

ÜBER GLETSCHER-EROSION.

VON

R. LEPSIUS.

SONDER-ABDRUCK AUS DEN MONATSBERICHTEN DER
DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT, BAND 62, JAHRGANG 1910, No. 12.

Über Gletscher-Erosion.

Von Herrn R. LEPSIUS.

Darmstadt, den 4. Dezember 1910.

Einleitung.

Jeder, der meine Schriften kennt, weiß, daß, wenn ich über Gletscher-Erosion schreibe, ich mich gegen die „Erosion“ der Gletscher aussprechen will; es ist aber nur der Ausdruck „Erosion“, und es sind nur die Übertreibungen der Wirkung von Gletscher-Arbeit, gegen die ich mich wende.

Die Bezeichnung „Erosion“ muß für die Einfurchung der Erdoberfläche durch das Wasser reserviert bleiben; das fließende Wasser wirkt im wesentlichen in der Linie. Die Abräumung der Erdoberfläche durch die Gletscher dagegen wirkt vorzüglich in der Fläche. Daher sprach A. G. HÖGBOM auf dem

Internationalen Geologen-Kongresse in Stockholm von der „Denudation“ durch die Gletscher; diese wirkt allerdings über Flächen, jedoch ist das Wort „Denudation“ stets für die Abwaschung der Erdoberfläche durch den Regen und die feinsten Wasseradern gebraucht worden. Ihre Wirkung weicht besonders dadurch von derjenigen der Gletscher ab, daß das denudierende Wasser einen sehr geringen, dagegen mächtige Eismassen durch ihre Schwere einen starken Druck auf ihre Unterlage ausüben.

Für die eigenartige oberflächliche Abräumung des Landes durch die Gletscher möchte ich daher ein neues Wort in die geologische Nomenklatur einführen und will sie „Detersion“ nennen¹⁾.

Ich werde heute an einigen Beispielen die Gletscherwirkungen im Gebirge erläutern, nämlich die Entstehung der Kare, der kleinen Seebecken, der Trogtäler und der Hängetäler besprechen.

I. Kare.

Es wird allgemein angenommen, daß die Bildung der Kare irgendwie mit den Gletschern in Verbindung steht; die Mechanik der Ausräumung dieser Felscircus wird verschieden gedeutet. Sie kennen die Form und die Lage der Kare: am äußeren Rande von Bergplateaus, im Halbrund ausgefurcht, sitzen sie mit steilen Felswänden im anstehenden Gebirge; der flache Boden kesselförmig vertieft hinter einem Riegel, der zumeist von einem Moränenwall, gelegentlich auch von anstehendem Fels gebildet wird. Dieser Riegel gibt dem Kar die Form eines Lehnssessels; er ist gewöhnlich durchgeschnitten von einem Ausfluß, der den häufig vermoorten, zuweilen durch einen kleinen See ausgefüllten Boden des Kares entwässert.

Zwei Formteile der Kare sind schwierig zu erklären:

1. Wie entsteht der Circus mit seinen steilen Felswänden?
2. Durch welche Kraft wurde der Karboden übertieft?

Daß ein Gletscher zeitweise im Kar gelegen und sich durch dasselbe hindurchbewegt hat, ist dadurch bewiesen, daß noch jetzt Rundhöcker und Gletscherschliffe auf an-

¹⁾ Aus dem lateinischen *detergere* = ausräumen, ausfegen abgeleitet; *fossam detergere* = einen Graben ausräumen, so wie der Gletscher ein Tal ausfegt. Der Ausdruck „Abrasion“ wäre geeignet, wenn er nicht bereits von F. VON RICHTHOFEN für die angebliche Wirkung der Brandung des Meeres auf die Küsten (die tatsächlich, wie wir an allen Steilküsten sehen können, sehr gering ist) verwendet worden wäre.

stehenden Felsen am Karrande oder auf Felsinseln im Karboden oder an Felsen des Karriegels zu sehen sind; Beispiele hierfür bieten die Karseen der Südvogesen, die in 800 bis 1000 m Höhe über dem Meere liegen¹⁾, oder die Karseen des Böhmerwaldes in 900—1000 m Meereshöhe²⁾.

Der kleine Gletscher im Kar ist nicht imstande, den Circus mit seinen Steilwänden auszuarbeiten; dazu fehlt ihm die mechanische Kraft. Ebensowenig kann der oben über dem Kar auf dem Bergplateau liegende große Gletscher das Kar aushobeln, weil ein Gletscher wohl flache Oberflächen abschleifen, aber keine senkrechten Wände einschneiden kann. Die schroffen Felswände des Circus zeigen auch niemals Schliffflächen, sondern im Gegenteil sehr zerklüftetes, und zwar klein- und kurzklüftiges Gestein.

F. VON RICHTHOFEN und F. FRECH wollten den Circus durch eine rotierende Bewegung der im Kar zusammenfließenden Gletscher ausdrehen; für eine solche Vorstellung sind aber die Kare an sich in der Regel viel zu klein; auch kann das Eis keine senkrecht wirkende, ausfurchende Kraft entwickeln, weil der Gletscher nicht geschlossen in das Kar gelangen, sondern nur zerstückt über die steilen Wände in das Kar hinabstürzen kann.

E. RICHTER stellte die mechanische Verwitterung durch Wasser und Frost in den Vordergrund, und dieser gewiß richtigen Erklärung für die Entstehung der steilen Felswände des Kares traten die meisten Karforscher bei, so PAUL WAGNER für die Kare des Böhmerwaldes.

Aber damit ist die Circusform der Kare noch nicht erklärt; hierfür habe ich keine plausible Erklärung in der Literatur gefunden. Ich glaube, dieselbe auf die folgenden Ursachen zurückführen zu können.

Nehmen wir als Beispiel die typisch ausgebildeten Kare im Schwarzwald, und zwar die im Buntsandstein bei Freudenstadt in 700—800 m Meereshöhe stehenden Kare³⁾. MARTIN

¹⁾ L. VAN WERVEKE: Neue Beobachtungen an den Seen der Hochvogesen. Mitteil. d. Geolog. Landesanst. in Elsaß-Lothringen III, S. 133—138. Straßburg 1892.

²⁾ PAUL WAGNER: Die Seen des Böhmerwaldes. Wissenschaftl. Veröffentl. d. Vereins f. Erdkunde zu Leipzig IV, S. 1—89; mit Abbildungen, Karten und Profilen. Leipzig 1899.

³⁾ M. SCHMIDT: Über Glazialbildungen auf Blatt Freudenstadt. Mit Beiträgen von K. RAU. Mit 4 Abb. und 1 Taf. Mitteil. d. Geolog. Abt. d. Kgl. Württ. Statist. Landesamtes, Nr. 1. Stuttgart 1907. — Derselbe: Blatt Freudenstadt. Geolog. Spezialkarte des Königreichs Württemberg im Maßstabe 1:25000 nebst Erläuterungen. Stuttgart 1906.

SCHMIDT legt Gewicht darauf, daß diese Kare in der Mehrzahl sich nach NO und O zum Haupttale hin öffnen, daß dagegen keine Kare auf den Süd- oder Westgehängen der Berge existieren. In einem dunklen Gefühle glaubt M. SCHMIDT, daß die Himmelsrichtungen dieser Kare auf einen Zusammenhang zwischen Sonnenwärme und Gletscherabschmelzen deuten.

Da jedoch die Wände eines Kares nicht vom Gletscher selbst ausgefurcht werden, sondern vom Wasser, so müßten gerade umgekehrt die Kare in den der Sonne stärker ausgesetzten Süd- und Westgehängen der Berge entstehen, weil dort mehr Schmelzwasser vom Berggletscher herablaufen als auf den kälteren Nord- und Ostgehängen.

Die Kare sind schon deswegen unabhängig von der Sonnen-egend, weil bei Wärmegraden, die hier etwas wirken könnten, die Gletscher überhaupt wegschmelzen würden.

Die Schmelzwasser fließen aus den Gletschern mit dem Gefälle der Bergoberfläche oder mit dem Schichtenfall. Hier auf Blatt Freudenstadt fallen die Buntsandsteinplateaus vom hohen Schwarzwalde ab nach Osten ein; daher stehen die Kare nicht auf den Westhängen der Täler.

In Norwegen ist es ebenso: Die Kare wenden ihren Ausgang nach Norden (NW—NO), nicht weil die im Kar liegenden Gletscher auf den Nordhängen besser vor der Sonnenbestrahlung geschützt liegen, sondern weil die Gletscher und ihre Schmelzwasser nach Norden abfließen.

Wir sehen daher, daß z. B. ein so typisches Kar wie der Rachelsee im Böhmerwalde nach Süden gerichtet liegt; ebenso in den Vogesen der Darensee¹⁾. In den Alpen schauen die Kare nach allen Himmelsrichtungen und richten ihre Längsachse parallel der Abdachung der Berge.

Dem Kar lag jedenfalls ursprünglich ein kleines Tälchen oder eine Wasserrinne im Rande des Bergplateaus zugrunde. Indem nun der auf dem Plateau liegende Gletscher dieses Bach-tälchen bei seinem Heranrücken umfaßt, stürzen die Schmelzwasser, die aus den Eisrändern ausfließen, auch auf den Seitenflächen des Tälchens heraus; Wasser und Frost beginnen ihre abbröckelnde Arbeit in den Talgehängen, erweitern das Tälchen allmählich zu einem Circus mit steilen Felswänden und vertiefen das Tälchen zu einem Kare. Das Eis des Gletschers

¹⁾ L. VAN WERVEKE: Neue Beobachtungen an den Seen der Hochvogesen. Mit 2 Taf. und 7 Fig. im Text. Mitteil. d. Geolog. Landesanst. von Elsaß-Lothringen III, S. 132—138. Straßburg 1892.

stürzt in Stücken über die Felswände herab, verstärkt die Frostwirkung in den Wänden und häuft sich im Karboden an zu einem regenerierten kleinen Gletscher, dem eigentlichen Kargletscher.

Über den Kargletscher gleiten dann die von den Steilwänden des Circus abstürzenden Felsblöcke zum Ausgange des Kares und häufen sich hier an zu einem Moränenwall.

Die Vertiefung des Kares ist in analoger Weise eine Zerstörung des Felsbodens unter dem Karboden durch Wasser und Frost.

Wenn das Kar größer und länger geworden ist, kann sich das vom obenliegenden großen Gletscher über die steilen Felswände des Circus herabstürzende Eis so anhäufen, daß ein fließender Gletscher entsteht. Bei einiger Größe und Länge kann ein Kargletscher eine solche Schwere und Stoßkraft erlangen, daß er den verwitterten Karboden ausräumt; dabei kann im Ausgange des Kares eine niedrige Schwelle von anstehendem Gesteine entstehen, über welche der Gletscher hinübergleitet, ohne die Kraft zu haben, diese Schwelle zu zerstören; beim späteren Zurückgehen des Gletschers wird noch ein neuer Moränenwall auf der anstehenden Schwelle abgelagert.

Auf diese Weise erklären sich die Auskolkung, die Übertiefung des Karbodens oberhalb der Schwelle, der Riegel am Ausgange des Tales, zugleich auch die Schrammung und die Rundhöcker der anstehenden Felsen im Karboden und auf der Schwelle. Der Kargletscher fegte seinen Boden aus; später, nach Abschmelzung der Gletscher, bildete sich im Karboden oberhalb des Riegels ein Sumpf oder ein kleiner See.

II. Seebecken.

Es gibt nun Seebecken in den Tälern der Alpen, welche in ähnlicher Weise wie die Karböden oberhalb der Schwelle vom anstehenden Fels durch den Talgletscher etwas übertieft wurden. Diese in ihren Maßen stets geringe Auskolkung von Talböden vor Talriegeln hat offenbar Anlaß gegeben für die falsche Annahme, daß die meisten Alpenseen, auch die großen und tiefen Randseen der Alpen, von den Gletschern erodiert worden wären. Deshalb will ich hier die Übertiefung von kleinen und flachen Seebecken, wie sie gelegentlich in den Tälern und auf Hochflächen der Alpen angetroffen werden, erwähnen.

W. SALOMON hat ein gutes Beispiel für solche Talbecken

aus dem Aviotale der Adamello-Gruppe beschrieben¹⁾. In diesem Hochtale, das von den Gletschern des Monte Adamello (3554 m) nach Norden tief in den gewaltigen Tonalitstock eingefurcht ist, folgen acht kleine, flache Talböden in Stufen nacheinander, von 2330 m Höhe bis 1584 m hinab, jedes Becken vom nächst unterliegenden durch eine Felsterrasse abgetrennt; zwei dieser Böden tragen noch Seen. „Alle diese Becken sind in festen Tonalit eingesenkt und an ihrer talabwärts gelegenen Seite von prachtvoll geglätteten Rundhöckern begrenzt, über die meist Wasserfälle steil hinunterstürzen.“ W. SALOMON kommt zu dem Schlusse, daß diese flachen Becken aus dem Talboden durch „Gletscher-Erosion“ — sagen wir jetzt durch Gletscher-Detersion — ausgekolkt seien, und zwar begünstigt durch die Klüftigkeit des Adamello-Granites (Tonalites).

In der Tat sind die Granite durch ihre starke Zerklüftung besonders geeignet, vom Gletscher Stück für Stück ausgebrochen und danach ausgeräumt zu werden. Bruchzonen erleichtern die Verwitterung und Auskolkung. Dabei leisten die weniger oder gar nicht zerklüfteten Felspartien dem Gletscher solchen Widerstand, daß er diese festeren Partien nicht forträumen kann, sondern nur zu Rundhöckern abschleift.

Hinzukommt, daß die zerklüfteten Gesteinspartien in den flachen Talböden dadurch, daß das Wasser dort steht, stärker verwittern als die festen Felsmassen, über welche das Wasser rasch hingleitet.

Wir haben daher für den Prozeß der Detersion durch die Gletscher eine vorausgehende Zerklüftung und Verwitterung der Gesteine des Untergrundes anzunehmen; ebenso ist die zerstörende Frostwirkung unter dem Eise zu berücksichtigen.

Dagegen kommt der Druck des Gletschers nur insofern in Betracht, als dadurch die vom fließenden Eise mitgeschleppten Blöcke fest in den Untergrund des Gletschers hineingepreßt werden. Diese Blöcke der Grundmoräne sind es eigentlich, welche den zerklüfteten Felsboden unter dem Gletscher ausfeigen und die Stücke losbrechen, weil sie erstens durch die Schwere des Gletschers stark belastet sind und zweitens durch den sich im Tale abwärts bewegenden Gletscher mitgezogen werden; dadurch können die Moränenblöcke gegen den Felsboden wie Meißel wirken und die klüftigen Gesteine ausbrechen.

¹⁾ W. SALOMON: Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, Seebecken und Täler erodieren? Mit 2 Taf. N. Jahrb. Min. II, 1900. Stuttgart.

Ein negativer Beweis für die Art und Weise der Gletscher-Detersion ist der folgende: Geschlossene Gesteinsmassen werden vom Gletscher zwar geschliffen, aber sie können nicht ausgebrochen werden, weil der Gletscher mit seinen mitgeschleppten Blöcken glatt über die Rundhöcker und geschliffenen Flächen wegleitet, ohne Angriffspunkte für seine Blockmeißel zu finden.

In dieser Beziehung war die Bemerkung von A. G. HÖGBOM auf dem Kongreß in Stockholm wichtig, daß über die Granit-höcker-Landschaft in Schweden gelegentlich die Kalksteinpartien als Hügel herausragen, weil der Granit klüftiger und spröder ist als der Kalkstein¹⁾. Es kommt also für die Detersion der anstehenden Felsen weniger auf deren Härte als auf ihre Klüftigkeit an.

Im ganzen ist jedoch der Effekt des Ausbrechens von Felsstücken aus dem Untergrunde durch den Gletscher nicht bedeutend. Entsprechend den mechanischen Kräften, welche dabei wirksam sind, kann es sich dabei immer nur um ganz flache Talböden handeln, welche vor den Felsriegeln ausgekolkt werden gerade wie bei den Karböden. Aber steile Felsabstürze oder größere Seetiefen vermag der Gletscher mittels seiner mitgeschleiften Blöcke nicht zu erzeugen.

In der Hauptsache waren daher die Täler in den Alpen oder im skandinavischen Hochgebirge oder in der schwedischen Abdachung schon vor der Eiszeit durch die Flüsse erodiert worden.

III. Trogtäler.

Wir kommen damit drittens auf die Besprechung der sog. Trogtäler.

Es gilt bei den Glazialgeologen als ein feststehendes Dogma, daß die Täler, welche die Form eines großen lateinischen **U** besitzen, von den Gletschern detersiert seien („Trogtäler“), und daß die von den Flüssen erodierten Täler eine **V**-Form besäßen. Der Unterschied besteht also darin, daß den ersteren ein breiter, trogförmiger Talboden, darüber steile Talwände, diesen eine unten spitz zugehende, ebenfalls steilwandige Talschlucht zugewiesen wird²⁾. Dabei wird gedacht,

¹⁾ Analog dem Sandgebläse, von dem das verfilzte weiche Papier nicht angegriffen, dagegen das harte Gestein in der Schablone Korn für Korn herausgebrochen und weggeblasen wird.

²⁾ Siehe z. B. PENCK und BRÜCKNER: Die Alpen im Eiszeitalter. S. 288 mit Bild des Floitentalles in den Zillertaler Alpen. Leipzig 1909. — Oder G. SREINMANN: Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. S. 20 mit Abbildung des Lauterbrunner Tales. Leipzig 1910.

daß der breite Gletscher den breiten Talboden und der schmale Fluß die schmale Rinne ausgefurcht hätten. Der Trugschluß geht schließlich so weit, daß von den Ultraglazialisten behauptet wird, nur Gebirge mit Trogtälern seien vergletschert gewesen, und V-förmige Täler charakterisierten diejenigen Gebirge, denen eine diluviale Vergletscherung fehle.

Der behauptete Unterschied an sich ist nicht richtig, weil z. B. in den Alpen unzählige Talstrecken vorkommen, welche V-Formen in ehemals vergletscherten Gebieten zeigen, und solche, die mit U-förmigen Strecken in ein- und demselben Tale abwechseln. Das letztere ist sogar die Regel in den Alpen. Ich erinnere z. B. an die Via Mala, durch die der Hinterrhein oberhalb Thusis durchströmt oder an die Salzach-öfen oberhalb Golling: Die Steilwände dieser engen und tiefen Schluchten tragen genug Schrammen und geschliffene Flächen als Zeichen davon, daß die Gletscher der Eiszeit sich durch sie hindurchgezwängt haben; auch sitzen in den Nischen der Felswände genug Reste von Moränen und erratische Blöcke. Aber die mächtigen Gletscher vermochten hier keine Trogform zu schaffen, nicht die Schlucht wesentlich zu verbreitern oder auszufurchen. Man sieht in diesen und anderen Talschluchten in den Alpen gerade, wie gering der Effekt der Detersion auf das anstehende Gebirge zur Eiszeit gewesen ist.

Die Via mala ist vor der Vergletscherung der Alpen bereits vom Hinterrhein erodiert worden — das beweisen die Gletscherschliffe und Moränenreste in der Schlucht. Es ist eine präglaziale Erosionsschlucht („Cluse“), die dadurch entstand, daß der Rhein mittels des Quarzsandes und der Gerölle des oberhalb anstehenden granitischen Gebirges die weicheren Triasschiefer, -kalksteine und -dolomite durchgesägt hat.

Andrerseits entsteht die U-Form der Trogtäler gar nicht dadurch, daß der Talboden flach vom Gletscher ausgeräumt wurde; der Talboden solcher Täler besteht nicht aus anstehendem Felsgestein, sondern aus Schutt, mit welchem die ursprüngliche, vom Flusse erodierte V-Form so weit aufgefüllt wurde, daß ein trogförmiger, flacher und breiter Talboden entstand. Dieser Schutt besteht oft aus Grundmoräne — also eine Aufschüttung durch den Gletscher statt einer Abschürfung! — meistens aber aus Geröll- und Sandanschwemmungen des Flusses; zum Teil auch aus Halden oder Bergstürzen, die von den Steilwänden des Tales durch Verwitterung, durch Frost oder durch ihre eigene Schwere auf den Talboden niedergestürzt sind.

Eine sichere Einsicht in die Tiefe eines typischen Trogtales verschaffte uns die verderbliche Katastrophe im Lötschbergtunnel im Berner Oberlande bei Kandersteg¹⁾.

Der Kanderfluß fließt von den Gletschern über Granitgebirge mit starkem Gefälle herunter bis in den ganz flachen und ebenen Gasterenboden; außerordentlich steile, 1000 m hoch ansteigende Felswände über dem 500 bis 1000 m breiten und mehr als 4 km langen alten Seeboden zeigen zu beiden Seiten die korrespondierenden, stark gefalteten Jurakalke des Balmhornes und Doldenhornes. In einer Tiefe von 180 m unter dem Gasterenboden wurde im Tunnel am 24. Juli 1908 die alte, jetzt verschüttete Talwand durchgeschossen; sogleich brach Sand und Kies des aufgefüllten Talbodens als ein breiiger Schlammstrom durch die Öffnung des festen Jurakalkes in den Tunnel hinein, tötete die Tunnelarbeiter und schüttete eine Strecke von 1100 m des eben gebohrten Tunnels zu.

Die Ultraglazialisten sahen das alte Seebecken des Gasterenbodens als eine Auskolkung durch den Kanderletscher an²⁾. Davon kann gar keine Rede sein. Vielmehr ist die geologische Entwicklung des Gasterentales die folgende: Vor der Eiszeit hatte der Kanderfluß ein tiefes V-förmiges Tal im Juragebirge ausgefurcht; dasselbe endigte oberhalb Kandersteg in einer engen, 750 m langen Schlucht, der Klus. Nach der Eiszeit, als der Gletscher diese Cluse verließ, stürzte ein Teil der fast senkrechten Kalksteinwände zu Tal und füllte mit ihrem Blockwerke die Schlucht mindestens 130 m hoch auf. Dadurch entstand oberhalb der Klus ein Stausee, den die Kander mit ihren

¹⁾ Die Katastrophe geschah am 24. Juli 1908. Da ich an Ort und Stelle die Tunnelarbeiten im Jahre vorher verfolgt hatte und die Gegend genau kannte, schrieb ich einen Artikel über die Ursachen der Katastrophe, in der Frankfurter Zeitung vom 2. August 1908 abgedruckt. Ich schickte diesen Artikel an ALBERT HEIM und korrespondierte mit ihm über die Sache. Trotzdem ignorierte A. HEIM in seinem im Jahre 1909 erschienenen Artikel (Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Nr. 20: Beweist der Einbruch im Lötschbergtunnel glaziale Übertiefung des Gasterentales?) gänzlich, daß ich zuerst nachgewiesen, daß die Klus keine Felschwelle sei, sondern durch postglaziale Bergstürze zugeschüttet sei; daß das Gasterental durch diese Bergstürze und nicht durch Gletscherübertiefung entstanden sei usw. Ich bedaure, daß mein Freund ALBERT HEIM sich auf meinen Artikel und unsere Korrespondenz über die Ursachen der Lötschbergkatastrophe schon nach einigen Monaten anscheinend nicht mehr besinnen konnte.

²⁾ Auf dem IX. Internationalen Geographen-Kongreß zu Genf, Ende Juli 1908, berichtete J. FRÜH (Zürich) über die Lötschbergkatastrophe und erklärte unter Zustimmung der Mehrzahl der Geographen, daß das 180 m tiefe Felsbecken unter dem Gasterenboden nur durch Gletscher erodiert sein könne.

Anschwemmungen vollgefüllt hat; das ist der Gasterenboden. Die Klus ist kein Felsriegel, sondern eine 130 m hoch zugeschüttete Via Mala. Daß die alten Talwände unter dem Gasterenboden ursprünglich **V**-förmig nach unten konvergierten, ist dadurch bewiesen, daß die Einbruchsstelle des Tunnels in der Tiefe von 180 m ungefähr unter der Mitte des Querprofles des Tales liegt.

In ähnlicher Weise waren alle anderen Trogtäler, z. B. das Lauterbrunner Tal, ursprünglich **V**-förmige Erosionstäler, deren unterste Tiefen von Berg- und Flußschutt oder auch von Grundmoränen aufgefüllt sind. Dadurch entstand die **U**-Form der Trogtäler.

Es ist wichtig, festzustellen, daß die Flüsse in den Alpen vor der Eiszeit so tief in das Gebirge einschnitten, daß 1000 m hohe, steile, fast senkrechte Talwände durch diese energische Erosion erzeugt wurden. Die Energie dieser Erosion beweist, daß vor der Eiszeit das Gefälle der Flüsse viel stärker gewesen sein muß als nach der Eiszeit oder als jetzt. Z. B. ein so gewaltiger Taleinschnitt im Granit (Tonalit) wie die Val di Genova auf der Ostseite des Adamello-Stockes ist unter dem heutigen geringen Gefälle des Talweges undenkbar.

Diese Tatsache weist wieder darauf hin, daß die Alpen vor der Eiszeit und während der Haupteiszeit ansehnlich höher über ihren äußeren Rändern gestanden haben müssen als jetzt¹⁾. Infolge der Absenkung des ganzen Alpengebirges zur atlantischen und skandinavischen Periode der Eiszeit wurde das Gefälle der großen Flußtäler in den Alpen so bedeutend verringert, daß die Taltiefen mit Schutt und Geröllen angefüllt wurden; so bildeten sich die Schotterterrassen und die flachen breiten Talböden; so entstand die **U**-Form der Trogtäler, und so ertranken die nahe den Alpenrändern liegenden untersten Talstrecken zu Seen.

IV. Hängetäler.

Was endlich die sog. „Hängetäler“ betrifft, so habe ich niemals einsehen können, aus welchem Grunde sie als ein Beweis für die Gletscher-Erosion betrachtet werden konnten. Ob die Seitentäler an Tiefe hinter den Haupttälern zurückstehen, weil sie durch Gletscher oder durch Wasser weniger

¹⁾ Ich nehme an, daß die Alpen 1300—1500 m zur Haupteiszeit höher über das Meer als jetzt, also in kältere Luftschichten, emporragten. Siehe meine Abhandlung über die Einheit und die Ursachen der diluvialen Eiszeit in den Alpen. Darmstadt 1910.

tief erodiert wurden, ist an sich in bezug auf die Mechanik dieser Erscheinung ganz gleich: in beiden Fällen wäre die schwächere Kraft der geringeren Eis- oder Wassermenge die Ursache des Zurückbleibens der Hängetäler. Der Staubbach bei Lauterbrunnen konnte mit seiner kleinen Wassermenge unmöglich gleichen Schritt in der Erosion seines Tälchens halten mit der schäumenden Lutschine unten im Haupttale.

Schluß.

Auf dem Internationalen Geologen-Kongreß fand eine lange Diskussion über die sog. Gletscher-Erosion statt. A. G. HÖGBOM (Upsala), der das granitische Grundgebirge von Schweden am besten kennt, sprach sich dahin aus, daß der Effekt der Detersion des skandinavischen Schildes durch die Gletscher der Eiszeit sehr gering gewesen sei: er schätzte die Abschrägung der Gesteinsoberfläche des schwedischen Grundgebirges auf höchstens einige Meter; die Detersion hört auf, sobald die Oberfläche der festen Gesteine vom Gletscher glattgeschliffen sei. C. BRÖGGER (Kristiania) glaubt, daß Skandinavien während der Eiszeit um etwa 25 m erniedrigt worden ist.

Diesen geringen Ausmaßen gegenüber erklärte A. PENCK, daß die Gletscher-Erosion der Alpentäler während der Eiszeit seiner Ansicht nach $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Wasser-Erosion betragen hätte. Dieses Verhältnis ist immerhin schon viel bescheidener, als es auf dem Internationalen Geographen-Kongreß in Genf von einigen Geographen unter ED. BRÜCKNERS Führung behauptet wurde: 60—90 Proz. der großen Alpentäler sollten durch die Gletscher der Eiszeit auserodiert worden sein!

Ich fasse die Resultate meiner Darlegungen zusammen.

Die Kare sind nicht von Gletschern ausgefurcht worden; die Steilwände des Circus sind vom Wasser und Frost ausgebrochen.

Karböden und kleine Seebecken, welche von Felsriegeln abgeschlossen werden, wurden durch einen fließenden Gletscher mittels der Meißelkraft mitgeschleppter Blöcke aus zerklüfteten Gesteinen herausgebrochen und ausgekolkt. Diese Übertiefung von Talbecken ist in ihrem Betrage gering und steht im Verhältnis zur Größe des Gletschers, welcher detergiert. Die Trogtäler sind nicht durch Gletscher in die U-Form ihres Querschnittes versetzt worden; vielmehr entstanden sie durch Auffüllung ihrer vorher V-förmigen Soble mittels Grundmoränen, Flußschotter oder Gehängeschutt. Noch weniger zeugen die

Ilängetäler für eine Gletscher-Erosion des Haupttales; sie blieben in ihrer Vertiefung zurück, weil sie eine geringere Wassermenge als die Haupttäler führen.

Ich schätze also das Ausmaß der Detersion der Gletscher im anstehenden Fels sehr gering; ihr Betrag ist im zerklüfteten Gestein etwas höher als im geschlossenen Fels. Dagegen schätze ich den Effekt der Erosion des fließenden Wassers im Gebirge sehr hoch ein schon wegen der in der Regel sehr langen zeitlichen Dauer dieser Flußerosion, welche um so kräftiger angreifen konnte, je höher das Gebirge stand, und je stärker das Gefälle des Flusses war.
