
Sonder-Abdruck

aus

DIE EISZEIT, Zeitschrift für allgemeine Eiszeitforschung, Organ des Instituts für Eiszeitforschung in Wien. Begründet und herausgegeben von J. Bayer. Erster Band, I. Heft. Verlag von Karl W. Hiersemann. Leipzig 1924

Über geologische Methoden zur Erforschung des Eiszeitalters

Von Otto Ampferer

Vortrag, gehalten am 9. März 1923 in der Versammlung der Wiener Geologischen Gesellschaft.

Wenn ich heute versuche, einen kurzen Überblick über einige Methoden zur Erforschung des Eiszeitalters zu entwerfen, so soll dies keine Darstellung des bereits Sichergestellten und zum Gemeingut gewordenen, sondern vor allem eine Betonung des Unsicheren, des Zweifelhafteu sein, zu dessen Lösung sich die Erfindung und Anwendung von neuen Arbeitsweisen als nötig erweist.

Es wird sich also nicht um eine befriedigende Kund-

gebung bereits erreichter Erfolge handeln, sondern um einen Hinweis, wie viele Lücken und Fragwürdigkeiten auch heute noch in dieser Angelegenheit bestehen und welche Wege vielleicht zu einer Lösung führen könnten.

Der Weg der Überlegungen ist etwa folgender. Ich begleite einen Großgletscher von seiner Ursprungstätte auf den Höhen der Alpen bis zu seinem Ende im Vorlande und stelle an einer Reihe von charakteristischen Wegstellen

die Veränderungen in den Formen und Ablagerungen zusammen, welche hier durch das Wachsen, Andauern und Schwinden der Vergletscherung zustande kommen können.

Mit diesem Inventar von Möglichkeiten wird dann Schritt für Schritt das Ergebnis der geologischen Befunde verglichen, die natürlich nur eine beschränkte Auswahl vorstellen können.

Als Grundlage der Erfahrungen dient mir dabei in erster Linie der Inntalgletscher, welcher nicht nur einer der größten Alpengletscher gewesen ist, sondern auch durch den Reichtum von glazialen und interglazialen Ablagerungen in seinem Tallaufe für eine derartige Betrachtung besonders geeignet erscheint.

Im Laufe eines solchen alpinen Großgletschers kann man etwa vier verschiedene Strecken unterscheiden, von denen jede ihren eigenen wohlcharakterisierten Haushalt besitzt. Es sind dies die obersten, weiten *Sammelschalen*, die *Steilstufen*, die großen, gefällsarmen, aber weiträumigen *Hauptlaufstrecken* und endlich die *Gletscherenden*.

Die obersten Firnmulden der Alpen sind auch heute noch größtenteils mit Schnee und Eis erfüllt und also der Besichtigung verschlossen.

Dafür besitzen wir z. B. in den Kalkalpen eine Menge von solchen einstigen Eisquellstätten, die heute großenteils oder ganz ausgeapert und zugänglich sind.

Ein wesentlicher Unterschied ist in ihrem Formen- und Schuttbesitz gegen die heute noch verschlossenen Hochräume sicherlich nicht vorhanden.

Wir können sie daher zum Vergleiche benützen. Steigen wir also zu den obersten Firnräumen der Alpen empor, so befinden wir uns in jenen herrlichen, sanft geschwungenen, weiten Mulden und Wiegen, welche noch von den letzten scharfkantigen Graten und Spitzen eingefabt und überragt werden.

Zwischen diesen schroffen Kämmen und Hörnern und den breiten Firnmulden bildet die *Randkluft* eine wichtige scharfgezogene Grenze, die Grenze zwischen dem angefrorenen Eise der Gipfelwände und dem beweglichen Eise der Firnmulden.

Diese Grenze zwischen Bewegtem und Unbewegtem, mag sie auch noch so oft von Lawinen und Steinschlägen verwischt werden, ist sicher von morphologischer Bedeutung und zur Verstärkung eines Gefällsbruches befähigt.

Es fragt sich nun, ob diese Linie, welche wie jeder Hochtourist weiß, fast von Jahr zu Jahr kleinere Verschiebungen zeigt, zur Zeit des Hochstandes der Vergletscherungen nicht wesentliche Verschiebungen, vielleicht sogar Ausschaltungen erfahren hat.

Zunächst müßte bei einer viel stärkeren und tiefer greifenden Abkühlung des Bergkörpers diese Grenzlinie allmählig tiefer rücken.

Hier nimmt nun aber zugleich die Dicke des Eises beträchtlich zu und es ist ganz gut möglich, daß zwar die untersten Lagen noch angefroren bleiben, die höheren

aber bereits in Bewegung geraten. Wir hätten dann statt einer *offenen Kluff* eine *schräge Überschiebungsfläche* als Grenze zwischen angefrorenem und beweglichem Eise zu erwarten. Diese Erscheinung würde auch morphologische Bedeutung besitzen als Ausschaltung der Randkluffzone in der ganzen Zeit der Eishochstände.

Ob zu dieser Zeit auch alle Gipfelhörner noch unter dem Inlandeise begraben waren, entzieht sich meiner Einsicht.

Sinkt das Eisfeld dauernd unter die begleitenden Felskämme, so entstehen längs der Grenze von Eisfeld und schneefreiem Steilhang sehr aktive, hoch wirksame Grenzen.

Ich habe sie wegen des schroffen Gegensatzes zwischen den in der Sonne blendenden Firn- oder Eisfeldern und den dunkel erscheinenden Felssäumen als „*Schwarz-Weißgrenzen*“ bezeichnet.

Hier spielen sich die schärfsten Temperatursprünge und Gefriersprengungen ab, so daß es durchaus wahrscheinlich ist, daß solche Felsrippen zwischen Gletscherströmen eine enorme Abtragung erleiden und so verhältnismäßig rasch zerstört werden. Diese Wirkung muß sich zunächst als eine Rückwitterung des Felshanges bemerkbar machen und ich fasse die von *Penck* hervorgehobene sogenannte *Schliffkehle* als eine derartige *Aussprengung* auf.

Tatsächlich vereinigt sich an diesen Schwarz-Weißgrenzen das Maximum von Temperatursprüngen mit reichlichem Schmelzwasser, also hohe Sprengwirkung mit guten Transportverhältnissen, da ja der vorbeiziehende Eisstrom die abfallenden Trümmer auf seinen Rücken nimmt und wegräumt.

Aus diesem selten günstigen Verhältnisse von *Schutt-erzeugung* und *Freihaltung des Sprengraumes* ergibt sich jedenfalls ein gesteigerter Arbeitsfortschritt, welcher die Einprägung der oberen Gletschergrenze bei genügender Stabilität dieser Grenze wohl ermöglicht.

An solchen Grenzen entspringen auch gewöhnlich die Seitenmoränen, welche den gleichsam auf einem *Förderbande* verladenen *Absprengschutt* veranschaulichen.

Wir haben es dabei mit den größten Schuttlieferungen im Bereiche der heutigen Gletscher zu tun, die also der Hauptsache nach gar keine direkten Schürfleistungen der Eisströme, sondern nur Transportleistungen vorstellen.

Um nun über die Einwirkung der Gletscher auf den Untergrund dieser obersten Sammelräume zu bestimmteren Vorstellungen zu gelangen, benutzen wir hierfür die Erfahrungen in solchen Räumen, welche das Eis ganz oder doch teilweise freigegeben hat.

Eine erste allgemein bestätigte Erfahrung ist die auffallende „*Felsblankheit*“ solcher Räume und dementsprechend ihre Armut an Schuttalagerungen. Eine zweite Erfahrung ist die in jeder Richtung merkwürdige *Unebenheit* des Felsbodens, der aus lauter kleineren, unregelmäßigen Buckeln und Vertiefungen besteht.

Es tritt dies auch auf durchaus gleichartigem Felsboden ebenso klar wie auf ungleichartigem hervor.

Damit ist bewiesen, daß diese unregelmäßige Gestaltung des Felsgrundes eine typische Funktion der Eisbewegung vorstellt. Dazu gehört auch die Schaffung von Hohlräumen, das Ausschleifen von kleineren und größeren Felsbecken.

Zwischen der Größe und Tiefe solcher Felsbecken und der Geschwindigkeit und Mächtigkeit des erzeugenden Eisstromes bestehen bestimmte Beziehungen, die bisher noch nicht genauer erforscht wurden.

Es gibt für jeden Eisstrom von bestimmter Mächtigkeit und bestimmter Geschwindigkeit für eine gegebene Beckengröße eine Grenze des Tiefenschurfes, die er nicht überschreiten kann. Mit der Frage ihrer experimentellen Prüfung habe ich mich schon im Jahre 1915 beschäftigt, ohne indessen mangels der nötigen Einrichtungen die Lösung zahlenmäßig angeben zu können.

Neben der Felsblankheit und dem Gewoge des Felsbodens ist aber auch die Anordnung der vom Gletscher hinterlassenen Schuttmassen eine überaus typische.

Es erscheint nämlich so ziemlich der ganze, sicher glaziale Schutt (hier glazial nicht mit diluvial zu wechseln) in *Wallformen* gesammelt, welche zu einem oder zu mehreren Kränzen vereinigt erscheinen.

Die Räume zwischen solchen Wallkränzen und den umschließenden Felswänden sind außerordentlich arm an Glazialschutt. Vielfach tritt hier offener Fels zutage.

Ganz anders ist die postglaziale Verteilung der Schuttmassen in solchen Räumen. Sie geht von den umgebenden Felswänden aus, welche aus ihren Schluchten und Gassen Schuttkegel um Schuttkegel herausbauen und meist in leicht absehbarer Zeit den ganzen Raum zu verschütten vermögen. Außerdem wird der gar häufig vorhandene Karsee durch Schlammzufuhren verlandet.

So tritt die Funktion des Eiskörpers in den Karräumen klar genug hervor.

Das Eis hat durch seine Bewegung den Bodenschutt allmählich hinausgeschoben und den Felsgrund unregelmäßig ausgeschliffen. Die Moränenwälle bestehen größtenteils aus grobblockigem Material, das von den Seitenwänden auf das Eis stürzte und von ihm im wesentlichen nur transportiert und regelrecht abgelagert wurde. Dies geht soweit, daß z. B. kleine Karräume mit leicht brüchigen Wänden gewaltige Moränen erzeugen können, dagegen große, von festen, schwerbrüchigen Felsen umgebene Hohlräume relativ kleine Wälle aufweisen können.

Es ist also die Größe von Moränenwällen weder ein Maß für die Erosionskraft des Gletschers, noch auch ein solches für seine Größe.

Hätten die Gletscher in ihrem Leibe oder an ihrer Sohle hier bedeutende Schuttmassen mitgeschleppt, so müßten sie diese ja beim Abschmelzen liegen gelassen haben.

Dies ist nicht der Fall gewesen, weil der Glazialschutt keineswegs über den ganzen Karraum verteilt liegt, sondern reinlich in den Endmoränenwällen gleichsam zusammengesammelt erscheint.

Wir werden derselben Erscheinung auch an den Enden der Großgletscher begegnen.

Für die genauere Erforschung der Schuttverteilung in solchen Räumen wären geeignete Kare photogrammetrisch genau aufzunehmen, alle Schuttmassen nach Art und Entstehung zu untersuchen und der Masse nach zu bestimmen.

Es ist hier vielleicht am Platze, auf die große Rolle hinzuweisen, welche beim Studium der eiszeitlichen Ablagerungen dem Begriffe der *voll* oder nur *teilweise ausgenutzten Arbeitskraft* zukommt. Ein Beispiel wird diese Betrachtungsweise gleich deutlich machen.

Während des Krieges habe ich die Moränenwälle des Wiener *Schneeberges* genauer kartiert. Diese Wälle stellen so ziemlich die Hauptmasse an Glazialschutt aus den zwei letzten Großvergletscherungen dar. Vergleicht man nun damit z. B. die Moränenmassen, welche die *Muttokopfgletscher* bei *Imst* erst nach dem Rückzug der letzten Vergletscherung geliefert haben, so wird man zugeben müssen, daß hier eine wesentlich größere Schuttmasse in einer vielmal kürzeren Zeit geliefert und abgelagert wurde. Das Gefälle ist in beiden Fällen so ziemlich dasselbe, dagegen ist die Verwitterbarkeit der gefalteten Gosauschichten eine vielmal raschere als die der ruhig lagernden Triaskalke.

Man erkennt, daß derselbe Gletscher, wenn er bis zur Grenze seiner Transportfähigkeit mit Schutt beladen wurde, eine ganz ungeheure Moränenmasse abgelagern könnte.

Weitaus in den meisten Fällen sind jedoch die Gletscher bei weitem nicht bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beladen und leisten also viel weniger, als ihnen eigentlich möglich wäre.

Dasselbe Verhältnis begegnet uns bei der Leistung von Flüssen und Strömen. Auch diese sind von einer Höchstleistung sehr weit entfernt.

Die Höchstleistung kommt bei jener Verbindung von Erosion und Transport zustande, wo die Erosion gerade soviel Material liefert als der Fluß oder der Eisstrom noch wegzuschleppen vermag. Folgt man dieser Betrachtungsweise, so wird uns verständlich, warum z. B. die Erosion in einem sich hebenden Gebirge eine vielleicht hundertmal so große Leistung aufweisen kann als in einem in Ruhe befindlichen.

Wenden wir uns nun der Betrachtung der Steilstufen zu.

Ohne auf ihre Entstehung einzugehen, nehme ich dieselben als gegeben an. Ist die Felsstufe im Verhältnisse zur Eisdicke mächtig, so überwindet sie der Gletscher mit Eiskaskaden und Seraks, ist er entsprechend dick, so zeigt nur mehr ein Aufblättern von Querklüften die begrabene Stufe an.

Während ein Wasserfall seine Erosionskraft an der Aufschlagstelle sammelt, ist dies beim Gletscher nicht möglich. Es stürzt hier das Eis nur in seltenen Ausnahmen unmittelbar auf den Fels, sondern meist nur wieder auf Eis und bleibt dabei so ziemlich unwirksam.

Im allgemeinen staut sich das Eis am Fuße einer Steilstufe an, weil hier seine Bewegung erst wieder neu beginnen muß. Während also eine Schutzschicht den Sockel der Felsstufe vor dem Eisangriff bewahrt, wird die Oberkante lebhaft abgeschliffen.

So kann ein Eisstrom eine Felsstufe nur an *Ort und Stelle* niederschleifen, er vermag aber keineswegs etwa eine solche Stufe wie ein Wasserfall talauf zu verschieben.

Man kann daher das Eis weder für eine Verschiebung, noch auch für eine Vergrößerung von Steilstufen verantwortlich machen.

Im Vergleich zu einem Wasserfall ist auch hier seine Arbeitsweise außerordentlich plump und sehr unökonomisch. Insbesondere fehlt ihm die Wirbelbildung, mit deren Drehkraft die Bäche am schnellsten zu arbeiten vermögen, wie man sich in jeder Klamm überzeugen kann.

Für das Studium der Steilstufen wäre an geeigneten Stellen eine genaue Kartierung der abgenutzten und der geschonten Flächen von großem Werte. Sie könnte nur auf Grundlage einer sorgfältigen photogrammetrischen Geländeaufnahme erfolgen.

Nunmehr kommen wir unterhalb der Steilstufen in jenen Teil des Großgletschers, welcher bei weitem die mächtigste Ausdehnung innehatte. Hier kann es sich um Laufstrecken von über 200 km Länge und um Eismächtigkeiten von 1—1½ km handeln.

Um einige allgemeine Beziehungen abzuleiten, wähle ich wieder das *Inntal* mit seinen mir vertrauten Verhältnissen.

In der Gegend unterhalb von *Innsbruck* erreichte die Eismächtigkeit Beträge von zirka 1400 m. Es würde dies in der Talmitte einem Sohldruck von zirka 140 Atmosphären entsprechen. Ein solcher Druck würde auch bei sehr langsamer Bewegung eine bedeutende Arbeitskraft vorstellen, doch kam er einerseits wegen der Gewölbeverspannung im Eiskörper nicht voll zur Geltung, andererseits dürften aber die untersten Teile der Eismasse in ihrer Bewegung weit hinter den mittleren und oberen zurückgeblieben sein. Dies Zurückbleiben der randlichen Eisschichten gegen die mittleren ist ja an unseren heutigen Gletschern überall sehr schön zu sehen. Wie wir weiter wissen, vollzieht sich der Übergang von den langsameren zu den schnelleren Teilen nicht allmählich, sondern sprungweise an vielfach prächtig entwickelten Gleitflächen. So gleiten die schnelleren mittleren Massen eines Eisstromes über weit langsameren dahin und es liegt wahrscheinlich die Hauptreibung, wenigstens auf weite Strecken, gar nicht zwischen Fels und Eis, sondern bereits ganz im Eise selbst.

Diese Mechanik hat natürlich für die Eiserosion eine entscheidende Bedeutung und sie vermag auch wohl zu erklären, warum neben weiten Strecken ohne nennenswerte Erosion wieder Stellen von kräftiger Erosion sich einschalten können.

Interessant ist der Vergleich eines vollen Eisquerschnittes mit dem Querschnitt des heutigen *Inns*. Unter

der Annahme derselben Gesamtniederschlagsmenge muß in derselben Zeit durch den Volleisquerschnitt ungefähr dasselbe Quantum Wasser wie durch den heutigen Flußquerschnitt hindurch ziehen.

Eine beiläufige Rechnung ergibt hier einen Volleisquerschnitt von ungefähr 10 km², dem ein mittlerer Flußquerschnitt von etwa 150 m² gegenübersteht. Die durchschnittliche Geschwindigkeit des *Inns* bei *Innsbruck* kann man mit etwas über 2 sec/m in Anschlag bringen.

Das würde für den Inntalgletscher zur Zeit seines Hochstandes eine mittlere Geschwindigkeit von zirka 3 m pro Tag oder über 1 km im Jahr ergeben.

Diese Geschwindigkeit ist gegenüber jener der heutigen Alpengletscher so groß, daß man wohl für die Eiszeit auf eine wesentlich geringere Jahresniederschlagsmenge schließen muß.

Hier wären weitere genauere Vergleiche von Interesse.

Der heutige Inn schwankt bei *Innsbruck* zwischen einem Niedrigwasser von etwa 36 m³/sec und einem Hochwasser von 830 m³/sec (nach Angabe des Hydogr. Büros in *Innsbruck*). Während also der stationäre Eisstrom nur unmerkliche Schwankungen hatte, können diese in dem entsprechenden Flußquerschnitt das 23- und noch mehrfache erreichen. Dabei bleibt das Grundwasser ganz außer acht.

Für eine Beurteilung der Erosionsleistung ist dies insofern von Wichtigkeit, als sie bei der Flußarbeit zu wesentlichen Anteilen von der Mitwirkung von Hochwässern abhängt.

So fehlen der ausgeglichenen langsamen Eisbewegung gerade die wirksamsten Steigerungen wie Lawinen, Bergstürze, Muren und Hochwässer. Es ist schon betont worden, daß dem hohen Sohldruck von gegen 140 Atmosphären gewaltige Arbeitsleistungen möglich wären.

Wir haben indessen vielfach geologische Beweise, daß dieser mächtige, schiebende Druck nicht direkt auf die Unterlage wirksam wurde.

Im *Inntal* ging z. B. der letzten Vergletscherung eine mächtige See- und Flußaufschüttung voraus, welche das Tal weithin erfüllte.

Die letzte Vergletscherung vermochte nun nicht diese Schuttsohle aus dem *Inntal* hinauszuschieben, doch liegen ihre von den Schottern überall scharf getrennten Grundmoränen schräg zu diesen Horizontalschichten. Ich habe diese Verhältnisse lange Zeit für einen Beweis der Eiserosion gehalten und auch so beschrieben.

Auch daran bin ich zweifelhaft geworden, einerseits, weil sich an der Grenze von Grundmoräne und Schotter so gut wie gar keine Stauchungen und Verfaltungen befinden, andererseits weil die Großform der Eintiefung des Eisstromes in diese Schottersohle recht unwahrscheinlich aussieht.

Wir hätten hier z. B. bei *Innsbruck* in die 6—7 km breite Schottersohle (mit Felskernen) nur eine zirka 2 km breite, zirka 300 m tiefe Rinne eingeschnitten.

Dies ist wohl mit dem Bild einer Flußerosion, aber nicht mit demjenigen der Erosion einer das ganze Tal gleichmäßig erfüllenden Eismasse vereinbar.

So nehme ich diesen Einschnitt als ein Werk des *Inns*, welcher sich hier bereits vor der letzten Vergletscherung in die Schottersohle tief eingeschnitten hatte.

Der Einfluß der gewaltigen Eisströme auf die Geländeformen ist auch in dieser Laufstrecke ein unverkennbarer.

Die Aussprengungen an den seitlichen Rändern der Eisströme sind hier nicht so deutlich wie in den Talhintergründen, weil die Verwitterung schon viel länger daran nagt und vielleicht auch die Eisstandhöhen nicht so stabil wie in den Hintergründen waren und daher verzerrtere Gebilde entstanden.

Die Abrundung der Gehänge bleibt trotzdem an vielen Stellen, zumindest gegen das höhere, freie, rau und splittrig verwitterte Gehänge abgrenzbar. Die Höchstgrenze ist weiter durch eine Aussaat von erratischen Gesteinen bezeichnet, die jedoch nur eine recht bescheidene und dünne zu nennen ist.

Dies gilt nicht nur für das steilere Gehänge, wo nachherige Abrutschung wahrscheinlich ist, sondern auch für die vielen, oft ausgedehnten Furchen und Einmuldungen, in denen alles erhalten blieb.

Wer z. B. an vielen Stellen mit Aufmerksamkeit die Nordgehänge des *Inntales* begangen hat, wird über die *Spärlichkeit* von solchen erratischen Blöcken im Verhältnis zu dem Rieseneisstrom direkt erstaunt sein.

Dasselbe gilt auch von den tieferen Hängen und den breiten Terrassenflächen.

Eine Ausnahme machen hier nur die unteren seitlichen Schluchten, in denen sich sowohl mächtige Massen von typischen Grundmoränen als auch ein Haufwerk von bunten erratischen Blöcken angesammelt finden.

Es zeigt sich klar, daß der Eisstrom in solche geschützte Winkel sehr wohl Material herein-, aber nicht mehr herauschaffen konnte. So konnten hier an geeigneten Stellen *große Ansammlungen* aus der *ganzen Eiszeit* entstehen.

Die Grundmoränen zeigen an solchen Stellen nicht selten eine *feine Schrägstruktur*, welche häufig viel steiler ist, als etwa einer Deltaschüttung entspricht. Sie steht mit der allmählichen Einpressung in Zusammenhang und ist zu der Neigung des dahinter befindlichen Felshanges parallel.

So ergibt also auch hier eine Übersicht in der großen Tallaufstrecke, daß die sicher glazialen Ablagerungen im Verhältnis zu der vom Eise bestrichenen Fläche außerordentlich bescheidene Gebilde sind, welche man meist nur in den seitlichen Schluchten in größeren Massen verborgen antrifft. Eine wichtige Verschiebung haben die großen Eisströme auf die seitlichen Talhänge insofern ausgeübt, als sie gegen die in so steilen Hängen stark auftretenden Zugspannungen einen Gegendruck zu liefern vermochten. Bei der Abschmelzung wurden diese durch Eiserosion oft noch weiter versteilten Hänge wieder den

Zugspannungen frei überlassen, was sich vielfach in der Auslösung von Bergstürzen bemerkbar macht.

Ebenso müssen die ganzen *Grundwasser- und Quellenverhältnisse* durch eine derartige Auffüllung der Talräume mit Eis gründlich verstellt worden sein.

Wie man z. B. aus den Erfahrungen in dem zirka 1800 m hochgelegenen *Spullersee-Stollen* entnehmen kann, genügt hier die Winterschneedecke, um eine Wasserführung des tieferen Berginneren von zirka 400 sec/Liter in der Zeit von Ende November bis Ende April vollständig zum Versiegen zu bringen. Wir werden also kaum fehlgehen, wenn wir für die Hochstände der eiszeitlichen Vergletscherungen eine weitgehende *Austrocknung* der Bergmassen verbunden mit einer teilweisen *Innenvereisung* in Betracht ziehen.

Diese Beziehung kann z. B. in der *Sedimentwirtschaft von Höhlen* zu einer deutlichen Abbildung gelangen.

Andererseits wird aber auch die Neuauffüllung des Grundwassers und der Quellräume beim Eisrückzug das Gehänge wesentlich gleitfähiger gemacht haben.

Hier möchte ich auch die Frage einschalten, ob nicht vielleicht eine derartige, durch Jahrtausende anhaltende *Unterkühlung* sich in *dauernden Einwirkungen* auf den Feinbau von Mineralien und Gesteinen auch heute noch ablesen läßt?

Die wichtigsten Angaben über die verschwundenen diluvialen Gletscher lassen sich naturgemäß an ihren Endigungen erwarten, die meistens bereits im flachen Vorland der Alpen lagen. Dieser Umstand hat ihre gewaltige *Verbreiterung* und damit auch eine besonders gute *Entwicklung* und auch *Erhaltung* ihrer Ablagerungen zur Folge gehabt.

Da wir uns hier im Abschmelzbereiche des Gletschers befinden, so haben wir von vornherein zwischen gleichzeitigen Ablagerungen und Wirkungen des Eises und des Schmelzwassers zu unterscheiden.

Hier sind nun mehrere verschiedene Fälle möglich. Endigt der Großgletscher z. B. auf einer ebenen Fläche, so sind zunächst alle Stellen seines Randes so ziemlich gleichmäßig für die Lieferung von Schutt und Schmelzwasser befähigt. Es wird weiter an dem ganzen Eisfächer ein ziemlich gleichmäßiges Eisgefälle herrschen. Damit ist die Frage, welche Dauerform von Schuttablagerungen hier entstehen könne, im wesentlichen gleichbedeutend mit der Frage nach dem gegenseitigen Verhältnisse von Wasser- und Schuttmenge.

Entströmt dem Gletscher soviel Wasser, daß der ganze zufallende Schutt verladen und weiterbefördert werden kann, so wird sich vor dem Gletscher ein einheitliches Schuttfeld ohne Moränenwälle bilden, wie wir ein solches z. B. am *Malaspina-Gletscher* in *Alaska* verwirklicht sehen.

Entströmt dem Gletscher zu wenig Wasser für eine solche fluviatile Umformung, so werden Schuttkegel und Moränenwälle nebeneinander entstehen.

Reicht das Schmelzwasser bei weitem für eine Verteilung und Umschwemmung des Schuttes nicht aus, so werden geschlossene Moränenwälle den Eisrand umgürten und seine Schwankungen getreulich abzubilden vermögen.

Das Wasser sickert dann unter den Moränenwällen durch.

Ist der Boden, über den sich der Eisfächer ausbreitet, uneben, so vereinfachen sich die Verhältnisse insofern, als die Schmelzwasser auf alle Fälle in den bereits vorhandenen Furchen zusammengefaßt und abgeleitet werden, während die dazwischen liegenden Anhöhen davon mehr verschont bleiben.

Nur dieser letztere Fall ist bei den Alpengletschern verwirklicht.

Sie enden nirgends auf einer wohl ausgeglichenen Ebene, sondern auf gefurchem Gelände, welches eine Zusammenfassung der Schmelzwasser größtenteils schon im Inneren der Eiszunge gestattete.

Ich habe die hier zum Ausdruck kommende *Gesetzmäßigkeit*, daß sich die *Ausbildung von wohlgegliederten Endmoränenwällen und die Entwicklung eines einheitlichen Schotterfeldes gegenseitig ausschließen*, bereits im Jahre 1912 mit Bestimmtheit ausgesprochen. Es gilt dieses Gesetz nicht nur für die Endmoränenzone im Ganzen, sondern auch für ihre einzelnen Teile.

Mit der Aufstellung dieser Gesetzmäßigkeit habe ich mich mit dem *Penck-Brücknerschen* System der Glazialstratigraphie in Widerspruch versetzt, das von der Annahme ausgeht, daß jeder Endmoränenzone ein eigenes Schotterssystem entspreche und man auch umgekehrt aus Schotterssystemen auf dazugehörige, heute nicht mehr sichtbare Endmoränen und auf Eiszeiten schließen könne.

Durch den Befund, daß es sowohl Gletscher *ohne Endmoränen, nur mit Schotterfeldern*, sowie solche mit *völlig geschlossenen Endmoränenwällen ohne Schotterfelder* gibt, ist die Streitfrage an sich zu meinen Gunsten entschieden. Doch ist damit die Frage, ob eine Schottermasse mit einer bestimmten Endmoräne gleichaltrig sei oder nicht, in vielen Fällen an die Feldgeologie zur Entscheidung überwiesen. So wichtig nun die Frage für die ganze Stratigraphie des Eiszeitalters ist, ob die von *Penck-Brückner* unterschiedenen *vier Schotterssysteme* (älterer — jüngerer Deckenschotter, Hoch- und Niederterrasse) wirklich als verlässliche eindeutige Anzeiger von vier Eiszeiten benutzt werden können, so sind doch noch nie daraufhin die großen Endmoränenzonen genügend genau untersucht und kartiert worden.

Es ist dies gewiß ein schwerer Mangel aller bisherigen Eiszeitsysteme.

Nach *Penck* und *Brückner* ist es für einen Glazialschotter typisch, daß derselbe im Bereiche seiner Endmoränenzone durch *Verzahnung* aus dieser hervorgehe.

Die Verzahnung wird als ein steil keilförmiges Ineinandergreifen von Grundmoräne und Schotter gezeichnet und beschrieben.

Eine derartige Stelle ist mir noch nie begegnet, wohl aber Stellen, wo Grundmoräne und Schotter mehrmals als ziemlich parallele Lagen übereinander liegen.

Solche Stellen sind mir z. B. im Bereiche des *Inngletschers* einerseits in der Endmoränenzone, andererseits im Hangenden der Terrassenschotter in der Gegend oberhalb von *Landeck* bekannt geworden. In allen diesen Fällen waren jedoch die einzelnen Moränen- und Schotterlagen deutlich voneinander zu unterscheiden.

Es ist also auch an solchen Stellen zu keiner gründlichen Vermischung und Umarbeitung der Moränen zu Schotter und Lehm gekommen.

Gewiß beweisen solche Wechsellagerungen eine Zusammengehörigkeit von Schotter- und Moränenbildung, aber sie sind eine *seltene Erscheinung* und deshalb ungeeignet, eine *regionale zeitliche Gleichsetzung* von *Endmoränenzone* und *Schotterssystem* zu erklären. Man kann nur behaupten, die Endmoränenzone ist als Ganzes von einem bestimmten Eishochstand und seinen Nahschwankungen erzeugt, dagegen können die damit räumlich verbundenen Schotter älter, gleichaltrig oder jünger als dieser Hochstand sein. Ihre Stellung bedarf also fallweise noch einer besonderen geologischen Untersuchung.

Dabei kann man heute weiter behaupten, daß wenigstens in vielen Fällen für die zwei letzten Eiszeiten, also *Würm- und Rib-Eiszeit* des *P. und B. Systems*, sowohl die *Hochterrassen* als auch die *Niederterrassen* sich unter den angeblich zugehörigen *Alt- und Jugendmoränen* hindurch ins Innere der Alpen verfolgen lassen.

Hiermit ist einer unbedingten zeitlichen Gleichsetzung von *Würmendmoräne* mit *Niederterrasse* oder von *Rib-endmoräne* und *Hochterrasse* wohl der Boden entzogen. Damit ist leider der Eiszeitstratigraphie eine sehr bequeme Handhabe zerbrochen und es bleibt nichts übrig, als die Alters- und Entstehungsfrage der quartären Schotter aufs neue in Angriff zu nehmen, um eine Scheidung von präglazialen, interglazialen, glazialen und postglazialen Schottern zu erreichen.

Die Methoden zu einer solchen Scheidung müssen von einer genauen Materialprüfung ausgehen, wobei die Bearbeitung der Gerölle, ihre Mischungsverhältnisse, Größenordnungen, ihre Verwitterung eingehende Rücksicht erfordern.

Nachdem wir heute wissen, daß wir im ganzen Alpenkörper noch mit kräftigen quartären Verbiegungen zu rechnen haben, so erfordert auch die bequeme Methode der einfachen Niveauvergleichen von Terrassen mit dem Aneroid nunmehr kritische Vorsicht.

Der Einfluß der Verbiegungen, mit denen sich in der letzten Zeit auch *Penck* eingehend beschäftigt hat, kann hier nicht weiter verfolgt werden.

Die Feststellung der Ausdehnung und Beschaffenheit der *quartären Verbiegungen*, welche ich für die *Hauptursache der großen Schotteransammlungen* halte, ist eben-

falls eine Aufgabe der Zukunft und mit der Quartärstratigraphie eng genug verknüpft.

Überblicken wir noch einmal die Summe der sicher glazialen Ablagerungen auf dem langen Wege eines Großgletschers vom Scheitel der Hochalpen bis ins Vorland, so springt die *Armut* an solchen Gebilden geradezu in die Augen. Wir finden von dem ganzen Vormarsch so gut wie keine sichere Hinterlassenschaft, da es ja nicht gelingt, die Vorräte vom erratischem Strandgut oder von Grundmoräne in solche des Vormarsches, des Hochstandes und des Rückzuges zu scheiden. Die Zeit des Hochstandes ist relativ gut mit charakteristischen Ablagerungen ausgestattet, die auch vielleicht die Hauptmasse des glazialen Besitzstandes ausmachen dürften.

Genauere Einmessungen der Mengenverhältnisse von Erratschutt, Grundmoränen und Endmoränen sind bisher nicht unternommen worden und auch nur schwierig auszuführen.

Sie wären für einen Einblick in die typische Schuttwirtschaft eines alpinen Großgletschers von hoher Wichtigkeit.

Die Ablagerungen des Eisrückzuges des Hauptgletschers sind jedenfalls auffallend gering, da man auch ihm wieder nur einen Bruchteil von der Grundmoränendecke und dem Erratikum zusprechen kann.

Als Erklärung für die reiche Schuttausstattung des Hochstandes gegenüber von Vor- und Rückmarsch kommt wohl nur ernstlich die Annahme einer *vielmals längeren Dauer* in Betracht.

Verhältnismäßig reichlich sind die sogenannten „*Rückzugsstadien*“ mit Schuttwällen ausgerüstet. Der Name Rückzugsstadium ist in gewisser Hinsicht irreführend, da es sich hier in vielen Fällen unbedingt um Vorstöße handelt. Wenn z. B. die Endmoränen der Lokalgletscher des *Mutte-*

kopfs bei *Imst* sich bis 1100 m herab geschlossen verfolgen lassen und gleichzeitig talüber am *Tschirgant* der Eishochstand bei 2300 m dokumentiert ist, so ist es unmöglich anzunehmen, daß hier zwar der *Inntalgletscher* um zirka 1200 m abgeschmolzen sein sollte, die gleichzeitigen, noch dazu sonnseitigen *Lokalgletscher* aber nicht nur gleichgeblieben, sondern noch mächtig gewachsen sein sollten.

Ich glaube, daß wir es hier unbedingt mit neuen Vorstößen zu tun haben, die erst nach dem Rückzuge des Hauptgletschers vor sich gegangen sind.

Möglicherweise handelt es sich hier um Schwankungen, die zwar an dem steilen Gehänge gleich zu wesentlichen Gletscherausschlägen führten, aber vielleicht das Niveau des Hauptgletschers nur unbedeutend zu heben imstande waren.

Anscheinend sind diese Vorstöße der Lokalgletscher reichlicher mit Schutt beladen gewesen als die Großgletscher selbst.

Wie man allenthalben aus der verhältnismäßig geringen Menge des beim Abschmelzen ausgefallenen erratischen Schuttes erkennt, waren diese Riesengletscher nicht schwer mit Schutt beladen oder davon durchtränkt. Nachdem dieselben ihre Laufrinnen einmal geglättet hatten, war auch die weitere Bahnabschürfung nicht mehr bedeutend.

So konnten diese Gletscher trotz gewaltiger Querschnitte ihre Schmelzwasser nicht reichlich mit Schutt versorgen.

Damit will ich diese Ausführungen beschließen. Wenn es mir gelungen ist, die Vorstellung lebendig zu machen, daß die Eiszeitforschung noch lange nicht ihre Aufgaben erfüllt hat, sondern noch wichtige und grundlegende Gebiete erst der Erforschung harren, so habe ich das Ziel meines heutigen Vortrages erreicht.