

Der Schichtenbau der Erdrinde.

Von

DR. GUSTAV TSCHERMAK.

Vortrag gehalten am 22. Jänner 1866.

Bei jeder Naturbetrachtung erblicken wir nur ein winziges Stückchen der Erde oder vielmehr der Erdoberfläche und viele Menschen gelangen niemals zu dem Bewusstsein, dass es ein Erdganzes gebe. Erst wenn wir viele Eindrücke, an verschiedenen entlegenen Punkten gesammelt, zusammenfassen zum einheitlichen Bilde, erlangen wir eine Ahnung von der unorganischen Welt und die Erde erscheint uns dann als ein selbständiger Körper, für unsere Kleinheit freilich von riesiger Grösse, als ein Körper von verwickeltem Baue, der seine eigene Entwicklung, seine bestimmten Gestaltungsgesetze hat. Freilich haben wir blos eine lückenhafte Kenntniss der Erdoberfläche und sind nirgends tiefer gegen das Innere vorgedrungen, doch der menschliche Geist vermag durch Schlüsse tiefer zu blicken, als die Anschauung reicht, und er schafft sich eine Vorstellung vom Baue der Erdrinde, die sein Auge nicht durchdringt.

Wir begreifen das Gefüge der Erdrinde nur durch ihre Entwicklungsgeschichte. Ich darf daher nur dann

hoffen, Ihnen eine Skizze davon entwerfen zu können, wenn ich spreche von der Entwicklung, von der allmäßigen Bildung und Umbildung, von der beständigen Verjüngung und Erneuerung derselben.

Bei jedem Spaziergange, bei jedem Ausfluge, wo immer wir eine Entblössung des Bodens von der Pflanzendecke betrachten, nehmen wir das Eine wahr, dass die Erdrinde aus Schichten bestehet. Jeder, der hinausgeht zu den Ziegelgruben, der die Sandsteinbrüche besieht, erkennt es auf den ersten Blick, und wer einen Spaziergang in das Kalkgebirge bei Mödling, Baden oder in der Nähe des Schneebergs unternimmt, wird bemerken, dass die oft unförmlichen Kalkmassen ebensogut ihre Schichtung verrathen, und wer den Semmering heransteigt und weiter nach Steiermark seinen Weg nimmt, den werden die überall zu Tage tretenden Schiefermassen überzeugen, dass auch hier eine Steinlage auf der anderen ruht. Wirkliche Ausnahmen von der Schichtung sind selten und von beschränkter Ausdehnung.

Woher diese Schichtenbildung kommt, ist leicht einzusehen. Schon vor Jahrtausenden haben denkende Köpfe erkannt, dass es nur das Wasser sein könne, welches die allgemeine Schichtung hervorgerufen. Nicht nur die Schichten im Thal und in der Ebene, wo Bäche und Flüsse noch immer neue Absätze bilden, erinnerten an diesen Vorgang. Die Muscheln, die man oben auf den Bergen im Steine fand, überzeugten den Geographen Strabo, so wie viele seiner Vor-

gänger, dass auch diese Schichten, aus welchen die Berge sich aufzutun, Absätze des Wassers seien.

Man darf wohl nur die beständige Wanderung der festen Stoffe verfolgen, um der Schichtenbildung auf die Spur zu kommen. Durch die Verwitterung und den Frost wird der Fels im Gebirge mürbe gemacht, gespalten und zertrümmert, durch die zerstörende Kraft der Gletscher und Bäche in Sand und Steinmehl verwandelt, die zum Theil aufgelöst, zum Theil fortgetragen werden zu Thal, zur Ebene, ins Meer. Zugleich schwemmt das Wasser fort, was von abgestorbenen Pflanzen und Thieren in sein Bereich kommt, und so baut es aus dem Steinmehl, aus Schutt und Sand, aus Pflanzen- und Thierresten die jungen Schichten. In unsichtbarer Form wandert der Kalk, den die Quelle, der Bach und Fluss aufgelöst haben, weiter. Thiere des Meeres und der Seen nehmen ihn auf und bauen daraus ihre Gehäuse zu Millionen. Nach ihrem Tode hinterlassen sie die Kalkschalen und neue Kalkschichten bedecken den Grund der Seen und der Meere. So wetteifern Wasser und Wärme, das Thier- und das Pflanzenleben, die Bedingungen der Schichtenbildung erfüllend. So ging es und geht es fort durch ungemessene Zeiträume. Dass aber deutliche Schichten gebildet werden, keine unförmlichen Massen, dass einzelne unterscheidbare Lagen sich absetzen, hat noch besondere Ursachen. Die Sonderung der Schichten geschieht erstens durch den Wechsel des Materials, also dadurch, dass einmal eine Lage

feineren Schlammes oder Sandes, dann wieder eine Lage von gröberem Korne sich absetzen. Schon der Wechsel der Jahreszeiten bedingt dies. In den wasserreichen Monaten wird in Folge der grösseren Strömungsgeschwindigkeit des Wassers ein gröberes Material an jene Stellen geführt, wo sich in der wasserärmeren Zeit nur feiner Schlamm absetzt, in den wärmeren Monaten sind die Absätze reicher an Pflanzen- und Thiersubstanzen als in der kälteren Zeit. Die Schichtensorderung wird ferner durch das Pausiren in der Ablagerung hervorgebracht. Nachdem eine Schichte abgesetzt worden ist und schon an Consistenz gewonnen hat, folgt eine zweite und so fort. Endlich ist daran zu erinnern, dass durch die spätere chemische Veränderung der Absätze allmälig eine deutliche Schichtensorderung hervorgerufen wird, wo sie früher nicht bestand.

Aus den sandigen und schlammigen Schichten wird im Laufe der Zeiten Stein — die wichtigste und interessanteste Arbeit in der geheimnissvollen unterirdischen Werkstatt. Der gebildete Absatz zeigt allenthalben im Inneren eine rege chemische Bewegung. Um die festen Theilchen kreisen die durchtränkenden Gewässer, indem sie beständig neue Substanz auflösen. Der kohlensaure Kalk und die Kiesel säure spielen dabei die Hauptrolle. Durch den beständigen Austausch der schwerer löslichen Stoffe, die abgesetzt werden, gegen die leichter löslichen, die in Auflösung kommen, erregt sich ein allgemeiner Wech-

sel, indem sich das Gleichartige sammelt und zwischen den Theilchen des Sandes und Schlammes winzige Krystalle bildet, welche insgesammt als dichte Stoffe die lockeren Massen mortelartig verbinden. Jetzt sind die einzelnen Theilchen des Absatzes nicht mehr so leicht zu trennen. Die Kraft, welche den Krystall zusammenhält, bindet sie an einander. Einen gleich wichtigen Einfluss hat die starke Pressung, welche die untenliegenden Schichten von den sie überlagern- den erleiden. So wie man Heu durch starken Druck zu einem festen holzartigen Körper zusammenpresst, so wie der Staub von Steinkohlen durch Druck wieder in eine feste Steinkohlenmasse verwandelt wird, so setzen sich die früher losen Anhäufungen durch ihre eigene Last allmälig zu dichteren und festeren Massen zusammen und es ist ein beständiges Pressen und Zusammenkitten, welches die Steinbildung ausmacht. Es entstehen Schiefer-, Sand- und Kalksteine, wo früher Thon, Sand, und Muschelreste gewesen. Die eingeschlossenen kohligen Pflanzen und Thierreste verändern sich dabei allmälig und geben harzige, ölige und kohlige Producte, die das Gestein färben, oder das blättrige Gefüge und glänzende Ablösungs- flächen hervorrufen. Bei gröserer Anhäufung entstehen Kohlenlager.

Indem der Schlamm und Sand zu Stein wird, zieht sich die Masse zusammen, sie zeigt allenthalben ein bedeutendes Schwinden. Es entstehen Risse und Sprünge überall, oft unmerklich bleibend, oft aber

beim Eindringen der Wässer zum Spalt, zur Ader sich erweiternd. Schon der berühmte Werner, der Gründer der deutschen Mineralogie, hat ausdrücklich auf diese höchst wichtige Erscheinung aufmerksam gemacht, indem er hinwies, dass durch diese Zerklüftungen die meisten Adern und Gänge im Gebirge entstehen, welche dann eine praktische Wichtigkeit haben, wenn sie Metallabsätze enthalten und als Erzgänge ausgebildet sind. Diese Risse und Absonderungen sind je nach der Gesteinsart verschieden. Im Kalkgebirge häufig und völlig unregelmässig, im Sandstein viel seltener und beiläufig senkrecht auf die Lagerung gestellt, im Schiefer und Mergel häufiger und nach drei Richtungen verlaufend.

Aus thonigem Schlamm gehen allmälig schiefrige Gesteine hervor, ausgezeichnet durch ihr blättriges Gefüge. Unzählige Steinblätter liegen auf einander. Zuweilen wird dies durch den Wechsel des Materials hervorgebracht und die glänzenden Ablösungen der Blätter röhren von dünnen Schichten der veränderten organischen Substanzen her. Die Hauptursachen dieses Gefüges ist aber die Lage der Theilchen in den Schiefern. Diese liegen immer mit ihren grössten Flächen einander parallel, wie beistehende Figur 1 im

Figur 1. vergrösserten Maasstabe dies  andeutet. Da schon bei der Ablagerung sich die Theilchen mit ihren Flächen auf einander legen, so ist es begreiflich, dass die Schiefer nach derselben Fläche hin

blätterig erscheinen, nach welcher sich das Material ursprünglich ablagerte.

Aber es gibt in vielen Gebirgen Schiefermassen, an denen man deutlich erkennt, nach welcher Fläche sie sich abgelagert haben, welche jedoch nach einer ganz anderen Richtung hin schiefrig erscheinen, nach einer ganz anderen Richtung spaltbar sind. In solchen Fällen unterscheidet man zwischen der Lagerung, die man aus dem Wechsel des Materiales, aus der Lage der Thier- und Pflanzenreste erkennt, und der Schieferung, die eine andere Richtung verfolgt und die man falsche Schieferung oder secundäre Schieferung nennt. In der beistehenden Figur 2, welche einen senkrechten Durchschnitt durch ein solches Schiefergebirge darstellt,

Figur 2.

geben die welligen Linien die Lagerung, die geraden die Schieferung an und man sieht, dass in einem Theile des Gebirges die Schieferung und die Lagerung gleiche Richtung verfolgen, in dem andern Theile nicht.



Die eben erwähnte Erscheinung hat schon lange die Aufmerksamkeit der Geologen auf sich gezogen. doch fand man erst dann eine Erklärung dafür, als Sorby und Tyndall durch Versuche zeigten, dass plastische Massen wie Thon oder Wachs durch starkes Pressen schiefrig werden, und dass die Blättchen, welche solchen Massen beigemengt werden, sich da-

bei senkrecht auf die Richtung des Druckes stellen. Die Schieferung der Gebirgsmassen entsteht demnach durch die Wirkung des Druckes, der bei den plastischen Körpern eine Umstellung der Theilchen verursacht. Wenn also der Druck senkrecht auf die Lagerungsflächen wirkt, so wird die Lagerung und die Schieferung dieselbe Richtung haben, das Gestein wird einfache Blätterstructur zeigen, wenn hingegen die Richtung des Druckes eine andere ist, so wird eine Schieferung entstehen, die nicht mit der Lagerung übereinstimmt, ein falsche oder secundäre Schieferung. Wenn man bei einem Gestein, das falsche Schieferung hat, die Lagerung nicht mehr erkennen kann, so ist der Beobachter dem Irrthum ausgesetzt, die Richtung der falschen Schieferung für die Lagerung zu halten.

Das Gesagte liefert ein wichtiges Beispiel für die Erscheinung, dass die Structur der Schichten im Laufe der Zeiten verändert wird.

Aus den losen Ablagerungen werden Steinschichten. Die Natur bleibt dabei nicht stehen. Wir sehen, dass im Allgemeinen die Gesteine der älteren Schichten sich in ihrem Aussehen mehr und mehr von den Sandsteinen, Schiefern und dichten Kalksteinen entfernen. Endlich finden wir nur Glimmerschiefer, Chloritschiefer, Hornblendeschiefer, Gneisse, Granite, körnige Kalksteine und Dolomite an denen alles von glänzenden Flächen glitzert, alles aus deutlich sichtbaren Krystallstücken besteht. Und doch sind auch diese Gesteine früher solche Absätze gewesen, wie die früher be-

schriebenen und wer noch daran zweifelte, den mussten die Thier- und Pflanzenreste, welche darin gefunden wurden, davon überzeugen. Erst in der letzteren Zeit hat man wieder durch Auffindung von organischen Resten (*Eozoon canadense*) in den körnigen Kalksteinen der laurentianischen Gneissablagerungen in Canada einen neuen Beweis dafür beigebracht, worüber Ihnen im vorigen Jahre Herr Prof. v. Hochstetter eine sehr interessante Mittheilung machte.

Die glitzernden krystallinischen Gesteine sind also aus Sandstein, Schiefer und dichtem Kalkstein hervorgegangen. Zur Erläuterung der Erscheinung kann ich sogleich an den erwähnten Vorgang der Steinbildung anknüpfen.

Die chemische Bewegung, die beständige Stoffwanderung, die Krystallisation, der mechanische Druck, diese Einflüsse, welche das Festwerden des Steines herbeiführten, dauern fort, daher auch ihre Folgen. Fortwährend werden schwerer auflösliche Verbindungen gebildet und abgesetzt, fortwährend arbeitet der Krystallisationsprocess. Was früher dichte Masse war und aus winzigen Krystallchen bestand, wird immer deutlicher krystallinisch und immer schärfer treten jene Mineralbildungen hervor, welche früher nur im Keime enthalten waren. Es entstehen aus den thonigen Massen allmälig Glimmer, Chlorit, Feldspath führende Gesteine, die kalkigen Bindemittel verschwinden und werden durch kieselreiche Minerale ersetzt; aus dichtem Kalkstein gehen glitzernde Marmorfelsen

oder schimmernde Dolomitmassen hervor. Dieser Umwandlungsprocess geht nicht an allen Punkten der Erde mit gleicher Geschwindigkeit vor sich, daher findet man an einzelnen Punkten wie in den Schweizer Alpen Gesteine aus jüngeren Formationen bereits im krystallinischen Zustande, während an den meisten Orten nur die Schichten der älteren Formationen in dieser Weise verändert erscheinen.

Nach der eben angeführten Anschauung sind also alle krystallinischen Schichtgesteine durch die allmälig wirkenden Umwandlungsvorgänge in ihren gegenwärtigen Zustand gekommen, während man früher glaubte, dieselben hätten heute noch ihre ursprüngliche Beschaffenheit, seien immer gleich geblieben und müssten daher unter ganz besonderen Umständen in der Urzeit gebildet worden sein.

Die allmälichen Veränderungen, welche ich eben erwähnte, können unmöglich an allen Punkten in gleicher Weise vor sich gehen, unmöglich überall das gleiche Resultat haben, schon deshalb, weil die Stoffe nicht überall dieselben sind. Diese ungleiche Vertheilung verursacht mancherlei Erscheinungen, welche gewisse Störungen im Schichtenbaue hervorrufen.

Gesteine wie Gyps und Kalkstein werden durch reines oder Kohlensäure führendes Wasser verhältnissmässig leicht aufgelöst. Wenn Wässer in grösseren Mengen mit derlei Gesteinen in Berührung kommen, so erzeugen sie durch den Auflösungsprocess Höhlungen, die bei ihrer Vergrösserung endlich einstürzen.

Es ist allbekannt, dass in Gegenden, in welchen Gyps oder Kalkstein den Untergrund bilden, Erdfälle, trichterförmige Einstürze des Bodens nicht selten sind. Wenn die auflöslichen Schichten eine grössere Ausdehnung haben und der Vorgang gleichförmiger verläuft, so sinkt der Boden in dem Maasse nach, als die Auslaugung vorschreitet. Dasselbe geschieht in Folge der allmälichen Zersetzung der kohligen Pflanzen- und Thierreste, welche wie gesagt, in den Schichten oft in bedeutender Menge enthalten sind. Es bleiben schwer zerstörbare kohlige Substanzen zurück, während die gasförmigen und ölichen Zersetzungprodukte fortwandern.

Das Volumen der Schichten nimmt ab, sie schwinden; am stärksten natürlich dort, wo grössere Anhäufungen von Pflanzenresten zu Kohlenlagern sich umbilden. Durch das Auslaugen und das Schwinden der Schichten entstehen im Laufe der Zeit ausgedehnte Einsenkungen. Viele Seen und Kesselthäler der Gebirge sind ohne Zweifel auf solche Art entstanden, und viele Ebenen und Becken verdanken gewiss nur diesen Erscheinungen ihren Ursprung. Wegen der Ungleichförmigkeit, mit welcher die Ursachen wirken, gehen auch die Senkungen nicht immer gleichförmig vor sich und es ist daher etwas Gewöhnliches, dass dabei Schichten brechen, dass die zerbrochenen Theile verschieden tief sinken und sich Schichtenverwerfungen bilden. Für den Bergbau bereitet das Resultat dieser Erscheinung bekanntlich oft Schwierigkeiten

weil es nicht immer leicht ist, die Fortsetzung eines Lagers, welches verworfen ist, aufzufinden.

Nachdem ich über die Bildung und Umwandlung über Veränderung und Senkung der Schichten gesprochen, werden Sie erwarten, dass ich der Gebirgsbildung, dass ich jener Vorgänge gedenke, durch welche die Schichten zu hohen Bergen aufgethürmt werden, die jetzt frei in die oberen kälteren Regionen des Luftmeeres emporragen und kaum mehr danach aussehen, als ob ihre Gipfel jemals unter den Wasserspiegel getaucht. Die Struktur der Gebirge erzählt uns die Geschichte ihrer Bildung.

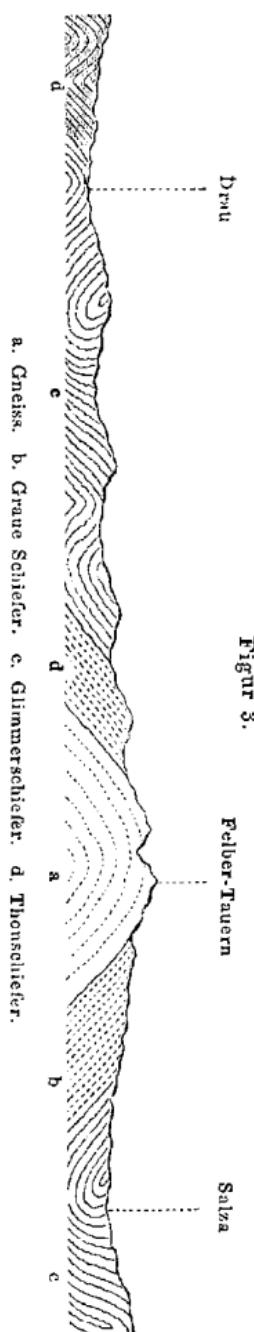
Alle bedeutenderen Gebirge zeigen in ihrem Baue die Erscheinung, dass die Schichten, aus welchen sie bestehen, sich meist in einer steilen Lage befinden, welche sie ursprünglich nicht haben konnten, weil sich in solcher Steilheit keine wässerigen Absätze bilden. Man sagt daher, die Schichten seien häufig und in verschiedenen Winkeln aufgerichtet. Nur in der Ebene und in flachen Hügeln finden sich öfters durchaus horizontale Schichten. Die Aufrichtung der Schichten ist eine Eigenthümlichkeit, sie ist das Wesen der hohen Gebirgszüge.

Wenn man nun den Bau im Ganzen und Grossen betrachtet, so ergibt sich, dass alle diese Störungen der ursprünglichen Lage einem bestimmten Gesetze folgen. Es zeigt sich nämlich, dass die Schichten der Gebirge eine Faltung in grossem Maasstabe darbieten. Wenn man mehre Lagen von Tuch bildet und das Ganze von den Seiten zusammen schiebt, dass eine

Faltung entsteht so hat man ein Bild im Kleinen davon.

Wenn man sich einen Durchschnitt durch das Gebirge denkt, so müssen der Faltung wegen die Schichten, welche im Zusammenhange auftreten, Wellenlinien zeigen. Ein Beispiel dafür bietet das nebenstehende Bildchen, welches einen Durchschnitt durch die Alpen in der Nord-Südrichtung, quer über das Drauthal, den Felbertauern und die Salza, in einer Länge von fünfzehn Meilen darstellt. Man erkennt darin die Faltung an den Krümmungen, welche die Schichtenlinien zeigen.

Wenn die Falten des Gebirges einander parallel laufen, so erblickt man in dem daranf senkrechten Durchschnitte eine ziemlich regelmässig wiederholte Krümmung der Schichten. Ist die Lage der Falten weniger gleichförmig, und kommen auch noch Verwerfungen vor, dann lässt sich das Gesetz des Schichtenbaues weniger leicht übersehen. Immer aber erkennt man zuletzt, dass die Schichtenfaltung und die Gebirgsbildung unzertrennlich, dass sie eines



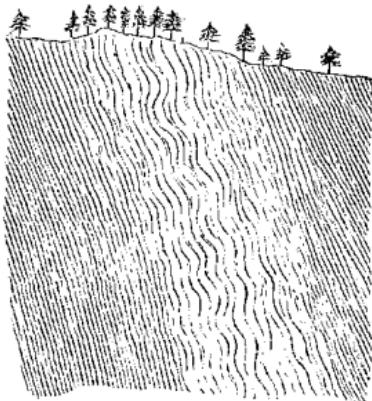
und dasselbe seien. Die Schichtenfaltung tritt nicht blos in dem grossen Maasstabe auf, dass etwa jede Falte immer meilenbreit wäre, sondern die Falten haben alle möglichen Dimensionen. Man sieht Falten, die bloss hundert Fuss oder einige Fuss, endlich solche, die bloss einen Zoll, eine Linie breit oder noch schmäler sind. Werden die Falten so schmal, dann erscheint das Gestein, welches natürlich nur ein Schiefer sein kann, fein gefältelt. Ein Schichtenc complex hat oft meilenbreite Falten, zugleich aber sind die Schichten im kleineren Maasse gefaltet und auch noch aufs Feinste gefältelt.

Die Faltung ist je nach dem Gestein verschieden. Bei den schiefrigen Gesteinen im Grossen und im Kleinen ausgezeichnet entwickelt, bei den mehr massigen Felsarten, wie Gneiss, Kalkstein, Dolomit nur im Grossen ausgebildet. Ebenso zeigt sich ein Unterschied nach dem Alter, oder besser gesagt, nach dem Grade der Umwandlung. Die Gesteine der älteren Formationen erscheinen meist stärker verändert und in dem gleichen Maasse stärker gefaltet, die Falten sind höher, die Schichten fallen steiler als bei den jüngeren und weniger veränderten Schichten.

Aus alldem ersieht man, dass die Ursache der Faltung im Gestein selbst liegt, und dieser Schluss wird durch die Beobachtung der Gesteine, wie sie neben einander vorkommen, bestätigt. Im Thonschiefergebirge treten zuweilen mitten zwischen dem Schiefer kalkhältige Schichten auf. Nur diese letzteren Schich-

ten erscheinen klein gefaltet, während die Platten des Thonschiefers eben sind. Das beistehende Bild (Fig. 4) zeigt einen solchen Fall aus dem Thonschiefer des Sudetengesenkes. Die gleiche Verschiedenheit findet man oft bei dem Nebeneinander-vorkommen von Gneiss und Glimmerschiefer. Nur dieser ist klein gefaltet, der Gneiss zeigt ebene Platten. Die Beispiele für die Faltung je nach der Altersverschiedenheit liegen sehr nahe. Die Schichten der Tertiärablagerungen im Wiener Becken zeigen keine Faltung. Der Wiener Sandstein, welcher ein höheres Alter hat, ist durchwegs gefaltet; ebenso die Kalksteine der älteren Formationen im Süden Wiens. Die noch älteren Gesteine am Semmering und in Steiermark haben die Faltung in jedem Maasstabe bis zur feinen Fältelung aufzuweisen.

Figur 4.



Wenn man die Beobachtungen über die Faltung der Schichten zusammenfasst, so wird man den nächsten Grund der Erscheinung rasch auffinden. Die Schichtenfaltung ist abhäng von der Gesteinsbeschaffenheit; sie ist aber nicht ursprünglich, sondern im Laufe der Zeit erfolgt; folglich ist sie bedingt von der in der Zeit eingetretenen Veränderung des Gesteines, die wir Umwandlung nennen. Die Ursache der Schichtenfaltung ist also die Gesteinsumwandlung.

Die Schichten, welche jetzt gefaltet erscheinen, waren ursprünglich in ebener Lage abgesetzt worden. Die Veränderung ist durch Ursachen geschehen, die im Gestein selbst ihren Sitz haben. Die kolossalen Schichtenmassen werden also emporgehoben und zu Gebirgen aufgerichtet durch Kräfte, die in ihnen selbst liegen.

Wie mag dies bewirkt werden? Ich werde nur ein einziges Beispiel anführen, um auf den Vorgang hinzuweisen. Wenn man einen Stoss Papier hennimmt, mit einem Rahmen umgibt und nun mit Wasser übergiesst, so wird das Papier nach kurzer Zeit von unten bis oben faltig geworden sein, es wird im Kleinen das Bild eines gefalteten Schichtensystems darbieten. Und die Ursache davon? Die Blätter des Papiers sind aufgequollen, sind nach Länge, Breite und Höhe gewachsen, während ihnen nur der frühere Raum in Länge und Breite gegönnt war, sie mussten Falten werfen. Ein Gleiches gilt für die Faltung der Schichten. Es muss offenbar eine Volumvermehrung der Schichten, welche Falten werfen, eingetreten sein.

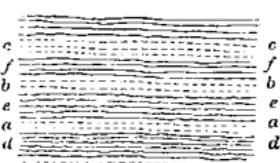
Zur Erläuterung des näheren Vorganges komme ich wieder auf die Umwandlungerscheinungen zurück. Zuvor sagte ich, dass ein beständiger Krystallisationsprocess in den Schichten vorgehe, dass die Stoffe durch die auflösende Kraft des Wassers zur Ortsveränderung angeregt, dass beständig schwerer lösliche Verbindungen gebildet werden. Die Gesteinsmasse ist durchtränkt von einer wässerigen Lösung, in welcher

das Gleiche zum Gleichartigen wandert, die anfangs winzigen Krystalle vergrössernd. Jedes kleine Krystallchen nimmt also an Volumen zu, eines drängt das andere und es vermehrt sich das Volum der ganzen Steinschichte.

Uebrigens sind die Schichten häufig porös oder von Rissen und Sprüngen durchzogen. In allen den Poren und Rissen setzen sich Krystallchen ab, vergrössern sich und treiben durch die bei der Krystallisation auftretende Kraft die Massen auseinander. Beispiele für diesen Vorgang sind vielfach bekannt. Der Mauersalpeter, welcher zwischen den Schichten des Mörtels anschiesst, treibt dieselben auf und der Mörtel kommt zum Bersten. Schwefelkiesstufen, die sich zersetzen, bilden durch das gauze Innere hindurch in den feinen Rissen kleine Krystalle von Eisensulfat. Das Volum vergrössert sich, wie dies vor Kurzem im Stuttgarter Museum beobachtet worden, wo durch das Wachsen einer solchen Stufe eine Schublade von mehr als zwanzig Pfunden gehoben wurde. Kalkspathmassen, welche in feinen Gesteinsrissen anschliessen, treiben Felsmassen auseinander und heben oft grosse Gesteinlasten allmälig empor.

Bei den Stoffwanderungen, welche das Volum der Schichten vergrössern, ist es nicht nöthig, dass die Substanz, welche in der Auflösung ist, von aussen herkomme. So zum Beispiele werden in dem Falle,

Figur 5.



als in einer geschichteten Masse die Theile *a*, *b*, *c*, (Fig. 5) aus einer leichter löslichen Verbindung bestehen, diese Theile weggeführt, während die gebildeten schwerer löslichen Substanzen sich innerhalb der Schichten *d*, *e*, *f* absetzen. Dadurch wird sich das Volum der Schichten *d*, *e*, *f* vergrössern, und sie werden sich falten müssen. Es muss also nicht etwa der ganze Schichtencplex an Volumen zunehmen, er kann sogar abnehmen und doch werden bei der Umwandlung die Schichten sich falten. Wenn aber durch die Faltung eine Gebirgserhebung eintritt, dann nimmt das Volum der ganzen Schichtemasse zu. Es muss in solchem Fall eine Aufnahme von Stoffen von aussenher erfolgen. Ohne Zweifel sind es die im Meere aufgelösten Stoffe, welche die vom Meere bedeckten Schichten umwandeln, ihre Masse vermehren. Aus den Meeren der Vorzeit erhoben sich die Gebirge.

Bei dem Wachsen der Krystalle in den Schichten kommt viel auf die Stellung und die Art ihrer Vergrösserung an. Bei den schiefrigen Gesteinen liegen von vornherein die Theilchen mit ihren grössten Flächen einander parallel und auch die bei der Umwandlung gebildeten Krystalle haben diese Stellung. Es sind zumeist Glimmer- oder Chloritblättchen oder Nadeln von Hornblende. Jedes einzelne Blättchen wächst viel stärker am Rande als in der Dicke fort. Jede Nadel wächst stärker nach der Länge als nach der Dicke. Die Schichten solcher Gesteine wachsen demzufolge sehr stark nach der Länge und Breite und

sie müssen sich daher sehr stark falten und fälteln. Daraus erklärt sich die Erscheinung, dass beim Glimmerschiefer, Chloritschiefer, Tremolithschiefer die Faltung und Fältelung so stark ausgebildet ist.

Wenn zwischen Schichten, die stark wachsen, andere, die weniger zunehmen, in geringerer Zahl eingeschaltet sind, dann werden die letzteren bei dem Vorgange auseinander gezogen, gedehnt oder zerrissen. Wenn auf Schichten, die eine Faltung erleiden, Gesteinsmassen auflagern, welche diesem Processe minder unterliegen, so wird durch die Krümmung der unterliegenden Schicht die obere häufig zerrissen und zerstört werden. Diese Erscheinung treffen wir oft in den Kalkalpen. Viele Spaltenthäler in den Kalkmassen, viele Zertrümmerungen und Verwerfungen derselben röhren von der Faltung der Sandsteine und Schiefer her, auf denen sie ruhen. Das hier im Durchschnitte dargestellte Spaltenthal im Dolomite Südtirols ist ein Beispiel dafür.

Piccolein

Figur 6.

Pellegrino



Die Schichtenfaltung, die Gebirgsbildung wird also durch die Gesteinsumwandlung hervorgerufen. Was die Schichten emporhebt und die Berge aufthürmt, ist die beständig wirkende Umwandlung. Kleine Ursachen, grosse Wirkungen! Das Wachsen der kleinen

Krystalle in den Schichten biegt die Gesteinsmasse in Falten und baut die Gebirge. Freilich wirken diese Ursachen allenthalben und durch unmessbare Zeiträume.

Die Berge wachsen also im wahren Sinne des Wortes aus dem Boden hervor, wie so oft der Volks-glaube sich ausspricht. Sie wachsen durch eigene Kraft und in letzter Instanz durch die Kraft, welche die Sonne dem Erdball spendet. Diese Anschauung von der Gebirgsbildung ist noch neu, sie ist erst in den letzten Jahren ausgebildet worden. Die Bedeutung der Schichtenfaltung war früher nicht erkannt und gewürdigt und man versuchte die Hebung der Schichtenmassen von Eruptionen eines angenommenen feurig-flüssigen Erdinnern abzuleiten. Es ist nicht nöthig, diese Ansicht, welche allenthalben gelehrt wurde und zum Theil noch gelehrt wird, hier zu entwickeln. Sie hat allmälig den Boden verloren. Die angenommenen eruptiven Massen, welche die Hebungen bewirkt haben sollten, waren fast nirgends zu finden. Die Granit-massen, welchen man einen eruptiven Charakter zugeschrieben hatte, wurden von den competenten For-schern als umgewandelte Schichtgesteine erklärt. Es zeigte sich, dass bei vulkanischen Ausbrüchen niemals derlei Hebungen vorkommen, wie man sie früher all-gemein angenommeu hatte, und es stellte sich immer mehr heraus, dass die frühere Hebungslehre manche physikalische Schwierigkeit ja Unmöglichkeit enthalte. Als die Faltung der Gebirgsmassen an mehreren Orten beobachtet wurde, erklärte man sich dieselben durch

seitlichen Druck. So wie der Tuchballen durch seitliches Zusammenschieben sich faltet, so seien die Schichtgesteine durch eruptive Massen zusammenge-
schoben worden. Als man nicht erklären konnte, wie flüssige Massen einen so ungeheuren Seitendruck zu üben vermögen, und als die eruptiven Massen nicht gefunden wurden, dachte man an ein Zusammenrutschen der Schichten, doch die Allgemeinheit der Erscheinungen spottete aller dieser Erklärungsversuche. Als nun Bischof auftrat und zeigte, dass nur die Berücksichtigung der in den Schichten vorgehenden chemischen und physikalischen Processe zu einer Erklärung der geologischen Erscheinungen führen könne, entstand eine neue Methode der Forschung auf dem Gebiete. Die Thatsache der allgemeinen und beständig wirkenden Umwandlung wurde durch eine Unzahl von Beobachtungen erwiesen. Die Gebirgsbildung aus diesen Ursachen zu erklären, gelang indess Bischof nicht, da ihm die Voraussetzung der Schichtenfaltung fehlte. Das Verdienst, in consequenter Weise die Hebung der Schichten, den Bau der Gebirge erklärt zu haben, gebührt Volger, der die Aufgabe löste, jetzt schon eine zusammenhängende Grundlage für die Entwicklungsgeschichte der Erde zu schaffen.

Nachdem ich den Aufbau der Schichten, den Vorgang der Steinwerdung, die Bildung der Gebirgszüge besprochen, muss ich wohl erinnern, dass ich hier die vulkanischen Bildungen, welche durch emporsteigende flüssige Massen aus der Tiefe und durch Auswürfe

von Schlacken, Staub und Schlamm entstehen, hier nicht berühre, da sie als Gangmassen nur geringe Unterbrechungen des Schichtenbaues hervorrufen und weil sie als schichtenförmige Ablagerungen dieselbe Rolle spielen, denselben Veränderungen unterliegen wie die Wasserbildungen.

Es bleibt mir nur noch übrig, dem Gegensatze der Schichtenbildung, der Zerstörung der Schichten einige Worte zu widmen.

Wo die Schichten den Einflüssen der Luft und des Wassers ausgesetzt sind, dort unterliegen sie einem fortwährenden Verwitterungs- und Zertrümmerungsprocess. Die Berggipfel erniedrigen sich beständig, die Wasserläufe schneiden tiefe Rinnen in die Schichten und höhlen breite Thäler aus. Man bezeichnet diese Vorgänge als Erosionserscheinungen. Im Laufe grosser Zeiträume werden durch diese Gewalten mächtige Gebirgszüge bis zu unscheinbaren Hügeln erniedrigt. Die mannigfaltige und wechselnde Gestalt der Erdoberfläche röhrt hauptsächlich von diesen Wirkungen her, welche die Masse des festen Gesteines fortwährend vermindern, Unterbrechungen und Aenderungen im Schichtenbaue hervorrufen, so dass man oft nur mit Mühe den ursprünglichen Zusammenhang erkennt. Beispiele für die Erosion haben wir allenthalben in der Nähe. Das Donaubett, welches zwischen dem Leopoldsberge und dem Bisamberge ferner zwischen dem Leithagebirge und den kleinen Karpathen ausgehölt ist, die Thäler in dem Sandstein- und Schiefergebirge, die meisten Thäler

im Kalkgebirge der Umgebung, die Erniedrigung der Schiefer- und Gneissberge im Leithagebirge und in der Gegend von Krems, die ehemals eine bedeutende Höhe hatten, sind Folgen der Erosion.

Die Erosion verhindert, dass die Berge in den Himmel wachsen. Sie bietet den unterirdischen Kräften, welche die Berge emporheben, das Gegengewicht indem sie deren Werk wieder zu zerstören bemüht ist. Zugleich schafft sie immer wieder neues Material zur Bildung der Schichten, der Berge. Sie führt beständig ungheure Massen von zertrümmertem und aufgelöstem Gestein herab zu Thal, zur Ebene, zum Meere. — Sie sehen meine Herren, wir sind wieder zum Anfange zurückgekehrt, zur Bildung der Schichten.

Es ist eben der beständige Kreislauf der Stoffe, der die Schichten baut, fügt, verändert, biegt und zu Gebirgen emporhebt um sie wieder zu zerstören. Nur in diesem Kreislaufe begreifen wir den Bau der Erdrinde nur in der ewigen Zerstörung und Verjüngung erkennen wir das Wesen der Entwicklung unserer Erde.

Der ewige Wechsel wird geregelt durch ewige Gesetze, die Naturnothwendigkeit, welche den Aufbau des Krystals und seine Auflösung beherrscht, bedingt auch den Bau und die Veränderung des Erdkörpers und darum hat dieser seine eigene Entwicklung, seine bestimmten Gesetze der Gestaltung.