

# Separatabdruck

aus der

**Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins.**

---

Jahrgang 1899 — Band XXX.

---

# Gebirgshebung und Thalbildung.

Von  
*E. Richter.*

---

Steht man auf einem beherrschenden Punkte unserer Centralalpen, so übersieht man ein »Meer von Gipfeln«. Der Ausdruck ist abgebraucht, ausserdem ist das Bild sehr gewagt, aber trotzdem ist die Wendung zutreffend. Eine Ähnlichkeit mit dem vom Winde stark erregten Meer ist thatsächlich vorhanden. Die Neigungswinkel der Spitzen und Gehänge sind von derselben Grössenordnung, wie die der Wasserwellen; hier wie dort ist eine einseitige Steilheit häufig, und die Steilhänge sind meist nach derselben Seite gerichtet. Die Gesteinswellen wie die Wasserwellen sind unter einander ziemlich gleich hoch und die Horizontlinie ist daher hier wie dort nur wenig durch einzelne höher aufstrebende Zacken und Kämmen unterbrochen. Die »Bergriesen« können die einfache Contour der Erdoberfläche nur wenig stören; ebensowenig als die »haushohen Wellen« die der Meeresoberfläche.

Die verhältnissmässige Ebenheit und Gleichmässigkeit des Horizontes bei weiten und hohen Bergaussichten ist einer ihrer auffallendsten Züge. Man betrachte z. B. einmal das Montblanc-Panorama von Imfeld. (Jahrb. S. A. C., XXX.) Das ganze Alpensystem erscheint nur als das, was es ist: als eine unscheinbare Anschwellung der Erdoberfläche.

Versucht man, die Aussicht von einem der Gipfel unserer Centralalpen östlich vom Brenner (Zillerthaler Alpen und Tauern) in ihre grossen Züge aufzulösen, so fällt am meisten der steile Innenrand der nördlichen und südlichen Kalkalpen auf. Im Norden und im Süden ist der Horizont, soweit das Auge reicht, von einem durch lichte Farbe und mauerartigen Aufbau gekennzeichneten Felswall begrenzt. Der nördliche Wall ist geschlossener; der südliche zerrissener, aber höher. Zwischen diesen beiden Grenzmauern, die 75—115 km von einander entfernt sind,<sup>1)</sup> liegt die Gebirgsmasse, auf der wir selbst stehen. Was wir von ihr sehen, sind zunächst fast nur Gebirgskämme; eine grosse Anzahl von Kämmen, unter denen eine gemeinsame Richtung eigentlich nur mühsam herauszufinden ist. Zumeist scheinen sie einen ungefähr nord-südlichen Verlauf einzuhalten; besonders in der Venediger-Aussicht fällt dies auf, wenn man sich nach Norden, dann nach Nordwesten und Nordosten wendet. Vor allem drängt sich aber der Eindruck hervor, dass die Ketten und Kämmen coulissenartig hintereinander stehen und übereinander aufragen.

Alle diese Kämmen sind, wie schon erwähnt, fast gleich hoch. Zwischen ihnen laufen Thäler, die man zwar wahrnimmt, insofern als jede fernere Kette durch die Ab-

<sup>1)</sup> 1. Peitlerkofel-Bettelwurfspitze 78 km; 2. Haunold-Ackerlspitze 95 km; 3. Hochstadel-Breithorn 75 km; 4. Mangart-Dachstein 115 km.

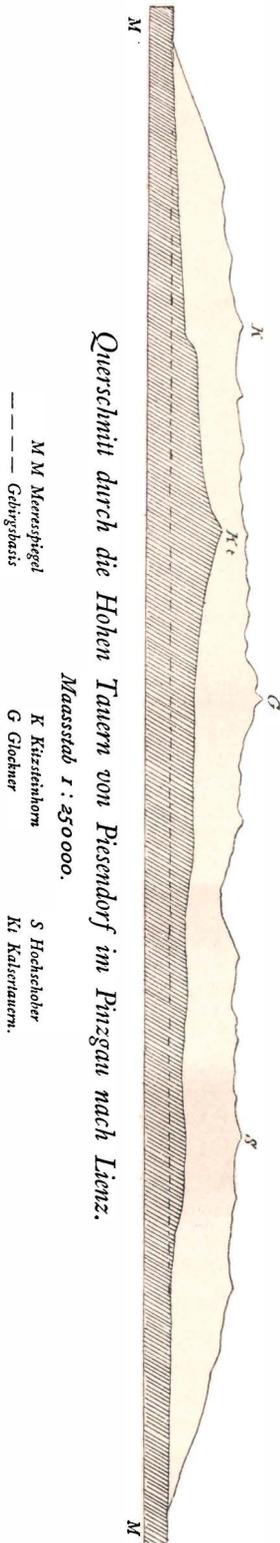
stufungen des Lufttones von der vorderen getrennt ist, in deren Tiefe man aber nur ausnahmsweise Einblick hat. In der Nähe sieht man die Einzelformen der Gehänge; man bemerkt, wie die Kare reihenweise an den Graten nebeneinander liegen, man sieht die dazwischen hinaufziehenden schmalen Felsgrate, die wie Zäune die Abschnitte trennen, man sieht hie und da einen Hochsee in einem Kare glänzen und bemerkt den Wasserfall, der wie ein weisser Faden bewegungslos in der Schlucht zu hängen scheint. Man sieht die kleinen Gletscher in den Karen; dünne Kuchen eines weissen Breies, dessen Flüssigkeits-Structur man genau erkennt; er schmiegt sich an seine Unterlage, umfließt Vorsprünge; die Spaltensysteme zeigen die Richtung des Fließens und dessen Hemmungen; man sieht die feinen grauen Ringwälle, die die zurückgewichenen Eiszungen umgrenzen, man bemerkt, wie weit der neue Schnee nach abwärts reicht, und wo das graue Eis zu Tage tritt; man sieht die Mittelmoränen in der Fortsetzung der Felsporne hervortreten und beobachtet, wie dort, wo ein Felskopf die Gletscherfläche unterbricht, die Grundmoräne vom Gletscher über den Fels hinweg ausgeworfen wird und die untere weisse Fläche schwärzt. In der Ferne verschwimmen die Einzelheiten; immer blauer werden die hintereinander auftauchenden Coulissen, nur der Schnee hebt sich noch heraus; ein fein gezackter blauer Streifen schliesst den Gesichtskreis.

Als was haben wir dieses Wirrniss von Bergen aufzufassen? Sind diese Kämme jeder für sich ein Ergebniss einer gewissen gebirgsbildenden Kraft? Noch in Sonklar's bekanntem Buch über die Hohen Tauern ist eine Karte der »Hebungen im Tauerngebiet« enthalten. Darin sind die beiläufigen Streichrichtungen der Kämme als gerade Linien dargestellt; nach diesen Linien, die theils aufeinander senkrecht stehen, theils parallel laufen, sich aber auch in allen möglichen Winkeln schneiden, dachte man sich die einzelnen Gebirgskörper, wie sie zwischen den Thälern dastehen, gehoben.

Von diesem Vorstellungskreise ist man gänzlich abgekommen. Niemand zweifelt gegenwärtig daran, dass die Gebirgskämme nichts anderes sind, als die Reste einer einstigen grossen, zusammenhängenden Gebirgsmasse, aus der eine Anzahl prismatischer Körper, welche den jetzigen Thälern entsprechen, herausgenommen worden sind. Durch die Ausgrabung der Thäler und Entfernung des Materiales, das diesen tiefen, keilförmigen Furchen entspricht, ist die ursprüngliche einheitliche Gebirgsmasse in eine Anzahl selbstständiger Gebirgskämme aufgelöst worden, die nur durch einen gemeinsamen Sockel verbunden sind. Denkt man sich diese ursprüngliche Gebirgsmasse durch Ausfüllung aller Thäler bis zur Gipfelhöhe wieder hergestellt, so erhält man das Bild eines flachgewölbten Schildes, einer weitgedehnten, aber niedrigen Beule der Erdoberfläche. Die mittlere Höhe des Schildes wird weniger als 3000 *m* betragen, denn nur vereinzelte Gipfel erreichen in den Tauern 3400 *m* Höhe und mehr. Da die umgrenzenden Thäler zwischen 500 und 1000 *m* hoch liegen, so kann die mittlere relative Erhebung der ganzen Masse nicht viel über 2000 *m* betragen. Im Verhältniss dazu ist die Breitenausdehnung sehr gross. Vom oberen Salzachthal bis Lienz misst man 52 *km*. Das ist eine der schmalsten Stellen des Gebirges, und trotzdem ist es hier ungefähr 20 mal so breit als hoch; ja selbst wenn man über den Gipfel des Glockners misst, ist es noch 17 mal breiter als hoch. Rechnet man aber die Entfernung Mangart-Dachstein, so ist es mehr als 50 mal so breit, als es hoch ist. (Siehe das Profil auf Seite 20.)

Es ist also ein sehr flacher Schild, zu dem die Erdoberfläche in den östlichen Centralalpen aufgebogen ist. Es liegt etwas schwer Vorstellbares in dem Vorgang einer Aufbiegung der Erdoberfläche; doch wird das Fassen dieser Vorstellung wesentlich erleichtert, wenn man sich nicht eine kurze, steile Welle, sondern nur eine flache Aufwölbung zu denken hat.

Die Hauptmasse unseres Gebirges besteht aus sogenannten krystallinischen Schiefen. Diese sind aller Wahrscheinlichkeit nach ursprünglich nichts anderes gewesen, als Meeres-



sedimente; das heisst Sande, Thone und Mergel, wie sie sich noch heute am Grunde der Meere bilden, stellenweise gemengt mit vulcanischen Auswurfsmassen. Diese Sedimente haben aber ihren ursprünglichen Charakter verändert und krystallinische Structur angenommen. Über das Einzelne dieses Vorganges sehen wir noch nicht klar; die Thatsache steht aber fest, dass ältere Sedimentgesteine, die sich in nichts von den noch heute überall vorkommenden oder noch in Bildung begriffenen jungen Ablagerungen unterschieden, im Verlauf langer Zeiträume solche Veränderungen durchmachen können und durchgemacht haben. In diese alten Schiefer sind nun von unten her, aus dem Innern der Erde, feuerflüssige Massen eingepresst worden, die erstarrten, bevor sie ans Tageslicht kamen. Sie behielten die Schiefer als Dach über sich, und haben sie nur durch die von ihnen ausgehende Wärme und durch einzelne in sie hineingepresste Schmitzen der flüssigen Masse verändert und sich ähnlich gemacht, so dass der einst flüssige Kern und seine Hülle nicht überall leicht zu scheiden sind. Der nun längst erstarrte Kern ist jener weissliche, schwarzgesprenkelte Granit, der z. B. in der Umgegend des Venedigers, des Hochgalls, am Seebichelhause nächst dem Sonnblick, am Kalsertauern und an anderen Orten sichtbar ist und durch die Härte und Massigkeit seiner würfelförmigen oder rhomboedrischen Trümmer sowie durch seine lichte Farbe auffällt.

Ob diese Einpressung des Granites, den man früher gewöhnlich Centralgneis genannt hat, mit der Aufwölbung des Schiefers zu einem Gebirge etwas zu thun hat, oder ob diese Aufwölbung nicht erst viel später erfolgt ist, als der Granit längst erstarrt war, ist zweifelhaft; doch nimmt man in der Regel den zweiten Fall an.

Sicher war die Aufwölbung der Erdscholle, von der hier die Rede ist, nicht eine einfache Aufbiegung, wie man etwa eine Blechplatte durch seitlichen Druck aufbiegen kann, sondern vielmehr ein Zusammenschub, bei dem zahllose Trennungen der Masse, Überschiebungen, Faltungen und Aufpressungen stattgefunden haben. Es ist schwer, für solche Vorgänge ein Bild aufzufinden. Man hat die Entstehung der Gebirgsfalten mit dem Zusammenschieben eines über einen Tisch gebreiteten Tuches verglichen. Bei der grossen Rolle, welche Brüche und Überschiebungen bei jenen Vorgängen gespielt haben, gewährt das Tuch, das seinen Zusammenhang ungestört behält, ein unvollständiges Bild. Vielleicht ist folgendes Beispiel treffender

Man denke sich auf dem Fussboden viele Stösse ungebundener Bücher von sehr verschiedenem Format, verschiedener Dicke und Steifigkeit des Papiers nebeneinander aufgestapelt, und dann diese Büchermasse in ganz rücksichtsloser Weise zusammengeschoben, so dass die einzelnen Bücher übereinander weggedrückt, zerknickt und verbogen werden. Je nach Grösse, Steifigkeit und momentaner Lage werden

sich die einzelnen Bände sehr verschieden verhalten. Da aber der innere Zusammenhang der Gesteine gegenüber der Schwerkraft viel geringer ist, so ist die Entstehung von Hohlräumen von irgend beträchtlicher Ausdehnung, an denen es im Bücherhaufen nicht fehlen würde, in dem sich bewegenden und allmählig aufthürmenden Gesteinshaufen völlig ausgeschlossen. Er war und blieb immer eine compacte Gebirgsmasse; umso mehr, als die inneren Verschiebungen und damit die ganze Aufthürmung mit äusserster Langsamkeit vor sich gieng. In jedem einzelnen Augenblick schien wohl alles völlig zur Ruhe gekommen und unbeweglich, und erst im Lauf der Jahrtausende summirten sich die einzeln unmerklichen Verschiebungen.

So stieg also die Gebirgsmasse langsam in die Höhe. Aber mit der Wirkung begann sofort die Gegenwirkung. Wenn in jenen fernen Zeiten ebenso wie heute der Kreislauf des Wassers sich in der Atmosphäre vollzog, woran nicht zu zweifeln ist, da ja Thiere und Pflanzen vorhanden waren, so musste der erste Hügel, der sich erhob, schon seine Wasserrinnen und Thälchen erhalten. Denn das Regenwasser musste ablaufen, und das ablaufende Wasser musste sich seinen Graben ausfurchen.

Die Thäler sind also so alt, wie das Gebirge selbst; die Thalbildung begann im selben Augenblick, als die Gebirgsbildung. Es wäre nur eine Ausnahme denkbar: wenn nämlich die Hebung des Gebirges in einer regenlosen Region vor sich gieng. Für die Alpen ist eine solche Annahme ausgeschlossen. Denn in jenen Zeiten, die hier in Betracht kommen, waren die nächsten Umgebungen des Gebirges zumeist mit Wasser bedeckt; so beide Alpenvorländer im Norden und im Süden, das ungarische Becken u. s. w.; das Klima von Europa kann nicht trockener gewesen sein als jetzt.

Die Thalbildung hat aber mit der Gebirgshebung nicht völlig gleichen Schritt gehalten. Die Hebung ist dem Einschneiden der Thäler vorausgekommen. Denn die Alpenthäler sind noch nicht fertig. Sie haben noch Stufen und Wasserfälle, und die oberen Thalstufen liegen sehr hoch. Das alpine Thalsystem ist noch nicht am Ende seiner Entwicklung angelangt. Wie ganz fertige Thäler aussehen, kann man im Böhmerwalde oder in den Hügelländern Niederbayerns, der mittleren Schweiz oder Oststeiermarks beobachten. Solche Thäler sind im Verhältniss zu den Wasserläufen, die in ihnen dahinströmen, breit, das Gefälle ist gering, Stufen und Wasserfälle sind nicht vorhanden. Bis in den Alpen dieser Zustand erreicht ist, müssen noch viele Jahrtausende vergehen.

Wenn man das Thalsystem der Tauern z. B. auf einer Karte kleineren Maassstabes überblickt, wird man finden, dass es fast rein hydrographisch angeordnet ist. Das heisst es ist so beschaffen, wie sich das Netz der Wasserläufe auf einer Bodenschwelle von solcher Form, wie die Tauern sie haben, anordnen müsste, wenn das Material von gleichmässiger Widerstandskraft ist und die Ausbildung der Wasserfurchen durch keinerlei Unebenheiten der Oberfläche beeinflusst wurde.

Denkt man sich eine Bodenschwelle von länglicher Form und dachförmiger Erhebung, die grössten Höhen längs der Mittellinie liegend, so müssen als Ablauffurchen des Wassers parallele Thäler entstehen, wie wir sie auf der Nordseite der Hohen Tauern vor uns sehen. Die dazwischen stehen bleibenden Gebirgskämme werden fiederförmige Anordnung aufweisen. Auf der Südseite der Tauern ist die Lage der Thäler nicht so einfach, einzelne Längsthäler stören den Parallelismus der Quertäler. Die Entstehung dieser Längsthäler wird auf das Vorhandensein etwas weicherer Gesteinsfolgen zurückgeführt, die beim Zusammenschub des Gebirges an diese Orte gebracht wurden und es dem Gewässer leichter machten als anderswo, sich gerade hier eine Furche einzugraben.

Man könnte sich also wohl denken, die Gebirgsschwelle der Tauern ist aufgewölbt worden, so wie wir sie jetzt vor uns haben, die Thäler sind die ersten Regenfurchen, die sich mit der Zeit immer tiefer und tiefer eingegraben haben; die Kämme sind die

Reste, die dazwischen stehen geblieben sind. Doch kann die Sache nicht so einfach gewesen sein. Es sind zweierlei Arten von Störungen zu beachten.

Die erste besteht darin, dass die Zahl der Thäler in einem niedrigen Gebirge eine viel grössere ist als in einem hohen. Der Raum, den ein Thal sammt seinen Gehängen — vom Grate des einen begleitenden Gebirgskammes bis zum anderen gerechnet — der Breite nach einnimmt, hängt in erster Linie von seiner relativen Tiefe ab. Und zwar ist deshalb die Tiefe das Bestimmende, weil der zweite Faktor, nämlich die Steilheit des Gehänges, im Allgemeinen wenig Verschiedenheiten aufweist. Die Neigungswinkel der Gehänge sind in allen Thälern der Centralalpen sehr ähnlich, sie schwanken nur um wenige Grade; im Zillertale sind sie etwas steiler, in den östlichen Tauern etwas geringer; aber die Unterschiede sind nicht bedeutend. Nun ist bei gleichen Neigungswinkeln ein Thal, das zweimal so tief ist als ein anderes, von Grat zu Grat gemessen, auch zweimal so breit. Je mehr sich also die Thäler vertieften, für eine desto geringere Zahl von ihnen war Raum vorhanden. Denken wir uns die Tauernschwelle anstatt 2000 — 3000 *m* nur 400 — 600 *m* über ihre Umgebung erhoben, so könnten die Thäler nur ein Fünftel so tief eingeschnitten sein, als gegenwärtig. Waren die Neigungswinkel ähnlich wie jetzt, so hatten also auch fünfmal so viel Thäler nebeneinander Platz wie jetzt, und es waren ihrer gewiss auch so viele vorhanden, als Raum fanden. Wenn man Gruppen verschiedener Höhe auf die Thaldichte hin vergleicht, so wird man überall diese Abhängigkeit von der Thaltiefe wahrnehmen. Eine Einschränkung tritt allerdings in der Weise ein, dass Mittelgebirgs- und Hügellandsthäler geringere Gehängewinkel haben als Hochgebirgsthäler, weshalb die Thäler dort verhältnissmässig mehr Raum beanspruchen. Das kann aber den Satz im Allgemeinen nicht aufheben. In den Hügellandschaften liegen die Thäler einander viel näher, und wenn die Sohlen auch breiter und die Kämme durch gerundete Rücken ersetzt sind, so ist doch auf demselben Flächeninhalt die Zahl der Thäler viel grösser als im Hochgebirge.

Wie hat man sich aber nun den Vorgang dieser Thalverminderung zu denken, wenn durch allmähliche Weiterhebung der Bodenschwelle die Thäler sich immer mehr eintiefen? Die Eintiefung wird im Allgemeinen stärker sein, je grösser die Wassermenge eines Gerinnes ist. Wenn durch fortgesetzte Hebung das Flussgefälle verstärkt wird, so werden die stärkeren und längeren Gerinne sich rascher tiefer legen als die kürzeren und schwächeren. Das tiefer liegende Thal verschiebt aber die Gehänge zu seinen Gunsten nach rückwärts und seitwärts; die ihm tributären Seitenverzweigungen werden erobernd in das Gebiet der noch höher gelegenen Nachbarfurchen eingreifen und sie schliesslich seitlich anzapfen. Damit ist diesen Nachbarthälern das Todesurtheil gesprochen. Sie werden nicht mehr der Länge nach vertieft, sondern querüber durchfurcht und bei weiterer Hebung nur als Leisten oder Längskerben am Hang des siegreichen Hauptthales kennbar bleiben und endlich ganz verschwinden.

Ich habe schon in den »Gletschern der Ostalpen« auf eines der wenigen deutlich erhaltenen Beispiele solcher Vorgänge hingewiesen. Das Kaprunerthal hat ein westliches Parallelthal, das nur mehr in Fragmenten erhalten ist. Dieses Thal entspringt am Schmiedinger Gletscher, und endigt bei Wüstelau; es ist von drei Seitenbächen des Kaprunerthales quer durchschnitten; sein rechtes Gehänge, das vom Kitzsteinhorn seinen Ursprung nahm, existiert nur mehr in einzelnen Felsköpfen (Gaisstein 2230 *m*, Hohes Kampeck, 1857 *m*); der alte Thalboden liegt ungefähr 1000 *m* höher als der des benachbarten siegreichen Hauptthales.

Bei einem Gebirge von der Höhe der Tauern ist also auf keinen Fall das jetzt bestehende Thalnetz eine directe und unveränderte Fortsetzung des ersten und ursprünglichen Thalsystems, das sich bildete, als die Hebung begann. Wie beim Waldwuchs eine Auslese unter den ursprünglich eingesetzten oder von selbst aufgegangenen Pflänzchen stattgefunden hat, so dass aus hunderten gleich alter und gleich starker Pflanzen nur

eine zum Baume heranwuchs, während die anderen zu Grunde gehen mussten — eine Auslese, die eigentlich so lange fort dauert, bis die Bäume ihre normale und mögliche Grösse erreicht haben —, so haben auch von den Thälern der ersten Anlage nur wenige sich behauptet und die anderen unterdrückt. So ist die Zahl der Thäler immer entsprechend der relativen Höhe des Gebirges, und vermindert sich, je mehr diese steigt. Es muss ja eine Berggruppe, wie etwa Nanda Devi oder Kindjindjanga eine grössere Basis haben, als unsere 3000—3400 m hohen Tauerngipfel, da der Neigungswinkel der Gehänge nicht im selben Maasse zunehmen kann, als die Höhe, wenn er auch im Himalaja grösser ist als in den Tauern, wie uns die Photographien lehren.

Aber damit sind die wahrscheinlichen und möglichen Veränderungen in der Anlage des Thalsystems noch nicht erschöpft.

Bei unserer Aussicht hat uns die Gleichmässigkeit der Gipfelhöhen in Erstaunen gesetzt. Wenn man sich die Gipfelpunkte der Hohen Tauern durch eine aufgelegte Ebene über die Thäler hinweg verbunden denkt (was man ja an einem Relief leicht praktisch versuchen könnte), so wird diese Ebene verhältnissmässig wenig durch Gruben und Höcker gegliedert sein, sondern eine ziemlich sanfte Aufwölbung von grosser Breite, geringer Höhe und ruhiger Oberfläche darstellen, wie schon früher erwähnt wurde. Es fragt sich nun: haben wir in dieser Ebene thatsächlich die alte Oberfläche des gehobenen Gebirgskörpers vor uns? Oder anders ausgedrückt: reichen die jetzigen Gipfel noch bis an diese Oberfläche heran? Sind nur die Thäler ausgetieft und ihr Inhalt entfernt worden, oder ist auch von den Gipfeln schon eine beträchtliche Gesteinschicht weggenommen worden? Wäre das Gebirge viel höher, als es jetzt ist, wenn noch Theile der ältesten Oberfläche erhalten wären?

Die Antwort kann nur lauten, dass von der alten Oberfläche nichts mehr vorhanden ist, und aller Wahrscheinlichkeit nach auch die höchsten Gipfel nicht im entferntesten mehr an die alte Oberfläche heranreichen. Schätzungen über die Höhe des Abtrages sind gemacht worden; sie sind aber unsicher und werden leicht phantastisch.

Es kommt hier vor Allem die Frage in Betracht: Waren die Centralalpen mit einer Kalkdecke überlagert, oder nicht? Manches spricht dafür. Viele Geologen sind geneigt anzunehmen, eine Kalkdecke habe sich von den nördlichen bis zu den südlichen Kalkalpen über die Centralalpen hinüber gespannt, und die jetzigen Innenränder dieser beiden Gebirgszüge, die uns von unserem Aussichtspunkt aufgefallen sind, seien nur »Denudationsstufen«, d. h. soweit sei eben die Kalkdecke nach Norden und Süden zurückgewittert. Thatsächlich liegen in einzelnen Gegenden der Centralalpen Kalkreste, die durch Versteinerungen als altersgleich mit den Kalkalpen erwiesen sind; so die Tribulaungruppe am Brenner, die Berge westlich vom Radstädter Tauern u. e. a. Diese Kalke liegen theils als Schollen in schwebender Lagerung den Urgesteinen auf; theils sind sie in die Falten derselben mit eingeklemmt. Es hat also sicherlich stellenweise eine Kalkdecke auf den Centralalpen gelegen, und vieles mag da gewesen sein, wovon man gegenwärtig keine Spur mehr wahrnimmt. Doch spricht auch einiges dafür, diese Decke nicht als allzu mächtig und als ganz ununterbrochen zu vermuthen. In der Schweiz, wo eine Decke von Kalken des Jura und der Kreide und noch jüngeren Gesteinen mit den Schiefen und Graniten des Grundgebirges zusammengefaltet worden ist, spielen diese Kalke eine viel grössere Rolle, als in den östlichen Centralalpen; man trifft sie nicht als vereinzelte, sondern als regelmässige Vorkommnisse, und bei genauer Durchforschung in steigender Menge. Sind aber die ostalpinen Kalke, da sie meist nicht mitgefaltet wurden, als Deckenschollen zu denken, so wäre bei einer bedeutenden Mächtigkeit ihre gänzliche Entfernung doch schwer vorstellbar. Und zwar aus dem Grunde, weil durchlässige Kalkplatten der Entfernung durch Wasserwirkung einen ausserordentlich zähen und erfolgreichen Widerstand entgegensetzen. Auf Kalkplatten kann sich kein Thalsystem entwickeln; das sehen wir im Karst und überall

da, wo in den nördlichen und südlichen Kalkalpen Plateaus auftreten. Das Wasser versinkt in die Tiefen, tritt am Fusse der Plateauberge aus, und die stärkste und wirksamste Waffe der Gebirgszerstörung ist damit lahmgelegt. Selbst wenn man sich vorstellt, die Kalkschichten wären ihrerseits von anderen Gesteinen überlagert gewesen, die die Entwicklung eines regelmässigen Thalsystems gestattet, so musste dieses erlöschen, sobald die Kalkdecke erreicht war, denn in ihr versanken die vorhandenen Wasserläufe. Kalkplatten in schwebender Lagerung bilden sich zu Tafelbergen aus; diese beeinflussen aber wieder ringum die Ausbildung des Thalnetzes, da sie als Inseln daraus hervorragen. Auf jeder hydrographischen Karte erkennt man die Lage des Dachsteingebirges und ähnlicher Kalkstöcke als weissen Fleck. Insofern spricht also die Regelmässigkeit des Thalnetzes der östlichen Centralalpen dagegen, der einstigen Kalkdecke eine allzu grosse Rolle in der Bildungsgeschichte des Gebirges zuzuweisen.

Eine sichere Lösung dieser wichtigen Frage könnte sich wohl am ehesten aus einer genauen Untersuchung der die Centralalpen und Kalkalpen trennenden Längsthäler ergeben, wodurch die Wesenheit des mehrbesprochenen Innenrandes der Kalkalpen klar gestellt würde.

Sei das nun wie immer, sicherlich ist eine grosse Menge Material auch oberhalb der jetzigen Gipfel hinweggeräumt worden. War also das Gebirge einstens höher; haben wir das Recht, uns die Tauern in irgend einer fernen Zeit wie den Himalaja oder den Kaukasus oder doch wie die Peninischen Alpen zu denken? Eine solche Annahme würde voraussetzen, die Hebung des Gebirges sei der Austiefung der Thäler und Abtragung der Gipfel weit vorausgeeilt, dann aber zum Stillstand gekommen, und jetzt wirkten seit längerer Zeit nur mehr die zerstörenden Kräfte, die das Gebirge auf seine jetzige Höhe herabgebracht haben und noch weiter herabbringen werden. Man kann sich den Vorgang aber auch anders denken, und annehmen, die Hebung des Gebirges sei nie unterbrochen worden, sondern dauere noch immer fort. Das Tempo dieser Hebung sei aber ein solches, dass sich Hebung und Zerstörung gerade in dem jetzigen Gipfel-Niveau das Gleichgewicht halten. Die Wirksamkeit der zerstörenden Kräfte nimmt nämlich von unten nach oben zu; in der Hochregion wirken Frost und grelle Temperaturwechsel viel mächtiger, als in der Tiefe. Die Gebirgszerstörung nimmt von unten nach oben nicht gleichmässig zu; an der Grenze der geschlossenen Vegetation erfolgt ein gewaltiger Sprung, hier kann die Zertrümmerung des Gesteins plötzlich viel wirksamer werden. Es scheint nicht ganz sicher, ob von der Firngrenze aufwärts die Zerstörungs-Intensität noch weiter steigt. Manche Gründe sprechen dagegen. Die häufigen Schwankungen um den Nullpunkt sind das wirksamste Zersplitterungsmittel der Felsen; in einer gewissen Höhe steigt aber die Temperatur wohl niemals mehr über den Nullpunkt, und der Zustand permanenten Frostes und immerwährender Verhüllung durch Schnee ist wahrscheinlich auch für die Felsen ein Conservierungsmittel.

Trotzdem ist die Erhaltung der höheren und höchsten Partien doch abhängig von dem Zeitmaass, in dem die Zerstörung dort vor sich geht, wo sie am mächtigsten wirkt. Denn kein Gestein hält eine Unterschneidung aus. Es wird in der Höhenzone der Maximalzerstörung das Gefälle der Gehänge sich vermindern, indem hier mehr Material zersplittert und abgeführt wird als weiter unten, und es kann oberhalb jener Zone wieder eine Verstärkung der Steilheit sich bemerkbar machen. Denn ein Berg muss die für das betreffende Gestein grösstmögliche Steilheit erreichen, wenn an einer tieferen Stelle des Gehänges mehr erodiert wird, als an einer höheren. Dass viele von den grössten Alpengipfeln so ausgedehnte Hangstellen mit Maximalsteilheit besitzen, scheint für die Richtigkeit jener Erwägung zu sprechen (Montblanc gegen Nordosten und Südwesten; Monte Rosa gegen Osten; Matterhorn).

Sicher ist Folgendes: Wenn bei einem über die Vegetationsgrenze in die Zone stärkster Zerstörung: in das »Denudationsniveau der Schneegrenze« hinauf reichenden

Rieserfernergruppe

Daberspitze

Röthspitze

Simonyspitzen

Dreiherrnspitze

Maurerkeesköpfe

Birnlücke

Reichenspitzen-Gruppe

Sonntagskopf

Schlierspitze



Nach einer Photographie von V. Sella.

Gr. Happ

Gr. Geiger

Obersulzbachthörl

Krimmlerthörl

Angerer & Göschl aut., Bruckmann impr.  
Obersulzbachthal

C. Angerer & Göschl ph.

*Aussicht vom Gr. Venediger gegen Westen.*

Berge die Hebung vollkommen zum Stillstand gekommen ist, wird er in verhältnissmässig kurzer Zeit bis zur Vegetationsgrenze demolirt sein. Es ist aber auch eine Hebungsgeschwindigkeit vorstellbar, welche der Abtragungsgeschwindigkeit gleich ist, so dass das Gebirge seine Höhe behält, indem ebensoviel von unten nachgehoben, als oben weggenommen wird. Das wäre also der zweite mögliche Fall. Welcher der wirkliche ist, wissen wir nicht. Gewisse Anzeichen scheinen darauf hinzudeuten, dass Hebung und Zerstörung abwechselnd das Übergewicht hatten. Es werden Zeiträume stärkerer Hebung mit solchen des Stillstandes und der Demolierung abgewechselt haben. In welcher Phase wir uns gegenwärtig befinden, wissen wir nicht. Keineswegs ist es nothwendig, für irgend eine vergangene Zeit eine gewaltig grössere Gebirgshöhe anzunehmen.

Diese Erörterungen können auch Licht über einen anderen, schon mehrfach besprochenen Punkt verbreiten. Die Gleichheit der Gipfelhöhen konnte nicht als eine Erinnerung oder ein Rest einer ehemaligen zusammenhängenden Oberfläche aufgefasst werden. Sie ist vielmehr ein Beweis für ein gleichmässiges Wirken der aufbauenden und zerstörenden Kräfte über den ganzen Gebirgsbereich hin. Die Erniedrigung der Gipfel geht Hand in Hand mit der Eintiefung der Thäler. Gewisse maximale Winkel können von den Gehängen nur ausnahmsweise und für kurze Zeit überschritten werden. Mit dem Neigungswinkel nimmt die Möglichkeit der Zerstörung des Felskörpers rapid zu. Wenn also das Thal sich eintieft, so wird das steiler gewordene Gehänge möglichst rasch zu einem mässigeren Neigungswinkel zurückkehren. Wie rasch, das hängt vornehmlich vom Klima ab. Wenn aber beide Gehänge eines Gebirgskammes sich verflachen, so muss sich die Verschneidung der beiden Gehänge, also der Grat, erniedrigen. So erfolgt die Verkleinerung der Berggipfel. Die höchsten Berge stehen daher fast immer dort, wo die verschiedenen Erosionssysteme der einzelnen Thäler zwischen sich todte Punkte übrig lassen, wo also die Erosion ein Minimum wird. Weniger wichtig ist die Widerstandskraft der Gesteine. Nur hie und da hängt die Existenz eines Gipfels von dem Vorhandensein einer härteren Gesteinspartie ab; z. B. beim Glockner, wie Prof. F. Löwl in seinem prächtigen Aufsatz im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift nachgewiesen hat. Aber auch hier sind Bestand und Richtung des Glocknerkammes nur bedingt durch den Verlauf der Thalsysteme, und von der Gesteinhärte ganz unabhängig. Das Auftreten des Grünsteins bewirkt nur eine bessere Erhaltung des Kammes und darum dessen grössere Höhe.

Da nun anzunehmen ist, das Hebungstempo sei ebenso wie das Klima für das ganze Gebirgssystem stets das gleiche gewesen, so folgt mit Nothwendigkeit ein annähernd gleiches Ergebniss, also eine annähernd gleiche Kamm- und Gipfelhöhe für das ganze Gebirge. Die Schneegrenze liegt auf der Südseite des Gebirges höher, als auf der Nordseite, und damit auch die Fläche grösster Zerstörung. Das kommt von dem Aufsteigen der thermischen Höhenzonen im Innern breiter Gebirge. Die Breite eines Gebirges ist daher für dessen Erhaltung ein wichtiger Factor. Schmale Gebirge haben unter sonst gleichen Umständen eine niedriger liegende Abtragungsebene, als solche von grosser Breitenausdehnung, und daher weniger Aussicht, sich lange zu erhalten.

---

Kehren wir zu unserer Aussicht zurück. Was wir vor uns sehen, ist also kein dauernder Zustand; vielmehr nur eine vorübergehende Phase in der Entwicklung einer bestimmten Erdstelle, die schon grosse Veränderungen erfahren hat, und ohne Zweifel weitere noch erfahren wird. Wenn die hebenden Kräfte in den Alpen für immer zur Ruhe gekommen sein sollten, so wird das Gebirge rasch weiter erniedrigt und zunächst alles das entfernt werden, was an festem Fels über die Eisfelder emporragt. Diese Demolierung geht nicht bloss im geologischen Sinne schnell vor sich. Man sehe

nur auf dem beigegebenen Bilde, das das Westviertel der Venediger-Aussicht darstellt, die Felswände und Felsgrate an, wie sie zerschlossen und zerbröckelt und von Schuttlehnen umlagert sind, soweit nicht der Firn die weniger steil gewordenen Lehnen einhüllt. Manche Felshänge sind schon ganz von Firn übersponnen, bald werden die noch vorhandenen Felsrippen weggesprengt sein, und ein einheitlicher Schneemantel wird sie gänzlich einhüllen. (Siehe den Ostabhang des Grossen Geigers.) Auch die Grate an der Schieferspitze sind schon sehr herabgemindert; ein höherer Firnstand würde genügen, sie zum Theil verschwinden zu machen.

Es ist zu vermuthen, dass nach Zerstörung der aus dem Firn aufragenden Hörner und Kämme eine bedeutende Verlangsamung in der Abtragung des Gebirges eintreten muss. An einem blanken Felshorn, wie z. B. dem Glockner, wird sicherlich Jahr für Jahr viel mehr Fels abgesprengt als an einem Firndom, wie dem Venediger. Freilich versprechen gewisse hochgethürmte Felswände, wie der auch auf dem Bilde so auffallende, prächtige Absturz der Dreiherrn- und Simonyspitze, eine längere Dauer; solche Wände können lange zurückwittern und den Grat rückwärts verlegen, bis sie flach genug geworden sind, um von Firn eingehüllt zu werden.

Wenn einmal alle Felsgrate aus der Schneeregion verschwunden sein werden, werden die Firne selbst durch den Verlust der Schneefänger und zahlreicher schattiger Winkel eine wesentliche Verminderung erfahren haben, und stark zurückweichen müssen, wodurch neue Gebiete der Wassererosion erschlossen und durch Vertiefung und Verlängerung der Seitenthäler das Firngebiet abermals eingeschränkt werden wird. Ausserdem findet unter dem Firn selbst eine fortwährende Abnützung des Bodens statt. Doch reicht das alles meines Erachtens nicht an die gewaltige Zerstörung heran, die sich gegenwärtig an den frei aus dem Firn aufragenden Felshörnern und Graten vollzieht.

Die von F. Löwl betonte Unabhängigkeit der gegenwärtigen Thalsysteme und der Oberflächenformen überhaupt vom inneren geologischen Bau wird auch durch das vorliegende Bild bestätigt. Kaum wird irgend Jemand aus ihm herauslesen können, dass die Grenze zwischen Centralgneis und Schiefermantel quer mitten durch das Bild, und zwar vom Hintergrund auf den Beschauer zu, läuft. Was rechts (nördlich) vom Maurerkeeskopf liegt, gehört dem Centralgneis (Granit) an, und der erwähnte Absturz der Dreiherrnspitze ist der Rand und das Ende des Schiefermantels, der in der linken Bildhälfte vorwaltet. Der Grosse Geiger hingegen gehört auch dem Granit an, das Grosse Happ dem Schiefer, und hier sieht man vielleicht noch am ehesten die Grenze zwischen den beiden Gesteinen; man glaubt, das Aufliegen der Schiefer und ihr südliches Einfallen auch auf der Photographie wahrzunehmen. Ob aber das nicht mehr hineingelesen als wahrgenommen ist?

Nicht bloss der ruinenhafte Zustand sämmtlicher Gebirgstheile oberhalb der Vegetationsgrenze, besonders derer, die in der Firnregion liegen, lehrt die starken Veränderungen, die noch fortwährend sich vollziehen, sondern ebenso der Zustand der Thäler. Der Stufenbau, der gerade die Tauernthäler so auszeichnet, ist ein Beweis ihrer Unfertigkeit. Alle diese Stufen mit ihren Wasserfällen müssen noch ausgeglichen und ein einheitliches Gefäll durch das ganze Thal hergestellt werden, bis die ausgrabende Thätigkeit der Gewässer zu einer relativen Ruhe kommt.

Für die Aufhellung der Ursachen der Längsstufung der Thäler hat ebenfalls F. Löwl neue Gesichtspunkte eröffnet. Es sind keineswegs überall Riegel härteren Gesteines, wie man früher angenommen hat, die die Thalstufen veranlassen; im Gegentheile können auch Streifen weicheren Gesteines, das dem Bache in seinem abbröckelnden Material stets neue Hindernisse entgegenwirft und ihn zu erodieren hindert, Veranlassung dazu sein. So entspricht die hohe Stufe der Kampriesenalm in Obersulzbach (Sprunghöhe 300 m) einem Schieferstreifen, der hier das Thal durchzieht. Doch scheint es noch eine allgemeinere Ursache der Thalstufenbildung zu geben. Man findet in

allen einst vereisten Gebirgen gestufte, in den nicht vereist gewesenen ungestufte Thäler. Es ist offenbar eine Eigenheit der Eisströme, die in ihrem Bette befindlichen Abwechslungen des Gefälles zu steigern, die ebenen Stellen noch flacher, die steileren noch steiler zu machen.

Überhaupt tragen die Thäler sehr viele und deutliche Spuren der Eiszeit an sich. Zwar sind die Trümmerwälle, die man so häufig in den Thälern querüber liegen sieht, fast niemals Moränen, sondern Bergstürze oder gewöhnliche Sturzhalden, und »erratische Blöcke« wird man meist ganz vergeblich suchen. Aber die Thalriegel aus festem Fels, welche die Thalstufen krönen, sind stets vom Gletscher abgerundet, was man freilich in den unteren Thalpartien gewöhnlich auch nicht sieht, da die Vegetation alles einhüllt oder die feineren Formen schon zerstört hat. Aber in den oberen Stufen. oberhalb der Waldgrenze, kann man prachtvolle Rundhöcker und gelegentlich unter dem Vegetationspolster auch polierte Stellen sehen. In dieser Beziehung macht sich der Granit gegenüber den Schiefnern vortheilhaft bemerkbar.

Erst nahe den jetzigen Gletschern sieht man ab und zu alte Ufermoränen und Moränenringe am Thalboden, obwohl ich mich nicht entsinne, in den Tauern so deutliche derartige Reste gesehen zu haben, als z. B. im oberen Schnalserthale bei Kurzras und Lagaun. Doch würde man bei systematischer Nachsuchung wohl auch hier jene Spuren finden, die auf einen Gletscherstand von ungefähr der doppelten Ausdehnung des gegenwärtigen hindeuten.

Grossartiger in den Dimensionen, wenn auch weniger einwandfrei im Einzelnen, sind die Eiszeit Spuren physiognomischer Art, die Umgestaltungen der Landschaft durch die Eiswirkung. Die Eisströme erfüllten die Thäler des Gebirges bis zu einer Höhe, zu der sich unsere Vorstellung nur schwer aufschwingen kann. Da das Eis bei Zell am See noch gewiss 1800 *m* hoch stand, also fast den Gipfel der Schmittenhöhe erreichte, so muss die Oberfläche der Pinzgauer Eisströme thalaufwärts allenthalben noch höher gelegen haben. Es ragten also von den Felskämmen nur die Grate von 2000 *m* Höhe aufwärts heraus. Von ihnen zogen überall, wo Raum dazu vorhanden war, kleine Gletscher als Zuflüsse des grossen allgemeinen Eismeres in dieses hinab. Der Ausdruck Eismeer ist insofern passend, als die Höhenunterschiede der verschiedenen Eisströme, die die Thäler erfüllten, nur gering waren, so dass ein Beschauer von einem höheren Gipfel aus wohl eine horizontale Fläche zu sehen hätte glauben können; der Ausdruck ist aber, genauer genommen, deshalb unzulässig, weil die Eismasse doch Gefäll hatte und nicht bloss durch die Thalöffnungen, sondern auch über die Pässe der Kalkalpen und des Schiefergebirges — so z. B. den Pass Thurn — nach der Ebene hinaus abfloss.

Das Eis hat die Thäler insofern umgestaltet, als es sie verbreiterte und kleinere Biegungen und Knickungen ausglich. Noch bei Zell am See kann man eine eigenthümliche, trogartige Abschrägung der Gehänge sowohl am rechten, als am linken Seeufer wahrnehmen, die wahrscheinlich auf Eiswirkung zurückzuführen ist. Ob auch die ganz aussergewöhnliche Geradlinigkeit des Salzachthales von Krimml bis Taxenbach so zu erklären ist, scheint zweifelhaft; man möchte nach der Analogie des Gailthales doch eher an eine Bruchlinie denken, worauf auch einige Beobachtungen von Löwl hindeuten.

Überaus deutlich sieht man im Obersulzbachthal die trogartige Vertiefung, welche der Gletscher in die Thalfurche eingeschnitten hat. Wenn man von den letzten Almen über den sogenannten Stierlahner oder weiter thalaufwärts vom Gletscher aus über die Keeslahner zur Kürsingerhütte emporsteigt, so muss man eine Felswand überklettern, aus deren Klüften grosse Sturzkegel zum Gletscher hinabziehen. Das ist der glaciale Trog. Wenn man die Höhe erreicht hat, nimmt die Steilheit des Gehänges sehr merklich ab; das ist die Böschung des vorglacialen Thales.

---

**BRUCKMANN'SCHE BUCHDRUCKEREI IN MÜNCHEN.**

---