

Ueber Thalbildung.

Von

PROF. DR. FRANZ TOULA.

Vortrag, gehalten am 31. Jänner 1877.



In meiner letzten Vorlesung habe ich die Gebirge in ihren allgemeinen Erscheinungsformen betrachtet, ihren Bau in grossen Zügen erörtert, und die verschiedenen Ansichten über die Art ihrer Entstehung besprochen.

Lassen Sie uns nun heute die, an der Zerstörung, Formveränderung und Abtragung, oder mit einem Worte, an der Modellirung der über das Meeresniveau aufragenden Erhabenheiten der Erdkruste, unermüdlich arbeitenden Naturkräfte, in ihrem Wirken betrachten. Die verschiedenen, dabei auftretenden, theils mechanischen, theils chemischen Vorgänge, finden ihre Erklärung in den atmosphärischen Einflüssen auf die starren, der Schwerkraft unterworfenen Gesteinsmassen.

Temperaturveränderungen sind es in erster Linie, deren Wirken sich kein Stoff entziehen kann. Durch sie werden die Theile eines Felsens mehr oder weniger stark ausgedehnt oder zusammengezogen, je nachdem die Temperaturschwankungen grössere oder geringere sind. Dabei ist die Einwirkung auf verschiedene Felsbestandtheile eine oft ganz verschiedene, sie hängt ja nicht nur von der Grösse der Schwankung des

Temperaturgrades allein ab, sondern auch von dem verschiedenen Verhalten der mannigfachen Mineralkörper gegen die einwirkende Wärme. Farbe, Dichtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit bedingen diese Variabilität. Dunkle Mineralien mit rauher Oberfläche werden viel rascher erwärmt und kühlen viel schneller ab, als lichtgefärbte und oberflächlich glatte. Ausserdem sind die Ausdehnungen und Zusammenziehungen in den Krystallen der gemengten Gesteine oft wesentlich verschieden, in den verschiedenen Richtungen der betreffenden Körper.¹⁾ Auch kommt dabei in Betracht, dass die Wirkung der Wärme sich in verschiedenen Gesteinen verschieden tief erstreckt.

Nun tritt aber noch das Wasser helfend hinzu. In die, durch die erörterten Vorgänge entstandenen, wenn auch noch so feinen Spalten, dringt das Wasser ein und nimmt nun mit Theil an den Veränderungen durch wechselnde Erwärmung, ja es werden nun erst neue Kräfte der Zerstörung geweckt. Jede hinreichend grosse Temperaturerniedrigung macht das Wasser nämlich zu Eis erstarren, durch die dabei auftretende Volumenvergrösserung aber werden Kraftäusserungen geweckt, wodurch die mächtigsten Felsmassen zersprengt, und in

¹⁾ So erklärt man ja beispielsweise die immer drohender werdenden Veränderungen in dem grössten modernen Monolith, der 27 M. hohen und an der Basis 4·5 M. dicken Alexander-Säule in St. Petersburg, durch ungleichmässige Volumenveränderungen der grossen braunrothen Feldspathkrystalle des nordischen Granites.

Blockwerk und Steinschutt umgewandelt werden. Die Entstehung der weiten Schutthalden, womit die Abhänge der Berge bedeckt sind, lässt sich zum grössten Theile hiedurch erklären.

Ein Hauptfactor bei vielen Erosionserscheinungen ist die Schwerkraft der Gesteinsmassen, wodurch Bergstürze und Bergschlipfe herbeigeführt werden, so dass oft grosse Massen, von den Thalwänden losgelöst, in die Tiefe stürzen oder abrutschen. Sehr viel hängt dabei von den tektonischen Verhältnissen ab. Besonders dort, wo eine durch Wasser aufweichebare Zwischenschichte im Gebirge vorkömmt, werden die darüber liegenden Gesteinsmassen der Wirkung der Schwerkraft leicht folgen können.

Das Wasser übt aber auch sonst noch gar mannigfaltige Einflüsse auf die Gesteine aus. So löst es gewisse Stoffe (Steinsalz und Gyps) unmittelbar auf und führt diese Auflösungen fort, hat es aber früher noch Kohlensäure, sei es aus der Atmosphäre oder aus der Erdkrume, aufgenommen, so wirkt es auch auf viele andere Körper auflösend ein; so wird es dadurch vor allem befähigt gewisse Mengen von Kalkerde und von Eisen aufzulösen.

Auf diese Weise müssen wir uns die Höhlen im Innern der Erde zum grössten Theile entstanden denken, die sich zum Beispiel im Gypsgebirge Thüringens Meilen weit hinziehen, aber auch die oft so geräumigen Hohlräume im Kalkgebirge (z. B. in Krain, Dalmatien und

Griechenland), sind auf Auflösungs- und Auswaschungsvorgänge zurückzuführen.

Die auflösende Kraft des Wassers wirkt sehr allmählig und ist von der Beschaffenheit der betreffenden Gesteine abhängig. Alle Quellen enthalten mehr oder weniger feste Bestandtheile in gelöster Form. (Das Wasser des Kaiserbrunnens beispielsweise 1·4 Theile in 10.000 Theilen Wasser.) Das Wasser wirkt aber auch unter Mitwirkung des Sauerstoffes und der Kohlensäure der atmosphärischen Luft chemisch zersetzend, selbst auf ungemein feste und widerstandsfähige Gesteine ein, und macht sie oft dadurch erst löslich. Früher unlösliche kohlen-saure Salze des Kalkes, der Magnesia und des Eisenoxyduls werden in lösliche Bicarbonate umgewandelt. Dieser Einwirkung verfallen vorzugsweise alle eisenhaltigen Mineralien; sie werden umgewandelt und zerstört.

Aus dem Feldspathe des Granites bildet sich auf diese Weise die Porzellanerde, oder viel häufiger die gemeine Thonerde, und zwar dadurch, dass das kieselsaure Eisen und, wenn vorhanden, das kieselsaure Natron des Feldspathes umgewandelt werden. Aus ersterem bildet sich eine sauerstoffreichere Verbindung mit Wasser (Eisenoxydhydrat), aus letzterem aber theilweise eine auflösliche kohlen-saure Verbindung (Natron-Bicarbonat). Dadurch entsteht eine Auflockerung des ganzen Gesteines, Theile werden ausgewaschen, atmosphärische Feuchtigkeit gierig aufgesogen, und in Folge des Zusammenwirkens dieser Prozesse, zerfallen ursprünglich ungemein harte und feste Gesteine, von der Oberfläche aus

tief hinein, so dass sie oft unter einer mehrere Meter mächtigen Decke verborgen liegen und man versucht wird zu glauben, sie seien bis auf den innersten Kern hinein zersetzt.

Es ist dies der Process, den wir gewöhnlich die Verwitterung zu nennen pflegen, weil es ja hauptsächlich die Witterungseinflüsse sind, die ihn hervorgerufen. Im Verlaufe der Gesteinsverwitterung kann man also im Allgemeinen drei nacheinander eingreifende Vorgänge unterscheiden:

1. Die von aussen nach innen vorschreitende Auflockerung des Gesteins in Folge des Temperaturwechsels;
2. die darauffolgende „Durchwässerung“, und
3. die in Folge dessen auftretende chemische Action, der mit dem Wasser eindringenden Agentien: des Sauerstoffes und der Kohlensäure der Luft.

Durch die Verwitterungsvorgänge werden alle scharfen Ecken und Kanten der Gebirgssteine abgerundet, Klüfte und Spalten werden erweitert, und die äussere Gestalt der Felsmassen oft ganz und gar verändert. Eine der schönsten Erscheinungsformen, die durch die auflösende Thätigkeit des Wassers erklärt werden muss, bieten uns die Karrenfelder der Kalkalpen. In dem Kalkfelsen sind nämlich oft tiefe Rinnen ausgenagt, die durch scharf schneidige Rippen von einander getrennt sind, und zu einer wahren Qual für die darüber hin Schreitenden werden. Die, in Folge der im Vorhergehenden geschilderten Einwirkungen, in ihrem Verbande gelockerten Gesteine, fallen nun um so leichter den unausgesetzt

thätigen mechanischen Wirkungen des Windes und der Wasser — „der Erosion“ — anheim.

Auf den wichtigen Einfluss des Windes bei der Erosion hat schon Bernhard Studer hingewiesen. So ist es, zum grossen Theile wenigstens, den Luftströmungen zuzuschreiben, dass die Felsen der Hochgebirge kahl bleiben, indem alle aufgelockerten Theile durch die Stürme hinweggefegt werden. Die Bora z. B. erhält die Plateauflächen des Karstes öde, sie lässt die Ansammlung von Dammerde, die durch Gesteinszersetzung entsteht, nur an windgeschützten Stellen zu.

Alle Reisenden, welche die weiten innerasiatischen Steppen durchzogen haben, erzählen von den ungeheuren Massen gelben Staubes, mit dem die Atmosphäre dort erfüllt ist. Die Wüste Gobi enthält, wie neuerlichst wieder von Przewalski hervorgehoben wurde, im östlichen Theile nur grobe Geröllmassen, alle feineren Theile werden durch die vorherrschenden Ostwinde gegen Westen befördert. Aehnlich verhält es sich auch in der Sahara. Ja schon in den ungarischen Steppen kann man ähnliche Wirkungen des Windes wahrnehmen. Auf diese Weise können Flussläufe versanden und Seebecken ausgefüllt werden! Aber auch direct erodirend können die Winde durch den mitgeführten Sand auf Felsflächen wirken, über welche sie denselben mit grosser Kraft und Schnelligkeit hinfegen.

Die mechanische Gewalt des aus der Atmosphäre niederfallenden Wassers, wirkt jedoch in viel grösserem Masse erodirend auf die Gesteine ein.

Die bei der Verwitterung entstandenen Zersetzungsprodukte werden vor Allem dadurch fortgeführt werden, wobei aber das, der Einwirkung der Schwere folgende und daher den tiefsten Stellen zustrebende Wasser, auch direct mechanisch zerstörend auf die Gesteine einwirkt, über welche es hinfließt, und zwar hauptsächlich mit Hilfe des mitfortgeschleppten Materiales, des Gebirgsschuttes oder Detritus, der beim Hingleiten über die Felsen, diese ritzt und glättet, bei dieser Arbeit aber auch alle seine eigenen scharfen Ecken und Kanten einbüsst.

Die Bewegung des aus der Atmosphäre niedergestürzten Wassers, wird durch die Neigung des Bodens, auf welchen es auffällt, herbeigeführt, denn wäre keine solche Neigung vorhanden, so würde sich das Wasser auf der Fläche nur gleichmässig ausbreiten.

Schon aus dieser einfachen Betrachtung geht hervor, dass, wie wir mit Peschel sagen können: die Thäler in ihren Grundzügen älter sind als die Flüsse, deren mannigfach umgestaltende Thätigkeit in den Thälern, wir heute näher betrachten wollen. Das in Bewegung befindliche Wasser arbeitet unermüdlich an der Vertiefung seines Bettes, mit einer Kraft, die um so grösser ist, je grösser die Geschwindigkeit ist, mit der es dahin fliesst. Diese Geschwindigkeit aber ist um so grösser, je grösser die Neigung des Thalbodens, — oder wie wir zu sagen pflegen, — je grösser das Gefälle¹⁾ ist.

¹⁾ Unter Gefälle verstehen wir den, auf die Längeneinheit entfallenden Höhenunterschied.

Hiebei fällt die Thatsache auf, dass sich das Wasser auch über einen gleichmässig geneigten Thalboden mit ganz gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt, d. h. die in gleichen Zeiten vom Wasser zurückgelegten Wege sind gleichgröss. Warum in diesem Falle nicht die physikalischen Gesetze der beschleunigten Bewegung, auf einer schiefen Ebene, Platz greifen, findet seine natürliche Erklärung in dem vom Flussbette auf das fließende Wasser ausgeübten Reibungswiderstand.

Genaue Untersuchungen haben überdies gezeigt, dass die grösste Geschwindigkeit etwas unterhalb der Oberfläche des Wassers, über der grössten Tiefe des Wasserkörpers liegt, da auch die Luftreibung verzögernd einwirkt. Die Geschwindigkeit nimmt sodann gegen den Grund sowohl, als auch gegen die Ufer hin gleichmässig ab.

Die Geschwindigkeit nimmt aber auch, unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen, mit der Wassermenge zu, daher ist die Geschwindigkeit eines Flusses beim Hochwasserstande am grössten. So führt die Donau bei Wien bei Hochwasser, in einer Secunde eine Wassermenge von beiläufig 6200—7200 CM., mit einer Geschwindigkeit von 1·9—2·2 Meter, beim Nullwasserstande aber nur 2000 CM., mit einer Geschwindigkeit von 1·3—1·6 Meter!

Wir ersehen daraus, dass die bewegende Kraft des fließenden Wassers abhängig ist: erstens vom Gefälle, und zweitens von der Wassermenge. Deshalb ist auch die zerstörende, erodirende Kraft bei hochangeschwolle-

nen Gebirgsbächen viel bedeutender, als die eines, in sanft geneigter Ebene dahin schleichenden Flusses, ja in der Regel treten gerade in jenen, die hauptsächlich zerstörenden Gewalten auf, während in dem letzteren, die Ablagerung des durch Zerstörung des Uferlandes entstandenen Gesteinschuttes stattfindet.

Der Transport der Steine in einem Flussbette, geht in den meisten Fällen ungemein langsam vor sich. Es ist ein Uebereinanderschieben derselben, eine Bewegungsform, die sich auch an der eigenthümlichen Gestalt der „Flussgeschiebe“ erkennen lässt.

Der Grad der Zerstörung und Wiederablagerung ist ein ungemein verschiedener, er wechselt für denselben Flusslauf oft sehr bedeutend ab, so dass oft auf Stellen eindringlichster Erosionsarbeit, unmittelbar solche folgen, in welchen diese vollkommen zur Ruhe kommt.

Da, wie gesagt, der Grad der Erosion, bei gleichbleibendem Gefälle, von der Menge des Wassers mit abhängig ist, so erscheint es klar, dass die Thätigkeit des Wassers in verschiedenen Zeiten des Jahres, eine verschieden grosse sein wird: während des Winters wird sie ihr Minimum, zur Zeit der Schneeschmelze im Frühlinge aber in der Regel ihr Maximum erreichen.

Aber auch jeder stärkere Regenguss führt eine grosse Menge grösserer und kleinerer Gebirgstrümmer von den Gehängen der Gebirge in die Thäler, von wo sie durch die angeschwollenen Bäche in die Vorländer transportirt werden. Es wurde constatirt, dass durch plötzlich auftretende Hochfluthen bei Wolkenbrüchen

5000—7000 Kilogramm schwere Blöcke in Bewegung gesetzt und weit fortgeführt wurden. Eines der grossartigsten Ereignisse solcher Art schilderte Prof. Simony¹⁾. Er zeigt an den Folgen der ganz ausserordentlich grossen Ueberschwemmung durch die Etsch, im Jahre 1825, die verheerende Thätigkeit des Wassers.

„Von allen Gehängen rauschten die Wässer nieder und setzten Lavinen und angehäuften Schuttmassen in Bewegung; die angeschwollenen Wildbäche durchbrachen ihre Dämme und führten reissende Ströme in die unteren Thäler, wo sie, je nach dem Gefälle bald zerstörten, bald Schutt ablagerten.“ Der Fluss schuf sich auf weite Strecken ein Bett von doppelter Breite, als er früher eingenommen, haushohe Massen häufte er dafür an anderen Stellen wieder auf. Nicht weniger als 300.000—350.000 Cubikmeter Schutt sollen damals von dem entfesselten Elemente fort bewegt worden sein.

Der Betrag solcher Ereignisse ist in erster Linie von den klimatischen Verhältnissen der betreffenden Gegend abhängig. So steht es fest, dass auf den nach Süden gekehrten Abhängen der Alpen, in Folge der Einwirkung der warmen und wasserdampfreicheren Südwestwinde, die Schneeschmelze im Frühjahre viel rascher erfolgt, als auf den nach Norden gerichteten Abdachungen, wo die Mengen der Niederschläge auch kaum halb so gross sind als im Süden. Die

¹⁾ Ueber Diluvialgebilde des Etschthales. Sitz.-Ber. der k. Ak. d. W. nat. Cl. VIII. Bd.

Erosion durch das Wasser wird daher auf den südlichen Gehängen weit grösser sein, und diese werden auch die Folgen der erodirenden Thätigkeit viel entwickelter zeigen.

Es finden aber nicht nur viele Erscheinungen in den jetzt herrschenden klimatischen Verhältnissen ihre Erklärung, sondern man kann auch umgekehrt, aus den Erscheinungen in der Form und Ausbildung der Thäler, auf ehemalige, vielleicht von den heutigen vielfach verschieden geartete klimatische Einflüsse schliessen. So führten manche Verhältnisse in den Alpenthälern, mit zwingender Nothwendigkeit zur Annahme einer zeitweise viel grösseren erodirenden Kraft, und damit zur Annahme viel bedeutenderer atmosphärischer Niederschläge in jenen Zeiten; in Folge vieler Anzeichen schliessen wir auf eine überaus grossartige Entwicklung der Eisbedeckung, und aus dieser wieder auf eine, von den heute herrschenden Verhältnissen ganz verschiedene Vertheilung von Wasser und Land.

Mit Bezugnahme auf die heutigen klimatischen Verhältnisse in den Alpen, unterscheiden wir nach Rütimeyer¹⁾ drei Regionen:

1. Die Region des beständigen Schnee's oder die Region der relativen Ruhe und des Stillstandes der Thalbildung, da die Wirkung der Schnee- und Eisdecke hauptsächlich auf eine Glättung der Unterlage beschränkt ist.

¹⁾ Ueber Thal- und Seebildung. 1869.

2. Die Region der nur periodischen Schneebedeckung, wo zeitweilig ungeheure Wasserquantitäten auf den allseitig stark durchfurchten Boden zerstörend einwirken.

Hier wird denn auch das Maximum der allgemeinen Erosion eintreten, während in der dritten Region die auswaschende und zerstörende Kraft des Wassers, im Grossen und Ganzen auf die Wasserrinnen beschränkt ist. Dabei wird, wo stärkeres Gefälle vorhanden ist, die Wassergewalt so bedeutend sein, dass das Schuttmaterial fortgeschafft werden wird, während bei geringerer Neigung des betreffenden Thalweges, die aus grösserer Höhe herabgebrachten Zerstörungsproducte nur theil- und zeitweise (bei Hochfluthen) weiter bewegt werden können. Es ist dies die Region der Ablagerung und Ausfüllung.

Ein weiteres wichtiges Moment, von dem der Grad der Erosion und mithin die Thalbildung abhängt, liegt in der mineralogischen Beschaffenheit der, der Erosion unterworfenen Gesteine, u. zw. werden dabei sowohl die Lagerungsverhältnisse, als auch die stoffliche Zusammensetzung der Gesteine, in Betracht kommen müssen. Tritt irgendwo im Gebirge eine Aenderung des Gesteinscharakters ein, so wird sich dies sofort in der Form der Thalwände und des Thalbodens ausprägen. In leichter zerstörbaren Felsen wird sich der Thalweg leichter vertiefen und verbreitern als dort, wo die Festigkeit der Massen der Erosion grössere Widerstände entgegensetzt und ihre Fortschritte hemmt.

Dort wo zwei der Zerstörung in verschiedenem Grade widerstehende Gesteinsarten aneinander grenzen, werden sich daher oft plötzliche Aenderungen des Gefälles erkennen lassen, die sich bis zur Bildung von Wasserstürzen (Katarakten) steigern werden, während sich in gleichmässigem und leichter zerstörbarem Materiale ein ausgeglichener, gleichmässig geneigter Thalweg erkennen lassen wird. Am Beginn des weicheren Gesteins wird eine Stufe auftreten, folgt darauf wieder ein härteres widerstandsfähigeres, so wird, beim Eintritt des Thalweges in dasselbe, eine Verengung und damit eine Stauung des Wassers die Folge sein.

Enge Thalschluchten charakterisiren in der Regel die schwerer erodirbaren Gesteine. Der ganze landschaftliche Charakter einer Gegend hängt so zum grossen Theile von der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteine ab. Im Kalkgebirge herrschen aus diesem Grunde die massigen Bergformen, mit jäh Thalwänden und weiten plateauartigen Höhen, vor, während in den Schieferterrains, wegen der leichteren Verwitterung und den in Folge dessen grösseren Erfolgen der zerstörenden Kraft des Wassers, sanftere Abhänge vorherrschen und in den Schieferhochgebirgen scharfe zackige Kämme aufragen.

Als eines der interessantesten Beispiele für die Abhängigkeit der Erosionsthätigkeit eines Flusses von der Gesteinsbeschaffenheit, will ich den bekanntén Niagara erwähnen, der zwischen dem Ontario- und Eriesee den berühmten Wasserfall bildet.

Der letztgenannte See liegt nämlich etwa 100 Meter höher als der Ontario-See, auf einer, aus fast horizontal gelagerten silurischen Gesteinen bestehenden Hochebene, über die sein Abfluss in grosser Strombreite hinfliesst, bis er an den Steilabsturz gelangt, in den er sich eine enge, von fast vertikalen Wänden begrenzte Schlucht ausgewaschen hat, die sich in einer Länge von 6 engl. Meilen (9·7 Kilometer) hinzieht. 52 Meter tief fällt die ungeheure Wassermasse, in drei Armen, in diese Schlucht hinab, deren grösster, der Hufeisenfall, 570 Meter breit ist. Das zu oberst liegende Gestein ist der, etwa 25 Meter mächtige Niagarakalk, der auf einem leichter zerstörbaren, thonigen Gestein aufliegt, das derartig ausgewaschen wird, dass die Kalkbänke ihrer Unterlage beraubt, schliesslich abbrechen, und mit fürchterlichem Getöse in die Tiefe stürzen.

Auf diese Weise schreitet der Fall, freilich nur sehr langsam, nach rückwärts fort. Hall und Lyell haben dieses Rückschreiten mit etwa $\frac{1}{3}$ Meter per Jahr berechnet, wonach, unter Annahme gleicher Verhältnisse, die Niagaraschlucht etwa 35.000 Jahre zu ihrer Bildung erfordert hätte, und nach etwa 70.000 Jahren der Fall die Ufer des Eriesees erreichen würde. Dabei ist jedoch noch zu bemerken, dass die Höhe der Fälle einst am Ausgange der Schlucht (bei Queenstown) bei 100 Meter betragen haben muss, sich also im Laufé der Zeit beim Rückschreiten fast um die Hälfte ihrer früheren Höhe vermindert hat und auch in Zukunft fortwährend geringer werden wird.

Ausser der Thätigkeit des fliessenden Wassers haben wir noch in Kürze der Eisströme oder Gletscher zu gedenken, da auch diesen eine gewisse Einwirkung auf die Abhänge und den Boden der Thäler nicht abgesprochen werden kann, wenn gleich das Mass dieser Einwirkung nur zu oft überschätzt worden ist.

Gletscher nennt man bekanntlich die Eismassen, womit viele hochgelegene Gebirgsthäler ausgefüllt sind; Eismassen, die aus dem, in den höchsten Thalmulden angesammelten Hochschnee oder Firn, unter der Mitwirkung des Druckes seiner eigenen Masse, und des durch oberflächliche Schmelzung gebildeten, in den Tiefen der Schneemassen aber wieder gefrierenden Wassers entstanden sind. Durch sein eigenes Gewicht und das der von oben stetig nachdrückenden Firnmassen, wird das Gletschereis, unterstützt durch einen gewissen Grad von Plasticität, in die Tiefen der Thäler gepresst.

Die Wirkung dieser, in steter, wenngleich sehr langsamer Bewegung befindlichen Eismasse, auf ihr Bett, ist im Allgemeinen auf ein Poliren und Abschleifen aller Unebenheiten desselben, mit Hilfe der an der Unterseite des Eises vorfindlichen Gesteinstrümmer, und auf eine Ritzung der Thalwände beschränkt, wodurch ein feines Gesteinspulver erzeugt wird, das von dem, durch Aufthauen des Eises entstehenden Wasser, dem Gletscherbache, fortgeführt wird.

Die Gletscher fungiren ferner auch als Transporteure des in den Hochregionen, durch die Wirkung des Frostes unausgesetzt, in grosser Menge entstehenden

Blockmateriales, das von den Thalwänden auf die Oberfläche des Eisstromes niederstürzt um, wenngleich langsam, so doch sicher und unverletzt, den Tiefen zugeführt zu werden. Der Hauptunterschied zwischen den durch Gletschereis beförderten Gesteinsbruchstücken von den durch fließendes Wasser bewegten, liegt darin, dass erstere entweder fast vollkommen unverletzte Kanten und Ecken zeigen — wenn sie am Eisrücken transportirt wurden —, oder eine scharf ausgesprochene Polirung und Ritzung erkennen lassen — wenn sie als Reibmaterial in Verwendung waren —, während die Gerölle eines Baches oder Flusses stets eine glanzlose, trübe Oberfläche zeigen, weil sie durch das unaufhörliche Aneinanderreiben mit unzähligen, unendlich kleinen Ritzen versehen wurden. ¹⁾

Im Vorhergehenden haben wir uns mit den Kräften vertraut gemacht, die mit verschiedenem, aber entschieden grossem Erfolge, umgestaltend auf die Oberfläche der Erde einwirken und haben erkannt, dass das Wasser dabei die weitaus wichtigste Rolle spielt, dass aber der Betrag seiner Einwirkung durch ursprünglich gegebene Verhältnisse in der Oberflächengestaltung mitbestimmt wird. Die letztere Angabe liesse sich nach Peschel's

¹⁾ Man vergleiche den Vortrag von Prof. Simony in d. Mitth. d. k. k. geogr. Gesellschaft über „Gletscher und Flussschutt“. 1872. Pag. 252 und 327.

geistreichen Ausführungen ¹⁾ etwa in folgender Weise ausdrücken:

Die Kräfte des Inneren unseres Planeten haben die Rinde gefaltet, aufgerichtet, zersprengt, ihrem Wirken haben wir daher die Grundlinien der Thalbildung zuzuschreiben, sie waren in Spalten und Rissen, in Mulden und Falten vorgezeichnet und wurden durch das Walten der atmosphärischen Einflüsse weiter ausgebildet, modelirt. „Im Anfange gehorchen diese noch den gegebenen Gefällen, und ihre Verrichtungen erscheinen geringfügig, — mit der fortschreitenden Thätigkeit werden sie aber immer entscheidender und freier und führen schliesslich zum völligen Verwischen des ursprünglichen Baues der Erdrinde.“

Fassen wir das Gesagte also zusammen, so ergibt sich, dass die Thalbildung abhängig sein wird:

Erstens von geologischen Factoren, die in dem ursprünglichen Relief und in der Lagerung der Gesteine begründet sind;

zweitens von mineralogischen Factoren, die mit der stofflichen Beschaffenheit derselben im Zusammenhange stehen, und

drittens von meteorologischen Factoren, den klimatischen Verhältnissen im Allgemeinen und der mechanischen Gewalt des Wassers im Besonderen.

In Bezug auf die zuerst genannten geologischen Verhältnisse, haben wir nun wohl zu unterscheiden, ob

¹⁾ Neue Probleme der vergl. Erdkunde 1876. Ueber Thalbildung.

das Terrain, in dem ein Thal verläuft, ein ebenes, aus nicht gestörten, mehr oder weniger horizontal liegenden Gesteinsschichten bestehendes ist, oder aber einen, durch grössere oder geringere Veränderungen in der Gesteinslagerung, complicirten Bau erkennen lässt.

Die Thalbildung wird im ersteren Falle einen viel einfacheren Verlauf nehmen, weshalb wir diesen zuerst betrachten wollen.

Hiebei werden wir auch die rein erodirende Thätigkeit des Wassers am besten und leichtesten verfolgen können. Die auf solche Weise entstandenen Thäler werden deshalb auch die eigentlichen Erosions- oder Auswaschungsthäler genannt, sie verdanken ja fast ausschliesslich der erodirenden Kraft des Wassers ihre Entstehung.

Das als Regen niederfallende Wasser wird in der Richtung der, wenn auch noch so geringen Neigung des Bodens abfliessen und dabei die geringfügigsten Vertiefungen aufsuchen. In diesen wird sofort eine Verstärkung der Wirkung des gesammelten Wassers eintreten und in Folge dessen eine Auswaschung von Rinnen eingeleitet werden, die sich bei jedem folgenden Regenfalle ganz allmähig vertiefen werden, wobei die in der Richtung der grössten Neigung des Bodens gelegenen, den anderen in ihrer Ausbildung vorausseilen werden, weil in ihnen die mechanischen Kräfte der gesammelten Wässer am grössten sein werden.

Die 30 bis 50 Meter tiefen Regenschluchten in den südrussischen Steppen, wurden einzig und allein

durch Regenwasser, in lockerem Boden ausgegagt. Sie ziehen sich oft mehrere Kilometer weit hin und bilden nicht unwesentliche Hemmnisse des Verkehrs, da sie wegen ihrer Steilgehänge schwer oder unpassirbar sind. In ihrem Hintergrunde, dort wo das Wasser zur Zeit der Regengüsse einströmt, zeigen sie in der Regel Wasserfälle, die immer weiter und weiter nach rückwärts schreiten und die Schluchten allmählig verlängern.

Die grandiosesten Bildungen dieser Art finden sich in Nordamerika, auf den Hochebenen von Californien und Neu-Mexico, am Colorado, der sich mit seinen Nebenflüssen in die fast ungestört und horizontal übereinander lagernden Schichten in einer Weise eingegagt hat, wie sie grossartiger sonst nirgends auf der Erde bekannt wurde. Die ganze Schichtenreihe, vom oberen Kohlenkalk (Carbon) bis tief in den Granit, ist von den Schluchten durchschnitten, so dass vom Niveau des Wassers bis zum obersten Rande derselben, die oft nahezu verticalen Wände 1000—2000 Meter hoch aufragen. Cañon's, nennen die Amerikaner diese Schluchten. Die grossartigste und schauerlichste dieser Schluchten ist der Colorado Cañon, der eine Länge von 300 engl. Meilen (480 Kilometer) besitzt und 1800 Meter tief ist. 300 Meter tief hat sich der Fluss in den Granit eingebettet.

Wir haben es hier mit Erscheinungen der Thalbildung zu thun, welche wir nach Prof. Powell ¹⁾, der jene Cañon's eingehend studirt hat, als reine Erosionsergebnisse

¹⁾ Exploration of the Colorado River etc. Explored 1869—1872. Smithsonian Inst. Washington 1875.

aufzufassen hätten, derart, dass wir uns vorstellen müssen, dass eine Hebung des Landes in ganz ähnlichem Ausmasse stattfand, wie die Erosion selbst fortschritt. — Wie viel dabei etwa doch durch ursprüngliche Terrainverhältnisse vorgezeichnet war, muss einstweilen dahingestellt bleiben.

Als eines der schönsten Beispiele erwähne ich hier noch die gestaltenreichen Bildungen im Quadersandsteingebirge, in der sogenannten sächsischen Schweiz, die durch das zerstörende Spiel des Wassers entstanden sind, das in dem feinkörnigen, gelblich gefärbten, mürben Kreidesandstein, im Laufe der Zeit all die romantischen, von hohen und steilen, ja fast vertikal ansteigenden Felswänden eingeschlossenen Thalgründe ausgewaschen hat, die alljährlich das Reiseziel von Tausenden bilden. Will man hiefür einzig und allein die Entstehung durch Erosion annehmen, so muss man sich vorstellen, dass das Ganze, jetzt so viel durchfurchte Gebiet, einst ein etwa 270 Meter hohes Sandsteinplateau darstellte, über welches aus Böhmen her der Abfluss eines grossen Sees hinfloss und dort, wo heute Pirna liegt, in das Flachland hinabstürzte. Dieser Wasserfall müsste sodann, ähnlich wie ich es beim Niagarafall anführte, allmählig bis an den Rand jenes Sees nach rückwärts geschritten sein und diesen endlich zum Abfluss gebracht haben. — Nach Peschel's Meinung aber hätte das Wasser einen alten Spalt benützt und diesen nur tiefer ausgenagt.

Eine der Felsfiguration nach ganz ähnliche Bildung, befindet sich auf kleineren Raum zusammengedrängt bei

Belogradčik an der Strasse von Vidin über den Sveti Nicola Balkan. Diese Felslabyrinthe gewähren durch ihre braunrothe Färbung und die bizarren Erosionsformen einen ganz wundersamen Anblick, der seines Gleichen nicht leicht anderswo findet. Hier sind jedoch ganz sicher Dislocationen, Störungen im Schichtenbau der Erosionsthätigkeit vorausgegangen, indem die Sandsteinschichten Abstürze deutlich erkennen lassen.

An dieser Stelle möchte ich der interessanten, radial verlaufenden Regenschluchten und Thäler (in ihrer grossartigsten Entwicklung Barrancas genannt) gedenken, die an den Abhängen der aus lockerem Materiale aufgeschütteten vulcanischen Kegelberge entstehen, und zwar aus dem Grunde, weil auch sie in ungestörtem, wengleich steil geböschtem Materiale erodirt werden und weil sie uns in den einfachsten Zügen die Thalbildung im geneigten Terrain erklären.

Nach Dana sind Hawaiï und Tahiti (Inseln im mittleren pacifischen Oceane) derartige Bildungen. Beson-

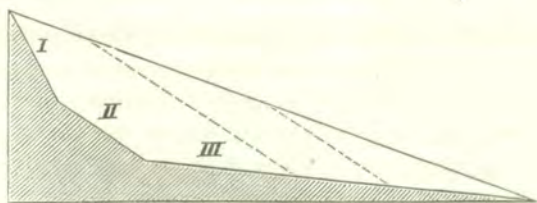


Fig. 1.

ders Tahiti erscheint durch Regenrisse bis zum Centrum ausgefressen, so dass förmlich nur Felsrippen zwischen

den tiefen Thalfurchen erhalten blieben. Vorstehende Skizze zeigt den Verlauf einer solchen Schluchtenbildung, wobei die schraffirten Theile das noch vorhandene Stück eines Berges im Längenprofil einer Thalschlucht zeigen, während die punktirten Linien Resultate der erodirenden Thätigkeit des Wassers in verschiedenen Zeitabschnitten vorstellen. Verfolgen wir den Vorgang in Kürze, so ist es klar, dass sich das bei Regengüssen niederströmende Wasser Rinnen auswählen wird. Aus einem Geäder feiner Wasserläufe, mit geringer erodirender Kraft entsteht auch hier ein stärkerer Bach, der am Fusse des Berges angekommen seine grösste Gewalt hat und in Folge dessen, hier sein Bett ganz besonders vertiefen wird. Dadurch schafft er sich selbst ein stärkeres Gefälle und eine weitere Vermehrung seiner erodirenden Kraft, und so schreitet die Thalbildung auch hier allmählig nach rückwärts fort. Im Anfange werden sich zwei Stufen erkennen lassen, eine mit starker Erosion, das „Berggebiet“, und eine zweite in welcher der herabgebrachte Schutt abgelagert wird, das „Thalgebiet“. Der erstere Theil ist scharf eingerissen, der letztere aber durch Schuttabsatz verflacht, welcher bei stärkeren Ueberfluthungen wieder weiter ausgewählt wird.

Erreicht die Thalrinne den Kamm oder Gipfel der Erhebung, so wird ein weiteres Stadium der Thalbildung hinzukommen. Steiler und steiler wird in Folge der steten Abtragung im obersten Theile der Thalhintergrund abstürzen, unter Umständen werden sogar Wasserfälle entstehen, daran wird sich dann thalabwärts, ein

Gebiet schliessen, in dem die Auswaschung mit der Ablagerung so ziemlich im Gleichgewichte steht, während im untersten Theile des Thales, die Ablagerung vorwaltet. Wir erhalten auf diese Weise drei Stufen, von denen die oberste durch Wasserfälle, die mittlere an einigen Stellen vielleicht durch Stromschnellen, die untere aber durch ruhigen Verlauf des Wassers charakterisirt ist.

Das Bestreben des erodirenden Wassers ist aber stets dahin gerichtet diese drei Stufen so zu verwischen, dass sie endlich eine continuirliche, einheitliche Curve bilden, in welchem Falle die Thalbildung ihr zeitweiliges Ende erreicht: der Thalweg ist sodann fertig. So lange dieses Ziel aber nicht erreicht ist, wird der Thalweg unfertig sein, und die Erosion fort dauern. Begegnen sich irgendwo zwei derartige Thäler in entgegengesetzten Richtungen, so werden schliesslich die beiden Berggebiete so nahe aneinander treten, dass sie nur durch einen schmalen Kamm, die Wasserscheide, von einander getrennt bleiben werden, welcher Kamm sodann allmählig durchwaschen, abgetragen, und dadurch das Berggebiet der beiden Flüsse verkürzt werden wird.

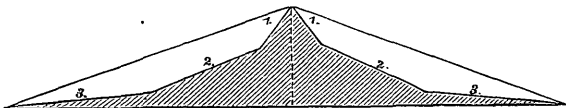


Fig. 2.

Bei den meisten unserer Flüsse lassen sich in ihrem Verlaufe drei Stufen erkennen, die wir gewöhnlich als

den Ober-, Mittel- und Unterlauf bezeichnen. Dabei ist das Gefälle im Oberlaufe am grössten, vermindert sich im Mittellaufe und ist am geringsten im Unterlaufe. Genauere Untersuchungen der Gefälle im Verlaufe eines Stromes lassen jedoch meist erkennen, dass sich die geschilderten Verhältnisse wiederholen, d. h. dass ein Fluss streckenweise ganz ähnliche Variationen des Gefalles im Kleinen zeigt, wie sie für den Verlauf im Grossen und Ganzen so bezeichnend sind.

Das Gebiet eines Flusssystemes, in dem die Abtragung oder Erosion vorherrscht, nennen wir das Erosionsgebiet und es ist klar, dass von der Grösse dieses Gebietes, auch die Menge des von dem Flusse fortgeführten Materiales, also die Grösse der Ablagerung im Thal- oder Alluvialgebiete abhängen wird.

Für die Etsch beispielsweise, hat Prof. Simony berechnet, dass das erstere 31mal grösser ist als das letztere, dass also, wenn die Abtragung im Erosionsgebiete nur 1 Centimeter betragen würde, in derselben Zeit im Alluvialgebiete eine Ablagerung von 31 Cm. Mächtigkeit erfolgen müsste. Ganz Aehnliches gilt für viele andere Flussläufe und es ist daher nicht zu verwundern, dass sich das Bett vieler Flüsse im Unterlaufe fortwährend hebt, wie dies z. B. so eclatant für den Unterlauf des Po und der Etsch der Fall ist, die ihr Bett auf eine weite Strecke, auf der Höhe eines breiten und sehr flachen, durch ihre eigenen Sedimente aufgeführten Dammes eingerissen haben.

Lassen Sie uns nun auch die Verhältnisse im dislocirten oder gestörten Terrain etwas näher betrachten. Wir verstehen darunter ein Terrain, das seine ursprüngliche Oberflächenbeschaffenheit verschiedenen und oft sehr complicirten Störungen verdankt, durch welche die einst horizontal abgelagerten Gesteinschichten auf die verschiedenste Weise aufgerichtet, gefaltet oder zerbrochen wurden.

Vieles von dem für Thalbildung in ungestörtem Terrain Angeführten, hat auch hier seine Giltigkeit, doch kommen noch gar viele Momente in Betracht, durch die der Verlauf der Thalbildung complicirt wird.

Im dislocirten Terrain müssen wir also schon vor der Einwirkung des Wassers, Anläufe zur Thalbildung, oder sogar wohl entwickelte Thäler als vorhanden annehmen, gebildet durch die Störungen und Dislocationen im Bau der Erdkruste des betreffenden Gebietes.

Im Allgemeinen unterscheiden wir hier Längen- und Querthäler. Die ersteren sind in schöner Ausbildung nur in Gebieten möglich, welche aus zonenartig aneinander gereihten Gebirgsgliedern bestehen, wie dies in Kettengebirgen bekanntlich der Fall ist, sie verlaufen mehr oder weniger parallel mit der Streichungs- (Erstreckungs-) Richtung des betreffenden Gebirges und können nach ihrer Entstehungsweise und nach ihrer Beschaffenheit verschieden bezeichnet werden.

Besonders schön und in theoretisch vollkommener Entwicklung finden wir sie in Faltengebirgen, wie im Schweizer Jura oder in den Dinarischen Alpen. Dort

unterschied man Mulden- oder synclinale Thäler, wenn sie zwischen zwei parallelen Anticlinalfalten liegen und keine sonderliche Störung der, die beiden Abhänge bildenden Schichten zeigen.

Entstanden auf der Höhe der Falten Risse und Spalten, so konnte auch dadurch Thalbildung eingeleitet werden. Solche Thäler werden Spalten- oder anticlinale Thäler genannt. Die beiden Thalwände zeigen in diesem Falle eine übereinstimmende Schichtenfolge. An der Grenze von zwei verschiedenen Formationsgliedern verlaufende Thäler, werden als Scheide- oder Isoclinale oder (im Jura) Combenthäler bezeichnet.

In den Alpen und überhaupt in allen Kettengebirgen von complicirterer Entstehungsgeschichte; treten die Längsthäler nur selten in derartiger Vollkommenheit auf. Gleichzeitig mit der Entstehung von Hauptfalten müssen wir uns wohl auch Querrisse entstanden denken, die im Allgemeinen senkrecht auf der Streichungsrichtung, oder der Faltungsrichtung verlaufen werden, ja die Querrisse gingen wohl nicht selten, bei fortdauernder Zusammenschiebung der Gesteine, so tief, dass die eine Partie der Falte, die einen geringeren Widerstand zu überwinden hatte, ganz aus dem Zusammenhange gebracht und weit vorgeschoben wurde, wodurch dann das betreffende Längenthal in seinem Verlaufe wesentlich gestört werden musste.

Aber nicht nur senkrecht auf die Hauptfaltung, auch in anderen Richtungen erfolgten ohne Zweifel, bei

den grossartigen Vorgängen der Zusammenschiebung und Aufstauung, die Bildungen von Falten, Rissen, Ueberkippungen und Spalten und wurde dadurch das Terrain geschaffen, für die Thätigkeit all der verschiedenen zerstörenden Kräfte, derer wir früher gedachten.

Dass die Querthäler in sehr vielen Fällen, auch in Faltengebirgen, schon vor Beginn der Erosion vorhanden gewesen, zeigt Peschel an den sehr überzeugenden Beispielen der, die Parallelketten der Alleghans quer durchbrechenden Flüsse (Delaware, Susquehannah und Potomak), deren Quellen viel niedriger liegen als die Rücken hoch sind, die von ihnen durchquert werden. Ganz ähnliche Fälle lassen sich auch im Schweizer Jura nachweisen.

Ein Hauptunterschied zwischen Längen- und Querthälern in den Alpen, liegt in der Verschiedenheit des Gefälles: indem die ersteren, bei ihrem meist viel längeren Verlaufe, ein geringeres Gefälle, bei einer meist schon an und für sich viel tieferen Lage haben. Die erodirende Kraft des Wassers wird daher eine viel geringere gewesen sein, als in den kürzeren und in den meisten Fällen viel stärker geneigten Querthälern, weshalb denn auch an vielen Stellen, die Längsthäler als Alluvialgebiete der Querthäler auftreten.

Alle Thäler in dislocirtem Terrain lassen eine Aufeinanderfolge von Thalweitungen (Becken) und Thalengen (Klausen, Schluchten) erkennen. In den ersteren erfolgt sehr häufig Ablagerung, da das Gefälle hier ein unbedeutenderes ist, in den Engen aber sehen wir die thalbildenden

Kräfte in vollster Thätigkeit. Das oberste Ende der Thäler wird gewöhnlich von einer flachen, langgestreckten Mulde, dem Circus, eingenommen. Adolf Schlagintweit¹⁾ nahm an, dass die Hauptursache dieser eigenthümlichen Erscheinung in den Querthälern schon in der ursprünglichen Thalbildung liege und durch die Mitwirkung der Erosion einerseits, und der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der Gesteine andererseits seine Erklärung finde. Die Thalbecken müssten demnach wohl als Partien grösserer anfänglicher Dislocation aufgefasst werden, als Stellen, wo bei der Gebirgsbildung die Gesteine grösseren Störungen ihres Zusammenhanges ausgesetzt worden waren, wodurch auch den erodirenden Kräften ihre Arbeit erleichtert werden musste.

In den Längenthälern sind die genannten Verschiedenheiten in der Thalweite viel mehr in die Länge gezogen. Schon darin liegt ein Hauptunterschied zwischen Längen- und Querthälern; ein anderer wurde schon erwähnt und liegt in dem viel geringeren Gefälle des Wassers in den Längenthälern, und einen dritten Charakterzug endlich bilden die unbedeutenden Höhen der Wasserscheiden. So beträgt der Höhenunterschied in einem ausgezeichneten Längenthale der Alpen (dem Drauthale) von Villach bis zum Toblacher Felde, der Wasserscheide zwischen dem Schwarzen Meere und der Adria, auf 145 Kilometerlänge, nur etwa 700 Meter,

¹⁾ Man vergl. Jahrb. der k. k. geol. Reichsanstalt 1851, II. Heft, p. 33—57.

während im Ötzthal, einem ausgezeichneten Querthale, auf eine Länge von nur 60 Kilometer mehr als 2000 Meter Höhendifferenz entfallen.

Für den Verlauf der Längenthäler in den nordöstlichen Alpen, ist als besonders bezeichnend die auffallende Thatsache hervorzuheben, dass dieselben von Flüssen durchzogen sind, die nur in ihrem Oberlaufe der Streichungsrichtung des Gebirges folgen, um sodann unter einem rechten Winkel umzubiegen, die ganze nördliche Kalkzone quer zu durchbrechen und so in Querthälern abzufließen. Diese Erscheinung zeigen uns der Rhein, der Inn, die Salzach und die Enns. Dazu kommt, dass im Oberlaufe, gegen die Durchbruchstellen hin, das Gefälle immer geringer wird, die Thalfläche aber beckenartig erweitert erscheint, als hätten sich die Wässer gestaut, bis sie die Höhe des zum Abfluss geeigneten Querspalttes erreichten, um ihn sodann entsprechend zu vertiefen. Jene Querfurchen wurden dadurch zu wahren Drainirungscanälen des Hauptthales.

Den Verlauf der Erosion in den Querthälern hat Rütimayer ¹⁾ mit voller Klarheit dargestellt. In der Schweiz lassen sich nämlich im Thale der Reuss, einem uralten Querriss (Rütimayer nennt es ein Stammthal), an den Abhängen, an vielen Stellen, mehrere Thalstufen übereinander erkennen, welche mit Schotter bedeckt sind und sich dadurch als alte Thalwege zu erkennen

¹⁾ Thal u. Seebildung 1868.

geben. Nach Rütimeyer müsste man annehmen, dass das Thal der Reuss einst eine flache, nur wenig tiefe Mulde gewesen sei, die damals um 2000 Meter höher lag als der heutige Thalboden und von einem Gletscher eingenommen wurde. Darauf folgte eine Periode rascherer Erosionsarbeit, bis das Thal um fast 500 Meter vertieft war (also nur noch 1500. Meter höher lag als heute). — Hierauf trat wieder eine Ruhepause mit Gletscherbedeckung ein, auf welche eine abermalige Erosionsperiode folgte, während welcher das Thal bis auf 800 Meter Meereshöhe ausgenagt wurde. Doch noch einmal soll eine Zeit der Ruhe und Vergletscherung eingetreten sein, bis die Periode der Erosion begann, in welcher wir die Reuss heute thätig sehen, in einem Thalriss, der 70—100 Meter unter die letzte Gletscherstufe hinabreicht.

Es ist dies eine Darstellung, wie sie nicht grossartiger gedacht werden kann.

Dass jene Ruhepausen Gletscherperioden, d. h. langdauernden „Eiszeiten“ entsprachen, sucht Rütimeyer durch die Erscheinungen der Thalwände nachzuweisen, die mit zahlreichen Ritzen und Gletscherschliffen bedeckt sind.

Ausser den Längen- und Querthälern, haben wir noch eine dritte Thalform zu unterscheiden. Während die Einmündung der Quer- in die Längsthäler in der Thalsole der letzteren erfolgt oder ihr doch nahe liegt, kommen viele Zuflüsse theils als Wasserfälle, theils in tiefen und steilen Gerinnen, aus hoch über der Thalsole ausmündenden Nebenthälern heraus, die wir mit

Schlagintweit die secundären Querthäler nennen können. Sie zeigen in ihrem Verlaufe ganz ähnliche Aufeinanderfolgen von Thalweitungen und Thalengen, und die Sammelmulde in der Nähe ihres Ursprunges, wie wir dies bei den Querthälern hervorgehoben haben, doch in kleinerem Maasstabe und in einem oft tausend Meter und darüber höher gelegenen Niveau. Die Erklärung der bedeutenden Höhe der secundären Querthäler wird zum grossen Theile auf ein Zurückbleiben der Erosionserfolge der kleinen Seitenbäche, gegenüber der viel grösseren zerstörenden und wegführenden Gewalt der wasserreichen Hauptadern zurückzuführen sein, eine Erscheinung, deren Grundursache jedoch wieder in dem ursprünglichen Relief des Bodens gelegen ist.

Wir müssen unser Augenmerk nun auch noch auf diejenigen Erscheinungsformen der Thäler richten, in welchen wir dieselben, in oft weiter Erstreckung von stehendem Wasser erfüllt antreffen.

Wir kommen dadurch auf eine Frage von grosser Wichtigkeit zu sprechen, nämlich auf die Frage der Entstehungsursache der Seebecken, eine Frage, über deren Beantwortung die Acten noch lange nicht geschlossen sind.

Im Alpengebiete müssen wir die am Gebirgsrande oder in alten Thalrissen gelegenen permanenten (beständigen oder bleibenden) Randseen, von den kleinen hochgelegenen Bergseen unterscheiden, welch' letztere von Rüttimeyer wegen ihrer leichten Vergänglichkeit recht treffend als die ephemeren (Eintags-) Seen bezeichnet

wurden. Zu den letzteren gehören auch die von Peschel nach dem hochverdienten Geographen Sonklar von Innstätten genannten „Sonklar'schen Seen“, die durch Zusammenwachsen der Schuttkegel von zwei sich vereinigenden Thälern aufgestaut werden können, und nur so lange bestehen bleiben, bis es der Erosionsthätigkeit des Wassers endlich gelingt, die den Wasserabfluss hemmenden Barrieren zu durchnagen.

Drei Ansichten stehen in Bezug auf die Lösung der Frage, wie die grösseren Seebecken entstanden sind, einander gegenüber:

Die erste könnte man die Theorie der Einstürze oder Einsenkungen nennen; sie hat in dem hochverdienten Schweizer Geologen Studer einen Hauptvertreter. Er sagt, ¹⁾ dass für die am Ausgange der meisten grösseren Querthäler oder am äusseren Rande des Alpensystemes gelegenen tiefen, oft weit unter den jetzigen Spiegel des Meeres reichenden, von steilen Felsgehängen begrenzten Seen keine andere Entstehung, als die durch theilweisen Einsturz der Massen angenommen werden könne. Das plötzliche und steile Abbrechen der Schichten lasse den Gedanken an eine Auswaschung durch Wasser gar nicht zu. — Es ist unleugbar, dass für eine grosse Anzahl von Seen nur diese Annahme zulässig erscheint.

Die zweite Meinung geht dahin, dass die Seebecken ihre Entstehung dem Wirken derselben Kräfte verdanken,

1) Physikalische Geographie u. Geologie. I., pag. 391.

die wir als *Erosion* bezeichnet haben, nimmt aber an, dass dieselben in früherer Zeit in grossartigerer Weise thätig gewesen seien.

Für diese Ansicht spricht die Thatsache, dass die meisten Seebecken in den Thalwegen grösserer Flüsse gelegen sind. Eine grossartige Ausnahme von dieser Regel bildet aber beispielsweise das Becken des Gardasees, das ganz nahe der Thalschlucht der Etsch gelegen ist. Nur eine schmale Scheidewand trennt die beiden Thäler, welche wir ohne Zweifel, als zwei, streckenweise parallel verlaufende Dislocationsspalten der Erdrinde zu betrachten haben, deren westliche in ihrem tiefsten, vom Gardasee erfüllten Theile, bis zu 130 Meter unter den Spiegel des mittelländischen Meeres hinabreicht, also eine ganz imposante Depression darstellt, während das Etschthal hier circa 150 Meter über dem Meeresniveau verläuft.

Die Erosionstheorie lässt zwei Wege der Erklärung offen. Beide Wege sind betreten, die betreffenden Vertreter der beiden Richtungen aber stehen in hartem Kampfe einander gegenüber. Die Einen denken sich die Seebecken durch Gletscherwirkung entstanden, und zwar während der grossen Glacial- oder Eisperiode. (Die Engländer Ramsay und James Geikie sind Hauptvertreter dieser Anschauung.) Mehrere an den Ausgängen von Alpenthälern liegende Seen lassen in der That an ihrem unteren Ende Dämme aus Gletscherschutt, sogenannte End- oder Stirnmoränen erkennen. So hat sich beispielsweise die Limat, bei ihrem Ausflusse aus dem Zürichersee, ihren Weg durch eine solche alte Endmoräne bahnen

müssen. Aus dem Vorkommen des Gletscherschuttes, kann nun aber freilich nur geschlossen werden, dass einst Gletscher in den Thälern lagen, dass aber diese die Seebecken ausgefeilt, ist nach dem früher Erörterten durchaus nicht erlaubt so ohne weiteres anzunehmen.

Sehr geistreich ist die Darstellung Lyell's über eine Möglichkeit von Seebeckenbildung durch Gletscher, freilich kommt er auf dem entgegengesetzten Wege dazu. Peschel ¹⁾ drückt diese Meinung folgendermassen aus: „Erfüllte in der Eiszeit ein Gletscher ein bereits vorhandenes Thal, so wurde von ihm streckenweise dieses Thal vor einer Zuschüttung durch Geröllmassen und Seitenmoränen geschützt, zogen sich dann die Gletscher zurück, so hinterliess das Eis beim Einschmelzen einen Hohlraum, der den Irrthum erwecken kann, als sei eine Auswaschung, anstatt einer verhinderten Zuschüttung vor sich gegangen.“

Auch die Seen der süddeutschen Hochebene könnte man sich nach Peschel's Meinung auf eine ähnliche Weise entstanden denken. (Die Angabe des Hauptmanns Stark, dass nicht der kleinste Weiler jenseits der Moränengrenze in diesem Gebiete aufzufinden sei, spricht sehr dafür.)

Die zweite Erosionshypothese schreibt der Wirkung des fliessenden Wassers die Beckenbildung zu. Rütimeyer hat diese Ansicht am ausführlichsten betrachtet. „Die

¹⁾ Neue Probleme, pag. 19 und 178.

Bewegung des Wassers ist, nach seiner Meinung, das primitive, nimmer ruhende und stetig, mit grosser Energie fortarbeitende (in jüngeren Ablagerungen daher oft das ganz ausschliessliche) Moment der Thalbildung“. Dabei macht nur die oft auffallend tief unter die jetzige Thalcurve eingreifende Bodenlage vieler Seen Schwierigkeiten, welche Rüttimeyer zu der Annahme führten, dass diese grösste Tiefe einem früheren Thalwege entsprechen haben müsse, der dann später durch irgend eine Riegelbildung gesperrt worden sei.

Auch diese Erklärung erscheint in einzelnen Fällen recht gut zutreffend, wenn die heutigen Seen nahe der einstmaligen Mündung des betreffenden Flusses, in einer noch grösseren Depression liegen, wie dies z. B. für die am Südfusse der Alpen gelegenen grossen Seen der Fall ist, deren tiefste Stellen verschieden tiefe Depressionen bezeichnen. Beim Lago maggiore reicht diese 657 Meter, beim Comosee 378 Meter, beim Iseosee 104 Meter, beim Gardasee 130, beim Luganosee 8 Meter unter den heutigen Meeresspiegel. In diesen Fällen konnte eine Riegelbildung durch die ganz ungeheuren Gletscher- und Flussschuttmassen eingeleitet worden sein, womit die ganze ehemalige lombardo-venetianische Meeresbucht allmählig ausgefüllt wurde. Auch für die grossen an der Ausmündung der Querthäler gelegenen Seen, am Nordfusse der Schweizer Alpen, erscheint diese Ansicht unter gewissen Bedingungen nicht unmöglich.

Die Thalbecken solcher Seen müssen wir uns als Buchten ehemaliger Meeres-Bedeckungen vorstellen.

Die oben erwähnten oberitalienischen Seen bezeichnet Peschel geradezu als Fjorde des lombardo-venetianischen Meeres. Die an den Mündungen dieser Binnenmeere abgelagerten Sedimente, bildeten die Barren jener alten Flüsse. Auch die tiefsten Stellen der Schweizer Seen sind ganz bedeutend, wenn auch nur der Brienersee unter den heutigen Meerespiegel hinabreicht (8 Meter) ¹⁾, so dass ihr Bett, wenn es durch Erosion entstanden sein sollte, nur mit den Schluchten heutiger Wasserfälle verglichen werden könnte, und zwar von ganz imposanten Erscheinungen dieser Art, welche heute nur in den norwegischen Vorkommnissen ihres Gleichen finden würden. Um ihre Aufstauung auf diese Weise zu begreifen, müssten wir uns Barren oder Thalriegel von eben so grosser Mächtigkeit entstanden denken, respective wenigstens eben so mächtige Schuttanhäufungen über die ganze niedere Schweiz hin annehmen, oder aber Hebungen des Landes in einem ähnlichen Betrage.

1) Sie betragen

	nach Reclus	nach Klöden
im Genfersee	309 Meter	120—960 Fuss
„ Thunersee	275 „	720 „
„ Brienersee	594 „	2000 „
„ Vierwaldstädtersee	268 „	800 „
„ Zugersee	402 „	1200 „
„ Zürichersee	141 „	430 „
„ Wallensee	184 „	450 „
„ Bodensee	271 „	964 „

Betrachten wir das Verhältniss der beiden von der Aar durchflossenen Seen, so finden wir, dass der obere derselben, der Brienzensee, um 3—400 Meter tiefer ist als der, mit seinem Spiegel etwa 8 M. tiefer liegende Thunersee, was eine etwas grelle Niveauveränderung des alten Thalbodens vorstellt. Mit Erosionsthätigkeit allein dürften wir hier also nicht auskommen und müssen ausser dieser, auch tief greifende, ursprünglich gegebene Niveauverschiedenheiten annehmen, die in grossartigen Dislocationen und Spaltungen ihre Erklärung finden dürften, ganz ähnlich denjenigen, die Peschel zur Erklärung der Fjorbildung annahm. ¹⁾

Hier sei auch angeführt, dass dieser hochverdiente Geograph auch für den Baikalsee, der mit seinen tiefsten Stellen 788 Meter unter das Niveau des nördlichen Eismeeres reicht, annimmt, dass er einst eine tiefe Bucht, einen Fjord jenes Meeres gebildet habe, eine Ansicht die überdies durch das Vorkommen von Resten einer oceanischen Fauna (einer sogenannten Relicten-Fauna) bestätigt wird. Ganz dieselbe Annahme muss aber auch für die grossen nordamerikanischen Seen gemacht werden, die 80—130 Meter unter den Spiegel des atlantischen Oceans hinabreichen und gleichfalls eine Relicten-Fauna beherbergen, wie dies noch für viele andere Seebecken festgestellt ist.

So viel dürfte nach unserem bisherigen Wissen un-leugbar feststehen, dass für Süsswasserbecken, die rings

¹⁾ L. c. pag. 21. ff.

von ursprünglichen (älteren), mehr weniger gleichartigen Felsarten umgeben sind, eine Entstehung durch Erosion nicht angenommen werden kann, schon aus dem Grunde nicht, weil ja die Erosion stille steht, wenn das Wasser in ein Laufstück ohne Gefälle eintritt, um so mehr also, wenn es von einer mit Wasser gefüllten Depression vorübergehend aufgenommen wird. An solchen Stellen wird ja gerade das Gegentheil von Erosion, nämlich Ablagerung und endlich Ausfüllung eintreten. Wirken doch die in einen Flusslauf eingeschalteten Seebecken geradezu als Klärbassins für die betreffenden Zuflüsse, welche getrübt, und mit Schuttmaterial beladen eintreten, um vollkommen geklärt abzufliessen. Für solche Seen wird man also gleichfalls in den meisten Fällen zu ursprünglichen, durch Verwerfungen und Einstürze entstandenen Einsenkungen greifen müssen.

Seen endlich, die in einem deutlich gefalteten Terrain liegen, werden geradezu als orographische Seen bezeichnet und nach der Art des betreffenden Thales genannt. So unterscheidet man im Schweizer Jura **Muldenseen**, wenn sie in einer synclinalen, **Clusenseen** wenn sie in gesprengten Sätteln oder anticlinalen Thälern, und **Combenseen**, wenn sie in isoclinen Thälern gelegen sind.

Bis nun haben wir hauptsächlich die abtragende erodirende Thätigkeit der Flüsse in Betracht gezogen, wir müssen aber auch der, nur so nebenher erwähnten Ablagerung des erodirten Materiales unsere Auf-

merksamkeit zuwenden, da wir bei dieser Gelegenheit noch eine Erscheinungsform der Flussthaler kennen lernen werden.

Wir haben gehört, dass Ablagerungen stattfinden werden sowohl auf Strecken geringeren Gefälles, (bis sie zu einer Ausgleichung desselben geführt hat), oder in Seebecken, die dadurch ausgefüllt werden können, oder in Verbreiterungen des Flussbettes, wo das Wasser dadurch seichter und seine bewegende Kraft geringer wird, oder endlich auf jeden Fall, aus mehreren der angeführten Gründe, im Unterlaufe der Flüsse. Dadurch geschieht es, dass der Fluss wenigstens zeitweise, sich seinen Weg durch sein eigenes früheres Schuttmaterial ausarbeiten muss. Dies führt sodann gar oft zu Aenderungen seiner Laufrichtung. Hat sich nämlich ein Fluss, bei niederem Wasserstande, ein, diesem Gefälle entsprechendes, oft sehr vielfach gewundenes Bett ausgearbeitet und tritt Hochwasser ein, so wird sich sofort der Stromstrich ändern, das schneller fliessende Wasser, nimmt einen einfacheren, weniger gewundenen Lauf, und bewegt viel grössere Mengen von Schutt, zerstört sein Niederwasserbett und verschüttet es wohl auch, so dass der Fluss, nach Ablauf des Hochwassers, sich ein neues, den nun vielleicht ganz und gar veränderten Detailverhaltnissen entsprechendes Bett, ausarbeiten muss. Diese Darlegung macht es begreiflich, dass man in den Thälern sowohl die Ufer des Hochwasserstandes, als auch die des Niederwassers unterscheiden kann.

In manchen Flussbetten sind noch weitere derartige Stufen- oder Flussterrassen (auch Hochufer genannt) zu erkennen, die uns Fingerzeige liefern, wenn wir es versuchen die Geschichte eines Wasserlaufes aufzustellen. Finden wir beispielsweise die Spuren eines zweiten Uferandes, höher als der des jetzigen Hochwasserstandes, so muss entweder eine allmälige Hebung des Landes den Fluss gezwungen haben, sein Bett tiefer einzunagen, oder wir müssen annehmen, dass die Wassermenge des Flusses einst eine bedeutende gewesen sei, und darum ein weiteres Ueberschwemmungsgebiet benöthigt habe. Manchmal werden wir auch durch Aenderungen des Stromlaufes allein, zur Erklärung solcher Uferstufen geführt.

Ein ganz eigenthümliches Verhalten gegen ihre Ufer zeigen viele Flüsse in ihrem Unterlaufe, welches zu sehr interessanten Betrachtungen geführt hat, deren ich, wenn auch nur flüchtig, dennoch gedenken muss. Die meisten grösseren, in meridionaler Richtung verlaufenden Ströme, greifen nämlich ihre beiden Ufer verschieden stark an; so zeigen viele Flüsse der nördlichen Hemisphäre ein eigenthümliches Streben nach rechts, während auf der südlichen Hälfte der Erde umgekehrt ein Streben nach dem linken Ufer auftritt. Im ersteren Falle ist das rechte Ufer das steilere und dem Stromstrich nähere, während das linke durch oft weithin reichende ebene Flächen ausgezeichnet ist. Auch die Donau zeigt, besonders in ihrem von Nord nach Süd gerichteten Laufstücke, dieses Bestreben. Der russische Akademiker

v. Bär war es, der im Jahre 1860 in seinen „Kaspischen Studien“ diese Verhältnisse eingehend beleuchtet und auf die Rotation der Erde als die Ursache derselben hingewiesen hat.

Hier soll auch auf die Flüsse der norddeutschen Niederung hingewiesen werden. Alle haben einen im Allgemeinen von Südost nach Nordwest gerichteten Lauf und lassen vielfach Veränderungen einer früheren Laufrichtung erkennen, die Wasserscheiden sind auf weite Strecken nur ganz unbedeutende Niveauhebungen. Es scheint festzustehen, dass die Oder einst durch das Spree-, Havel- und Elbethal, die Weichsel aber durch das heutige Netze-, Warthe- und Oderthal abgeflossen sei. Sie erscheinen nach Osten, also nach ihrem rechten Ufer hin abgelenkt, während der Rhein in seinem Unterlaufe nach Westen oder nach seiner linken Uferseite hin strebt. Dabei dürfte aber wohl auf die in den Mündungsgebieten der genannten Flüsse bestehenden säcularen Senkungen ein Hauptgewicht gelegt werden müssen, ähnlich so wie man das, der obigen Hypothese ganz entgegengesetzte Verhalten des Unterlaufes eines der bedeutendsten Ströme der Erde, des Mississippi (er erodirt bei nordsüdlicher Stromrichtung sein linkes Ufer, strebt nach Osten), auf die für die Ostküste Nordamerikas angenommenen Senkungen des Landes zurückführt. ¹⁾

¹⁾ Man vergl. z. B. Reclus-Ule: Die Erde I, pag. 324 ff.

Fassen wir das in der heutigen Vorlesung Gesagte noch einmal in Kürze zusammen, so finden wir, dass im Allgemeinen zwei Ansichten über Thalbildung nebeneinander bestehen. Die erste nimmt an, dass die Flüsse älter seien als ihre Rinnen und Wege, das will sagen, diese letzteren seien erst durch die Thätigkeit des Wassers ausgehöhlt worden, seien also ein, mehr weniger reines Erosionsproduct, während nach der zweiten Ansicht die Thalfurchen als schon vor dem Beginn der Erosionsthätigkeit vorhanden, als etwas Gegebenes, angenommen werden.

Wir haben im Verlaufe unserer Betrachtungen gesehen, dass wir beide Ansichten als zu Recht bestehend annehmen müssen, dass jedem Flusse sein Lauf durch Terrainverhältnisse mehr oder weniger vorgezeichnet ist, dass aber oft schon ganz geringe Hemmungen hinreichen können, um ihn zu Veränderungen seiner Laufrichtung zu zwingen. Andererseits kann aber die mechanische Thätigkeit des Flusses eine derart erfolgreiche sein, dass dadurch die ursprünglichen Verhältnisse nicht selten ganz verwischt werden, und es dann oft kaum mehr möglich ist, dieselben in ihren ursprünglichen Grundzügen zu erkennen.

Waren aber auch die Thäler in den meisten Fällen in der Form von Aufbrüchen und Spalten gegeben, so blieb der Erosionsthätigkeit des Wassers noch immer genug zu thun übrig. Wie verschieden die gegebenen Terrainverhältnisse sein können, wie sehr dadurch die Energie der Erosion abgeändert werden kann, wie sehr

diese aber auch von der verschiedenen Beschaffenheit der Gesteine abhängt, das dürfte aus dem im Vorhergehenden Erörterten hervorgegangen sein, sowie denn auch nun die grossen Schwierigkeiten einleuchten dürften, die bei der Lösung einschlägiger specieller Fragen stets zu überwinden sein werden. ¹⁾

Und so lassen Sie uns denn mit den Worten Marcou's schliessen, die auch in unserer Frage ihre Giltigkeit haben: „Eines Tages nach voll geübter Geduld, Ausdauer und Beobachtung, wenn wir alle Spalten und Risse, alle Spitzen und Schluchten befragt haben, ohne je zu ermüden, werden wir dahin gelangen, die Pläne des Erdgebäudes zu verstehen, seine Geheimnisse zu enträthseln.“ ²⁾

¹⁾ Wie reich die zu beobachtenden Details, besonders im dislocirten Terrain sind, das zeigen beispielsweise die Unternehmungen des Schweizer Geographen Ziegler. Man vergl. nur sein neuestes Werk: über das Verhältniss der Topographie zur Geologie. Zürich, 1876.

²⁾ Explication d'une 2^e Édition de la Carte géologique de la Terre, pag. 17.
