

SEPARAT-ABDRUCK

AUS DEM

NEUEN JAHRBUCH

FÜR MINERALOGIE, GEOLOGIE UND PALAEOONTOLOGIE.

Jahrg. 1900. Bd. II.

(S. 117—138 und Taf. IV. V.)

Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, See-
becken und Thäler erodiren?

Von

Wilhelm Salomon in Heidelberg.

Mit 2 Tafeln.



Stuttgart.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele).

1900.

Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, See- becken und Thäler erodiren?

Von

Wilhelm Salomon in Heidelberg.

Mit Taf. IV und V.

Die folgende kleine Untersuchung beansprucht nicht, die wieder aufgeworfene alte Frage erschöpfend zu behandeln. Ihr Zweck ist nur zu zeigen, dass man bei ihrer Beantwortung einen bestimmten Gesichtspunkt, der mir allerdings von grosser Bedeutung zu sein scheint, bisher vernachlässigt hat, obwohl ja die Literatur über Glacialerosion einen ungeheuren Umfang besitzt. Dieser Umstand, zusammen mit dem Wunsche, meine Auseinandersetzungen nicht über Gebühr zu verlängern, zwingt mich auch dazu die ältere Literatur nur insofern zu berücksichtigen, als sie für meinen Zweck besondere Bedeutung besitzt. Ausführliche Verzeichnisse der älteren Literatur findet man namentlich in PENCK'S „Vergletscherung der deutschen Alpen“¹, dann auch in SACCO'S Arbeit „Sull' origine delle vallate e dei laghi alpini“ u. s. w.², in GEISTBECK'S „Seen der deutschen Alpen“³ und in TARAMELLI'S „Storia geologica del Lago di Garda“⁴.

¹ Leipzig 1882.

² Atti R. Accad. d. Scienze. Torino 1885. 20. p. 639—662.

³ Mitth. d. Vereins f. Erdkunde. p. 209—387. Leipzig 1884.

⁴ Atti Accad. d. Agiati. Rovereto. Anno XI. 1893. p. 56—59.

Überblicken wir die gesammte Literatur, die sich mit unserer Frage beschäftigt, so sehen wir, dass schon seit langer Zeit kein Zweifel darüber besteht, dass Gletscher wenigstens in geringem Maasse auch in festem Gestein erodirend wirken. Das beweisen mit absoluter Sicherheit die Rundhöcker, die geschrammten Schlißflächen¹ und die nur auf einer Seite angeschliffenen und parallel gekritzten, sonst aber rauh begrenzten Grundmoränengeschiebe, die zweifellos in geringer Entfernung von ihrem heutigen Fundort aus einer zusammenhängenden Schlißfläche herausgebrochen sind². Auch die von DRYGALSKI in Grönland beobachteten Blöcke, die zwar nicht angeschliffen sind, bei denen aber infolge ihrer besonderen Form die in der Nähe gelegenen „Ausbruchs“-Stellen nachweisbar waren, liefern denselben Beweis³.

Meinungsverschiedenheiten bestehen denn auch nur über die Grösse der glacialen Erosion. Die Einen glauben, dass selbst die grössten Gletscher ihre felsige Unterlage nur ganz unbedeutend beeinflussen, ihre rauhen Stellen glätten, abschleifen und kritzten, ihre Kanten abrunden, zu einer grösseren Thal- oder Becken-bildenden Erosion aber ganz unfähig seien. Andere sehen mit derselben Sicherheit zahllose gewaltige Thalwege und Seebecken als das Product der Glacialerosion im festen Fels an. Zwischen den Anschauungen dieser beiden extremen Parteien stehen vermittelnde Meinungen, wie die, dass die Gletscher im Wesentlichen nur „reexcavirend“ gewirkt hätten, d. h. alte, schutterfüllte Thäler und Seen von Neuem ihres Schuttes entledigt und nur dadurch frisch ausgehöhlt hätten. Bei diesem Standpunkt bleibt indessen die Frage nach der ursprünglichen Entstehung dieser Thäler und Seen unbeantwortet. — Eine ganz abweichende, interessante

¹ Man vergleiche z. B. die tiefen Rinnen in den Abbildungen bei G. F. WRIGHT, *The Ice Age in North America*. p. 233, 237, 238, 240, 242. New York 1889. — Vergl. auch T. C. CHAMBERLIN, *The rock-scorings of the great ice-invasions*. VII. Ann. Rep. U. S. geol. Survey. p. 147—248 und die Abbildungen auf p. 179, 214—215. Washington 1888.

² Vergl. WAHNSCHAFFE, *Zeitschr. Deutsch. geol. Ges.* 1880. p. 791.

³ Grönland-Expedition. 1. p. 68, unten. Berlin 1897. — Ähnliche Erscheinungen beobachtete auch BALTZER am unteren Grindelwaldgletscher (*Zeitschr. f. prakt. Geol.* 1893. 1. p. 14—16). Dort wird von ihm sogar bereits eine schleifende und eine splitternde Erosion unterschieden.

Anschauung hat neuerdings noch E. v. DRYGALSKI ausgesprochen¹. Er nimmt an, dass „die Vertiefungen der Gneissoberflächen (Grönlands), die wir heute als Seen wahrnehmen, durch die Ausräumung von Verwitterungsmaterial aus gesundem Gestein entstanden“ seien (a. a. O. p. 62) und schreibt dieselbe Entstehungsart auch gewaltigen Fjordthälern zu (a. a. O. p. 53). Er stützt sich dabei auf die Thatsache, dass „man heute schon wieder auf dem Plateau in dem durch die Eismassen früher geglätteten vorstehenden Felsen trogförmige Rinnen und flache Becken ausgesprengt sieht, die sich nur durch ihre Dimensionen von den Fjordthälern und Felsenbecken des krystallinischen Küstensaums unterscheiden. Heute liegt in diesen durch Verwitterung ausgemeisselten Felsenformen noch der Schutt, welcher ehemals darin anstehend war; denke man sich ihn hinweggeräumt, so wird man wieder eine grosse Zahl von neuen Thal- und Seezügen vor sich erblicken.“ Als die Ursachen dieser Verwitterung werden „Spaltenfrost, Feuchtigkeit und vor Allem die Sonnenstrahlen“ angesehen, welche alle „die harten Felsen aufs stärkste zersprengen und durchschneiden“. „Die Klüfte im Gneiss werden dabei als willkommene Wege benutzt.“ Man sieht, dass auch bei dieser Anschauungsweise, auf die wir später noch ausführlich zurückkommen werden, der Glacialerosion nur die Ausräumung lockeren Schuttes, nicht aber die Auskolkung im festen Fels zugemuthet wird.

Bis zum heutigen Tage stehen sich die Vertreter dieser verschiedenartigen Hypothesen unversöhnt gegenüber. Freilich gelangte gerade ein Führer der einen extremen Anschauungsweise, HEIM, der sich noch 1885 in seiner Gletscherkunde² PENCK und anderen Anhängern weitgehender Glacialerosion schroff gegenübergestellt hatte, schon im nächsten Jahre auf einer mit PENCK gemeinsam unternommenen Reise zu einer Art Ausgleich mit diesem³. Aber die späteren Veröffent-

¹ Ein typisches Fjordthal. RICHTHOFEN-Festschrift p. 41—54, bes. p. 51—53. Berlin 1893, bei D. REIMER; und Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—1893. 1. Bes. p. 43, 62, 138—139, 533—534 u. a. anderen Orten. Berlin 1897, bei H. KÜHL.

² Stuttgart bei ENGELHORN.

³ HEIM und PENCK, Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1886. p. 161—169.

lichungen beider Autoren zeigen, dass sie sich in Wirklichkeit noch genau so fern stehen wie vorher¹.

Der Hauptgrund dieser scharfen Gegensätze besteht darin, dass wir bis zum heutigen Tage noch keine wirklichen Messungen oder auf genauen Grundlagen beruhenden Berechnungen der Erosion irgend eines Gletschers besitzen, wenn ich von den naturgemäss sehr unbedeutenden Wirkungen des unteren Grindelwaldgletschers auf den 150 Jahre lang von seinem Ende gerade noch bedeckt gewesenen Marmor des dort befindlichen alten Steinbruches absehe². Auch Speculationen, wie die von N. S. SHALER³, bei denen ganz ausser Acht gelassen wird, wieviel von dem jetzt in den Grundmoränen gefundenen Material auch ohne Gletschererosion durch die Verwitterung und andere Factoren gelockert, bezw. vom anstehenden Fels abgelöst war, müssen wir unberücksichtigt lassen. Um so anerkennenswerther und nachahmungswürdiger sind daher experimentelle Versuche, wie die von BALTZER⁴ am unteren Grindelwaldgletscher eingeleiteten Messungen, die aber natürlich erst nach langer Zeit brauchbare Ergebnisse liefern können.

Bei diesem Mangel einer empirischen Grundlage hat man bis jetzt lediglich auf Grund unserer Kenntniss bezw. Vor-

¹ A. HEIM, Vierteljahrsschr. Züricher naturf. Ges. 39. 1894. p. 70. „Die Gletscher spielen eben stets nur eine sehr untergeordnete Rolle in der Thalaustiefung.“ U. a. anderen Orten. — A. PENCK, Gletscherstudien im Sonnblickgebiete. Zeitschr. d. Deutsch. u. Österr. Alpenvereins. 1897. p. 70—71. „Hiernach ist nicht daran zu zweifeln, dass die Wannengebilde die Folge der erodirenden Thätigkeit der Gletscher ist und dass den kleinen Gletschern eine wesentliche Rolle bei Ausgestaltung der Hochgebirgskare zufällt.“

² Vergl. E. v. FELLEBERG, Jahrb. d. Schweizer Alpenclub. 1866. p. 541—543.

³ The conditions of Erosion beneath Deep Glaciers, based upon a study of the Boulder train from Iron Hill, Cumberland. R. J. Bull. Mus. Comp. Zoology at Harvard College. 16. p. 11. Vergl. dies. Jahrb. 1897. II. p. 162—165.

⁴ Bericht über einleitende Arbeiten am unteren Grindelwaldgletscher zur empirischen Bestimmung der Eiserosion. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1893. p. 14—16. Auch in den mir leider hier nicht zugänglichen „Studien am Unter-Grindelwaldgletscher, Glacialerosion u. s. w., Denkschr. d. Schweizer naturf. Ges. 33. 2. 1898. 14 p., sollen sich darauf bezügliche Angaben finden.

stellungen von den physikalischen Verhältnissen am Grunde der Gletscher rein theoretisch die physikalische Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer bedeutenden Glacialerosion erörtert. Die dabei hauptsächlich gestellten Fragen sind folgende: 1. Kann das Gletschereis als solches den Untergrund mechanisch erheblich abnützen? 2. Kann das Gletschereis durch die an seiner Unterfläche befindlichen, z. Th. im Eise gefassten, z. Th. daraus hervorragenden Geschiebe in stärkerem Maasse erodiren? 3. Kann es durch die nach Ansicht einiger Forscher längs seiner unteren Fläche vorwärts gequetschte Grundmoräne in stärkerem Maasse erodiren? 4. Ist Verwitterung am Grunde der Gletscher möglich oder nicht, und wenn möglich, beträchtlich oder gering?

Die erste dieser vier Fragen wurde fast stets mit Recht verneint, weil ja die Erscheinung der Druckverflüssigung des Eises in dieser Hinsicht eine deutliche Antwort giebt.

Was die zweite Frage betrifft, so hat HEIM¹ hervorgehoben, dass Erosion durch im Eis gefasste Blöcke nur bis zu einem gewissen, offenbar nicht sehr hohen Grade möglich ist, da mit zunehmender Mächtigkeit der drückenden Eismasse das Eis am Grunde des Gletschers um so plastischer wird. „Der Druck des Gletschers auf die einzelnen Trümmer seiner Unterlage wächst nicht proportional der Dicke des Gletschers, sondern er nähert sich einem gewissen Maximum, über welches hinaus vermehrter Druck vorwiegend in rascher plastischer Umformung des Eises aufgezehrt wird.“ Und an einer anderen Stelle heisst es: „Schon aus diesem Grunde darf man den Gletschern der Eiszeit nicht allzu grossartige Wirkungen zuschreiben, von denen man an Gletschern der Jetztzeit nichts beobachtet, bloss wegen ihrer grösseren Dicke. Die Wirkung grösserer Dicke auf den Untergrund hat ihre Grenze, über welche hinaus sie sich vorwiegend in rascherer Bewegung der oberen Theile des Eisstromes äussert.“ Diese Auseinandersetzung scheint auch mir, soweit sie sich auf unsere Frage bezieht, vollständig richtig zu sein und zu genügen, um diese verneinend zu beantworten.

¹ Gletscherkunde. p. 384—385.

Wir wenden uns damit zu dem dritten Punkt. Eine Reihe von Geologen ist überhaupt nicht geneigt, eine Vorwärtsbewegung mächtigerer Grundmoränenschichten unter dem Gletscher zuzugeben. So sagt HEIM (a. a. O. p. 351) ausdrücklich: „Dass die Grundmoräne als Ganzes fortbewegt werde, ist in der Weise, wie dies PENCK annimmt, unter actuellen Gletschern niemals zu beobachten, und ist wohl nur richtig für diejenigen Stellen, wo sie sehr dünn ist, wo local ein zeitweises Zusammenfrieren mit dem Gletscher eintreten konnte oder wo andere ausnahmsweise Umstände dies befördern.“ An einer anderen Stelle seines Buches (a. a. O. p. 356) sagt er aber selbst: „Ein grosser Theil der Grundmoräne wird endlich vom Gletscher an sein Ende ausgefegt.“ Die erste von HEIM hervorgehobene negative Erscheinung beweist nichts, da die Fortbewegung der Grundmoräne als Ganzes nur dort stattfinden kann, wo der Gletscher dem Untergrund dicht anliegt, wo dieser also der Beobachtung nicht zugänglich ist. Die zweite Thatsache spricht aber eher für eine intensive Bewegung der Grundmoräne als dagegen. Auch die Mengenverhältnisse der aus den Ursprungsgebieten weit forttransportirten Grundmoränemassen verglichen mit den in jenen zurückgebliebenen scheinen mir ein ähnliches Resultat zu ergeben. Die enormen Geschiebelehm Massen des nördlichen Mitteleuropa sind wohl kaum in vieltausendfacher Wiederholung als „sehr dünne Schichten“ an den Gletscher angefroren von Skandinavien in ihre heutigen Ablagerungsgebiete getragen worden, sondern sie sind, wenn auch mit Unterbrechungen und nicht etwa in ihrer ganzen heutigen Mächtigkeit, unter dem Gletscher entlang vorwärts gedrückt, gewalzt, gequetscht und an einzelnen Stellen allmählich zu ganz besonders mächtigen Massen aufgehäuft worden. Das zuerst klar und anschaulich dargestellt zu haben, ist PENCK's Verdienst¹. Auch die gleichfalls von PENCK hervorgehobene Thatsache, dass sich in der Grundmoräne oft allseitig angeschliffene Blöcke von beträchtlicher Grösse finden, scheint mir persönlich dafür zu sprechen, dass Grundmoränenmassen von einer Mächtigkeit von mehreren Metern in der von PENCK

¹ Die Vergletscherung der deutschen Alpen. 1882. p. 36—39.

beschriebenen Weise unter den Gletschern vorwärtsgequetscht werden konnten, obwohl ich nicht die Möglichkeit leugne, dass auch ein noch theilweise im Eise steckender Block eventuell durch häufige Stellungsänderung ebenfalls zu allseitiger Abnutzung gelangen kann.

Ein absoluter Beweis für die Fortbewegung mächtiger Grundmoränenmassen unter den Gletschern in der beschriebenen Art ist freilich bis zum heutigen Tage nicht zu erbringen gewesen. Dass eine solche Bewegung aber stattfindet, ist nicht nur PENCK und mir, sondern auch vielen anderen Forschern ungemein wahrscheinlich. Bei einem derartigen Vorgange nun müssen nicht unerhebliche Wirkungen auf den Untergrund ausgeübt werden. Er muss allmählich, wenn auch nicht gleichmässig, Millimeter um Millimeter abgeschrammt, abgehobelt werden. Und es ist zweifellos, dass, wie das BALTZER¹, PENCK² und Andere annehmen, ein directes Ausbrechen von grösseren Blöcken aus einem unebenen Untergrunde stattfinden kann, ja dass selbst beträchtliche Schollen von Gestein unter besonders günstigen Umständen durch Vermittelung der Moräne mechanisch abgepresst werden können. Man denke nur an die Verhältnisse auf Rügen, in Schottland und an die mir eben während der Fahnencorrectur zugehenden Beobachtungen von KOKEN³ bei Torri am Monte Baldo. Doch sind das immerhin exceptionelle Erscheinungen. Und so möchte ich auch dieser erodirenden Wirkung der Gletscher, obwohl ich sie von den drei bisher besprochenen Factoren für den weitaus stärksten halte, nicht die Auskolkung von Becken, Karen und Fjordthälern zuschreiben. Freilich muss ich zugeben, dass dieser Standpunkt ein persönlicher und ein Streit über das Quantitative dieser Art von Glacialerosion wohl möglich ist.

Wir kommen nun zu der vierten und mir am wichtigsten erscheinenden Frage. Ihre Beantwortung beruht in erster Linie auf den Temperaturverhältnissen am Grunde der Gletscher. Nimmt man mit HEIM (a. a. O. p. 249) an, dass bei einiger-

¹ Denkschr. d. Schweizer. naturf. Ges. 1898.

² Zeitschr. d. Deutsch. u. Österr. Alpenvereins. 1897. p. 70.

³ Bewegung grosser Schichtmassen durch glacialen Druck. Centralbl. 1900. Heft 4. p. 115—117.

maassen dicken Gletschern¹ der tiefste Theil des Eises constant 0° , der Untergrund constant über 0° ist, und darum das Eis dauernd zum Schmelzen bringen muss, dann muss man auch zugeben, dass „unter dem Gletscher die Verwitterung nahezu stagnirt; denn die wesentlichsten Verwitterungsfactoren fehlen dort: es fehlt der intensive häufige Temperaturwechsel, der durch wechselnde Spannungen zwischen oberster und tieferer Gesteinslage lockernd wirkt; die Bodentemperatur ist mit seltenen Ausnahmen constant zwischen 0° und etwa $+1^{\circ}$. Dementsprechend tritt die Frostwirkung viel spärlicher auf. Unter mächtigen Gletschern tritt das ganze Jahr niemals Frost ein.“ „Die Annahme der Gletschertheoretiker, dass unter dem Gletscher die Frostwirkung jeden Augenblick eintreffen kann und gewaltige Zerstörungen erzeugen müsse, ist ein blosses Phantasiegebilde, dem die Beobachtung der That-sachen widerspricht.“ „Die mechanischen Verwitterungsfactoren sind unter dem Gletscher fast ganz aufgehoben, selbst die chemischen Factoren verringert, indem das Gletscherwasser ärmer an Kohlensäure ist als das Regenwasser und die freie Luft“ (a. a. O. p. 387—388). „Während der Fluss die ganze Abschrägung der Gehänge einem Verbündeten, der Verwitterung, überlässt, und sich selbst nur mit Export und Sohlenkolk befasst, ist unter dem Gletscher die Verwitterung in hohem Maasse reducirt: Der Gletscher muss allein arbeiten, ihm wird allein das alles zugemuthet, was ohne Gletscher Fluss und Verwitterung durch ihr Zusammenwirken schaffen“ (a. a. O. p. 387).

Ich habe diese Äusserungen so ausführlich wiedergegeben, weil der in ihnen zum Ausdruck kommende Gedankengang wohl der Hauptgrund ist, warum HEIM selbst und viele andere Forscher eine intensive Glacialerosion leugneten. Und doch ist gerade in dieser Betrachtungsweise ein Fehler enthalten. FINSTERWALDER und BLÜMCKE² haben darauf zuerst aufmerksam gemacht. Allerdings muss am Grunde mächtiger Gletscher die Temperatur stets die Schmelztemperatur des Eises sein,

¹ Bei dünnen Gletschern können sich die Schwankungen der Lufttemperatur z. Th. noch an der Sohle geltend machen.

² Sitz.-Ber. Bayer. Akad. d. Wiss. 1890. p. 435—444 und Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins. 1891. p. 79.

aber diese wird, wie längst bekannt, durch jeden den Normaldruck um eine Atmosphäre übersteigenden Überdruck um $0,0075^{\circ}$ erniedrigt und muss also unter Gletschern von der Mächtigkeit der Diluvialgletscher um das 100- und mehrfache erniedrigt gewesen sein. Thatsächlich fanden FOREL und HAGENBACH¹ im Eise des wenig mächtigen Arolla-Gletschers in Graubünden nahe seiner Sohle Temperaturen zwischen $-0,031^{\circ}$ und $-0,002^{\circ}$. Nun führen FINSTERWALDER und BLÜMCKE aus, dass infolge der Bewegung des Eises sich die Druckstärken an den einzelnen Punkten des Gletscheruntergrundes ändern müssen. Besonders intensive und häufige Änderungen sind zu erwarten an unebenen Stellen des Untergrundes, „an den Ecken der Gesteinstrümmen, kurz überall da, wo Reactionen der bewegten Masse gegenüber den Widerständen auftreten“². Mit jeder Vergrößerung des Druckes muss aber eine Verflüssigung, mit jeder Verringerung ein Wiedergefrieren des druckverflüssigten Wassers verbunden sein, so dass thatsächlich der intensivste aller Factoren der mechanischen Gesteinsverwitterung, die Frostwirkung, am Grunde der Gletscher auftreten muss. Ja, FINSTERWALDER und BLÜMCKE haben sich in ihrer schönen Untersuchung sogar der Mühe unterzogen, experimentell den Nachweis zu liefern, dass durch dies nicht durch Temperatur-, sondern durch Druckschwankung erzeugte Schmelzen und Wiedergefrieren des Gletschereises dieselben Frostwirkungen auf Gesteine hervorgerufen werden, wie beim Frost durch Temperaturschwankung. Damit ist aber der Nachweis geliefert, dass in der That unter den Gletschern mechanische Verwitterung stattfindet, ja, an bestimmten Stellen in häufiger Wiederkehr und in beträchtlichem Maasse wirken muss. Freilich, fügt FINSTERWALDER (a. a. O. p. 85) hinzu, „dürfen wir von Glacialerosion auch nicht zu viel erwarten“. Und er setzt auseinander, dass „beim Gletscher die gesammte Einwirkung auf den Untergrund, Abschleifung wie Verwitterung, nicht nur auf Kosten seines Arbeitsvorrathes, sondern auch seiner Masse, die dabei zum Abschmelzen

¹ Compt. rend. 2. p. 861. Paris 1887.

² FINSTERWALDER, Z. d. D. u. Ö. Alpenvereins. 1891. p. 80.

gelangt, vor sich geht“. Die Grösse der durch Gletscher möglichen Erosion zu bestimmen, ihre geologischen Wirkungen zu untersuchen, das haben FINSTERWALDER und BLÜMCKE als über ihr specielles Ziel hinausgehend unterlassen; und auch so haben sie der Lehre von den Gletschern durch ihre schönen und sorgfältigen Untersuchungen einen hoch zu schätzenden Beitrag geliefert.

Gerade dieser geologischen Aufgabe will ich im Folgenden wenigstens von einem bestimmten Gesichtspunkt aus gerecht zu werden versuchen, nachdem so die vier im Eingange dieser Betrachtungen gestellten Fragen beantwortet sind. Die zu lösende Aufgabe wird dabei im Wesentlichen darin bestehen, nachzuweisen, ob durch die bejahende Beantwortung der vierten Frage die Annahme einer intensiven Glacialerosion berechtigt ist. Zu diesem Zwecke müssen wir aber von einem scheinbar weitabliegenden Gebiete aus unsere Betrachtungen beginnen.

In Hochgebirgen vom Charakter unserer Alpen ist der weitaus intensivste Factor der Verwitterung der Spaltenfrost. Es ist geradezu erstaunlich, wie frisch in den Hochregionen die bei Steinfällen losgelösten Gesteinsfragmente gewöhnlich sind. Selbst Gebilde, die wie die von mir beschriebenen Hornfels-Aviolite des Monte Aviole¹ zu einem grossen Theil aus dem so leicht zersetzbaren Cordierit bestehen, kann man mühelos in ganz frischen Stücken erhalten. Auch HEIM sagt: „Die gewöhnliche Frischheit der Gesteinstrümmel im Gebirge beweist uns übrigens, dass unter gewöhnlichen Verhältnissen die mechanische Verwitterung dort viel leistungsfähiger ist als die chemische².“ Bei der Beeinflussung und Umgestaltung der Bergformen im Grossen, bei der Abschrägung der Thalwände kommt von den Erscheinungen der mechanischen Erosion das Abblättern einzelner kleiner Partikel und dünner Krusten der Oberfläche gar nicht in Betracht im Verhältniss zur Sprengwirkung des in Gesteinsspalten gefrierenden Wassers. Die freiliegenden Oberflächen der Gesteine aber sind fast überall von Spalten durchzogen, ob diese nun in die

¹ TSCHERMAK's Mittheil. 17. p. 150.

² Gletscherkunde. p. 388.

Kategorie der Structurfugen oder in die der Druckfugen, wie ich diese Gebilde einzutheilen vorgeschlagen habe, gehören¹. Hat man durch Steinbruchbetrieb oder sonstige künstliche Aufschlüsse Gelegenheit, das eben erst freigelegte Innere irgend einer solchen an der Oberfläche von Spalten durchzogenen Gesteinsmasse zu untersuchen, so erkennt man in den meisten Fällen, dass die Zahl der Fugen dort eine wesentlich geringere ist. Den Steinbrechern solcher frischen Gesteinsmaterialien ist es aber wohlbekannt, dass diese in der Regel nach gewissen Ebenen sich leicht trennen, zerklüften lassen. So sprechen die Steinbrecher in Baveno von dem „filone mastro“ des Granites², die der Val Camonica vom „verso della pietra“ ihre schlesischen Handwerksgenossen³ von den „Bahnen“, die Lausitzer³ von den „Gahren“, die Elbthäler⁴ von den „Losen“ der von ihnen bearbeiteten Gesteine. Alle diese Namen sind Bezeichnungen für Ebenen maximaler Cohäsion im Gestein, ähnlich wie es die Spaltflächen in einem Krystall sind⁵. Ich habe auf diese Beziehung schon früher (a. a. O. p. 30—31) hingewiesen und für die Eigenschaft der Gesteine, nach solchen Bahnen, Gahren oder Losen relativ leicht gespalten werden zu können, den Namen Klüftbarkeit⁶ vorgeschlagen. Zur Bildung von Klüften in einem klüftbaren Gestein bedarf es einer Kraft, die die dazu nothwendige Arbeit verrichtet; und das thut in sehr vielen Fällen gerade die mechanische Verwitterung und zwar die Sprengwirkung des auf den feinsten Haarspalten eindringenden und darin gefrierenden Wassers. Damit soll aber nicht etwa ge-

¹ Vergl. Sitz.-Ber. Berliner Akad. d. Wiss. 1899. p. 31. — Die weitergehende DAUBRÉE'sche Eintheilung scheint mir überflüssig zu sein.

² Meines Wissens machte darauf zuerst G. VOM RATH aufmerksam. Vergl. auch ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre. p. 28.

³ ROSENBUSCH, a. a. O.

⁴ HETTNER, Der Gebirgsbau der sächsischen Schweiz. p. 43. (Quadersandstein.) Stuttgart 1887.

⁵ Der Unterschied liegt darin, dass die Spaltbarkeit ihre Spalten durch jeden Punkt des Krystalles hindurch legen kann, die Klüftbarkeit gewisse Abstände einhält.

⁶ Nicht „Klüftung“ oder „Absonderung“, was das gar nicht nothwendige Vorhandensein von Klüften voraussetzen würde. Spaltbare Krystalle haben sehr häufig keine Spalten.

leugnet werden, dass in vielen Gesteinen Klüfte unmittelbar bei oder nach ihrer Verfestigung durch Contraction von fest werdenden und sich abkühlenden Erstarrungsgesteinen, durch Austrocknung von Sedimenten entstehen. So hat, um nur ein Beispiel anzuführen, A. SAUER in den Syenitgraniten von Meissen¹ horizontal verlaufende, oft nur centimeterstarke Pegmatitgänge beschrieben, die er mit Recht als die Ausfüllungsmassen von solchen „unmittelbar nach beendeter Krystallisation und Abkühlung der Gesteinsmasse entstandenen Schwund- und Contractionsrissen“ auffasst. Es giebt nur sehr wenige Gesteine selbst des ungestörten Gebirges, die nicht eine Klüftbarkeit besitzen. Die Erstarrungsgesteine zeigen säulenförmige, prismatische, parallelepipedische, plattenförmige, kugelige Absonderungsformen und dementsprechend Klüftbarkeitseinheiten. Die Sedimente besitzen in den Schichtflächen meist ganz ausgezeichnete Klüftbarkeitsebenen. Ausserdem aber haben sie sehr häufig noch verticale, auf den Schichtflächen senkrecht stehende Klüftbarkeitsebenen, wie sie z. B. in den Dolomiten Südtirols prachtvoll zur Entwicklung gelangt sind und einen wesentlichen Factor in der Erzeugung der charakteristischen, imponirenden Bergformen gerade der Schlerndolomitregionen bilden. Dazu kommen aber im gestörten Gebirge fast immer noch die den Druckfugen entsprechenden Klüftbarkeitsebenen, wie sie in der bereits citirten Arbeit von HETTNER als wesentlichste Ursache der Klüftbildungen des sächsischen Quadersandsteins beschrieben werden. Auch die Schieferungsflächen der geschieferten Gesteine entsprechen Klüftbarkeitsebenen, und so ist es wohl keine Übertreibung, wenn man sagt, dass es in der ganzen Welt kein festes Gestein giebt, das nicht die Eigenschaft der Klüftbarkeit wenigstens in geringem Maasse besitzt.

Dabei ist es ferner nicht unwesentlich, dass viele Gesteine von ihren Klüftbarkeitsebenen in annähernd äquidimensionale Klüftbarkeitseinheiten, nicht in prismatische oder pinakoidale Theilstücke zerlegt werden. Die Säulen des Basaltes, die Pfeiler, die man in manchen Quarzporphyren, Andesiten und

¹ Erläuterungen zur geolog. Specialkarte d. Königr. Sachsen. Section Meissen. p. 26. Leipzig 1889.

anderen Eruptivgesteinen beobachtet, die Platten der Phonolithe, anderer Quarzporphyre, des Tonalites sind meist durch quer verlaufende Klüfte begrenzt und in zahlreiche Stücke zerlegt¹. Die Schichten der Sedimente aber besitzen, wie schon hervorgehoben, sehr oft senkrecht stehende Systeme von einander gern rechtwinkelig schneidenden Klüftbarkeits-ebenen, so dass auch sie in Parallelepipede zerlegt werden.

Nach diesen Betrachtungen untersuchen wir jetzt das Verhalten eines Gletschers gegen seine Unterlage. Stellen wir uns dabei vor, dass ein vorher schneefreies, ja eventuell durch ein warmes Klima ausgezeichnetes Gebirge² durch lange Zeiträume hindurch der chemischen und mechanischen Verwitterung und der Erosion des fließenden Wassers oder des Windes ausgesetzt war und sich nun allmählich mit einer Firndecke überzieht, so werden sich aus dieser wirkliche Gletscher zuerst in den bereits vorhandenen Thalsystemen herausbilden. Erst später wird die Eisbedeckung den Charakter des Inlandeises annehmen, wenn es überhaupt dazu kommt. Wie das aber auch sein mag, jedenfalls wird, so wie das seit alter Zeit allgemein angenommen wird, das bewegte Eis vor Allem den losen Verwitterungsschutt ausfegen. Hier setzt aber die im Anfang citirte DRYGALSKI'sche Hypothese ein und behauptet, dass nach Entfernung des Verwitterungsschutttes bereits all' die für ehemals vergletscherte Gebiete so charakteristischen Landschaftsformen, die Kare, Fels-Seebecken und Fjorde vorhanden seien, ja, dass selbst in einem ursprünglich plateauartigen Gebiete ohne Flusserosionsrinnen die Verwitterung, allerdings unterstützt durch den Verlauf der Klufsysteme im Gestein, bereits in dem anstehenden Fels all' das Material abgelöst und locker gelegt hätte, das jetzt in jenen Hohlformen fehlt. Er bezieht sich dabei auf die bereits auf p. 119 citirte Beobachtung, dass „man heute schon wieder auf dem Plateau (sc. Grönlands) in dem durch die Eismassen früher geglätteten vorstehenden Felsen trogförmige Rinnen und flache Becken ausgesprengt sieht, die sich nur durch ihre Dimensionen von den Fjordthälern

¹ Man denke z. B. an den Basalt der Käsegrotte bei Bertrich in der Eifel.

² Etwa Grönland in der Tertiärzeit.

und Felsenbecken des krystallinischen Küstensaums unterscheiden. Heute liegt in diesen durch Verwitterung ausgemisselten Felsenformen noch der Schutt, welcher ehemals darin anstehend war; denke man sich ihn hinweggeräumt, so wird man wieder eine grosse Zahl von neuen Thal- und Seezügen vor sich erblicken.“ Der in diesen Worten enthaltenen, in vielen Hinsichten interessanten und der Beachtung werthen Beobachtung kann ich nicht dieselbe quantitative Bedeutung zuschreiben wie v. DRYGALSKI. Ich glaube, dass, was dies betrifft, gerade die von mir gesperrt wiedergegebenen Worte beweisend sind. Die Verwitterung kann, wenn sie nicht durch ein Agens unterstützt wird, das die durch sie von dem anstehenden Gestein abgelösten Theile wegschafft, nicht bis zu den Tiefen gelangen, die von DRYGALSKI vorausgesetzt werden, Tiefen von über 1000 m. Sie kann wohl im Kleinen beckenförmige oder trogförmige, ja selbst rinnenförmige Hohlformen im festen Gestein aussprengen, aber sie wird dann ihre Kraft an dem in diesen Hohlformen liegenbleibenden Schutt stets von Neuem erschöpfen, ebenso wie ein dünner Wasserstrahl, der in ein tiefes Wasserbecken fällt, nicht dessen Boden erodirt. Wohl aber werden derartige, von Verwitterungsschutt erfüllte Tröge und Becken durch den Gletscher ausgefegt und zeichnen dann der erodirenden Thätigkeit des Gletschers in derselben Weise die Bahn vor, wie die vom fliessenden Wasser oder vom Winde erzeugten Erosionsformen das thun. Die Gesamtwirkung der Erosion und der Verwitterung der vorglacialen Zeit einer sich mit Gletschern bedeckenden Gebirgsgegend ist also die, dass die Gletscher eine Anzahl von wohlausgesprochenen Thälern und nur in den kleinsten Dimensionen angelegten becken- und trogartigen Hohlformen vorfinden, aus diesen den lockeren Schutt schnell ausfegen und damit zugleich reiches Grundmoränenmaterial gewinnen. Die an der Unterfläche des Eises eingebackenen Blöcke und die nach meiner Anschauung in Massen, die mehrere Meter Mächtigkeit erreichen können, unter dem Gletscher vorwärts gedrängte Grundmoräne schrammen und schleifen den festen Fels des Untergrundes ab. Sie zerstören seine vorspringenden Kämme und Kanten, sie brechen gelegentlich Blöcke und selbst grössere Schichtmassen aus

unebenen Stellen aus¹, nutzen den Untergrund allmählich Millimeter nach Millimeter ab und lassen aus unregelmässigen Hügeln Rundhöcker entstehen. Bis hierhin sind so ziemlich Alle, die sich mit der Frage beschäftigt haben, einig. Nun aber gehen wir weiter. Kann diese mechanisch abschleifende Thätigkeit des Gletschers allein, sein „grinding power“, wie RAMSAY und J. GEIKIE² sagen, auch gewöhnliche Thäler zu Fjordthälern umschaffen, in der unregelmässig, aber doch stets thalauswärts geneigten Sohle eines Felsenthales Seebecken einschleifen, den Sammeltrichter seiner Gewässer zum typischen Kar umgestalten? Oder kann gar, wie extreme Anhänger der Glacialerosion behauptet haben, ein Gletscher ohne die vorarbeitende Thätigkeit von Verwitterung und fließendem Wasser selbständig in einem flach geneigten Felsplateau Kare, Seebecken und ganze Thäler erzeugen? Ich muss alle diese Fragen entschieden verneinen.

Wir sahen aber im ersten Theile dieser Arbeit, dass der Gletscher gar nicht allein an der Zerstörung seines Untergrundes arbeitet, sondern dass er dabei den von HEIM verlangten „Verbündeten“ in der Frostwirkung besitzt. An allen Unebenheiten des Gletscherbettes, bei jedem, auch dem kleinsten Rundhöcker, an allen Stellen, wo infolge von Änderungen im Gefälle der Gletschersohle entweder an der Ober- bzw. Unterseite³ des Gletschers Spalten aufreissen oder doch wenigstens Geschwindigkeits- und damit Druckänderungen eintreten, an allen seitlichen Verengerungen des Gletscherbettes, an jeder Stelle, wo vorübergehend grössere Blöcke am Grunde des Gletschers auf den Boden stossen, ja selbst an jeder Stelle, wo ein kleines Geschiebe der Grundmoräne gegen den Boden gedrückt wird, muss die Frostwirkung eintreten. Bei jeder, auch der kleinsten Druckverminderung muss das druckverflüssigte Wasser unter dem Gletscher gefrieren. Mit dem Eise des Gletschers, mit den von ihm gefassten Blöcken und der Grundmoräne wandern aber auch seine Spalten. An der Stelle, wo infolge der Beschaffenheit des Untergrundes eine abwärts gewanderte Spalte entstanden

¹ Splitternde Erosion BALTZER's. Vergl. p. 118. Anm. 3.

² The great Ice Age. p. 294. London 1874.

³ HEIM, Gletscherkunde. p. 212—213.

war, reisst nach kurzer Zeit eine neue auf, um wieder ihrer Vorgängerin thalabwärts zu folgen. An jeder solchen Stelle finden also Druckschwankungen statt. Das eben durch Druckverminderung gefrorene Wasser wird bald darauf durch Druckvermehrung von Neuem verflüssigt. So muss sich die Frostwirkung an bestimmten Stellen unendlich oft wiederholen. An anderen wird sie seltener oder gar nicht eintreten. Das gefrierende Wasser wird alle die Wirkungen hervorrufen, die der Frost auf freien Gesteinsoberflächen erzeugt; es wird, wie das BLÜMCKE und FINSTERWALDER experimentell zeigten, kleine Partikelchen von der Oberfläche absprengen; es wird aber auch die latente Klüftbarkeit zum Ausdruck bringen und längs der Klüftbarkeits Ebenen Spalten aufreissen lassen. Dadurch wird aber der feste Untergrund an günstigen Stellen allmählich in ein Aggregat lose nebeneinander liegender Stücke verwandelt werden, auf die der Gletscher genau so wirkt, wie dem vor der Vergletscherung durch Verwitterung entstandenen Schutt gegenüber. Er wird sie ausfegen und damit dem Frost wieder die Bahn in die nächst tiefere Gesteinslage frei machen, wo dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Sehr viel muss nun dabei von der Lage der Klüftbarkeits Ebenen zum Gehänge abhängen. Wo die Klüftbarkeit das Gestein in flache, annähernd dem Gehänge parallele, oder noch etwas steiler thalabwärts fallende, nicht zu dicke Platten zerlegt, da müssen die Wirkung des Frostes, das Hochheben der Platten und ihr Transport ganz ausserordentlich erleichtert werden. Da müssen wir also auch dementsprechend besonders intensive Wirkungen erwarten. Wo dagegen die Klüftbarkeits Ebenen mit dem Gehänge beträchtliche Winkel bilden oder gar senkrecht darauf stehen, da wird die Arbeit in einer ihrer Endwirkung ungünstigen Weise verrichtet werden; das Herausheben der Theilstücke wird schwierig oder gar nicht von Statten gehen und die Erosion im Wesentlichen nur im Abschleifen und Absplittern bestehen. Es muss also je nach der Stärke der Klüftbarkeit nicht nur zwischen verschiedenen Gesteinen, sondern auch zwischen verschiedenen Theilen desselben Gesteinskörpers eine selective Erosion stattfinden.

Damit haben wir nun eine Reihe von Momenten gewonnen, die uns eine unbefangene Prüfung unseres Gedankenganges ermöglichen. Wir brauchen ja nur zu untersuchen, ob die als Producte der Glacialerosion angesehenen Hohlformen sich wirklich an den Stellen finden, an denen wir sie auf Grund unserer Betrachtungen erwarten müssen.

Da ist es zunächst zweifellos und seit alter Zeit anerkannt, dass erstens einmal die Fjorde, Felsbecken und Kare gesellig auftreten und sich nur in Gegenden finden, die wirklich in früheren Zeiten eine Vergletscherung durchgemacht haben. Ja, diese Thatsache war wohl der Hauptgrund, warum zahlreiche bedeutende Forscher an der glacialen Entstehung dieser Gebilde festhielten, obwohl es doch, solange man unter Glacialerosion lediglich die Millimeter nach Millimeter abschleifende und abschrammende Kraft der Gletscher verstand, eigentlich klar sein musste, dass man über keine ausreichende Kraft für die Erklärung so grossartiger Wirkungen verfügte. Sehr charakteristisch ist es z. B. in dieser Hinsicht, dass, während die Vogesen, der Schwarzwald, der Böhmerwald und das Riesengebirge deutliche Glacialspuren und eine nicht unerhebliche Anzahl von echten Karen, z. Th. mit Wassererfüllung besitzen, das ungefähr gleich hohe, zwischen ihnen gelegene Erzgebirge weder Kare noch Glacialwirkungen aufweist, wenn man von der einzigen, von SAUER¹ angeführten Stelle absieht, an der Spuren beider aufzutreten scheinen. Und wenn Fjorde nichts Anderes als unter den Meeresspiegel versunkene Flusserosionsthäler wären, warum fehlen sie da den Küsten Griechenlands, Cretas, Dalmatiens? Warum finden wir gerade in Dalmatien, wo doch selbst eine oberflächliche Betrachtungsweise an manchen Stellen fjordähnliche Bildungen erkennen lässt, in den langgestreckten schmalen Meeresbuchten nicht die charakteristischen Bodenschwellen der Fjorde wieder? Dabei ist zu berücksichtigen, dass man heute nach den schon von J. GEIKIE und neuerdings wieder von E. v. DRYGALSKI gegebenen Beweisen nicht mehr behaupten darf, dass diese Bodenschwellen aus lockeren Anhäufungsproducten bestehen.

¹ Circusseen im mittleren Schwarzwald. Globus. 65. p. 205—206.

Untersuchen wir nun irgend ein Flussthal, das seine heutige Form im Wesentlichen der Erosion des Wassers verdankt und in dem nicht tektonische Vorgänge Seebecken erzeugt haben. Wir werden ein in wechselndem Maasse, aber stets thalabwärts geneigtes Gefälle finden. Denken wir uns nun, dass das Thal von einem Gletscher erfüllt wird, so muss der Gletscher nach unseren Voraussetzungen an den Stellen Becken erzeugen, an denen rasche Druckänderungen stattfinden. Solche Stellen sind aber vor allen Dingen die Punkte unterhalb der Thalstufen, der Wasserfälle. Nun hat freilich L. SWERINZEW¹ vor Kurzem den Versuch gemacht, die Wasserfälle selbst für die Entstehung der Seen unter ihnen verantwortlich zu machen. Es ist indessen schon von BALTZER² zur Genüge gezeigt worden, dass diese Annahme auf falschen Voraussetzungen beruht. Thatsächlich brauchen wir uns nur das Rheinthal bei Schaffhausen, die Triberger Wasserfälle im Schwarzwald oder irgend einen nicht schon in der Glacialzeit genau an seiner heutigen Stelle vorhandenen Wasserfall anzusehen, um uns von der Abwesenheit wirklicher Seebecken an ihrem Fusse zu überzeugen. Gehen wir aber in ein Thal hinein, in dem Thalstufen in nicht wesentlich veränderter Form³ aus der Diluvialzeit erhalten sind, und ist das Thal vergletschert gewesen, dann finden wir auch in den weitaus meisten Fällen am Fusse der Stufen Seebecken. Ich führe ein besonders charakteristisches Beispiel an, das durch die beigegebene Karte (Taf. IV) erläutert wird⁴. In der nordwest-

¹ Inaugural-Dissertation. 36 p. Zürich 1896. Vergl. dies. Jahrb. 1900. I. -212—213-.

² *Eclogae geol. helv.* 5. 1897. p. 215. Vergl. dies. Jahrb. 1900. I. -214-.

³ Wie durch Rundhöcker gezeigt werden kann.

⁴ Diese Karte, ein selten erreichtes Muster klarer und charakteristischer Terrainarstellung, auf der nicht bloss die Felszeichnung, sondern auch die alten und jungen Moränen, Schutthalden und -Kegel zu ihrem Recht kommen, zeigt ausser den im Text dargestellten Verhältnissen noch, dass auch der nicht besuchte westliche Zweig des Thales zwei alte Fels-Seebecken besitzt (7 und 8). Auch der jetzt auf seiner Ostseite fast ganz von Moränenschutt begrenzte Pantano (Morast, Sumpf) d'Avio ist, wie mir der vortreffliche Topograph und Kenner des Alpenterrains, Herr AEGERTER, freundlichst mittheilt, gleichfalls ein altes Fels-Seebecken, kein Moränen-See. „Auf der Westseite sieht man noch die muldenbildenden Felsen, während östlich der Gletscher seine Schuttmassen über dieselben hinaus-

lichen Adamello-Gruppe zieht sich von dem steilen Nordabsturze des Adamello selbst (3554 m) nach Norden ein einsames, grossartiges Hochthal, die Val d'Avio, die gegenüber Temù in das Oglio-Thal ausmündet. Wandert man von dort thalaufwärts bis zu dem im obersten Theile des Thales nicht weit von den Gletschern gelegenen Rifugio Garibaldi des Club alpino italiano, so kann man im Ganzen etwa 6 grössere flache Thalabsätze unterscheiden, von denen nur der erste, auf dem die Malga¹ Caldea gelegen ist, kein Felsseebecken darstellt. Der zweite und dritte haben sich bis zum heutigen Tage als Seebecken erhalten, der vierte und fünfte sind zwar vollständig ausgefüllt, doch kann selbst für den Laien kein Zweifel an ihrer ehemaligen Wassererfüllung bestehen; der langgestreckte sechste, an dem das Rifugio gelegen ist, hat ebenfalls noch vor ganz kurzer Zeit den Charakter eines Sees gehabt, ist aber jetzt zum allergrössten Theil von den Gletscherbächen mit Schlamm und Sand erfüllt. Alle diese Becken sind in festen Tonalit eingesenkt und an ihrer thalabwärts gelegenen Seite von prachtvoll geglätteten Rundhöckern begrenzt, über die meist Wasserfälle steil hinunterstürzen. Alle liegen an Stellen, an denen sich das Gefälle des Thales plötzlich verringert. Besonders bemerkenswerth ist die Lage der vier unteren Seebecken, von denen ein jedes von dem folgenden überhaupt nur durch eine Felswand, über die der Wasserfall hinunterstürzt, getrennt ist, so dass sie wie die Perlen in einer Perlenschnur unmittelbar aufeinanderfolgen.

Der Grund, warum sich ursprünglich die Thalstufen in demselben Gestein herausgebildet haben, ist nicht recht einzusehen, wenn man von dem erloschenen See neben der Malga di Mezzo absieht, der in der Richtung jener eigenthümlichen, früher einmal von mir beschriebenen Doppelzone von contact-

gestossen hat, so dass nur noch Spuren vom ehemaligen Muldenrand in Gestalt von einigen Felsen unter dem Gletscher hervorblicken.“ — Hinsichtlich des langgestreckten Beckens 6 bemerke ich noch, dass ich nicht mehr deutlich in Erinnerung und an Ort und Stelle leider aufzuzeichnen vergessen habe, ob wirklich die ganze Strecke von der Zahl 6 bis zum Rifugio nur ein einziges Becken oder ursprünglich zwei erst später durch Durchschneidung eines Riegels vereinigte Becken umfasst.

¹ Sennhütte.

metamorphen weicheren Sedimentgesteinen des Passo Gallinera liegt¹, freilich in viel tieferem Niveau als diese Gesteine dort heutzutage vorkommen. Dieser Grund ist aber für unsere Betrachtungen ganz nebensächlich, da die die Becken thalwärts abschliessenden Rundhöcker uns beweisen, dass diese Thalstufen schon in der Diluvialzeit und jedenfalls schon vor der Vergletscherung existirten. Warum die schwach thalwärts geneigte Stufe der Malga Caldea nicht gleichfalls zum Seebecken ausgekolkt wurde, ist nicht festgestellt. Doch beweist diese Ausnahme nichts, da sie in geringerer Klüftbarkeit des Gesteines oder in kürzerer Gletscherbedeckung ihren Grund haben kann. Die fünf oberen Seebecken aber können ihre Erklärung nur durch Gletschererosion finden; und sie liegen nun sehr charakteristischer Weise genau an den Stellen, wo unsere Hypothese es verlangt. Überhaupt ist das ganze Adamello-Gebiet ungemein reich an Felsseen und Karen. Sein Hauptgestein, der Tonalit, besitzt aber auch die Eigenschaft der Klüftbarkeit in einem ganz ungewöhnlich hohen Maasse; und zwar konnte ich überall, wo ich es daraufhin untersuchte, mehrere Klüftbarkeitsrichtungen und unter diesen gar nicht selten auch flach der Neigung der Gehänge annähernd folgende Systeme erkennen. Begeht man nun irgend ein vegetationsfreies oder -armes Gehänge, so sieht man, dass die Gletscher hier in der That ihre Hauptthätigkeit nicht in der Millimeter nach Millimeter weghobelnden Erosion, sondern in der Abhebung ganzer Platten und Parallelepipede ausgeübt haben und noch jetzt ausüben. Ja, so deutlich ist diese Erscheinung hier an zahllosen Stellen, dass ich durch sie überhaupt erst auf den ganzen im Vorhergehenden entwickelten Gedankengang und zwar naturgemäss in umgekehrter Reihenfolge gekommen bin. Wer sich von ihr überzeugen will, der besuche z. B. die Gehänge in der Nähe der Nardis-Hütte am Südabhange der Cima Presanella oder irgend einen hochgelegenen Kamm der Adamello-Gruppe. Es giebt kaum Stellen, an denen die Erscheinung nicht deutlich wäre. Ja, an allen diesen Kämmen kann man noch heutzutage die allmähliche Heraus-

¹ Vergl. Sitz.-Ber. Berl. Akad. d. Wiss. 1899. p. 37.

bildung der Kare, das Flacherwerden ihres Bodens und dessen allmähliche Umgestaltung zu Seebecken erkennen. Neben- einander sieht man kaum erst angedeutete, dann deutlich entwickelte Kare mit schrägem, thalauswärts geneigtem Boden und das fertige typische Kar mit seiner charakteristischen Lehnstuhlgestalt und dem zwischen die Lehnen tief eingesenkten, hier sehr oft auch noch wassererfüllten Becken¹. Auch die Blockmeere, die an so zahllosen Stellen der hohen Gehänge der Adamello-Presanella-Gruppe auftreten, bestehen nur zum Theil aus dem Material alter Bergstürze. Zu einem anderen Theil glaube ich sie als das aus den jetzigen Karhohlformen durch Gletscher heraustransportirte, aber infolge des kurzen Transportes und der Grösse der Blöcke und Platten nicht erkennbar gerundete Material auffassen zu müssen.

Ein anderes sehr schönes Beispiel für die hier vertretene Auffassung von der Art der Gletschererosion sah ich auf einer in diesem Jahre zu Pfingsten mit meinen Schülern nach den Vogesen unternommenen Reise. Ich sehe dabei von der längst durch die vortrefflichen Arbeiten der elsässischen Geologen bekannt gewordenen Thatsache ab, dass zahlreiche Seen der Vogesen die typische Karform besitzen, von Moränenwällen abgeschlossen sind und z. Th. glaciale Schrammung und Rundhöckerbildung in typischster Weise zeigen².

Beim Besuche des schwarzen Sees, dessen Westseite von prachtvoll abgerundeten und geschrammten Granitrundhöckern gebildet wird, gelangten wir zu einer etwas oberhalb des Sees gelegenen Stelle, die auf Taf. V abgebildet ist³. Man

¹ Über Definitionen der „Kare“ vergl. PAUL WAGNER, Die Seen des Böhmerwaldes. Dissertation. p. 60—61. Leipzig 1897. — Ich erhielt diese interessante Arbeit durch die Güte des Herrn Geheimrath Prof. Dr. RATZEL in Leipzig, dem ich auch für andere Literaturnachweise zu lebhaftem Danke verpflichtet bin. Ich möchte auch diese Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, ohne hervorzuheben, dass ich das Interesse für das in der vorliegenden Arbeit behandelte Thema wohl gleichfalls den in den achtziger Jahren in Leipzig gehörten anregenden Vorlesungen dieses von mir hochverehrten Lehrers verdanke.

² Vergl. z. B. L. VAN WERVEKE, Neue Beobachtungen an den Seen der Hochvogesen. Mitth. geol. Landesanst. Elsass-Lothringen. 1893. III.

³ Ich verdanke das Negativ der Freundlichkeit meines Schülers, des Herrn Cand. min. F. E. WRIGHT.

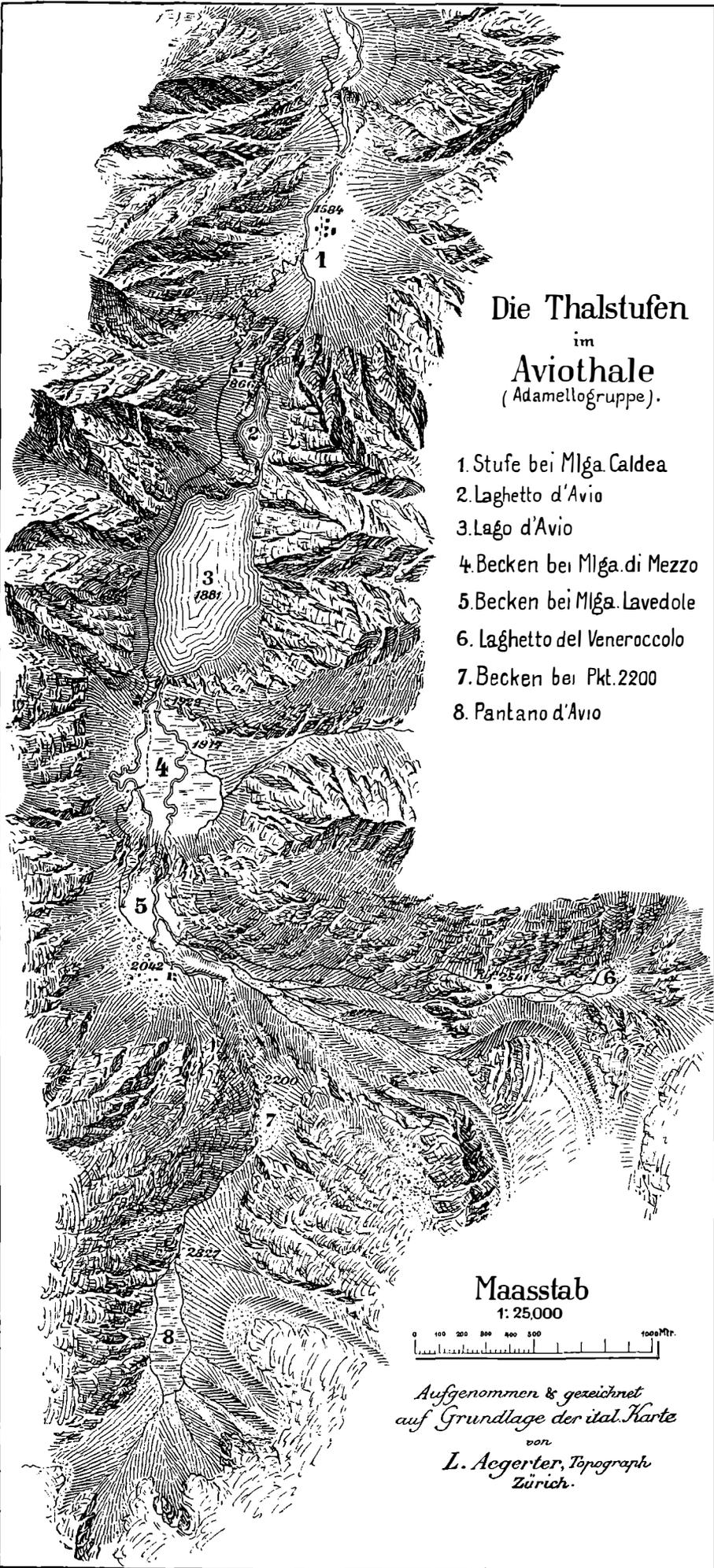
sieht in der Natur ganz klar, dass hier aus einer zusammenhängenden, glacial abgeschliffenen, flachen Oberfläche von Granit eine mächtige etwa 1 m hohe Platte herausgelöst und entfernt ist und zwar so, dass die unter der Platte befindliche, in der Abbildung den Vordergrund bildende Oberfläche wieder eben und der oberen Fläche ungefähr parallel ist. Bergwärts bilden die seitlichen verticalen Begrenzungsflächen der herausgehobenen Platte einen, wenn ich mich recht besinne, ungefähr rechten Winkel, dessen Wände den Haupttheil der Abbildung in Anspruch nehmen. In diesem Winkel fließt jetzt eine ganz schwache Wasserader herunter, die nicht einmal ihre Einschnittsstelle zur Rinne auszufurchen vermocht hat, also sicher an der Auslösung der mächtigen, mehrere 100 Centner schweren Platte unschuldig ist. Menschliche Thätigkeit ist bei dem Befunde ausgeschlossen. Nun weist aber das ganze Gehänge bis zur Höhe des Kammes hinauf an zahllosen Stellen ausser den verticalen Kluftsystemen auch ein horizontales oder ganz flach geneigtes auf; und diesem System gehören die Ober- und Unterfläche der herausgehobenen Platte an, während ihre verticalen Begrenzungsflächen anderen gleichfalls auch anderwärts verfolgbaren Kluftsystemen entsprechen. Dabei ist die Oberfläche in der Umgebung der jetzt vertieften Stelle so glatt und flach, dass man mit Vorsicht darauf gehen muss, und dass eine rein mechanische Aussplitterung aus dem festen Gestein ohne Mitwirkung der Klüftung und der Frostsprengung wegen des Mangels eines Angriffspunktes ganz ausgeschlossen ist. Es bleibt also hier gar keine andere Erklärung übrig, als die im Vorstehenden gegebene. Und sicher wird man an zahlreichen anderen Stellen dieselbe Erscheinung constatiren können. Auch das schon im Anfange dieser Betrachtungen erwähnte Auftreten von Grundmoränenblöcken, die durch ihre nur auf einer Seite befindliche Glättung und parallele Kritzung zeigen, dass sie in geringer Entfernung vom Fundort dem Anstehenden entnommen sind, ist wohl kaum rein durch mechanische Zersplitterung des Untergrundes oder durch mechanische Ausbrechung aus diesem zu erklären. Wenigstens scheint mir dessen vorangegangene Glättung einen derartigen Vorgang sehr zu erschweren, wenn nicht unmöglich zu machen. Entstanden aber in dem Unter-

grund steile und flache Klüfte, so musste in diese immer mehr druckverflüssigtes Wasser infiltriren und gefrieren, dadurch den Block immer höher aus der ursprünglich ebenen Oberfläche herausheben und so der mechanischen Stosskraft des Gletschers den Angriffspunkt liefern.

Damit will ich diese, wie ich mir wohl bewusst bin, nur den Charakter einer rohen Skizze tragenden Betrachtungen, die ich in meiner Monographie der Adamello-Presanella-Gruppe eingehender darstellen und an Beispielen erläutern werde, für diesmal beschliessen. Ich hebe nur zum Schluss als Hauptergebniss hervor, dass nach meinem Dafürhalten also Gletscher sehr wohl im Stande sind, Sammeltrichter gewöhnlicher Thäler zu Karen¹, die Thäler selbst zu Fjorden umzubilden und in ihren ursprünglich gleichmässig thalauswärts geneigten Böden Seebecken auszukolken, dass sie das aber nicht thun, indem sie Millimeter nach Millimeter abhobeln, sondern indem sie nach vorausgegangener, durch die Klüftbarkeit der Gesteine unterstützter Frostsprengung ganze Blöcke und Platten herausheben und forttransportiren. Dagegen halte ich es nach wie vor für ausgeschlossen, dass Gletscher auf gleichmässig geneigten, noch nicht durch Erosion sculpirten Abhängen und Plateaus, soweit sie aus festem Fels bestehen², selbständig Hohlformen anlegen. Denn auf gleichmässig geneigter glatter Unterlage fehlt die nach unseren Betrachtungen für das Eintreten der Verwitterung unter dem Gletscher und damit einer intensiven Erosion nothwendige Voraussetzung, der Wechsel in den Druckstärken am Grunde des Gletschers.

¹ Den Botnern Norwegens, für die der hochverdiente E. RICHTER allerdings eine andere Entstehung annimmt. Doch lassen sich, wie ich in der schon angekündigten Arbeit zeigen werde, gegen seine Anschauung mancherlei Gegengründe aufführen. Vergl. Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen. Sitz.-Ber. Wien. Akad. Wiss. 105. p. 147—189. Taf. I—II. 1896.

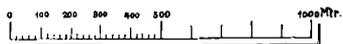
² Damit will ich natürlich nicht die Möglichkeit bestreiten, dass durch schleifende Erosion der Gletscher in weichem Material, etwa dem bayrischen Flinz, oder losen Sanden, Kiesen und Schottern Seebecken erzeugt werden können.



Die Thalstufen
im
Aviothale
(Adamellogruppe).

1. Stufe bei Mlga. Caldea
2. Laghetto d'Avio
3. Lago d'Avio
4. Becken bei Mlga. di Mezzo
5. Becken bei Mlga. Lavedole
6. Laghetto del Venerocollo
7. Becken bei Pkt. 2200
8. Pantano d'Avio

Maasstab
1: 25000



*Aufgenommen & gezeichnet
auf Grundlage der ital. Karte
von
L. Aegerter, Topograph
Zürich.*

