

Ueber die

Stauung und Faltung

der

Erdrinde.

Eine kurze Zusammenfassung der
wichtigsten Resultate aus des Verfassers Werk:

„Untersuchungen
über
den Mechanismus der Gebirgsbildung“

von

Albert Heim,

Professor am eidgenössischen Polytechnikum und der
Universität Zürich.

BASEL.

Benno Schwabe, Verlagsbuchhandlung.

1878.

Ueber die
Stauung und Faltung der Erdrinde.



Eine kurze Zusammenfassung der
wichtigsten Resultate aus des Verfassers Werk:

„Untersuchungen
über
den Mechanismus der Gebirgsbildung“

von

Albert Heim,

Professor am eidgenössischen Polytechnikum und der
Universität Zürich.

BASEL.

Benno Schwabe, Verlagsbuchhandlung.
1878.

Im Sommer des Jahres 1878 ist in einem Atlas und 2 Bänden ein Werk von mir erschienen, welches den Titel führt:

„Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe“. Der Zweck der vorliegenden Brochüre besteht darin, einen Theil der allgemeineren Resultate der dort niedergelegten Untersuchungen in kurzen Hauptzügen einer grösseren Zahl von Lesern, welche sich für unsere Wissenschaft interessiren, in die Hände geben zu können, als dies durch ein Werk von grösserem Umfange der Fall sein kann. Manche werden sich mit dem hier gebotenen begnügen, Fachgenossen werden hieraus ersehen, was ihnen das Studium des genannten grösseren Werkes bieten kann. In diesem kurzen Bericht und Auszug konnten keine bildlichen Darstellungen gegeben werden, während im Hauptwerk grosse Sorgfalt gerade hierauf verwendet worden ist. Der Atlas desselben enthält 2 geologische Karten und 15 weitere meist in Farbendruck ausgeführte von mir selbst lithographirte Tafeln. Auf denselben sind Profile durch die Tödi-Windgällen-Gruppe, geologische Ansichten der dortigen Gebirgsmassen, Profile durch

den Jura und die Centralalpen, Petrefacten, welche durch die Gebirgsbildung umgeformt sind, Biegungen etc. etc., theils in Stich auf Stein, theils in Kreidelithographie dargestellt. Der Text in Grossquartformat beträgt trotz der gedrängten Darstellung im Ganzen fast 600 Seiten.

DER VERFASSER.

I. Theil.

Geognosie und Geologie der Tödi-Windgällen-Gruppe.

In die nördlichste Reihe der Centralmassive, jener ellipsoidischen Gebirgsgebiete krystallinischer Silicatgesteine gehört das „*Centralmassiv des Finsteraarhorn.*“ Auf 106 Kilom. Länge ist es N 55 bis 63° O gerichtet. Längs seiner Südseite ist es von einer schmalen Mulde von Sedimenten begleitet (Tavetsch, Urserenthal, Oberwallis) südlicher folgt das Gotthardmassiv. Am Nordrand des Finsteraarmassives hingegen folgen die Kalkketten in reicher Entwicklung. Am Ostende desselben kommen auf engem Raume beisammen alle Sedimentformationen der Centralalpen vor, und Faltung wie Erosion haben gewaltige Vertikalgliederung erzeugt. In diesem Gebiete dringen die eocenen Schichten am tiefsten in die inneren Alpen hinein und erscheinen am höchsten gehoben. Im Tödi (3623 M.) sehen wir die Sedimente noch am höchsten auf den Rücken des Centralmassives steigen, in der Windgälle (3187 M.) culminirt die mächtige Falte am Nordrand des Centralmassives. Deshalb haben wir unsere in den Quellgebieten von Reuss, Vorderrhein und Linth gelegene Gruppe: Tödi-Windgällen-Gruppe genannt.

1. Die Gesteine der Tödi-Windgällen-Gruppe.

a) Die Gesteine des *Centralmassives* beobachten wir, wenn wir ein Querprofil durchgehen, in folgender Reihenfolge von N nach S:

1) Glimmerreicher Gneiss, im Reussthal von Erstfeld bis Amstäg entblösst als eine etwa $5\frac{1}{2}$ Kilom. breite Zone.

2) Zone der casannaartigen Gesteine (Thonschiefer, Glimmerschiefer, Talkschiefer, Talkgneiss, Gneiss, Hornblendegneiss, Amphibolite, gneissartiger Verrucano), eine $9\frac{1}{2}$ Kilom. breite Zone. Sandalp, ober Ruseinthal, Maderanerthal sind hierin ausgehöhlt.

3) Centralzone des Massives (Gneissgranit, Protogyn, Granit, Puntaiglasgranit, Syenit etc.) eine 5 Kilom. breite Zone, welche Oberalpstock, Aclettagrat, Piz Ner bildet.

4) Südliche Nebenzone des Massives, besteht aus den gleichen Gesteinen wie Nr. 2.

Manche bezeichnende Gesteinsabänderungen wiederholen sich auf beiden Seiten von Nr. 3 und auf beiden Seiten der Mittellinie von Nr. 2 in symmetrischer Reihenfolge, was dem Faltenbau des Massives entspricht. Die Zonen 1 und 3 erscheinen dadurch als Gewölbezonen, 2 und 4 als Muldenzonen. Die genannten Zonen der Centralmassivgesteine streichen nahezu gleich wie die Axe des ganzen Massives. Die Zonen Nr. 1 und 2 fallen steil (45 bis 70°) südlich ein, die Gesteinsplatten der Zone 3 stehen vertikal oder fallen etwa 80 bis 85° südlich ein, diejenigen der Zone 4 stehen oft vertikal, meistens steil südlich, nur selten steil nördlich einfallend. Das Centralmassiv bildet also hier östlich der Reuss einen halben Fächer.

Die Centralmassivschiefer sind häufig von Euritgängen durchsetzt, doch schneiden diese stets an der oberen Grenze

derselben ab, sie greifen niemals in die nach dem Alter bestimmbaren Sedimentgesteine hinein. Besonderer Erwähnung werth ist ausser dem Puntaiglasgranit, einem grobkörnigen aus Orthoklas, Hornblende, Glimmer, Quarz, Oligoklas und Titanit bestehenden Gestein, und dem an Titanit reichen Syenit des Piz Ner noch der Porphyry der Windgälle. Er ist der einzige Felsit-Porphyr am Nordabhang der schweizerischen Alpen. Seine Grundmasse bleibt auch bei stärkster Vergrößerung meistens dicht. Die ausgeschiedenen Quarz- und Feldspathkrystalle treten dem Volumen nach gegenüber der Grundmasse zurück. Die letztere hat eine ausserordentlich deutliche, oft schon von Auge sichtbare Fluidalstructur. Das Gestein, das den Gipfel der kleinen Windgälle bildet, ist absolut massig.

b) Die *Sedimentgesteine*. In der Tödi-Windgällen-Gruppe kommen folgende Sedimentgesteine vor:

1) Gneissähnlicher Verrucano, halbkrySTALLINISCH schiefriger, feldspathhaltiger Talkquarzit — geht meistens zusammen mit den Gesteinen des Centralmassives.

2) Kohlenformation, anthracitische Schiefer, hier und da feldspathhaltig und mit einigen dünnen Schichten von Anthracit, die oft in eine durch Quarz cementirte Anthracitbreccie übergehen (Bifertenalp am Tödi, Bristenstock und einige andere Localitäten).

3) Jüngerer Verrucano, oft conglomeratisch. Eine Trennung der Anthracitschichten und des Verrucano ist nicht durchzuführen, mancher Verrucano, vielleicht der meiste, mag zur Kohlenformation gehören. Im Verrucano finden sich an manchen Orten Lagergänge von Malaphyrmandelstein und Augitporphyry. Das Verrucano liegt bald wie die Sedimente, bald wie die Gesteine des Centralmassives.

4) Die Röthi-Gruppe bestehend aus Sockelschichten,

Haupt-Röthidolomit, Quartenschiefern und oberem Röthidolomit, ist zusammen 30 bis 100 M. mächtig und anscheinend petrefactenleer; sie gehört wahrscheinlich noch zur Permformation, bildet aber petrographisch in unserem Gebiete einen trefflichen Horizont.

5) Der Lias bietet hier keine Besonderheiten im Vergleich mit andern Stellen der Centralalpen. Das Gleiche gilt von den folgenden Formationen. Hervorzuheben ist nur noch, dass ich in mehreren Exemplaren *Ammonites raricostatus*, der bisher aus den Centralalpen nicht bekannt war, im Schächenthal gefunden habe.

5) Dogger besteht aus Eisensandstein (Schichten des Am. *Murchisonæ*) 10 M. Echinodermenbreccie (Schichten des Am. *Humphriesianus*) 10 bis 15 M. Blegiolith (Eisenoolith, oberer brauner Jura) 1 bis 3 M.

Die Eisenoolithkörner des letzteren bestehen in den Alpen meistens aus Hämatit, im Jura aus Limonit. Wo das Gestein gequetscht ist, ist stets der Hämatit in Magnetit übergegangen. Sehr petrefactenreiche Lokalitäten finden sich zwischen beiden Windgällen, wo ich noch eine tiefere Eisenoolithschicht im Dogger, und unmittelbar unter dem Blegiolith eine ganze Bank von *Rhynchonella varians* entdeckt habe.

6) Malm ist in unserer Gruppe vertreten durch seine Basisschichten: Unteres Oxfordien und Schiltkalk oder Birrnersdorfschichten. Darüber folgt der Hochgebirgskalk, welcher aus Quintnerkalk und Troskalk (Inwalder Nerinäenschichten) besteht. Dann die Balfriesgruppe, welche die Balfriesschiefer (Aptychenschiefer) und Diphyakalk in sich begreift. An Massenentwicklung treten alle übrigen Glieder gegen den Hochgebirgskalk, der 400 bis 600 M. mächtig ist, zurück. Durch Faltungen vermehrfacht bildet er in

unserer Gruppe z. B. am Selbsanft einförmige bis 1300 M. hohe Wände. Er ist das orographisch bedeutendste Glied unseres Gebietes.

7) Die Kreideformation ist viel schwächer vertreten als in den nördlicheren Ketten, hie und da fehlt sie; doch haben wir auch in unserer Gruppe alle alpinen Stufen derselben: Valengien, Neocomien, Urgonien, Aptien, Gault und Seewerkalk. Ausgezeichnete Fundstellen sind Gipfel des Selbsanft 3024 M. und Griesstock 2666 M.

8) Die Eocenformation ist durch zahlreiche Bänke von Nummulitenkalk, durch Schieferbänke mit verkieselten Schwämmen, Foraminiferenschiefer, Flyschschiefer und Taveyanazsandsteine vertreten und erreicht eine sehr bedeutende Mächtigkeit.

2. Die Faltung der Sedimentgesteine.

Es ist unmöglich, von dem ungeheuer verwickelten Faltenbau unseres Gebirges ohne bildliche Darstellungen einen Begriff zu geben. Wir können hier nur kurz die wichtigsten Falten aufführen.

Eine ausgezeichnete geradlinige Kette von Kalksedimenten begleitet den Nordrand des Centralmassives. Sie ist westlich durch das Reussthal, östlich durch den Einschnitt der Linth tief hinab entblösst und der Beobachtung zugänglich gemacht. Vom Reussthal gegen die Kleine Windgälle aufsteigend, treffen wir über dem steilen Gneiss flachliegend Dogger, Malm und Nummulitenschichten. Auf den letzteren können wir vom Nordabhang an der Westseite herum an den Südostabhang gelangen. Darüber folgt aber wieder Malm, Dogger und auf dem Gipfel Porphy. Untersucht man in östlicher Richtung weiter, so findet man am Südabhang eine gegen S convexe Biegung, welche die

beiden Malmschichten verbindet und die Nummuliten südlich abgrenzt und umhüllt, während nördlich die obere Malmwand sich vertikal aufkrümmt und wieder in der Höhe gegen Süden überbiegt. Das Ganze bildet eine grosse nach Nord übergelegte Falte. Hier müssen wir schnell einen Vorschlag für eine einheitliche Bezeichnung der verschiedenen Theile einer Falte einschieben. Wenn an eine Mulde ein Gewölbe sich anschmiegt, so entsteht die Falte. Jede Falte hat einen Mittelschenkel und zwei Seitenschenkel. Denjenigen Seitenschenkel, welcher an der Muldenbiegung liegt, nennen wir Muldenschenkel, den anderen Gewölbeschenkel. Im Winkel zwischen Mulden- und Mittelschenkel liegt der Muldenkern, zwischen Gewölbe- und Mittelschenkel der Gewölbekern. An der Windgälle gehört der untere Malm zum Muldenschenkel. Der Muldenkern wird von Nummulitenkalk eingenommen, die Muldenbiegung umhüllt dieselben südlich. Der obere Malm der kleinen Windgälle gehört zum Mittelschenkel der nördlich übergelegten Falte, der Porphyrr des Gipfels ist Gewölbekern. Nordöstlich ist in der Grossen Windgälle die Gewölbebiegung erhalten, im Scheerhorn auch noch der ganze Gewölbeschenkel. Am Hüfigletscher ist Muldenbiegung und Muldenkern nochmals entblösst. Das Nummulitengestein greift von Norden her unter der ganzen gewaltigen theilweise von Verrucano, Porphyrr und Gneiss bedeckten Gebirgskette zwischen Schächen- und Maderanerthal durch und tritt am Hüfigletscher wieder zu Tage! Gegen Osten löst sich die eine grosse Falte in eine grössere Zahl kleinerer Falten auf, die in scharfen Krümmungen zunächst dicht aneinander gedrängt liegen, aber allmählig etwas divergiren, bis sie endlich östlich der Linth unter den gefalteten Eocenmassen verschwinden. Denkt man sich in den verschiedenen Querprofilen die Falte

wieder ausgeglättet, so erhält man eine Breite der Zone, welche die jetzige Breite der Kette um etwa 6000 M. übertrifft. In der Windgällen-Clariden-Kette ist somit ein Horizontalschub der Erdrinde von 6 Kilom. compensirt und die jetzige Breite beträgt nur noch $\frac{2}{5}$ der früheren.

Südlich begleitet die Kette der Brigelserhörner auf ein kurzes Stück das Centralmassiv. Hier begegnen wir den sonderbarsten Verwicklungen. Am östlichen Theil liegt jederseits des Verrucanogrates je eine Kalkmulde, am Westabhang verbinden sich diese Kalkmulden, während der Gipfel aus Verrucano besteht und das Ganze auf Puntai-glasgranit ruht. Die Brigelserhörner bestehen aus einer nördlich übergelegten Falte, welche selbst nochmals gefaltet ist, also aus der Falte einer Falte.

Zwischen diesen beiden Randketten steigen die Sedimente von Osten her auf das Centralmassiv hinauf. Diese Decke ist wieder stark gefaltet. In spitzen Mulden sinkt sie mehreremale tief parallel zwischen die Schiefer des Centralmassives hinein, und bildet viele kleinere Verkrümmungen. Der Tödi selbst gehört dieser Sedimentdecke an; er besteht aus einem gewaltigen von den umgebenden Schichtmassen durch Verwitterung und Erosion abgetrennten Klotz von Hochgebirgskalk. Die Zerstückelung der Sedimentdecke gegen ihren Rand lässt sich überhaupt mit aller Schärfe als ein Erzeugniss der Denudation und nicht der Zerreißung durch die Hebung nachweisen.

In unserem Gebiete fanden bis gegen Mitte der Tertiärzeit nur continentale Vertikalschwankungen statt. Eigentliche Schichtaufrichtung durch Faltung ist erst zur Miocenzeit zum ersten Male eingetreten. Vom Röthidolomit bis zu den Eocenschichten liegen die Sedimente untereinander concordant, alle nehmen in entsprechender Weise

an den Faltungen Theil. Die Entstehung der einzigen ziemlich allgemeinen Discordanzfläche, welche zwischen den Gesteinen des Centralmassives und dem Röthidolomit liegt, werden wir später erklären.

Steigen wir vom Walensee südlich an, so finden wir überall mächtige conglomeratistische Verrucanomassen, auf welchen die Sedimente in normaler Reihenfolge liegen. Je höher wir gelangen, desto höher steigt auch der Verrucano und desto lückenhafter und dünner wird die Decke der Kalkformationen. Endlich auf den Gräten angelangt fallen südlich steile Gehänge gegen Sernf- und Weisstannenthal ab. Dort im Thale sollten wir unter den Schichtenköpfen des Verrucano krystallinische Schiefer finden. Statt dessen liegen hier die Thäler in lauter Eocen, das vom Verrucano nur durch eine oder zwei meistens wenig mächtige Kalkbänke getrennt ist! Einzelne südlichere Gipfel tragen auf ihrem Scheitel eine Verrucanomütze, unter welcher sich ein oder mehrere Kalkbänke durchziehen, während der ganze übrige Theil bis an den Fuss Eocen ist. Die östliche Verlängerung der Axe des Centralmassives ist eine Symmetrielinie, südlich welcher die gleichen Erscheinungen, Süd und Nord vertauscht, sich wiederholen. Von Süden aus dem Rheinthale wie von Norden vom Walensee steigt der Verrucano aus normaler Lagerung gegen die bezeichnete Symmetrielinie empor, während die normale Decke der Kalkformationen je höher desto mehr zerstört ist. Das Eocen, welches in der Tiefe liegt, fällt meistens ziemlich steil südlich, ist gedrängt gefaltet und steht discordant unter den bedeckenden Verrucanoplatten. Das Ganze ist eine beiderseits gegen die Mittellinie hin eingetretene Ueberschiebung durch zwei gesteigerte Falten. Der Nordflügel der ganzen Glarner-Doppelfalte, wie wir diese ungeheure

Lagerungsstörung nennen, ist eine nach Süd, der Südflügel eine nach Nord übergelegte Falte. Die Kalkbänke zwischen Eocen und überlagerndem Verrucano repräsentiren den durch Auswalzen reducirten und stark mechanisch metamorphosirten Mittelschenkel. Die Muldenschenkel beider Falten verbinden sich in der Tiefe. Die Nordfalte beginnt schon neben dem Centralmassiv westlich der Reuss und reicht östlich bis über Ragatz. Sie ist 90 Kilom. lang und an der breitesten Stelle 16 Kilom. breit. Das von ihr eingenommene Gebiet im Grundriss gemessen beträgt etwa 715 □ Kilom. Die Südfalte ist 48 Kilom. lang und höchstens 13 breit, ihre Fläche 420 □ Kilom. Die ganze Doppelfalte bringt auf einer Fläche von fast 50 □ Wegstunden eine völlige Umkehr in der Lagerung hervor. Es ist dies wohl die bei Weitem grösste Lagerungsstörung, welche überhaupt bisher an der Erdrinde beobachtet worden ist.

Ohne Profilzeichnungen und viel Raum ist es ganz unmöglich näher auf dieses Phänomen einzutreten, wir müssen es hier bei diesen wenigen Notizen bewenden lassen. Ebenso würde es zu weit führen, auf die bei Anlass der Erklärung der Doppelfalte gegebene Theorie der liegenden Falten und ihrer mechanischen Erscheinungen überhaupt einzutreten, so manche neue Gesichtspunkte sich aus derselben ergeben. Ich erwähne nur noch kurz, dass die Richtung, nach welcher eine sich aufstauende Falte wenn die Stauung zu weit geht, sich überlegt, nicht von der Richtung der Horizontalbewegung in der Erdrinde abhängt, sondern ausser von Festigkeits- und Widerstandsungleichheiten besonders von der relativen Höhe der beiden Fusspunkte und davon, ob die neue Falte sich schon bestehenden anschmiegen muss, oder nicht. So wechseln denn auch

oft innerhalb eines Kettengebirges nach der einen und andern Seite überliegende Falten miteinander ab, während doch der Zahl nach die eine Richtung meistens bedeutend vorherrscht.

3. Die Gestaltung der Oberfläche.

Die zahlreichen Gletscher und Firnmassen haben sich, wie die über jeden gesammelten Notizen zeigen hier wie anderwärts seit 1864 sehr stark verkleinert. In den Jahren 1820 bis 1875 schmolz z. B. am Hüfigletscher durchschnittlich jährlich circa $1\frac{1}{2}$ Millionen Kubikmeter Eis mehr ab, als durch die Gletscherbewegung nachgestossen wurde. Als Reste aus der Eiszeit oder ihrem Ende finden wir eine grosse Zahl von Moränen, erratischen Blöcken, Gletscherschliffen. Die nähere Untersuchung zeigt aber, dass die Gletscher nur vermocht haben, im Einzelnen die scharfen Detailformen, und zwar gewöhnlich blos auf der Stossseite, abzurunden, hie und da eine seichte Mulde auszufeilen, aber nicht irgendwie die Thalform wesentlich zu beeinflussen.

Eine genaue Vergleichung der Lage der Thäler und Kämmen mit dem inneren Bau des Gebirges zeigt, dass die jetzige Oberflächengestaltung unseres Gebietes vorwiegend ein Resultat der von Aussen herantretenden Denudation ist, auf welche der innere Bau und ursprüngliche Risse der Oberfläche nur sehr wenig Einfluss gehabt haben. Wir finden Längsthäler da, wo Längskämme sein sollten und die Querkämme sind dem inneren Bau zum Trotz ausgebildet. In unserer Gruppe so wie überhaupt in den inneren Zonen der Centralalpen mag das Volumen des jetzigen Gebirges über dem Meerniveau nach meiner Schätzung ungefähr noch die Hälfte desjenigen Gebirgs-

volumens betragen, welches durch die Entstehung der Alpen überhaupt einst über das Meerniveau aufgestaut worden ist; die andere Hälfte ist abgewittert und ausgespült worden. Das Gebirge ist längst bis in eine Tiefe hinein entblösst, in welche keine durch die Bewegungen des Untergrundes erzeugte Oberflächengestaltung mehr hinabgereicht hat. Ein grosses Kapitel des ersten Bandes ist der Untersuchung der Fels-Terrassen und Thalstufen gewidmet, welche oft über 2000 M. über den jetzigen, unteren Thalböden noch deutlich ausgebildet sind. Die Hauptresultate sind folgende: Im Längsprofil der Thäler finden wir die gleichen Niveau in den Thalstufen ausgeprägt, die wir im Querprofil als Terrassen an den Abhängen finden. Bei den sämtlichen Nebenthälern, welche zum gleichen Strome gehören, finden wir die gleichen Terrassen und Thalstufen mit den gleichen Vertikalabständen wie im Hauptflusse. Längsthäler und Querthäler zeigen keinen Unterschied hierin. Bei verschiedenen Flussgebieten finden wir je ganz andere Terrassenhöhen und andere Terrassenabstände. Das Vorkommen der Terrassen und Thalstufen ist gänzlich unabhängig von der Gesteinsart und der Lage der Schichten. Die Höhe der Terrassen richtet sich also nicht nach der Zusammengehörigkeit der Thäler in Kettenzonen, nach dem Gestein und inneren Gebirgsbau, sondern nach dem grösseren Flusssystem, welchem sie angehören. Die Terrassen und Thalböden eines Niveau, die als Reste eines alten Thalbodensystemes zu betrachten sind, zeigen stets ein sanftes Gefälle thalauswärts, während Stromschnellen und Wasserfälle in den Steilabstürzen zwischen zwei Thalbodensystemen liegen.

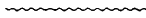
Die Gesetze der Thalbildung durch Erosion sind viel zu wenig bekannt und gewürdigt. Ich habe sie deshalb

etwas eingehender in ihren verschiedenen Stadien in meinem Buche besprochen, während hier der Raum dazu fehlt. Ferner folgt eine Besprechung der Wildbachgebiete und der dort seit Menschengedenken beobachteten Veränderungen in denselben. Selbst die grossen Ströme Linth, Rhein sägen sich bei Linththal, bei Dissentis von Jahr zu Jahr tiefer ein, während die Reuss nach meinen neuesten Messungen jährlich etwa 200000 Cubm. Deltamaterial in den Vierwaldstättersee spült. Die älteren Ansichten über die Thalbildung in den Alpen beruhten auf zwei Irrthümern: 1) dass die Erosion von oben nach unten vorschreitend arbeite, während dem das Umgekehrte stattfindet und 2) dass die Erosion erst nach der Hebung der Gebirge begann, während doch die Flussläufe häufig schon vorher da waren und die Erosion neben und während der Hebung oft gleichschnell, oft noch schneller als diese arbeitete. In 15 kurzen Sätzen werden sodann die Hauptgründe gegen die Spaltungstheorie der Thäler zusammengestellt, hernach die Seebildung besprochen und endlich an einer Reihe von Beispielen dargethan, wie die Thäler, immer weiter rückwärts in die Gebirge sich einschneidend, oft sich durchschneiden, so dass von einem alten Stammthale oft bloß noch ein todter Torso zurückbleibt.

Das Wesentlichste in diesem Abschnitte sind die neuen Beobachtungen über die Erscheinungen der Terrassen und Thalstufen, weil diese für die Entstehung der Thäler durch Erosion beweisend sind und durch gar keine andere bisher aufgestellte Thalbildungstheorie auch nur im Entferntesten erklärt werden können.

In dem Kapitel über die Verwitterung der Abhänge und Kämme werden zunächst die je nach dem Material verschiedenen Typen der Gipfformen, die ganzkan-

tigen Pyramiden bei den centralmassivischen Bergen den treppenförmig gebrochenen Gehängen bei den aus Sedimentgesteinen bestehenden Gipfeln entgegengestellt. Die Verwitterungsterrassen, welche durch ungleiche Resistenz verschiedener Felsschichten entstehen, sind leicht von den Erosionsterrassen zu unterscheiden. Zahlreiche Abbildungen im Atlas erläutern diese Besprechungen. Steinschläge, Lauinenzüge, Karren etc. gehören zu den weiteren Verwitterungsgestalten. Unser Gebiet ist reich an grösseren Quellen. Eine derselben, die „Stille Reuss“, liefert fast 1 Kubikm. Wasser per Sekunde. Zum Schlusse habe ich den Fachgenossen einige Excursionen in meinem Untersuchungsgebiete angegeben, auf welchen sie am leichtesten die interessantesten Erscheinungen desselben sehen können.



II. Theil.

Allgemeine Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung.



Heutzutage kann Niemandem mehr einfallen, zu behaupten, die gefalteten Schichten, die mächtigen Umbiegungen, die Ueberkipnungen in der Lagerung seien ursprüngliche Erscheinungen, die Schichten hätten sich in dieser Weise gebildet; sondern wir unterscheiden alle den Bildungsprocess des Gesteines von der späteren Lagerungsstörung. Die jetzt vorliegenden Fragen sind: 1) Wodurch

wurde es physikalisch möglich, dass die Gesteine die hauptsächlich vorhandenen Umformungen eingegangen sind und
2) Welches ist die Ursache der Lagerungsstörungen.

I. Abschnitt.

Das erste, die Frage nach der **mechanischen Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung** ist bisher nur vorübergehend besprochen worden, während ich versucht habe, die sämtlichen hierher gehörenden Erscheinungen im Zusammenhange zu betrachten. Die Resultate unserer Untersuchungen sind kurz folgende:

Biegung, Fältelung, Verquetschung, Transversalschieferung, Streckung von Petrefacten etc. finden wir nur in Gebirgen und in reichem Maasse nur in Kettengebirgen. Sie sind Erzeugnisse der gebirgsbildenden Kräfte.

Die Annahme, dass die Gesteine zur Zeit der Faltung alle noch weich gewesen wären, ist im Widerspruch mit Allem, was wir von den zur Erhärtung von Sedimenten nothwendigen Zeiten und Bedingungen kennen oder vermuthen, und was wir von dem relativen Alter der Bildungs- und Faltungs-Vorgänge verschiedener Gesteine kennen. An (im Atlas zum Theil abgebildeten) ohne Bruch homogen umgeformten Geröllen aus der Nagelfluh, an gestreckten Belemniten, elliptisch gezogenen Ammoniten etc., an nachträglich wieder gefältelten Adern lässt sich der ganz scharfe Nachweis führen, dass alle Umformungen, kleinen wie grossen Faltungen der Gesteine, welche mit der Entstehung der Alpen zusammenhängen, sich an Material vollzogen haben, welches längst annähernd in gleichem Grade fest und hart, sogar spröde geworden war, wie wir es heute vor uns sehen.

Die Umformung der Gesteine in den jüngeren Sedi-

menten der äusseren Ketten ist oft eine Umformung mit Bruch. Die alten Brüche sind zu Adern geworden. Aus der Anordnung, Weite und Form der Adern lässt sich aber fast immer nachweisen, dass dieselben allein ohne Plasticität des Materiales nicht genügt haben können, die Spannungen auszugleichen. Zertheilung durch Risse und Rutschflächen, Stellungsveränderung der Theile und Wiederverkitten derselben durch Sekretionen ist oft der mechanische Vorgang, an welchen die Umformungsfähigkeit vieler Gesteine sich knüpft. Wir finden ausgedehnte Schichten von in solcher Weise innerlich zertrümmerten in eine Breccie umgewandelten Gesteinen. Sehr häufig aber geschieht die Umformung selbst bei den sprödesten Gesteinen ohne Bruch. Dieser Fall verdient eingehendere Untersuchung, denn die Umformung ohne Bruch ist eine höhere mechanische Leistung, als Umformung mit Bruch. Diejenigen Gesetze, welche sich direct bloß aus der Beobachtung der Erscheinungen ergeben, habe ich zunächst in 16 „Gesetze der Erscheinung“ zusammengefasst. Wir erwähnen hier diese Beobachtungsergebnisse, während wir die Beobachtungen selbst hier weglassen müssen.

1) Umformung ohne Bruch findet sich bei den verschiedensten Gesteinsarten.

2) Die gleichen Gesteine der gleichen Schichten, welche an der einen Stelle die Umformung durch Brechen (Aderbildung) ermöglicht haben, sind an anderen Stellen ohne Bruch umgeformt.

3) Das gleiche Gesteinsstück kann Umformungen mit Bruch und vorher oder auch nachher Umformung ohne Bruch erleiden (bruchlos gefältelte Adern).

4) Die aus verschiedenen Gesteinen bestehenden gleichzeitig gefälteten Schichten der gleichen Lokalität zeigen

oft Unterschiede in der Umformung, welche von der Gesteinsnatur abhängen.

5) Bei den mit der Gebirgsbildung in Verbindung stehenden grossen und kleinen Falten sind die Schichten stets an den Schenkelstücken der Falten dünner, an den Umbiegungsstellen dicker, was beweist, dass die Faltung der Schichten durch von aussen herantretende Kraft aber nicht activ durch innere Quellung erzeugt worden ist.

6) Die mikroskopisch oft nachweisbaren Klüftchen und Gefügelockerungen genügen trotz ihrer Häufigkeit ebenso wenig, die Umbiegungen zu erklären, als die grösseren Spalten.

7) Durch Anhäufung von fast mikroskopisch kleinen Verschiebungen, welche aus kleinen Fältchen hervorgehen, kann, besonders in plastischeren Gesteinen, eine schiefrige Structur, das Ausweichungselivage, entstehen.

8) Eine zweite Art von Transversalschieferung, das Microclivage, entsteht dadurch, dass alle Gesteinstheilchen in lamellare oder stenglige Form in der Ausweichungsrichtung, die meist senkrecht zur Maximaldruckrichtung steht, gequetscht werden.

9) Eine dritte Art von Clivage entsteht dadurch, dass alle lamellaren und stengligen Mineralelemente in einem Gesteine parallel gestellt sind.

Um den Gedankengang nicht zu unterbrechen, muss ich hier zwischen hinein schnell der Hauptresultate früherer namentlich durch die englischen Geologen erzielten Resultate gedenken: I) Jeder Druck, welcher ein seitliches Ausweichen erzeugt, hat die Folge: a) dass alle nach ihrer Cohäsion ungleichen Gesteinstheile senkrecht zur Maximaldruckrichtung in lamellare Form gequetscht werden, und: b) dass alle schon in der Masse vorhandenen lamellaren und stengligen Theile sich mehr und mehr parallel einer

Ebene stellen, welche senkrecht zur Maximaldruckrichtung steht. Dadurch entsteht schiefrige Structur. II) Die Richtung der Clivageschieferung ist unabhängig von der Lage der Schichten.

Gesteine mit Transversalschieferung (Clivage) sind immer gequetschte Gesteine. Das wirkliche Clivage ist durch die ganze Masse in jedem aus derselben herausgebrochenen Stück zu beobachten.

10) In allen Fällen, wo Petrefacten umgeformt worden sind, ist im umgebenden Gesteine Clivage zu beobachten.

11) Die Streckungsrichtung der Petrefacten fällt dabei stets in die Schieferungsebene des Gesteines.

12) Auf den Clivageflächen erkennt man häufig noch eine lineare Streckungsrichtung.

Der Text enthält sodann einige schöne Beispiele für die Unterscheidung von Schichtenschiefern und Clivageschiefern.

13) Die Streichrichtung des Clivage fällt im Allgemeinen in den Alpen mit der Streichrichtung der Schichten und Ketten zusammen, während das Fallen meistens ziemlich steil ist, und die Schichten schneidet.

So wiederholt gewissermassen Clivage innerhalb der sedimentären Ketten das Bild von der Einförmigkeit der Schieferung der Centralmassive.

14) Clivage ist meistens in der Nähe der Umbiegungsstellen und an diesen selbst viel deutlicher entwickelt, als an den entfernteren Theilen der Faltenschenkel.

15) Im Allgemeinen nimmt die Stauung oder bruchlose Umformung der Schichten mit der Tiefe unter der allgemeinen Gebirgs Oberfläche zu.

16) Bruchlose Umformung an unplastischen Gesteinen findet sich nur in grosser Tiefe unter der ursprünglichen Gebirgs Oberfläche.

Eine geschichtete Masse formt sich leichter als eine homogene durch Druck um, und die Umformung ist vorherrschend Faltung. Eine homogene Masse erfordert zur Umformung mehr Kraft, als eine geschichtete, und das Resultat ist vorherrschend Clivage. Weil die Erdrinde geschichtet ist, konnten Faltengebirge entstehen. Weil Doppelkrümmung auf viel grösseren Widerstand trifft, als einfache Krümmung, sind die Falten alle viel länger als breit. Die Falten eines Gebirges sind um so länger im Vergleich zu ihrer Breite und Höhe, je steifer die Schichten sind und je gleichförmiger der erzeugende Horizontalschub sich verbreitet.

In einem folgenden Kapitel wird für die bruchlose Umformung die physikalische Erklärung gesucht. Die Zusammenstellung einiger Schlüsse aus den Beobachtungsergebnissen mit Beobachtungen und Experimenten über die rückwirkende Festigkeit der Gesteine ergibt als Resultat die Theorie der bruchlosen Umformung der Gesteine:

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

Es folgt weiter der genaue Nachweis, dass alle beobachteten Umformungen unter einer oft gewaltigen jetzt durch Verwitterung und Erosion zerstörten Bedeckung mit Gesteinen stattgefunden haben, und dass die Belastungen,

welche dadurch gewirkt haben, vollständig mit den von der Theorie geforderten Beträgen übereinstimmen.

Manche Gesteinsmetamorphosen wie z. B. die stellenweise Umwandlung von dichtem Kalkstein in Marmor in den Alpen weit entfernt von Eruptivgesteinen, die Umwandlung des Hämatit im Eisenoolith in Magnetit stehen mit der Quetschung dieser Gesteine in nahem Zusammenhang, so dass eine Art Metamorphismus, der selbst chemische Umwandlungen in sich begreift, als höchste Potenz der mechanischen Umwandlung, welche eben die Starrheit in der Lage der Theilchen überwunden hat, erscheint! Möchte einst die Tragweite der hier entdeckten Vorgänge nicht nur durch die Beobachtung allein, sondern auch durch das Experiment festgestellt werden.

Der Fortdauer der Schwankungen des Erdbodens, den Beziehungen unserer Theorie der mechanischen Gesteinsumformung zu den Erdbeben, den Thermene, den Vulkantheorien und zum Tunnelbau ist ein letztes Kapitel dieses Abschnittes gewidmet.

II. Abschnitt.

Die Centralmassive der Alpen.

Die Mechanik der Gebirgsstauung ist so lange noch ein vollständig dunkles Gebiet, als wir noch im Streit darüber sind, ob die stauende Kraft in den Alpen selbst ihren Sitz hatte, und hier erkaltet vor uns liegt, oder ob sie von aussen herangetreten ist. Heute gestaltet sich diese Frage so:

Sind die Centralmassive theilweise Eruptivgebilde, welche activ die Hebung der Alpen erzeugt haben, während die Sedimente sich dabei ganz passiv verhielten (Anschauungsweise von Studer), oder hat eine Kraftwirkung,

welcher beide gleich passiv gegenüberstanden, beide in gleicher Weise zu Gebirgsketten aufgethürmt (Anschauungsweise von Favre, Suess, Lory)? Es gibt in den Alpen Stellen, wo zwischen Centralmassivschiefen und Sedimenten Discordanz und scheinbare Unabhängigkeit herrscht, was für die erste, und es gibt andere Gebiete, wo die Sedimente den Centralmassivschiefen parallel angelagert sind, was für die zweite Anschauungsweise spricht. Ich habe es mir zur Aufgabe gestellt, diese Frage zu lösen. Die Resultate meiner darauf bezüglichen Beobachtungen sind in gedrängtester Kürze die Folgenden.

Die Erhebung des Alpensystemes ist nicht durch Eruptivgesteine bewirkt, denn die Eruptivgesteine der Alpen sind alle viel älter als die Alpenhebung und nur passiv an ihre jetzige Stelle gebracht worden. Suess hat die Passivität der alpinen Eruptivgesteine schon in aller Schärfe hervorgehoben. Ich habe für diejenigen der Centralalpen und besonders meines Untersuchungsgebietes eine Reihe neuer Beweise hierfür aufgefunden, wie z. B. Gerölle von Windgälleporphyr im petrefactenreichen Dogger jener Gegend, Abschneiden aller Euritgänge in der Grenze der krystallinischen Schiefer und des Röthidolomites, Fehlen jeder Contactmetamorphose der Kalksedimente etc. Eruptivgesteine erzeugen überhaupt keine Kettengebirge. Ueber die Verhältnisse im Berner-Oberland, auf welche Studer den Beweis gründen wollte, dass die Structur der Centralmassivgesteine die in teigartigem Zustande emporgedrungen seien, eine Erstarrungsstructur sei, kann ich hier einfach hinweggehen, weil Baltzer durch genaue Lokalbeobachtungen nachgewiesen hat, dass die dortigen Contactverhältnisse nicht einem eruptiven Eindringen des einen Gesteines in das andere, sondern vielmehr einer gegenseitigen Verkne-

tung durch Bewegung der festen Massen aneinander unter hohem Druck entsprechen.

Die innere Structur der Centralmassive spricht für Faltenbau. Die scheinbare Einförmigkeit der Schieferungsrichtung, welche mit den Stellungen der Sedimente in auffallendem Gegensatz steht, erleidet eine Menge von Ausnahmen. Es gibt Centralmassive, welche vollständig erhaltene breite gewaltige Gewölbe der krystallinischen Schiefer mit auf der Höhe flachen Schiefeln sind (Simplon, Monte Rosa etc.) wie man sie bei den Sedimentgesteinen nicht regelmässiger finden kann. Eine zweite Form, welche aus der ersten durch Abwitterung der Gewölbebiegung hervorgeht, ist die Dachstructur (Tauern). Die Parallelstructur (Aiguilles rouges, zum Theil Finsteraarmassiv) entspricht Falten, deren Schenkel parallel gepresst, deren Umbiegung erodirt ist. Wenn endlich die Zusammendrängung noch weiter geht, entsteht das Centralmassiv mit Fächerstructur (Gotthard, Finsteraarmassiv zum Theil, Mont Blanc). Wir kennen Zwischenglieder aller dieser Gestalten. Stets sind die am vollkommensten krystallinischen Gesteine (Granit, Protogyn etc.) im Centrum des Centralmassives, die weniger krystallinischen folgen in symmetrischer Reihe nach Aussen. Die verschiedenen Gesteinvarietäten finden wir stets in langgestreckten Zonen parallel der Axe des Massives. Manchmal ist neben einem Centralmassiv noch ein Theil eines unmittelbar anschliessenden zweiten entblösst, das sonst mehr in der Tiefe geblieben ist (nördlichste Zone des Finsteraarmassives). Was bis jetzt über die Lage der Structur krystallinischer Gesteine im Inneren der Centralmassive bekannt ist, stimmt mit der Auffassung der Massive als die Gewölbe theile eines Faltensystemes der krystallinischen Kruste vollständig überein.

Die Kontaktverhältnisse der Sedimente mit den Centralmassivgesteinen lehren folgende Erscheinungen, für welche in der Tödi-Windgällen-Gruppe eine Menge Beispiele sich finden:

Die krystallinischen Gesteine sind sehr oft am Kontakte mit den Sedimenten derart gebogen, dass sie sich in ihrer Lagerung derjenigen der Sedimente mehr oder weniger anschmiegen. Rutschstreifen, Reibungsbreccien und andere Beweise für Verschiebungen sind nicht selten. Die Sedimente, in ihrer Lagerung oft ganz unerwartet krystallinischen Platten vollkommen gleich, begleiten nicht nur Centralmassive an den Flanken, sondern greifen tief in dieselben ein und nehmen an deren Aufbau Theil, ohne dabei irgend welche andere als bloß mechanische Metamorphose erkennen zu lassen. Diese Sedimentfetzen sind Reste von eng gequetschten, stellenweise verquetschten tiefen Mulden, nicht aber losgebrochene umhüllte Stücke. (Eine solche Mulde im Val Puntaiglas von bloß 12 bis 15 M. Röthidolomit und etwas Verrucano sinkt 700 M. tief zwischen den Gneiss dessen Platten parallel hinab.) Ein Theil der Gesteine der Centralmassive sind selbst Sedimente. Je älter die Gesteine sind, desto häufiger finden wir sie centralmassivisch gestellt. Sehr viele Gesteine wie Verrucano, Kohlenschiefer, Röthidolomit und selbst jüngere Schichten bis zum Malm können sowohl jüngeren Sedimenten parallel liegen als auch ganz nahe daneben plötzlich mit den Centralmassivgesteinen gehen und concordante Einlagerungen in denselben bilden. Beim Verrucano ist das letztere die Regel, so dass er in der Nähe eines Centralmassives als Sohle der Sedimente meistens grösstentheils fehlt.

Die Activität der Centralmassive musste wegen den Falten der äusseren Kalkketten als ein Bei-Seite-Schieben

der Sedimente angenommen werden. Prüfen wir diese Behauptung näher:

Die Art, wie die auf die Höhe des Centralmassives an seinem Ende vorgeschobenen Posten der Sedimente in ihrem Rücken zum Theil zusammenhängen, sowie deren Umrissformen beweisen, dass sie nicht Zerreisungsreste, sondern Denudationsreste der früher zusammenhängenden Sedimentdecke sind. Denkt man sich die Falten der Sedimente, wo die letzteren noch als eine ganze oder auch schon theilweise unterbrochene Brücke auf dem Centralmassive ruhen, wieder ausgeglättet, so erhält man eine Zone, welche breiter — oft doppelt so breit — als das Centralmassiv ist. Das Centralmassiv, als die Unterlage dieser zusammengeschobenen Zone kann also nicht dilatirend im Alpenkörper gewirkt haben, sondern stellt im Gegentheil eine Zone dar, welche wie die Kalkketten selbst Zusammenschub erlitten hat. Grosse zum Theil liegende Falten der Sedimente zu beiden Seiten der Centralmassive haben die Theorie vom Seitendruck der Centralmassive hervorgerufen. Nun finden wir aber die gewaltigsten Falten, welche einen ungeheuren Zusammenschub in der Erdrinde bezeugen nicht nur an den Flanken sondern noch mehr in der Verlängerung der Centralmassive, wo nach der Dilationstheorie klaffende Spalten zu erwarten wären. Ich habe durch genaue Lokalbeobachtung (vergliehen Kapitel F Abschnitt IV im I. Band und S. 172 und 173 im II. Band) nachgewiesen, dass der Zusammenschub der Erdrinde, der sich östlich in unserer Doppelfalte compensirt, weiter westlich dem Centralmassiv übertragen wird. Die Glarner Doppelfalte ist wie ein Centralmassiv, das ausnahmsweise aus seiner Rolle gefallen ist, und in der Form aufs Höchste gesteigerter gewöhnlicher Falten vor uns tritt. Oestlich

kommen die Sedimente erst wieder in sanftere regelmässigerer Faltung wo ein neues Centralmassiv, dasjenige der Silvretta auftritt. Zwischen dem Westende des Finsteraarmassives und der Aiguilles rouges haben wir ebenfalls abnorm intensive Sedimentfaltung (Renevier). Centralmassive und grosse Falten vertreten sich. Die ersteren sind nur eine bestimmte mechanische Facies der Rindenrunzelung der Erde. Der durch das Finsteraarmassiv östlich der Reuss absorbirte Zusammenschub beträgt eine Zone der früheren Erdrinde von etwa 26 Kilom. Breite. Um so viel liegen die Punkte nördlich und südlich der Alpen einander jetzt näher, als vor der Entstehung des Finsteraarmassives.

Zum Theil aus den Beziehungen des Centralmassives zur Glarner-Doppelfalte, zum Theil noch aus andern Beobachtungen geht hervor, dass die Faltung der Centralmassive sicher jungtertiär ist, also gleich alt mit der Faltung der Sedimentgesteine (entgegen der Anschauung von Lory).

Die Erklärung für die bald discordante bald concordante Lagerung der Centralmassivgesteine zu den Sedimenten ergibt sich dadurch, dass die krystallinischen Schiefer unter den weniger oder andersförmig sich faltenden Sedimenten durch den Horizontalschub gefaltet, sich aufrichteten, wobei zum Theil unter der Sedimentdecke die Gewölbe der krystallinischen Schiefer aufbrechen mussten, zum Theil hingegen die untern Sedimentschichten mitgeschleppt und muldenförmig eingeklemmt wurden. Ich kenne noch andere unwiderlegliche Beweise dafür, dass eine in bestimmter Richtung zusammenschiebende gebirgsstauende Kraft gleichzeitig verschiedene Gesteinsschichten eines ursprünglich concordanten Complexes in ganz anderer Weise dislociren kann, so dass ausgedehnte Discordanzen in der Lagerung entstehen. Die Sedimentgesteine konnten in freien Krüm-

mungen nach oben ausweichen, sie waren weniger belastet. Die krystallinischen Schiefer waren belastet, und mussten sich deshalb anders, und zwar einförmiger falten. Die Centralmassivfaltung ist deshalb gewissermassen die Tiefenfacies der Faltung durch Horizontalschub. Clivage, das sich an den Umbiegungsstellen der krystallinischen Schiefer entwickelte, verwischte vielfach die Umbiegung und erhöhte die Einförmigkeit in der Schieferung. Dass oft die Centralmassivfaltung von der Sedimentdecke Fetzen als Mulden anschürfte und mitschleppte sowie alle anderen Lokalbeobachtungen im Contactgebiet lassen sich nun ganz leicht als nothwendige Erscheinungen übersehen.

Centralmassive sind also Falten der Erdrinde. Alle Centralmassive, alle Kalkketten der Alpen haben sich gebildet, weil sie zusammenwirkend in der Summe ihrer Faltung einen bestimmten Tangentialschub neutralisiren mussten. Wäre eine Falte enger geblieben, so hätte dafür eine andere sich weiter wölben müssen. Alle die zahllosen herrlichen reichgestalteten Kämmе und Gipfel sie sind die Leistung der gleichen Kraft und der gleichen Zeit, so verschieden alt ihr Material sein mag; sie sind vielleicht die Leistung der Schwerkraft, welche die Festigkeit der Gesteine zu überwinden vermochte, und hier Falten aufstaute, während sie die übrige Erdrinde dem Mittelpunkt um kaum einen Hundertstel näher rückte.

III. Abschnitt.

Ueber den Bau und die Entstehung der Kettengebirge.

Die Entstehung von Vulkanen und Kuppengebirgen ist mit einer Neubildung von Gesteinen verknüpft und das Gebirge entsteht erst allmähig durch eine Anhäufung der einzelnen Berge. Massengebirge und Kettengebirge entstehen

durch eine Ortsveränderung schon vorhandener Gesteine; bei ihnen ist das Gebirge das erste, die Einzelberge werden erst durch Verwitterung aus demselben herausmodellirt. Nachdem die Eintheilung der Gebirge noch vollständiger durchgeführt ist, folgt ein Ueberblick über die Geschichte der Anschauungen über die Entstehung der Gebirge. Sodann werden die Dislocationen der Kettengebirge übersichtlich in ihren Elementen zusammengestellt. Mit eigenen Resultaten musste ich hier vielfach schon bekannte Dinge mischen um die zu behandelnden Gegenstände zu derjenigen Vollständigkeit und in der neuen Behandlung zur Abrundung zu bringen, welche ich anstrebe.

Als Anhaltspunkte zur Beurtheilung von Lagerungsstörungen haben wir: Aufrichtung der Schichten, Fehlen einer Schichtstufe und Wechsel der Facies. In den Kettengebirgen reihen sich Mulden und Gewölbe aneinander. Eine Mulde und ein Gewölbe bilden eine Falte. Durch die Faltung entstehen: Antiklinalkamm und Synklinalthal. Durch ein Zusammenwirken von Faltung und Erosion: Antiklinalthal, Synklinalkamm, Isoklinalthal und Isoklinalkamm. Durch Denudation allein der Faltung zum Trotze entstehen Querthal und Querkamm. Wir haben ferner zu unterscheiden: stehende, geneigte und liegende Falten. Von den letzteren gibt es mehrere Grade: a. Liegende Falten mit drei gleichmächtigen Schenkeln, b. Liegende Falten mit ausgewalztem und dadurch stark reducirtem Mittelschenkel, c. Liegende Falten mit streckenweise verquetschtem oder ganz abgerissenem und ausgebliebenem Mittelschenkel. Auf die letztere Art entstehen Verwerfungen (Ueberschiebungen) durch Uebertreiben einer Falte; wir nennen dies Faltenverwerfungen im Gegensatz zu den eigentlichen oder Spaltenverwerfungen. Je nach dem Grade der Zusammenschiebung bei stehenden

oder weniger stark geneigten Falten gibt es Normalfalten, Isoklinalfalten und Fächerfalten. Die Faltenverwerfungen bilden Uebergänge in die eigentlichen Verwerfungen. Die Bewegungen der Erdrinde in Kettengebirgen sind Vertikal-schwankung, Faltung und Horizontalverschiebung. Als Beispiele werden die Bewegungen im Gebiet des Jura und der Alpen tabellarisch zusammengestellt. Jedes Kettengebirge ist eine Faltenschaar, welche meistens im Querprofil nach beiden verschiedenen Seiten ungleich ausgebildet ist.

Aus den folgenden Kapiteln heben wir hier nur noch wenig hervor:

Wenn wir Kettengebirge in Gedanken wieder ausglätten, so erhalten wir ein Zu-viel von Erdkruste. Der Erdumfang war also vor der Stauung der Gebirge um denjenigen Betrag grösser, welcher sich aus dem Ausglätten der Kettengebirge im Vergleich zu der jetzigen Breite der Gebirgszone ergibt. Ich habe, soweit die Profile genügend bekannt sind, aus denselben diesen Zusammenschub abgemessen und für den Jura zu 5000 bis 5300 M., für die Alpen zu etwa 120000 M. gefunden. Früher war die betreffende Zone der Erdrinde um den genannten Betrag breiter. Diese Zahl ist der absolute Zusammenschub, der ein Gebirge gebildet hat. Die jetzige Breite des Gebirges dividirt durch die Breite dieser Rindenzone vor der Faltung ergibt den relativen Zusammenschub ($\frac{7}{12}$ bis $\frac{4}{5}$ für den Jura, $\frac{1}{2}$ für die Alpen). Theilen wir den absoluten Zusammenschub durch die Zahl der Ketten oder Falten, so erhalten wir ein Mass für die durchschnittliche Intensität der Falten, welche letztere Zahl von einem zum andern Querprofil stark wechseln kann. Da der Erdumfang 40 023 512 M. beträgt, war er vor der Alpenbildung 40 143 512 M. gross; er hat sich somit durch die Alpenbildung doch bloß um das 0,003 fache

verkleinert — d. h. um nicht ganz $\frac{1}{3}$ ‰. Schätzen wir die Faltung der andern von dem Centralalpenmeridian geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschub ab, so finden wir, dass die Umfangsverkürzung durch die gesammte Gebirgsbildung bis jetzt nicht ganz 1 ‰ betragen hat!

Es schliessen sich nun einige Untersuchungen über das sich Drängen oder sich Schaaren der Falten, über den Einfluss von Facieswechsel auf Faltung, über die Richtung und über die bogenförmigen Umkrümmungen der Kettengebirge an. Ferner wird für die Centralalpen der Nachweis geliefert, dass die äusseren nördlichen Ketten erst nach den inneren aufgestaut worden sind.

Im letzten Kapitel werden noch die Beziehungen der Kettengebirge zu den Kontinenten und den anderen Gebirgsmassen und die Frage nach den letzten Ursachen der Gebirgsbildung besprochen.

Dass der Erdkern allmählig für die Kruste zu klein geworden ist, ist seitdem wir auch die Centralmassive als Produkte eines Zusammenschubes erkannt haben, keine Theorie mehr, sondern ein einfaches ganz sicheres Beobachtungsergebniss. Jede Theorie über die Beschaffenheit des Erdinnern, welche dieses Faktum nicht erklären kann, muss verworfen werden. Soweit ist unser Gedankengang frei von Hypothesen. Die Berechnung zeigt, dass der Materialverlust des Erdinnern durch Eruptionen nicht genügt, diese Verkleinerung zu erklären, wohl aber ist leicht zu berechnen, dass schon ein geringer Fortschritt in der Abkühlung des Kernes vollständig zu der für die Erklärung der Kettengebirge nöthigen Contraction führt. Ob wir uns diesen Kern dabei als fest oder flüssig vorstellen wollen ist selbstverständlich vollkommen gleichgültig.

Wenn die Rinde an manchen Stellen Gebirge faltet, muss sie an anderen über ausgedehnten Flächen einsinken. Dadurch entstehen die Meerbecken, es bleiben die Continente zurück.

So erscheint uns das ewige Schwanken der Erdrinde, die grosse vertikale Gliederung durch ungleichförmiges Nachsinken und dadurch bewirkte Stauung der Erdrinde gegeben. Während der Zeit, da der Erdradius sich um 50000 M. verkleinerte, hat der durchschnittliche Niveauunterschied von Meergrund und Festland in dieser Zahl mehr als 10 Mal in je wieder ganz anderer Gruppierung Raum genug gefunden. Ruhe, Gleichgewicht, Abflachung wird erst dann eintreten, wenn die Contraction aufhört. Die Alpen, deren reichen Erscheinungen unsere Untersuchungen vorwiegend gewidmet waren, sind selbst nur durch eine lokale Phase des allgemeinen Contractionsprocesses der Erdkugel gestaut, — unermesslich gross und reich für uns und unser Erfassen, verschwindend klein im Vergleich zur Erdkugel. Ihre Stauung war gleich einer Minute, ihre Abspülung wird gleich einer zweiten Minute in der Geschichte des Planeten sein, der selbst nach Raum und Lebensdauer unter den anderen Sternen zwischen der Ewigkeit der Vergangenheit und der Ewigkeit der Zukunft verschwindet.

