

Das alpine Relief : nach zwei Vorträgen, gehalten im Dezember 1904 im Bernoullianum Basel

Autor(en): **Blumer, S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische pädagogische Zeitschrift**

Band (Jahr): **15 (1905)**

Heft 2

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-788699>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Das alpine Relief.

Nach zwei Vorträgen, gehalten im Dezember 1904 im Bernoullianum Basel
von Dr. S. Blumer, Basel.

Einleitung.

Unser Alpengebirge weist, im Gegensatze zu den beiden andern geographischen Einheiten unseres Vaterlandes, dem Jura und dem Mittelland, eine Fülle von orographischen Formen auf. Es soll im Nachfolgenden versucht werden, die hauptsächlichsten und hervorragendsten Züge in der Formenwelt unserer Alpen zu analysiren und aus ihrer Vergleichung Schlüsse auf ihre Bildungsweise zu ziehen.

Wenn wir ein modernes Relief, das in grossem Massstab ein Stück unseres Alpenkörpers darstellt, oder ein Blatt der Dufourkarte, besonders der ersten Drucke, oder eine in Reliefmanier weiter ausgeführte Kurvenkarte, wie Beckers Reliefkarte des Kantons Glarus, betrachten, so fallen uns als Hauptzüge der Bodengestaltung in die Augen:

1. Die Täler, welche als breite Gräben am Rande des Gebirges anheben, um sich gegen das Innere des Gebirges immer mehr und mehr zu verzweigen bei steigender Sohlenhöhe und abnehmender Sohlenbreite.
2. Die Gipfelformen der die Täler trennenden Bergketten, die oft wild zerrissen, wie die Türme eines gotischen Bauwerkes, zum Himmel aufstreben.
3. Die wenig gegliederten Hochflächen, die, theils mit Schnee bedeckt (Firnfelder), theils Alpweiden tragend, oft in Stufen übereinander gelagert, von den starkgeneigten Talhängen mit sanfter Steigung hinüberleiten zu den wieder starkgeneigten Flanken der Berggipfel.

Das sind die drei dominierenden Terrainformen unserer Alpenwelt, die wir als Formen erster Ordnung bezeichnen können. In diesen allgemeinen Formen lassen sich dann wieder gesetzmässig wiederkehrende Details erkennen, die sich als Formen zweiter Ordnung, dritter Ordnung usw. den drei Hauptbodenformen unterordnen.

I. Die Täler.

Zeichnen wir das Flussnetz der Schweizeralpen, so erhalten wir ein Bild, das sich am ehesten mit der reichverzweigten Krone eines mächtigen Baumes vergleichen lässt. Das scheinbar regellose Gewirre der Äste und Zweige setzt sich schliesslich zu mehreren Hauptästen zusammen, die aus unseren Alpen hinausreichen, oder besser, die von aussen in unser Gebirge hereinreichen. Diese Hauptäste oder Äste erster Ordnung sind: Rhein, Linth, Reuss, Aare, Rhone, Tessin, Inn. Das kongruente Bild erhalten wir, wenn wir statt der Wasserläufe die Talfurchen aus der Karte herauspausen. Wir sehen also, dass die Täler verlaufen wie die Wasserläufe, und beim Vergleich einer hydrographischen Karte der Alpen mit einer geologischen erkennen wir, dass das Flusssystem sich unabhängig vom geologischen Bau des Gebirges nach eigenen Gesetzen herausgebildet hat. Wir schliessen mithin: Die Alpentäler sind das Werk des fliessenden Wassers: denn ihre Verteilung erfolgt nach hydrographischen und nicht nach geologischen Gesetzen.

Bei einer aufmerksamern Betrachtung aber lässt sich ein gewisser Einfluss des Gebirgsbaues auf die Richtung der Täler erkennen. Bekanntlich sind die Alpen ein Faltengebirge, entstanden durch ein Zusammenschieben der festen Erdrinde. Die zusammenschiebende Kraft wirkte in der Richtung SO—NW; infolgedessen streichen die Faltenzonen von SW nach NO. Es ist offenbar nicht Zufall, sondern hängt mit diesem Faltenbau zusammen, dass unter den so mannigfaltigen Talrichtungen die SW-NO-Richtung und die SO-NW-Richtung dominieren. Die Täler in der erstern Richtung werden also parallel dem Streichen der Schichten gehen; man nennt sie Längstäler. Beispiele sind das Rhonetal von der Furka bis Martinach, das Urserental, das Rheintal von der Oberalp bis Chur, das Engadin, das Bedrettetal, das Schächental. Die Täler in der zweiten Hauptrichtung hingegen werden die Faltenzonen quer durchschneiden; sie heissen Quertäler. Typische Quertäler sind: Rhonetal unterhalb Martinach, Haslital, Reusstal von Andermatt abwärts, Tessintal von Airolo abwärts; ebenso gehören auch Linthtal und St. Galler Rheintal zu den Quertälern.

Der Grund nun, warum die obengenannten zwei Richtungen zu Haupt-Talrichtungen werden mussten, ist der, dass bei dem Faltenbau der Alpen das fliessende Wasser in der SW-NO-Richtung geringern Widerstand beim Erodiren (Auswaschen) vorfand, sei es, dass es zwischen zwei Zonen härterer Gesteine eine Zone weicheeren Gesteins vorfand (Urserental, Bedrettetal), sei es, dass es die Gesteine längs der Schicht-

fugen besser angreifen konnte; in der NW-SO-Richtung hingegen besass das fließende Wasser eine grössere Erosionskraft, weil es den Alpenrand auf dem kürzesten Wege erreichte und so eine grössere Geschwindigkeit erlangen konnte. Wir erkennen somit, dass, wenn auch die Ausgrabung der Täler das Werk des fließenden Wassers ist, die Richtung derselben durch den Gebirgsbau beeinflusst wurde. Es könnten in dieser Beziehung noch interessante Tatsachen angeführt werden. So spiegeln das glarnerische Sernftal und der Graben des Churer-Rhein-, Seez-, Walenseetales in ihrem bogenförmigen Verlauf eine kegelmantelförmige Lagerung der Felsschichten in den nordöstlichen Glarneralpen wieder.

Weil in den Quertälern der Talfluss eine grössere Geschwindigkeit hat, so schneidet er sich hier rascher ein. In den Quertälern, namentlich in den oberen Partien, sehen wir jetzt noch den Fluss an seiner talbildenden Arbeit: Er vertieft die Sohle seines Tales und spült den Hintergrund des Tales an einem fort ab. Die losgelösten Geschiebe aber schwemmt er fort, bis im untern Teil seines Tales die Stosskraft des Wassers so klein wird, dass das mitgeführte Geschiebe-Material zur Ablagerung kommt und kleine Aufschüttungs- (Alluvial-) Ebenen bildet. Wir erkennen somit, dass ein Tal in seinem oberen Teil sich vertieft und nach rückwärts verlängert, im untern Teil aber seine Sohle durch Auffüllung erhöht, während im mittlern Abschnitt Auffüllung und Vertiefung sich die Wage halten. So vertieft sich das Reusstal in der Schöllenen auch gegenwärtig noch kräftig (1. Stadium der Talbildung), während von Erstfeld abwärts die Reuss ein Schuttfeld abgelagert hat (3. Stadium). Zwischen Göschenen und Erstfeld hingegen schneidet sich der Fluss noch stellenweise ein, stellenweise lässt er schon geringe Geschiebemengen liegen (2. Stadium). — Die Linth schneidet sich im Limmerntobel und in der Linthschlucht (hinter Linthal) heute noch kräftig ein, während die Tiefe der angeführten Schluchten bereites Zeugnis von einer bereits geleisteten Tiefenerosion ablegt. Von Tierfehd aber bis nach Glarus ist die Linth gerade noch imstande, das ihr von den seitlichen Wildbächen zugeführte Geschiebe fortzunehmen, von einer Vertiefung des Bettes ist nicht viel zu spüren. Auf der Strecke Glarus-Wesen aber hat der Fluss künstlich gestärkt werden müssen (Kanal), damit er seine Geschiebelast noch bis zum Walensee fortzuschleppen imstande ist.

In den Längstälern lassen sich die oben angeführten drei Stadien der Talbildung ebenfalls erkennen, nur sind sie weniger scharf ausgeprägt. — Im allgemeinen fließen in den Längstälern die Flüsse mit geringerem Gefälle, deshalb vertiefen sich die Längstäler langsamer und verlängern sich auch nur langsam nach rückwärts. Es werden deshalb

die Quertäler mit der Zeit die Längstäler überflügeln in der Weise, dass die erstern bei ihrem Rückwärtsgreifen die Längstäler anzapfen. Einige Beispiele mögen diese Behauptung verdeutlichen. Wem drängt sich nicht bei einem Blick auf die Karte (z. B. auf die neue Schulwandkarte der Schweiz) die Ansicht auf, das alte Rhonetal, als es noch nicht so vertieft war, wie es heutzutage ist, habe sich als Längstal einst noch weiter nach Westen über den Col de Balme, resp. Col des Montets, nach dem Chamonix fortgesetzt. Erst später bildete sich infolge Durchsägung der Berner Alpen durch einen nach dem Genfersee mit wildbachartigem Charakter abfließenden Fluss das Trouée von St. Maurice, das die Rhone zum Léman hinausleitete. Bei dieser Art zu sehen, erklärt sich dann zwanglos der auffällige rechte Winkel des Rhonelaufs bei Martinach. — Auch die merkwürdige Talgabelung bei Sargans, wo man ebenen Fusses aus dem Churer-Reintal entweder ins St. Galler Rheintal oder ins Seez-Walenseetal einschwenken kann, erklärt sich nur durch ein Zernagen der linken Einfassung des Rheintals durch nach dem Walenseegraben abfließendes Wasser.

Überhaupt findet zwischen allen Tälern ein Wettkampf um die Dränirung eines Flecks Erde statt. Diejenigen Täler, welche auf dem kürzesten Wege den Erosions-Nullpunkt, d. h. das Meer, einen See oder ein Haupttal erreichen, überwältigen ihre Nachbarn in der Weise, dass ihre Seitenbäche die Nachbartäler anschneiden und den betreffenden Talfluss in sich aufnehmen. Besonders zahlreich und augenfällig sind die Flussverlegungen in Graubünden. Nach Heim ist das Tal der Lenzerheide die ursprüngliche Fortsetzung des Oberhalbsteins. Ein rechter Nebenfluss des Hinterrheins fiel diesem damals in weit höherm Niveau liegenden Tal in die Flanke und leitete den Oberhalbsteiner Rhein durch eine Schlucht (Schyn) zum Hinterrhein hinaus. Das Tal unterhalb der Anzapfungsstelle wurde so trocken gelegt und blieb vor einer weitem Vertiefung bewahrt, während das Tal oberhalb der Anzapfungsstelle sich weiter entwickeln konnte. — Ebenso ist nach Heim das Vättiser-Tal ein verlorenes Stück Hinterrhein-Tal. Das Davoser Landwasser empfing einst die Wasser des obern Prättigaus, die Aare floss wahrscheinlich einmal über den Brünig, die Saane ins Simmental.

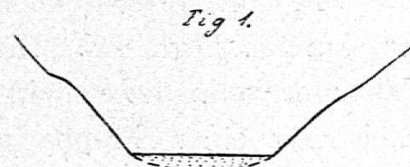
Besonders begünstigt in diesem Konkurrenzkampfe sind die Flüsse der Süd-Abdachung der Alpen, die, weil sie das Niveau des Meeres in weit kürzerem Laufe erreichen, ein rasches Gefälle haben. Sie schreiten erobernd nach N und verkleinern das Einzugsgebiet der nach Norden fließenden Alpenflüsse mehr und mehr. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass Reuss, Mittelrhein, Hinterrhein einst viel weiter nach S

gegriffen haben. Gotthard, Lukmanier, Bernhardin, Splügen sind nichts anderes als erhalten gebliebene Reste dieser alten Talböden, deren oberster Teil von Tessin, Blegno, Moesa, Liro, amputirt worden ist. — Sicher ist auch, dass das Engadin einst über die Maloja hinaus weiter nach W reichte, bis ihm die Meira die Quellbäche (im Val Marozzo) abschnitt und deren Wasser zum Comersee abführte. — Am erfolgreichsten im Kampfe um neue Einzugsgebiete war entschieden der Tessin mit seinen Nebenflüssen. — Er hat am stärksten die Wasserscheide nach N gedrängt und in den Alpenkörper die grösste Bresche gelegt.

Nachdem wir oben über die Richtung der Täler und ihre Fortbildung gesprochen haben, betrachten wir die Form des Quer- und Längsschnittes etwas genauer. Talstücke, die im ersten Stadium der Talbildung sich befinden, haben einen V-förmigen Querschnitt, der weiter talabwärts mehr und mehr nebenstehende

Form annimmt. Es gibt aber auch Täler, namentlich im Innern des Gebirges, welche einen U-förmigen Querschnitt aufweisen. Man nennt sie Trogtäler. Einen Querschnitt

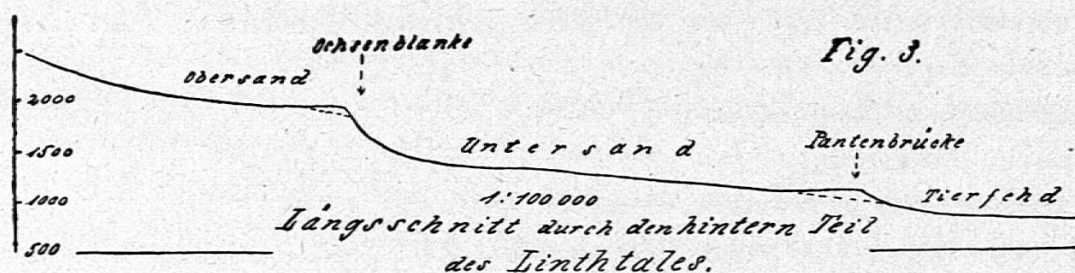
durch ein Trogtal, und zwar durch das glarnerische Sernftal, zeigt nebenstehende Figur 2. Das Gehänge eines solchen ist anfänglich sehr steil, fast senkrecht, erst in einer gewissen Höhe über dem Talboden wird seine Nei-



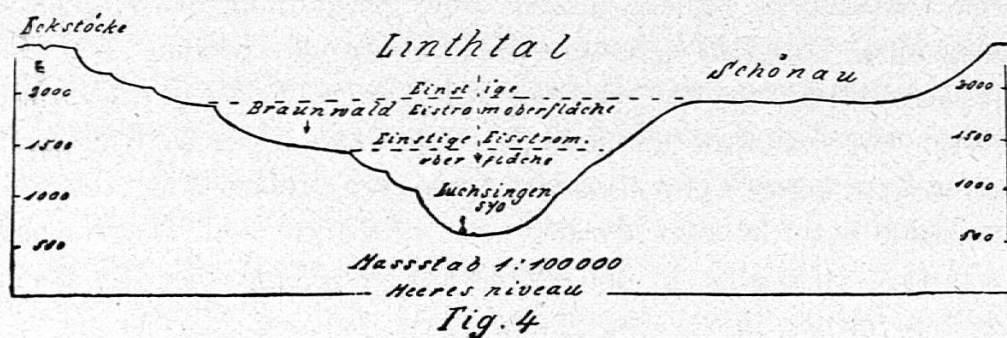
gung eine sanftere. Dieser U-förmige Querschnitt ist nun nicht bloss ein Werk des fließenden Wassers, wie die beiden ersten Querschnitte, sondern in seinem letzten Bildungsstadium das Ergebnis der abscheuernden Tätigkeit grosser Gletscherströme, welche zur Eiszeit unsere Alpentäler bis 1000 m über ihre jetzige Talsohle erfüllten. Da diese Eisströme langsam die von der vorausgegangenen Wassererosion geschaffenen, eckigen Talquerschnitte passirten, mussten sie abschleifend auf die Sohle und Gehänge wirken: sie vertieften und erweiterten die Wassertäler. — Da aber in den Seitentälern die Gletscher eine geringere Mächtigkeit hatten, als in den Haupttälern, so vertieften sie das Seitental in geringerem Grade als das Haupttal. Daher kommt es, dass in fast allen Alpentälern die Nebentäler nicht gleichsohlig ins Haupttal münden, sondern mit einer Stufe in dasselbe abbrechen. Der Fluss des Nebentales sucht diesen Gefällsbruch auszugleichen, indem er in den Stufenrand eine Schlucht einschneidet, die oft wild und unwegsam ist.

Beispiele hierfür sind: Val d'Hérens, Val d'Anniviers, Safiental, Avers (Fig. 5). — Alle unsere Alpentäler wurden zur Eiszeit von Gletschern durchflossen und erlitten durch sie eine Vertiefung („Übervertiefung“ von Penck), aber nicht in allen ist diese glaziale Erosion mehr gut zu erkennen. Da die untern Partien der alpinen Täler beim Rückzug der eiszeitlichen Vergletscherung früher eisfrei wurden, als die obern, so hat in jenen die postglaziale Wassererosion das glaziale Relief zum grössten Teil wieder zerstört. Je weiter wir aber in den Alpentälern aufwärts wandern, desto deutlicher zeigt sich uns die modellirende Tätigkeit der Gletscher, auf die wir später noch zurückkommen werden.

Eine auffällige Erscheinung im Querprofil der meisten Täler sind die Terrassen, und im Längsprofil die Talstufen. Die Terrassen sind ebene oder flachgeneigte Partien der Seitengehänge, die den Talboden, allerdings oft unterbrochen, in gesetzmässigem Abstände auf grosse Erstreckungen begleiten. Die Talstufen sind die einzelnen Abschnitte der Talsohle, wenn diese nicht gleichmässig nach aussen geneigt ist, sondern nach Art einer Treppe das Ausgangsniveau zu erreichen sucht. So treffen wir im Hintergrund des Linthtales die drei Talstufen von Tier-



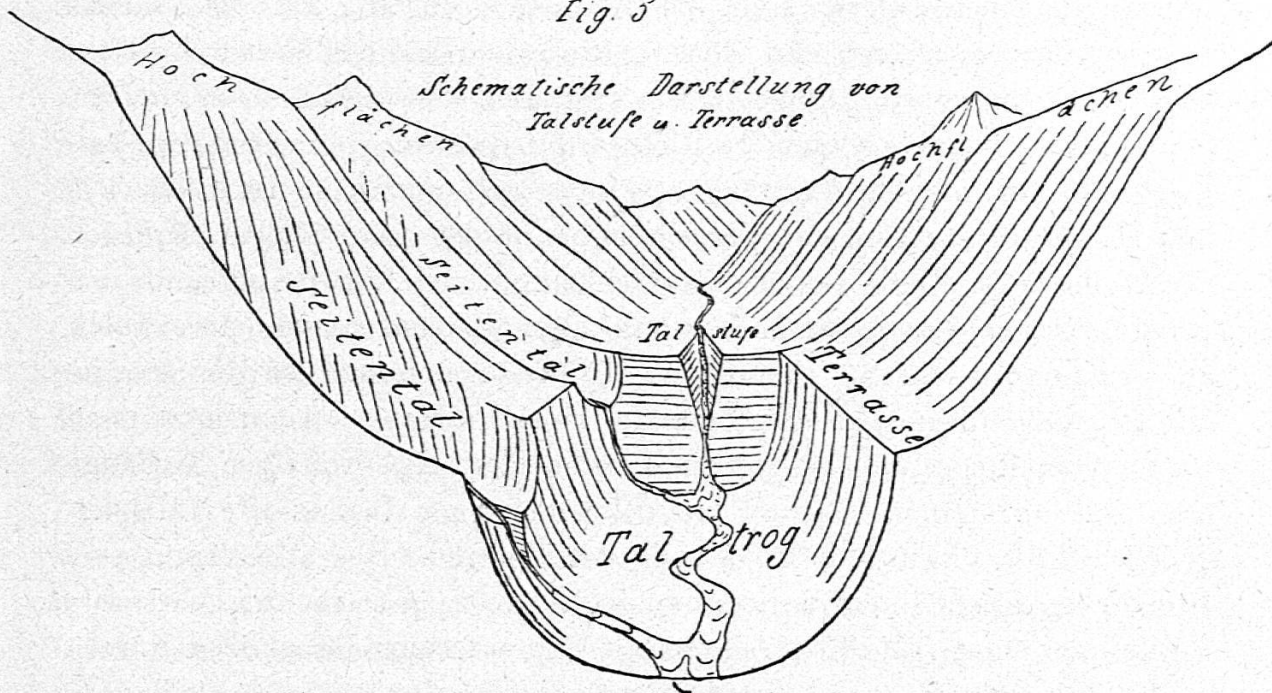
feld 819 m, Untersand 1100–1300 m und Obersand 1938 m (siehe Fig. 3), während als Terrassen zu erwähnen sind: Altenoren 1300–1400 m, Obbort 1100 m, Braunwald (Fig. 4). Altbekannt als Stufental ist das



Tal des Hinterrheins mit den drei Talstufen des Domleschg (700 m), Schams (1000 m) und Rheinwald (1400 m). Rüttimeyer hat zuerst die allgemeine Aufmerksamkeit auf die Terrassen gelenkt. Heim und sein Schüler Bodmer haben dann dieses Phänomen genauer verfolgt. Nach den Anschauungen dieser Autoren sind die Erscheinungen und ihre

Erklärung folgende: Talstufen und Terrassen stehen in innigem Zusammenhang in der Weise, dass eine Terrasse, wenn man sie nach rückwärts verfolgt, schliesslich in eine Talstufe übergeht. Talstufen und Terrassen müssen demnach ihre Entstehung einem und demselben Vorgang verdanken. Wenn man die Niveau-Verhältnisse einer Terrasse und der ihr entsprechenden Talstufe vergleicht, so findet man, dass Talstufe und korrespondirende Terrasse kontinuierlich nach Art einer Talsohle nach aussen geneigt sind. Deshalb sind Talstufe und entsprechende Terrasse als Reste eines frühern, höhern Talbodens aufzufassen, welche bei der Talvertiefung unversehrt erhalten blieben. Die Aus-

Fig. 5



grabung der Täler begann mit der Hebung der Alpen, doch erfolgte diese nicht ununterbrochen, sie machte Pausen. In diesen Pausen konnte das Talsystem den Zustand der Reife erreichen, d. h. die Täler vertieften sich nicht mehr, sie verbreiterten sich nur noch, das Flussgefälle glich sich aus. Plötzlich begann die Hebung von neuem; die Flüsse schnitten mit frischer Kraft in die breiten Talböden der greisenhaften Täler ein. Die Erosion machte sich besonders scharf im untersten Abschnitt der Täler geltend und schritt dann von aussen nach innen weiter. Soweit also die neue Erosion von aussen nach innen gegriffen hatte, soweit reicht der dieser Phase entsprechende neue Talboden. Dann folgt eine Stufe und auf derselben der Talboden der frühern Phase.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass der Grundgedanke dieser Auffassung richtig ist. Da die Talbildung zugleich mit der Erhebung der alpinen Scholle über das Meeresniveau beginnen musste, ist ein

anderer Vorgang kaum denkbar. Auch kann man sich gegenwärtig noch an vielen Stellen durch Augenschein von dem Vorgang überzeugen, wie der Talfluss einen frischen Erosionsgraben in den Talboden einschneidet und so diesen in zwei Terrassen zerteilt (Reusstal oberhalb Amsteg). Hingegen hat Richter¹⁾ gegen ein allzu konsequentes Anwenden dieser Theorie auf alle Terrassen mit Recht gewichtige Bedenken erhoben. Er gibt zu, dass die Existenz eines oder zweier älterer Talböden neben und über dem jetzigen in den meisten Alpentälern eine auffallende Erscheinung ist, die nicht bloss das Landschaftsbild beherrscht, sondern auch in anthropogeographischer Hinsicht von grösster Bedeutung ist. In manchen Tälern, z. B. im Rhonetal von Brig aufwärts, liegen die grossen Ackerfluren und Dörfer vorwiegend auf den Resten des alten Talbodens, das neue Rhonetal ist zum Teil eine ziemlich unwirtliche Schlucht. — So sicher nun für Richter die Existenz des vorletzten Talbodens in den meisten Alpentälern ist, so rasch nimmt für ihn die Sicherheit ab, wenn man versucht, aus den höher an den Talgehängen liegenden Terrassen noch ältere Talböden zu rekonstruieren. Ein Hauptgrund, den Richter gegen die Zusammenfassung aller Längsterrassen eines Tales, auch der höchsten, zu ehemaligen Talböden anführt, ist die enorme Breite, welche die Talsohlen gehabt haben müssten, wenn jetzt noch Reste von ihnen an den oberen Partien der gegenwärtigen Gehänge erhalten sein sollten. Richter leugnet keineswegs, dass es alte Talböden gegeben habe, die durch die Hebung des Alpenmassives allmählig in jene Höhe gekommen sind, in der man jetzt ihre Spuren sucht. Aber jede Vertiefung eines Tales hat auch eine Verbreiterung der ganzen Furche nach oben zur Folge, da der Neigungswinkel der Gehänge nicht über ein gewisses Mass (im Mittel 30°) hinauswachsen kann. Betrachtet man nun bei Bodmer (Terrassen und Talstufen der Schweiz) die Querschnitte, so findet man für die obersten Talböden Breiten von 6, 8, 10 km. Eine solche Talbreite ist nun undenkbar. Nur ganz grosse Flüsse in niedrigem Hügelland erzeugen Täler von solcher Breite (Donautal bei Wien 10—14 km). Dazu kommt noch, dass diese seitlichen Talbodenreste in dem langen Zeitraum, den das Tal zu seiner weitem Vertiefung brauchte, gewiss auch stark unter der Verwitterung hätten leiden müssen. Richter kommt so zum Schlusse, dass es nicht wahrscheinlich sei, dass man von Talböden, die 1000—2000 m höher lagen als die heutigen, noch eine Spur in Gestalt einer Längsterrasse finden soll. Hingegen befriedigt uns seine Erklärung der höhern Terrassen auch nicht ganz, wenn er meint, diese

¹⁾ Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen, 1900.

seien während der Eintiefung der Täler dadurch entstanden, dass eben an den Talhängen die Erosion nicht so stark wirkte, wie in der Talsohle, aber doch stärker als weiter im Gebirge drin, weshalb neben den Talsohlen ein Streifen höheren Niveaus entstehen konnte. Wir glauben vielmehr, dass die meisten von Richter angeführten höheren Niveaus zu der Formengruppe gehören, die wir in der Einleitung als Hochflächen bezeichnet haben, und für die wir, wie später ausgeführt werden soll, eine andere Entstehung annehmen.

Wir kommen noch mit einem Wort auf die Talstufen zurück. Wie wir oben gesehen haben, schreibt Heim die Entstehung der Talstufen (wie der Terrassen) der neu erwachenden, rückwärtsschreitenden Erosion zu. Es ist aber nicht gut vorstellbar, wie das Wasser so schroffe, gewaltige Absätze zu schaffen imstande wäre, wie die Ochsenblanke in der Sandalp im Hintergrund des Linthtales mit einer Sprunghöhe von 400 *m*. Man sollte eher meinen, bei dem neuen Einschneiden eines Baches in seinem Talboden müsse die neue Gefällskurve nach oben allmählig in die alte übergehen, ohne dass es zur Bildung eines scharfen Gefällsbruches (Absatz) käme. So befindet sich der Sernf im Kanton Glarus zwischen Schwanden und Engi noch im 1. Stadium, dem des Einschneidens, von Engi aufwärts im zweiten, ohne dass sich bei Engi eine Talstufe gebildet hat.

Es ist deshalb schon von mehreren Autoren betont worden, das Wasser schaffe ein Tal mit regelmässigem Gefälle. Wenn ein Tal gestuft sei, und es sind das fast alle Alpentäler, so sei diese Stufung nicht ein Werk des Wassers, sondern der Gletscher, die zur Eiszeit, wie schon oben erwähnt, alle Alpentäler bis zur Mündung ins Mittelland erfüllten. Baltzer hat in seinem Buche über den Glärnisch die Ansicht entwickelt, jede Talstufe entspreche einem Halt im Rückzuge des Gletschers. Soweit der Gletscher im Tal auswärts reichte, blieb der Talboden unzerteilt und unangeschnitten, vom Gletscherende an aber konnten die vereinigten Gletscherbäche erodieren. Da, wie wir an den heutigen Gletschern sehen können, die Erosionskraft des Gletscherbaches grösser ist, als die des Gletschers, so musste am Gletscherende ein Absatz entstehen. Gegen diese Erklärung der Talstufen erhebt Richter den Einwand, man müsste so viele stationäre Gletscherstände annehmen, als in einem Tale Talstufen auftreten, deren es in einem Tale oft drei, vier gibt, und diese stationären Zustände müssten jedesmal lange genug gedauert haben, um Talstufen von mehreren 100 *m* Sprunghöhe entstehen zu lassen. Überdies pflegen sich in den Hintergründen der Täler die Talstufen zu häufen, indem die Talböden kürzer werden und so die Stufen rascher aufeinander-

folgen. (Man nennt einen solchen gestuften Talhintergrund eine Kahrtreppe.) Richter meint nun, wenn man auch die Kahrtreppen auf die vorhin angeführte Weise erklären wollte, so würde die Zahl der hypothetischen Gletscherstände ins Aschgraue wachsen. Noch ein anderes schweres Bedenken hat Richter gegen die Baltzersche Erklärung der Talstufen: das sind die ununterbrochenen Schwankungen in der Länge, die wir an den gegenwärtigen Gletschern wahrnehmen und die wir auch für die eiszeitlichen und postglazialen Gletscher annehmen müssen. Richter behilft sich bei der Erklärung der Tal- und Kahrstufen mit der Annahme, dass ein Gletscher, wenn er ein Tal mit nicht ganz gleichmässigem Gefäll durchzieht, die Tendenz habe, die Ungleichheiten des Gefälles zu steigern. Diese Annahme ist eine sehr berechtigte, und entspricht der Tatsache, dass beim Schlitteln an Hängen mit wechselnder Neigung am Fusse der steilern Partien ganze Löcher mit der Zeit in den Boden hineingeschliffen werden. Sie erklärt auch die Erscheinung, dass oft am Fusse der Treppenabsätze sich Seebecken einstellen (rezente oder schon aufgefüllte). Aber es erscheint denn doch zu gewagt, aus dieser Wirkungsweise der Gletscher die Entstehung von scharf einsetzenden Absätzen der Talsohle von mehreren Hunderten von Metern Sprunghöhe erklären zu wollen. — Penck und Brückner erklären in ihrem soeben erscheinenden Werke: Die Alpen im Eiszeitalter, die Talstufen im Haupttale auf die nämliche Weise, wie die Stufenmündungen der Seitentäler durch eine verstärkte glaziale Erosion während der Eiszeit. Sie weisen darauf hin, dass die Talstufen des Haupttales sich fast immer etwas oberhalb der Einmündung bedeutender Seitentäler ins Haupttal befinden. An dieser Stelle aber musste die glaziale Erosion infolge plötzlicher Vermehrung der Gletschermasse des Haupttales durch die des Seitentales eine beträchtliche Steigerung erfahren. Obgleich diese Erklärungsweise sehr vieles für sich hat, scheint mir die Baltzersche Hypothese für manche Fälle doch auch zuzutreffen; denn wenn auch die Pencksche Anschauungsweise die beckenförmige Erweiterung und Vertiefung vieler Talpartien bei der Einmündung bedeutender Nebentäler glücklich erklärt (Innertkirchen, Guttannen, Handeck, Räterichsboden im Haslital), so versagt sie angesichts der Tatsache, dass hinten im Rhonetal der Rhonegletscher über einen Steilabsturz von etwa 300 m hinuntermuss, während das kleine Grattal, das nie einen bedeutenden Gletscher beherbergte, gleichsohlig mündet.

Bevor ich das Kapitel über die Täler schliesse, will ich noch mit ein paar Worten die Bedeutung derselben für die Menschen streifen.

Die Alpentäler, besonders die Quertäler, haben recht eigentlich die

Eigenschaft von Verkehrslinien. Da sie von aussen tief in das Gebirge eingreifen, so ermöglichen sie eine verhältnismässig leichte Traversierung der alpinen Erhebungsmasse. Für die Durchquerung der Alpen durch Eisenbahnen waren besonders wichtig die Täler des Tessin und der Reuss, welche sich auf einem Niveau von 1000 *m* bis 15 *km* nahekomen. Günstig ist auch die Gegend des Simplon, da das untere Rhonetal bereits einen Teil der Alpen durchbrochen hat. Noch leichter würde sich die Traversierung der westlichen Schweizer Alpen gestalten, wenn eines der Berner Oberland-Täler, z. B. das Kandertal, das Rhonetal in gleicher Weise angezapft hätte, wie das Quertal von St. Maurice es tut. Da dies nicht der Fall ist, muss mit der Untertunnellirung der Berner Alpen (siehe Lötschberg- und Wildstrubel-Projekt) eine möglichst direkte Verbindung des westlichen Teiles des schweizerischen Mittellandes mit der Po-Ebene gesucht werden. Für den östlichen Teil der Schweizeralpen wurde schon vielfach eine Lukmanier-, Greina- und Splügenbahn erörtert, während die Albula-Bahn bereits erstellt worden ist. Vorläufig ist aber die letztere noch keine durchgehende Bahn. Am rationellsten von diesen östlichen Alpenbahnen wäre die Splügenbahn.

Gegenüber den Schienenanlagen treten die Alpenstrassen immer mehr zurück. Die Alpenstrassen benutzen die Sättel in der Kammlinie des Gebirges, welche oft Reste alter Hochtäler sind. Von diesen Sätteln haben die Quersättel eine ungleich grössere Bedeutung als die Längssättel, da erstere eine Traversierung der Alpen und damit einen internationalen Verkehr ermöglichen. Je geringer die Sattelhöhe ist und je gangbarer die beidseitigen Zugangstäler sind, desto grösser ist die Wichtigkeit des Passes für den Verkehr. Grosser St. Bernhard, Splügen und Julier waren schon zur Römerzeit wichtige Verkehrslinien, während der Gotthard erst später seine Bedeutung erhielt. Die Täler sind aber nicht bloss die Wege für das menschliche Wandern; sie sind auch die Stätten für das menschliche Leben. In ihnen findet die reiche Pflanzenwelt der Ebenen bis tief ins Gebirge hinein die Bedingungen des Bestehens, und ermöglicht so die Bewohnbarkeit des Alpengebirges. Infolge der reichen und intensiven Durchtalung sind die Alpen das bevölkertste Hochgebirge.

II. Die Hochflächen.

Wenn wir an den Seitenhängen der Alpentäler in die Höhe steigen, so haben wir im allgemeinen ganz bedeutende Neigungen zu überwinden bis zu 30° und darüber. Von einer bestimmten Höhe an aber wird die Neigung des Hanges eine unerwartet sanfte, m. a. W., der steilgeneigte Talhang geht in eine sanftgeneigte Hochfläche über (Fig. 4 u. 5). Diese

Hochflächen begleiten bald das Tal als hochgelegene, breite Terrassen (Urserental), bald sind sie als selbständige Vorberge entwickelt, die zwischen der Talfurche und dem etwas weiter zurückliegenden Hauptkamm vermitteln. (Ärnengalen, Schafgalen im obern Rhonetal). In den Glarner Alpen beginnt diese Region der Hochflächen bei 1500—1800 *m* (Fig. 4). Von dieser Höhe an bauen sich die Hochflächen, die mit Hochtälern abwechseln, stufenförmig übereinander gelagert bis 3000 *m* und mehr auf. Die untern Hochflächen tragen Alpweiden, die obern Firn, welcher in den Hochtälern sich sammelt und als Gletscher in denselben abwärts fließt. Richter widmet in seinen „Geomorphologischen Untersuchungen in den Hochalpen“ den Firnfeldern einen sehr ansprechenden Abschnitt. Er schreibt das Entstehen von ausgedehnten Firnfeldern dem Fehlen der Wassererosion einerseits und dem Zurückwittern der einfassenden Grate und Gipfel anderseits zu. Was den ersten Punkt, das Fehlen der Wassererosion anbelangt, so bemerkt er, dass unter den Firnfeldern wohl jetzt die Wasserarbeit ruht, dass aber dieselbe nicht zu allen Zeiten ausgeschlossen gewesen ist. Die Firnfelder repräsentieren sich vielmehr als nach hydrographischen Gesetzen angeordnete Hochtäler mit Stufenbau. Man vergleiche das Tal des Aletschgletschers mit seinen radienartig auf den Konkordiaplatz einmündenden Firnhochtälern. Da die Gletscher- und Firntäler sich genau in derselben Weise verzweigen, wie die Wassertäler, so folgt, dass vor Eintritt der Verfirnung das fließende Wasser hier tätig gewesen ist. Als dann das Alpengebirge bis zu einer bestimmten Höhe in die Schneeregion eintauchte, hörte in den oberen Teilen der embryonalen Täler die Talvertiefung auf, während sie unterhalb der Schneegrenze weiter fortschritt. Infolgedessen musste an der Stelle der Schneegrenze ein gewaltiger Gefällsbruch entstehen, m. a. W., das Firntal fällt mit einem Absturz ins Wassertal ab. Da aber die Schneegrenze nicht immer die gleiche Lage besass, sondern bald eine höhere, bald eine tiefere, so musste in den Hochtälern ein Stufenbau, auf den Hochflächen ein Terrassenbau entstehen, m. a. W., die Stufen der Hochtäler, tragen sie jetzt noch Firn oder nicht, sowie die Terrassen in der Hochflächenregion, sind sie gegenwärtig Firnfelder oder Alpweiden, sind Marken langandauernder Stände der eiszeitlichen Schneegrenze. Einer gewaltigen Stufe entspricht ein lange dauernder Stand der Schneegrenze, einer wenig hohen ein kurz anhaltender.

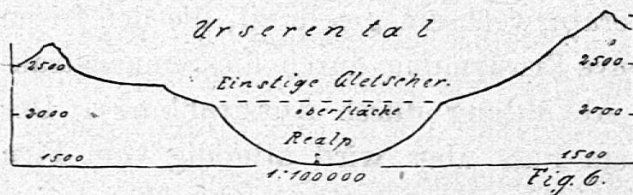
Wir haben oben ohne weiteres Firnfelder und Alpweiden in einen Tiegel geworfen, was noch eines Wortes der Rechtfertigung bedarf. Unsere Alpweiden waren bis vor verhältnismässig kurzer Zeit (in der Eiszeit) ebenfalls Firnfelder. Beweise für diese Behauptung sind einmal

die rundlichen Oberflächenformen und die Moränen, sodann die geringe Zerteilung, die nur bei einem Fehlen der Wassererosion möglich wurde.

Was den zweiten Faktor bei der Entstehung von Firnfeldern, das Zurückwittern der Felseinfassung anbelangt, so hat Richter in seiner vorhin erwähnten Arbeit einige wahrhaft feine Beobachtungen niedergelegt. Er schreibt: Überall, wo ein Felsgrat aus dem Firn herausragt oder zur Zeit eines tiefern Firnstandes herausragte, ist ein Gefällsbruch. Die von der Verwitterung abgesplitterten Stücke fallen von der Wand in den Schnee. Hier werden sie eingeschneit und abgeführt. Der vom Firn bedeckte Fuss der Felswand aber wird erhalten. Er ist durch die Firndecke vor den rapiden Temperaturwechseln geschützt, die den freien Fels heimsuchen (am Tage intensive Erwärmung durch die Sonnenstrahlung, während der Nacht starke Abkühlung durch Ausstrahlung). Der Grat zersplittert und zerfällt, sein Fuss aber wird allmähig vom Firn verschlungen. So bildet sich durch das Zurückwittern der Wand eine schiefe Ebene am Fusse derselben, welche vom Firn in Besitz genommen wird. Auf diese Weise vergrössert also das Firnfeld beständig seine Fläche auf Kosten der Felsumrahmung. Schliesslich kann dieser Prozess bis zur vollständigen Vernichtung jeder Felseinfassung führen, dann ist aus dem anfänglichen Tal eine Hochfläche geworden.

Hier ist nun der Ort, wieder auf die im 1. Kapitel erwähnten höhern Niveaus an den Seitenhängen der Täler (Terrassen, Vorberge) zurückzukommen, die Richter nicht als Terrassen im Sinne Rüttimeyers und Heims aufgefasst wissen will, für die er aber auch keine befriedigende Erklärung gebracht hat. Wir fassen jene hohen Terrassen und breitrückigen Vorberge, wie sie sich im Rhonetal oberhalb Brig, aber auch in allen Alpentälern von einer gewissen Höhe an, finden, auf als durch Verwitterung entstanden während einer Zeit, da sie noch in der Schneeregion lagen, also in der Eiszeit. Während derselben waren die Talfurchen mit mächtigen Eisströmen erfüllt, deren Oberfläche 1000—1500 *m* über der heutigen Talsohle lag (Beweise hiefür sind die Moränenzeilen und erratischen Blöcke, welche man in 1000—2000 *m* Höhe an den Talhängen findet). Die Schneegrenze lag während dieser Zeit erheblich tiefer als die Oberfläche der Eisströme (bei zirka 1300 *m* am Alpenrand); folglich waren alle Seitentäler verfirnt. Die Einfassung derselben, d. h. die trennenden Gräte, mussten nun beständig [schwinden infolge der Verwitterung der Felswände einerseits und der Abführung der Trümmer durch den Firn und Gletscher anderseits. Dieses Zurückweichen der Gräte ging aber nicht bloss am Rande des Firnes oder Gletschers des Seitentales vor sich, sondern naturgemäss auch am Saume der Eisstromoberfläche des

Haupttales. Es erweiterten sich also die Hochtäler immer mehr und mehr, während gleichzeitig im Niveau der Eisstromoberfläche sich eine breite Firnterrasse am Hange des Haupttales bilden musste. Der vom Eise eingenommene Teil des Querschnittes des Haupttales hingegen wurde durch die abschleifende Tätigkeit des Gletschers, welche in den untern Partien des Querschnittes am stärksten war und nach oben immer geringer wurde, vertieft und erweitert. Durch diese beiden Vorgänge: Erweitern und Vertiefen durch das fließende Eis, Zurückweichen des Hanges im Niveau der Eisstromoberfläche durch Verwitterung erklärt sich der eigentümliche Querschnitt der meisten Alpentäler, der aussieht



wie ein grosses U, in dessen Boden ein kleines u eingesetzt ist (vergleiche nebenstehenden Querschnitt durch das Urserental).

Die Region der Hochflächen weist eine äusserst charakteristische Detailform auf: das Kahr. „Kahre sind Nischen an den Gehängen, die rückwärts meist von steil ansteigenden Felswänden begrenzt sind und sich nach vorwärts in stattlicher Breite gegen das viel tiefer eingeschnittene Tal öffnen. Die in halbkreisförmiger bis hufeisenförmiger Krümmung verlaufende Wand der Nische, die Kahrwand, umrandet einen breiten Kahrboden, welcher durch eine häufig steil abfallende Stufe vom Boden des benachbarten Tales getrennt ist. Er steigt bald ziemlich steil an, bald ist er wannenförmig vertieft und birgt dann in der Regel einen See. Grosse Kahre haben meist einen abgestuften Boden. Manchmal ist dann jede Stufenfläche wannenförmig vertieft und trägt bei undurchlässigem Gestein einen See. Solch grosse Treppenkahre können von den abgestuften Talschlüssen, welche im Gletschergebiet recht häufig sind, nicht mehr scharf unterschieden werden.“ (Penck u. Brückner, Alpen im Eiszeitalter.)

Die gegenwärtig vorhandenen Kahre zerfallen in zwei Gruppen: in solche, die noch jetzt Firn- oder Gletschereinlagerung besitzen und in solche, die jetzt alljährlich schneefrei werden, jedoch die Spuren einstiger Vergletscherung aufweisen. Zur erstern Gruppe (aktive Kahre) gehören z. B. die Hochtäler des Cavirolas-, Fluaz- und Meergletschers in den Glarner Alpen. Zur zweiten Gruppe (inaktive Kahre) zählen das Hochtal des Muttsees und der drei Murgseen (Treppenkahr) in den Glarner Alpen, der Zirkus des Öschinensees in den Berner Alpen, die vielen kleinen Seen der Tessiner Alpen.

Richter schreibt die Entstehung der Kahre der Kombination

der transportierenden und abschleifenden Tätigkeit einer lokalen Firnansammlung einerseits und der Zerstörung der Wände durch die Verwitterung anderseits zu. Er denkt sich den Vorgang in folgender Weise vor sich gehend: Als die Alpen in die Schneeregion eintauchten, mussten sich an geeigneten Orten, z. B. an dem Vereinigungspunkt der radial zusammenlaufenden Anfänge der präglazialen Wasserläufe Schneeanhäufungen bilden. Die Schneeanhäufung bewegte sich nun vermöge ihres Eigengewichtes langsam aus ihrer Hohlform heraus, wobei sie den Boden abschliff und den von den Seiten abwitternden Schutt in Form von Grund- und Oberflächenmoränen aus der Hohlform herausführte. Infolge des letztern Vorganges konnten die Seiten nicht von Schuttkegeln verhüllt werden, sondern sie blieben im Gegenteil immer der Verwitterung ausgesetzt. Sie mussten mithin zurückweichen, und zwar wird dieses Zurückweichen schneller vor sich gehen, als die Vertiefung des Kahrbodens durch den Eisschliff. Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass Kahre nur oberhalb der Schneegrenze sich bilden können. Wenn wir heute auch in tiefern Lagen Kahre finden, so ist das nur ein Beweis, dass sich die Lage der Schneegrenze geändert hat.

Der Leser wird aus obigen Ausführungen die Ansicht gewonnen haben, dass Firnfelder, Hochterrassen und Kahre ihre Entstehung einem und demselben Vorgang verdanken: der Verwitterung, bei Wegtransportierung der Verwitterungstrümmer durch Firn oder Gletscher.

Die Region der Hochflächen ist auch reich an kleinen Seen und wir wollen noch, bevor wir dieses Kapitel schliessen, mit einigen Worten auf sie und dann auf ihre grössern Kollegen im Tale zu sprechen kommen. Viele der Hochseen hängen enge mit der Kahrbildung zusammen. Da die Kahre kesselförmige Hohlformen sind, so wird sich in denselben, besonders an der Rückwand, aussergewöhnlich viel Schnee ansammeln, da an den Kahrwänden kein Schnee haften kann. Dieser lehrende Schneekegel wird infolge seines Gewichtes aus dem Kahr herausgedrückt, indem sein Fuss sich nach vorwärts schiebt, wobei der Kegel eine immer weniger steile Lage annimmt. Je flacher nun der Kegel zu liegen kommt, desto mehr nimmt der Druck am Fusse des Kegels ab, indem sich das Gewicht der Schneemasse auf eine grössere Standfläche verteilt. Es werden also die Partien des Kahrbodens nahe der Hinterwand, entsprechend der ursprünglichen Standfläche des Schneekegels, in stärkerer Weise abgeschliffen als die vorderen Partien. Der Kahrboden wird immer weniger geneigt, dann einmal wagrecht und schliesslich sogar beckenförmig werden. Das so geschaffene Becken wird dann nach dem Rückzug der Schneegrenze in höhern Niveaus zum See werden. Auf

diese Weise müssen in den Alpen eine ganze Anzahl kleiner, in Kahren gelegener Seen entstanden sein, z. B. Murgseen, Milchspülersee, Muttensee, Oberblegisee (z. T.) in den Glarner Alpen. Andere Seen, welche schon in eigentlichen Hochtälern liegen, sind entstanden dadurch, dass im Hintergrund ihres Tales die Gehängegletscher radienartig zusammenstiessen und so in ihrem Vereinigungspunkte auf dem Talboden eine stärkere Einwirkung ausübten. Auf diese Weise erkläre ich die Entstehung des Öschinensees, des Engstlensees, des Lucendrosees. Wieder andere Seen sind dadurch charakterisirt, dass sie auf der Stufenmündung eines Hochtales ins Haupttal liegen, wie der Gelmersee im obern Haslital, der Ritomsee auf Piora. Ihre Entstehung erkläre ich mir dadurch, dass hier der Seitentalgletscher sich gewissermassen auf den Haupttalgletscher hinaufschieben musste. Infolgedessen verlor der Seitengletscher gegen die Mündung seines Tales hin die Fähigkeit, seine Talsohle so abzuschleifen, wie weiter hinten; es musste sich ein Riegel bilden, der nach dem Schwinden des Gletschers die Talwasser zu einem See staute. Viele Seen in den Kalkalpen sind auch Dolinenseen, entstanden dadurch, dass das Wasser eines Tales oder eines Plateaus in Klüfte des Kalkgesteins versiegte und mit der Zeit nach diesen Klüften eine trichterförmige Hohlform auslaugte, die nachträglich gedichtet wurde, z. B. durch Moränenlehm. Dolinenseen, ganz oder zum Teil, sind der Spannegg- und Talsee im Mürtschenstockgebiet, der Melchsee. Von den in eigentlichen Tälern liegenden Seen sind die meisten Abdämmungsseen, abgedämmt durch Bergstürze (Klöntalersee), Schuttkegel der Seitenbäche (Silsen-, Silvaplannersee), Gletscher (Märjelen- und Mattmarksee). Eine besondere Stellung unter den Talseen nehmen die alpinen Randseen ein, sowohl hinsichtlich der Grösse als auch der Entstehung. Rüttimeyer und Heim dachten sich diese Wasserbecken entstanden durch Bewegungen des Bodens, die der Bildung der Täler nachfolgten und eine Verbiegung der Talsohlen zur Folge hatten. Ihnen gegenüber schreiben Penck und Brückner die Entstehung der Wannen unserer grössten und schönsten Seen dem Erosionsvermögen der eiszeitlichen Gletscher zu: Soweit der Gletscher während eines Zeitraums reichte, schloß er seine Unterlage ab, während an seinem Ende der Boden durch die Ablagerungen des Gletschers vor Abtragung geschützt war; mithin musste unter der Gletscherzunge ein Becken entstehen, das nach dem Rückzuge des Gletschers von Wasser erfüllt wurde. Auch ich halte unsere Randseen und zwar sowohl die auf der Nord-, wie die auf der Südseite, für Wannen, entstanden durch die Gletschererosion im Eiszeitalter. Nur möchte ich nicht alle als Zungenbecken betrachtet wissen. Für eine ganze

Anzahl unserer Schweizerseen ist es charakteristisch, dass sie am Knotenpunkt zweier Täler liegen und so eine ertrunkene Talgabel darstellen oder doch früher darstellten, ehe der eine Ast durch die Anschwemmungen des Zuflusses zu einer Schotterebene aufgefüllt wurde. Die ertrunkene Talgabel wird auf der Nordseite unserer Alpen am besten repräsentirt beim Vierwaldstättersee durch die Becken des Urnersees (Reusstal) und Gersauersees (Engelbergeraatal). Reusstal und Engelbergeraatal mündeten einst bei Brunnen zusammen und ihre gemeinsame Fortsetzung ging ungefähr in der Richtung ihrer Diagonale über Brunnen, Goldau nach dem Zugersee. In der Eiszeit trafen sich an der Gabelstelle bei Brunnen zwei Eisströme, die beim Passiren der verhältnismässig engen Gabelstelle sich rückwärts aufstauen mussten. Infolge der Aufstauung aber mussten die Talsohlen der Zuflusstäler direkt oberhalb der Gabelstelle beckenförmig vertieft werden. Die Aufstauung konnte schliesslich einen solchen Grad erreichen, dass ein Teil der gestauten Masse über den tiefsten Punkt der Talwandung des westlichen Zuflusstales (beim Vierwaldstättersee also zwischen Bürgenstock und Rigi) nach dem Nachbar-tale (Kreuztrichter) abfloss. Hier traf aber dieser Abfluss wieder auf seinen Talgletscher (denjenigen des Sarnertales, der nach Küsnacht floss, und es mussten neuerdings kolkende Kräfte in Wirksamkeit treten. Es würde hier zu weit führen, jedes Detail in der Morphologie des Vierwaldstättersees im speziellen und der Randseen im allgemeinen auf Grund obiger Theorie zu verfolgen; es muss das einer Abhandlung in einer Fachzeitschrift vorbehalten bleiben. Nur möchte ich noch übersichtsweise anführen, dass nach meiner Ansicht der Genfersee an der Gabelstelle von Rhonetal und Arvetal liegt; die diagonale Fortsetzung dieser beiden Täler wurde gebildet durch die Furche, in welcher die Jura-Simplon-Bahn vom Genfer- zum Neuenburgersee fährt. Der Brienzersee liegt im westlichen Ast der Talgabel Lütischental-Haslital, das entsprechende Diagonaltal ging über den Brünig. Der Thunersee steht zum Brienzersee genau in derselben Beziehung, wie das Becken von Vitznau zu demjenigen von Gersau. Der Walensee ist charakterisirt durch seine Lage in einem Tale, das sich mit dem Linthtal zum Diagonaltal Ziegelbrücke-Uznach zusammensetzt. Dieses Diagonaltal ging einst in höherem Niveau zum Glatttal und erst nachträglich folgte seine Ablenkung nach Westen ins Tal der Sihl (heutiges Zürichseetal). Besonders beweisend für meine Anschauungsweise liegen die Verhältnisse beim Langensee. Derselbe besteht aus zwei Becken in verschiedenem Niveau. Das höhere Becken von Locarno knüpft sich an die Konfluenzstelle von Tessintal und Maggiatal, deren Diagonaltal über den Monte Cenere ging. Wie

überall, wurde auch hier nachträglich die Talgabel im westlichen Ast geöffnet, und der dilluviale Eisstrom floss in das Tal der Vedasca ab, das mit dem Tosatal bei Pallanza zusammenlief. Wir sehen somit aus diesen Andeutungen, dass die meisten der grossen Alpenseen bedingt sind durch den frühern Verlauf der Talfurchen. Dieser Verlauf schrieb den eiszeitlichen Gletschern den Weg vor, und diese mussten beim Passiren der Täler sich gegenseitig in ihrem ruhigen Gange stören. Die Seebecken liegen nun nach meiner Ansicht an den Stellen stärkster Störungen. Die Störungen waren aber am grössten da, wo zwei Gletscher zusammenkamen und sich durch ein enges Diogonaltal zwängen mussten, ferner da, wo ein Gletscher aus einem höherliegenden Becken in ein tieferliegendes abfloss, und endlich auch da, wo ein Eisstrom in eine Talfurche eintreten musste, die mit seiner ursprünglichen Richtung einen Winkel bildete.

III. Die Gipfel.

Wie wir im Vorstehenden gesehen haben, bezeichnet die untere Begrenzungslinie der Hochflächenregion einen Gefällsbruch. Aber auch die obere markirt einen solchen, und zwar wird hier der Neigungswinkel der Gehänge wieder grösser; wir gelangen in die Region der Gipfel und Gräte.

Die Lage hoher Gipfel ist hauptsächlich abhängig von der Anordnung des Talnetzes. Die höchsten Gipfel der Alpen stehen fast ausnahmslos an den Verknotungen der Kämme, denn hier konnte die Erosion des fliessenden Wassers am wenigsten Erfolge erringen. Auch die Talstanz ist wichtig. Nur wenn diese gross ist, kann sich zwischen den beiden Tälern eine aussergewöhnlich hohe Kette erheben, wie die Kette der Mischabelhörner zwischen Nikolai- und Saastal. Ist nämlich die Entfernung der beiden Täler nur eine geringe, so wird bei der Vertiefung derselben auch die Höhe der trennenden Kette bald abnehmen müssen, weil sonst der Neigungswinkel der Gehänge zu gross werden müsste. — Dann hängt es aber manchmal auch mit einer grössern Härte der betreffenden Felspartie und der dadurch bedingten grössern Widerstandskraft zusammen, dass einzelne Gipfel ihren Nachbarn gegenüber sich höher zu erhalten vermochten.

Die Form der Gipfel wird namentlich von zwei Faktoren beeinflusst: Verwitterung und Gesteinsart.

Die Verwitterung arbeitet am intensivsten in der Schneeregion. Da unsere Gipfel gegenwärtig oder dann doch zur Eiszeit mehr oder minder stark in die Region des ewigen Schnees eintauchen bzw. eintauchten, so wird ihre Gestalt mehr oder minder von der Verwitterung abhängen

müssen. Diese dringt namentlich durch die Kahrbildung gegen die von der Wassererosion verschont gebliebenen Felspfeiler vor. Wir sehen denn auch, dass eine ganze Anzahl von Gipfeln ihre Form der Grösse und Anzahl der Kahre an ihren Flanken verdanken. Schöne Beispiele hiefür liefert die Kette des Hausstocks in den Glarner Alpen. Auf beiden Seiten des Kammes liegen Kahre. Wo die Rippen, die sie trennen, den Kamm treffen, stehen Gipfel. Es sind mehr oder minder regelmässige Drei- oder Vierkanter, je nachdem drei oder vier Grate zusammenlaufen. Je nachdem die Kahre gleich oder verschieden hoch liegen, werden die Gipfel einseitig oder regelmässig gebaut sein. Von bekannten höhern Gipfeln gehören hieher: Das Weisshorn bei Zermatt mit den Kahren des Bies-, Schalliberg- und Weisshorngletschers, das Bietschhorn (Jägifirn, Bietschfirn, Nestfirn). Im allgemeinen ist diese Form in den niedern Ketten häufiger als in den hohen; denn in den niedern Ketten konnten sich die Kahre viel ungestörter und regelmässiger entwickeln. — Von regelmässigen Formen kann man in den hohen Gruppen noch die des Zweikanters, der eigentlichen Gratspitze, anführen, für welche das Finsteraarhorn ein Beispiel liefert. — Die grössten und höchsten Spitzen können nicht mehr mit geometrischen Körpern verglichen werden. Es sind sehr umfangreiche, kompliziert gebaute Massive. Beispiele hiefür sind Monte Rosa, Mischabelhörner, Montblanc, Aletschhorn, Grand Combin. Ursachen ihrer aussergewöhnlichen Höhe und Massigkeit sind einmal ein breiter, unzerteilter Sockel, sodann die starke Verfirnung, welche wohl hier am längsten schon mit ihrem schützenden Schneemantel den Felsen vor den Angriffen der zerstörenden Agentien geschützt hat. Denn man muss wohl auseinanderhalten die Wirkungsweise eines zusammenhängenden Firnmantels und die lokaler Firnansammlungen in Kahren. Ersterer konserviert das Gebirge, letztere aber sind die Träger der Verwitterung. „Die Kahre sind aber nichts anderes als die durch die Eiseinlagerung fortgebildeten präglazialen und interglazialen Wasserfurchen. Bei einem Monte Rosa oder Montblanc aber ist sozusagen keine Spur von prä- oder interglazialen Wasserformen zu bemerken. Grosse breite Wände mit zahlreichen Stufen überwiegen dort, wo nicht der Firn in breiten Strömen und Kaskaden herunterwallt. Die erste Form — die gestufte Wand — zeigt z. B. die Ostseite, die zweite — den Firnmantel — die Westseite des Monte Rosa. Wir schliessen daraus, dass diese Gipfel wohl auch in den Interglazialzeiten verfirnt waren. Gänzliche Verfirnung aber schützt den Gesteinskörper vor den Angriffen greller Temperaturwechsel. Ist ein Gebirge aber gerade noch hoch genug, um in die Schneeregion einzutauchen, so trägt es bloss eine lokale Verfirnung, die Veranlassung

zur Kahrbildung und damit zur Zerstörung des Gesteinskörpers gibt. Schon lange ist erkannt, dass die Zertrümmerung und Abtragung der Felsen dort am stärksten ist, wo die Temperatur am häufigsten um den Nullpunkt schwankt; das ist aber nur im untern Gürtel der Schnee-region der Fall. Die Tatsache, dass in den tiefern Teilen der Schnee-region die Gebirgszerstörung rascher vor sich geht, als in den höhern, bewirkt, dass hohe Gipfel sich lange erhalten, während ihre etwas niedrigeren Nachbarn schneller der Zerstörung anheimfallen. Es bildet sich infolgedessen um den hohen Gipfel eine Denudationsfläche, die ungefähr die Höhe der Schneegrenze hat und bewirkt, dass sich der hohe Gipfel je länger, desto isolirter heraushebt. Man vergegenwärtige sich das Bild des Matterhorns. Zugleich aber rücken die Flanken des Gipfels näher zusammen, d. h. der Gipfel wird immer schlanker. Die Reduktion von der Seite bei Erhaltung der Gipfelhöhe wird schliesslich den Berg so schlank machen, dass sich keine Firnhaube mehr auf seinem Scheitel halten kann. Dann muss natürlich ein rapider Zerfall eintreten, bis endlich der Gipfel unter der Firnbedeckung der Denudationsebene der Schneegrenze verschwunden ist.“ (Richter, Geomorph. Beob. in den Alpen.)

Wir haben aus den erwähnten lichtvollen Ausführungen Richters ersehen können, dass die Hauptlinien der Architektur eines Gipfels von der Angriffsweise der Verwitterung und ihrer Intensität abhängen. Aber auf die Linienführung hat auch die Gesteinsart Einfluss; sie macht den Stil des Gipfels. „So bilden die kristallinen Schiefer meist spitze Gipfelpyramiden oder breitgewölbte Dome, die Kalke dagegen wildgezackte und zerrissene Grate oder breite klotzförmige Massen mit senkrechten Abstürzen, die oft von wunderbar geformten Pfeilern und Türmen begleitet sind. (Sievers, Europa.) Kommt dann noch der Umstand hinzu, dass der Gebirgsstock, wie es in den Kalkalpen so häufig der Fall, nicht in seiner Masse aus gleichförmigem Gestein besteht, sondern aus einem Wechsel von härtern und weichern Lagen, die alle möglichen Stellungen einnehmen können, so ist einleuchtend, dass die Variationen, welche die reinen Verwitterungsformen erleiden, ins Unendliche gehen.

Schluss.

Lassen Sie mich zum Schlusse die Vorgänge, welche die jetzige Gestalt des Alpengebietes herbeiführten, resümieren. Die Modellierung begann schon in dem Augenblick, als die ersten Falten des Alpengebirges aus dem Weltmeer auftauchten und sie hat seither nie mehr geruht. Zuerst wirkte das fliessende Wasser. Die atmosphärischen Nie-

derschläge flossen nach bestimmten, durch den Bau der alpinen Erhebungsscholle bedingten Richtungen ab. So entstanden Furchen, welche im Verlaufe grosser Zeiträume durch Vertiefung und Verbreiterung zu Tälern wurden. Durch die Durchtalung wurde die alpine Gebirgsmasse in Einzelmassen (Ketten) aufgelöst, sie wurde gegliedert. Unterdessen hatten sich aber die Falten so hoch gestaut, dass die höchsten Teile des Gebirges in die Schneeregion eintauchten. Dadurch entstand eine ungleiche Weiterbildung der einzelnen Berg- und Talformen, indem die Täler, welche jetzt über die Schneegrenze zu liegen kamen, sich nicht mehr stark vertieften, sondern infolge der Firneinlagerung rasch verbreiterten. Es entstanden aus den rinnenförmigen Wassertälern die schüsselförmigen Firntäler und nischenartigen Kahre. Diese Verbreiterung der Täler konnte aber nur auf Kosten der die Täler trennenden Bergketten stattfinden. Letztere erlitten deshalb in der Höhe der Schneegrenze einen Substanzverlust, d. h. es kam oberhalb der Schneegrenze zur Grat- und Gipfelbildung. Als dann zur Eiszeit die Schneegrenze sank, musste der weitaus grösste Teil unseres Alpengebietes in die Schneeregion zu liegen kommen. Infolgedessen füllten sich alle Alpentäler mit mächtigen Gletschern, welche noch weit aus denselben ins schweizerische Mittelland hinausreichten. Die Wassererosion hörte so fast vollständig auf, dafür aber erlitten die Täler durch die in ihnen fliessenden mächtigen Eisströme eine weitere Ausgestaltung; sie wurden zu Trögen ausgeschliffen. Über der Eisstromoberfläche aber konnte die Verwitterung arbeiten; sie schuf an den aus dem Eisstrom sich erhebenden Hängen die breiten Verwitterungsterrassen in der Höhe der Eisstromoberfläche welche den Talquerschnitt so charakteristisch umgestalteten. Da die kleinen Seitentäler von ihrem Gletscher nicht so stark vertieft wurden, wie das Haupttal, so musste die Mündung der erstern immer höher über die Sohle des letztern zu liegen kommen. Als dann die Schneegrenze sich wieder hob, zogen sich die eiszeitlichen Gletscher immer weiter nach oben zurück bis in die Schlupfwinkel, in welchen wir sie heutzutage treffen und die vorhin vom Eis erfüllten Täler wurden wieder der Wassererosion geöffnet. So ist also in letzter Ursache das Wasser, sei es in flüssiger oder fester Form, der Bildhauer, welcher beständig an dem Relief unserer Alpen arbeitet. Er wird erst dann ruhen, wenn der letzte Brocken des Alpengebirges wieder im Weltmeer verschwunden ist, aus dem er einst aufgestiegen war.