

Ueber Gletscherbewegung.

Von Franz Kraus in Wien.

Die Gletscherbewegung ist als Naturerscheinung längst bekannt; über die Grundprincipien derselben aber war man lange Zeit im Unklaren, bis eine Reihe von Gelehrten nicht nur die mechanische Wärmetheorie entdeckt, sondern sie auch auf die verschiedenartigsten Dinge anzuwenden begonnen hatte. Aber noch heute dauert der Kampf mit ererbten Vorurtheilen und mit jenen Täuschungen, denen das menschliche Auge beim Sehen unterworfen ist. Als eine solche kann bei Gletschern die angebliche Plasticität des Eises gelten, und es soll ein Hauptzweck des Nachfolgenden sein, an der Hand von theils selbst beobachteten Thatsachen und von solchen die uns durch die Literatur bekannt sind, diese Erklärungsursache als eine überflüssige hinzustellen, und den natürlichsten Grund für die Bewegung des Gletschereises und für andere damit zusammenhängende Erscheinungen aufzusuchen.

Eine solche Arbeit erfordert zwar eine bessere Kraft, und einen grösseren Aufwand von Wissen als dem Verfasser zu Gebote steht, allein da die vorliegende ein Resultat von mannigfachen eigenen Beobachtungen ist, und nur als ein Versuch gelten soll, die gesehenen Erscheinungen auf gewisse Naturgesetze zurückzuführen, so mag sie selbst aus der Feder eines Laien einige Berechtigung haben.

Für den Gletscherwanderer hat jeder Gletscher seine eigene Physiognomie, seinen eigenen Charakter. Der eine gleitet ruhig in sanftem Gefälle fort, (Karls-Eisfeld), der andere ist wild, und Ausbrüche seines Grimmes können Weiden und Felder weit unten im Thale noch vernichten (Vernagt-Gletscher). Der eine liegt in einer weiten Mulde, liebliche Alpenmatten befinden sich in

seiner unmittelbaren Nähe (Pasterze), der andere ist zwischen starrende Wände eingeschlossen und eine fürchterliche Wildniss bildet seine Nachbarschaft (Meil-Frossnitz-Gletscher).

Wollte man die Gletscher weiter individualisiren, so könnte man auch erwähnen, dass sie auch in Bezug auf andere Eigenschaften wesentliche Unterschiede aufweisen. Die Verschiedenartigkeit der Form und der Anzahl der Moränen, jene der Neigungsverhältnisse, der Zerklüftung, der Eissäulen und Gletschertische können als solche Unterschiede betrachtet werden, die mehr Zufälligkeiten als strengen Naturgesetzen zuzuschreiben sind, und die daher entweder unter den mannigfaltigsten Formen auftreten, oder bei einem oder dem anderen Gletscher gänzlich fehlen können.

Nur die Bewegung muss man unbedingt ausnehmen, denn sie ist eine streng gesetzmässige und gilt für alle Gletscher, die man als solche betrachten kann, gleichmässig. Sie ist nicht abhängig von jenen Zufälligkeiten, die gewisse andere Erscheinungen hervorrufen, denn sie liesse sich im vorhinein berechnen, wenn jene Factoren bekannt wären, die dieselbe bestimmen.

Diese Factoren sind zusammengesetzt: aus der Masse, dem Gefäll und den meteorologischen Einflüssen. Diese letzteren sind aber so zahlreich und so schwer controlirbar, dass sie kaum in richtige Zahlengrössen zu verwandeln sind. So viel aber kann man immerhin annehmen, dass die Bewegung um so rascher sein muss, je häufiger die Schwankungen der Temperatur über und unter dem Gefrierpunkt in einer bestimmten Localität eintreten; dass ferner das grössere Gefäll eine raschere, das mindere eine langsamere Bewegung zur Folge hat, und dass schliesslich die bedeutendere und demzufolge schwerere Masse sich schneller auf einem bestimmten Gefäll fortbewegt als die geringere und daher leichtere. Dieser letzte Umstand muss ja schon desshalb von maassgebendem Einfluss sein, weil die Höhe der Eisschichte den Fallwinkel dadurch vermehrt, dass derselbe vom unteren Ende der Sohle an gemessen ein bedeutend grösserer wird, wenn die Masse an einem höher gelegenen Punkt mächtiger aufgethürmt erscheint als auf einem anderen Gletscher mit dem selben Sohlengefäll, auf dem sie minder hoch ist.

Ueber die Bewegung der Gletscher, die als Thatsache längst bekannt ist, wurde viel gestritten. Infiltration und Regelation gelten heute endgiltig als die Ursachen derselben. Auch eine gewisse Plasticität des Eises wird noch häufig angenommen, obwohl Tyndall dieselbe zum Mindesten auf ein solches Minimum reducirt wissen will, dass sie zur Erklärung der Gletscherbewegung nicht mehr ausreichen würde. Seine praktischen Versuche sprechen gegen die Plasticität, und doch sehen wir scheinbar eine solche in den zwar langsamen aber doch stetigen Bewegungen des Gletschereises.

Schon Agassiz hat die Verschiedenartigkeit der Eisschichten nachgewiesen, so wie die geringen Einflüsse der äusseren Temperaturen auf die in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche des Gletschers befindlichen Eisschichten. Allein die Wirkung andauernder Einflüsse einer niedrigen Temperatur auf das Eis können heute, wo die Ergebnisse der Forschungen der österreichischen Nordpolexpedition theilweise vorliegen, wohl nicht mehr geläugnet werden. Langsam, aber entschieden folgt das Eis dem Gesetze, welches für alle festen Körper gilt: dass eine Temperaturverminderung auch eine Volumenverminderung bedingt, und die Kraft die dies bewirkt ist stärker als alle Cohäsion der Molecüle.

So entstehen durch das Sinken der Temperatur im Polareis klaffende Sprünge, und in unserem Gletschereis jene feinen Haarspalten, die der Infiltration genügenden Raum bieten. Durch die Regelation, welche nur dann eintritt wenn zwei Eisschichten durch ein flüssiges Medium verbunden sind, wird die Masse wieder in einen compacten Eisklumpen verwandelt, und die Zerreiung der Eismolecüle und ihre Wiederverkittung kann sich so oft wiederholen als Infiltrationswasser in die Haarspalten zu dringen vermag.

Steigt die Temperatur, so muss die ganze Masse sich ausdehnen. Die Volumenvergrößerung wird ebenfalls eine sehr langsame sein, weil es einer merklichen Temperaturerhöhung bedarf, um die ganze Masse zu durchdringen und zu sichtbarer Ausdehnung zu zwingen. Die Oberfläche des Eises absorbiert schon eine grosse Menge von Wärmeäquivalenten, und bis äussere Einflüsse sich bei der ganzen Masse einer oft über 100 Meter dicken Eisschichte bemerkbar machen, kann geraume Zeit vergehen.

Infiltration in Folge von Volumenverminderung und demzufolge von Spaltenbildung und Regelation müssen also als Grundursache Temperaturschwankungen haben. Ohne sie sind beide Erscheinungen nicht denkbar. Die Volumenvergrößerung aber in Folge der selben Grundursache ist dasjenige was uns in der Bewegung der Gletscher sichtbar wird.

Ein Körper, der auf ebener Basis ruht, kann sich nach allen Seiten hin, nur scheinbar nach unten nicht wo er aufliegt, ausdehnen, wenn er erwärmt wird. Ist der selbe Körper jedoch oben belastet, so wird seine Ausdehnungsfähigkeit nach dieser Richtung genau um das Maass dieser Belastung beeinträchtigt, und sie wird sich dagegen in einer seitlichen Richtung in verstärktem Maasse zeigen. Ist die Basis geneigt, so wird die nach abwärts gerichtete Seitenfläche, auf der ja nebst dem erwähnten Druck von oben noch das Eigengewicht eines Theiles der Masse des Körpers lastet, stärker afficirt werden als die gegen oben gerichtete Seitenfläche.

Ganz das selbe Verhältniss besteht auch beim Gletscher. Die Temperaturerhöhungen, die seine Oberfläche afficiren, dehnen seine Masse aus, und es entsteht ein Druck nach allen Seiten hin, der sich in den Vorwärtsbewegungen der unteren Partien bemerkbar macht. Dass dies nicht auch der Fall ist bei den oberen Theilen des Gletschers beruht darauf, dass dieselben: 1) durch die Firndecke geschützt und daher minder den Einflüssen der Temperatur unterworfen sind, und 2) dass diese Ausdehnung, wenn sie auch stattfindet, eine minimale ist, die unseren Beobachtungen leicht entgehen kann. Dafür lasten aber die oberen Partien des Gletschers auf den unteren und vermehren durch den Druck ihres Gewichtes die Intensität der Bewegung, indem sie dieselbe zwingen sich nach einer einzigen Richtung hin zu manifestiren.

Die Gletscherbewegung bedarf also nicht einmal der Hypothese einer Eisplasticität, denn sie und noch manche andere Gletschererscheinung lässt sich auch ohne dieselbe erklären. Man kann dagegen aber einwenden, dass sich die ausschliessliche Zurückführung der Gletscherbewegung auf Temperaturschwankungen wohl für die den Einflüssen der Atmosphäre und der Besonnung ausgesetzte Oberfläche, nicht aber für das tiefe Innere der Gletscher eigne, wohin diese Einflüsse nicht zu dringen vermögen.

Wenn man selbst annimmt, dass wohl Licht, aber keine Wärmestrahlen mehr bis in das Innere des Gletschers zu dringen vermögen, so genügt ja schon die unlängbare Bewegung der oberen Schichten, um die unteren in Mitleidenschaft zu ziehen. Ist ja doch die ganze Bewegung des Gletschereises nichts anderes als eine Folge von Einflüssen, die kräftiger sind als die Cohäsion der Eismolecüle an einander, und die sie stets zu zerreißen im Stande sind, sobald durch die Erhöhung der Temperatur die Eismasse minder dicht und die Cohäsion ihrer Molecüle eine verminderte ist.

Schon der Druck von oben kann bei stark geneigten Gletschern hinreichen, um eine Bewegung zu erzwingen, ohne dass es des Hauptklärungsgrundes bedürfte, der in der Ausdehnung der ganzen Eismasse durch Temperaturerhöhung besteht. Desshalb ist es eine bekannte, vielfach beobachtete Thatsache, dass beide Einflüsse zusammen die Gletscherbewegung beschleunigen, d. h. dass Gletscher mit starkem Gefäll bei hohen Temperaturen raschere Bewegungen zeigen als dann, wenn einer dieser Factoren fehlt.

Schwerkraft ist eine latente Kraft, die jeden Moment bereit ist ihre Wirkung zu äussern, wenn der Widerstand des Bewegungshindernisses geringer wird als die eigene Kraft. Tritt dieser Moment bei einem Gletscher ein, d. h. geben die Eismolecüle dem Druck von oben her nach, so verwandelt sich diese Kraft in Bewegung, und diese hinterlässt in der Wärme ein Aequivalent, welches an die Nachbaratome abgegeben und in diesen wieder in Kraft verwandelt wird. Auch diese Atome folgen der Ausdehnung durch die aufgenommene Wärme, und so pflanzt sich die Bewegung sozusagen wellenförmig fort, bis die Wärme wieder als latente Kraft aufgespeichert wird, weil sie durch ein stärkeres Hinderniss dazu gezwungen wird. Dieses Hinderniss kann aber erst auf der Gletschersohle liegen.

Dass von den oberen Partien Wärme nicht an die Luft abgegeben wird, die ja deren mehr besitzt als das in Bewegung gebrachte Eis, braucht wohl nicht besonders betont zu werden. Es ist auch ganz natürlich, dass in den mittleren Schichten jene Wärme, die als Aequivalent einer vollendeten Bewegung zurückbleibt, ebenso an die unteren als an die oberen benachbarten Molecüle abgegeben wird. Nach unten dringt daher immer weniger Wärme, während nach oben hin ein grösserer Procentsatz der-

selben fließt. Daraus mag sich die verschiedene Strömungsstärke in den einzelnen Horizonten theilweise erklären,*) die Einige als ein Resultat einer Art von wälzender oder überkippenden Bewegung darzustellen versuchten.

Man kann daher den untersten Partien nicht jede Bewegungsmöglichkeit absprechen; sie muss allerdings eine geringere sein als jene der oberen, trotzdem aber muss sie existiren. Wir sehen auch ihre Spuren in jenen Terrains wo Gletscher abgeschmolzen sind und ausgeschliffene Sohlen blogelegt wurden. Die roches moutonnées sind nichts Anderes als durch Eisbewegung abgeschliffene Felsenköpfe, oder die Reste von Felsendämmen über welche Eisströme hinwegzogen. Die Adhäsion, die zwischen den Moleculen des Felsens und des Eises mit Hilfe der Befeuchtung und der Regelation bestand, wurde gewaltsam zerrissen, einige Partikelchen des Felsens wurden auf diese Art losgelöst, und der Damm verlor Atom um Atom, bis er nur mehr einzelne Pfeiler als Zeugen seines einstigen Bestandes zurückliess.

Die tief ausgeschliffenen Thäler in unseren Alpen verdanken zum grossen Theile ihre Entstehung den Gletschern der Glacial- und der Postglacial-Periode. Zeugen dafür sind die Reste erraticen Materials, die entweder in den Thälern selbst, oder an ihren Ausgangspunkten liegen, und die sich als solche sehr häufig leicht erkennen lassen. Dass diese Materialien, die aus feinstem Schlamm, Sand, Grus und aus Blöcken bestehen, durch die Bewegungen des Gletschereises an ihren secundären Lagerplatz gebracht wurden, ist anerkannte Thatsache. Die grossen Blöcke stammen fast alle von der Oberfläche des Gletschers her. Sie stürzten theils von den Felswänden auf das Eis und bildeten Randmoränen, Gletschertische, oder sie wurden bei dem Vorrücken des Gletschers als Stirnwall vorgeschoben. Die kleineren Partikelchen aber rühren entweder von der Reibung der Moränenblöcke an einander oder an den felsigen Rändern des Gletschers her, sie können aber auch von der Gletschersohle selbst herkommen, längs welcher sie herausgeschoben wurden.

Je nach der Natur des Gesteins wird man diese kleinen erraticen Materialien leichter oder schwerer finden. Im Gebiet

*) Es gibt wohl noch andere Ursachen für diese Erscheinung, von denen aber erst später die Rede sein kann.

der harten krystallinischen Massengesteine (Granit, Gneiss, Porphyr) können dieselben nur in ganz kleinen Partikelchen abgeschliffen werden, oder es werden, wo Sprünge und Klüfte bestehen, ganze grosse Stücke fortgerollt. Die ersteren können als Grus wohl vom Regen und von den kleinen Bächlein weiter transportirt werden, während die letzteren zumeist in den Stirnmoränen liegen bleiben. Sie unterscheiden sich jedoch von den anderen Moränenblöcken wesentlich durch stärkere Abnützungsspuren.

Anders verhält es sich im krystallinischen Schiefergebirge. Die fein zerriebenen Massen unterliegen der Verwitterung un-
gemein leicht, und ihr erraticer Ursprung ist entweder in diesem Zustand nicht leicht mehr zu erkennen, oder sie werden von den Atmosphäriken gelöst, oder fortgeschwemmt. Grössere Blöcke werden sich von diesem leicht zerreiblichen Material nur von der Randmoräne, aber nie aus der Gletschersohle selbst vorfinden. Ja eine Stirnmoräne ist in solchem Terrain überhaupt nur dort denkbar, wo ein Theil einer Randmoräne in Folge eines Rückgehens des Gletschers in einem engen Thal liegen geblieben, und bei einem späteren Vorrücken zu einer Stirnmoräne zusammen geschoben worden ist.

Vom feinsten Grus der alten Moränen im krystallinischen Schiefergebirge wird man eben so vergeblich die Spuren in der unmittelbaren Nähe des Gletscherterrains suchen, wie jene des Gletscherschlammes oder Kalkschlickes, der sich im jüngeren Kalkgebirge als Produkt der Reibung an der Sohle zeigen sollte. Und doch findet man diesen, jedoch zumeist deutlich erst auf secundärer Lagerstätte. Im Dachsteingebiet z. B. sind sie im sogenannten Kreidenbach und in den Tiefen des Hinteren Gosausees, auf der Uebergrossen Alpe in den schaurigen Klüften der Scheukofenhöhle anzutreffen, auch betrachten einige Geologen die Lössablagerungen trotz der Untersuchungen v. Richthofens als erratiche Producte.

Viele Stirnmoränen sind eben so schwer bestimmbar wie die erwähnten Schlammablagerungen, denn sie sind zumeist durch spätere Einflüsse entweder ganz zerstört, oder zum mindesten so durchrissen, zerwühlt, und in ihrer Form verändert, dass man zwar die erratiche Abstammung des Materials, aber die Stirnmoräne selbst nicht mehr als solche mit Sicherheit zu erkennen

vermag. Das Fehlen der Stirnmoränen und der kleineren Partikel, zu denen der Grus und der Gletscherschlamm gehören, hat mitunter zur Ansicht geführt, dass die erodirende Wirkung der Gletscher eine höchst geringe sei, und dass jene muldenförmigen Vertiefungen, in denen man die Gletscher antrifft, kein Produkt der Gletscherwirkung seien.

Diese Ansicht ist jedoch eine irrige, denn auch die Gesteine folgen dem Gesetz der Ausdehnung und Zusammenziehung durch die Schwankungen der Temperatur, und auch bei ihnen muss die Cohäsionskraft der Atome ganz ebenso sich vermindern wenn das Volumen sich vermehrt, und wenn sie demzufolge loser aneinander hängen, wie es oben beim Eise geschildert wurde. Der Infiltration ist bei grösserer Porosität mehr Spielraum gegeben, und dies muss an der Gletschersohle von ungleich grösserer Bedeutung sein, als an anderen Orten, wo die Infiltration nur während der Zeit der Niederschläge erfolgen kann, denn über der Gletschersohle befindet sich fortwährend jener Vorrath von Wasser, der in den Haarspalten des Eises circulirt.

Durch die Bewegungen der Gletscher werden nun alle jene Partikelchen der Gletschersohle mit fortgeführt, die sich in Folge des Gefrierens des Infiltrationswassers von derselben losgerissen haben. Die Menge derselben kann allerdings verschieden sein, allein das hängt einzig und allein von der Natur jenes Gesteins ab, welches die Unterlage des Gletschers bildet.

Der Gletscherwirkung scheint der Kalk der älteren Formationen den grössten Widerstand entgegen zu setzen. Allerdings lässt sich auch bei jenen Gletschern die in solchen Gebirgen liegen eine Art von Muldenform nachweisen, allein sie wird nie so deutlich sein wie jene in dem der Infiltration leichter zugänglichen krystallinischen Schiefergebirge, wo zwischen den dünnen Blättern Spalten sich befinden, und wo die ganze Masse durchtränkbarer ist als dichter Kalk, der in dieser Beziehung selbst den Gneiss übertreffen dürfte. Ebenso hängt die Intensität der Wirkung eines Gletschers auf seine Sohle von der Lage der Schichten ab. Gleitet das Eis über Schichten hinweg, die gleiche Neigung mit seinem Fallwinkel haben, so wird es ungleich weniger Wirkung ausüben, als wenn es über die Köpfe steil aufgerichteter Schichten sich hinbewegt. Ein solches Beispiel

findet sich am Maurergletscher im Nillthal (Iselgebiet) in Tirol, wo über fast senkrecht einfallende Kalkglimmerschiefer zeitweise ein Theil des Gletschereises abfließt, und darnach eine Sohle zurücklässt, die rein gefegt erscheint, auf der jedoch das Gestein so mürbe ist, dass es unter dem Fusstritt nachgibt.

In solchem Terrain ist die Sohle rau, weil ja ganze kleine Tafeln aus derselben herausgerissen und fortgeführt werden können, während im Kalkgebirge dies nur einen höchst langsamen Verlauf nehmen kann. Atom um Atom wird wie man sagt abgeschliffen, und eine blanke Fläche bleibt zurück, die oft nach Jahrtausenden noch erkennbar ist. Dieses Abschleifen ist aber nicht ganz so zu verstehen wie das Schleifen eines Steines, der durch Menschenhand eine glatte Fläche erhalten soll, denn es fehlt vor Allem die rotirende Bewegung, und desshalb ist ein complicirterer Vorgang nothwendig, um ein annähernd gleiches Resultat zu erzielen. Auch bei diesem spielt die Infiltration wieder eine bedeutende Rolle, wenngleich sie nicht die alleinige Grundursache genannt werden kann.

Das Infiltrationswasser dringt nämlich mehr oder minder tief durch Poren oder Risse in das Gestein und schiebt sich zwischen die Atome desselben. Wo es dies nicht vermag, genügt schon dasjenige was man unter Befeuchtung versteht, nämlich das Anschmiegen an die Oberfläche und das Eindringen in alle Unebenheiten, um eine Wirkung zu erzielen. Das Wasser, welches sich bei sinkender Temperatur zu Eis verwandelt, dehnt sich als solches aus, und der in die Poren des Gesteins gedrungene Theil desselben sucht diesem Gesetz zu folgen. Auf ihm lastet der Druck der Gletschermasse, und desshalb müssen die Atome des nur scheinbar widerstandsfähigeren Gesteins aus ihrem Gefüge gehen, und dem unwiderstehlichen Drang des Eises weichen, sein ihm gebührendes Volumen einzunehmen.

Das Infiltrationswasser bildet nach seiner Verwandlung zu Eis mit den ober ihm liegenden Schichten einen einzigen Körper. Die Cohäsion der lossgerissenen Partikelchen des Gesteins ist aufgehoben und sie bilden gewissermassen einen Theil des Eises, indem sie entweder ringsum, oder doch so weit von demselben eingeschlossen sind, dass sie seinen Bewegungen folgen müssen, Diese Theile bilden nun dasjenige Material, welches man allenfalls

das Schleifmaterial der Gletscher nennen könnte. Bei ihrer Fortschaffung auf der Gletschersohle kratzen und schleifen sie, je nachdem sie auf härterer oder weicherer Unterlage fortgeschoben werden; oder sie werden selbst zertrümmert, wenn sie einen Widerstand an Unebenheiten finden, deren Festigkeit die ihrige übertrifft. Der mechanische Vorgang bei Erzeugung der Gletscherschliffe ist also mehr jenem analog, durch welchen unter starkem Druck die Metalle gehobelt werden, als einem eigentlichen Schleifverfahren, wenn dieser allerdings etwas vulgäre Vergleich gestattet ist.

Diese losgelösten Massen werden aber nicht nur auf diese Art allein immer mehr und mehr zerkleinert, auch während des Transports sind sie noch anderen Zerstörungsarten preisgegeben. Es wiederholt sich nämlich während desselben der ewige Wechsel von Aufthauen und Gefrieren, oder wenigstens von Volumen-Vergrößerung und -Verminderung des schon zu Eis erhärteten Wassers, und durch Haarspalten kann neues Infiltrationswasser zufließen und in die Poren des Steinchens dringen. Tritt ein solcher Fall ein, so wird das Steinpartikelchen nochmals auf dem Wege der Zerreißung durch gefrierendes Wasser verkleinert und es gelangt, wenn sich dies oft wiederholt, in mikroskopische Körper zertheilt am Ende des Gletschers an den Tag, wo dieselben ein Spiel der Atmosphärien werden, und entweder durch chemische Zersetzung oder durch mechanische Fortbewegung wieder von dort verschwinden.

Auch von den Rändern der Gletscher dürfte theilweise alles das gelten was von der Sohle angeführt wurde, nur in Beziehung gewisser Materialien der Randmoränen muss eine Ausnahme gemacht werden. Ein grosser Theil des Materials, welches die Randmoränen bildet, wird nämlich nicht durch die Gletscherwirkung selbst, sondern durch einen derselben ziemlich analogen Vorgang losgelöst, und der Moräne zugeführt. Dieser Vorgang besteht in dem Gefrieren der Tagwässer und der Niederschläge.

Die Tagwässer in Pfützen oder Bächen dehnen sich beim Gefrieren aus und lockern das Gefüge der ihnen benachbarten Steine; ebenso dringt das Wasser der atmosphärischen Niederschläge in die Poren und Unebenheiten des Gesteins ein und laugt Theile desselben aus, oder es dringt in die Vertiefungen

oder Klüfte der Felsen und erstarrt darin zu Eis. Da wird dann oft ein Block losgesprengt, der auf den benachbarten Gletscher hinabrollt, wenn er aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird.

Dieses Moränenmaterial, von dem alljährlich eine bedeutende Quantität besonders auf jene Gletscher gelangt, die sich in der Nähe von steilen Gehängen oder von Felswänden befinden, ist heute von grosser Wichtigkeit, wo sich die meisten Gletscher schon tiefe Mulden ausgeschliffen haben, es tritt aber auch heute noch in verschwindender Menge auf, wo diese Grundbedingung für die Bildung grosser erraticer Blöcke fehlt, und die Annahme ist wohl nicht zu kühn, dass zu Beginn der Glacialepoche derlei Blöcke den geringsten Antheil an dem erraticen Material gehabt haben; sie müssten auch sonst in viel grösserer Anzahl anzutreffen sein, angesichts des Intensitätsgrades der Eisperiode, den die heutige Forschung gewöhnlich annimmt.

Wenngleich die erwähnten grossen Blöcke zwar durch Eis aber nicht durch eigentliche Gletscherwirkung in die Moräne gelangt sind, so können doch auch andere Blöcke, oft von bedeutenden Dimensionen, vom Gletscher selbst auf verschiedene Art losgelöst und mitgeführt werden.

Eine dieser Möglichkeiten besteht in dem Untergraben von Felsenpartien durch den Gletscher, eine andere im Durchbrechen von schwachen Barren, und so gibt es noch viele andere Möglichkeiten, die dasselbe, oder wenigstens ein so ähnliches Resultat erzielen können, dass wir keinen Unterschied herauszufinden im Stande sind, wenn der Block sich nicht mehr in der unmittelbaren Nähe des Ortes befindet von dem er stammt.

Als Gletschermaterial im engeren Sinne sollte eigentlich nur jenes betrachtet werden, welches vom Gletscher selbst losgebrochen und mitgeführt wurde, im weiteren Sinne aber muss alles dasjenige als solches bezeichnet werden, was durch den Gletscher fortbewegt wurde, und dieses Material ist höchst bedeutend, bedeutender vielleicht als man gewöhnlich annimmt.

Betrachtet man die Form unserer Hochalpen mit ihren vielen tiefen Mulden und scharfen Graten, so muss man zur Ueberzeugung gelangen, dass nicht nur jenes Aequivalent an Gesteinsmenge fehlt, welches zur Ausfüllung der heutigen Mulden diente, sondern noch weit mehr. Die Hochgipfel selbst repräsentiren

vielleicht nicht einmal noch das alte Niveau der Plateaus, auf denen sich die riesigen Gletscher der Eiszeit ausdehnten. Die heutigen Grate sind nur kleine Reste der eingestürzten Zwischenwände der Gletscher aus dem zweiten Theil der Glacialperiode, und das ganze riesige Quantum von Schutt- und Trümmerwerk wurde durch Bäche und Flüsse fortgeführt, um im entfernten Tiefland alte Seebecken auszufüllen und Meere auszutrocknen. Es wäre dies nicht möglich gewesen, wenn es aus solchem Material bestanden hätte, wie es bei unseren heutigen Moränen vorzugsweise ins Auge fällt. Der Antheil des stärker zerdrückten und zerkleinerten eigentlichen Gletschermaterials muss damals ein bedeutend grösserer gewesen sein, denn die Kraft des Wassers ist nicht genügend um jene Massen von Schutt zugleich fortzuschaffen und zu zerkleinern, die aus den Alpen fortgebracht wurden. Jahrtausende lang stürmt die Möll über die Centralgneiss- und Hornblendegneissblöcke in ihrem engsten und am steilsten abfallenden Theile hinweg, und vermag sie weder zu zertrümmern noch zu bewegen. Die Gletscher haben sie hiehergebracht, die Gletscher hätten sie zertrümmern können; sie haben es nicht gethan, der Fluss aber vermag es nicht, und seine Wasser rauschen machtlos über sie hinweg.

Die Lagerungsverhältnisse, unter denen jene auffallenderen grossen erraticen Felstrümmer angetroffen werden, sind mitunter höchst merkwürdig. Granitblöcke finden sich auf Kalkgebirgen, und kleinere erratiche Geschiebe sind überall hin verstreut. Das bekannteste Vorkommen von diesen letzteren ist wohl jenes vom Dachsteinplateau, und von ersteren jenes der Granitblöcke am Schweizer Jura. Wie diese dahin gelangt sind lässt sich heute schon mit einiger Sicherheit durch Annahmen erklären, die man auf bekannte Erscheinungen zurückführen kann.

Die kleinen Geschiebe mögen auf treibenden Eisschollen, vielleicht schon im Tertiärmeer oder in den grossen Binnenseen der Quarternärzeit an jene Orte gelangt sein, wo wir sie heute zu unserer nicht geringen Verwunderung antreffen. Auch von den grossen Blöcken mag ein Theil auf ähnliche Weise transportirt worden sein, wie beispielsweise jener vom Hundskogel bei Ischl, allein zum grössten Theil müssen sie durch directe Gletscherwirkung dort deponirt worden sein. Gerade jenes Vor-

kommen am Juragebirge, welches zu so vielen Hypothesen Anlass gab, erklärt sich auf die natürlichste Weise. Sie liegen ganz einfach in jener Richtung die man die Stosslinie der Gletscher nennt. Die Querthäler sind kein Hinderniss für die Gletscher und bringen sie nicht aus der Richtung, wenn Masse, Fallwinkel und Intensität der Bewegung so bedeutend sind, dass die Stosskraft des Gletschers demselben nicht nur über die Mulde sondern auch über das jenseits derselben befindliche Hinderniss hinweghilft. Wohl wird ein Theil des Eises in solchem Falle durch die Mulde hinausgedrängt werden, allein der Haupttheil der Masse desselben wird sich aufstauen und über die Barre hinwegzusetzen versuchen, so lange der von den nachdringenden Theilen des Gletschers ausgehende Druck mächtig genug ist, um die anfänglich eingehaltene Bewegungsrichtung fortsetzen zu können.

Mit der Verminderung dieses Druckes hört auch die Kraft auf, die dem Eise über das Hinderniss hinwegsetzen half, und die letzten aus der Kraftperiode stammenden Blöcke bleiben auf dem höchsten Punkte des Hindernisses liegen und steigen dann successive auf der inneren Seite desselben, wo sie eine Randmoräne bilden mussten, herab. Solche Stellen müssen durch jene Merkmale kenntlich bleiben, welche Bewegungen von Randmoränen dem anstehenden Gestein aufdrücken.

Wo jedoch eine Barre sich dem Gletscher entgegenstellt, sei es nun in dem eben angedeuteten Fall, oder, was noch häufiger vorkommt, wenn ein Querriegel von Felsen ein Thal absperrt, da wird der Eisstrom stets das Hinderniss zu übersetzen trachten, sobald seine Bewegungsbedingungen dies ermöglichen. An solchen Stellen treten aber am häufigsten jene merkwürdigen Gebilde zu Tage, die man mit dem Namen Rundhöcker (*roches moutonnées*) bezeichnet, und die man an den verschiedensten Orten in unseren Alpen antrifft. Diese Zeugen einer einstigen Uebergletscherung können jedoch mitunter verwechselt werden, indem besonders im Schiefergebirge, und wo horizontal liegender plattiger Kalk auftritt, gewisse Auswaschungen ihnen oft täuschend ähnlich sehen, doch sind diese viel seltener anzutreffen als die wirklichen Rundhöcker.

Sind jedoch jene Bedingungen nicht in genügender Menge vorhanden, mittels welcher der Gletscher im Stande ist, trotz entgegenstehender Hindernisse die gerade Richtung einzuhalten, so

muss er selbstverständlich eine Ablenkung erfahren, gerade wie ein Strom von fließenden Wasser, den ja auch Hindernisse zu den mannigfaltigsten Windungen zwingen, trotzdem auch er das Bestreben hat, der geraden Stosslinie zu folgen, was er beweist, wenn seine Masse mächtig anschwillt, und wenn er im Stande ist, seine Hindernisse zu überfluthen oder hinwegzuspülen.

Solche Ablenkungen werden bei den Gletschern durch mächtige Gebirge, einzelne Berge oder hohe Felsen erzeugt, und wir kennen ja die merkwürdigsten Krümmungen in dem Lauf der Gletscher; allein fortwährend kann das Bestreben beobachtet werden, die gerade Stosslinie einzuhalten, und wo das Hinderniss unübersetzbar ist, dort erscheint es benagt, weil es der ganzen Wucht des Anpralls und der Reibung ausgesetzt bleibt.

Aber noch eine zweite hierher gehörende Erscheinung dürfte nicht unwichtig sein, und diese ist das Auftreten gekrümmter Spalten an den Krümmungsstellen der Gletscher. Diese dürften durch die geringe Plasticität des Eises erklärbar sein, welches eher bricht als es sich krümmen lässt.*) Auch an den Absturzstellen treten dieselben Zerklüftungen auf, und aus dem nämlichen Grund, denn auch hier wird das Eis zu einem Verlassen seiner geraden Bewegungslinie gezwungen, wodurch eine Zerreißung der Eismasse entstehen muss, weil die eigenthümliche Anordnung der Eisatome eine Verschiebung nicht zulässt.

Es gäbe ausser diesen mehr oder minder bekannten Erscheinungen, die auf Gletschern beobachtet werden können, noch eine grosse Anzahl, die eine Besprechung verdienen würden, wie z. B. die Gletschertische, Eislöcher u. s. w., allein um nicht all zu weitläufig zu werden, mag als Resümé nur noch die Bemerkung gestattet sein, dass die Gletscher durch eine Art von Athmungsprocess allen Schwankungen der Temperatur folgen, und dass in diesem fortgesetzten Spiel zwischen Ausdehnung und Contraction die Quelle ihrer Bewegung liegt. Die Wärme ist es, die ihnen die Kraft dazu verleiht, und wo Wärme, da ist auch Bewegung, wo Bewegung da ist auch eine Art von Leben.

Es gibt nichts Todtes im ganzen Gebiet der Natur.

*) Solche Spaltenbildung zeigt sehr schön das untere Ende des Meil-Frossnitz-Gletschers im Gebiete des Venediger-Stockes an jener Stelle, wo er durch einen Querrücken zu einer scharfen Biegung gezwungen wird.