenz in der Auffassung von Herrn Stapff und mir, so viel aus dessen Aufsatz zu ersehen ist, nur einzelne Punkte betrifft, steht hingegen Pfaff von Anfang bis zum Ende im durchgreifendsten Gegensatz zu meinen Resultaten. Die Aufgabe dieses Aufsatzes besteht darin zu zeigen, dass ich meine Resultate den Auseinandersetzungen von den Herren Stapff und Pfaff entgegen festhalten muss. [1])

In meinen Entgegnungen auf deren Einwände werde ich versuchen in gleicher Weise, wie es diese Herrn Collegen gethan haben, rein sachlich zu verfahren, sind wir doch alle von einander überzeugt, dass es jedem nur um das Auffinden der reinen Wahrheit zu thun ist. Die hie und da nicht zu

---

[1]) In den folgenden Citaten werde ich für den Aufsatz von Stapff stets in Klammern neben St. die Seitenzahl setzen, für das Buch von Pfaff P., für mein citirtes Buch H. und eine römische Ziffer für den Band.

vermeidende Schärfe gilt der Methode, nicht der Person. Eine einheitliche Darstellung meiner Anschauungsweise halte ich hier nicht für am Platze, da ich dieselbe im citirten Werke aufgebaut habe — vielmehr werde ich hier blos vertheidigend verfahren und mich im Gange ganz an die Entgegnungen meiner Collegen halten.

In meinen Untersuchungen bin ich stets den inductiven Weg gegangen und durch die Localbeobachtungen direct ohne zwischenliegende Schlüsse zu dem zwingenden, mit den Beobachtungen Anderer übereinstimmenden Resultate gelangt, dass ein horizontaler Zusammenschub in der Erdrinde die Alpen gestaut habe. Bis hierher habe ich keine Hypothese einfliessen lassen. Dann versuchte ich bloss andeutungsweise zu zeigen, dass diese Beobachtungen die Theorie der Rindenschrumpfung durch Contraction des Kernes stützen. Eine parallele, aber inhaltlich der ersteren untergeordnete Frage war diejenige nach dem Mechanismus der Gesteinsumformung, deren Resultate wir in den Biegungen, Quetschungen etc. thatsächlich vor uns sehen. Auch hier bin ich wieder von meinen Beobachtungen in der Natur ausgegangen, musste dann aber aus denselben Schlüsse ziehen, um zu einer Erklärung zu gelangen. Die Beobachtungen könnten natürlich nur an der Hand neuer noch eingehenderer Beobachtungen angetastet werden, während ohne solche nur meine Schlüsse einer kritischen Besprechung unterworfen werden können.

Pfaff schlägt einen ganz entgegengesetzten Weg ein. Er stellt sich auf den Boden der Theorie, er beginnt bei jeder zu discutirenden Frage mit einer Reihe von mehr oder weniger willkürlichen Annahmen, z. B. über den ursprünglichen Zustand der Erde, über die jetzige Dicke der erstarrten Rinde, über die Lage der Klüfte etc. etc. und zählt nun die für ihn denkbaren Möglichkeiten für die Folgen, welche eintreten müssten, auf. Er sieht zu, ob sie den von Beobachtern aufgestellten Sätzen entsprechen oder nicht, und richtet die letzteren hiernach. Wenn Pfaff mit Vorliebe Rechnungen und Experimente einflicht, so dienen dieselben nur wiederum seinem deductiven Gang, denn er baut dieselben fast immer auf frühere Deductionen auf, um zwischen weiter übrig bleibenden Möglichkeiten seines deductiven Ganges zu entscheiden. Pfaff denkt selbst da fast durchweg deductiv, wo er experimentirt.

Es versteht sich von selbst, dass der Weg von Pfaff nicht principiell und allgemein als unrichtig bezeichnet werden darf. Wenn die Ausgangsglieder des Gedankenganges sicher und richtig wären, wenn wir die physikalischen und chemischen Gesetze der Natur unter allen Verhältnissen genau kennen würden, und wenn unser Geist in seinem Denken umsichtiger

und zuverlässiger wäre, dann müssten wir auf diesem Wege zu den gleichen Resultaten gelangen, wie der Beobachter der Natur. Allein alle nothwendigen Bedingungen zum Gelingen solcher Deductionen fehlen heute leider noch vollständig und werden noch sehr lange fehlen. In dem uns vorliegenden Buche verwendet Pfaff selbst diese deductive Methode nicht zum Aufbau von Positivem, sondern er will von der Theorie, auf welche die Beobachtungen andere Forscher und mich hinweisen, ausgehend unser Beobachtungsresultat, dass die Kettengebirge ein Rindenzusammenschub seien, umwerfen. Täusche ich mich, wenn ich behaupte, dass dieser Weg, in solcher Weise verwendet, unrichtig ist? Auf willkürlichen, oft der Natur gründlich widersprechenden Annahmen, die man im Studirzimmer macht, ganz schematische Betrachtungen und Experimente aufbauend, ohne irgend einen Blick auf die Thatsachen der Natur, ohne auch nur Beispiele für die deducirten Behauptungen in der Natur zu suchen, lassen sich directe Resultate der Naturbeobachtung nicht werfen. Pfaff übersieht ferner, dass wenn seine Methode wirklich zwingend wäre, wir nur unsere Theorie der Schrumpfung des Erdkernes verlassen würden, aber das viel Wesentlichere, gegen das er zu Felde zieht, nämlich dass die Kettengebirge durch Rindenzusammenschub entstanden sind, würde als Beobachtungsresultat bleiben. Wir haben schon früher diese Methode als unrichtig bezeichnet (H. II. 166. Anmerkung), wir sind noch heute dieser Meinung. Ich will im Einzelnen zeigen, wie gebrechlich diese Deductionen sind und nicht anders sein können.

Ich habe früher von der mathematischen Behandlungsweise der Geologie vieles erwartet, und auf Rath meines Meisters Escher während mehrerer Jahre meinen Studien eine ganz mathematische Richtung gegeben. Ich habe viel höhere Mathematik und Mechanik, graphische Statik, mathematische Physik etc. getrieben und die physikalischen Laboratorien benutzt. Mich reut die hierfür geopferte Zeit nicht, allein ich bin, wo ich mit diesen Mitteln geologische Probleme zu lösen versuchte, stets zur Ueberzeugung gekommen, dass die Geologie einer mathematischen Behandlungsweise noch lange nicht zugänglich ist. Es fehlen stets alle, oder doch einige wesentliche Grundlagen für die Rechnung. Wir sind stets, um rechnen zu können, zu Annahmen gezwungen, bei denen das Taktgefühl mit seiner Unsicherheit zu viel in's Spiel kommt. Was wir beobachten, sind meist viel zu complexe und nicht genügend isolirbare Wirkungen, als dass sie sich in einfache, mathematischer Behandlung zugängliche, physikalische Vorgänge mit genügender Sicherheit der gegensei-

tigen Maasse auflösen liessen. Fast überall, wo in der Geologie gerechnet worden ist, waren die Prämissen wenigstens ganz unzureichend bekannt, meistens ganz unvollständig, häufig grundfalsch; die Rechnung aber imponirt als solche. Viele geben sich in derselben, überwältigt vom Gefühl des Exacten, gefangen, und das Resultat wird angenommen, und wieder citirt in der Meinung, es handle sich hier um etwas Unantastbares. Die Unantastbarkeit liegt aber blos darin, dass einer zu kleinen Zahl die Methode, auf der es gewonnen worden, zugänglich ist. Man kann eine gewaltige Rechnung über die Kräfte zur Biegung der Schichten ausführen, und darin die innere Reibung, die in ihrer Grösse unbekannt und ungemessen, aber jedenfalls enorm gross ist, einfach weglassen, — man kann eine von tausend Stimmen nachgesprochene Rechnung über die Dicke der „festen" Erdrinde anstellen auf Grund des Stosses, den Fluth und Ebbe eines supponirten flüssigen Erdkernes auf die Rinde ausüben müssen, ohne zu bedenken, dass die feste Rinde selbst wahrscheinlich eine solche schwache Bewegung ausübt und dadurch den Stoss mildert, und dass zwischen den beweglicheu und „starren" Theilen eine breite Zone nur halbflüssiger Massen liegt, wo ein grosser Theil der Bewegung in innerer Reibung aufgezehrt wird, die man eben nicht in Rechnung ziehen kann (H. II. 242). Täuschung für die Rechner wie für die Wissenschaft selbst ist das Resultat davon, aber keine Vermehrung unserer Erkenntniss. Gewiss wird einst eine Zeit kommen, wo auch die Geologie an ihre Probleme mit Rechnung herantreten kann. Niemand kann sich darauf mehr freuen als ich selbst; allein wir werden diese Zeit nicht mehr erleben. Es ist eben leider nicht zutreffend, wenn Pfaff in seiner Vorrede sagt, dass wir „die physikalischen und chemischen Kräfte, welche noch jetzt auf der Erde wirken, genau kennen"; wir kennen sie direct nur in engen Grenzen der begleitenden Umstände, während die versuchten Rechnungen weit über diese Grenzen hinausgreifen.

Wenn ich Ansichten anderer bekämpfen muss, will ich stets offen deren Träger nennen. Es giebt im Kampfe gegen eine andere wissenschaftliche Anschauungsweise sehr unrichtige, ich möchte sagen rechtlose Mittel, die leider sehr im Gebrauch sind. Dahin gehört vor Allen das einfache Nichteintreten auf die Begründung des Gegners und ungenaues Studium seiner Arbeiten, ferner das Einrennen offener Thüren, welches wie Sieg klingt, und die Behandlung von thatsächlichen Beobachtungen des Gegners wie wenn es Hypothesen oder Theorieen desselben wären. Möchte es mir gelingen, mich selbst von solchem Verfahren fernzuhalten!

2. „Zur Mechanik der Schichtenfaltungen“ von Dr. F. M. Stapff.

Stapff beginnt seinen Aufsatz mit einer mir unverständlich gebliebenen Deduction, aus welcher hervorgehen soll, dass die Faltung einen Zusammenschub von 0,6366 im Mittel hervorzubringen vermöge, und dass, wo die Schichten noch stärker zusammengeschoben seien, die Faltung eine mehrfache gewesen sein müsse. Wir können nicht einsehen, warum die häufig vorkommende Parallelstellung der Faltenschenkel, welche oft bei ganz einfacher Faltenform einen viel stärkeren Zusammenschub nachmessen lässt, nicht durch ein und denselben intensiven Faltungsprocess in einer Faltungsepoche zu Stande gekommen sein soll. Ein logischer innerer Zusammenhang zwischen der geometrischen Deduction, welche Stapff zu jener Zahl geführt hat einerseits und andererseits den wirkenden Kräften, der Stauungsursache und dem Stauungsprocess in einem Gebirge ist gar nicht ersichtlich, so dass jene Zahl wenigstens mir als eine rein willkürliche quantitative Grenze zwischen einfacher und mehrfacher Faltung erscheint, der ich keinerlei Sinn abgewinnen kann. Sie erscheint in den meisten späteren Rechnungen von Stapff wieder. Warum soll ein Zusammenschub blos bis auf 0,6366 der ursprünglichen Breite gehen können? Wenn dann aber nach einer Pause derselbe auf's Neue wirksam wird, wie sollen dann diejenigen Kräfte, welche der erstmaligen Faltung bei 0,6366 eine Grenze setzten, plötzlich nicht mehr vorhanden sein, und ein abermaliger Zusammenschub von wieder gerade 0,6366, also nun zusammen von 0,6366 $\times$ 0,6366 stattfinden dürften? Warum soll der Zusammenschub stets bis auf 0,6366 gehen müssen? Gewiss ist es nothwendig, zwischen einmaligen und mehrmaligen Faltungsprocessen zu unterscheiden, es ist dies auch schon von vielen Forschern geschehen, aber der Betrag der Faltung, der in verschiedenen Perioden eintritt, wird sich gewiss nicht an ein solches geometrisches Gesetz halten müssen, vielmehr ist er das Resultat des ganzen durch sehr complexe Bedingungen (locale Widerstandsfähigkeit an den verschiedensten Stellen der Rinde, Schrumpfungsbetrag etc.) regierten dannzumaligen Zustandes der Erdrinde.

Stapff stellt nun (St. 296—300) eine Berechnung der zur Faltung von starren Schichten nothwendigen mechanischen Arbeit an unter der Voraussetzung, dass meiner Anschauung entsprechend auch „starre“ Gesteine plastisch ohne Bruch umformbar seien. Dass das Resultat der Rechnung

jedenfalls nicht mit der Natur stimmen kann, versteht sich deshalb schon von selbst, weil den Rechnungsgrundlagen unter noch anderen folgende Fehler anhaften:

1. Der Modul E der rückwirkenden Festigkeit des Schichtmateriales ist nicht, wie die Rechnung annnimmt, constant, sondern von der Dauer der Einwirkung und ferner davon abhängig, ob das gepresste Gestein allseitig mehr oder weniger oder einseitig gar nicht umschlossen sei.

2. Die Rechnung bezieht sich nur auf ein Gewölbe, nicht auf eine ganze Falte, in welch letzterem Fall wegen der Einsenkung des Muldentheiles daneben, die Kraft zur Hebung des Gewölbetheiles anders wird, und die stärkste Gebirgsfaltung gar nicht nothwendig zugleich eine durchschnittliche Hebung ist.

3. In der Rechnung figurirt in nichts weniger als einfachen Functionen die oben besprochene Zahl 0,6366.

4. Die innere Reibung bei der Umformung, welche wohl alle anderen Widerstände weit übertrifft, ist gar nicht in Rechnung gezogen.

5. Die Schicht, auf welche sich die Rechnung bezieht, ist zunächst als einzelne oben und unten freie Schicht angenommen, während alle unserer Beobachtung jetzt zugänglichen Schichten von unten unterstützt, von oben durch höhere, jetzt theils erodirte Schichten belastet waren.

Stapff findet nun, nachdem die Gleichungen noch auf verschiedene Weise umgeformt und durch Substitutionen theilweise in Zahlenwerthe aufgelöst sind, dass das Rechnungsresultat der Erscheinung in der Natur und dem Experimente (von Favre) widerspreche, indem es besagt, dass die höheren Schichten in zahlreicheren engeren, die tieferen in wenigen weiten Gewölben gebogen sein müssten. Er glaubt, es sei diese Nichtübereinstimmung der Beweis für die Unrichtigkeit meiner Anschauung, dass auch starre Gesteine sich plastisch verhalten können, welche Anschauung der Rechnung zu Grunde gelegt wurde. Einer Rechnung mit solchen Grundlagen kann aber keine solche Beweiskraft zugeschrieben werden.

Nun berechnet Stapff (St. 794 — 796) abermals die mechanische Arbeit, welche die Stauung einer Falte erfordert, aber unter der Annahme vollständiger innerer Zermalmung und späterer Wiederverkittung, also als Umformung durch Bruch, nicht als plastische Umformung. Der Rechnung haften folgende Fehler an:

1. Die Fehler der früheren Rechnung, welche wir oben mit den Nummern 1., 2. und 3. bezeichnet haben.

2. Die Annahme, dass einer Verkürzung der Schicht um 0,6366 eine Verdickung um 1,5708 entspreche, was doch nur bei mikroskopisch enger Fältelung, nicht aber bei weiter Biegung eintritt. Wenn die Schicht zu den äusseren Lagen eines sich wölbenden Systemes gehört, so kann sich sogar die Schichtoberfläche dehnen. Betrag des Zusammenschubes und Verdickung der Schicht stehen deshalb in keinem directen Abhängigkeitsverhältniss, die innere Reibung der Schicht aber wird sich je nachdem mehr Verdickung eintritt oder hingegen mehr Biegung sehr wesentlich ändern.

3. Die Arbeitsleistung wird berechnet 1. zum Zerquetschen, 2. zum Heben, 3. zur Ueberwindung der Reibungen an den Grenzflächen der Schicht. Die ganz besonders wichtige innere Reibung „entzieht sich der Berechnung“ (St. 794 unten).

Trotz dieser Fehler, die allerdings theilweise mehr blos numerisch in Betracht fallen, findet nun Stapff, dass das Resultat seiner zweiten Rechnung mit der Natur in Uebereinstimmung stehe, denn es müssen darnach „die tiefer liegenden Schichten bei Quetschung durch Seitenschub enger gefältelt, die höher liegenden dagegen zu einzelnen grösseren Falten geschlagen werden.“ Diese Rechnung enthält gegenüber der früheren die für Zermalmung nothwendige Arbeit. Das ist nun aber auch die Rechnung, welche dem „Pelomorphismus“, wie Stapff es nennt, d. h. der plastischen Umformung ohne Bruch, wie ich sie betont habe, viel besser entspricht, als die frühere mit dem widernatürlichen Resultat; denn die bruchlose Umformung fester Gesteine unter einem von allen Seiten die Festigkeit übersteigenden Druck, wie sie mir vor Augen steht, ist selbst nichts anderes, als die allerhöchste innere Zermalmung nicht blos in Gesteinsbrocken, sondern in mikroskopische Körner, in Molekule vielleicht, sie ist die vollständigste Ueberwindung der inneren Cohäsion und inneren Reibung. Der Unterschied gegenüber der gewöhnlichen Zermalmung besteht nur darin, dass die Cohäsion überwunden, aber nicht vollständig zerstört wird, weil die Theilchen in ihren Attractionssphären beisammengehalten werden. Stapff hat mich missverstanden, wenn er die von mir hervorgehobene Plasticität unter hohem, allseitigem Druck als einen Gegensatz zur Zermalmung auffasst (St. 799 oben).

Dass eine Gesteinsmasse, welche von allen Seiten her mit einer grösseren Kraft gepresst wird, als sie nothwendig wäre, um einseitig in sonst freier Umgebung das Gestein zu zermalmen, in dem Sinne plastisch wird, dass eine nun noch neu hinzutretende einseitige Kraft eine theilweise Umformung erzeugen muss, ohne dass der Raum zur Spaltenbildung und

dadurch zur Trennung in einzelne Stücke vorhanden ist, scheint mir eine einfache logische Folgerung zu sein, welche gewiss den Vorwurf, den ihr Stapff macht (St. 799 oben) nicht verdient. Diese Anschauung enthält keine neue Hypothese, keine Annahme eines neuen physikalischen Gesetzes. Der einzige schwierige Punkt dabei liegt darin, dass sie ein Schluss ist auf Erscheinungen, welche in einer Tiefe und unter Umständen vor sich gehen, wo keine directe Beobachtung, vielleicht kein Experiment möglich ist. Dass man beim Berg- und Tunnelbau, bei zerdrückten Gewölben etc., wie Stapff hervorhebt, noch niemals Erscheinungen beobachtet hat, welche als Beweis für den „Pelomorphismus" starrer Gesteine gelten könnten, versteht sich ganz von selbst; denn niemals waren dabei die verquetschten Massen **allseitig** über ihre Festigkeit hinaus belastet, sondern der Gebirgsdruck war einseitig aufgehoben, oder doch stark vermindert; daher konnte nur Brechen eintreten (H. II. 34, 91, 94, 95, 105). Die Erfahrungen, welche man in Bergwerken, bei Bauten, durch Experimente etc. bisher gewonnen hat, zeigen nur, dass gewaltiger Druck sich in festen Körpern nach allen Richtungen fortpflanzt, und ich habe sie auch (H. II. 89) nur für dieses Glied meines Gedankenganges, nicht für die bruchlose Umformung selbst, als Beleg angeführt.

Dass unterirdische Hohlräume um so eher eingedrückt werden, als unter sonst gleichen Verhältnissen die überliegende Gebirgsmasse höher ist, nennt Stapff „nicht wissenschaftlich" und „nicht exact", ohne diese Aussprüche zu beweisen. Ich habe mich hierüber schon in vielen Bergwerken genau erkundigt, und wo das Gestein in verschiedenen Tiefen gleichartig ist, stets die Antwort erhalten, dass beide, sowohl das Steigen des Bodens und Sinken der Decke in weicheren, als auch das Losbrechen von Schutt in den Wänden festerer Gesteine in den tieferen Stollen stärker und schneller fühlbar wird, als in den höheren. Dass alle sogenannten „zugewachsenen" Strecken in festem Gestein mit „abgelösten Wänden zugestopft" sind, ist sehr richtig, eben das ist aber zu einem grossen Theil die Folge des durch den Stollen einseitig aufgehobenen Gebirgsdruckes, der langsam fort und fort wirkt. Die bruchlose Einbiegung gegen den Stollenhohlraum könnte natürlich bei festen Gesteinen erst tief hinter den Wandungen stattfinden. Ich kann mich nicht klarer ausdrücken, als ich es (H. II. 105) schon gethan habe. Dass bei geringen Tiefen unter der Oberfläche, wie wir sie bei Tunnel und Bergbau meist treffen, die Festigkeit oder Unfestigkeit des Gesteins einen viel grösseren Einfluss auf die Druckhaftigkeit des Gebirges hat, als die Tiefe unter der Ober-

fläche, ist einleuchtend. Andererseits wird meine Auffassung auch nicht im Geringsten beeinflusst durch die Mittheilung von Stapff, dass bei 1555 M. Tiefe vertical unter der Oberfläche des Gotthardtunnels noch offene weite Krystalldrusen und Wasserklüfte angefahren worden sind. Dies widerspricht ihr nicht, sondern versteht sich von selbst: Die darüber liegende Bergmasse ist pyramidal, nicht prismatisch, westlich folgt sofort ein Thal, ebenso etwas entfernter südlich und nördlich der genannten Stellen. Der hohe Gipfel drückt nicht auf jene Stelle allein, die in Betracht kommende Belastung beträgt dort viel weniger, als die Hälfte einer 1555 M. hohen Gesteinsmasse, während das Gestein eine mittlere Belastung durch eine 2000 M. dicke Gesteinsschicht ertragen könnte, bevor es in die Kluft hineinbrechen müsste. Das Gebiet, wo offene, leere Klüfte unmöglich werden, liegt erst viel tiefer, wie ich dies schon auseinandergesetzt habe (H. II. 91). Ich hatte diese Verhältnisse übrigens, wie ich glaubte, genügend erörtert, um solche Missverständnisse von vornherein unmöglich zu machen (z. B. H. II. 91, 106, 107).

Hier ist der Ort, darauf hinzuweisen, dass Stapff sowohl wie Pfaff von plastischen, biegsamen Gesteinen einerseits, und unbiegsamen, festen, starren andererseits als zwei qualitativ ganz verschiedenen Dingen sprechen, ohne sagen zu können, worin der Unterschied besteht, oder auch nur einen solchen absoluten Unterschied zu constatiren. Wo es gilt, die Gesteine in diese zwei Gruppen zu scheiden, macht sich schon Unsicherheit geltend. Weiss man doch nicht, wo die Grenze legen; ist es denn so gar abentheuerlich, wenn man die obigen Unterschiede blos als quantitative auffasst und zur Ueberzeugung gelangt, dass die Spur von Plasticität, welche auch noch in den „festen“ Gesteinen enthalten ist, durch andere mechanische Umstände, also durch allseitigen starken Druck, vermehrt zur Geltung gelange? Ich werde den Ausdruck Pelomorphismus für den „latent plastischen Zustand“, wie ich ihn auffasse, nicht gebrauchen, denn er ist unsicher. Wenn Stapff daraus gar Schmelzung macht (St. 804) und zeigt, dass verschiedene Erscheinungen sich mit Schmelzung nicht vertragen, so sind solche Argumente ganz unzutreffend — eine geschmolzene Masse ist eine Flüssigkeit, deren Kennzeichen ausserordentlich verminderte innere Reibung ist, die innere Reibung gegen Umformung im „latent plastischen Zustande“ wird aber wohl noch grösser sein, als der Widerstand gegen gänzliche Zermalmung bei einseitiger Quetschung wäre. Wenn ferner (St. 810) gesagt wird: meine „Annahme führe unmittelbar zum Schlusssatz, dass die Gebirge der Erde versinken müssten, denn für eingeschlossene breiartig „fliessende“ Gesteinsmassen

sollen doch wohl keine anderen Gesetze als die bekannten hydrostatischen geltend gemacht werden", so liegt hierin die gleiche sehr auffallende Verwechselung von plastischem mit flüssigem Zustand, und die auffallendste Nichtbeachtung von H. II. 86, 90 und sogar der nachfolgenden damit übereinstimmenden Angaben von Stapff selbst (St. 811). Am Schlusse ferner No. 9 (St. 809) behauptet Stapff, „dass der Faltungsvorgang vielmehr mit Zermalmung des Gesteins verknüpft ist, dessen Scherben und Pulver nachmals wieder verkittet werden, und zwar vorzugsweise auf nassem Wege." Dass diese Art der Gesteinsumformung sehr häufig auftritt, habe ich in einem eigenen Abschnitte ausführlich dargestellt (H. II. 12 — 30), allein ich habe ebenso sorgfältig durch directe Beobachtungen, durch Messung, durch mikroskopische Prüfung etc. nachgewiesen, dass die Umformung durch Bruch in manchen Fällen thatsächlich nicht oder nicht vollständig eingetreten ist, sondern ein Theil der Umformung ohne Bruch sich vollzogen hat (H. II. 9, 23 u. 24, ferner der Abschnitt über die Erscheinungen der bruchlosen Umformung 31—75, besonders 34 und die später aufgeführte 5., 6., 8., 15., 16. Erscheinungsform). Das bisherige alpine Beobachtungsgebiet von Stapff enthält allerdings keine Stellen, welche ihn der Umformung fester spröder Gesteine ohne Bruch überzeugen konnten. Wer aber die gefältelten Hochgebirgskalkschichten im Thierfehd (Linthal) oder an manchen Stellen des Berner Oberlandes untersucht hat, wird die Thatsache der bruchlosen Umformung spröder Gesteine nicht leugnen können, und seine bisherigen theoretischen Anschauungen darnach modificiren müssen. Die beobachteten Thatsachen haben mich Schritt für Schritt zu meiner Anschauung gezwungen, ich habe versucht, dieselben auf bekannte physikalische Gesetze zurück zu führen.

3. „Der Mechanismus der Gebirgsbildung" von Prof. Dr. F. Pfaff.

Pfaff will zuerst nachweisen, dass sich in festen Körpern der Druck nicht gleichmässig fortpflanze. Er verwendet dazu Glasplatten und beobachtet an deren Polarisation Wirkung und Vertheilung des darauf angewendeten Druckes. Er presst aber die Platte nur an einem Punkte ihres Randes mit einer Schraube. Dass ein solcher Druck nicht gleichförmig in der Glasplatte sich vertheilen kann, ist selbstverständlich, beweist aber gar nicht, dass es ebenso sei, wenn der Druck, der grösser

als die rückwirkende Festigkeit ist, auf eine allseitig fest eingeschlossene Gesteinsmasse wirkt. Dann würde er sich wie in einer flüssigen oder gepulverten Masse fortpflanzen müssen. Ebenso durchaus unanwendbar auf die Gesteinsmassen, die in gewisser Tiefe allseitig eingeschlossen liegen, ist sein Versuch auf pag. 13.

Pfaff spricht den Satz aus (gesperrt gedruckt P. 17): „Wir müssen daraus den Schluss ziehen, dass feste Gesteine selbst bei einem einseitigen Drucke von nahe 22000 Atmosphären fest und spröde bleiben, und nicht duktil oder plastisch werden", und etwas höher oben: „Gesteinsplatten von mässiger Dicke halten selbst einen Druck von 21800 Atmosphären aus." Leider giebt Pfaff nicht näher an, mit was für Maschinen und Apparaten und auf welche Weise er diese Zahl gefunden hat, er verweist blos auf seine „Allgemeine Geologie", die uns auch keine genügende Auskunft über die Construction seines Hebels etc. giebt. Alle genauen Beobachtungen, welche über rückwirkende Festigkeit mit ausgezeichneten Festigkeitsmaschinen von zahlreichen Beobachtern gemacht worden sind (verglichen auch St. 811) erreichen für festesten Kalkstein allerhöchstens 1000 Kilogr. per □ Cm.; eine stärkere meistens schon eine nur halb so grosse Belastung zerquetscht den Kalkstein. Diese Zahl in Atmosphären umgerechnet beträgt blos 969! Wenn keiner der mit allen Mitteln arbeitenden Beobachter bisher einen Kalkstein gefunden hat, welcher 1000 Atmosphären erträgt, wenn der Versuch von Pfaff aber auf das 22fache führt, muss man da nicht annehmen, dass in demselben oder in dessen Ausrechnung irgendwo ein grosser Fehler steckt? Noch mehr: der allerbeste Stahl wird von 8000 Kilogr. per □ Cm. = 7800 Atmosphären vollständig zerdrückt, wie sollen die Stahlstempel, welche Pfaff angewendet hat, und wie soll sein eiserner Hebelarm ohne zu brechen das Dreifache dieses Aeussersten Druckes ausgehalten haben? Kein Apparat kann im Entferntesten diejenigen Kräfte aushalten, welche Pfaff von ihm als experimentell angewendet angiebt. Welches Vertrauen bleibt da noch in die Versuche selbst?

Fast ist es dadurch überflüssig geworden, die Schlüsse, in welchen er seine Versuchsresultate weiter verwendet, zu besprechen, doch wollen wir gründlich sein.

Dass auch bei Pfaff's 22000 Atmosphären, die, wie er in obigem Satze selbst angiebt, einseitig angewendet wurden, die festen, spröden Gesteine nicht plastisch geworden sind, versteht sich von selbst, denn sie können durch einseitigen Druck niemals plastisch werden, ich habe das stets betont und bin dennoch überhört geblieben.

Der Hauptversuch von Pfaff, den er pag. 18 mittheilt und abbildet, leidet zunächst daran, dass sein Stempel unmöglich fast 10000 Atmosphären und dazu noch 7 Wochen lang aushalten konnte. Wo es auf andauernde Belastung ankommt, wagen die Ingenieure nicht mehr als 1500 Atmosphären auf besten Stahl drücken zu lassen, bei 8000 wird er unwiderruflich zerquetscht.

Nehmen wir dessenungeachtet an, das Experiment sei richtig ausgeführt worden, so müssen dabei folgende Punkte beachtet werden:

1. Bei den ausserordentlich engen Dimensionen, welche der Apparat und der Gesteinscylinder halten, ist es keineswegs sicher, dass die durch die ungeheure Belastung des Stempels erzeugte Verdickung desselben in seiner Führung nicht Reibungen in's Spiel brachte, welche die Uebertragung des vollen Druckes auf den Gesteinscylinder und noch mehr die Vertheilung desselben im Gesteinscylinder hinderten, so dass wir nicht wissen können, ob im Gesteinscylinder der Druck einen allseitigen Gegendruck erzeugt hat, der grösser als die Festigkeit war.

2. Ein Druck von allen Seiten, welcher grösser ist als die Festigkeit, macht die Gesteine erst latent plastisch, d. h. er erzeugt einen Zustand, in welchem eine neu noch dazu tretende Kraft eher eine bruchlose Umformung als ein Zerbrechen erzeugen könnte. Nun muss aber noch diese neue Kraft hinzutreten. Sie hat die innere Reibung zu überwinden, die jedenfalls allein schon den Widerstand gegen Zermalmen bei einseitigem Druck bedeutend übersteigt. Die Umformung ohne Bruch erfordert also: a. allseitigen Druck grösser als die rückwirkende Festigkeit (latent plastischer Zustand), dazu muss sich zn Ueberwindung der inneren Reibung addiren: b. ein einseitiger neuer Druck, der wiederum seinerseits wenigstens ebenso gross geschätzt werden muss (H. II. 92). Der Druck, welcher in einem solchen Experiment wirkliche Umformung erzeugen könnte, muss also viel grösser sein als derjenige, welcher den latent plastischen Zustand erzeugt, d. h. als derjenige, welcher die bruchlose Umformung für eine zweite Kraft erst möglich macht. Pfaff vergleicht nun irrthümlicherweise denjenigen Druck, bei welchem er noch keine plastische Umformung erhalten mit demjenigen, den ich als nothwendig angebe, um erst den latent plastischen Zustand zu erzeugen, statt mit dem gewiss mehr als doppelt so grossen, welcher zur Umformung nothwendig wäre. Obschon ich die innere Reibung nicht in Rechnung ziehen kann, besteht sie eben doch!

3. Pfaff hat auf die gepresste eingeschlossene Gesteinsmasse nicht noch eine neue Kraft zur Umformung seitlich einwirken lassen, wie es bei der Gebirgsbildung der Fall ist, sondern er hat an einer sehr kleinen Stelle den Druck durch Anbringen einer seitlichen Bohrung im umschliessenden Material fast auf 0 reducirt. Dadurch hat er den latent plastischen Zustand wieder aufgehoben. Allerdings muss eine Umformung erzeugt werden, wenn einseitig der Druck abnimmt, aber nur unter der Bedingung: a. dass die am geringsten gepresste Stelle noch stärker gepresst sei als zur Ueberwindung der frei gemessenen rückwirkenden Festigkeit nothwendig wäre, und b. dass die Differenz zwischen diesem Minimaldruck und dem Maximaldruck, der auf die Masse wirkt, noch gross genug sei, um die innere Reibung zu überwinden. Die erste Bedingung war durch Pfaff's Experiment nicht erfüllt, die zweite ist dadurch ebenfalls gebrochen. Das äusserste was Pfaff's Experiment unter günstigeren Umständen hätte ergeben können, wäre eine Absplitterung pulverfeiner Theilchen des Kalkcylinders gegen die seitliche Bohrung hin gewesen.

4. Je kleiner die Felsstücke im Gebirge sind, welche Umformung erkennen lassen, je stärker also die Differenzialbewegungen im Gesteine waren, eine um so grössere Leistung der Kräfte ist diese Umformung (H. II. 33). Bruchlose Biegung einer 1 Meter dicken Schicht in einen Bogen von 100 Meter Radius ist eine viel geringere Leistung, eine weniger ausgedehnte Ueberwindung der inneren Reibung, als eine bruchlose Umformung, die schon an einem Gesteinsstück von blos 1 Kub.-Centimeter wahrnehmbar wird; denn bei der gebogenen Schicht summiren sich sehr kleine Verschiebungen der Moleküle auf weite Erstreckung. Die gleichen Kräfte, welche das erstere erzeugen, vermögen noch lange nicht so enorme Differenzialbewegungen zu Stande zu bringen, wie sie dem letzteren entsprechen. Nun sind die Dimensionen des Pfaff'schen Apparates der Art klein, die seitliche Oeffnung ist so eng und unvermittelt angebracht, dass die innere Reibung und die Stauung der Bewegungsfäden vor der seitlichen Oeffnung eine ausserordentliche werden muss, zudem ist nach 3. dort das Gestein aus Mangel an Gegendruck nicht plastisch. Pfaff will das Gestein durch eine enge seitliche Röhre von kaum 1 Mm. Querschnitt hindurchtreiben! Dies erfordert nicht nur hundert, sondern vielleicht mehrere tausend Mal so viel localer Differenzialbewegung, d. h. Ueberwindung innerer Reibung, als die völlige Umbiegung einer Gesteinsschicht in den oben als Beispiel aufgeführten Dimensionen zu einem Halbcylinder, und noch viel mehr als selbst die enge Fältelung, wie ich sie auf

Taf. XIV. Fig. 16 meiner „Untersuchungen ....“ abgebildet habe. Ich kenne kein Beispiel einer Gesteinsumformung aus den Alpen, wo dem Gestein auch nur im Entferntesten Zumuthungen gemacht worden sind, wie in Pfaff's Experiment. Dadurch, dass er mit fast 10000 Atmosphären das Allerübertriebenste von Umformung nicht hervorzubringen vermochte, ist nicht im Entferntesten unwahrscheinlich gemacht, dass $^1/_{10}$ dieser localen Intensität der Kräfte genügt hat, die meisten alpinen Schichtfaltungen zu erzeugen.

5. Schon aus dem Obigen geht hervor, dass, wenn ich 2600 M. mittlere Gesteinsbelastung zur Erzeugung des latent plastischen Zustandes als nothwendig bezeichnet habe, diese Kräfte noch keine Umformung erzeugen können. Pfaff irrt sich, wenn er (P. 20) diesen Druck als den von mir „für das **völlige** Plastischwerden der Gesteine“ berechneten hält (verglichen die obige 2.). Es giebt weichere plastische Massen, d. h. solche, deren Umformung eine geringe innere Reibung entgegensteht, so dass sie sogar von der Hand knetbar sind, und festere plastische Massen, bei welchen die innere Reibung sehr bedeutend sein kann. Die plastischen Massen sollten unter allen Umständen niemals mit den flüssigen, bei welchen die innere Reibung ausserordentlich gering ist, verwechselt werden. Es ist deshalb ganz irrig, wenn Pfaff meint, nach meiner Ansicht müssten durch solchen allseitigen Druck die Gesteine plötzlich breiweich werden. Weich und plastisch sind verschiedene, sich nicht deckende Eigenschaften (H. II. 82). Der latent plastische Zustand der Gesteine in der Tiefe, wie ich ihn zu erkennen glaube, widerspricht aus dem gleichen Grunde durchaus nicht den Anschauungen von Reyer, der es für wahrscheinlich hält, dass sonst flüssiges Magma im Erdinnern durch Belastung fest sei, es wird latent plastisch sein, deshalb aber vielleicht doch nicht flüssig, indem die Pression die Moleküle so nähert, dass der innere Widerstand gegen Differenzialbewegung viel grösser wird, als bei Flüssigkeiten. Darnach könnten sowohl flüssige als starre Substanzen durch Druck zu festen, latent plastischen Massen werden.

6. Die Zeit ist bei einer Arbeitsleitung wie die mühsame Ueberwindung der inneren Reibung ein wichtiger Factor. Die Kräfte, welche in Pfaff's Versuch das Unerhörte leisten sollten, blieben nur sieben Wochen in Aktion, die Kräfte, welche viel weniger hochgradige Umformungen der Gesteine bei der Alpenfaltung erzeugten, haben ungezählte Jahrtausende, vielleicht Jahrhunderttausende gearbeitet.

7. Pfaff hat zu seinem Versuch eines der allerschwierigsten sprödesten Materialien, lithographischen Kalkstein von

Solenhofen, benutzt, also auch in dieser Richtung das Schwierigste verlangt.

Es ist nicht nur von Pfaff und Stapff, sondern auch noch von anderen Seiten ausgesprochen worden, dass meine Theorie der bruchlosen Umformung doch experimentell erhärtet werden sollte. Niemandem kann das wünschbarer sein, als mir selbst. Ich habe mir die Frage nach Experimenten sehr oft gründlich überlegt, bin aber stets zum Resultat gekommen, dass es in Wirklichkeit fast unmöglich ist, die Bedingungen der Art herzustellen, dass das Resultat des Experimentes wirklich entscheidend werden kann, und habe deshalb Versuche unterlassen. Mit Versuchen im Kleinen lässt sich hier nichts erreichen. Umsichtiges gründliches Experimentiren stösst auf ausserordentliche Schwierigkeiten. Wir müssten mit grösseren Massen in ganzen Versuchsreihen arbeiten. Solche grössere Massen erfordern noch viel grössere Kräfte und lange Zeit der Einwirkung. Wie und aus was für Materialien sollen die Apparate gebaut werden, da wir mit den Versuchen an die Grenze der Widerstandsfähigkeit aller uns bekannten Materialien treten? Auf welche Weise sollen wir die Pressungen erzeugen und wirken lassen? Die einzigen Experimente, von denen ich glaube, dass sie nach andauernden Versuchen zum Ziele führen würden, kann ich nicht unternehmen, weil die Herstellung der Apparate und die Versuche selbst Summen, Zeit und andere Hilfsmittel verlangen, die für mich alle in gleicher Weise unerschwinglich sind. Einem Versuche wie der oben durchbesprochene von Pfaff kann sicherlich nicht das geringste Gewicht beigelegt werden.

Unter diesen Umständen bleibt zunächst der Weg übrig, diejenigen Experimente genau zu studiren, welche die Natur selbst ausgeführt hat, d. h. durch directe Naturbeobachtung die Bedingungen aufzusuchen, unter denen in der That bruchlose Umformung eingetreten ist, und diejenigen kennen zu lernen, unter denen sie nicht eintritt (H. II., Abschnit I., B. und C., besonders 74, 75). Ich habe die bisherigen Beobachtungen anderer Forscher bis zu einem gewissen Grade vermehrt und dann so sorgfältig als es mir möglich war, interpretirt. Pfaff lässt diese Seite meiner Arbeiten ausser Acht; er bekämpft stets nur die theoretischen Endresultate ohne jemals auf eine Prüfung oder Würdigung der Beobachtungen einzugehen, die inductiv Schritt für Schritt mich zu meiner Anschauung gezwungen haben.

Pfaff stellt nun eine Reihe von Experimenten an (P. 23 u. 24), um zu zeigen, dass sich in plastischen Massen der seitliche Druck nicht oder nur auf ganz geringe Entfernungen

fortpflanze. Allein die Experimente erlauben die daraus gezogenen Schlüsse über Gebirgsstauung nicht, denn:

1. der seitlich ausgeübte Druck konnte sich an Versuch P. 23 nicht weiter in der plastischen Masse fortpflanzen, weil die Reibung an der festen Unterlage entgegenwirkte, die Pfaff ganz ausser Acht lässt. Die Gebirgsstauung bestand nicht in der Verschiebung plastischer Massen, auf einer starren Reibungsunterlage.

2. Die in Anwendung gebrachten plastischen Massen waren zu gleicher Zeit weich, die innere Reibung somit kleiner als bei Gesteinen.

3. Das Experiment bezieht sich blos auf oben freie Schichten, während die gefalteten Schichten der Gebirge alle von früherer Belastung durch Denudation erst allmählich entblösst worden sind und die während der Faltung oben freien Schichten nicht mehr zu beobachten sind.

Das folgende Experiment (P. 24), wo der Thon nur aus der dem Kolben näher gelegenen von zwei seitlichen Oeffnungen aus einem prismatischen Kasten ausquillt, misst ebensowenig die Fortpflanzung des Druckes in allseitig eingeschlossenen, sondern blos in an einzelnen Stellen vom Gegendruck befreiten plastischen, starr umgebenen Massen. Das beobachtete Resultat ist blos Folge der inneren Reibung und der Reibung an den Gefässwandungen, welche beide für Ausquetschen aus der vom Kolben entfernteren Oeffnung viel grösser sind, als für die nähere. Deshalb, aber nicht weil der Druck in plastischen, allseitig eingeschlossenen Massen sich nicht allseitig gleichförmig fortpflanzen würde, quillt der Thon nur aus der näheren Oeffnung.

Pfaff beginnt pag. 24 die Besprechung der „Wirkungen des in der Erdrinde durch Contraction des Erdkörpers entstehenden Seitendruckes“. Er macht zunächst allerlei Voraussetzungen, die er theils ausspricht, theils stecken sie stillschweigend in seinen Erörterungen. Solche sind z. B.:

1. dass die feste Erdrinde 10 geogr. Meilen dick sei;

2. dass sie durch und durch ähnlich einem Mauerwerk von horizontalen und verticalen ebenen Fugen durchsetzt sei;

3. dass die verschiedenen Schichten gleich resistenzfähig seien;

4. dass der Seitendruck gleichmässig auf alle Schichten wirke;

5. dass die Erdrinde sich als mechanisches Ganze wie eine Schale aus einem Guss biege;

6. dass den inneren Verschiebungen an Kluftflächen keine Reibungen entgegenstehen.

Die Unsicherheit und Ungenauigkeit der Nummern 1, 2, 3 ist einleuchtend, die Voraussetzungen 4 und 5 aber sind im directesten Widerspruch zur Wirklichkeit (wir kommen theilweise auf dieselben zurück).

Auf Grund dieser Voraussetzungen gelangt Pfaff auf dem Wege der blossen Speculation (P. 30) auf die beiden Sätze:

1. „Durch getrennte Massen pflanzt sich der Druck nur dann fort, wie wenn sie unzertrennt wären, wenn die Trennungsflächen alle senkrecht zu der Druckrichtung stehen."

2. „Ueberall wo die Lage der Trennungsfläche gegen die Druckrichtung eine andere wird, ändert sich auch die Bewegungsrichtung der durch den Druck bewegten Massen."

Diese beiden Sätze sind richtig für die unmittelbar an der Oberfläche liegenden Schichten (freilich nicht ganz genau, weil die Reibung an schiefstehenden und liegenden Kluftflächen darin unberücksichtigt geblieben ist). Daher sind denn auch in den jeweilen wieder oberflächlich sich entblössenden Schichten und in den höheren Schichten eines Gebirges überhaupt kleine Brüche, Verschiebungen so viel häufiger als in den tieferen Lagen (verglichen ferner die Versuche von Favre). Allein diese beiden Sätze sind schon für eine 10 M. unter der Oberfläche liegende Schicht nicht mehr zutreffend und widersprechen der Natur umsomehr, je tiefer wir gehen. Sie können deshalb auf die Erklärung des Kettengebirgsbaues, wie er heute nach Abspülung der oberen Massen vorliegt, keine Anwendung finden. Die Voraussetzungen 4, 5 und 6 sind an diesem unrichtigen Resultate Schuld.

Nun folgen Experimente in kleinem Maassstabe mit „Brettchen von Cigarrenkistchen" (P. 34). Welcher Zusammenhang besteht da noch zwischen Experiment und Natur? Auf solche Versuche ernstlich näher einzutreten, wird mir Niemand zumuthen wollen. Wer experimentiren will, hat vor Allem für logische Verbindung von der gestellten, aus der Natur herausgeschälten Frage und dem Experiment zu sorgen; das Herausschälen einer Erscheinung aus deren natürlicher Verwickelung erfordert einen gewissen Takt. Ja, wenn die Brettchen vielleicht einige Meilen lang gewesen wären!

Der Ausspruch (P. 37), dass Wirkungen des Seitendruckes der Unterlage auf aufgelagerte „indirect" gepresste Schichten ein „Auseinandertreiben der Masse zu erzeugen strebt", ist im Allgemeinen verkehrt. Wenn auf einer ebenen, seitlich gepressten Schichtplatte ein isolirter Fetzen einer höheren Schicht lastet, so wird derselbe eine muldenförmige Einbiegung der Schicht befördern, und selbst als Muldenkern eingeklemmt werden. Wenn die Unterlage zusammengeschoben wird, wird

auch die durch Druck und Reibung daran haftende Decke zusammengeschoben. Eine Zertheilung höherer Schichtfetzen durch solche indirecte Wirkung des Seitendruckes könnte nur ganz local auf den Gewölbescheiteln eintreten. Der von Pfaff (P. 37) in seiner Figur 25 dargestellte, nur behauptete, nicht einmal durch's Experiment gefundene Fall, wo ein Gewölbe unter dem aufliegenden Schichtenfetzen keilförmig aufsteigend denselben in zwei Stücke trennt und seitlich schiebt, geht von der verschwiegenen Voraussetzung aus: 1. dass schon ein Gewölbe unter dem Fetzen vorgebildet war, 2. dass der aufliegende Schichtfetzen nicht breiter als eine Falte sei, 3. dass an der Begrenzungsfläche zwischen direct und indirect seitlich gepressten Schichten keine Reibung sei. Diese sämmtlichen Voraussetzungen treten in der Natur nur ganz local, theilweise niemals ein. Pfaff krönt die Betrachtung über „indirecte Wirkungen" des Seitendruckes mit dem Ausspruch: „Bei genauer Untersuchung in der Natur werden die indirecten oder, wie wir sie auch bezeichnen können, secundären von den directen oder primären Bewegungen wohl meist leicht zu unterscheiden sein." Da sehen wir mit Freuden einen Hinweis auf die Natur, allein die Enttäuschung folgt auf dem Fusse nach, denn es ist Pfaff nicht eingefallen, weder in geologischen Karten und Profilen, noch gar in der Natur dieser Frage weiter nachzuspüren. Der erste Versuch dieser Art hätte ihn, der doch der Denudation so wenig Einfluss zuschreibt, gelehrt, dass einzelne Fetzen jüngerer Schichten sehr häufig in Mulden der directer gepressten älteren eingeklemmt, enge gefältelt oder ganz zusammengequetscht, aber nicht zertheilt liegen, und dass sie zertheilt an den Flanken eines Gewölbes nur ausserordentlich selten durch ganz andere locale Ursachen erklärbar vorkommen.

Pfaff lässt (P. 38 bis 44) eine ganze Reihe von Betrachtungen folgen, welche wieder blos im Studirzimmer auf Grund ganz willkürlicher und der Natur widersprechender Grundlagen aufgebaut sind und zu falschen Schlüssen führen. Ohne auf alles Einzelne näher einzugehen, will ich nur beispielsweise herausgreifen: Pfaff behauptet, dünne Schichten plastischer Massen hätten keine Wirkung, während gerade durch sie die Reibung auf den Schichtfugen wesentlich vermindert wird, und dadurch der schichtige Bau noch viel stärker mechanisch zur Geltung kommt (H. II. 75 etc.). Ferner wird mit Lehm und Brettchen, welche plastische und feste Schichten vorstellen sollen, experimentirt, natürlich in Dimensionen, wo die eigene Schwere niemals die Cohäsion zu überwinden vermöchte. Die früheren irrthümlichen Schlüsse werden wieder in die neuen Deductionen mit eingeschlossen. Bei plastischen

Massen sei die Bewegungsrichtung stets genau zu erkennen (P. 41), „was wir am einfachsten durch folgende (P. 42) schematische Figuren veranschaulichen können". Auch hier nur schematische Betrachtung im Studirzimmer, kein Versuch zur Beobachtung in der Natur. Endlich heisst es am Schluss (P. 43): „wir haben nun die mechanischen Vorgänge in den „geschichteten festen und plastischen Massen der Erdrinde „näher kennen gelernt, die eintreten müssen, wenn wir uns „diese Massen von zwei Seiten her einem starken Drucke aus„gesetzt denken." Eines Commentars bedarf dieser Ausspruch wohl nicht mehr.

Wenn die natürlichen Erscheinungen der Kettengebirge nicht mit demjenigen übereinstimmen, was Pfaff als die nothwendigen Folgen eines Seitendruckes hinstellt, so ist damit nicht im Entferntesten bewiesen, was er anstrebte, nämlich dass nicht Seitendruck die Kettengebirge gestaut haben könne, denn seine Reflexionen über die Folgen eines angenommenen Seitendruckes sind alle falsch.

Nachdem Pfaff im zweiten Kapitel „untersucht" hat, welches die Resultate sein müssten, vorausgesetzt, dass seitliche Pressung gewirkt habe, kommt er in seinem dritten Kapitel (P. 45) zu den „Ursachen des Seitendrucks in der Erdrinde". Er glaubt, zwei Fälle unterscheiden zu müssen: 1. wenn die Erde beim Beginn der Rindenbildung durch und durch eine gleiche Temperatur, und zwar diejenige des Schmelzpunktes hatte, könne es durch die Abkühlung gar nicht zum Seitendruck kommen. 2. Nur wenn beim Beginn der Rindenbildung im Innern eine höhere mit der Tiefe zunehmende Temperatur herrschte, könne allerdings Seitendruck in der Rinde durch fortschreitende Abkühlung des Kernes eintreten. Das letztere (P. 48—59) „zwänge" aber (P. 105, Zusammenfassung) zu folgenden „höchst bedenklichen weiteren Annah„men: a. dass die Temperatur des flüssigen Inhaltes bedeutend „höher sei, als die Schmelztemperatur der Gesteine; b. dass „die Abkühlung in der Tiefe stärker gewesen sei, als an der „Oberfläche", was nicht möglich sei. Pfaff leugnet also schliesslich die Möglichkeit eines Seitendruckes ganz.

Den zu den genannten Resultaten führenden Betrachtungen liegen folgende Irrthümer und Ungenauigkeiten zu Grunde:

1. Es wird an einer schematischen Figur erläutert (P. 49), dass durch Contraction nach innen sich verengende radiale Risse in der Rinde entstehen müssten; deren klaffende Weite an der Oberfläche wird berechnet und behauptet (P. 53), dass zuerst durch weitere Contraction der Erde alle diese Risse geschlossen werden müssten, bevor Seitendruck in der Erdrinde

entstehen könne, was einer Radiusverkürzung der Erde um 15,8 geographische Meilen bedürfe. In Wirklichkeit könnte aber die Erde nur dann nach dem angenommenen Schema zerspalten, wenn ihre gewaltige Rinde ohne vorwiegende Horizontal-Structur rasch aus einem homogenen Guss homogen und unter constant bleibenden Bedingungen erstarrt wäre. Die gebildeten Risse könnten ferner nur dann, wie Pfaff annimmt, als klaffende Fugen warten, bis sie durch weitere Erdcontraction wieder geschlossen würden (P. 53), wenn an der Erdoberfläche alles ewig starr und unveränderlich bliebe. Die Grösse der Erde nahm nicht erst um den ganzen Betrag ab, nachdem die ganze Rinde gebildet war, sondern allmählich während der Schalen- und Schichtenbildung. Ein Geologe, d. h. ein Naturforscher, der die an der Erdoberfläche jetzt vor sich gehenden Veränderungen und ebenso den jetzigen inneren Bau der Erdrinde aus Anschauung kennt, weiss, dass die Rinde, sehr wechselvoll gebaut, nicht Product einer zusammenhängenden Erstarrung ist. Die Contractionsklüfte der ersten Rindenschalen sind durch Verwitterungsproducte, noch viel mehr durch Sedimentbildung, durch Secretionen, und vor Allem durch Eruptivgesteine (Gänge, Stöcke etc.) stets vorweg wieder ausgekittet und ausgegossen worden. In Folge dieser stetigen Ausfüllung der Contractionsrisse waren jederzeit die verschiedenen Rindenschalen in ihrer Grösse dem damaligen noch heisseren grösseren Kerne angepasst, und deshalb musste jede weitere Erstarrung und Abkühlung sofort Horizontaldruck erzeugen, gleichgültig, ob der flüssige Kern zur Zeit der ersten Rindenbildung bis heute blos 2000 oder noch viel mehr Grade im Ganzen oder in einzelnen Theilen hatte. Die Rinde ist übrigens schon lange in ihren äusseren Schichten erkaltet, der Kern erkaltet noch fort; Pfaff denkt stets nur an die Grenzschichten zwischen fester Rinde und flüssigem Innern oder an die Verhältnisse zur Zeit der ersten Rindenbildung (P. 56), statt an die oberen Rindenschichten und die späteren Perioden. Durch die gänzliche Nichtbeachtung des wirklichen Baues der Erdrinde allein schon sind alle Auseinandersetzungen, welche wir im dritten Kapitel von Pfaff finden, jedes logischen Zusammenhanges mit der Natur beraubt.

2. Pfaff nimmt die Schmelzhitze der Gesteine in allen Tiefen ohne Rücksicht auf Einfluss des Druckes und der Durchgasung (Angelot, Tschermak, Reyer etc.) zu 2000° an.

3. Mit dem von Pfaff adoptirten Contractions-Coefficienten darf gar nicht in der Weise gerechnet werden, weil er ohne Rücksicht auf Durchgasung, auf Gasausscheidung, Dunsung und dergleichen Erstarrungserscheinungen experimentell

unter ganz anderen Bedingungen festgestellt worden ist, als sie der Erstarrung des Erdmagma entsprechen.

4. Die Annahme (P. 56 Mitte), dass festes Erdmagma von 2000° gleiches specifisches Gewicht habe, wie flüssiges von 2000° wiederspricht aller Wahrscheinlichkeit.

Hiermit können wir nach meinem Dafürhalten das ganze dritte Kapitel von Pfaff als abgethan bezeichnen.

Das vierte Kapitel von Pfaff handelt von der Grösse des Seitendruckes in der Erdrinde. Auf die Seitenflächen eines Stückes der Erdrinde von 10 geographischen Meilen Dicke betrage derselbe 1575550000 Atmosphären. „Dass dieser „Druck die äussersten Schichten zermalmen müsste", fährt Pfaff fort, „ist gar nicht zu bezweifeln. Da wir aber von „solchen Wirkungen wenig oder gar nichts sehen, so müssen „wir schliessen, dass dieses Maximum des Druckes nicht statt-„finden kann. Jede offene Spalte in einem Steinbruche wider-„spricht der Annahme eines solchen Druckes" (P. 62).

Diese wörtlich wiedergegebene Reflexion halte ich für ganz unrichtig, denn das von Pfaff aus der Erde geschnitten gedachte keilförmige Stück Rinde ist in Wirklichkeit keine mechanische Einheit, so dass die Last der tieferen Theile die höheren nachziehend auch oben in vollem Maasse zur Geltung kommen könnte. Im Gegentheil, die Schichten würden sich von einander losblättern. Deshalb wirkt der gedachte Keil in den oberen Theilen nur mit der Last seiner oberen Schichten, so dass in den der Beobachtung zugänglichen Theilen die Wirkung nicht auffallend sein kann. Für die tieferen Theile wirken die oberen mit, denn Druck, Last, die von oben nach unten wirkten, werden von den Gesteinen fortgepflanzt, aber nicht der Zug. Für die tieferen Theile ist die seither entblösste Faltung der Rinde gewiss der staunenswerthen Wirkung genug! Die Klüfte in den Steinbrüchen gehören der Oberfläche an, sie kommen entweder in seitlich freien oder doch in nicht zu tiefen Massen vor. Klüfte sind übrigens meistens keineswegs Unterbrüche in der Druckleitung, wie Pfaff in Folge schematischer Vorstellungen über die Lage derselben stets annimmt, denn sie klaffen selten auf weitere Erstreckung, ohne dass dazwischen die beiderseitigen Massen oft hart an einander sich stützen. Trockenmauern aus Bruchsteinen, Dämme aus Steinschutt, Bergversatz und andere durchrissene Massen vermögen auch Lasten zu stützen und den Druck zu leiten, obschon auch hier Klüfte senkrecht zur Druckrichtung stehend vorkommen. Die Rutschstreifen auf Spaltfugen beweisen direct, dass Druck auf den Kluftflächen übertragen wurde. Spalten zeigen nur, dass local in bestimmter Richtung durch irgend-

welche Ursachen die Gesteinsfestigkeit überwunden worden ist, dass aber der Druck, welcher local senkrecht zur Kluft waltete, die Gesteinsfestigkeit nicht vollständig zu überwinden vermochte, sonst wäre das Gestein zermalmt und in die Spalte gedrängt worden.

Pfaff meint (P. 71), man kenne keinen einzigen Fall von seitlichen Verschiebungen; allein wir kennen ja in Gebirgen, besonders im südlichen und östlichen Theil der Alpen, im Jura etc. so manche Bsispiele dafür, dass an Verwerfungen die beidseitigen Gesteinsmassen horizontal gegeneinander um bedeutende Beträge verschoben worden sind. In den Alpen laufen diese Verschiebungslinien meistens S-N., der östliche Theil ist dann weiter gegen N. vorgeschoben, als der westliche. Ausserdem braucht nur an das Calabrische Erdbeben erinnert zu werden, wo durch horizontale Verschiebungen bei Polistena und Catanzaro ganze Häusergruppen und Quartiere gegenseitig verstellt worden sind.

Zum grossen Erstaunen des Lesers fällt Pfaff plötzlich (P. 72) aus seiner Rolle und sagt von verticalen und seitlichen Bewegungen, welche durch Schrumpfung des Erdinhaltes entstehen: „Diese beiden zusammen sind es, welchen wir den „Hauptantheil an der Gestaltung der Erdoberfläche und dem „Aufbau der Gebirge zuschreiben müssen." Das ist das Gegentheil vom früher (P. 48 — 59 und 105) behaupteten. Aber rasch fasst er sich wieder und fährt (P. 73) wieder wie früher fort.

Pfaff schematisirt nun in seiner Weise mit einer Figur von sehr übertriebenem Verticalmaassstab (P. 74, Fig. 39) das Verhältniss von Continent zu Meergrund, worin der Continent gewissermaassen als ein nach oben etwas ausgewichener Gewölbestein der Erdrinde erscheint. Er behauptet dann (P. 77 — 78), dass Alles, was über den Meergrund rage, vom Seitendruck befreit sei und sich deshalb nicht falten könne. Pfaff übersieht angesichts seiner Figur, dass, im richtigen Verticalmaassstab gezeichnet, die Continente und Meerboden kaum merkbare Abweichungen von der genauen Gewölbelinie der Erdrinde sind, so dass die letztere selbst nicht für nahe der Oberfläche liegende Schichten unterbrochen wird. In seiner Behauptung steckt ferner die Annahme, dass die Last eines ganzen Continentes auf einer Fläche in der Höhe des Meergrundes drückend keinen Reibungswiderstand gegen Verschiebung an dieser Fläche hervorzubringen vermöchte. Während Pfaff oft die mächtigsten nach Belieben aus der Erdrinde geschnitten gedachten Stücke als mechanisch starre Einheit sich vorstellt (P. 62) und damit rechnet, denkt er sich hier plötzlich allen Zusammenhang eines Continentes mit den

tieferen Schichten aufgehoben, selbst bis auf die Reibung! Wenn der Sockel eines Continentes in der Höhe des Meerbodens zusammengeschoben wird, wird selbstverständlich die darauf lastende 4000 M. dicke Gesteinsschicht von continentaler Ausdehnung, auch wenn sie seitlich noch so frei ist, durch ihren Zusammenhang mit der Unterlage und vor Allem durch die Reibung mitgeschleppt.

Der Ausspruch: „Hebungen wie Senkungen lassen eine „gleichzeitige Faltung auf demselben grössten Kreise der Erde „nicht zu“ (P. 78 oben) ist ein Resultat:

1. der Annahme, dass die Erdrinde durch lauter steile durchgehende Klüfte in grosse quaderähnliche Stücke getheilt sei, welche Annahme ganz willkürlich zum geometrischen Beweis obiger Behauptung erfunden worden ist und mit der Wirklichkeit in Widerspruch steht. Die Verticalklüfte gehen in der Erdrinde uur selten durch grössere Schichtencomplexe durch, sie durchsetzen je nur eiuzelne Schichten oder kleinere Complexe; die durchgehendsten Fugen der Erdrinde sind die Schichtfugen der Sedimente und die Schieferungsfugen der krystallinischen Schiefer. Die Horizontalplattung der Erdrinde herrscht im Ganzen vor über die Querklüftung;

2. der Nichtbeachtung der Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit, dass die Querklüfte verschiedener übereinander liegender Schichten sehr mannigfaltig und ungleich geneigt sind, wodurch ihre Wirkungen sich grösstentheils wieder aufheben müssen;

3. der Nichtbeachtung der Reibung, welche der Verschiebung an Klüften, die nicht genau senkrecht zur Maximaldruckrichtung liegen, entgegensteht.

Mit einem (P. 79 Fig. 42 abgebildeten) Apparate, welcher in einen Kasten gebrachte Massen in beiden Dimensionen gleichzeitig zusammendrängt, will Pfaff nun untersuchen, welches die Folgen eines Druckes auf ein Erdrindenstück seien, das nicht nur in der einen Richtung, sondern wie es in der Erdrinde sein muss in beiden, oder besser in allen in einer Ebene gelegenen Richtungen horizontal zusammengestossen werde. Allein er gesteht ganz unumwunden (P. 80) ein, dass er vor dem Druck unter rechtem Winkel sich kreuzende Einschnitte über die ganze Fläche des Pappdeckels, der die Erdrinde vorstellte, einschnitt. Dann staute sich der Pappdeckel in einer Pyramide. Was hat dieser Versuch mit den Verhältnissen in der Erdrinde zu thun? Wir wissen es nicht!

Pfaff kommt zum Schluss, dass Faltung der Erdrinde nur durch einseitige Pressungen erklärbar wären, aber die Schrumpfung des Erdkernes stets „Folgen viel oder doppelsei-

tiger Pressungen“ ergeben sollten, welche aber bis jetzt noch nicht einmal nachgewiesen worden seien. Allein wegen der schon anfänglichen Cohäsionsunregelmässigkeiten, wegen der continentalen Hebungen und Senkungen war ja niemals für irgend einen Punkt der Horizontaldruck in allen Richtungen gleich gross. War er in einer Richtung stärker, so war die Lage der Falten — senkrecht zum Maximaldruck — bestimmt. Ich habe (H. II. 77, 78) auseinandergesetzt, warum eine entstandene Faltung eine kreuzende Bewegung erschwert, wenn nicht gar unmöglich macht. Die entstandenen Falten sind Verstärkungsrippen der Erdrinde, welche den kreuzenden Horizontalschub in andere Theile der Erdrinde ablenken können, ja müssen. Die Erdrindenstücke sind eben nicht in den engen laternenförmigen Apparat von Pfaff eingeschlossen, die Spannungen können vielmehr weit weg fortgepflanzt und durch andere Falten wieder abgelenkt werden. Die Gebirgsketten selbst zeigen, wie Druck von bestimmer Richtung durch das allseitig geschlossene Gewölbe der Erdrinde in bestimmte Gebiete zur Auslösung hingelenkt werden kann. Die verschiedenen Gebirge sind verschieden gerichtet, und die Ketten krümmen sich oft um, damit der Horizontalschub in allen seinen Richtungen vertheilt auf verschiedene Gebiete zur Auslösung gelange. Hilft Faltung allein nicht, so tritt oft noch Horizontalverschiebung hinzu. Pfaff vergisst pag. 108 abermals, dass die Kettengebirge verschiedene Richtung haben. Suess und andere haben theilweise auf diese Erscheinungen hingewiesen, ich habe denselben (H. II. 115 etc.) ein ganzes Kapitel „Verbreitung und Vertheilung des Horizontalschubes in der Erdrinde“ gewidmet. Trachten wir wiederum lieber darnach, das grosse Experiment der Natur richtig zu lesen und zu deuten, anstatt selbst in einem Maassstab und unter Verhältnissen zu experimentiren, welche das Experiment zum Spielzeug machen.

Nun folgen in dem Buche von Pfaff einige Betrachtungen, die schliesslich zeigen sollen, dass die Gebirgsfaltung eine „Oberflächenerscheinung“ sei. Eine ganz schematische Figur stellt die Erdrinde als eine mechanisch einheitliche Schale, oben und unten glatt und leer begrenzt, vor, worauf dieselbe zu einer gegen 100 geogr. Meilen breiten und über 20 geogr. Meilen hohen Falte aufgestossen werden soll (dies sind nämlich die relativen Dimensionen der Figur). An Hand dieser Figur wird dann gesagt: es sei „ohne Weiteres klar, „dass durch die ganze Dicke der Erdrinde hindurch diese „seitliche Verrückung einträte“ (P. 84). Mir scheint, es ist ebenso „ohne Weiteres klar“, dass dieses an der Figur gewonnene Resultat nichts mit der Natur gemein hat:

Der Horizontalschub ist ja durchaus nicht für alle Tiefenzonen der Erdrinde gleich gross, und er ist ungleich geringer, als es sich die Figur von Pfaff vorstellt. Die verschiedenen Tiefenregionen sind in verschiedenen Stadien der Abkühlung; sie sind nicht im Verhältniss ihrer Radien zu gross für den schwindenden Kern, sondern die äusseren Erstarrungslagen und die älteren Sedimente sind verhältnissmässig in höherem Betrage zu weit, als die inneren Erstarrungslagen, und haben sich deshalb schon falten müssen, bevor die tieferen die Faltung beginnen konnten. Während im verritzten Gebirge nahe der Oberfläche durch seitliches Freisein Unregelmässigkeiten in der Stauung eintreten können, hat wohl etwas tiefer in den ersten geschlossenen Schalenlagen (ältere Sedimente und krystallinische Schiefer in den Alpen) der Seitenschub sein Maximum; zu tieferen Schalen hin nimmt er allmählich ab, greift aber mit der Zeit immer tiefer. Langsam kommen wir in ein Gebiet, wo die fortschreitende Contraction Risse erzeugt, und wo sie, wenn noch Flüssiges vorhanden ist, Injectionen und Eruptionen nach sich zieht. Der Zusammenschub, der durch fortschreitende Abkühlung des Erdballs entsteht, ist also ganz verschieden gross in verschiedenen Lagen oder Schalen, und negativ in der Tiefe, selbst in schon festen Massen. Daher kann die Erdrinde niemals als Ganzes sich falten. sondern die einzelnen Lagen falten etwas verschieden stark und schmiegen sich dem entsprechend in verschiedenen Faltenformen und Faltenzahlen einander so gut als möglich mit allmählichen Uebergängen durch Zwischenschichten vermittelt an, oder es entstehen Verschiebungen als theilweise Ausgleichung der ungleichen Bewegung. In der That beobachtet man im Hochgebirge viele Fälle etwas ungleicher Faltung verschiedener Schichtcomplexe. In erinnere an die weiteren regelmässigeren Bogen der oberen Schichten, die gequetschteren, mehr geknitterten, mit Mühe in die Gewölbekerne der äusseren sich einschmiegenden tieferen Lagen (H. II. 73 bis 75), an den Formunterschied in der Faltung der oberen Lagen (Sedimente) gegenüber den Falten der krystallinischen Schiefer (H. II. 182 und vorhergegangene). Die Belastungsunterschiede während der Faltung haben freilich diese Unterschiede noch gesteigert.

Diejenigen Faltenformen, wie sie Pfaff (P. 85, Fig. 44) abbildet, um daraus den Schluss zu ziehen, dass die tiefste gefaltete Schicht nicht tiefer als die halbe Breite eines isoklinalen Gewölbes unter der Oberfläche liegen kann, habe ich in der Natur niemals gesehen. Solche Formen wären zudem blos unter der Annahme vorstellbar, dass unter der gleich-

förmig als eine Schicht gefalteten Masse ein leerer Raum oder eine Flüssigkeit sich befinde.

Die Faltenformen, welche im geschlossenen Terrain entstehen, sind ganz anders. Da sind die Faltenschenkel dünner als die Umbiegungsstellen, und bei den oberen Schichten die Gewölbe stärker, die aus tieferen Schichten gebildeten Gewölbekerne hingegen oft ganz zusammengequetscht. Es ist absolut nicht nothwendig, dass alle mitgefalteten Schichten in ihrer vollen Dicke oder auch nur in reducirter Mächtigkeit in einen Gewölbekern hinaufreichen, sie bleiben vielmehr allmälig tiefer zurück, und erledigen den Zusammenschub in Gestalt zahlreicherer kleiner Falten oder Fältelungen, oder bilden eine von Transversalschieferung durchsetzte Masse, während die Muldentheile auch noch in tieferen Schichten besser ausgebildet sind (H. Atlas, Profile und Taf. XIV. Fig. 17). Noch tiefer muss wegen dem geringeren Zusammenschub die Faltung allmälig abnehmen.

Weil

1. der Zusammenschub in verschiedenen Tiefenregionen der Erdrinde ungleich ist,
2. die Erdrinde ein complicirter blättriger Complex ist, dessen einzelne Blätter ungleichen Widerstand entgegensetzen,
3. die mechanischen Conditionen für die Faltung durch die nach der Tiefe zunehmende Belastung mit der Tiefe sich ändern,

so kann die Faltung nicht für alle Schichten harmonische Formen erzeugen und niemals kann die ganze Rinde wie eine Schicht gefaltet werden.

Weil Pfaff dies unberücksichtigt lässt, und stets meint, dass die ganze Erdrinde in allen Tiefenzonen gleichförmig zusammengeschoben sein müsste, findet er nun ein Missverhältniss zwischen Grösse der Falten und Dicke der Rinde; er behauptet deshalb, die Falten seien eine blosse „Oberflächenerscheinung“. Unterdessen wiederholen sich (P. 88 u. 89) frühere Irrthümer und neue treten in dichtem Gedränge hinzu. Dass die Faltung in den oberen Zonen der Erdrinde stärker ist, als in den tieferen und deshalb an alten steiferen Gebirgsmassen Ablenkung der Falten eintreten kann, ist nach meinen obigen Auseinandersetzungen wohl deutlich, und hiermit stehen die von Pfaff (P. 89) citirten Aussprüche von Suess in Uebereinstimmung; allein die oberen Zonen und die Oberfläche sind eben zweierlei Dinge.

Wie tief gehen denn die direct beobachteten Falten? Ergänzen wir die jetzt abgewitterten Falten so weit als dies mit

Sicherheit geschehen kann, so finden wir sehr häufig, dass die gleiche Schicht an ganz nahe gelegenen Stellen in Niveaudifferenzen von 2000, 3000 M. etc. vorkommt. Bei starken Falten ist der Betrag noch weit grösser. In der Glarner-Doppel-Falte sind die oberen Lagen der Eocänbildungen bis zu 6000 M. hinaufgefaltet und unmittelbar darunter greifen die gleichen Schichten unter das Meerniveau hinab. An letzterem Orte muss der Röthidolomit etwa 3000 M., der Gneiss etwa 4000 M. unter Meer liegen, was eine aus der direct beobachteten Gestalt der Falte abzulesende Höhendifferenz zwischen dem höchsten Gewölbepunkt und dem tiefsten Muldenpunkt der Sedimentbildungen von 10000 M. ergiebt. In einem Querprofil durch die Mitte des Finsteraarmassivs finden wir bei den Sedimenten allein durch Faltung erzeugte Niveaudifferenzen der gleichen Schicht von 9000 M. oder des höchsten Gewölbepunktes und tiefsten Muldenpunktes von 12500 M. Die obersten Lagen der krystallinischen Schiefer kommen in den Alpen in Niveaudifferenzen bis zu 12000 M. vor, was für höchsten Gewölbepunkt und tiefsten Muldenpunkt 15000 M. Niveaudifferenz ergiebt. Diese Zahlen folgen aus den Faltenformen, die wir direct beobachten können. Wie viele tieferen Schichten müssen dieser ungeheuren Faltengestalt sich noch anschmiegen, bis die Niveaudifferenz von 12000 M., die wir bei einer einzelnen Schicht beobachten, ausgeglichen ist, d. h. bis die Faltung aufhört? Sicher genug, um die Falten nicht eine „Oberflächenerscheinung“ nennen zu können. Nach meiner Schätzung ist eine vollständige Ausgleichung so tiefer Faltung, wie wir sie an der Oberfläche beobachten, kaum schon in höherer Zone als bei etwa 40000 M. unter dem Meerniveau, oder 45000 M. unter den Alpengipfeln denkbar. Wenn nun Pfaff die Erdrinde fast doppelt so dick annimmt, ist eine solche Faltung dennoch nicht eine Oberflächenerscheinung zu nennen. Pfaff macht überdies stets den Irrthum, dass er die Falten, welche wir jetzt in den Gebirgen beobachten, als diejenigen der Oberfläche annimmt, während doch die Denudation mächtige Complexe abgespült hat (H. I., Abschnit V., ferner II. 96 u. 97 und 165—169). Ohne einen einzigen Beobachtungsbeweis aufzubringen sagt Pfaff (P. 106), „die „stärksten Faltungen haben ganz deutlich erkennbar oft nur „die oberflächlichsten Schichten betroffen, es lassen sich nicht „die geringsten Spuren einer Theilnahme der tieferen Lagen „erkennen.“ Ich wäre sehr begierig, einmal einen solchen Fall in einem Kettengebirge zu sehen, wo unter gewaltig gefalteten höheren Schichten die tieferen ungestört liegen. Meines Wissens hat bisher kein Gebirgsgeologe einen solchen gefunden. Beispiele wie die Höhneburg bei Eisleben sind so sehr blos

localer Natur, dass Pfaff wohl an diese Fälle nicht denken kann, wenn er allgemein von Kettengebirgen spricht. Auf welche Beobachtungen stützt sich sein obiger Satz?

Wenn Pfaff später (P. 91) meint, dass wo die Faltung einmal begonnen habe, sie nach unserer Anschauung auch stets fortgehen müsste, so bedenkt er nicht genügend:

1. dass die Widerstände in einem gefalteten Gebiete mit der Faltenstauung selbst wachsen, so dass allmälig ein anderer Theil der Erdrinde der schwächere ist und dem Horizontalschub faltend ausweicht. Wäre dem nicht so, so würde es auf der Erde nur zwei verschieden gerichtete aber ungeheuerliche Falten geben;

2. dass der Horizontaldruck selbst abnimmt, sobald in Gestalt von Falten die Massen ihm ausgewichen sind;

3. dass in der That an vielen Stellen die Stauung ganze Perioden lang angehalten hat, und wie der Zusammenhang der Erdbeben mit den Dislocationen der Erdrinde zeigt, auch heute an vielen Stellen stets noch fortgeht.

Pfaff verfällt (P. 94) plötzlich auf ein anderes Hülfsmittel: „die Schwere der einzelnen Rindenstücke ist veränderlich". Durch Belastung mit Alluvionen müssten Senkungen, durch Entlastung Hebungen eintreten. Diese Anschauung ist in der Geologie schon öfter aufgetaucht. Allein wenn dies die Hauptursache für die Niveauschwankungen wäre, so könnten stets die Tiefen, wo Alluvionen stattfinden, nur noch mehr sinken, die abwitternden Höhen nur noch mehr steigen, und der Wechsel in der Bewegung, wie er durch den Facieswechsel so wiederholt für ein und dieselbe Stelle nachweisbar ist, die alten Conglomerate auf Berggipfeln etc. blieben unerklärlich. Wir wollen einen gewissen Einfluss der Belastungsveränderungen auf Niveauschwankungen nicht in Abrede stellen, allein er kann nicht die Hauptursache der letzteren sein.

Nun will Pfaff (P. 96—100) berechnen, wie schnell die Abkühlung der Erde vorschreitet. Er findet, dass so unendliche Zeiträume zur Alpenstauung durch Contraction des Kernes nothwendig wären, wie sie nicht zu Gebote gestanden haben können. Diese Rechnung ist aber auf falschen Grundlagen aufgebaut. Ich hebe als solche hervor:

1. Die der Natur widersprechenden Annahmen, welche auf pag. 49—57 und noch an anderen Stellen früher in Pfaff's Buch schon vorgekommen, und die ich schon weiter oben zurückgewiesen habe, stecken mit in dieser Rechnung.

2. Die Annahme, dass die Ausstrahlung der jetzigen Erde so gross sei, dass dadurch auf der ganzen Oberfläche jährlich eine 0,008 Mm. dicke Eisschicht geschmolzen werden könnte.

Schon die Beobachtung an tiefer gehenden Gletschern zeigt, dass diese Zahl wahrscheinlich zu klein ist. Gegenwärtig verliert die Erde aber Wärme hauptsächlich durch die Thermen und durch die Vulkane. Diese beiden bedeutendsten Wege der heutigen Erdabkühlung sind in obiger Zahl ganz unberücksichtigt gelassen.

3. Die specifische Wärme der Erde ist gleich derjenigen von Glas angenommen, während das specifische Gewicht der Erde eher dazu berechtigen würde, eine dem Eisen ähnliche, blos etwa halb so grosse specifische Wärme anzunehmen.

4. Die Abnahme der Wärme vertheile sich fortwährend gleichförmig in der flüssigen Masse.

5. Der Contractionscoefficient ist in gleicher Weise unrichtig wie ich schon früher hervorgehoben habe.

6. Die Möglichkeit eines Zerreissens der erstarrenden Schichten, welche das Darüberliegende in der hierdurch einseitig gewordenen Contractionsbewegung mitschleppen und hinter sich Senkungsfelder und Vulkanschlothe zurücklassen, ist unbeachtet geblieben.

Gewiss würde z. B. die Fehlerquelle in obiger No. 3 allein blos das Zahlenresultat, nicht das Hauptresultat von Pfaff's Zeitberechnung stören; wenn aber, wie hier, eine ganze Reihe solcher quantitativer Fehler gleichzeitig vorhanden sind, die in gleichem Sinne das Resultat beeinflussen und die Rechnung auf Annahmen beruht, die im Princip, also qualitativ falsch sind (z. B. obige No. 1), so muss die Rechnung verworfen werden, d. h. sie beweist nichts gegen die Rindenschrumpfung durch Kerncontraction.

Sehr eigenthümlich ist eine neue Rechnung von Pfaff (P. 101—103). Er sagt, dass durch die Contraction die Rinde „in demselben Maasse“ sich aufbiegen und falten musste, in welchem sich der flüssige Inhalt zusammenzog. „Wenn wir „nun das Volumen aller dieser Aufbauschungen kennen, so „können wir daraus auch die gesammte Contraction bestimmen. „Es fragt sich nur, von welchem Niveau wir hier auszugehen „haben. Es versteht sich hier wohl von selbst, dass wir hier „nicht den Meeresspiegel, sondern den Meerboden zu Grunde „legen müssen, und wir müssen dazu, da ja Senkungen des „Merrgrundes entschieden auch vorkommen, die mittlere Tiefe „des Meeres annehmen.“ So denkt sich Pfaff denn das über die mittlere Meertiefe Ragende gleichförmig vertheilt und gelangt dadurch zu einer Contraction des Radius von 0,14 geographischen Meilen. Allein was sind hier wieder die Grundlagen der Rechnung? Zunächst ist es das auffällige Versehen, dass die Aufbauschungen dem Volumen nach

gleich der Contraction seien. Wenn dies der Fall wäre, so wäre ja durch die Aufbauschungen die Contraction wieder aufgehoben, es hätte keine Contraction, sondern nur eine andere Vertheilung der Masse bei constantem Volumen der ganzen Erde stattgefunden! Die Aufbauschungen über das ursprüngliche Niveau sind dem Volumen nach gleich den Vertiefungen unter dasselbe vermindert um die Contraction. Zweitens ist das ursprüngliche Niveau nicht mehr zu bestimmen. Dasjenige das Pfaff annimmt ist ganz willkürlich; warum soll der jetzige mittlere Meerboden unverändert geblieben sein? Da Senkung und Contraction zusammengenommen jedenfalls grösser sind als die Aufbauschungen über das ursprüngliche Niveau, die sich ja selbst später wieder mit der ganzen Rinde contrahirt haben, liegt jedenfalls das ursprünliche Niveau hoch über dem jetzigen mittleren Meergrunde, und falls die Contraction des ganzen Planeten bedeutender war, als die eigentlichen Senkungen, was sehr wahrscheinlich ist, so liegt das ursprüngliche Oberflächen-Niveau der Erde über den Gipfeln der jetzigen Berge! Noch ein anderer fundamentaler Irrthum liegt in der Annahme des jetzigen Meergrundes als ursprünglichem Niveau: Sind nicht im Laufe der Zeit stets die Ausbauchungen erodirt und der Meeresgrund aufgefüllt worden, und dies ununterbrochen bei Wechsel wie bei Stillstand in der Vertheilung von Land und Meer? Eine solche Rechnung hätte auch dann, wenn wir das ursprüngliche Niveau der Erdrinde kennen könnten, nur Sinn, wenn wir vorerst von der Erde alle Sedimente abschälen und wieder dahin bringen könnten, wo ihre Atome ursprünglich gelegen haben, sonst ist eine Volumen-Schätzung und Vergleichung der Aufbauchungen und Senkungen unmöglich. Nur wenn man vergisst, dass es auf der Erdoberfläche einen gewaltigen Umgestaltungsprocess der Erosion und Alluvion giebt, kann man einen Versuch zu einer solchen Rechnung machen, wie sie uns Pfaff vorführt.

Ich meinerseits setze keine anderen Rechnungen an Stelle derjenigen von Pfaff, denn weil die Grundlagen dazu fehlen, sind vernünftige Rechnungen eben einfach unmöglich. Ich habe auch in meinem Buche keine Theorieen herausgerechnet, sondern nur als Anhang zu der Discussion der Beobachtungen angedeutet, dass gewisse theoretische Gesichtspunkte mit meinen Beobachtungsschlüssen harmoniren.

Das fünfte Kapitel von Pfaff kündet der Schrumpfungstheorie neue Schwierigkeiten an. Es beginnt mit einer Zusammenfassung des bisherigen in bestimmte Sätze. Da (P. 105 bis 108) stehen sie alle in Reih und Glied diese sonderbaren, auf Willkür und Irrthum aufgebauten Behauptungen. Pfaff will dann auf die Widersprüche aufmerksam machen, die zwi-

schen denjenigen bestehen, welche die Rindenfaltung durch Horizontalschub vertheidigen, sieht aber dabei, indem er mich gerade verkehrt versteht, da zwischen Suess und mir Widerspruch, wo Uebereinstimmung herrscht (P. 109, H. I. 235 oben und II. 222 etc.). Darauf preist er die Beobachtung. Er hebt hervor (P. 109), wie wichtig es sei, zuerst zu erkennen, „wie haben sich die Massen bewegt"; er redet, als ob hierüber noch nichts beobachtet wäre, als ob keine Profile der Natur abgelesen wären, in welchen der Zusammenschub direct in seinen Folgen sichtbar ist, als ob noch Niemand auf die Lage der Umformungen (Clivage, gequetschte und gestreckte Petrefacten, Rutschstreifen, Fältelung etc.) geachtet hätte, als ob dieselben noch nicht von den zerdrückten Petrefacten ungestörter Schichten unterschieden worden wären, als ob der Zusammenhang der eigentlichen Umformungen mit der Gebirgsbildung noch nicht constatirt wäre, „es ist ja ebensowohl „denkbar, dass sie ganz unabhängig von derselben .... hervor„gerufen worden seien" (P. 112). Pfaff argumentirt, wie wenn Erscheinungen wie die „Colonien" von Barrande, oder die Wiederholung gleicher Facies in verschieden alten Schichten von der Wiederholung derselben Schicht durch Faltung kaum unterscheidbar wären, und wie wenn die Umbiegungen, die in tausend Fällen direct gesehen werden, eine blosse Hypothese wären. Kurz: er verfällt nun darauf, die von zahlreichen Forschern in zahlreichen Arbeiten niedergelegten Beobachtungen theils zu ignoriren, theils anzuzweifeln, endlich zu leugnen, jedoch niemals an der Hand eigener entgegenstehender Beobachtungen. Baltzer's Profil des Glärnisch, welches ich im Wesentlichen in dessen Fortsetzung gegen Westen in der Silbernalp in ausgezeichneter Weise durch die dort noch vorhandenen Umbiegungen bestätigt gefunden habe, hat Pfaff ganz verkehrt verstanden; noch verkehrter (P. 116 u. 117) meine Darstellung der Erscheinungen liegender Falten (H. I. 220). Weil er Auswalzen oder Zerdrücken einzelner Schichttheile nicht begreift und unsere Auseinandersetzungen stets missversteht, sagt er, „dass wir auch „das Ausgequetschtwerden der festen Gesteine nicht als eine „Thatsache ansehen können", er ist aber nicht hingegangen, um nachzusehen, er zeigt nirgends die geringste Anschauung, nirgends einen Begriff von Gebirgsfalten, er hat sich nicht eine von den tausend Stellen zeigen lassen, wo Schichten zusammengequetscht und dadurch schiefrig geworden sind, oder wo die Zahl und Dicke der Schichten (P. 117) im Mittelschenkel der liegenden Falten reducirt ist. Sein Nichtvermögen, sich die Sache theoretisch und schematisch vorzustellen,

steht ihm höher als die Beobachtung der anderen. Endlich gipfelt er in dem Satze (P. 117):

„Das Bisherige mag genügen, zu zeigen, wie wenig in „manchen Fällen ein sicherer Beweis einer wirklichen einge„tretenen Faltung und starken Quetschung beigebracht worden „ist und wie dringend nöthig es erscheine, ehe man solche „Faltungen erklärt, erst genau zu constatiren, wie weit eine „Lageveränderung der Schichten anzunehmen geboten sei.“

Was heisst dies anders, als dass die Beobachtung zahlreicher Forscher während zahlreicher Jahre über die Gesteinslagerung im Gebirge Täuschungen und nichts als Täuschungen seien? Und was für Beobachtungen in den Gebirgen rechtfertigen dieses Verdict über so viele mühsame Forscherarbeit? Antwort: gar keine! Solchem Angriff gegenüber halte ich eine eingehende, Raum und Zeit raubende Vertheidigung unserer Profile für überflüssig, ich verweise auf die Originalarbeiten der Gebirgsgeologen überhaupt. Mancher mag, wie Prof. A. Giekie („Nature“ No. 536. Vol. 21, London 1880) in seiner treffenden Recension zu Pfaff's Buch, humoristisch werden, allein dieser Schlag gegen die gesunde Naturbeobachtung von einem Fachmann versucht, ist doch zu ernst.

Nun folgt (P. 117—126) die zwar mit Vorbehalt gegebene eigene Theorie der Gebirgsbildung von Pfaff. Sie ist in variirten Auflagen schon von Verschiedenen herausgegeben worden. Auslaugung der tieferen Schichten durch das Sickerwasser und ungleiches Nachsinken der höheren soll die Kettengebirge erzeugt haben. Diese Theorie hat zur wesentlichsten Grundlage die absolute Unkenntniss vom wirklichen Bau eines intensiveren Kettengebirges wie es die Alpen sind. Im Folgenden nenne ich einige der Schwierigkeiten und der Thatsachen, welche ihr entgegenstehen:

1. Erklären sich nun die thatsächlich massenhaft vorhandenen bruchlosen Biegungen und Fältelungen der Schichten, welche nach Pfaff meiner Anschauung so grosse Schwierigkeiten in den Weg setzen, besser?

2. Die liegenden Falten bleiben bei Pfaff's Anschauung unerklärlich.

3. Die Bildung von Gebirgsketten und langen Falten müsste auf streifenförmig wechselnde Auslaugung, wie sie nicht angenommen werden kann, zurückgeführt werden; die Theorie von Pfaff erklärt nur Einstürze, keine Ketten, noch weniger Kettensysteme.

4. Warum kreuzen sich Bergketten nicht, wenn Auslaugung in der Tiefe sie bildet?

5. Die eng gedrängten, in grosser Zahl im Querprofil

aneinander sich anreihenden, nirgends aufgebrochenen Falten einzelner Schichten (wie z. B. des Urgonien und besonders des Neocomien im Sentisgebirge, des Dogger im Jura etc. etc.) sind unerklärlich ohne grossen Horizontalschub.

6. Die Einheit ganzer ausgedehnter Gebirgssysteme kann nur die Folge einer viel einheitlicheren, nicht einer stets local individualisirten Ursache sein.

7. Die Thaleinschnitte des Gebirges entblössen nirgends die zusammengesunkenen Höhlen oder ungleichförmig ausgezehrten Schichten, welche die Hypothese annimmt. In den oberen Lagen, wo doch mehr Wasserklüfte sind, finden wir diese Schichtauszehrung („Hohlschichten") thatsächlich nicht. Ein Wechsel in der Mächtigkeit der Schichten durch Auslaugung entstanden, so dass er auf die oberen Schichten dislocirend und gebirgsbildend hätte wirken können, kommt thatsächlich nur local und selten vor. Pfaff hat solche Erscheinungen auch nirgends beobachtet.

8. Die Gebirgsprofile in den Thaleinschnitten zeigen ebensowenig die ungestörte Unterlage unter den gestörten und den unregelmässig ausgezehrten Schichten. Auch Pfaff kann keine Beobachtungen über solchen Gebirgsbau aufweisen.

9. Die Faltung geht in den Alpen und anderen Gebirgen durch den Gneiss hinab; es müsste deshalb die gebirgserzeugende Auslaugung am stärksten in den tieferen Gneisslagen, d. h. im schwerer löslichen Gestein stattfinden.

10. Da in dieser Tiefe die Gesteine sehr gleichförmig sind, müssten in allen Theilen der Erdrinde die Erscheinungen ähnlich sein, d. h. die ganze Erde müsste gleichförmig mit Gebirgen bedeckt sein.

11. Eine so reichliche Circulation des Wassers in so grosse Tiefen unter die dislocirten gefalteten Gesteine hinab findet in der That nicht statt. Wenn Pfaff im Mittel 1,6 M. jährlichen Niederschlag und 0,8 M. jährliche Versickerung annimmt, so ist das erstere um ein Drittheil, das letztere mehr als zehnfach zu viel schon für die oberen, geschweige die tieferen Gebirgsschichten.

12. Die von den Quellen zu Tage geförderten gelösten Bestandtheile stammen zum grössten Theil aus den obersten, hoch über der Dislocationsursache liegenden, vielfach nur oberflächlichen Schichten oder Schuttlagen, nur die Thermen könnten Bestandtheile von unter den dislocirten Schichten liegenden Regionen heraufbringen.

13. Sehr viele Quellwasser, selbst Thermen sind arm an gelösten Bestandtheilen; die Thermen sind viel zu spärlich, als dass man von ihrer Auslaugung die Entstehung der Alpen herleiten könnte.

14. In Folge von No. 11, 12 und 13 ist es auch unrichtig, wenn Pfaff den ganzen Gehalt der Quellen als gebirgserzeugendes Einsinken der Unterlage berechnet, und mit seiner durch Abkühlung berechneten, übrigens noch viel unrichtigeren Radiuscontraction von $^1/_{100000}$ Mm. per Jahr vergleicht.

In seinem letzten, sechsten Kapitel bespricht Pfaff „die Modification der Schrumpfungstheorie durch Heim".

Zuerst kommt er wieder auf die Umformung der Gesteine zu sprechen. Er behandelt dabei die bruchlose Umformung der Gesteine, die als eine vollendete Thatsache an tausend Beispielen beobachtet werden kann, von denen Pfaff aber selbst offenbar keines untersucht hat, als ob dies eine Theorie von mir wäre, die auf einige nicht stichhaltige Analogieschlüsse hinauslaufe (P. 128). Nirgends kommt ein Versuch, anders als ich es gethan habe, die Thatsache der Gesteinsumformung zu erklären.

Pfaff meint, wenn von 3000 M. Tiefe an „bis zum „Mittelpunkt der Erde Alles durch den Druck und die Hitze „plastisch und flüssig" angenommen werden müsse, so müsste die Erdrinde selbst eine tägliche Fluth- und Ebbebewegung zeigen (P. 129). Hier wie in den folgenden Einwendungen, welche mir Pfaff macht, tritt uns wieder die unglaubliche Verwechselung von plastisch und flüssig entgegen, auf welche wir schon früher hingewiesen haben. Die Thomson'schen Rechnungen über die Rindendicke sind unrichtig, weil sie eine directe Berührung eines flüssigen fluthenden Kernes an eine starre Rinde angenommen haben, wie dies auch Pfaff dadurch thut, dass er plastisch gleich flüssig setzt. In Wirklichkeit ist aber zwischen „starrer" Rinde und „flüssigem" Kern wie ein Kissen die breite Zone fester, durch die darüber liegenden Lasten plastisch gewordener Massen, wo in innerer Reibung die Fluthbewegung, wenn eine solche vorhanden ist, sich aufzehrt, bevor sie auf die Oberfläche wirken kann. Ob die äusserste Rinde auch eine Fluth- und Ebbebewegung mitmacht, ist noch nicht entschieden, allein doch durch die Messungen von Prof. Plantamour und durch andere in Sternwarten wahrgenommene Schwankungen wahrscheinlich gemacht. Fluth und Ebbe des Meeres würden dann gleich der Differenz in der Bewegung des Wassers und der trägeren Erdfeste sein.

Wenn der Kern einer plastischen Kugel, die mit einer schweren starren Masse bedeckt sei, sich contrahire, so sei „dadurch (P. 131) die Möglichkeit gegeben, dass die plastische „Masse sich den ausspringenden Winkeln der Knickungen an„schmiegt, aber zu einer Faltung der plastischen Masse ist

„auch jetzt kein Grund gegeben.“ Diese Behauptung beruht auf der irrthümlichen Meinung, dass nach meiner Anschauung oben alles starr, bei 3000 M. Tiefe plötzlich alles weich plastisch oder gar flüssig sei. Es giebt aber keine scharfe Grenze zwischen beiden Theilen. Die Plasticität beginnt erst langsam und allgemein bei mittlerer Belastung von 3000 M. Gestein, und nimmt tiefer langsam zu. In einer mächtigen Region wechseln die Schichten, die schon plastischer Umformung fähig sind, mit solchen ab, bei welchen die Belastung hierzu noch nicht genügt. Die Festigkeit, d. h. die innere Reibung, welche der Umformung entgegenwirkt, bleibt aber bei den verschiedenen Schichten verschieden; keine Möglichkeit zur plastischen Umformung kann diesen Unterschied der Schichten verwischen. Es ist somit auch die vollständig plastische Region noch eine geschichtete Masse und sie ist fest, wenn auch nicht starr, denn die innere Reibung bei Umformung durch den Druck nimmt nicht ab, vielleicht eher zu.

Im weiteren bewegt sich Pfaff in den alten und noch sich vermehrenden Missverständnissen meiner Theorie der plastischen Umformungen, und zieht aus seinen Missverständnissen Schlüsse gegen die Richtigkeit meiner Anschauung. Er kommt (P. 132) durch einen ganz unzutreffenden Versuch, in welchem er Lehm und heisses Wachs zwischen den Backen eines Schraubstockes herausquetscht zum Ausspruch, dass Zickzackbiegungen, Knickungen in scharfem Winkel „gerade feste und starre“ Massen erfordern, und in meiner Theorie „ganz unerklärlich“ blieben. Er verwechselt hier auf's Neue weich und flüssig mit plastisch (H. II. 82), obschon die Versuche von A. Favre belehren, dass selbst ganz ungewöhnlich weiche und plastische Substanzen (Thon) bei Contraction der Unterlage (also sogar bei „indirectem Seitendruck“) falten. Hier (P. 132) sollen nun plötzlich „starre“ Körper diejenigen sein, die sich biegen können, nachdem früher die bruchlose Schichtfaltung geleugnet worden ist. In der That aber sehen die gefalteten Gebirgsschichten im Querprofil ganz anders aus, als die geknickten Cigarrenbrettchen; ich habe die ersteren Formen in Wort und Bild hervorgehoben (H. II., 1. Abschn., besonders 41 — 49). Diejenigen Geologen, welche angesichts der Falten im Gebirge in den Ausruf ausgebrochen sind: „die Gesteine müssen zur Zeit der Faltung weich gewesen sein“, haben den wahren Charakter der Biegungen mit besser beobachtendem Auge aufgefasst, als derjenige, der sagt, Zickzackbiegungen erforderten „gerade feste und starre Massen“. Die Erklärung war zwar nicht richtig, aber sie war die noch unreife Aeusserung einer doch richtigen Auffassung der Falten-

form, welche für sehende Augen die plastische Umformung als ein Factum erkennen lässt.

Pfaff schreibt mir Unklarheit und „Confundirung“ (P. 133 und 134) zu, weil er den Schweredruck von oben stets vergisst, und meint, der Horizontaldruck anstatt dem stabilen Gesteinsdruck müsste nach mir Gesteine plastisch machen (P. 131 untere Hälfte und 134 etc.), während ich unzählige Male betont habe, dass nur allseitiger Druck die Plasticität erzeugen, dieselbe also erst in den tieferen Theilen, wo die Verticalbelastung die Gesteinsfestigkeit übersteigt, eintreten könne. Gebirgsbildenden Druck (Horizontalschub) und belastenden Druck wirft er fortwährend durcheinander (P. 141). Wenn ich in meinem Buche nicht verständlich genug für denjenigen war, der trachtete, mich zu verstehen, so muss ich gestehen, dass es über meine Fähigkeiten geht, noch klarer zu sein, und deshalb darauf verzichten muss, mich Pfaff verständlich zu machen.

Dann stellt sich Pfaff die hohen Berge am Meerufer und am Tieflandsrande vor (P. 135) und meint, sie müssten nach mir ihre Sohle zerquetschen. Er beachtet dabei nicht, dass mit der Tiefe die Basis der schweren Pyramide wächst, und wegen der unten flacheren Böschungen die mittlere Belastung nicht zu-, sondern abnimmt, wenn wir unter die sanft geneigten Meergehänge oder Hügelgehänge gegen das Tiefland gehen. Dass sich ausserdem von der Tiefe unter dem Berggipfel die Last nicht wie in communicirenden Flüssigkeitsröhren um die Ecken herum auf grosse Distanzen seitlich gegen das Meer durch nicht entsprechend belastete Massen hindurch forspflanze, versteht sich wegen der gegen den Rand stets abnehmenden Belastung und der absorbirenden inneren Reibung, welch' letztere Pfaff nicht kennt, für mich von selbst.

Mit der „Annahme eines Plastischwerdens absolut unbegreiflich“, scheint Pfaff (P. 135) „die deutliche Schichtung der Gneisse und krystallinischen Schiefer, die auch bei den gewaltigsten Verschiebungen unvermischt und überall von nahezu gleicher Dicke sich zeigen“. (P. 136). Dem ist in der Natur nicht so. Wie oft sind wir in den Alpen im Unklaren, ob das, was vor uns liegt, Schichtung und ursprüngliche Schieferung oder Clivage ist, oft durchkreuzen sich beide, es kommen die sonderbarsten Fältelungen, Verquetschungen, Streckung und Zerreissung der Glimmerblättchen, innere Zertrümmerungen (z. B. im Gotthardtunnel) etc. vor. Oft wissen wir nicht, ob der undeutliche Schiefer, der vor uns liegt, ein ursprüngliches Gestein oder ein gequetschter Gneiss, Amphibolit oder dergleichen ist. Und wie froh wären wir, die normale Mächtig-

keit der verschiedenen Theile der krystallinischen Schiefer in den Alpen finden zu können!

Pfaff discutirt ferner die liegenden Falten und behauptet (P. 138), „dass gerade die Verhältnisse, welche für das Zu-„standekommen solcher Faltungen als eine unerlässliche „Bedingung sich zeigen, unmöglich in der Natur vor-„kommen". Das heisst doch nichts anderes, als er leugnet die Existenz der liegenden Falten. Hierfür hat Pfaff, baar jeder positiven oder negativen Beobachtung, kein Recht. Seine „unerlässlichen Bedingungen" lauten (P. 139):

1. „ein leerer Raum unter der sich faltenden Schicht." — Warum, ist nicht einzusehen, denn die Mulde wird wie ein Keil unter das Gewölbe gedrängt und durch Hebung und Ueberschiebung des letzteren schief nach oben schaffen sich die Muldenschichten darunter ihren Raum.

2. Die faltende Schicht müsse „allein" gepresst von der Unterlage isolirt sein. — Warum dies, kann ich ebensowenig einsehen, da ja die tieferen Schichten mit abnehmender Vollständigkeit an der Faltung Theil nehmen.

3. Die Cohäsion der faltenden Schicht müsse so gross sein, dass bei rollender Bewegung kein Riss entstehe. — Auch dies ist nicht richtig, denn alles was wir jetzt vor uns sehen, geschah ja, wie ich immer wieder betont habe, unter Belastung im geschlossenen Gebirge. Die ursprüngliche Oberfläche ist ja nicht mehr da, sondern wir beobachten an Erosionseinschnitten in früher geschlossenem Gebirge. Nirgends habe ich behauptet, dass das Einrollen der Schicht „in der Luft stattgefunden" (P. 141) habe.

Es ist wahr, dass diese drei Bedingungen in der Natur nicht zutreffen, aber ebenso wahr ist, dass sie keineswegs Bedingungen zur Bildung der liegenden Falten, sondern sonderbare Erfindungen sind. Was Pfaff bei der Discussion der Glarner Doppel-Falte (P. 141 u. 142) noch einwendet, beruht alles blos auf groben Missverständnissen, die ihre Ursache darin haben, dass er mein Buch nicht aufmerksam studirt hat, was doch das erste Erforderniss einer Entgegnung wäre.

Wir sind endlich am Ende des Buches von Pfaff angelangt. Ich musste dasselbe etwas vollständig durchgehen, so ermüdend die Arbeit war. Das ganze Buch ist nur auf Vernichtung der bestehenden Ansichten berechnet; es enthält keine einzige positive Vermehrung unserer Kenntnisse, keinen befruchtenden Gedanken, keine Naturbeobachtung, nach der wir uns beim Durchlesen vergebens sehnen, wie nach einer Oase

in der Wüste. Wenn Pfaff auf meine Analyse antworten wird, so werde ich wahrscheinlich kein zweites Mal das Wort nehmen, es sei denn, dass Pfaff mit Beobachtungen den Anschauungen, die ich mit Anderen theile, entgegentrete, und nicht blos wieder mit seiner bisherigen Methode, gegen die ich feierliche Verwahrung einlege. Ich habe nun im Einzelnen gezeigt, dass diese letztere nur zu einem Conglomerat von Irrthümern führt und mit den Irrthümern stets neue Irrthümer einer noch höheren Ordnung herausrechnet. Aber die Natur ist kein Schema, die Erdrinde mit ihrem complicirten Bau in den Gebirgen lässt sich nicht im Studirzimmer und im Laboratorium erforschen. Weder die gesunde Naturbeobachtung selbst, noch die Schlüsse, welche darauf gegründet sind, können durch eine der Naturbeobachtung ganz entfremdete, stets von theils ungenauen, theils falschen, jedenfalls willkürlichen Annahmen ausgehenden Deduction widerlegt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1880

Band/Volume: 32

Autor(en)/Author(s): Heim Albert

Artikel/Article: Zum „Mechanismus der Gebirgsbildung". 262-299