

Geologische Nachlese.

Von

Albert Heim.

In dieser Zeitschrift, der »Vierteljahrsschrift der zürcherischen naturforschenden Gesellschaft«, beabsichtige ich im Laufe der nächsten Jahre unter dem Titel »Geologische Nachlese« eine Reihe von kleineren geologischen Arbeiten verschiedenster Natur zu publicieren. Viele derselben — und daraus hat sich der obige Sammeltitle ergeben — sind aus Beobachtungen hervorgegangen, welche gelegentlich bei grösseren anderen Arbeiten gemacht worden sind, ohne directe in den Rahmen der letzteren hineinzupassen; andere sind einzelne Nachträge zu schon Publiciertem; wieder andere haben sich ergeben bei Gelegenheit meiner langjährigen ausgedehnten Expertenthätigkeit oder sind veranlasst durch das Studium der Fachlitteratur. Es handelt sich für mich im Ganzen nur darum, eine Reihe von derart gewonnenen Beobachtungen und Gesichtspunkten, die sich in kleinere unter sich unabhängige Aufsätze gruppieren werden, nicht verloren gehen zu lassen, indem sie mir von Werth zu sein scheinen. Ich eröffne die Reihe dieser kleineren Arbeiten mit einem Vortrag, gehalten 1891 in der zürcherischen und 1892 in Basel an der Versammlung der schweiz. naturforschenden Gesellschaft über die Entstehung der alpinen Randseen. Es werden dann zunächst folgen: Ueber den Eisgang der Sihl im Frühling 1893; Ueber die mechanische Deformation der Anthracitflötze im Wallis;

Ueber die Bestimmung des Quellertrages aus einem Schacht; Ueber die Zeichnungen aus den diluvialen Höhlen; Ein Massstab für das Alter der Eiszeit; Ueber die Darstellung der Facieserscheinungen in geologischen Sammlungen etc. etc. Möchten meine Fachgenossen diese Aufsätze als das freundlich aufnehmen, was sie sind: eine Nachlese auf dem Felde der Arbeit.

Zürich, im Oktober 1893.

Dr. Albert Heim, Prof.

No. 1.

Die Entstehung der alpinen Rand-Seen.

Vor etwas mehr als 100 Jahren (1791) erschien anonym ein Büchlein, betitelt »Geologischer Versuch über die Bildung der Thäler durch Ströme.« Der Verfasser zeigte darin, dass es ein Irrthum sei, wenn man allgemeine, aus der Hebungsgeschichte abzuleitende Formen an den Bergen suche, indem es sich in der äusseren Gestalt vorwiegend um die Erscheinungen der Verwitterung und Flusserosion handle. Eine Fülle ausgezeichneter Gesichtspunkte sind in dem Büchlein enthalten. Der Verfasser war wahrscheinlich der alte rheinische Geologe J. L. Heim.

Dies alles geriet im Getöse des Vulkanismus wieder in Vergessenheit. Humboldt, von Buch, de Beaumont sahen die Thäler meistens für Spalten aus der Hebungszeit des Gebirges an und diese Auffassung finden wir noch vor zwei Jahrzehnten ziemlich allgemein in Europa, im besonderen auch bei unseren schweizerischen Geologen.

In Europa war es vor Allen L. Rüttimeyer, der 1869 in einem gedankenschweren Büchlein diesen Auffassungen entgegentrat und die Erosion durch fließendes Wasser wieder als den Hauptfaktor der Thalbildung auch im dissocierten Gebirge nachwies. Gleichzeitig gelangten die Amerikaner zu ähnlichen Resultaten. Eine grosse Anzahl von Forschern folgten nach.

In der Folge konnte man nun die Thäler nicht mehr als eine von vorneherein fertige Bildung betrachten, vielmehr mussten sie als in steter Umbildung und weiterer Ausbildung begriffen aufgefasst werden. Diese Umwandlung in unserer Auffassung erstreckte sich folgerichtig auch auf die Seen. Lange genug hatte man die Gebirgsseen als Wasseransammlungen in den bei der Gebirgsbildung entstandenen Vertiefungen und besonders Spalten angesehen, ohne auch nur den Schein eines Beweises beizubringen. Jetzt aber mussten sie in Zusammenhang mit den stets arbeitenden Vorgängen der Thalbildung gesetzt und als eine Episode in der Geschichte der Thäler betrachtet werden. Die zwei Grundirrtümer, welche den älteren Anschauungen über die Thalbildung anhafteten — 1) die Gebirge seien älter als die Flüsse und 2) die Thalbildung durch Erosion arbeite von oben nach unten — wurden in das Gegentheil verbessert und dadurch die flussdurchsäigten Querriegel und Querthäler ohne Annahme von abenteuerlichen, nirgends beobachteten Spalten verständlich.

In den letzten 20 Jahren ist die Frage der Seebildung sehr lebhaft discutirt worden. Sie hat eine ganze grosse Literatur erzeugt, in welcher wir eine lange Reihe bedeutender Forscher treffen. Bereits kennen wir etwa 20 verschiedene Arten der Seebildung, und weitere können sich

noch erweisen. Hier soll uns aber nicht das Problem der Seebildung überhaupt beschäftigen, sondern wir wollen diese Stunde bloß der Betrachtung einer bestimmten Art von Seen widmen, den alpinen Randseen oder Thalseen.

Ich gebe hier nicht eine Darstellung oder Kritik des bisherigen Ideenganges der Wissenschaft, vielmehr will ich von einem unabhängigen eigenen Gesichtspunkte aus die Frage zu beleuchten versuchen. Dies mag mich dafür entschuldigen, dass ich andere Beobachter und andere Ansichten hier fast nicht erwähne. Ich will heute nicht entgegenstehende Meinungen zu widerlegen; sondern eine eigene neue Auffassung aufzubauen suchen. Dass auch diese ihre Vorläufer hatte, ist selbstredend. Freilich bewegten sich dieselben alle nur in sehr ungenauen und unbestimmten Vorstellungen. Die hauptsächlichsten Gesichtspunkte, aus welchen meine Auffassung herausgewachsen ist, will ich zur Uebersicht nummerieren.

Unter den alpinen Randseen verstehen wir im Gegensatz zu den Bergseen jene grossen Seen, die in den von den Alpen ausstrahlenden Hauptthälern liegen. Sie gehören der Randzone der Alpen an: Sie greifen einerseits zum Theil noch tief in die Alpen hinein, andererseits reichen sie bis an die ungestört geschichteten Vorlande oder Ebenen hinaus. Am Nordrande zählen hierher: L. d'Annecy, Lemansee, Thunersee, Brienersee, Sarner- und Vierwaldstättersee, Lowerzersee, Zugersee, Zürichsee, Walensee, Bodensee; am Südrande: die Seen von Orta, Verbano (L. Maggiore), Ceresio (L. di Lugano), Como mit Lecco und Mezzola, Iseo, Garda etc.

Durchgehen wir die Erscheinungen, welche die Randseen bieten und ordnen wir dieselben nach Gesichtspunkten.

1. Alle diese Randseen liegen in den Hauptthälern und bedeuten Strecken dieser Thäler, die jetzt kein Gefälle mehr thalauswärts haben und deshalb überschwemmt sind. Sie haben ganz die langgestreckte Gestalt dieser Thäler selbst, sie sind also Seen in Wasserwegen aus ursprünglichen Flussläufen entstanden. Ihre Tiefe ist meistens gering im Vergleich zur Tiefe des ganzen Thales, dem sie angehören. Die alpinen Randseen sind also Thalseen.

2. Diese grossen Hauptthäler, welche die alpinen Randseen enthalten, sind von oben bis unten — oder besser von unten bis oben — ächte Erosionsthäler. Die Beweise hiefür liegen kurz gefasst hauptsächlich in folgenden Punkten:

a) Die Grundrissgestalt ist vom Typus der Erosionsthäler, d. h. die Wasserscheiden liegen unten enge beisammen und treten oben weiter auseinander, während sich das Thalsystem aufwärts baumförmig verzweigt und erweitert und durch Gesteinszonen von ganz verschiedenem Material und verschiedener Lagerung greift.

b) An den Gehängen des Hauptthales wie aller seiner Nebenthäler und ebenso im Längsprofil des Hauptthales und der Nebenthäler zeigen sich die für Flusserosion durchaus beweisenden Erscheinungen der Thalterrassen und Thalstufen, die sich gesetzmässig in jedem Thalsystem in Reste alter bestimmter Thalbodensysteme unabhängig vom Gestein und dessen Lagerung ordnen. (Vergl. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung, I. Bd., S. 281—293).

3. Die Terrassensysteme finden sich auch an den Gehängen beiderseits der Randseen und sie setzen auch unter Wasser hinab fort. In ausgezeichnet scharfer Weise findet man diese Erscheinungen am Zürich-

see ausgeprägt, dessen untere Gehänge im mittleren und oberen Theil fast von Gletscherschutt frei sind. Man kann sich kaum klarere Flusserosionsterrassen im Molassefels ausgeschnitten denken, als sie z. B. von Herrliberg bis über Stäfa oder von Thalwyl bis Wädenswyl zu sehen sind. Am rechten Seeufer sind alle Terrassenabstürze mit Reben, die Terrassenflächen mit Baumwiesen bedeckt, an der Schattenseite gerade umgekehrt. Dadurch, dass die Molasseschichten ein anderes Gefälle als die Terrassen haben, kann man sich hier auch des Bestimmtesten davon überzeugen, dass die Terrassen nicht Verwitterungsterrassen, sondern Flussterrassen sind. Ich verweise schon hier auf eine wohl bald erscheinende Publikation meines Schülers und Freundes Hrn. Aug. Acpli, der auf meine Veranlassung hin die Terrassen im Zürichseegebiet noch genauer verfolgt hat. Die Gletscher haben während der Eiszeit, wie wir nachher sehen werden, noch dreimal dies Thal erfüllt, sie vermochten aber selbst in der leicht zerstörbaren Molasse nirgends die charakteristischen Flusserosionsformen dem Auge zu verwischen, ausser da, wo sie die Molasseterrassen mit Moränen überdeckt haben. Gewiss ist das ein schlagender Beweis für die geringe Aushobelungskraft der Gletscher. Niemals dürfen wir die Austiefung des Zürichseebeckens dem Gletscher zuschreiben, wenn derselbe nicht einmal die Schärfe der alten Terrassierung zu stören vermocht hat. Die Gletscher spielten eben stets nur eine sehr untergeordnete Rolle in der Thalaustiefung.

Wenn wir nun am Zürichsee an manchen Stellen die Terrassenränder noch ein Stück weit unter der Wasseroberfläche sich fortsetzen und im Bodensee eine prachtvolle, tief versunkene Terrasse auf weiter Erstreckung trotz

aller jüngeren Alluvion noch erkennen können, so beweist dies, dass auch das Thalgehänge, das jetzt unter der Seefläche liegt, dereinst durch Flüsse ausgespült worden ist.

4. Die grossen Hauptthäler, die von den Alpen ausstrahlen und welchen die Randseen angehören, sind in den Alpen und ihren Randzonen alle tief versenkt unter Wasser oder Geschiebeausfüllung.

Wenn wir die Vorgänge der Seebildung studieren wollen, müssen wir den Begriff der »Randseen« nicht so enge fassen, dass wir nur an die mit Wasser aufgefüllten Theile des Thales denken. Die durch die Gletscher hineingetragenen, oder durch Bäche und Flüsse oben, unten, seitlich allmählig eingefüllten Schuttmassen sind in grosser Ausdehnung vorhandene Seeauffüllung. Denken wir uns diese späteren Auffüllungen weg, und ergänzen wir die Seen in ihre ursprüngliche Gestalt, so erkennen wir bald, dass die Randseen einst viel ausgedehnter und zahlreicher waren und dass sie viel tiefer in die Alpen hineinreichten als jetzt. Der Genfersee reichte bis St. Maurice und dann folgte oberhalb jenes Riegels bis nach Brig ein jetzt erloschener Wallisersee. Der Zürichsee reichte bis unterhalb Dietikon und hing dann nach oben mit dem Walensee und durch diesen mit dem Bodensee zusammen. Diese vereinigten Seen reichten bis Reichenau und bis Netstal hinauf etc. etc. Wenn wir in Zukunft kurzweg von Auffüllung der alten Thalläufe reden, so soll damit stets sowohl jetzige Wasserauffüllung als ehemalige Wasserauffüllung, also Schuttauffüllung gleichzeitig verstanden sein; so dass wir in der Regel die Randseen in ihrer ursprünglichen Grösse nach Wegnahme späterer Auffüllungen im Auge behalten.

In den Seen oder geschiebeerfüllten Erosionsthälern fehlt es jetzt an Gefälle. Deshalb sind ja die Ausfüllungen entstanden. Zur Zeit, da das Erosionsthal sich einschneidet bis auf die Basis der Seebecken hinab, musste es noch mehr Gefälle gehabt haben, die Auffüllung mit Wasser oder Geschiebe ist deshalb zunächst aufzufassen, als die Folge einer Einsenkung eines Stückes des Thallaufes, welche erst nach der Ausspülung eingetreten ist.

Fragen wir uns nun zunächst nach den Grenzen dieser Versenkung thalabwärts und thalaufwärts:

5. Die Auffüllung mit Wasser und Geschiebe in Folge Versenkung reicht im Gebiete der Schweiz nördlich der Alpen thalabwärts meistens bis durch die dislocierte Molasse hindurch und manchmal noch 20—30 Kilom. weit in die annähernd horizontale Molasse hinaus. In dieser Richtung nimmt das Wasser oder die Geschiebeausfüllung allmählig an Tiefe ab, bis wir auf den anstehenden Felsgrund im Flusse treffen (Kilwangen-Wettingen für das Limmattal, Stein-Schaffhausen für das Rheintal, Jura für das Rhonethal, Molasse ob Bern für das Aarethal, Molasse bei Luzern für den Vierwaldstättersee etc.). Hier unten finden sich keine Zeichen einer Versenkung und Auffüllung des alten Thales mehr und ebensowenig von hier weiter abwärts. Nur eine Zone von bis höchstens 20 oder 30 Kilom. Breite entlang dem Dislocationsrande der Alpen zeigt zunehmende Einsenkung gegen die Alpen hin — es ist die Zone der thalauswärts abnehmenden Tiefe der Randseen.

Unwillkürlich haben wir uns hier schon frei gemacht von einer älteren Annahme, welche jeden Thalgrund für sich als lokale Einsenkung betrachtete. Wir betrachten

den ganzen Streifen längs den Alpen, welchem die Randseen meist in quерem Verlaufe angehören, sammt den zwischen den Randseen gebliebenen Höhenzügen als an der Versenkung theilhaftig.

6. Gegen die Alpen hin nimmt die Seetiefe allmählig zu. Die Seeböden sind, wo nicht später Schuttauffüllungen besonderer Art das Bild verdeckt haben (wie allerdings z. B. am Zürichsee oberhalb Horgen), alpenwärts eingeknickte, also rückläufig gewordene Thalwege. Die grössten Seetiefen finden wir in der Regel alpenwärts unmittelbar bevor wir an den Stirnrand der neuen aus den Alpen kommenden Geschiebeauffüllungen treffen. Bei den zahllosen kleineren Thalseen der Alpen, die durch eine Staubarrière wie seitlichen Schuttkegel, Bergsturz, Moräne oder dergleichen entstanden sind, haben wir regelmässig das umgekehrte Verhältniss: Grösste Tiefe im untersten Theile des Sees. Die Wasser- und Geschiebeauffüllung bei den Randseen in Folge der Versenkung reicht tief in die Alpenthäler hinein und wird, so viel sich erschliessen lässt, alpenwärts nur in dem Masse schliesslich geringer, als der darunter mit natürlichem ehemaligem Flussgefälle gebildete Thalboden wieder ansteigt. Dort, wo alpenwärts die Aufschüttung wieder aufhört, treffen wir dann häufig auf die Erscheinung, dass unvermittelt steile Stromschnellenthäler unter dem Geschiebeboden herauftauchen, ohne vermittelnden Mittelthallauf; der letztere liegt eben versunken und vom Geschiebe vergraben. So tritt bei Thusis der Rhein aus einer Stromschnelle plötzlich in den hoch mit Geschiebe aufgefüllten Thalboden, ebenso die Plessur bei Chur, die Tamina bei Ragatz, die Linth bei Thierfeld, die Reuss bei Amsteg, die Aare bei Meiringen, der Tessin bei Biasca,

der Toce bei Crevola, die Mera bei Chiavenna etc. Alpenwärts finden wir somit kein allmähliges Auslaufen, keine innere Grenze der Versenkung. Wir kommen zu dem Schlusse: An der seebildenden Versenkung der grossen Thäler war der ganze Alpenkörper mitbetheiligt. Wir ersehen hieraus, dass die Versenkung vom äusseren Molasselande an gegen die Alpen hin zunimmt und die Alpen selbst mitgesunken sind; in den Alpen hat die Versenkung ihr Maximum, ihr Centrum und die Thalwege der grossen Hauptthäler sind rückläufig von aussen bis an den Alpenrand und untergetaucht bis tief in den Alpenkörper hinein. Aus den Seetiefen und dem Charakter der theilweisen Zufüllungen geht ferner hervor, dass in der nördlichen Randzone der Alpen die Versenkung etwa 300 bis 400 m, in der südlichen etwa 600 m betragen hat. Der Alpenkörper ist etwas schief eingesunken. Am Südabhang liegen die alpinen Randzonen zum Theil selbst im Aufschüttungsmaterial begraben und unvermittelt ragen aus der Geschiebeebene des Pogebietes noch die typisch hochgebirgisch durchfurchten Gipfel vergrabener Berge heraus.

7. Wenn wir an den Gehängen in den oberen gebirgigen Theilen der Randseen oder thalaufwärts von denselben in die Alpenthäler hinauf- und hineingehen, so finden wir dort die oft herrlich erhaltenen Reste der älteren höheren Thalbodensysteme in Terrassen und Thalstufen alle mit ziemlich regelmässigen Gefällen nach aussen gerichtet. Im Innern des Alpenkörpers sind die alten Thalboden nicht rückläufig wie stellenweise in der Randzone und ausserhalb. Ich kenne bisher nur eine einzige und wenig prägnante Ausnahme davon (Domleschg und Lenzerheide). Noch weniger lässt sich die Gesetz-

mässigkeit im Gefälle der alten Thalbodensysteme stören durch den wunderbaren Faltenwurf der Erdrinde, dem die Alpen ihr Dasein verdanken und der durch ein horizontales in sich Zusammenschieben der Erdrinde entstanden sein muss. Hieraus geht hervor:

a) Der Faltungsvorgang hatte seinen Abschluss erreicht, bevor sich die Thäler in die jetzt sichtbaren Gehänge der alpinen Ruine eingeschnitten haben. Hätte der Faltungsvorgang noch weiter angedauert, so hätte er die verschiedenen Terrassen und Thalstufenreste ganz verschieden verstellen müssen, und die merkwürdige Gesetzmässigkeit in deren Niveaux wäre verloren gegangen.

b) Bei der aus den Randseen geschlossenen Einsenkung des Alpenkörpers hat sich der letztere als ein fertiges, relativ starres Ganzes gesenkt, so dass keine auffallende Verstellungen der inneren, schon ausgebildeten Terrassensysteme mehr eingetreten sind. Die Reihenfolge der Vorgänge war demnach:

- 1) Faltung. Aufstauung der Alpen;
- 2) Thalbildung, ins jetzige Niveau hinabgreifend;
- 3) Einsenkung der Alpen als Ganzes ohne neue Faltung.

Hieraus lernen wir scharf den faltenden Horizontal-schub, der die Alpen staute, zu unterscheiden von dem späteren, mechanisch davon durchaus verschiedenen Einsinken des annähernd schon fertig gefalteten Alpenkörpers.

8. Wenn wir den Versuch machen, die sehr klar ausgeprägten Terrassensysteme der alpinen Thäler mit den ebenso deutlich ausgebildeten Erosionsterrassen der Thäler im äusseren Molassenlande in Verbindung zu brin-

gen, so stossen wir stets auf eine grosse Schwierigkeit. Zwischen Alpen und äusserem Molasselande liegt eine Zone — es ist die subalpine, noch schwach dislocierte Molasse, wo der Terrassenverlauf in Unordnung und Verwirrung geräth. Theils sind da die Terrassen thalwärts steiler abfallend, als dies ursprünglich sein konnte; theils findet man nicht mehr, welche Terrassenreste zum gleichen Thalbodensystem zusammengehören. Endlich habe ich in der Molasse in klarster Ausprägung Erosionsterassen im reinen Fels, ausgeschnitten unabhängig von der Schichtung, gefunden, deren Flächen alpenwärts mit 3—4% einfallen. Diese rückläufigen Terrassen stehen beiderseits in Zusammenhang mit den normal fallenden und bilden mit denselben ein System verbogener Terrassen, verbogener Thalbodenreste. Diese alpenwärts hinabgebogenen Thalbodenreste sind eine unbestreitbare Thatsache. Am Zürichsee fand ich sie besonders schön entwickelt am Gehänge zwischen Horgen und Wädensweil und dann ebenso in der Gegend von Stäfa. Herr August Aepli hat sodann auf meine Anregung das Phänomen weiter verfolgt und constatirt, dass es sich in einer bestimmten Zone, streichend wie die Alpen in allen übereinander liegenden Terrassen findet, und dass es sich hier um eine einmalige Rückwärtsknickung zwischen den thalauswärts und thaleinwärts normal fallenden Terrassen handelt — nicht aber um mehrere wechselsinnige Undulationen, die sich in ihren Wirkungen wieder aufheben könnten. Der Betrag der Rücksenkung, absolut gemessen, erweist sich aus den Beobachtungen von Herrn Aepli zu vollauf 300 m. Die rückläufigen Terrassen sind leider in anderen Thalsystemen schwieriger zu finden, weil jüngere Moränen sie oft ganz verhüllen.

In der Zone der verbogenen Terrassen hat somit verstellende Dislocation noch stattgefunden nach Ausbildung der Terrassensysteme. In den Alpen selbst hingegen war sie eine einheitliche starre Vertikalsenkung, dort sind ja die Terrassen unverbogen und rechtläufig geblieben. Die rückläufigen und verbogenen Terrassen sind der directeste Beweis dafür, dass die Dislocationen das schon fertige Erosionsthal getroffen haben, und weil sie Terrassen rückläufig verstellten, so mussten diese Dislocationen zur Einsenkung von Thalstrecken, d. h. zur Seebildung führen. Uebertrifft der Einsenkungsbetrag, bemessen aus den verbogenen Terrassen, den Betrag der grössten Seetiefen, wie dies thatsächlich der Fall ist, so bleibt nichts mehr übrig, was der Aushoblung des Gletschers zugeschrieben werden müsste.

Wir können unsere bisherigen Resultate auch so zusammenfassen :

Die Alpen sind nach Ausbildung der grossen Erosionsthäler als starres Ganzes eingesunken und haben die Randzonen der ungestörten Molasse mit heruntergezogen, während die äusseren entfernteren Theile der Molasse stehen geblieben sind. So ist der obere Theil der Thäler in den Randzonen von rückläufigem Gefälle geworden und unter Wasser gesunken.

9. Wir haben bisher das Verhältniss dieser Erscheinungen zu den Gletscherablagerungen nicht berührt. Ich folge der Auffassung von Penck, Brückner-Du Pasquier und Gutzwiller, welche drei Eiszeiten als sehr wahrscheinlich hinstellen. Ich könnte selbst neue Gründe aus meinen Beobachtungsgebieten für diese Dreitheiligkeit geben. Als älteste Eiszeitbildung treffen wir

zunächst über Molasse oder über den Grundmoränen der ersten Eiszeit, aus den letzteren durch Abspülung hervorgegangen, eine alte fluvioglaciale Ablagerung, den »Deckenschotter« (Penck) oder die »löchrige Nagelfluh« (Escher v. d. Linth, Gutzwiller). In Baiern, wo die Durchthaltung des Molasselandes nur sehr gering ist, bildet sie weite zusammenhängende Decken. In der Nordschweiz und nördlich des Rheines vom Bodensee bis unter Waldshut bildet sie noch oft plateauförmige Decken auf den Molassebergen. Diese alten Kiesdecken steigen gegen die Alpen langsam an wie ein alter von dort kommender Schuttkegel aus einer Zeit, da die Molasse noch fast so wenig von Thälern durchfurcht war, als jetzt noch in Baiern. Sie mag dem Ende des Tertiären oder dem Anfang des Diluviums angehören und sich gleichzeitig mit den Moränen im Pliocænmeer Oberitaliens abgelagert haben, wenn wir nicht lieber kurzweg sie in die erste Episode des Diluviums setzen wollen. Je weiter wir von der Rheinlinie gegen die Alpen gehen, desto lückenhafter ist der Deckenschotter. Sowohl er selbst als die zugehörigen Moränen sind ausgespült. Aber eine Anzahl kleiner Restchen ist uns doch noch geblieben! Auf dem Utogipfel liegt ein Fetzen Deckenschotter als oberste Kappe. Mehrere andere, in ziemlich zusammenhängender Kette erstrecken sich von dort über den ganzen Albiskamm, zur Baarburg, zum Sihlsprung, zum Kellenholz, zur Burghalde bei Wädensweil und in das Lorzetobel.

Am Utogipfel wendet sich das Alpenwegfallen dieser alpinglacialen Bachablagerungen des Deckenschotters. Vom Uto bis Albishorn liegt der Deckenschotter fast horizontal, wie er nicht durch Strömung hergeschwemmt und abgelagert werden konnte. Dann zeigt er fast plötz-

lich ein Einfallen gegen die Alpen hin. Das stärkste Rückwärtsabsinken des Deckenschotters vom Albis zur Baarburg und ins Lorzetobel oder zum Kellenholz und Sihlsprung und zur Burghalde bei Wädensweil gehört gerade **der gleichen** streichenden Zone an, in welcher die rückläufigen Molasseterrassen an den Seethalgehängen vorkommen. Für alle bezüglichen Einzelheiten verweise ich auf die spätere Publikation von Herrn Aepli, welche meine und seine Beobachtungen vereinigt enthalten wird.

Genug: Wir haben die Thatsache gewonnen, dass die seebildenden Dislocationen die ältesten Glacialbildungen mit ergriffen haben. Die erste Eiszeit traf die Molasse noch sehr wenig durchthalt und noch keinen See, dann folgte Wegspühlung des Deckenschotters bis auf Relicte, tiefere Durchthaltung der Molasse, Bildung des Zürichseethales, dann erst die seebildende Einsenkung der Alpen, die in den Randzonen rückläufige Gefälle für Thalboden und Deckenschotter schuf.

10. Ganz anders verhält es sich mit den jüngeren und jüngsten Glacialablagerungen. Beim zweiten und dritten Vorrücken trafen die Gletscher die Seebecken schon vorhanden. Wir beobachten nämlich, dass an den Gehängen des Zürichsees die Randmoränen der zweiten und der letzten Vergletscherung mit regelmässigem Gefälle thalauswärts hinablaufen, unbekümmert darum, ob unter ihnen normal fallende oder dislocierte Terrassen und Deckenschotterfetzen, flache oder steil aufgerichtete Molasseschichten liegen. Die Moränen ziehen in regelmässigen grossartigen Wällen in ungestörter, gleichmässig fallender Linie von Schindellegi und Meilen bis Zürich über die Molassegehänge hinab und

schneiden die Ränder der Molasseterrassen je nach deren Lage in schiefer Richtung. Sie sind somit jedenfalls jünger als die seebildende Dislocation, durch die sie gar nicht beeinflusst sind. Diese letztere fällt also zwischen die älteste und die zwei jüngeren Eiszeiten hinein. Die drei Dinge, 1) Molasseschichten, 2) Terrassenränder mit Deckenschotter und 3) Moränen der zwei letzten Vergletscherungen verlaufen völlig unabhängig von einander.

Die beiden letzten Eiszeiten haben denn auch dazu wesentlich beigetragen, den See zu verkleinern. Die Moränen haben ihn in Zwei getheilt und in den obersten und untersten Theilen stark mit Schutt angefüllt.

Auf diese Weise ist es uns gelungen, die Entstehung der alpinen Randseen auf ein Nachsinken des Alpenkörpers zurückzuführen und dasselbe als der ersten Interglacialzeit angehörig nachzuweisen.

Ich schliesse hier die Aufführung der 10 Gesichtspunkte ab und sehe mich noch um nach eventuell ähnlichen Erscheinungen bei andern Gebirgen und nach den Ursachen.

Randseen in den von fertigen Gebirgen ausgehenden Thälern sind die Regel. Es handelt sich da offenbar nicht bloss um eine Erscheinung der Alpen. Die neuseeländischen Alpen haben einerseits Randseen, andererseits Fjorde, ganz ebenso das skandinavische Gebirge. In den asiatischen Gebirgen wiederholen sie sich — freilich ging dort oft die Geschiebeauffüllung gleich rasch wie das Untertauchen eines Thalbodens — wir finden gewissermassen todtgeborne Seen — oder die Seen waren vorhanden und sind wieder durch Geschiebeauffüllung erloschen. Aehn-

lich wohl in den Pyrenäen. Auch in den Alpen wären die Randseen erloschen, wenn nicht die Gletscher sie so lange Zeit überbrückt und den alpinen Schutt über sie weg getragen hätten. Die Gletscher haben unsere Seen vor Total-Ausfüllung geschützt. Die Gletscher haben auch durch ihre Endmoränen das untere Ende der Seen fixiert, den untersten Theil zugeschüttet, den oberen theilweise gerettet. Escher hatte mit dieser seiner Auffassung recht: Nicht weil die Gletscher Seen aushobeln, sondern mehr, weil die Gletscher die Seen vor Ausfüllung geschützt haben, sind die Vergletscherungsgebiete seenreich. Im Hinblick auf unsere Auffassung der Randseebildung ist es auch einleuchtend, dass noch in lebhafter Stauung begriffene Kettengebirge, wie z. B. viele Strecken der Anden, noch keine Randseen vom Typus der unsrigen enthalten können.

Wir gelangen zu einer Verallgemeinerung, welche ich freilich noch nicht ohne gewissen Vorbehalt geben möchte: Es scheint, dass sehr oft auf den Prozess der Gebirgsaufstauung etwelches nachheriges Einsinken des ganzen Gebirgskörpers folgt, das die Randzonen miteindrückt. Wenn schon vorher tiefe, vom Gebirge ausstrahlende Erosionsthäler vorhanden waren, erhalten dieselben dadurch im äussern Theil der Randzone rückläufiges Gefälle, im innern Theil derselben Versenkung. Sie ertrinken dadurch unter ihrem Thalwasser, es bilden sich Randseen.

Ich will nicht vorenthalten, was mich zuerst auf diesen Gedankengang und auf die Beobachtung der bezüglichen Erscheinungen und deren mögliche Erklärung geführt hat.

Wenn ein See gefriert, dehnt sich das Eis aus, es

entsteht Horizontalschub darin und dieser vermehrt sich so lange, als immer wieder neue Eisschichten unten in kalten Nächten anfrieren. Dadurch bilden sich meistens die sogenannten «Schrammen», d. h. auf einer oder mehreren zusammenhängenden Linien stossen sich die Eisplatten aneinander hoch auf, schieben sich empor und ragen dann oft, von weitem sichtbar, 1 bis 2 und sogar 3 m über die Eisfläche empor. Wird die Witterung milder, so hört der Ausdehnungsschub auf, der die Platten aufstaute. Nun macht sich die lokale Ueberlastung durch die aufgethürmten Massen geltend. Der Schrammen sinkt etwas, er drückt sich ein und biegt die beidseitigen Randstreifen von Eis mit ein. Jetzt sehen wir den Schrammen nur noch etwa halb oder zwei Drittheil so hoch vorragen, aber beidseitig von Wassertümpeln über den eingedrückten Streifen des Flacheises begleitet. Die Analogie springt in die Augen: Die Schrammenbildung ist die Alpenfaltung. Nach ihrer Vollendung folgt die Einsenkung des gethürmten Eisgebirges und die beidseitigen Wassertümpel bedeuten die Zonen mit den Randseen beiderseits der Gebirge.

Auch bei den Alpen denke ich mir den Vorgang so, dass erst nachdem der Horizontalschub einer Faltungsperiode durch die Faltung der Erdrinde ganz ausgelöst ist, die Ueberlastung der Erde, welche eben durch die Thürmung eines Gebirges unterdessen entstanden ist — kurz gesagt: die Gebirgslast — sich geltend machen muss in einem Eindrücken, einer Einsenkung. Die leichteren Rindenmaterialien werden specifisch schwerere innere Theile etwas bei Seite drücken, bis wieder vorläufiges Gleichgewicht da ist. Dadurch aber musste eine Ungleichförmigkeit in der Lagerung der Massen eintreten. Dieselbe ist thatsächlich nachgewiesen!

Helmert und andere Geodäten haben durch Pendelbeobachtungen gezeigt, dass ein sogenannter Massendefekt unter den Gebirgen vorhanden ist. Derselbe ist notwendig, um die Ueberlastung durch das Gebirge selbst zu compensieren und ist entstanden durch die Einsenkung, welche specifisch schwerere Theile seitlich verdrängte und leichtere gefaltete Rinde an deren Stelle setzte.

Alle Complicationen der Thalbildung, wie das rückwärts Sichtreffen und Durchschneiden, Ablenkungen, Zusammensetzungen etc. sind auch an den ertrunkenen Thälern, den Randseen zu beobachten. Molassedislocation, Alpeneinsenkung, Erosion, Gletscherablagerungen ergeben die vielfältigsten Wechselwirkungen, so dass kein See dem andern völlig gleich ist. Ich will hier nur auf einige verschiedene Typen von Randseen hinweisen, ohne dieselben hier eingehender zu besprechen. Ich behalte mir vor, später eine thalgeschichtliche Karte der östlichen Schweiz mit eingehenden Darlegungen zu geben.

a) Randseen im Hauptthal, denen der zugehörige Hauptthalfluss treu geblieben ist. Beispiele: Bodensee, Brienzensee, Thunersee, Urnersee, Verbano.

b) Randseen in Thälern, die von ihrem Stammflusse verlassen worden sind. Beispiele: Zugersee, Lowerzersee, Gardasee.

c) Randseen, die mit dem Flusse zugleich in ein anderes Thal abgedrängt worden sind. Beispiele: Vierwaldstättersee von Brunnen bis Luzern.

d) Randseen mit fremdem Fluss im Hauptthal, der ursprüngliche ist abgelenkt. Beispiel: Zürichsee (die Linth gehörte ursprünglich ins Glatththal, die Sihl ist der Stammfluss des Zürichseethales).

Ueberdies können wir classificieren:

- 1) einfache Randseen wie Zürchersee, Brienersee etc.;
- 2) zusammengesetzte Randseen wie Vierwaldstättersee, Luganersee.

* *

Also auch die Bildung der alpinen Randseen mit allen hier kaum angedeuteten Complicationen ist eine Rückgangsperiode, ein Stillstand in der Auskolkung der Thäler. Der geschiebeführende Fluss ist Arbeit und Mühe, der See ist die Ruhe. Die Seebildung ist eine relativ kurze Episode in der Geschichte eines grossen Thales. Es gibt Gegenden, wo diese Gegensätze räumlich einander sehr nahe rücken. Ein schönes Beispiel der Art bieten uns die Umgebungen von Zürich.

Einerseits fliesst die Limmat klar und ruhig, geschiebefrei aus dem Randsee, dem ertrunkenen alten untergetauchten Thalboden und nördlich des Sees liegt der Zürichberg, ein Molasseberg in sanften, gealterten und ruhig gewordenen Formen. Andererseits fliesst die Sihl, ein wilder, gefährlicher, geschiebeschwerer Thalbildner, wechsellvoll, oft drohend, frisch in der Arbeit. Seine Sohle vertieft sich noch, seine Thalgehänge zeigen viele frische Anrisse. An seiner Seite sehen wir den Albis in scharfen Gestalten, wie sie die rasch und beständig geschehende Veränderung andeuten, alles veränderlich, alles jugendlich unausgeglichen. See und Zürichberg führen uns den Ruhetag, Sihl und Albis den Arbeitstag in der Modellierwerkstätte der Erdoberfläche vor. Und wenn mich nicht alle Beobachtungen und Anzeichen täuschen, so war es eine nachträgliche Einsenkung der Gebirge und ihrer Randzonen, welche in viele der grossen, davon ausgehenden Thäler für einige Zeit die Sonntagsruhe der Seebildung gebracht hat.
