

## Die Entstehung der Alpen.

Vortrag, gehalten von Herrn kgl. Universitätsprofessor **Dr. Rothpletz** im Polytechnischen Verein in München  
am 5. Dezember 1898.

**D**ie Alpen haben ihre Schrecken für uns verloren. Noch im vorigen Jahrhundert und in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts galt es als ein gewagtes Unternehmen, zur Winterzeit die Hochpässe der Alpen zu überschreiten, und wer es gar versuchte, einen der hohen, schnee- und eisbedeckten Berggipfel zu besteigen, der stiess auf ungeheuren Widerstand. Man bezeichnete es als ein „Gott-Versuchen“, wenn jemand, um die Aussicht von einem solchen Berge aus zu geniessen, das kühne Wagnis unternahm, auf einen Tag den Blicken der Menschheit zu entswinden. Heute sind es Tausende und Tausende, die alljährlich in die Alpen wandern, um dort Erholung von den Strapazen des Stadtlebens und neue Kräfte zu finden. Vereine haben sich speziell zusammengeschart, um die Zugänglichkeit der Alpen zu erhöhen und gerade hier in München gibt es ja mehrere Tausende Mitglieder solcher Alpenvereine.

Von diesen vielen Besuchern der Alpen haben wohl die Meisten sich bei ihren Wanderungen einmal wenigstens die Frage vorgelegt: „Ja, wie sind diese prachtvollen hohen Berge wohl entstanden?“

Denn, wenn schon man das, was die Natur uns Schönes bietet, gerne auch ohne weiteres Nachdenken genießt, so ist der Mensch doch so beschaffen, dass er bald nach dem „Warum“ fragt.

Ich weiss nicht, wie diese Antworten ausgefallen sind, die viele Tausende sich selbst oder anderen gegeben haben, aber ich bin fest davon überzeugt, dass sie sehr verschiedenartig ausgefallen sind. Ich glaube vermuten zu dürfen, dass viele Antworten sehr präzise waren und dem staunenden Zuhörer in der bestimmtesten Weise die Entstehungsgeschichte klipp und klar auseinander setzten. Ich bin ebenso überzeugt, dass solche präzise Antworten zumeist von denen gegeben wurden, die sich am wenigsten darauf verstanden haben.

Denn es ist äusserst schwer, in befriedigender Weise eine solche Antwort zu geben, und obwohl ich mich seit zwanzig Jahren speziell mit der Geologie der Alpen beschäftige, so war es doch nicht ohne Zögern, dass ich dem Vorschlage Ihres Vorstandes folgte und dieses Thema für heute gewählt habe. Denn ich musste mir sagen, dass einerseits die Antwort für Sie unbefriedigend ausfallen werde und andererseits, dass ich dieselbe auch nicht so kurz und bündig geben kann, als dies im Interesse Ihrer kostbaren Zeit wünschenswert wäre. Ist es doch notwendig, ziemlich weit auszuholen, da ich natürlich nicht voraussetzen kann, dass Sie sich ebensolange mit der Geologie beschäftigt haben, wie ich.

Zuerst muss ich einige Vorfragen stellen, ehe ich an die eigentliche Beantwortung gehen kann, und die erste lautet so: *Wie sind die Alpen eigentlich aufgebaut?*

Wenn Sie einen Blick auf die schöne Wandkarte von Randegger werfen, so sehen Sie eine sehr wohl gelungene orographische Darstellung der Alpen, die dieses Gebirge in seiner ganzen Ausdehnung zeigt, und Sie bemerken zunächst, dass die Alpen einen eigentümlichen Bogen beschreiben, der bei Wien beginnt und in der Form eines langgestreckten Fragezeichens westwärts bis zur Riviera reicht, wo das Gebirge jählings unter den Spiegel des mittelländischen Meeres untertaucht. Fassen Sie hierauf die geologische Uebersichtskarte von Noë ins Auge, so erkennen Sie, dass das Alpengebiet randlich von einem hauptsächlich gelben Farbstreifen eingefasst ist, dem nach innen ein vorwiegend grüner und dann ein blauer Streifen anliegt, der in der Mitte noch violette und rote Farbentöne einschliesst. Alle diese Farben, mit Ausnahme der roten, bezeichnen mineralische Absätze, die sich auf dem Boden ehemaliger Meere gebildet haben. Es sind Kalksteine, Sandsteine, Mergel, Thone und Thonschiefer, welche

Ueberreste vorweltlicher Tiere und Pflanzen einschliessen. Da, wo sie sich jetzt zu hohen Bergen auftürmen, war einstmal ein weites offenes Meer. Dieses „Einstmals“ umfasst aber einen sehr weiten Zeitraum, der von den Geologen in eine Reihe von Perioden eingeteilt wird. An die Gegenwart schliesst sich zunächst die Neuzeit oder das kanozoische Zeitalter mit der Quartär- und Tertiärperiode, daran reiht sich das Mittelalter oder das mesozoische Zeitalter mit der Kreide-, Jura- und Triasperiode, also jenen Perioden, in denen sich z. B. unser roter Buntsandstein, die schönen Kalksteine von Solnhofen und die weissen Kreidelfelsen der Insel Rügen und Südenglands gebildet haben.

Noch weiter zurück liegt das Altertum oder das palaeozoische Zeitalter mit seiner Perm- und Carbonperiode, in denen sich die so wichtigen Steinkohlenflöze abgelagert haben, sowie mit der Devon-, Silur- und Cambriumperiode. Zuletzt kommt als vierter Zeitabschnitt die Urzeit oder das archaische Zeitalter mit der Glimmerschiefer- und Gneissformation, die auch als das Urgebirge bezeichnet werden. Es ist das älteste, was wir auf Erden kennen und bildet die Basis aller unserer Meeresablagerungen oder Sedimentgesteine. Unter dasselbe sind wir noch nicht vorgedrungen.

Ablagerungen aus allen diesen Perioden sind es nun, welche hauptsächlich den Alpenkörper zusammensetzen. Aber von unten aus dem Inneren der Erde sind auch Gesteinsmassen in geschmolzenem Zustande durch diese verschiedenalterigen Meeresablagerungen hindurch emporgedrungen. Es sind die Gänge, Stöcke und Lager von Graniten, Porphyren, Basalten u. a., die wir in manchen Teilen der Alpen fast gar nicht, in anderen aber, z. B. in den Centralalpen, in Südtirol oder den italienischen Alpen recht häufig antreffen.

Man könnte nun vielleicht versucht sein, sich von dem Bau der Alpen etwa in der Weise ein Bild zu entwerfen, dass man sagte, die Eruptionen werden wohl den inneren Kern des Gebirges bilden, um den sich zunächst nach Art eines Mantels das Urgebirge und weiter nach aussen der Reihenfolge nach die Ablagerungen der verschiedenen Zeitalter anlagern, so dass die Ränder der Alpen nur noch aus Sedimenten der Neuzeit oder des Tertiärs beständen.

Ein solches Bild wäre aber unrichtig, denn wir wissen, dass die Aufeinanderfolge der verschiedenalterigen Absätze von innen nach aussen keineswegs eine so einfache und regelmässige ist. Fast überall stossen wir vielmehr auf Wiederholungen der chronologischen Gesteinsreihen, oft sogar in verkehrter Anordnung, und die ältesten Gesteine oder die Eruptivmassen liegen gar nicht immer in den zentralen Ketten, sondern recht häufig ausserhalb und insbesondere dem Südrande des Gebirges genähert.

Diese auffallende Thatsache ist die Folge einer anderen, die wir leicht bei Wanderungen in den Alpen

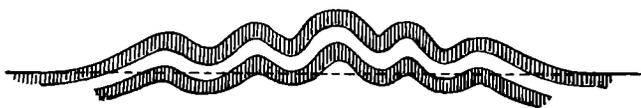


Fig. 1.

beobachten können, wo unzählige Felswände durch den zickzack- oder schlangenförmigen Verlauf der sie zusammensetzenden Gesteinsbänke oder Schichten unsere

Aufmerksamkeit erregen. Und so wie im einzelnen sind auch im grossen die ursprünglich horizontal gelagerten Gesteinsschichten zu Gewölben und Mulden verbogen, gefaltet und zusammengeschoben worden, etwa nach Art der beistehenden Figur 1. Da aber die errodierende Kraft des Wassers oberflächlich im Laufe der Zeit schon wieder viel von diesen Gebirgs-Falten abgetragen hat in der Weise, wie es die schematische Figur 2 darstellt, so ist der ursprüngliche Zusammenhang der



Fig. 2.

gefalteten Schichten vielerorts dadurch unterbrochen worden, und so kommt es, dass sich nach den Centralalpen zu die jüngeren Schichten häufig wieder einstellen, indem sie die Faltenmulden ausfüllen, ohne dass jedoch in diesen Wiederholungen eine besondere Regelmässigkeit herrschte.

Diese Gesteinsfaltungen nun, meine Herren, sind etwas ganz merkwürdiges. Man sollte nicht glauben, dass harte und spröde Gesteine sich wie Holz oder Pappendeckel biegen können, und doch ist dies der Fall. Ich zeige Ihnen hier einen geschichteten Glimmerschiefer, der dem Urgebirge entstammt und dessen Schichtbänder die Form eines grossen W angenommen haben. Da sehen Sie einen harten, festen Kalkstein sattelförmig gebogen, ohne dass er dabei zerbrochen wäre. Man hat früher gemeint, dass solche Gesteine noch unverfestigt und weich gewesen sein müssten, als sie gefaltet wurden, dass der Kalkstein nur erst ein weicher Kalkschlamm war und sich deshalb so leicht verbiegen liess. Doch ist das eine wissenschaftlich so wenig begründete Anschauungsweise, dass man darüber zur Tagesordnung übergegangen ist.

Wir wissen, dass viele Gesteine wiederholt innerhalb verschiedener Epochen gebogen worden sind, dass z. B. solche, die zur Triaszeit bereits gefaltet waren, später zur Tertiärzeit nochmals Biegungen erfahren haben. Es ist aber gänzlich ausgeschlossen, dass diese Gesteine in der langen Zwischenzeit weich geblieben, oder dass sie nach der ersten Faltung erst hart und dann zur Zeit der zweiten Biegung wieder weich geworden wären. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass z. B. die wohlbekannten harten Solnhofener Kalkplatten, die sogen. Lithographenschiefer, sich auch heute noch ebenso verbiegen liessen, wie es die vorgelegten Gesteinsproben seinerzeit gethan haben, sobald nur das ganze Gebirge genügend tief wieder in die Erde versenkt und dem gleichen Gebirgsdrucke wie jene ausgesetzt würde.

Wie steht es aber mit den Graniten, Porphyren, Basalten und allen den anderen Massen, die die gefalteten Schichten durchsetzen und sich in denselben ausbreitet haben?

Früher hat man geglaubt, dass dieselben, als sie in heissem Zustande aus dem Inneren der Erde empordrangen, die feste Decke der geschichteten Gesteine in die Höhe gehoben, gesprengt und die geborstenen Teile auf die Seite geschoben hätten. Dadurch wären die Kalksteine, Sandsteine und Schiefer aufgerichtet und gefaltet worden und das Alpengebirge selbst entstanden.

Diese Ansicht ist aber ganz irrtümlich und es lässt sich leicht erweisen, dass diese Eruptivmassen die Alpen nicht aufgerichtet haben können, weil weitaus der grösste Teil derselben viel älter als das Alpengebirge ist. Wir

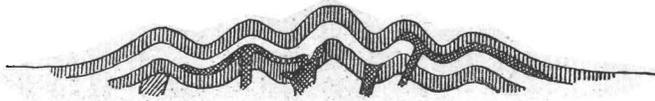


Fig. 3.

können ihr Alter in vielen Fällen mit grosser Sicherheit bestimmen auf Grund von Verhältnissen, wie sie die schematische Figur 3 zeigt.

Die berühmten schwarzen und roten Porphyre Südtirols z. B. waren schon zur Jurazeit erstarrt, also lange vor Entstehung der Alpen und von sehr vielen Graniten lässt sich ihr hohes Alter dadurch beweisen, dass geschichtete Ablagerungen darüber liegen, die Bruchstücke dieser Granite als Gerölle einschliessen. Sie bildeten also bereits vor langer Zeit den Boden oder die Ufer von Meeren, und wurden von deren Wogen oberflächlich zerstört und in Sand und Gerölle umgewandelt.

Sie sind also ebenso wie die geschichteten Gesteine ganz passiv gehoben und gefaltet worden und nur von sehr wenigen Eruptivgesteinen, z. B. einigen Basalten und Serpentin Graubündens, ist es sicher nachweisbar, dass ihr Empordringen in die Periode der Alpenaufrichtung fiel. Aber sie sind viel zu geringfügig und zu selten, um als die Ursache dieser Aufrichtung angesehen werden zu können. Höchstens sind es Begleiterscheinungen.

Schon öfters habe ich ganz im allgemeinen von der Zeit sprechen müssen, in welcher die Alpen entstanden sind, aber Sie werden vielleicht eine genauere Bestimmung derselben wünschen. Freilich nach Jahren und selbst nach Jahrtausenden kann ich sie nicht angeben. Der Geologe misst die Zeiträume nicht wie der Astronom nach der Umdrehung oder Bewegung der Gestirne, sondern nach dem Eintritt besonders wichtiger geologischer Veränderungen, ähnlich, wie man die Geschichte des Menschen etwa nach der Reformation, der Völkerwanderung, der Geburt Christi, in grosse Abschnitte zerlegt. Insbesondere dienen dazu die Ver-

abschnitte eingeteilt worden. Das Alter der Alpen lässt sich also nicht nach Jahren, sondern nur nach diesen Perioden messen, und diese Bestimmung ist verhältnismässig leicht.

Der Querschnitt der Figur 162 zeigt ihnen verschiedene Schichten, die von 1—4 nummeriert sind. 1—3 sind gefaltet und zu einem Kettengebirge aufgerichtet, während 4 noch horizontal liegt. Das Gebirge muss zwischen den Perioden 3 und 4 entstanden sein, nachher erst konnten sich die Schichten

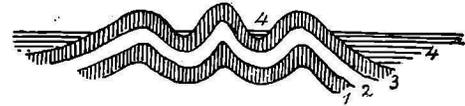


Fig. 4.

der 4. Periode absetzen. Wenn wir uns nun fragen, welche Ablagerungen bei den Alpen denen von 3 und 4 entsprechen, so ist die Antwort nicht schwer. Unsere Molasse, welche der mittleren Tertiärperiode (Oligocän und Miocän) angehört, ist noch überall aufgerichtet, wie die Kohlenlager bei Miesbach und Peissenberg beweisen. Erst die Ablagerungen des letzten Abschnittes der Tertiärperiode, des sogen. Pliocäns, treffen wir ohne Faltung horizontal die Alpen umlagernd und sogar stellenweise in die grossen Alpenthäler eingreifend.

Die Alpenhebung muss danach also zu Ende der Tertiärzeit und zwar zwischen der Miocän- und Pliocänperiode vor sich gegangen sein. Gleichwohl ist diese

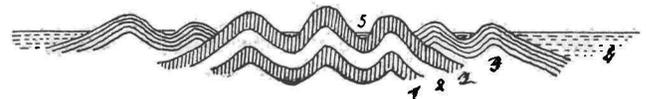


Fig. 5.

Altersbestimmung doch nicht ganz richtig, denn die Alpen haben merkwürdiger Weise eine doppelte Geburt erlebt. Eine frühere war schon vorausgegangen, — aber auch deren Periode lässt sich nach dem Schema der Figur 5 recht gut bestimmen. Da sehen Sie auch drei gefaltete Schichten, aber dieselben sind untereinander nicht parallel, sondern 3 lagert ungleichförmig um einen aus 1 und 2 bestehenden inneren Gebirgskern herum.

Würde man in Gedanken 3 wieder in seine ur-

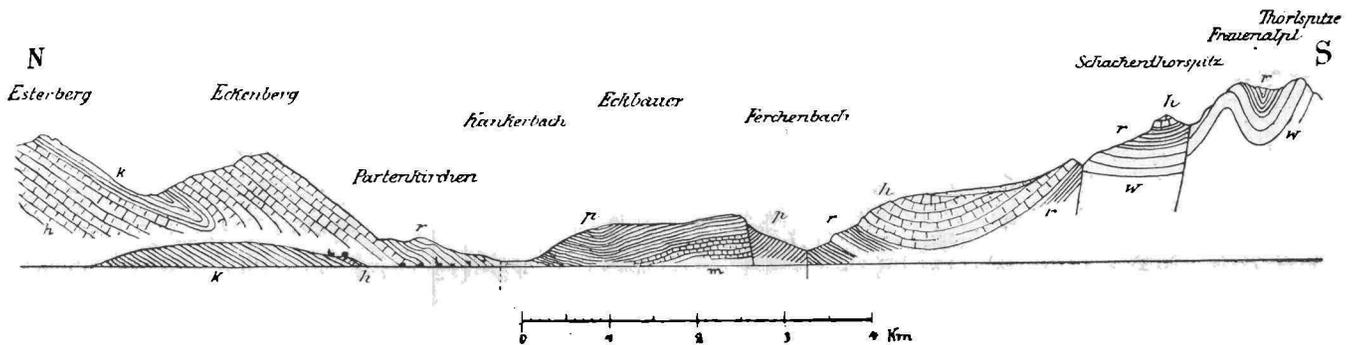


Fig. 6. m Muschelkalk, p Partnachschieben, w Wettersteinkalk, r Raibler Schichten, h Hauptdolomit, k Kössener Schichten.

steinungen, welche uns lehren, dass die Erde im Laufe der Zeit von verschiedenartigen Tier- und Pflanzengesellschaften bewohnt worden ist, die sich gegenseitig abgelöst haben. Danach nun ist die Vergangenheit der Erde in jene schon aufgezählten Perioden und Zeit-

sprüngliche horizontale Lage versetzen, so entstände genau das Bild von Figur 4, nur dass 3 von hier dem 4 von dort entspräche. Für ein Gebirge vom Typus dieser Figur bestehen also zwei Hebungsperioden: die erste fällt zwischen 2 und 3, die zweite zwischen

3 und 4. In den Alpen fällt die Rolle von 3 dem mittleren Tertiär (der Molasse), diejenige von 2 dem ältesten Tertiär (Nummuliten-Schichten) zu. Zwischen die Ablagerung beider fällt die erste alpine Hebung. Von dem neuentstandenen Gebirge flossen die Gewässer nach aussen in die Niederungen ab, schleppten grosse Massen von Schlamm, Sand und Geröllen von den Höhen herunter und setzten sie als mächtige Ablagerung vor dem Gebirge ab, ähnlich wie das auch heute noch rings um das Gebirge geschieht.

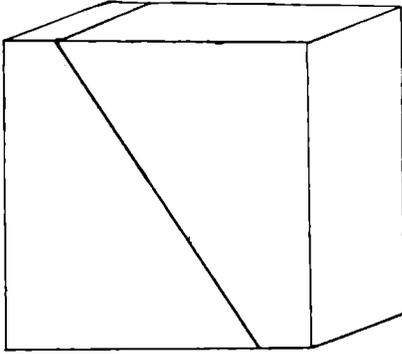


Fig. 7.

So bildete sich die subalpine Molasse mit ihren mächtigen Sandsteinen und Nagelfluhen bis die zweite Hebung begann und nun auch diese neuen Massen aufrichtete und in Falten legte. Wollte man sich für die Zukunft noch eine dritte Hebung vorstellen, so hätten die weitausgedehnten und mächtigen Alluvionen der Poebene dabei eine ähnliche Rolle zu spielen, wie seinerzeit die Molasse, und es würden nochmals, wie am Ende der Tertiärzeit, die Alpen nicht nur an Höhe,

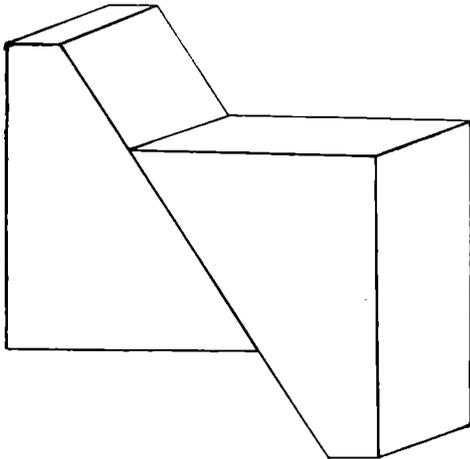


Fig. 8.

sondern auch an Breite um ein Erhebliches zunehmen.

Bisher habe ich nur von *Faltungen* gesprochen, als ob die Entstehung der Alpen lediglich mit solchen einfachen Vorgängen, wie sie in den schematischen Figuren zum Ausdruck kommen, zusammen hänge. Wenn wir aber mit Aufmerksamkeit die Alpen durchwandern, um uns nicht schematische, sondern der Wirklichkeit vollkommen entsprechende Querschnitte zu entwerfen, dann ergibt sich sehr bald, dass diese Wirklichkeit sehr viel verwickelter ist. Und dies ist besonders einem Umstand

zuzuschreiben, der recht allgemein verbreitet ist, den ich aber bis jetzt verschwiegen habe. Es sind das die gewaltigen Brüche, welche die zusammenhängenden Gesteinsmassen zerrissen haben und auf deren Spalten die getrennten Massen oft um Tausende von Metern auseinander geschoben worden sind. In welcher Weise sich das auf einem Querschnitt bemerklich macht, sehen Sie auf diesem Profil (Fig. 6) durch das Wettersteingebirge, dessen grossartige Gesteinsfalten durch die Bruchspalten in viele Stücke zerschnitten sind, die

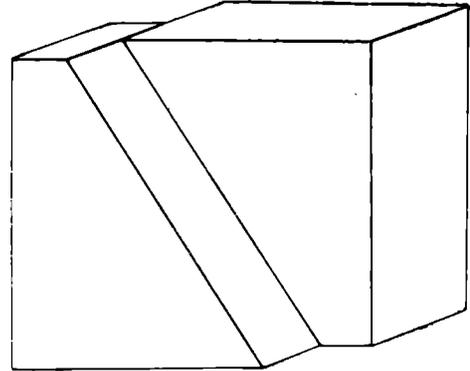


Fig. 9.

selbst wieder starke Verschiebungen erfahren haben, so dass man den ursprünglichen Zusammenhang der Falten oft kaum mehr erraten kann.

Die Stücke, welche durch solche Brüche abgetrennt werden, nennen wir Gebirgsschollen, und die Bewegungen, welche diese Schollen dann machen, heissen *Verwerfungen*.

Wir teilen letztere in verschiedene Arten ein, die sich in schematischer Weise an diesem Holzwürfel

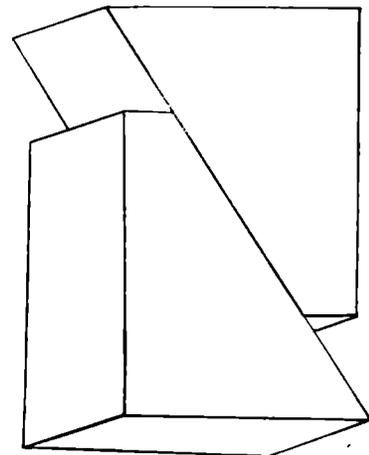


Fig. 10.

(Figur 7) erläutern lassen, der schräg mitten durchgeschnitten ist. Jede Hälfte stellt eine Gebirgsscholle dar. Gleitet nun die eine Hälfte auf der schrägen Bruchfläche abwärts, so nennen wir das eine Senkung, einen Einbruch oder einen „Sprung“ (Fig. 8); ist hingegen die Bewegung eine horizontale, so haben wir es mit einer „Verschiebung“ zu thun (Fig. 9), und geht endlich die Bewegung auf der schrägen Verwerfungsspalte nach aufwärts, so entsteht das, was als „Wechsel“ oder Ueberschiebung bezeichnet wird (Fig. 10).

Die Bergleute haben auf diese Vorgänge frühzeitig zu achten gelernt, wenn sie tief unter der Erde oft-

beschrieben hatte, gingen auch den Alpengeologen auf einmal die Augen auf — es fiel ihnen wie Schuppen von den Augen und sie erkannten die Grossartigkeit und Wichtigkeit dieser Erscheinung. Ausgezeichnete Beispiele dafür, wie das Urgebirge mitsamt seiner Last aufruhender Meeresablagerungen meilenweit über die tertiären, also jüngsten Sedimente hinübergeschoben worden ist, liefern uns z. B. die Glarner, Bündner und rhätischen Alpen (Fig. 13).

Nun aber müssen wir auf den *Faltungsvorgang* noch einmal zurückkommen und untersuchen, wie er eigentlich zu stande kommt. Sie wissen, dass manche Gesteine sich sehr leicht umformen, kneten und biegen lassen, und diesem Umstande verdanken z. B. gewisse Thone ihre grosse technische Verwendbarkeit. Anders aber verhält es sich z. B. mit dem Granit, Sandstein oder Kalkstein. Diese harten und spröden Gesteine brechen eher, als dass sie sich von uns biegen oder umformen lassen. Gleichwohl bringt die Natur dies fertig, wie wir aus den Figuren 17 und 18 ersehen können; aber wenn wir uns einen so gefalteten Kalkstein näher ansehen, so entdecken wir darin zahllose grössere und kleinere Risse und Spalten, die zwar alle wieder ausgeheilt sind, indem sie mit Gangmineralien (meist Quarz und Kalkspath) erfüllt worden sind, die aber vorher eine gewisse Beweglichkeit den einzelnen Gesteinsteilen gestattet haben (Fig. 14). Ganz geringfügige Bewegungen auf jedem einzelnen dieser Risse konnten sich so summieren und vollständige Verbiegungen der Gesteinschichten hervorbringen. Gleichzeitig kommt dabei insbesondere z. B. bei Kalksteinen noch eine chemische Veränderung mit in Betracht. Durch die Zusammenwirkung des Gebirgsdruckes und der Gesteinsfeuchtigkeit geht ein Teil des kohlen-sauren Kalkes längs gewisser Flächen in Lösung. Man erkennt diese „Drucksuturen“ leicht an ihrer eigentümlichen, an Schädel-

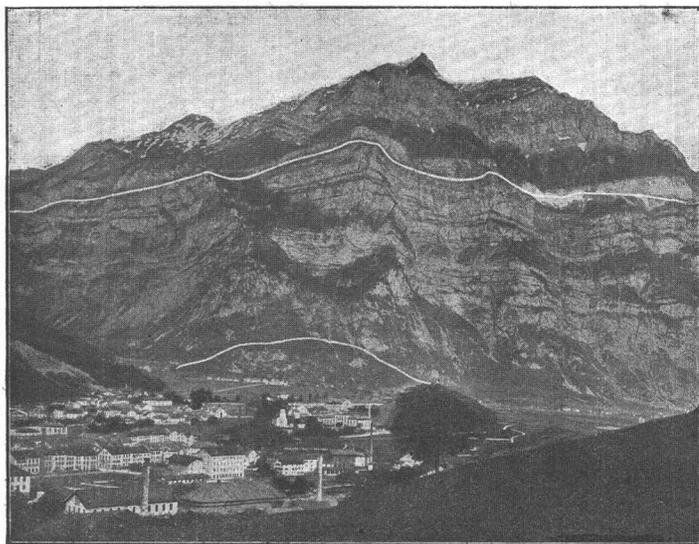


Fig. 11. Anblick des Wiggis von Glarus aus.

mals plötzlich den Erzgang oder das Kohlenflötz verloren hatten, weil es auf einer Spalte verworfen war. Aber auch der landschaftliche Charakter des Gebirges und insbesondere der so reizvolle Wechsel in der Szenerie ist nicht selten durch solche Verwerfungen bedingt. Ein ausgezeichnetes Beispiel dafür liefert der Uebergang von der Knorrhütte über das Gatterl nach Lermos. Die öde und wilde Felsenlandschaft wechselt südlich des Gatterls ganz unerwartet und sanftere grasbewachsene Bergformen schliessen sich unmittelbar an, nur getrennt durch eine Verwerfungskluft, die man deutlich zwischen Wanner und Hohenkamm von O nach W hindurchstreichen sieht. Viele ihrer schönsten Reize — nämlich ihre Seen — verdanken die Alpen ebenso den Verwerfungen, und durch solche ist auch das Loischthal zwischen Garmisch und Murnau entstanden, das freien Zugang und einen herrlichen Blick auf das Wettersteingebirge gewährt.

Minder deutlich treten die *Ueberschiebungen* im Landschaftscharakter hervor und obwohl dabei oft meilenweit und mehrfach wiederholt ältere Gesteine über jüngere geschoben und zu mächtigen Massen übereinander getürmt sind, so kann dies doch meist erst von dem geübten Auge der Geologen erkannt werden. Wie täuschend so etwas sein kann, ersehen Sie aus den photographischen Bildern des Wiggis und Vorderglärnisch im Canton Glarus (Figur 11 und 12).

Scheinbar ist hier alles ganz einfach gelagert: das älteste zu unterst, das jüngste zu oberst, in Wirklichkeit jedoch liegen die Schichtserien dreimal übereinander, aber die Ueberschiebungsflächen sind nur auf der Photographie so deutlich gemacht. Die längste Zeit sind diese merkwürdigen Lagerungsverhältnisse fast gänzlich unbekannt geblieben, und eigentlich erst, seitdem man in anderen Gebirgen vor etwa 15 Jahren solche Verhältnisse in der klarsten Weise erkannt und

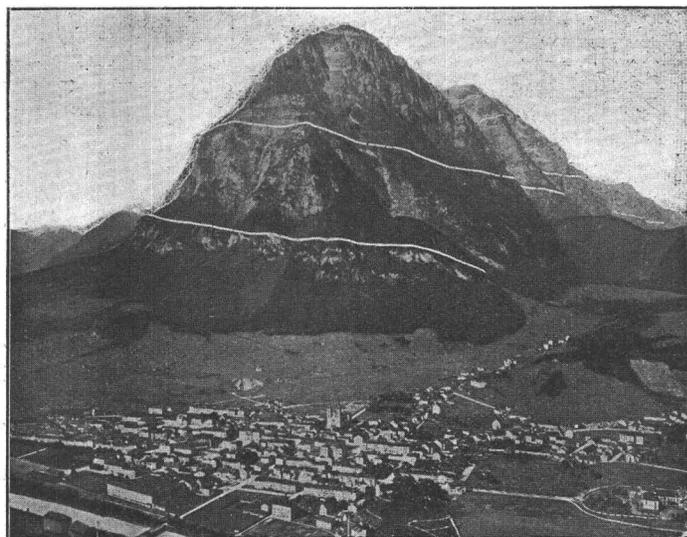


Fig. 12. Anblick des Vorderglärnisch von Glarus aus.

nähte erinnernden Form und der Ansammlung unlöslicher thoniger und eisenhaltiger Gesteinsbestandteile.

Man kann sie danach unschwer von den anderen Adern und Gängen unterscheiden, welche im Gegensatz zu ihnen nicht aus Zusammendrücken, sondern aus Zerreißen entstanden sind.

Wie bedeutend die Kalkmassen waren, die auf solche Weise dem Gestein entzogen worden sind, davon

gewiesen. Man hat geschichtete Massen — etwa aus Gips und Wachs. — hergestellt (Fig. 16) und dann von zwei Seiten her zusammengepresst. Dabei wurden diese künstlichen Schichten gebogen, gefaltet, zerrissen und verworfen, und die so gewonnenen Bilder haben eine gar nicht zu verkennende Aehnlichkeit mit den Quer-

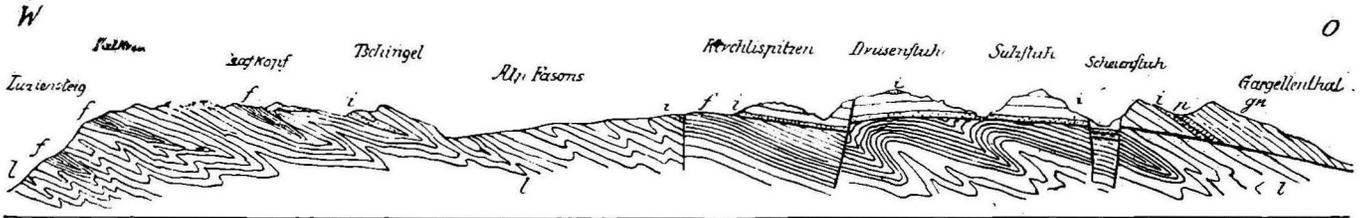


Fig. 13. Schnitt durch den Rhätikon. gn Gneis, p permischer Sernifit, l Lias, i Tithon, f tertiärer Flysch.

kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man den eckigen Ammoniten (Fig. 15) ansieht, der seine ursprünglich runde Form verloren hat, weil er von mehreren Seiten durch solche Drucksuturen angefressen worden ist. Solche Dinge kann man sehr häufig in aufgerichteten und verbogenen Kalksteinen beobachten.

Chemische Veränderungen und innerliche Zertrümmerung sind also die hauptsächlichsten Hilfsmittel, deren die Natur sich bedient, um selbst die härtesten und sprödesten Gesteine zu verbiegen und in jene wunderbaren Falten zu legen, welche die Kettengebirge aus-



Fig. 15. Lias-Ammonit aus dem Rhätikon.



Fig. 14. Alpiner Muschelkalk.

zeichnen und das Erstaunen der Beschauer hervorrufen.

Nun aber kommen wir endlich zur *Hauptfrage*, nämlich der *nach den Kräften*, welche alle diese Veränderungen, Faltungen und Verwerfungen und damit zugleich die Alpen selbst erzeugt haben. Zu ihrer Beantwortung reicht jedoch die Erfahrung allein nicht mehr aus, weil die historische Zeit uns noch niemals Gelegenheit geboten hat, ein Kettengebirge im Entstehen zu beobachten. Wir leben, wenigstens in dieser Beziehung, in einer Periode vollkommener Ruhe und infolgedessen wissen wir nicht einmal, ob solche Gebirgsbildung rasch und plötzlich oder sehr langsam, vielleicht sogar fast unmerklich vor sich geht.

Unsere Erkenntnis ist deswegen hauptsächlich auf das Experiment und die theoretische Spekulation an-

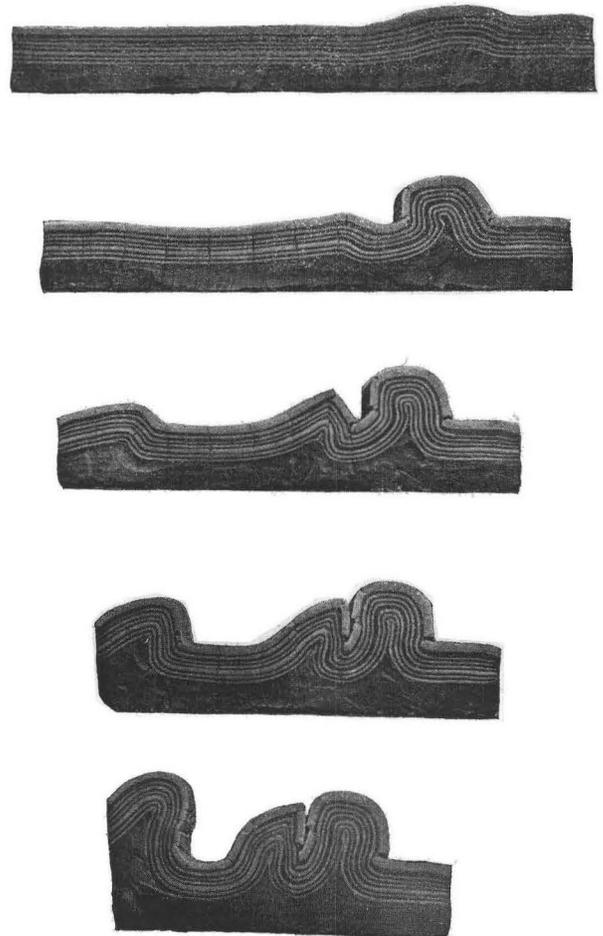


Fig. 16.

schnitten der Alpen oder anderer Gebirge, wie man sie auf Grund der geologischen Untersuchung gezeichnet sollte, ist nicht sehr wahrscheinlich; und darum muss es recht rätselhaft erscheinen, dass z. B. die estländischen cambrischen Thone ganz das Aussehen bewahrt haben, welches allerorten die ungestörten jugendlichsten Thonablagerungen aufweisen. Unerklärt lässt diese Auffassung auch die Thatsache, dass trotzdem der innere Wärmeverlust ja gleichmässig jahraus jahrein fortschreiten muss, gleichwohl in historischer Zeit sich gar keine Spuren von Anpassung der Erdkruste an den schwindenden Erdkern gezeigt haben.

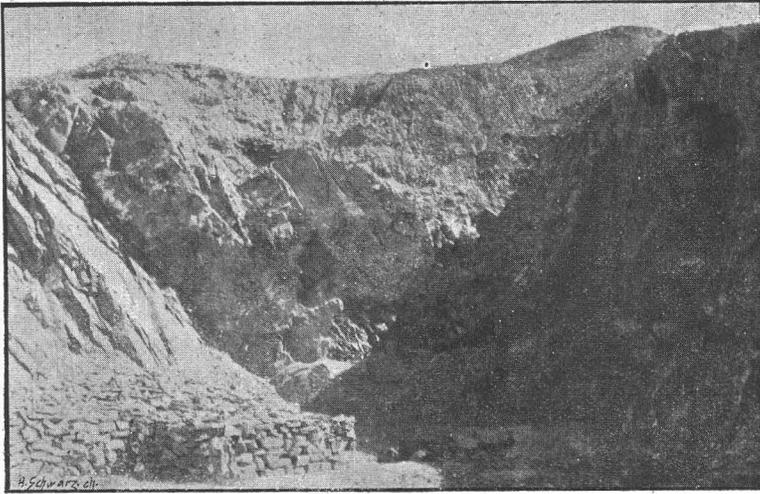


Fig. 17.

Zu einer Mulde verbogener Sandstein mit Thonschieferzwischenlagen.

hat. Es ist demnach wohl denkbar, dass ein seitlicher, annähernd horizontaler, in der Erdkruste tätiger Druck die Alpen erzeugt hat.

*Wo aber kann dieser Druck herkommen?* Die Theoretiker haben für denselben vielerlei Erklärungen versucht, von denen gegenwärtig diejenige wohl die populärste ist, welche die Ursache in der durch den Wärmeverlust bedingten Verringerung des Erdvolumens sucht.

Da die meisten Körper, soweit wir sie untersuchen können, bei abnehmender Wärme oder beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand an Volumen verlieren, so hat man diese Eigenschaft auch auf die Massen im Innern der Erde übertragen, obschon wir weder wissen, ob dieses wirklich der Fall ist, noch auch in welchem Zusande sich die Massen unter enorm hohem Druck und bei sehr grosser Wärme befinden.

Wenn sich aber das Erdinnere wirklich zusammenzieht, muss die sie umschliessende feste Erdkruste zu weit werden, so dass sie über dem Erdkern frei zu schweben kommt und sich nach Art eines Kugelgewölbes selbständig tragen muss. Dadurch entsteht natürlich in ihr Gewölbespannung oder tangentialer Druck, der zu lokalen Einbrüchen, Verschiebungen, Faltungen und Ueberschiebungen führen kann, bis sich die zu weite Erdkruste wieder dem schwindenden Erdkerne angepasst hat. Anhänger dieser Anschauung haben unter der Voraussetzung, dass alle Kettengebirge in dieser Weise entstanden seien, berechnet, dass vorher der Erdhalbmesser 75,000 Meter grösser gewesen sein müsse, als heute. Die ältesten paläozoischen Meeresablagerungen des nördlichen Russland, die ihre ursprüngliche horizontale Lage kaum merklich verloren haben, müssten demnach gleichwohl seit ihrem Absatze um etwa 10 geographische Meilen in die Tiefe gesunken sein. Dass eine so grossartige Massenbewegung spurlos an den betroffenen Gesteinen vorübergegangen sein

Betrag, der dem Erdinnern verloren geht. Diese vulkanischen Vorgänge haben sich aber nachweisbar auch in allen früheren geologischen Perioden abgespielt und zeitweilig sogar in viel bedeutenderer Weise als gegenwärtig. Als Zeugen haben sie die vielen Porphyre, Basalte und sonstigen Eruptivgesteine zurückgelassen, die wir ja auch in den Alpen antreffen.

Damit wird natürlich die Erdkruste ihrer sie tragenden Unterlage wenigstens stellenweise beraubt und gezwungen, sich selbst als Gewölbe zu tragen. Wenn aber der Bau der Erdkruste nicht überall gleichmässig und gleich fest geraten ist, dann wird das Kugelgewölbe an solchen Stellen Verbiegungen und Einsenkungen erleiden. Sobald aber ein Teil der Erdkruste einsinkt, entsteht ein Seitendruck auf die Umgebung, der umso stärker wird, je grösser die einsinkende Kugelcalotte oder je bedeutender die vertikale Bewegung ist. An

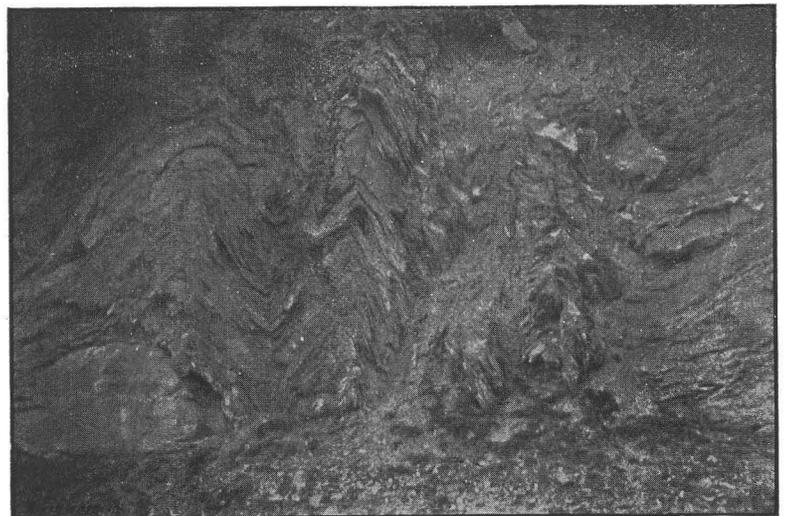


Fig. 18. Gefalteter schieferiger Kalkstein.

einem Modell lässt sich dies leicht zur Anschauung bringen (Fig. 19). Dieser Seitendruck wird aber noch

dadurch verstärkt, dass der einsinkende Krustenteil in grössere Erdtiefen gelangt, wo die Temperatur eine höhere ist. Durchschnittlich beträgt ja die Temperaturzunahme schon für 30 m  $1^{\circ}$  C. Infolgedessen dehnen



Fig. 19.

Der Einsenkung zwischen *bc* entsprechen die Aufwölbungen *ab* und *cd*.

sich die sinkenden Massen aus und müssen einen noch vermehrten Seitendruck ausüben.

Wir sehen also, dass der Vulkanismus *indirekt* Ursache der Gebirgsbildung werden kann und wenn es auch wahrscheinlich ist, dass er nicht die einzige wirksame Ursache ist, so ist er doch sicher diejenige, von

deren Realität wir uns überzeugt halten können. In früheren Jahren stand er allerdings in noch höherem Ansehen, und man war geneigt, ihn für die *direkte* Ursache zu halten, wie ich schon erwähnt habe. Dieser Glaube ist gegenwärtig geschwunden und man hat zeitweilig sogar ganz von ihm absehen zu dürfen vermeint. Aber es besteht doch unzweifelhaft eine ursächliche Beziehung, die wahrscheinlich noch viel klarer vor unseren Augen läge, wenn uns die treibenden Kräfte bekannt wären, die die vulkanischen Erscheinungen hervorrufen und die geschmolzenen Massen des Erdinnern zwingen, die Kruste zu durchbrechen und an das Tageslicht zu kommen.

So wenig aber als es je einem Sterblichen gelang, die Lebenskraft des menschlichen Körpers zu erkennen, ebensowenig ist es bisher den Geologen gelungen, jene Kräfte sicher festzustellen, die im Innern der Erde thätig sind und auf deren Oberfläche Vulkane und Gebirge erzeugen.