

Zur

# Geologie der Schweizeralpen.

Von

**Dr. Carl Schmidt,**

Privatdocent in Basel.

~~~~~  
(Mit einer Tafel.)  
~~~~~

---

**BENNO SCHWABE.**

Schweighauserische Verlagsbuchhandlung.

**Basel 1889.**

Die vorliegende Arbeit ist zusammengestellt nach dem am 13. Juli 1888 in Basel gehaltenen, öffentlichen Habilitationsvortrag und nach einem am 9. März 1889 in der Sitzung der naturforschenden Gesellschaft in Bern gehaltenen Vortrag. Die Form des Vortrages sollte gewahrt bleiben und deshalb wurde von Literaturnachweisen Abstand genommen. Als Beispiele, welche zur Erläuterung oder als Beweis allgemeinerer Auseinandersetzungen dienen sollten, wählte ich ausschliesslich nur solche, die mir durch Autopsie bekannt geworden sind.

---

Schweighauserische Buchdruckerei.

## I. Die Entstehung der Gesteinsarten.

Die Gesteinsmassen, welche die Erdrinde zusammensetzen, sind in erster Linie das Forschungsgebiet der Geologie. Es gilt, die grosse Menge der Gebirgsarten, so wie wir sie in der Natur finden, im einzelnen genau zu beschreiben, dieselben räumlich zu umgrenzen und die Art ihrer Lagerung festzustellen. Mit dieser rein beschreibenden Tätigkeit dürfen wir uns aber nicht begnügen. Die Frage nach Werden und Vergehen der Gesteine, das heisst die Frage nach Vergangenheit und Zukunft der Erdkruste selbst, des Bodens, auf dem wir stehen, auf dessen Festigkeit wir vertrauen, die soll vor allem beantwortet werden. Die Geschichte der Erde zu erforschen, ist die eigenste Aufgabe der Geologie.

Granite, Laven, Schiefer, Kalksteine, Sandsteine, welche heute zu Gebirgen emporgetürmt sind, oder den Untergrund weiter Ebenen bilden, sind entstanden und teilweise wieder verändert worden während des unmessbaren Zeitraumes der geologischen Vorzeit. Bestimmte Anhaltspunkte über ihre Bildungsweise besitzen wir nur von denjenigen Gesteinsarten, welche heute vor unseren Augen in analoger Weise immerfort entstehen.

Als Prüfstein der Schlüsse, die wir aus der jetzigen Beschaffenheit der in frühern Zeiten entstandenen Gesteine auf ihre Genesis ziehen, dient die scharfe Beobachtung

derjenigen Prozesse, welche auch in der Gegenwart Gesteine bilden, verändern und zerstören. — In einigen wenigen Fällen ist es möglich das Wesen dieser Vorgänge auch im Laboratorium durch das Experiment zu erforschen.

Die Frage nach der Entstehung der Thonschiefer, der versteinierungsführenden Kalke, der Sandsteine einerseits, sowie der lavaartigen Gesteine anderseits können wir heute als prinzipiell gelöst betrachten, mögen auch im einzelnen noch manche Schwierigkeiten sich darbieten.

In der ersterwähnten Gruppe der *sedimentären* Gesteine treten uns Bildungen entgegen, deren Material in anderer Form und Gestalt anderwärts schon früher auf der Erdoberfläche selbst vorhanden war. Nach mechanischer Zertrümmerung und chemischer Auflösung solcher präexistirender Gesteine konnten sich diese Materialien in Form von Geröllen in Flüssen, Seen und in der Küstenzone der Meere, als feiner Schlamm in der Hochsee, schliesslich in der Modifikation des kohlensauren Kalkes, gebildet durch die Tätigkeit der Organismen, ablagern: so sind Sandsteine, Thonschiefer und Kalksteine entstanden und bilden sich heute noch immerfort unter analogen Verhältnissen, wie in der Vorzeit.

Die Laven hingegen werden durch die Tätigkeit der Vulkane als neu entstandene Gesteinsmassen auf der Erdoberfläche ausgebreitet. Nur diese lavaartigen Gesteine vergrössern durch ihre Entstehung die Lithosphäre der Erde, während die Bildung der Sedimente bloss eine mechanische, beziehungsweise auch chemische Umlagerung bereits vorhandener Gesteinsmassen bedeutet, die Gesteinsbildung hier also lediglich in einer Regeneration besteht.

Die im Schmelzfluss sich befindlichen Massen, deren Erstarrungsprodukt die Laven sind, haben sich im Innern

der Erde gebildet und sind auf Spalten der Erdrinde emporgestiegen. Vor unsern Augen breiten sie sich aus und erstarren. Wir können hier direkt nur die letzte Phase einer langen Entwicklung beobachten.

Im Laufe der Zeit werden die Aschenkegel und die auf der Oberfläche ausgebreiteten Laven einst tätiger Vulkane, als geologisch ephemere Gebilde durch die Erosion entfernt. Die im Zuführungskanal erstarrte Gesteinsmasse wird blosgelegt. In vielen Fällen gelingt es, den Zusammenhang solcher Gänge mit tiefer liegenden, ausgedehnten Massen gleichartig zusammengesetzter, aber etwas anders struierter Gesteine zu erkennen und so das Reservoir des Gesteinsmaterials längst erloschener Vulkane zu finden.

Die Beobachtung heutiger Verhältnisse führt uns zur Deutung der Bildungen vergangener Zeiten und die Verknüpfung beider lässt uns Schlüsse ziehen auf das Wesen der gegenwärtigen Vorgänge im Erdinnern, welches unsern Blicken verhüllt ist.

Auf diese Weise kommen wir unter anderem zu dem Schlusse, dass Granite z. B. in der Tiefe der Erde aus Schmelzfluss entstanden sind, dass dieselben nur durch allmähliche Zerstörung der ursprünglich über ihnen liegenden Gesteinsmassen an der Oberfläche erscheinen konnten. Im fernern sind wir berechtigt anzunehmen, dass Granite und verwandte Gesteine sich auch heute noch in den Tiefen der Erde bilden.

Die beiden besprochenen Gesteinsgruppen, die *massigen* oder *eruptiven* einerseits, die *sedimentären* Gesteine andererseits, sind entsprechend ihrer verschiedenen Genesis auch in ihrer Erscheinungsform prinzipiell durchaus verschieden.

Ein aus sedimentärem Material bestehender Gesteinskomplex ist nicht einheitlich, sondern er baut sich aus einzelnen Bänken auf, die parallel übereinanderliegen — die Gesteinsmasse ist geschichtet.

Während ein Sedimentgestein als Ganzes sich auf einem festen Untergrund ablagert, in der Weise, dass das tiefstliegende Glied die älteste, das oberste die jüngste Bildung darstellt, dringt ein Eruptiv-Gestein in bereits vorhandene Massen ein, durchsetzt und durchdringt dieselben in Form von Lagern und Gängen und nur in speziellen Fällen bilden Teile desselben Decken über ältere Bildungen. Vor allem aber fehlt den massigen Gebirgsgliedern die Schichtung; sie bilden vielmehr einheitliche, in allen Teilen gleich struirte Massen, die von Klüften durchzogen werden, welche selten geradlinig sind, nach allen Richtungen verlaufen und sich nie auf weite Erstreckung verfolgen lassen.

Die mineralogischen Bestandteile der Massengesteine sind an Ort und Stelle, wo wir sie vorfinden, entstanden; Mineralbildung und Gesteinsbildung fallen zeitlich zusammen. Die Struktur der Massengesteine ist abhängig von den physikalischen Bedingungen, unter welchen das Magma sich verfestigte. — In den Tiefen der Erde erstarrt dasselbe unter hohem Druck ganz allmählig. Die ganze Schmelze wird nach und nach durch Krystallbildung aufgezehrt, keine Teile derselben erstarren zu strukturloser Masse. Es entstehen die körnigen Tiefengesteine, welche aus meist unvollkommen ausgebildeten Krystallen verschiedener Mineralien bestehen, die sich direkt ohne fremdartiges Bindemittel berühren. Ein typisches Tiefengestein ist der Granit. — Tritt das Magma, in welchem die Bildung von Krystallen bereits begonnen hat, in schmale Gänge ein, breitet

es sich schliesslich auf der Erdoberfläche aus, so beginnt infolge der nun eintretenden raschern Abkühlung eine andere Phase der Krystallbildung. Die jetzt entstehenden Krystalle sind kleiner, sie bilden eine Grundmasse, in welcher die erstgebildeten, grössern Krystalle eingebettet werden. Häufig ist die Abkühlung eine derart beschleunigte, dass ein Rest der schwerflüssigen Masse, vergleichbar mit einer Mutterlauge, zu einem amorphen Glase erstarrt. Die so entstandene Gesteinsstruktur bezeichnet man als *porphyrisch* und die betreffenden Gesteine werden nach der Art ihres geologischen Auftretens *Ergussgesteine* genannt.

Bei einer Durchwanderung der Alpen können wir mit Leichtigkeit Repräsentanten der erwähnten Gesteinstypen erkennen. Vom Vierwaldstättersee aus sehen wir, wie der ganze Rigi aus einer Masse von Gesteinsbänken besteht, die in gerader Linie von Vitznau bis Rigikaltbad ansteigen. Betrachten wir im Frühjahr oder im Spätherbst den Rigi von einer Jurahöhe aus, so fällt uns sofort in die Augen, dass der Schnee in Form von übereinanderliegenden Bändern den Berg umzieht, er hat sich immer da festgesetzt, wo eine Bank unter der darüberlagernden hervorspringt, und markirt so auf weite Entfernung hin die Schichtung der Gebirgsmasse. — Die Bergriesen des Oberengadins zeigen in schönster Weise den Typus eines Gebirges, welches aus *körnigen Massengesteinen* sich aufbaut. Unter einer mächtigen Gesteinsdecke sind diese Felsmassen einst in der Tiefe erstarrt und erst nach Zerstörung der Decke und durch Hebung des Gebirges wurden sie blosgelegt. — In Form von Gängen auftretende Massengesteine sind in den Alpen selten. Gänge von Granitporphyren, welche in Mitte des Ganges rein körnige, an den

Saalbändern porphyrische Struktur besitzen, durchsetzen an mehreren Orten die Gneisse der Aiguilles rouges im Wallis. — Die Berge, zwischen welchen die südlichen Arme des Luganer-Sees liegen, bestehen aus Lavamassen und nachträglich verkitteten losen Auswürflingen alter Vulkane.

Ausserhalb der Alpen erkennt man in den kegelförmigen Bergen des Höggaues die Denudationsreste vulkanischer Gesteinsbildungen der Tertiärzeit.

Beim Durchwandern der Alpen werden wir nun aber sehr bald auf mächtig entwickelte Gesteinsmassen stossen, die weder der einen noch der andern der beiden grossen Gruppen ohne weiteres zugeteilt werden können. Es sind dies die krystallinischen Schiefer der Zentralmassive, wie sie z. B. von Amsteg weg auf beiden Seiten der Gotthardstrasse die Berge fast ausschliesslich zusammensetzen. Von weitem betrachtet, erscheinen diese Gesteine als Sedimente infolge deutlicher Schichtung; die Untersuchung im einzelnen zeigt aber sofort, dass sie aus krystallisierten Silikaten, Quarz, Feldspath und Glimmer im wesentlichen bestehen, gerade so wie körnige Massen-Gesteine, nur mit dem Unterschiede, dass die Gemengteile nicht regellos durch das Gestein sich verbreiten, sondern in parallelen Lagen angeordnet sind. Wir treffen also hier in eigentümlicher Weise Charaktere der Massen- und Schichtgesteine vereinigt. Die Erklärung dieser Bildungen gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Geologie, in erster Linie deshalb, weil sich analoge Felsarten heute nirgends mehr bilden und wir somit über ihre Entstehung in der heutigen Werkstätte der Natur direkt nichts erfahren können.

Bei einer vergleichenden Betrachtung sämtlicher krystalliner Schiefer, welche wohl die am weitesten verbreitete Gesteinsgruppe überhaupt sind, stossen wir nun sehr bald

mancherorts auf Typen, bei denen die Schichtung mehr zurücktritt, die krystalline Zusammensetzung hingegen als das Hauptmoment erscheint und zugleich auch räumliche Verbindung und allmähliche strukturelle Übergänge mit ächten Massengesteinen zu konstatiren sind. Hingegen kennt man auch in diese Abteilung gehörige Gesteine, die umgekehrt den Typus von Sedimenten als wesentliche Eigenschaft zeigen, bei denen die krystalline Struktur gegenüber der Schichtung nebensächlich erscheint und die zudem durch Fossilführung unzweifelhaft ihren sedimentären Ursprung dokumentiren.

Wenn nun einmal die Art der Abweichung solcher Gesteine einerseits von normalen Sedimenten, andererseits von Massengesteinen, genau untersucht und die successive Herausbildung des anormalen Typus tatsächlich und ursächlich erforscht ist, können wohl auch solche krystalline Schiefer, welche nicht direkt mit der einen oder andern Gruppe zusammenhängen, so oder so zugeteilt werden. Indem eine solche Betrachtungsweise der krystallinen Schiefergesteine nach beiden Seiten hin sich an Bekanntes anlehnt, werden diese rätselvollen Massen, wenigstens zu einem grossen Teil, „gewissermassen in die Zone des Erklärbaren gerückt.“

Da wo wir aber weder nach der einen, noch nach der andern Seite hin schlüssig werden können, sehen wir uns gezwungen, auf das Gebiet der Hypothesen uns zu wagen, falls auch hier eine Erklärung versucht werden soll und die geologische Forschung nicht rein deskriptiver Natur bleiben will.

Es kommen hier vor allem die archaischen Formationen in Betracht, welche wohl überall auf der Erde, hauptsächlich als Gneisse und Glimmerschiefer entwickelt, die Basis der normalen Sedimente bilden.

Man hat versucht, diese Gebilde als ursprüngliche Meeresniederschläge zu deuten, wie sie sich nur unter aussergewöhnlichen, jetzt nirgends mehr herrschenden Verhältnissen, bedingt durch das Zusammenwirken von überhitztem Wasser und hohem Druck, hätten bilden können. Nach einer andern Anschauungsweise hätten wir die alten krystallinischen Schiefer als die erste Erstarrungskruste der Erde anzusehen.

Während zufolge dieser beiden Ansichten die krystalline Struktur der archaischen Gesteine als eine ursprüngliche gilt, wird von anderer Seite die Annahme gemacht, dass die in Rede stehenden Gesteine normale Sedimente waren und nachträglich metamorphisirt worden seien. Die Möglichkeit einer Umwandlung echter Sedimente zu krystallinen Schiefen ist durch eine Reihe von Tatsachen erwiesen. Es ist aber noch fraglich, in wie weit solche an jüngern Sedimenten gemachte Beobachtungen verwertet werden können zur Erklärung des Entstehens archaischer Gneisse und der sie begleitenden Gesteinsmassen. Übergänge von normalen Sedimenten zu Glimmerschiefern und Gneissen, wie sie für die archaische Formation charakteristisch sind, konnten bis jetzt noch niemals nachgewiesen werden; es sind wohl analoge, aber nicht identische Bildungen, welchen wir in der Art begegnen.

Jedenfalls sind vorerst genaue petrographische und geologische Untersuchungen solcher krystalliner Schiefer, die mit Sicherheit als ursprüngliche Sedimente oder Erup-tivgesteine erkannt werden können, am ehesten dazu ange-tan, Beiträge zur Lösung dieser schwierigen Fragen zu liefern. Für derartige Untersuchungen bieten die Alpen ausgezeichnetes Material. Viele der krystallinen Gesteine namentlich der nördlichen Schweizeralpen waren nämlich, wie

in diesen Zeilen dargelegt werden soll, einst teils normale Eruptivgesteine, teils normale Sedimente. Dagegen gibt es archaische Gneisse, höchst wahrscheinlich einer jüngern Stufe angehörend, in typischer Entwicklung auf der Südseite der Alpen, namentlich im Kanton Tessin. Professor Baltzer schreibt von den gneissartigen Gesteinen des Aar-massivs, die er früher für altarchaisch gehalten hatte, dass ihm dieselben gleichsam unter den Händen jungarchaisch, zum Teil sogar paläozoisch geworden seien; noch bestimmter äussert sich Professor Heim, indem er sagt: „Mächtige Zonen, z. B. im Innern des Finsteraarmassivs, welche man früher für echte krystallinische Schiefer gehalten hat, erweisen sich als ursprünglich klastische Gesteine der Carbonzeit.“

Die nachträgliche Herausbildung krystallinischer Struktur in Sedimenten ist hauptsächlich unter zwei verschiedenen geologischen Bedingungen möglich und auch tatsächlich nachgewiesen worden. Als Ursache der Metamorphose erkennen wir einerseits die Einwirkung eruptiver Massen auf die von ihnen durchbrochenen Gesteine, anderseits die Druckkräfte, welchen alle Gesteinsmassen ausgesetzt sind, da wo sie von mächtigen jüngern Bildungen überlagert oder bei der Gebirgsbildung disloziert werden. Erstere Art der Umwandlung hat man als Kontaktmetamorphose, letztere als Dynamometamorphose bezeichnet.

Da wo Sedimente von Eruptivgesteinen durchbrochen werden, beobachtet man in vielen Fällen eine Veränderung der Gesteinsmassen. Die Sedimente erhalten ganz oder teilweise krystalline Struktur. Ähnlich wie die Gestellsteine eines Hochofens werden Thonschiefer und Sandsteine am Kontakt mit erkaltender Lava gefrittet. Die Kontaktwirkung von Tiefengesteinen ist eine viel intensivere, da hier

infolge langsamern Erkaltens des Magmas die Hitzwirkung länger andauert und zudem die Wirkungen des Druckes, welchen die auflagernden Gesteinsmassen ausüben, sowie diejenigen überhitzter Wasserdämpfe und Fumarolenbildungen sich geltend machen. In einzelnen Fällen ist die Umwandlung eine bloss strukturelle, indem z. B. dichter Kalk in krystallisirten Marmor umgewandelt wird; meist findet eine chemische Umlagerung der Molecüle statt, in Thonschiefern entstehen auf diese Weise Thonerdesilikate. Die prozentarische chemische Zusammensetzung des veränderten Gesteines wird in vielen Fällen nicht verändert; mancherorts findet hingegen ein Austausch von Stoffen zwischen Eruptiv- und Sedimentgestein statt, so beobachtet man, wie Kalkmassen am Kontakt mit Granit die Kohlensäure abgeben, Kieselsäure aufnehmen und in ein Gemenge von Kalksilikaten und Quarz umgewandelt werden. — Manche Autoren nehmen an, dass eruptives Gesteinsmaterial in feiner Verteilung Sedimente auf weite Erstreckung durchdringt, und erklären so die Entstehung ausgedehnter krystallinischer Gesteinslager

Da wo nach dem Empordringen eines Eruptivgesteines keine grössern Lagerungsstörungen der ganzen Gebirgsmasse mehr eingetreten sind, lässt sich in der Art der Umwandlung der Sedimente eine direkte Beziehung zur Entfernung vom Eruptivgestein konstatiren. Die Entwicklungsstufen gleichartiger Metamorphose ordnen sich in Zonen um dasselbe, derart dass die dem Massengestein zunächstliegende Zone den höchsten Grad der Umwandlung zeigt. Das Vorhandensein eines Kontakthofes um ein krystallines Gestein ist ein wichtiges Beweismittel für eruptiven Ursprung desselben. In den Schweizeralpen darf auf diesen Punkt jedoch kein zu grosses Gewicht gelegt werden. Normal entwickelte

Kontaktzonen, wie sie in den deutschen Mittelgebirgen, in der Bretagne, auch in den Alpen Südtirols z. B. beschrieben wurden, können wir im ganzen Gebiet der Schweizeralpen nicht mehr vorfinden, weil, wie später ausgeführt werden wird, sämtliche Gebirgsglieder längst nach dem Empordringen auch der jüngsten Eruptivgesteine so intensiv gefaltet wurden, dass die ursprünglichen Gesteinsverbände in eventuell vorhandenen Kontaktzonen gänzlich verwischt und die einzelnen Gesteinsarten auch in ihrer petrographischen Beschaffenheit modifiziert werden mussten.

In der Tat konnte in den Schweizeralpen noch nirgends Kontaktmetamorphose unzweifelhaft nachgewiesen werden, dagegen muss es wohl als erwiesen gelten, dass sämtliche krystallinen Schiefer der Alpen in ihrer jetzigen Ausbildung die Wirkung des Gebirgsdruckes erkennen lassen. Die Kräfte, welche eine stetige und langsame Bewegung von Gesteinsmassen unter allseitiger grosser Belastung hervorrufen, bedingen in erster Linie eine mechanische Umformung der kleinsten Teile der Gesteine. Die Vorgänge komplizieren sich da, wo die mechanische Stauungsarbeit in Wärme und zugleich in chemische Arbeit umgesetzt wird. So können in den Gesteinen vorhandene Mineralverbindungen aufgelöst werden und neue krystallisierte Mineralien entstehen. Dass solche Prozesse durch überhitzte Wasserdämpfe befördert werden, haben experimentelle Versuche von Daubrée in schönster Weise gezeigt. — Da, wo kontaktmetamorphe Bildungen eine wesentliche stoffliche Änderung bei wachsender Intensität der Metamorphose nicht erkennen lassen, wo also die metamorphen Vorgänge lediglich in einer molecularen Umlagerung der vorhandenen Substanzen bestehen, sind als umwandelnde Kräfte erhöhter Druck, hohe Temperatur und überhitzte Wasserdämpfe anzu-

sehen. Wir sehen, in letzter Linie sind es dieselben Kräfte, welche bei dieser Art der Kontaktmetamorphose und der Dynamometamorphose wirksam sind: eine allfällige Konvergenz in den Bildungen beider wäre kein Ding der Unmöglichkeit.\*)

Wie die kontaktmetamorphen Bildungen in unmittelbarer Nähe des Eruptivgesteines den höchsten Grad der Umwandlung zeigen, so müssen wir in dynamometamorphen Gebieten eine direkte Beziehung zwischen Lagerungsstörung (Faltung) und struktureller, beziehungsweise auch stofflicher Metamorphose der Gesteinsmassen zu erkennen vermögen. Es soll an wenigen Beispielen gezeigt werden, dass in der Tat überall an Stellen stärksten Gebirgsdruckes in mehr oder weniger bedeutendem Grade Sedimente krystallin, Eruptivgesteine schiefrig geworden sind.

Unmittelbar über krystallinen Schiefen findet sich, die Basis normaler Sedimente bildend, namentlich in der Ostschweiz mächtig entwickelt ein sandsteinartiges Gestein, das mit dem Namen Verrucano bezeichnet wurde. Gewöhnlich liegt dasselbe, wenig geneigt, auf den steilstehenden Schichten der krystallinen Schiefer. In einzelnen Fällen biegt es jedoch nach unten um und dringt keilförmig zwischen die Lagen der Schiefer ein. Gerade an solchen Stellen, wo die Dislokation offenbar ihren höchsten Grad erreicht, ist die Struktur des Verrucano in der Weise mo-

---

\*) Die Umwandlung von Hämatit in Magneteisen z. B. ist in gleicher Weise bei Kontaktmetamorphose wie bei Dynamometamorphose beobachtet worden. Hingegen muss z. B. die Umbildung chloritischer Substanzen zu scharf umgrenzten, chocoladebraunen Glimmertafeln wohl als eine Eigentümlichkeit der Kontaktmetamorphose angesehen werden.

difiziert, dass der Sandstein krystallin erscheint, ähnlich wie die Schiefer zu beiden Seiten und nur durch die Konstatierung seines Zusammenhanges mit dem normalen, weniger stark gefalteten Gestein kann seine wahre Natur sicher erkannt werden.

Die Kalke und Schiefer der mesozoischen Formationen zeigen ebenfalls in schönster Weise den ursächlichen Zusammenhang zwischen Faltung und Strukturveränderung. Linearstreckung, Ineinanderknetung der einzelnen Lagen, innere Zertrümmerung, gleichmässige Marmorisierung sind die weitverbreiteten Erscheinungsformen der Dynamometamorphose. Wo Juraschichten z. B. als spitze Keile in das System der ältern Gesteine hineingepresst wurden (vgl. Fig. 1), erreicht die mechanische Gesteinsumformung ihren höchsten Grad. Zugleich mit strukturellen Veränderungen treten mineralogische Neubildungen auf: in zuckerkörnigen Marmoren entstehen weisse Glimmerschüppchen, ferner häufig Strahlstein, vereinzelt auch Feldspath. Thonerdehaltige, mergelige Schiefer nehmen einen eigentümlichen Seidenglanz an und werden schliesslich in Grünschiefer (Chloritoidschiefer) umgewandelt, in Gesteine, welche man gewohnt ist, als charakteristische Glieder archaischer oder altpaläozoischer Formationen anzutreffen.

Die Gebirge des mittlern und nordwestlichen Bündens bestehen zum grössten Teile aus Thonschiefern, die wohl hie und da glimmerhaltig sind, aber doch den Charakter echter Sedimente unverkennbar besitzen. Gegen Westen zu verschmälert sich die Zone dieser Schiefer und vom Lukmanier weg über Piora, Val Canaria und Nufenenpass bis in den Kanton Wallis sind dieselben eingezwängt zwischen die granitartigen Gesteine des Gotthardmassivs einerseits und die Gneisse der Tessiner Alpen anderseits.

In dieser Region bilden sich in den schwarzen Thonschiefern immer mehr krystalline Elemente aus, es entstehen grauschwarze, schimmernde, feinschuppige Thonglimmerschiefer, welche sechsseitige, braune Glimmertafeln, meist unvollkommen ausgebildete Krystalle von Granat und Dipyr, ferner Thonerdesilikate wie Staurolith und Disthen enthalten. An einigen Stellen findet man Belemnitenreste in den derartig ausgebildeten Schiefeln. Zweifellos sind also dieselben mesozoischen (wohl jurassischen) Alters und ihre krystalline Struktur ist das Produkt nachträglicher Umwandlung.\*) Es muss hier aber die Frage aufgeworfen werden, ob die Veränderung der Schiefer durch Empordringen postjurassischer Eruptivgesteine bedingt ist, oder in erster Linie einfach als die Folge intensiver Faltung erklärt werden kann.

Nach der heute allgemein gültigen Auffassung sind die granitischen Gesteine des Gotthard, von welchen die Kontaktwirkung hätte ausgehen müssen, archaisch oder höchstens paläozoisch, falls sie überhaupt als Eruptivgesteine gedeutet werden. Infolge dessen hat man die in frühern Zeiten herrschende Ansicht, dass hier Kontaktmetamorphose vorliege, gegenwärtig vollständig verlassen. Es darf jedoch nicht ausser Acht gelassen werden, dass gewisse unter diesen metamorphen Schiefeln weitverbreitete Varietäten mit Bildungen, welche wir bis jetzt nur aus Kontaktzonen kennen, petrographisch genau übereinstimmen. Diese Tatsache mahnt zur Vorsicht. Erst wenn nachgewiesen ist, dass postjurassische Granite in diesen Teilen der Alpen nicht vorhanden sein können, darf man

---

\*) Auf der „Geologischen Karte der Alpen“ in Neumayrs Erdgeschichte, Band II, sind diese Schiefer als solche unbestimmten Alters dargestellt.

diese Gesteine als Produkte einer reinen Dynamometamorphose zu deuten versuchen und kann dann aus diesen Vorkommnissen den Schluss ziehen, dass gewisse, sehr stark gefaltete und gepresste Sedimente in gleicher Weise verändert werden können wie solche, welche durch Granitkontakt umgewandelt wurden. Inwiefern ein solcher Vorgang theoretisch möglich ist, wurde bereits auseinandergesetzt.

Ich erwähnte, dass die heutigen Geologen, im Gegensatz zu der namentlich von Bernhard Studer zwar geäußerten, aber nicht im einzelnen durchgearbeiteten Annahme, der Ansicht sind, dass die Art der Lagerung von Protoginen und mesozoischen Schiefen nur verständlich sein könne, wenn den Protoginen ein weit höheres Alter, als den sie umgebenden Sedimenten zukommt.\*) Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass der heutige Verband von granitischen Gesteinen und metamorphen Schiefen vor allem bedingt ist durch die jüngste Faltung der Alpen und dass deshalb die Altersbestimmung der Granite, gestützt auf die stratigraphische Erscheinungsform allein, sehr schwierig sein muss.

Genau dieselben Lagerungsverhältnisse zwischen Granit und Schiefer, welche in den Alpen für höheres Alter des Granites beweisend sein sollen, finden sich wieder in den Zentralpyrenäen, wo ebenfalls zu beiden Seiten kulminirender Granitmassen intensiv gefaltete Sedimente auftreten. Hier aber lässt sich mit voller Sicherheit das jüngere Alter der Granite und die in erster Linie kontaktmetamorphe Natur der Schiefer und Kalke erweisen. Die lange nach der Kontaktmetamorphose zu wiederholten Malen erfolgten Faltungen des ganzen Gebirges haben die ursprünglichen

---

\*) In der schematischen Skizze: Alpen vor der Hauptfaltung (Fig. 2) habe ich mich dieser Anschauung angeschlossen.

Lagerungsverbände gänzlich verwischt und auch in jedem kleinsten Gesteinsfragment ihre Spuren hinterlassen. Die den Graniten anliegenden Sedimente erfuhren demnach zwei verschiedene, zeitlich weit auseinanderliegende Metamorphosen: die Kontaktmetamorphose derselben ist jungpaläozoisch, die Dynamometamorphose in letzter Linie alttertiär. Vielleicht liefern uns diese in den Pyrenäen klar zu beobachtenden Verhältnisse den Schlüssel zur Erklärung der Entstehung jener allbekanntem Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard, sei es, dass bestimmte Divergenzpunkte gefunden werden, oder dass eine vollständige Analogie sich herausstellt. \*)

Nachdem wir nun gesehen, wie Sedimente schiefrige und zugleich krystalline Textur annehmen können, möchte ich versuchen, an weitem Beispielen zu zeigen, wie Massengesteine durch Gebirgsdruck schiefrig, also ebenfalls zu krystallinischen Schiefem umgebildet werden können.

Die oberste Kappe der kleinen Windgälle im Kanton Uri besteht aus Quarzporphyr, einem vulkanischen Gestein, welches zu Anfang der Carbonzeit an die Erdoberfläche trat und eine ausgedehnte Decke bildete, von der heute nur noch ein kleiner Rest vorhanden ist. Das durchaus massige, säulenförmig abgesonderte Gestein steht in ununterbrochenem Zusammenhang mit den schiefrigen, anscheinend deutlich in Bänke gesonderten Gesteinsmassen, welche östlich von der Windgälle die sogenannten Alpgnofer-Platten zusammensetzen. Durch die mikroskopische und chemische Untersuchung aller Varietäten liess sich unzweifelhaft feststellen, dass diese schiefrigen Gesteine, die

---

\*) Spezialuntersuchungen, in denen ich die hier geäußerten Anschauungen begründe, hoffe ich in nächster Zeit veröffentlichen zu können.

selbst als Verrucano gedeutet wurden, lediglich strukturell modifizierte Porphyre sind. Die ganze Porphyrmasse gehört zu einer grossen liegenden Falte; die schiefrigen Varietäten treten da auf, wo bei der Faltung wesentlich streckende Kräfte wirken mussten. — Ähnliche Erscheinungen kann man auch in dem Porphyrgebiet von Lugano auf der Südseite der Alpen beobachten.

Echte Granite sind in den Alpen nicht häufig. Als Beispiel habe ich bereits die Berge des Oberengadin, Piz Julier, Piz Bernina, Piz Morteratsch angeführt. Eine Gebirgsmasse, bestehend aus vollkommen normalem Granit, in welchem der schwarze Glimmer in Form scharfbegrenzter, sechsseitiger Tafeln auftritt, finden wir im Hintergrund des Gasterentales auf der Grenze zwischen den Kantonen Bern und Wallis. Der Gasterengranit bildet das westliche Ende jener zusammenhängenden Masse krystalliner Gesteine, welche als Aarmassiv bezeichnet wird. — Wo dieses Massiv im Osten ebenfalls unter jüngern Sedimenten zur Tiefe sinkt, nämlich südwestlich und südlich des Tödigipfels, begegnet man in gleicher Weise, wie auf dem Westflügel des Massivs, wiederum eugranitischen Gesteinen.

Die grosse Menge der zentralalpiner Gesteine, die mit Granit verwandt erscheinen, zeigen eine in der Weise besondere Struktur, dass sie mit einem eigenen Namen belegt und Protogine benannt wurden. Die Protoginmassen sind meist in dicke Bänke gesondert, heissen deshalb auch wohl Bankgranit. Namentlich bei mikroskopischer Betrachtung erscheinen die mineralogischen Bestandteile desselben in Stücke zerrissen oder ganz zermalmt. Quarz und Glimmer sind zu Linsen und Flasern ausgezogen, welche unter sich parallel liegen und so den gneissartigen Habitus dieser Gesteine hervorrufen. Feldspath und Glimmer sind

nicht allein strukturell modifiziert; durch chemische Zersetzung derselben entstanden gleichzeitig Neubildungen, welche man wohl für ursprüngliche, gerade den Protoginen eigentümliche Mineralien hielt und mit besonderen Namen wie Saussurit und Helvetan bezeichnete. Diese Eigentümlichkeiten des Protogins finden wir bei verschiedenen Vorkommnissen ungleich stark ausgeprägt, es gibt deshalb eine ganze Reihe von Spielarten zwischen granitischen, gneissartigen und schiefrigen Varietäten.

Auch an den granitischen Gesteinen der Alpen lässt sich mancherorts konstatieren, dass da, wo dieselben z. B. über andere Gebirgslieder überschoben sind, wo also die Pressung der Gesteine ganz besonders gewaltig gewesen sein musste, lokal schiefrige Struktur sich immer deutlicher herausbildet. Es ist wahrscheinlich, dass selbst die weit ausgedehnten, schiefrigen Protoginmassen dynamometamorphe Granite sind, welche ursprünglich zu ganz verschiedenen Zeiten in das System der Sedimente eingedrungen sein mögen. — Für eine solche Annahme spricht die Verbreitung der Protogine einerseits, die der ächten Granite andererseits. Wir erkennen, dass normale Granite sich nur in den am wenigsten emporgestauten Partien der Zentralmassive finden (Tödi, Gasteren, Valorcine), während alle granitischen Gesteine in den am intensivsten gefalteten Teilen der Zentralmassive typische Protoginstruktur zeigen, normale Granite hier aber vollständig fehlen. (Mont Blanc, mittlere Teile des Aarmassivs.) Wir werden später sehen, dass die südlichen Zonen der ganzen westlichen Alpen weniger stark gefaltet wurden, als die nördlichen: Normale Granite finden sich innerhalb der erstern auch in weit grösserer Zahl. Die granitischen Massen des Mont Blanc und des Mont Pelvoux zeigen durchaus Protogin-

Struktur, die Granite des Julier und Bernina im Oberengadin sind grösstenteils normal struirt; jene gehören der nördlichen, diese der südlichen Zone an. — Dass übrigens das ganze Phänomen der Bankung der Protogine lediglich die Wirkung spätern Gebirgsdruckes sei, ist nicht wohl wahrscheinlich. In granitischen Lagermassen, — und als solche sind sehr viele Protogine zu deuten — können ähnliche Parallelstrukturen auch primär infolge von Strömungen innerhalb des erkaltenden Eruptivmagmas sich herausbilden.

Sämtliche Gesteinsarten der Alpen sind gemäss den bisherigen Auseinandersetzungen in erster Linie entweder den Sedimenten oder den Massengesteinen zuzuteilen. Sobald ein Gestein als der einen oder der andern Gruppe zugehörig erkannt worden ist, kann die Art seiner Entstehung mit wenigen Ausnahmen nach Analogie der heute noch herrschenden, zu beobachtenden oder durch Analogieschlüsse zu deutenden Bildungsweisen von Gesteinen erklärt werden.

Betrachten wir die Gruppe der alpinen krystallinen Schiefer, so muss zugegeben werden, dass ein Teil der hierher gehörigen Gesteine in dieser Weise registriert werden kann. Die Herausbildung der schiefrigen, krystallinen Struktur wird als eine Folge nachträglicher Umwandlung erkannt. Sedimente sowohl als Eruptivgesteine fallen dieser Umwandlung anheim; ähnliche Erscheinungsformen entstehen infolge gleichartig wirkender Kräfte aus prinzipiell verschiedenen Dingen.

In einer Zeit — in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts — als der geologischen Forschung die mühselige Beobachtung der Natur im kleinen und eine konse-

quente Verfolgung der im stillen wirkenden Kräfte noch meist ferne lag, der theoretisirende Menscheng Geist aber, wie heute noch der poetische Sinn des treu-gemeinen Volkes, überwältigt von der Gewalt der äussern Erscheinung der Gebirgsmassen, all das Gewordene sich nur erklären konnte als die Wirkung wilder, dämonisch-fremdartiger Kräfte — da proklamirte es der Genius des Engländers James Hutton, dass die Naturkräfte, so wie sie unter unsern Augen wirksam sind, ausreichen, um die Geschichte der Erd feste zu begreifen und dass wir nicht nöthig haben, uns Ereignisse zu konstruiren, welche mit heutigen Vorgängen keine Analogien mehr bieten. Andere Ansichten Huttons waren es, welche, von seinen Schülern weiter ausgebildet, ein Heer von Gegnern erweckten und den Kampf der Neptunisten und Plutonisten heraufbeschworen. Welche Kritik aber die hier wiedergegebene Anschauung Huttons erfuhr, zeigt allein folgende, von Cuvier im Jahre 1808 aufgeworfene Frage: „Wie ist es möglich die Probleme der Erdgeschichte lösen zu wollen unter Zuhülfenahme der Kräfte, welche wir heute in der Natur kennen?“

Gerade diese Idee Huttons ist es, welche heute die geologische Forschung beherrscht. Es gibt aber eine Grenze für unsere Erkenntnis der Wirkung irdischer Kräfte. Diese Grenze weicht immer mehr zurück in die entlegensten Perioden der Erdgeschichte. Vielleicht sind die ältesten Bildungen der Erdrinde, die Gneisse der primitiven Formation, als Produkte einer ersten Phase der Erdentwicklung zu deuten und entziehen sich deshalb, ebenso wie diese selbst, einer direkten Erklärung ohne hypothetische Annahmen.

---

## II. Geologischer Bau der Schweizeralpen.

Wenn ich es unternehme, in diesen Zeilen die Natur und Entstehungsweise der Gesteine der Schweizeralpen zu besprechen, so ist es nicht eigentlich meine Absicht, die mannigfachen Felsarten nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung eingehend zu charakterisiren. Ich möchte vielmehr versuchen zu zeigen, wie die Gesteinsarten sich zusammenfügen zum majestätischen Bau der Alpen und im fernern die Geschichte des Alpensystems von den ältesten geologischen Epochen bis zur Jetztzeit verfolgen, um dabei festzustellen, auf welche Weise in den verschiedenen geologischen Zeitabschnitten sich Gesteine gebildet haben. Es gilt dann weiter zu untersuchen, welche Veränderungen in Beziehung auf Ausdehnung, Lagerung und Struktur diese Gesteinsmassen von dem Moment ihrer Entstehung an im weitem Verlauf der alpinen Gebirgsbildung erfahren haben.

Da durch die Bewegungen der Erdrinde häufig die ursprünglichen, charakteristischen Lagerungsverhältnisse eines Gesteines verwischt und dasselbe gleichzeitig stofflich und strukturell modifizirt wird, dürfen wir uns mit der Kenntnis der mineralogischen Zusammensetzung, Struktur und heutigen Lagerung eines bestimmten Gesteines allein nicht begnügen, vielmehr müssen auch alle diejenigen Veränderungen erforscht und berücksichtigt werden, welche dasselbe seit seiner Entstehung zugleich mit den übrigen

Gebirgsgliedern erfahren hat. Erst dann kann somit die Natur eines Gesteines richtig erkannt werden, wenn wir den geotektonischen Bau des betreffenden Gebirges in der Weise klar zu durchschauen vermögen, dass wir aus der jetzigen Erscheinungsform das successive Werden desselben zu abstrahiren im Stande sind.

Die Heimat der Geologie ist das Land, wo Schätze des Erdinnern den Menschen anspornen, den Bau der Erdrinde zu erforschen, oder wo Gebirge zu gewaltigen Massen aufgetürmt den Forschungstrieb in besonderem Masse erregen.

Dank dieser letzteren Triebfeder können wir heute versuchen, nicht nur den jetzigen Bau der Schweizeralpen in grossen Zügen zu überblicken; es wird sogar möglich sein, die Geschichte derselben zu skizziren — eine Frucht der unermüdlichen Arbeit zahlreicher Forscher.

Die Alpen stellen den ausgeprägten Typus eines Kettengebirges dar, d. h. eines Gebirges, welches durch Dislokationen des festen Erdgerüstes infolge eines horizontalen Zusammenschubes der Erdrinde entstanden ist. Die zum Gebirge gehörigen Schichten befinden sich alle nicht mehr in ihrer ursprünglichen, horizontalen Lage, auch die den Sedimenten eingeschalteten Eruptivgesteine wurden bei der Gebirgsbildung passiv mitgerissen. Die Streichrichtung der aufgerichteten Schichtkomplexe geht im Grossen und Ganzen der Längsausdehnung des ganzen Gebirges parallel. Je tiefer wir von der Ebene aus ins Gebirge eindringen, auf um so ältere Bildungen treffen wir im Allgemeinen.

Das Alpengebirge erstreckt sich in Form eines grossen Bogens von der Küste des mittelländischen Meeres durch Südost-Frankreich, Norditalien, die Schweiz, Südbayern und Österreich als zusammenhängendes Ganzes bis in die Gegend von Wien. Nach kurzer Unterbrechung

beginnt dann als direkte östliche Fortsetzung der Alpen der vollständig analog gebaute Gebirgsbogen der Karpathen. Da, wo bei Grenoble die süd-nördliche Streichrichtung des Gebirges nach Nordosten umbiegt, zweigt sich von den äussern, aus Jura und Kreide bestehenden Ketten der Westalpen das Juragebirge ab, das in seiner Längserstreckung den Alpen annähernd parallel verlaufend, mit dem Gewölbe der Lägern bei Baden endigt. Von den südlichen Zonen des alpinen Hauptstammes löst sich zwischen Laibach in Krain und Triest ein neuer Seitenzweig ab, derjenige der Dinarischen Alpen, welcher bis an die Südspitze von Griechenland sich fortsetzt.

Betrachten wir nun den Bau der Schweizeralpen (vgl. Fig. 1), so sehen wir, dass der Nordabfall derselben aus lauter sich an einander reihenden Faltenzügen besteht. In dem schweizerischen Hügelland zwischen Alpen und Jura finden wir hauptsächlich Ablagerungen der Miocänzeit, die sogenannte Molasse, welche teils horizontal gelagert, teils schwach gefaltet ist. Am Rande der Alpen wird die Molasse mancherorts ebenfalls von der alpinen Bewegung erfasst: die Bänke richten sich steil auf und fallen, indem sie die nach Norden schauenden Kämme des Rigi, des Rossberges, des Speer bilden, gegen die Alpen ein.

Durch die Aufrichtung der Molasse an der Grenze gegen die eigentlichen alpinen Ketten wird der scharfe geologische Gegensatz, welcher zwischen beiden existirt, orographisch häufig verwischt. Zwischen Rigischeideegg und Rigihochfluh treten wir so von der subalpinen in die alpine Zone ein; der Unterschied beider wird hier nur dem Geologen auffallen. — Am Thunersee hingegen ist die Grenze zwischen Alpen und Vorland orographisch viel schärfer ausgeprägt. Die nördlichste alpine Kette bildet

den 2000 m. hohen Sigriswiler-Grat. Denselben direkt nördlich vorgelagert, setzen in einer Höhe von nur zirka 1000 m. die wenig nach Süden geneigten Konglomeratbänke der Molasse das Plateau von Sigriswyl zusammen. Die Grenze zwischen Alpen und Vorland ist durch einen Steilabsturz hier scharf gekennzeichnet.

Die eigentlichen Kalkalpen der Schweiz bestehen aus Sedimenten der Eocän-, Kreide- und Jura-Zeit, untergeordnet treten Schichten der Trias und des Perm auf. Die aneinander sich reihenden Falten erzeugen immer höhere Gebirgskämme, je mehr wir uns der zentralen Axe der Alpen nähern. Die äussern Ketten bestehen meist aus Kreide, die innern aus Jura. Die eocänen Schichten verbreiten sich hauptsächlich in den Mulden der Kreidefalten, Kreide und Eocän zusammen bilden die Muldenkerne jurassischer Falten, häufig, namentlich in den inneren Faltenzügen fehlt die Kreide und Eocän lagert direkt auf Jura. — Einzelne Falten können wir nie der ganzen Länge der Alpen nach verfolgen, meist lösen sich dieselben nach kurzer Zeit in mehrere kleinere Falten auf, oder sie verschwinden ganz, um neue Systeme auftauchen zu lassen.

Ihren eigentümlichen Typus erhalten die Alpen jedoch durch das Auftreten krystallinischer Gesteine, welche als zusammenhängende Massen aus dem Mantel der Sedimente emporsteigen, im Allgemeinen die höchsten zentralen Erhebungen des Gebirges bilden und deshalb als Zentralmassive bezeichnet werden. Das krystallinische Gesteinsmaterial derselben zeigt im Grossen und Ganzen deutliche Parallelstruktur. Ein auffallender Unterschied zwischen der nördlichen respektive westlichen und der südlichen beziehungsweise östlichen Abdachung der ganzen westlichen Alpen von der Rheinlinie bis ans mittelländische Meer

besteht in dem geotektonischen Bau dieser Zentralmassen, sowie in der Art und Weise, wie die ächten Sedimente an dieselben sich anlagern.

Auf der konvexen Seite des alpinen Bogens, in den Gebirgsmassen des Mont Blanc, der Berneralpen und des St. Gotthard z. B., sind die Bänke der krystallinen Gesteine steil aufgerichtet, oft divergiren dieselben fächerförmig nach oben. Die Zentralmassen erscheinen auf der Karte mit elliptischer Begrenzung und verlaufen mit ihrer Längsrichtung dem Streichen der Alpen parallel. Mehrere derselben können neben einander herlaufen; wo eine Masse verschwindet, taucht in etwas verschobener Stellung gewöhnlich eine neue auf. Die mesozoischen Sedimente liegen, von Norden her ansteigend, auf den steil nach Süden einfallenden Schichten der krystallinischen Schiefer (vgl. Fig. 1). Nach Süden endigen sie häufig in steilen Verwitterungsprofilen. Am Nordrand des Aarmassivs gibt es eine Reihe von Längstälern (Erstfeldertal, Gadmental), welche die Ablagerung der Sedimente auf das Zentralmassiv in schönster Weise zeigen. Auf der Nordseite dieser eigenartigen Täler erhebt sich über einem Sockel krystallinischer Gesteine eine mächtige Kalkmauer, als zusammenhängende Masse die Taltschaft ihrer Länge nach gegen Norden abschliessend. Im Süden besteht das Gebirge aus den steil aufgerichteten Bänken der krystallinen Schiefer, aus welchen die Erosion ein Heer pyramidenförmiger Bergriesen und wild ausgezackter Gräte herausgemeisselt hat. Manchmal, namentlich auf den hochgelegenen Wasserscheiden solcher nach entgegengesetzten Richtungen verlaufender Längstäler, erstreckt sich das Kalkgebirge zungenförmig weiter nach Süden und bildet als horizontal geschichtete Kappe die höchsten Teile von Bergen, deren Hauptmasse aus steilstehenden krystallini-

schen Schiefeln besteht. In dieser Weise gleichsam vorgeschobene Sedimente können durch die Tätigkeit der Erosion von dem nördlichen Kalkgebirge abgetrennt werden; ein bekanntes Beispiel hierfür treffen wir in der Gebirgsmasse der Aiguilles rouges in Savoyen. — An andern Orten, wo Kalkalpen und Zentralmassive nicht orographisch durch Längstäler getrennt sind, wurde die ursprüngliche Diskordanz zwischen den mesozoischen Kalken und den krystallinischen Schiefeln nachträglich etwas verwischt, beide bilden zusammen ein System liegender Falten: Die Schiefer sind nach Norden über die Kalke überschoben, die Kalke ihrerseits dringen nach Süden keilförmig ein zwischen die Bänke der zentralmassivischen Gesteine. Ähnliche Sedimentkeile, deren Verbindung mit normalliegenden Sedimenten nicht mehr erhalten ist, finden sich häufig im Innern der Zentralmassen oder da, wo zwei Massive sich drängen (vgl. Fig. 1). Wie gerade an solchen Stellen die petrographische Beschaffenheit der Sedimente metamorphosirt ist, wurde oben gezeigt. Alle die besprochenen Lagerungsverhältnisse zwischen krystallinischen Schiefeln und Sedimenten deuten darauf hin, dass erstere einst unter einer zusammenhängenden Decke von Sedimenten gelegen hatten, dass also das Jura-meer das ganze Gebiet der heutigen Alpen eingenommen hatte. (Vgl. Fig. 2.)

Wesentlich anders ist die Natur der Zentralmassive auf der innern Seite des alpinen Bogens. Die Differenz macht sich schon in Beziehung auf die herrschenden Gesteinsarten geltend, indem echte Gneisse, welche den nördlichen Massiven fast vollständig fehlen, grosse Verbreitung erlangen. Diese krystallinen Gesteine sind hier auch von weit grösserer Ausdehnung an der Oberfläche, eigentlich kann von einzelnen, isolirten Zentralmassen gar nicht mehr

die Rede sein. Die Schichten der Gneisse, Glimmer- und Chloritschiefer sind selten steil aufgerichtet; sie bilden meist flache Gewölbe, welche sich zu Ketten vereinigen, die in ihrer Regelmässigkeit beinahe mit denjenigen des Jura verglichen werden können. Da, wo triadische oder jurassische Sedimente die krystallinen Schiefer überlagern, treffen wir eine vollständige Konkordanz der beiden Bildungen. Die Gebirge des Simplon und des Rheinwaldhorns lassen diese Erscheinung, welche so sehr mit den Verhältnissen der nördlichen Massive kontrastirt, in deutlicher Weise erkennen. — In der Schweiz ist das Gebiet, welches zwischen beiden Zonen liegt, nicht sehr breit. Der Verlauf der Zwischenzone ist gegeben durch die Linie Chur, Ilanz, Greinapass, Scopi, Airolo, Nufenen, Rhonetal bis Martigny und durch Val Ferret bis zum kleinen Bernhard. Die Gesteine dieser Zwischenzone sind krystalline Sedimente, deren Alter sehr schwer genau zu bestimmen ist: in Graubünden werden dieselben in neuerer Zeit von Bergrat Gümbel als paläozoisch, im Wallis von Professor Lory als triadisch gedeutet, dass dieselben vom Greinapass bis zum Nufenen jurassisch sind, kann durch Petrefaktenfunde erwiesen werden. Vom kleinen Bernhard weg durch die ganzen Westalpen erlangt die Zwischenzone grössere Breite; es herrschen hier schwach gefaltete und von Verwerfungen durchzogene Ablagerungen des Carbon, der Trias, des Jura und Eocäns. — Während die herrschende Streichrichtung der krystallinen Schiefer in den nördlichen Zentralmassiven immer der Richtung des Gebirges parallel läuft, beobachten wir in den Massiven der Tessinalpen und des Rheinwaldhorns eine eigentümliche Störung, indem das Streichen der Stratifikation nach Nord-Nordwesten gerichtet ist, also beinahe senkrecht zum Streichen des Alpenzuges. Diese Differenz

äussert sich in der orographischen Gestaltung des Gebirges, indem im Norden die Kämme, welche die Wasserscheiden darstellen, von Südwest nach Nordost sich erstrecken, während sie im Kanton Tessin und im westlichen Graubünden beinahe in der Richtung des Meridianes verlaufen.

Auf der Südseite der Schweizeralpen ist der Gürtel der Sedimente weniger ausgedehnt. Vom Golf von Genua bis zum Lago Maggiore geht die Poebene direkt bis an kristallinische Massive heran; erst weiter östlich treten grössere Massen von Sedimenten auf, unter welchen carbonische und triadische Bildungen gegenüber Kreide und Jura vorherrschen. Das Sedimentärgebirge bildet aber hier nicht wie auf der Nordseite eine Reihe parallel verlaufender Falten, es zerfällt vielmehr in einzelne Schollen, welche längs geneigter Flächen an einander verschoben sind. Als wesentlichen Bestandteil des Gebirges treffen wir hier zwischen den Sedimenten Granite und Porphyre, deren Entstehung in die spätere Zeit der paläozoischen Periode und in die der Trias fällt.

Nachdem wir nun einen kurzen Überblick über den geologischen Bau der Schweizeralpen gewonnen, so wie derselbe sich darstellt, wenn wir das Gebirge beispielsweise von Zürich bis Bergamo durchqueren, tritt an uns die Frage heran: Zu welchen Zeiten und durch welche Kräfte ist das Gebirge entstanden?

Die Zeit der letzten Erhebung eines Kettengebirges lässt sich bestimmen, indem man das Alter der jüngsten mitgefalteten Ablagerung und dasjenige der ältesten nicht mehr gestörten Bildung festlegt. Naturgemäss fand die Gebirgsbildung ihren Abschluss vor Entstehung des noch horizontal liegenden Sedimentes. In der Schweiz haben nur die Ablagerungen der Pliocän- und Glacialzeit ihre ursprüngliche Lagerung vollständig bewahrt, die miocäne Mo-

lasse ist, wie wir sahen, am Nordrande der Alpen mancherorts steil aufgerichtet. Die Erhebung der Schweizeralpen hat also bis in die jüngste Zeit fortgedauert. Die Art und Weise, wie die gefalteten Schichtkomplexe im Gebirge aufeinander liegen, weist darauf hin, dass die Entstehung des heutigen Gebirgssystems erst nach der Eocänzeit begann. Die verschiedenartige Lagerung der postcarbonischen Sedimente zu den krystallinen Schiefen auf der nördlichen und auf der südlichen Abdachung der Schweizeralpen führt zu dem Schluss, dass die paläozoischen Bildungen der Nordzone vor der mesozoischen Zeit bereits einmal gefaltet worden sind, während in der Südzone die nacheocäne, beide Gebiete gleichmässig ergreifende Faltung die erste Gebirgsbildung darstellt.

Indem die ersten Erforscher der Geologie der Schweizeralpen nach den Ursachen der Gebirgshebung suchten, fassten sie vor allem die Thatsache ins Auge, dass die alpinen Sedimente anscheinend symmetrisch um eine aus krystallinen Gesteinen bestehende Axe angeordnet sind. Da sie nun von vorneherein die sogenannten Protogine, jene granitähnlichen Gesteine, welche einen grossen Teil der Zentralmassive zusammensetzen, als in ihrer Struktur modifizierte Granite ansahen, so lag es bei der damals herrschenden Anschauungsweise sehr nahe, die Ursache der Gebirgsbildung in der hebenden Kraft empordringender, zentraler Eruptivgesteine zu suchen.

Um eine derartige Annahme beweisen zu können, hätte man nicht allein dartun müssen, dass die krystallinen Gesteine der Zentralalpen wirklich Eruptivgesteine sein können, sondern es musste auch erwiesen werden, dass ihr Empordringen und die Entstehung des Gebirges zeitlich zusammenfallen und somit auch in ursächlichem Connex stehen können. „So lange wir die Bedeutung und Ent-

stehung der Zentralmassive nicht mit Sicherheit erkannt haben, so lange ist es noch gar nichts mit unserer Mechanik der Alpen,“ lautet ein von Professor Heim zitirter Ausspruch Arnold Eschers von der Linth.

Die weitem Forschungen der Alpengeologen haben nun in überzeugender Weise dargetan, dass wir für die Alpenentstehung eine Ursache annehmen müssen, welche von aussen wirkend, sämtliche Gebirgsglieder, seien dieselben eruptiv oder sedimentär, längst gebildet vorfand und als einheitliches Ganzes gehoben hat. Das Material der krystallinen Gesteine ist weit älter als die Erhebung des alpinen Gebirgssystems. — Die Alpen sind ein Kettengebirge; sie sind nicht, wie es den Anschein hat, symmetrisch, sondern einseitig gebaut und verdanken ihren Bau einer horizontal von Süd nach Nord wirkenden Kraft. Die Zentralmassive mit ihren Graniten, Schiefen, Gneissen haben im Alpensystem die Bedeutung steilstehender Falten, welche mechanisch den Falten der Sedimente vollkommen äquivalent sind. — Seit man in dieser Weise die krystallinen Gesteine als passive Gebirgsglieder erkannt hatte, verlor die Frage nach der Natur derselben ihre Bedeutung für das Verständnis der Entstehungsweise des Alpengebirges.

Primäre Gesteinsbildung und Gebirgsbildung sind zwei von einander vollkommen unabhängige Prozesse. Während man früher aus der krystallinischen Struktur der zentralmassivischen Gesteine auf eine Entstehung derselben schloss, welche zugleich auch die Erhebung des Gebirges erklären sollte, können wir heute gerade umgekehrt häufig in der Herausbildung dieser Struktur wohl eine Begleiterscheinung, aber keineswegs die Ursache der Gebirgsbildung erkennen.

---

### III. Geschichte der alpinen Gesteins- und Gebirgsbildung.

Mit Hülfe der fossilen Organismenreste, welche die Sedimentgesteine enthalten, hat man die allgemeine chronologische Reihenfolge der letztern festgestellt. Reihen wir die Sedimente der Schweizeralpen in dieses System ein, so erkennen wir, dass die älteste, wohl erhaltene Fossilien führende und deshalb sicher zu deutende Ablagerung der Carbonzeit angehört. In andern Gebieten haben sich vor dieser Formation eine Reihe von Sedimenten abgelagert, deren Mächtigkeit auf zirka 20,000 Meter geschätzt wird.

Die krystallinen Schiefer, welche in den Alpen direkt unter dem Carbon liegen, sind teils schiefrige Massengesteine, teils Gesteine, über deren Bildungsweise wir uns kaum genügende Rechenschaft geben können, wie z. B. die echten Gneisse der südlicheren Massive. Die Hauptmasse derselben aber haben wir wohl als die metamorphisirten Sedimente der vorcarbonischen und carbonischen Zeit anzusehen. Kalke hatten sich nur in geringen Mengen gebildet, die Mehrzahl dieser alten Sedimente waren klastischer Natur, Sandsteine respektive Grauwacken oder Thonschiefer. Vereinzelt wurden Spuren von Petrefakten in diesen jetzt gänzlich modifizirten Gesteinen gefunden und manche Eigentümlichkeiten ihrer petrographischen Zusammensetzung

deuten ebenfalls auf ursprünglich sedimentäre Bildungsweise hin. Es muss immerhin hervorgehoben werden, dass die paläozoischen Sedimente in den Schweizeralpen — auch wenn wir einen grossen Teil der krystallinen Schiefer als solche betrachten — weniger reich entwickelt sind, als in den Ostalpen und in den ebenfalls zum Alpensystem gehörenden Pyrenäen.

Wie überall hatten auch im Gebiete der Alpen während der ersten Zeiten der Erdgeschichte in grossartigem Masstabe Reaktionen des Erdinnern nach aussen stattgefunden, indem vorzugsweise granitisches Magma in solcher Menge unter der Sedimentdecke erstarrte oder zwischen die Sedimente eindrang, dass dieses Gesteinsmaterial ein mächtiger Bestandteil der festen Erdrinde wurde. In Form von Gängen, Lagern und grössern Massen, sogenannten Laccolithen, waren diese alten Granite den ursprünglich horizontalen Sedimenten der vorcarbonischen Zeit eingelagert, und hatten dieselben wohl auch stellenweise durch Kontaktmetamorphose verändert.

Zur Carbonzeit entstehen in unserem Gebiete auch oberflächliche vulkanische Bildungen, es sind dies die Porphyre an der Windgälle und am Luganersee.

Von einem gesonderten alpinen System war am Ende der paläozoischen Periode noch keine Spur vorhanden. Ganz Mitteleuropa bot den Anblick einer hügeligen Plateau-Landschaft dar, auf welcher sich hier und dort seichte Meere ausbreiteten. Fig. 3 soll ein Bild des damaligen Zustandes des alpinen Gebietes geben.

Am Ende der Carbonzeit begannen im heutigen Alpengebiet die gebirgsbildenden Kräfte zum erstenmale in nachweisbarer Weise sich geltend zu machen. Das ganze konkordante System der alten Gneisse und paläozoischen

Sedimente mit den eingeschlossenen Eruptivgesteinen wurde durch eine tangential zur Erdoberfläche wirkende Kraft in Falten gelegt. Der Gegensatz des geologischen Baues von nördlichen und südlichen Schweizeralpen erklärt sich als eine Folge dieser Faltung. Es wurde von derselben ganz Mitteleuropa erfasst. Von der Rhein-Rhodelinie, Chur-Martigny, bis an den Nordrand der hohen Venn, des westfälischen Sauerlandes und des Harzes hatte sich ein einheitliches Faltengebirge, das Variscische Gebirge, aufgebaut. Die Gesteinsmassen der südlichen Zone der Alpen hingegen wurden in ihrer ursprünglichen Lagerung nicht gestört. Damals war also der Gegensatz zwischen nördlicher und südlicher Zone noch viel schärfer ausgeprägt als zur Jetztzeit. Von dem ausgedehnten variscischen Gebirge geben uns heute nur noch einige unversehrt gebliebene Trümmer Kenntnis. Das Gebirge fiel der Denudation anheim, die Kämme und Gipfel wurden durch die Erosion abgetragen, allmählig begann ein neues System von Sedimenten diskordant auf den denudierten Falten sich abzulagern. Fig. 2 soll eine schematische Darstellung dieser Verhältnisse geben.

Schon durch diese erste Faltung wurde in den betreffenden Teilen der Alpen die gegenseitige Lagerung von Massen- und Sedimentgesteinen gestört und wohl auch eine strukturelle und stoffliche Metamorphose beider eingeleitet. Zur Beurteilung des Grades dieser Veränderungen müssen wir diejenigen Teile des variscischen Gebirges betrachten, welche seit der Carbonzeit stationär geblieben sind. In den Alpen wurde das damals Gewordene durch eine spätere, gewaltige Faltung vollständig modifiziert. Inwiefern uns eine solche Betrachtung einen gewissen Aufschluss über die Entstehung der krystallinen Schiefer der Alpen geben kann, will ich nur an zwei Beispielen zeigen. Zwischen den ge-

falteten carbonischen Grauwacken der Südvogesen, eines Teiles des variscischen Gebirges, finden sich Gesteine, welche, schiefrig gequetscht und von Mineralneubildungen durchsetzt, mit alpinen „unreinen Gneissen“ stofflich und strukturell identisch sind. — Granitmassen, welche den gefalteten paläozoischen Sedimenten der Bretagne, eines seit der Carbonzeit ebenfalls nicht mehr gestörten Gebirgsstückes, eingelagert sind, gehen an ihren Südrändern in gneissartige Gesteine über. Es lässt sich nachweisen, dass letztere in Folge der Faltung mechanisch geschieferte Granite sind. Die Glimmerblättchen in denselben sind verbogen, zerrissen und ausgezogen, die Feldspathkrystalle zerbrochen, an den Ecken abgerundet, die Quarzkörner zertrümmert; Neubildungen von sericitischem Glimmer und Quarz verkitten gleichsam die an einander verschobenen ursprünglichen Gemengteile. Wir sehen, wie schon durch die einmalige, post-carbonische Faltung normale Granite zu Protoginen, Grauwacken zu gneissartigen Gesteinen umgewandelt werden konnten.

Das erste Produkt der mit der Permzeit beginnenden zweiten Phase alpiner Sedimentbildung sind die Sandsteine des Verrucano, entstanden aus dem Detritus des alten Gebirges. Es herrschte zu dieser Zeit eine lebhafte vulkanische Tätigkeit. In den Ostalpen entstand die grosse Porphyrydecke von Botzen; auch in den Schweizeralpen finden sich Ergussgesteine, die dem Verrucano eingelagert sind: Quarzporphyre bei Bergün an der Albulastrasse, Melaphyre in den Glarner Freibergen.

Nach der Bildung des Verrucano blieb das alpine Gebiet westlich vom Rheine lange Zeit Festland; es entstanden hier keine Ablagerungen, während in den Ostalpen mächtige marine Sedimente der Trias sich bildeten. In

den französischen und italienischen Alpen kennen wir graue Schiefer mit Gips, welche in triadischen Lagunen zum Absatz gelangt waren. — Erst später wurde auch das Land der heutigen Schweizeralpen vom Meere überflutet. Die marinen Absätze der Jura-, Kreide- und Eocänzeit bildeten sich, ohne dass wesentliche Störungen durch gebirgsbildende Kräfte sich geltend machten. Die Meeresbedeckung vom Beginn der jurassischen Zeit ab war aber keineswegs eine kontinuierliche. Nur zu Ende der Jurazeit beherrschte ein tiefes, weit ausgedehntes Meer wohl das ganze alpine Gebiet. Die Bildungen dieser Zeit überdeckten die schon gefalteten, ältern Gesteine der nördlichen, sowie die damals noch horizontal liegenden der südlichen Zone. Die Verbreitung und Natur der Kreideablagerungen führt zu dem Schlusse, dass die zentralen Teile der Alpen allmählig wieder Festland wurden; Meeresabsätze der jüngsten Kreide, sowie des ältesten Eocäns fehlen vollständig. Erst das jüngere Eocänmeer, auf dessen Grunde sich Nummulitensandstein und Flyschschiefer bildeten, erlangte nach einer langen Festlandsperiode wieder grössere Verbreitung. Es erreichte mancherorts eine grössere Ausdehnung, als das Kreidemeer, indem es sich über Gebiete verbreitete, die seit der Jurazeit Festland geblieben waren.

Die mannigfachen Verschiebungen von Meer und Land während der mesozoischen Periode wurden in der Schweiz jedenfalls nicht durch gebirgsbildende Kräfte bedingt. Die Sedimente wurden bei Trockenlegung und bei erneutem Versinken unter Meer nirgends wesentlich in ihrer horizontalen Lage gestört. Am Fusse des Beatenberges am Thunersee enthalten die Nummulitensandsteine Bruchstücke derjenigen Kreideschichten (Gault), welchen sie direkt auflagern: der Meeresgrund des Nummulitenmeeres bestand also hier

aus den Schichten des Gault. Da heute Nummulitensandstein und Gault-Schichten einander vollständig parallel liegen, sind wir berechtigt anzunehmen, dass letztere während der langen Festlandszeit und bei neuem Eindringen des Meeres nicht merklich aufgerichtet worden sind.

Die Gebiete, welche während der mesozoischen Periode jeweiligen Festland waren, zeigten den Charakter von Plateaulandschaften in ähnlicher Weise, wie das aus paläozoischen Sedimenten bestehende Land vor der ersten postcarbonischen Faltung. (Vgl. Fig. 2 u. 3.)

Eruptivgesteine, die der Jura- oder Kreideformation angehören, sind in den Schweizeralpen mit Sicherheit noch nicht nachgewiesen. Die hier in Betracht kommende Frage nach dem Alter gewisser Protogine wurde schon erörtert. — Zur Eocänzeit brachen diabasartige Gesteine hervor, die zwar in ihrer ursprünglichen Gestalt nur noch an wenigen Stellen zu beobachten sind, hingegen das Material eines weitverbreiteten, aus Feldspath, Augit und Hornblende bestehenden, eocänen Sandsteines lieferten, welcher Taveyannaz-Sandstein genannt wird.

Am Ende der Eocänzeit begannen die faltenden Kräfte wiederum gerade wie am Schlusse der paläozoischen Periode in der Richtung von Süd nach Nord zu wirken. Sie fanden im Gebiete der heutigen Schweizeralpen einerseits in der nördlichen Hälfte ein altes, schon einmal gefaltetes Gebirge und eine darauf lastende, tausend Meter mächtige horizontale Sedimentdecke vor, anderseits in der südlichen Hälfte das ganze konkordante System sämtlicher Formationen vom archaischen Gneiss bis zum mittlern Tertiär. Der Prozess der Gebirgserhebung dauerte sehr lange an, er erreichte wahrscheinlich ein Maximum der Intensität noch am Schlusse der Miocänzeit, indem auch die Kon-

glomeratschichten derselben am Nordrande der Alpen vielerorts steil aufgerichtet sind.

Erst durch diese letzte Hauptfaltung individualisirte sich das heutige Alpengebirge und zugleich auch der Jura, als Seitenzweig desselben. Nur der südliche Teil der ganzen einst von der postcarbonischen Faltung betroffenen Masse wurde von neuem zu einem gewaltigen Kettengebirge emporgewölbt. Ausserhalb Jura und Alpen hingegen war das nördliche Vorland in die Tiefe gesunken; einzelne Teile des alten Gebirges aber sind stehen geblieben und bilden heute, umgeben von den jüngern Sedimenten der Tertiärzeit, das französische Zentralplateau, Vogesen und Schwarzwald. Durch das Vorhandensein dieser „alten Massen“ ist auch der bogenförmige Verlauf des jungen Alpengebirges bedingt.

Der heutige Bau der nördlichen Schweizeralpen ist entstanden infolge lange andauernder, höchst verwickelter Gebirgsbildungen, welche mit wechselnder Intensität während verschiedener geologischer Zeitabschnitte sich geltend gemacht hatten und bis in die jüngste Zeit fort dauerten. Wie die jüngsten Tier- und Pflanzenformen am schwierigsten genetisch zu klassifizieren sind, so ist auch in den jüngsten Gebirgen das Gewordene, als ein Produkt langer, komplizierter Prozesse, kaum mehr im einzelnen in seiner ganzen Entwicklungsgeschichte zu verfolgen. Eine vergleichende Anatomie mehrerer, gleichsam verschieden hoch entwickelter Gebirge allein ermöglicht es uns, die Erscheinungen auch in den jüngsten und komplizirtesten Gebirgen richtig zu deuten, indem wir so eine ideelle Rekonstruktion der hier in frühern Zeiten herrschenden Verhältnisse durchführen können.

Es wird unsere Aufgabe sein, solche Gebirge aufzusuchen, welche, bei analogem Grundplane, in ihrer Entwick-

lung hinter derjenigen der Alpen zurückgeblieben sind, uns also gleichsam frühere Stadien der alpinen Gebirgsbildung vor Augen führen. In oder vielmehr an solchen ältern Gebirgen werden naturgemäss Sedimente horizontal gelagert sein, deren Äquivalente in den Alpen steil aufgerichtet sind.

Unter den in der Normandie horizontal liegenden Juraschichten taucht gegen Westen, in der Bretagne, ein altes Faltengebirge empor, dessen jüngste mitgefalteten Sedimente der Carbonzeit angehören. Die Falten dieses carbonischen Gebirges wurden denudirt, niedere Hügelzüge sind heute die letzten Reste gewaltiger Gebirgsketten. Seit der Carbonzeit ist das Land niemals mehr vollständig vom Meere überflutet worden. — Wir wissen, dass, wo heute die nördlichen Schweizeralpen, Schwarzwald und Vogesen sich erheben, zu Ende der Carbonzeit ebenfalls ein Gebirge entstanden war, dass dann die Falten desselben durch die Erosion abgetragen wurden und das Gebiet lange Zeit Festland blieb. Die heutige Bretagne führt uns den geotektonischen Zustand der nordalpinen Zone vor Augen, wie er von der Zeit des Verrucano bis zum Lias herrschend war. Wie heute die Wasser des Kanales und des atlantischen Ozeans an den Küsten des alten Festlandes der Bretagne nagen und immer weiter landeinwärts vordringen, so breitete sich einst im Alpengebiet das Jurameer allmählig über das Festland aus.

Die mesozoischen Sedimente hatten das variscische Gebirge, d. h. ganz Mitteleuropa überdeckt. Während sie aber zur Tertiärzeit zugleich mit ihrer ältern Unterlage einerseits in den Alpen und im Jura aufgefaltet wurden, anderseits im Gebiete des schweizerischen Hügellandes und der oberrheinischen Tiefebene zur Tiefe sanken, sind Schwarzwald, Vogesen und das französische Zentralplateau

seit Ende der mesozoischen Zeit im Grossen und Ganzen stationär geblieben und nur die Kräfte der Denudation haben hier seit jener Zeit das Relief des Gebirges modifizirt. Da, wo auf diesen Gebirgen die mesozoische Sedi-  
mentdecke von der Denudation verschont geblieben ist, sehen wir das getreue Bild des Baues der nördlichen Schweizeralpen vor ihrer letzten Faltung vor uns; wo jedoch, wie im südlichen Schwarzwald und in den gegenüberliegenden Vogesen die Sedimente denudirt wurden, enthüllt sich auch hier, wie in der Bretagne, das alte Europa, wie es am Schlusse der paläozoischen Zeit sich gebildet hatte.

Die Pyrenäen gehören zum alpinen Gebirgssystem. Die letzte Faltung derselben begann wohl zu gleicher Zeit, wie diejenige der Schweizeralpen, allein sie erreichte früher ihren Abschluss, da die jüngsten hier mitgefalteten Schichten dem Eocän angehören, die miocäne Molasse hingegen am Nordrande der eigentlichen Pyrenäen horizontal liegt und nirgends, wie in der Schweiz steil aufgerichtet wurde.\*) Ein Vergleich beider Gebirge ist deshalb von besonderem Werte, weil er uns ermöglicht, abzuschätzen, um welchen Betrag auch im Innern der Alpen die Felsmassen in Beziehung auf Lagerung und Struktur weiterhin gestört worden sind, einzig und allein infolge der zu Ende des Miocäns noch weiter fortschreitenden Faltung. Die heutigen Pyrenäen veranschaulichen in gewisser Hinsicht den vor der Molassefaltung in den Schweizeralpen herrschenden Zustand. Wie eine solche Betrachtung

---

\*) Dagegen sind die Molasseschichten genau wie in den Schweizeralpen aufgerichtet am Südostabhang der Corbieren, welche zugleich mit den Montagnes noires eine Zweigkette der Pyrenäen darstellen, aber im Gegensatz zu denselben alpine Streichrichtung besitzen.

für die Beurteilung gewisser alpiner Protogine und ihrer Lagerungsverhältnisse zu den Sedimenten wichtige Anhaltspunkte liefern kann, wurde bereits angedeutet.

Bei einem Vergleich der miocänen Alpen der Schweiz mit den heutigen Pyrenäen ist freilich zu bedenken, dass die Vorgeschichte dieser beiden Gebirge nicht ganz identisch ist. Die Spuren einer vorpermischen Gebirgsbildung sind in den Pyrenäen ebenso deutlich oder noch deutlicher zu erkennen als in den nördlichen Schweizeralpen. — Die gegenseitige Lagerung und Verbreitung von unterer und oberer Kreide in den Pyrenäen weisen auf gewaltige Lagerungsstörungen hin, welche das Gebirge in dem Zeitraum zwischen der Ablagerung dieser Formationsabteilungen erfahren hatte. Dieselben äusserten sich derart, dass einzelne Gebirgsstücke längs Verwerfungslinien, die der Längsausdehnung des Pyrenäenzuges meist parallel verlaufen, zur Tiefe sanken. Da, wo diese Absenkungen bedeutend genug waren, was vorzugsweise am Rande des Gebirges, seltener auch im Innern desselben der Fall war, nahm nach und nach das Meer der obern Kreide und des Eocäns vom Lande Besitz, oft fjordähnlich zwischen die stehengebliebenen Gebirgssteile eindringend. Die unterste Stufe der obern Kreide, das Cenoman, besteht hier aus Konglomeraten und sandigen Materialien, die Nähe eines von der Brandung benagten Strandes anzeigend. Die Spuren ähnlicher gebirgsbildender Vorgänge treffen wir auch in den französischen Westalpen. Es wurden diese Verhältnisse hier besonders besprochen, weil durch eine richtige Berücksichtigung derselben gewisse Eigentümlichkeiten des alpinen Gebirgsbaues vielleicht ihre Erklärung finden. Der augenfälligste Unterschied, welcher im geologischen Bau des Nordabfalles von Schweizeralpen und Pyrenäen besteht, ist das Vorhandensein grosser Längs-

verwerfungen in den Pyrenäen, während wir in den Alpen fast ausschliesslich mehr oder weniger stark überschobenen Falten begegnen. (Vgl. Fig. 1.) Wir sahen, wie in der Schweiz der eocäne Flysch sich direkt auf den damals horizontalen Schichten der untern Kreide oder des Jura abgelagert hatte. Zu der Zeit, als im Gebiete der heutigen Pyrenäen und der französischen Westalpen auf weite Strecken das ganze Felsgerüste einbrach und da, wo das Land in der Weise sich gesenkt hatte, Meer sich ausbreitete, herrschte während des langen Zeitraumes der obern Kreide und des ältesten Eocän in der Schweiz eine Periode ruhiger Festlandszeit. Dadurch erklärt es sich wohl zum Teil, dass Längsverwerfungen in den Schweizeralpen so selten sind; die nacheocäne Hauptfaltung hat hier ein zusammenhängendes, horizontales Schichtsystem ergriffen, während sie in den Pyrenäen ein bereits zerstückeltes Gebirgsstück vorfand.

Den geotektonischen Bau der Schweizeralpen als Produkt der nacheocänen Faltung haben wir in den Hauptzügen schon kennen gelernt. Wie gewaltig die Umlagerung ist, welche alle Gebirgslieder betroffen, möge der Vergleich von Fig. 1 mit Fig. 2 zeigen. Es ist interessant, die successiven Lagerungsveränderungen eines einzelnen, möglichst alten, scharf umgrenzten Gebirgsliedes zu verfolgen. Ich wähle als Beispiel den Porphyry der Windgälle.

Als Lavastrom hatte sich derselbe zu Anfang der Carbonzeit auf der Erdoberfläche ausgebreitet. Er wurde von seichten Gewässern umspült, auf deren Grunde sich Anthracit führende Konglomerate ablagerten. Unter denselben finden sich eckige, oder nur wenig abgerundete Stücke des Porphyrs selbst. — Nach und nach stiegen die Wasser höher, der Porphyry wurde überflutet und allmählig von Geröllen vollständig überdeckt. (Vgl. Fig. 3.)

Porphyry, die darunter liegenden paläozoischen Sedimente, mit ihren eingeschalteten Granitmassen sehen wir vor der permischen Zeit zusammengestaut und in Falten gelegt. Als oberste Glieder dieses postcarbonischen Gebirges werden Porphyry und die carbonischen Bildungen am meisten durch jene Denudation zerstört, als deren Produkt wir die Sandsteine des Verrucano betrachten können. Ein kleiner Rest der ursprünglichen Lavadecke, eingelagert zwischen steilstehendem Carbon und ältern Schichten, blieb erhalten. (Vgl. Fig. 2.) — Die Verhältnisse blieben stationär, bis zur Jurazeit Meer das Land zu überfluten begann. Die ältesten an der Windgälle vorhandenen, jurassischen Ablagerungen enthalten vollständig gerundete Porphyrygerölle: ein Fluss, an dem alten Porphyryfelsen vorbeiströmend, hatte diese Stücke in das von Norden heranrückende Jurameer geführt. — Während das Meer nun immer weiter sich ausbreitet und zugleich tiefer wird, wird der Porphyry von den Absätzen desselben bedeckt. Vor Beginn der alpinen Hauptfaltung liegt er ungefähr sechshundert Meter tief begraben unter dem Schichtkomplex von Jura bis Eocän. (Vgl. Fig. 2.)

Durch die nacheocäne Faltung wurden die in der Tiefe liegenden Gebirgsteile von neuem emporgepresst, die mesozoischen Sedimente in den zentralen Teilen der Alpen zerstückelt, am Rande des Gebirges in Falten gelegt. Da, wo die krystallinischen Gesteine in zusammenhängender Masse unter der Decke von Sedimenten nach Süden emporsteigen, sehen wir nun heute den Porphyry der Windgälle in enger Verbindung mit carbonischen Ablagerungen, lagernd auf denselben Jura- und Eocänschichten, unter deren mächtiger Decke er lange verborgen gelegen. Porphyry und Carbon sind aus dem System der krystallinischen Schiefer,

welche sie so lange beherbergt, beinahe vollständig herausgerissen. (Vgl. Fig. 1.) Wir sahen, wie ein und dasselbe Gebirgsstück zweimal von sedimentären Bildungen überdeckt, zweimal durch gebirgsbildende Kräfte wieder an die Erdoberfläche geschafft und den zerstörenden Wirkungen der Erosion anheimgegeben wurde. Eine in dieser Weise vollständige Rekonstruktion sämtlicher Stadien, welche die alpinen Gesteinsarten in Beziehung auf ihre Lagerung durchlaufen haben, ist nur in wenigen Fällen möglich.

Ich möchte nun noch einmal auf die mit den örtlichen Veränderungen der Felsmassen Hand in Hand gehende und durch dieselbe wohl grösstenteils bedingte strukturelle Modifizierung der Gesteine aufmerksam machen. Wir können heute in den Alpen kaum ein Gesteinstück finden, welches nicht die Spuren mechanischer Deformation zeigte. Ursprünglich massiger Kalk der Juraformation, der Hochgebirgskalk, wird dünnschiefrig ausgewalzt und die darin sich befindenden Petrefakten werden verzerrt oder zerrissen. Wir sahen wie massige Porphyre in Felsitschiefer, dichter Kalk in körnigen Marmor mit weissem Glimmer, mergelige, dolomitische Thonschiefer in Chloritoidschiefer umgewandelt sind da, wo Druckkräfte in erhöhtem Masse gewirkt hatten. Bei der Besprechung der Entstehung krystalliner Schiefer habe ich zu zeigen versucht, dass Sedimente krystallin, Eruptivgesteine schiefrig, scheinbar geschichtet werden können, dass also auf diese Weise die Umwandlungsprodukte beider in ihren letzten Stadien sich beinahe gleichartig zu entwickeln vermögen. — Indem bei der intensiven Faltung des ganzen Gebirges die alten Granitstöcke ihre geognostische Selbständigkeit fast vollständig verlieren und ihre wohl häufig sekundär entstandenen Bänke mit den ursprünglichen Schichten oder den nachträglich her-

ausgebildeten Schieferungsrichtungen metamorphisierter Sedimente sich parallel stellen, ist es wohl erklärlich, dass wir in manchen Fällen im Zweifel sein können, ob wir in einzelnen Gesteinen der Zentralmassive ursprünglich eruptive Granite, alte Gneisse oder metamorphe Sedimente vor uns haben.

---

Wir sahen, dass nach der ersten postcarbonischen Faltung der Alpen mächtige Konglomeratbildungen entstanden. Genau dieselbe Erscheinung wiederholte sich, als zu Ende der Eocänzeit die innersten Ketten der heutigen Alpen anfangen, sich zu heben. Die Molasse des schweizerischen Hügellandes besteht aus den Abschwemmungsprodukten des neu entstehenden Gebirges. Grosse Ströme führten dieselben in ein Meer, dessen Wogen an den Felsen des langsam weiter sich aufstauenden Gebirges brandeten. Die ausgedehnten oligocänen und miocänen Flussablagerungen am Nordrande der Alpen lassen sich unschwer erklären. Das im Entstehen begriffene Alpengebirge hatte eine insulare Lage, indem im Süden das Meer eine weit grössere Ausdehnung besass, als das heutige Mittelmeer und von Südfrankreich her ein Arm desselben, das helvetische Meer, längs des Nordrandes der Alpen sich hinzog. Die Niederschläge auf der langgestreckten alpinen Gebirgsinsel mussten ganz beträchtlich, in Folge dessen die Erosion stark wirksam sein. Durch allmälige Hebung der Alpen und Senkungen im Vorlande erhielten die Flüsse grosses Gefälle und vermehrte Stosskraft. Die durch gesteigerte Erosion im Sammelgebiet gelockerten Gesteinsmassen konnten alle fortgeführt werden und lagerten sich in der Ebene ab.

Während die Bildungen der Molasseformation in den mittlern Teilen des schweizerischen Hügellandes feinkörnige Sandsteine und Mergel sind, erlangen in der Nähe von Alpen und Jura gröbere Konglomerate, die man als Nagelfluh bezeichnet, immer grössere Ausdehnung und sind am Alpenrande selbst die herrschende Gesteinsart des Miocän. Die Gerölle sind teils Kalksteine, teils krystalline Silicatgesteine. Konglomerate, in welchen die Silicatgesteine 10—20 % sämtlicher Gerölle bilden, werden als „bunte Nagelfluh“ bezeichnet. Die Lagerung und Verbreitung der verkitteten Geröllmassen deutet auf wesentlich Süd-Nord oder Südost-Nordwest gerichtete Ströme hin. Höchst auffällig ist die Tatsache, dass schon bei oberflächlicher Untersuchung unter diesen Geröllen Gesteinsarten sich bemerkbar machen, welche nicht zu den herrschenden alpinen Typen gehören.

Bernhard Studer führte eine von Konrad Escher von der Linth aufgestellte Hypothese weiter aus, indem er zur Erklärung dieser Erscheinung annahm, dass dem zu Ende der Eocänzeit erst schwach gefalteten Alpengebirge ein Randgebirge vorgelagert war. Dasselbe bestand, wie angenommen wird, aus Granit, Porphyr, Serpentin und metamorphischen Schiefen, welche teilweise auch von Verzweigungen des alpinen Kalkgebirges bedeckt oder durchzogen wurden. Aus diesem Gebirge, welches mit dem Hügelland, das von Lugano bis Ivrea heute den Südrand der Alpen begrenzt, verglichen wird, sollten die fremdartigen Gerölle der Molasse stammen. Durch Erosion wurde dasselbe teilweise abgetragen; bei der Haupthebung der Alpen sank es teils zur Tiefe, teils wurde es von den nach Norden überschobenen, alpinen Ketten bedeckt; Molasse und Alpen, ursprünglich durch das Randgebirge getrennt, kamen so in direkte Berührung.

In neuerer Zeit wurde der Versuch gemacht, in den heutigen Alpen selbst alle die Felsarten nachzuweisen, welche in der Nagelfluh enthalten sind, um so die Hypothese eines versunkenen Randgebirges zu umgehen. Es wurde gezeigt, dass die Gerölle der Nagelfluhen in der Ostschweiz aus den Ostalpen stammen. Es gab grosse miocäne Ströme mit nordwestlicher Richtung, deren Sammelgebiet im Engadin und in Westtyrol lag.

Der Unterschied der meisten in den Geröllen der bunten Nagelfluh enthaltenen Silicatgesteine gegenüber Zentralmassivgesteinen kann jedoch unmöglich in Abrede gestellt werden. Alle Silicatgesteine der Schweizeralpen, wenigstens die der nördlichen, stärker gestauten Massive des Mont Blanc, der Aiguilles rouges, des Finsteraarhorns und Gottards zeigen unverkennbare Eigentümlichkeiten, welche alle auf mechanischer Deformirung der Gemengteile und Neubildungen beruhen. Gerade infolge dessen haben die hier vorkommenden granitischen Gesteine den besondern Namen „Protogin“ erhalten und deshalb spricht man von „unreinen“ alpinen Gneissen. Granite, Gneisse und verwandte Gesteine hingegen, welche als Gerölle in der bunten Nagelfluh unsere Aufmerksamkeit erregen, sind alle ganz normal ausgebildet, der alpine Charakter fehlt ihnen vollständig.

Wenn die Herausbildung der alpinen Gesteinsfacies hauptsächlich als ein Produkt der nachmiocänen Alpenstauung angesehen werden kann, so ist die Differenz der alpinen Gesteine mit den in der miocänen Nagelfluh vorkommenden teilweise wohl zu erklären durch die Annahme, dass dieselben — vor dieser Stauung aus ihrem ursprünglichen Verbands herausgerissen — in die Molasse eingebettet wurden und hier lange nicht in dem Grade dynamometamorph umgewandelt werden konnten. Der Unterschied

zwischen Alpen- und Nagelfluhgesteinen ist jedoch möglicherweise in einzelnen Fällen so gross, dass derselbe auf die angedeutete Weise allein nicht erklärt wird. Es dürften sich in der Nagelfluh Gesteine finden, die nicht nur strukturell, sondern auch generell von alpinen Typen abweichen. Ob wir gezwungen und berechtigt sind, gemäss der Studer'schen Hypothese als die Heimat der fremdartigen Molassegerölle ein den sich emporstauenden Alpen vorgelagertes, heute verschwundenes Gebirgsstück anzunehmen, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Wir haben gesehen, dass das Gebiet der nördlichen Schweizeralpen zu Ende der mesozoischen Zeit gleichartig gebaut war, wie Schwarzwald und Vogesen und mit denselben ein einheitliches Ganzes bildete. Dieser Zusammenhang wurde durch die alpine Gebirgserhebung unterbrochen. Das Verbindungsstück sank zur Tiefe. Ohne näher auf diese verwickelten Fragen einzugehen, möchte ich nur darauf hinweisen, dass die vielbesprochenen Klippen und exotischen Blöcke im Flysch der nordalpinen Ketten vielleicht mit den fremdartigen Geröllen in der Molasse in Zusammenhang zu bringen sind und dass sich dann alle diese Bildungen wohl als Trümmer jenes zwischen Alpen und Schwarzwald in die Tiefe gesunkenen Gebirgssteiles deuten lassen. Zufolge dieser Anschauung könnte dann das versunkene Gebirgsstück in Beziehung auf Zusammensetzung und Bau nicht mit dem eruptiven Randgebirge auf der Südseite der Alpen verglichen werden, wohl aber mit denjenigen Teilen von Schwarzwald und Vogesen, welche die mesozoische Sedimentdecke noch besitzen. — In neuester Zeit bespricht Bergrat v. Gümbel aus den Allgäualpen vereinzelttes Auftreten alter, krystalliner Schiefer, welche längs einer Verwerfungslinie zwischen Trias und Eocän

-eingelagert sind. Ebenfalls als eine gewisse Wiederaufnahme der Studer'schen Hypothese ist es zu bezeichnen, wenn Gumbel es ausspricht, dass das erwähnte Vorkommen auf einstiges Vorhandensein eines „alten Gebirgsrückens“ am Nordrande der Alpen hinweist.

---

In der Jetztzeit liefern Erdbeben uns den Beweis dafür, dass das Alpengebirge noch keineswegs ganz zur Ruhe gelangt ist. Die grosse Mehrzahl der vielen kleinen Erdbebenstösse, welche seit einer Reihe von Jahren in der Schweiz systematisch beobachtet werden, lassen in ihrer Verbreitungsrichtung bestimmte Beziehungen zu dem geologischen Bau des Landes erkennen. Es zeigt sich, dass da, wo aus alten Zeiten Bewegungen des Felsgerüstes nachweisbar, auch heute noch Spannungen vorhanden sind, welche sich immerfort Ruck um Ruck auslösen und so Erschütterungen hervorrufen. Die meisten schweizerischen Beben sind wohl verursacht durch die fortdauernde Gebirgsbildung im Jura- und Alpengebiet. Die dadurch hervorgerufenen, allmählichen Niveauveränderungen sind freilich meist zu gering, um in dem kurzen Zeitraum, aus welchem uns einschlägige, geodätische Beobachtungen zur Verfügung stehen, besonders hervortreten zu können. Bei der neuern Revision einer vor etwa dreissig Jahren ausgeführten Messung des Dreieckes Lägern-Rigi-Napf hat sich allerdings gezeigt, dass die Entfernung dieses Juraberges von den beiden Voralpen-Gipfeln in den dreissig Jahren sich um ca. 1 Meter verringert hat.

Im Gebirge werden die festen Gesteinsmassen durch Luft und Wasser gelockert, zersetzt und zertrümmert. Die Flüsse führen immerfort neue Geröllmassen in die Ebene

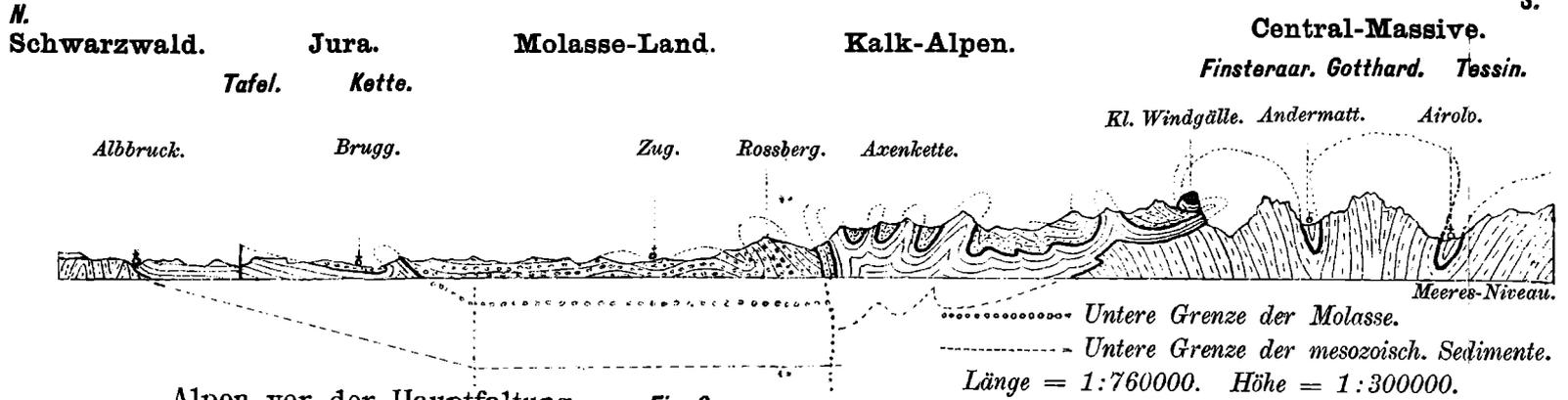
hinaus. Der zur Miocänzeit angelegte Schuttwall des Gebirges, welcher während der grossen Ausdehnung der Gletscher durch Moränenmaterial weiter aufgebaut wurde, wächst immer fort. Die losen Flussgerölle werden zum festen Gestein der Nagelfluh verkittet. Die Geschiebe der Flüsse füllen die alpinen Randseen allmählig aus, gerade so wie zur Miocänzeit alpine Ströme mächtige Deltas in das seichte Meer der Mittelschweiz hinausgebaut hatten. — Diejenige Periode der Gesteinsbildung, welche am Ende der Eocänzeit begonnen, dauert heute noch fort und wird erst dann ihr Ende finden, wenn das Alpengebirge vollständig nivellirt sein wird und das Meer von Neuem dauernd unsere Gegenden überflutet.

---

Bei unsern Auseinandersetzungen handelte es sich lediglich um Erklärungsversuche beobachteter Verhältnisse, keineswegs um eingehende Beschreibung derselben. Um die Erscheinungen überblicken zu können, mussten dieselben nach gewissen Gesichtspunkten gruppirt werden, wir wurden deshalb zu einer Systematisirung in Wort und Bild gezwungen; jedes System aber wird überwältigt von dem Reichtum der Natur. Dass die Dinge annähernd in der ausgeführten Weise zusammengehören, dass die geschilderten Vorgänge der Wirklichkeit entsprechen, ist nach unsern heutigen, positiven Erfahrungen nicht unmöglich, es fehlen aber im Einzelnen häufig die schlagenden Beweise. Dem subjektiven Gefühl eines jeden Forschers ist noch ein weiter Spielraum gelassen. Das Endziel der Forschung muss es aber sein, unter der Menge der geologischen Erscheinungen alle die gleichartig wiederkehrenden zusammenzufassen, daraus ihre Gesetze abzuleiten und somit die

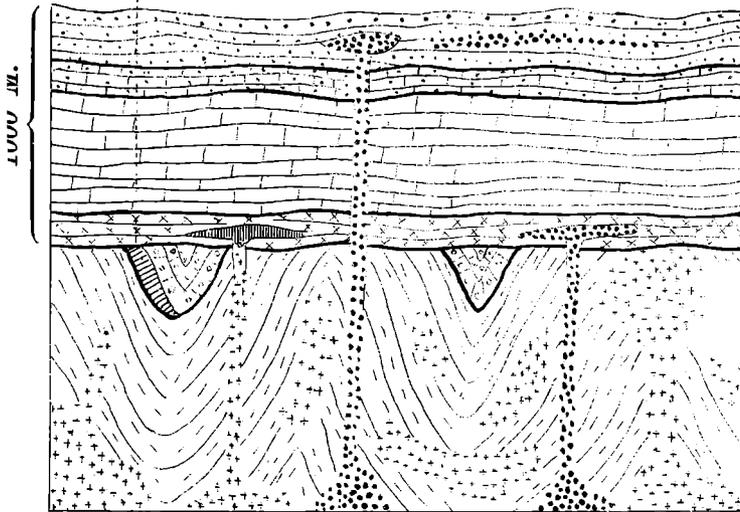
Kräfte, welche die Ursachen der Erscheinungen sind, zu erkennen. Je mehr wir diesem idealen Ziele uns nähern, um so geringer wird die Divergenz der subjektiven Meinungen werden, die objektive Wahrheit dagegen immer klarer hervortreten.





Alpen vor der Hauptfaltung. Fig. 2.

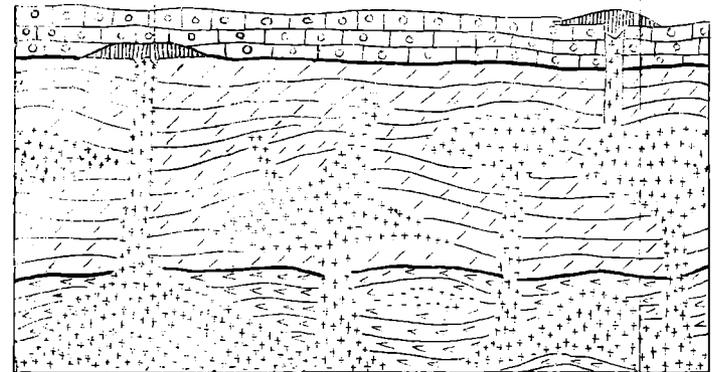
Porphyr der Windgälle.



Alpen zur Carbonzeit. Fig. 3.

Porphyr d. Windgälle.

Porphyr v. Lugano.



- |                       |                        |               |                                 |                                 |                          |         |            |
|-----------------------|------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------|------------|
| 1.                    | 2.                     | 3.            | 4.                              | 5.                              | 6.                       | 7.      | 8.         |
| Krystalline Gesteine. | Granit.                | Quarzporphyr. | Diabas. Melaphyr Taveyannazdst. | Archaeische krystall. Schiefer. | Palaeozoische Sedimente. | Carbon. | Verrucano. |
|                       | 9.                     | 10.           | 11.                             | 12.                             | 13.                      |         |            |
|                       | Mesozoische Sedimente. | Jura.         | Kreide.                         | Eocaen.                         | Molasse.                 |         |            |