

Struktur und Bewegung des Gletschereises.

Vortrag,

gehalten von

Professor Hans Crammer-Salzburg

am 5. November 1908

in der Sitzung der Geograph. Gesellschaft in München.

Mit Tafel 12–19.



Erlangen 1909.

K. B. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn.

Separatabdruck aus den
Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München.
Vierter Band. 1. Heft.

K. B. Hof- u. Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn, Erlangen.

Struktur und Bewegung des Gletschereises.

Vortrag, gehalten von Professor Hans Crammer-Salzburg
am 5. November 1908 in der Sitzung der Geograph. Gesellschaft
in München¹⁾.

(Mit Tafel 12—19.)

Die letzten Jahrzehnte können als eine Periode der Wiederbelebung der Gletscherforschung bezeichnet werden. Den Anstoß hierzu gab in den Ostalpen Eduard Richter durch seine Vermessungen des Obersulzbachgletschers und des Karlinger-gletschers in den Hohen Tauern. Richter verstand es, eine ganze Reihe jüngerer Männer für das Studium der Gletscher zu begeistern, und so schuf er einen Stab ostalpiner Gletscherforscher unter dessen ständiger Überwachung nun schon seit einer längeren Reihe von Jahren eine größere Anzahl von Gletschern steht. Veränderungen in der Ausdehnung dieser Gletscher werden durch genaue Vermessungen der Zunge oder auch des Firnfeldes festgestellt. Durch die Beobachtung der

¹⁾ Jenen Teil, der von der Temperaturverteilung und der Erweichung des Eises handelt, habe ich für den Druck ausführlicher wie im Vortrage behandelt. Der vorliegenden Arbeit liegen folgende Schriften des Verfassers vielfach zugrunde:

Über den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung und über die Bewegung der Gletscher. Zentralblatt für Mineralogie etc. 1902, Nr. 4, S. 103—107. 1902.

Eis- und Gletscherstudien. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. Beilageband XVIII, S. 57—116. Stuttgart 1903.

Über Gletscherbewegung und Moränen. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. Jahrgang 1905, Bd. II, S. 33—42. Stuttgart.

Die Gletscher. Aus der Natur. II. Jahrgang S. 385 ff. Leipzig 1906.

Die Temperatur des Gletscher- und Inlandeises im Zusammenhange mit der Eisbewegung. Zeitschrift für Gletscherkunde. Bd. I. S. 225—226. Berlin 1907.

Zur Entstehung der Blätterstruktur der Gletscher aus der Firnschichtung. Zeitschrift für Gletscherkunde. Bd. II, S. 198—212. Berlin 1908.

Mitteil. d. Geogr. Ges. München. Bd. IV. 1. Heft. 1909.

Ortsveränderungen von Marken die auf Firn- und Eisflächen gelegt werden, erhalten wir Aufschluß über die Richtung und Größe der Bewegung der Eisströme. Tiefbohrungen im Eise, die bis zum Untergrunde desselben reichen, verschaffen uns Kenntnis von der Mächtigkeit der Gletscher und von der Gestalt ihres Felsbettes. Aus der Menge des Schuttes, der als Mittelmoräne ausschmilzt, können wir den Betrag der Erosion durch Gletschereis berechnen. Durch Temperaturbeobachtungen in Bohrlöchern erlangten wir Kenntnis von den thermischen Verhältnissen der Gletscher u. s. w.

Wie in den Ostalpen, schritt die Gletscherforschung auch in den Westalpen rüstig vorwärts. Aber nicht nur das, sondern es wurde auch das Forschungsgebiet immer weiter und weiter, bis es sich schließlich über alle Kontinente und die beiden polaren Zonen ausdehnte. Weite Forschungsreisen förderten unser Wissen von der geographischen Verbreitung der Gletscher und machten uns mit bisher fremdgebliebenen Gletschertypen, den Vorlandgletschern Alaskas und dem polaren Inland-eise Grönlands und der Antarktis bekannt.

Das Gesagte zeigt in kurzen Zügen, wie sehr unsere Kenntnis von den Gletschern in der letzteren Zeit bereichert worden ist. Aber trotzdem ist dieses Wissen immer noch lückenhaft. Denn so manche Frage, deren Beantwortung für das volle Verständnis des Gletscherphänomenes unbedingt notwendig ist, harret noch ihrer Lösung. In mancher Hinsicht stehen sich die Anschauungen der Kundigen heute noch ebenso unvermittelt gegenüber, wie vor Dezennien. Das gilt besonders bezüglich der Entstehungsweise gewisser Strukturen und der Bewegungsart der Gletscher. Keine Ansicht hierüber konnte sich bisher allgemeine Anerkennung erringen. Das glaube ich sagen zu müssen, ehe ich meine eigenen, auf Grund langjähriger Gletscherstudien gewonnenen Anschauungen mitteile.

Von den Strukturen des Gletschereises ziehe ich nur in Betracht: die Kornstruktur, die Schichtung, die Blätterung und die Spaltenstruktur.

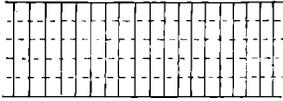
Die größeren Eismassen auf unserer Erde sind entweder unmittelbar aus Wasser oder aus Schnee hervorgegangen. Demnach unterscheiden wir Wassereis und Gletschereis. Jede dieser Eisgattungen ist kristallinisch und besteht aus gehemmt

Kristallen, die bei einer Temperatur unter 0° , dicht und fest aneinandergefrozen sind, so daß man ihre Grenzen mit freiem Auge nicht wahrnimmt. Auch beim Zertrümmern des Eises werden die Kristallgrenzen nicht sichtbar; denn ganz unbekümmert um dieselben vollzieht sich der muschlige Bruch. Wenn aber ein Eisstück langsam schmilzt, dann entstehen an dessen Oberfläche, wo die gemeinsamen Grenzflächen benachbarter Kristalle austreichen, zarte Rinnchen, die, den Kristallgrenzen in das Innere des Eiskörpers folgend, sich nach und nach zu engen, nach innen sich auskeilenden Fugen vertiefen. Auf diese Weise zerfällt das Eisstück schließlich in seine Kristallelemente und es zeigt sich, daß die Kristalle des Wassereises stengelförmig sind, während die Kristalle des aus Schnee hervorgegangenen Gletschereises die Gestalt unregelmäßig geformter Körner haben. Das kommt eben von der verschiedenartigen Bildungsweise beider Eisgattungen.

Auf der Oberfläche stehender Gewässer setzt die Eisbildung an vielen von einander etwas entfernten Punkten fast gleichzeitig ein. Um jeden solchen Punkt gruppieren sich die Moleküle des erstarrenden Wassers zu selbständigen Kristallindividuen, die auf der Wasseroberfläche schwimmen. Mit der Zeit nimmt die Zahl und Größe der tafelförmigen Kristalle zu, bis sich letztere mit ihren seitlichen Rändern vollkommen berühren. Dann frieren sie aneinander und bilden eine dünne geschlossene Eisdecke, die sich durch Zuwachs an ihrer Unterseite allmählich verdickt. Während der Verdickung der Eisdecke entstehen aber nicht mehr neue Kristallindividuen; denn die erstarrenden Wassermoleküle gliedern sich den schon bestehenden Kristallen an. Diese wachsen also. Da sie aber dicht aneinander liegen, hemmen sie sich gegenseitig in ihrer Vergrößerung nach allen Seiten, nur nicht in der Richtung senkrecht zur jeweiligen Gefrierfläche, das ist die ebene, horizontale Unterseite der Eisdecke. Hiernach wachsen also die Kristalle nur vertikal nach abwärts weiter, wodurch sie sich zu aufrechtstehenden Stengeln formen. Das Abbild 1 ist ein Vertikalschnitt durch eine Teich eisdecke. Die oberste horizontale Linie versinnlicht die ursprüngliche Wasseroberfläche; die dazu parallelen Linien darunter deuten das allmähliche Dickerwerden der Eisdecke, bezw. das Vorrücken der Gefrierfläche an, und die vertikalen Linien stellen

endlich die Kristallgrenzen vor, welche auf den Gefrierflächen normal stehen.

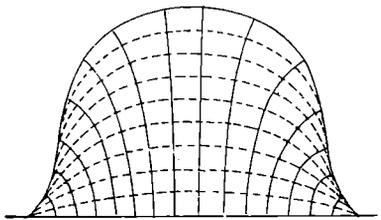
Abbild 1.



Teicheisscholle im Vertikalschnitte. Die Kristalle sind gerade Stengel, die auf den Gefrierflächen senkrecht stehen.

Schengelstruktur besitzt nicht nur das Teicheis, sondern jedes Wassereis, das durch schichtähnlichen Ansatz gewachsen ist. So z. B. das Rieseis, das entsteht, wenn Wasser bei einer Lufttemperatur unter Nullgrad in dünner Schichte einen festen Gegenstand überrieselt. Fällt beispielsweise Wasser tropfenweise, etwa vom Gewölbe einer Felsenhöhle, auf den Erdboden, so rieselt es von der Aufschlagstelle nach allen Richtungen auseinander und bedeckt eine kreisförmige Fläche. In dieser Wasserschichte entstehen, wie auf dem stehenden Wasser, kleine Eiskristalle, die sich aber hier zu einer dünnen Kruste zusammenschließen, welche dem Boden fest aufsitzt. Das Wasser der nächstfolgenden Tropfen überrieselt diese Kruste und indem es gefriert, gliedern sich seine Moleküle den Kristallen der Kruste an. Dabei erfolgt der Zuwachs des Eises nicht überall gleichmäßig; er schreitet an der Aufschlagstelle der Tropfen rascher vorwärts, als am kreisförmigen Rande der benetzten Fläche, weil dorthin das

Abbild 2.



Eisstalagmit im Vertikalschnitt. Die Kristalle sind nach auswärts sich biegende Stengel, die in der Wachstumsrichtung dicker werden.

Wasser viel spärlicher rieselt. Darum sind die Gefrierflächen in dem jetzt betrachteten Falle nicht Ebenen, sondern nach oben gewölbte Flächen, und es wächst somit eine oben abgerundete Eisssäule in die Höhe. Das Abbild 2 zeigt eine solche Säule im Vertikalschnitt, in welchem die Anordnung der Gefrierflächen durch gestrichelte Linien ersichtlich gemacht ist. Auch die Kristalle dieses Eisgebildes können mit der

Eismasse nur in den Richtungen senkrecht zur jeweiligen Gefrierfläche weiter wachsen. Dementsprechend sind im Abbild 2 die Kristallgrenzen eingezeichnet. Die Kristalle dieses Rieseises

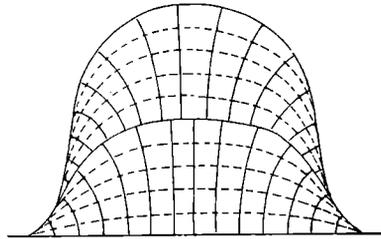
sind also zwar auch stengelförmig, aber sie unterscheiden sich trotzdem von jenen des Teicheises in auffälliger Weise. Denn infolge der Krümmung der Gefrierflächen des vorliegenden Rieseises laufen in jedem seiner Kristalle die Wachstumsrichtungen etwas auseinander, weshalb diese Kristalle nach oben dicker werden. Da ferner in dem betrachteten Rieseise die Gefrierflächen zueinander geneigt sind, so ändert sich auch die Richtung eines jeden Wachstumsfadens fortwährend von einer Gefrierfläche zur anderen, so daß gekrümmte Kristalle entstehen. Selbstverständlich ist diese Krümmung nur der äußeren Gestalt und nicht auch den Kristallachsen eigen.

In Höhlen sah ich nicht selten Stalagmiten, deren Eis geschichtet war. In solchem Falle bestand jede Schichte aus nur ihr eigenen Kristallstengeln, und es stießen die Kristalle benachbarte Schichten längs der Schichtfläche stumpf aneinander, wie es das Abbild 3 zeigt. Ich beobachtete folgendes: Wenn der Tropfenfall in der kalten Höhle eine Zeit lang ausblieb, so verdunstete an der Oberfläche des bereits gebildeten Stalagmiten einiges Eis. Der Kalk aber, welcher einst im Tropfwasser aufgelöst und dann im Eise äußerst fein verteilt war, konnte nicht mit verflüchtigen, sondern er blieb als zarter Staubbeschlage auf dem Stalagmiten zurück. Später, als wieder Wasser auf den Stalagmiten tropfte, verhinderte die Staublage, obwohl sie äußerst zart war, dennoch das Weiterwachsen der von ihr bedeckten Kristalle, weshalb oberhalb der Staublage neue Kristallindividuen entstanden. Auf die erwiesene

Tatsache, daß eine feine Staubdeckung das Weiterwachsen der Eiskristalle verhindert, komme ich später zurück.

Die Kenntnis der Struktur der Wassereisbildungen ist für den Gletscherforscher wichtig. Denn Wassereis gibt es auch auf und in den Gletschern. Eine Verwechslung des Wassereises mit Gletschereis muß in manchen Fällen zu schweren Fehl-

Abbild 3.

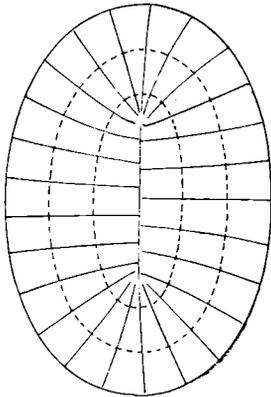


Geschichteter Eisstalagmit. Der Stalagmit besteht aus zwei Scharen von Kristallstengeln, welche mit ihren Stirnseiten an der Schichtfläche stumpf aneinanderstoßen.

schlüssen führen, was bei genügender Strukturkenntnis ausgeschlossen ist.

Im Gletscher entsteht Wassereis, wenn sich das auf dem Gletscherrücken entstandene Schmelzwasser z. B. in alten, unten zgedrückten Gletschermühlen oder in engen Spalten sammelt und dort gefriert. Solches Wassereis bildet im ersten Fall einen vertikalen Zylinder, im zweiten eine aufrechtstehende Platte. Beide Gebilde sind seitlich vom Gletschereis vollständig umschlossen. An der Oberfläche des schmelzenden Gletschers sieht man die ausgefrorenen Gletschermühlen im Querschnitte (Abbild 4). Derselbe ist meist elliptisch und läßt eine radial

Abbild 4.



Horizontaler Querschnitt durch einen mit Wassereis erfüllten Schacht einer Gletschermühle. Die Kristallstengel verjüngen sich in der Wachstumsrichtung.

Abbild 5.



Vertikalschnitt durch eine mit Wassereis erfüllte Gletscherspalte. Die Kristallstengel treffen sich in der Mitte der Spalte nach einer deutlich sichtbaren Naht.

angeordnete Stengelstruktur erkennen. Diese Anordnung kommt davon, daß in dem vom Gletschereis umschlossenen, mit Wasser gefüllten, zylindrischen Hohlraum die Wassereisbildung am Zylindermantel beginnt und von dort konzentrisch gegen die Mitte des Schachtes fortschreitet, wodurch der Schacht zunehmend enger wird, bis er ganz geschlossen ist. Diesen Vorgang ver sinnlichen im Abbild 4 die gestrichelten Linien. Da die Kristalle der ersten Wandschichte des Wassereises senkrecht zu den jeweiligen Gefrierflächen weiter wachsen, so müssen sie sich zu

radial angeordneten Stengeln entwickeln, deren Querschnitte gegen die Mitte der Gletschermühle zu kleiner werden.

Auch die Platten aus Wassereis, die Ausfüllungen enger Gletscherspalten sind, sieht man häufig an der Oberfläche der Gletscher oder an den Wänden jüngerer, klaffender Spalten austreichen. Da erscheinen sie als schmales Band (Abbild 5) mit stengelförmigen, geraden Kristallen, die von beiden Spaltenwänden her gegen die Mittelebene der Spalte gewachsen sind, wo sie nach einer deutlich wahrnehmbaren Naht stumpf gegeneinander stoßen.

Von den Wassereisbildungen in Form gewöhnlicher Eiszapfen, die in den Firnklüften keine Seltenheit sind, sehe ich hier ab, und wende mich nun zur Entstehung des Gletschereises aus dem Schnee.

Schnee ist eine Anhäufung von kleinen nadel-, stern- oder plättchenförmigen Eiskriställchen, die sich durch Sublimation freischwebend in der Atmosphäre gebildet haben. Die Räume zwischen den angehäuften Kriställchen sind luftefüllt. Schmilzt der Schnee oberflächlich, so versickert das Schmelzwasser im verbleibenden Schneerest und verdrängt daraus Luft, die nach oben ins Freie entweicht. Je tiefer das Wasser in den Schnee dringt, um so mehr kühlt es ab, indem es nach und nach die Temperatur des Schnees annimmt. Da in den hochliegenden Gebieten der Firnfelder unserer Alpengletscher die Temperatur des Schnees schon in kleinem Abstände unter dessen Oberfläche auch tagsüber etwas unter Nullgrad bleibt, so wird das versickernde Wasser bis auf den Gefrierpunkt abgekühlt, und die wieder erstarrenden Moleküle gliedern sich an jene Schneekriställchen, die sie eben berühren. Die Kriställchen wachsen durch dieses Ankristallisieren allseitig und werden dadurch zu rundlichen Körnern, die nach immer größer werdenden Flächen aneinanderstoßen und längs welchen sie fest zusammenfrieren. So wird aus dem lockeren Schnee eine zusammenhängende und dichtere Masse, die man Eis nennt.

Sinkt nun, z. B. bei eintretender Nacht, die Temperatur der Luft über dem Schnee unter 0° , so wird der Schnee von oben her durchkältet und es gefrieren auch die feuchtgewordenen Schneekristalle an der Oberfläche des Schnees fest aneinander und bilden mit dem schon früher entstandenen Eise einen

Harscht, der die Last eines Menschen zu tragen vermag, obwohl unter ihm immer noch lockerer Schnee liegt. Fällt auf den Harscht eine neue Schneeschichte, so ist es möglich, daß auch diese oberflächlich verharscht. Selbst im Winter, bei einer Lufttemperatur unter 0° , kann Harschtbildung erfolgen, wenn nur an heiteren Tagen die Sonnenstrahlen unmittelbar auf den Schnee einwirken. Doch wenn es zwischen zwei Schneefällen keinen Sonnenschein gibt, und die Lufttemperatur unter 0° bleibt, dann lagern sich Schneeschichten ohne Harscht übereinander.

Aller Schnee, der vom Schmelzwasser unberührt blieb, wird mit der Zeit durch die größer werdende Last der oben zuwachsenden Schneeschichten immer stärker zusammengedrückt, wobei die an und für sich schon kleinen Schneekriställchen in noch kleinere Teile zerbrochen werden. Auch wird ein Teil der zwischen den Kriställchen befindlichen Luft ausgepreßt. Trotzdem berühren sich die Kriställchen solcher Schneelagen niemals so innig, wie in jenen Schichten, wo die Kristalle durch das Ankristallisieren des eingesickerten Wassers zu Körnern angewachsen sind.

In der warmen Jahreszeit ereignet es sich nicht selten, daß das Schmelzwasser, besonders im Vereine mit Regenwasser, sogar mehrere übereinander liegende Schneeschichten durchdringt und daß es sich über einer tiefer liegenden verharschten Schichte staut. Dort treibt es dann fast alle Luft aus dem Schnee, den es vollständig durchtränkt. Beim Gefrieren entsteht demnach eine sehr dichte, wenig Luftblasen enthaltende und darum bläulich erscheinende Eislage.

Nach dem Gesagten bleiben die Schneeschichten im Firnfeld eines Gletschers, so lange sie an der Oberfläche oder noch nicht tief unter derselben liegen, entweder schneeartig oder sie werden durch den Einfluß der äußeren Wärme und des eindringenden Wassers in recht verschiedenem Grade in eine mehr oder weniger eisige Masse verwandelt.

Wird eine Schichte durch spätere Schneefälle mächtig abgelagert oder nach oben hin durch einen dichten Harsch abgeschlossen, so kann sie von der Oberfläche des Firnfeldes her niemals wieder Wasser in sich aufnehmen. Die Kristalle dieser Schichte können darum nicht mehr durch Ankristallisieren größer

werden. Daß aber diese Kristalle dennoch weiter wachsen, das müssen wir folgern, weil weiter unten im Tale, wo durch die Abschmelzung der Gletscherzunge ältere Eispartien wieder an die Gletscheroberfläche kommen, die Eiskristalle durchschnittlich viel größer als oben im Firnfeld sind. Eduard Hagenbach-Bischoff erklärt dieses Wachsen durch Überkristallisieren, das heißt dadurch, daß von zwei sich unmittelbar berührenden Eiskristallen der größere die Moleküle des kleineren nach und nach in seinen kristallinen Verband herüberzieht, daß also der größere Kristall seinen kleineren, schwächeren Nachbarn nach und nach vollständig aufzehrt. — Von der Richtigkeit dieser Anschauung überzeugte ich mich durch folgenden Versuch: Ich gab frisch gefallenen Schnee in eine Pfanne, preßte ihn etwas, übergoß ihn mit Brunnenwasser bis zur vollständigen Durchtränkung und ließ den Brei gefrieren. Es entstand eine feinkörnige dichte Eismasse, deren Körner nach den ersten 24 Stunden ihrer Entstehung die Größe feinen Grieses hatten. Nach 48 Stunden waren Körner mit 2 mm Durchmesser nicht selten. Nach 15 Tagen hatten einzelne Körner 5 mm und nach 29 Tagen sogar 7 mm Durchmesser. Anhaltendes Tauwetter machte es mir dann unmöglich, die Kristalle weiter zu züchten. Weil im geschilderten Versuche das Wachstum einzelner Kristalle bei nachgewiesen unveränderter Gesamtmasse des Eises vor sich ging, ist in der Tat nicht anzuzweifeln, daß die einen Kristalle auf Kosten der anderen gewachsen sind.

Indem also die durchschnittliche Korngröße mit dem Alter des Eises zunimmt, wäre zu gewärtigen, im Firnfeld treffe man in vertikaler Richtung abwärts auf immer größeres Korn. Aus demselben Grunde sollte man auch bei einer Wanderung auf der Gletscherzunge gegen deren Ende die Zunahme der Korngröße ohne Unterbrechung beobachten können. Beides trifft aber in Wirklichkeit nur insofern zu, als die durchschnittliche Korngröße zunimmt. Sonst zeigen sich die größten Unregelmäßigkeiten, indem sich selbst in großem Abstände unter der Firnoberfläche zwischen grobkörnigen Lagen feinkörnige finden und auch in der Zunge grob- und feinkörnige Eispartien unmittelbar nebeneinander liegen. Das läßt sich in folgender Weise erklären: In jenen Schichten, die schon an der Firnoberfläche durch eingedrungenes Schmelzwasser vereist worden sind,

sind die Kristalle von vorneherein größer als in den schneeig gebliebenen Lagen. Ferner berühren sich die Kristalle der vereisten Lagen viel inniger und nach viel größeren Flächen, welche Umstände das Überkristallisieren unzweifelhaft begünstigen. Somit eilen die Kristalle der eisigen Lagen jenen in den schneeigen Lagen im Wachstum weit voraus.

Die Kristallkörner im Firnfeld und in der Gletscherzunge haben verschiedene Namen. Man nennt sie Firnkörner beziehungsweise Gletscherkörner; eigentlich sind aber beide ein und dasselbe und unterscheiden sich allenfalls nur durch ihre Größe. Es ist ferner nicht richtig, daß die Firnkörner in einem Eiszement gebettet liegen, sondern sie berühren sich, wo nicht Luft dazwischen ist, ebenso unmittelbar wie die Gletscherkörner.

Es liegt die Annahme nahe, das Überkristallisieren finde nicht nur zwischen den Kristallen ein- und derselben Eis- beziehungsweise Schneeschichte, sondern ganz allgemein auch an den Schichtflächen statt, so daß Kristalle der einen Schichte in die andere hinüberwachsen und umgekehrt, daß sich also die Schichten gegenseitig verzahnen, die Schichtflächen undeutlich werden und schließlich ganz verloren gehen. Ich habe mich aber überzeugt, daß dies fast nie geschieht. Die Schichtflächen bleiben selbst in sehr bedeutenden Abständen unter der Firnoberfläche in aller Schärfe fortbestehen. Das sieht man an den Wänden der Firnklüfte und noch besser an den großen Schmelzkehlen im Firnfeld, welche große Felsköpfe umziehen. Am oberen Rande des Firnfeldes der Übergossenen Alm im Lande Salzburg ist eine solche, deren steile Wand das Eis in einer Mächtigkeit von über 50 m aufschließt. Am Fuße dieser Wand streichen die Schichten ebenso scharf gegeneinander abgegrenzt aus, wie oben knapp unter der Oberfläche. Der Prozeß des Überkristallisierens geht also an den Schichtflächen nicht vor sich. Die Ursache davon ist der feine Staub, der aus der Luft auf jede Schneeschichte fällt, so lange sie zu oberst liegt, und der zwischen zwei Schichten kommt, wenn es neuerdings schneit. Ebenso wie eine Staublage auf einem Eisstalagmiten das Weiterwachsen der Kristalle verhindert, so verhindern die Staublagen an den Schichtflächen des Firn- beziehungsweise Gletschereises das Überkristallisieren, also die Zerstörung der

Schichtflächen. Die feinen Staublagen sind daher als Erhalter der Schichtflächen im Eise zu bezeichnen.

An den Schichtflächen des Firneises stoßen somit die Kristalle zweier verschiedener Schichten nach einer durchlaufenden, mehr oder weniger ebenen Fläche aneinander, während die Grenzflächen der Kristalle innerhalb einer jeden Schichte äußerst unregelmäßig verlaufen. Das hat, wie später erörtert wird, eine große Bedeutung für die Art der Bewegung des Eises.

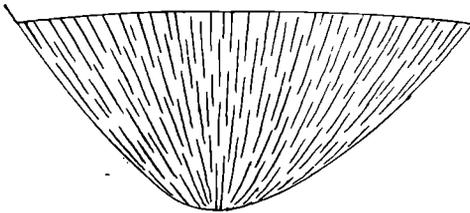
Aus dem breiten, weitgedehnten Firnfeld treten die Eismassen der meisten unserer Alpengletscher in ein schmales Tal über und bilden in diesem eine langgestreckte Gletscherzunge. Suchen wir auf dieser nach der Schichtung, die wir eben im Firnfeld verließen, so mühen wir uns vergeblich. Dafür tritt uns eine andere Strukturform des Eises entgegen. Schon aus der Ferne bemerken wir auf der ganzen Breite des Zungenrückens eine zu seinen Ufern parallele Längsstreifung, eine Bänderung. Sind wir auf dem Gletscher selber, so sehen wir zwischen je zwei Bändern schmale Fugen in das Eis dringen, die sich nach unten verengen und die das Eis in Blätter zerlegen, durch deren Ausstreichen an der Zungenoberfläche eben die Bänderung entsteht. Die Dicke der Blätter, oder, was dasselbe ist, die Breite der Bänder schwankt von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. Beim Verfolgen eines Bandes gletscherauf- oder abwärts nehmen wir wahr, daß es schmaler wird. Ehe es aber ganz auskeilt, nimmt an seiner Seite bereits ein anderes seinen Anfang, das sich in der Richtung des ersteren fortsetzt, bis es von einem dritten Bande abgelöst wird u. s. w. — An den Wänden der Querspalten setzt sich die Bänderung in die Tiefe fort. Das beweist, daß das Eis der Zunge auch in den Tiefen aus ebensolchen Blättern besteht, wie wir sie auf dem Gletscherrücken kennen gelernt haben. Wir sprechen daher von der Blätterstruktur der Gletscherzungen. Jedes einzelne Blatt ist aus unregelmäßig begrenzten Gletscherkörnern zusammengesetzt. Nur wo die Gletscherkörner an Blattflächen stoßen, sind sie vollkommen eben und glatt begrenzt, so daß die Blattflächen wie geschliffen aussehen. Nie ist zu bemerken, daß ein Korn eines Blattes in das benachbarte Blatt hinüberraagt. Die Korngröße wechselt meist von Blatt zu Blatt um vieles. Blätter mit großem Korn haben geringen Luftgehalt und erscheinen

bläulich. Feinkörnige Blätter haben wegen des größeren Luftgehaltes eine milchige Färbung.

Über die Anordnung der Blätter im Zungenkörper erhalten wir den besten Aufschluß, wenn wir längs Querspalten von einem Ufer der Zunge zum anderen schreiten. Da gibt uns der Verlauf der Bänderung auf dem Zungenrücken und auf den Spaltenwänden das Streichen und Fallen der Blätter an. Überall streichen die Blätter in der Bewegungsrichtung des Eises, das ist ungefähr parallel zur Zungenachse. Ihr Einfallen ist aber verschieden. Ganz an den Ufern fallen die Blätter am flachsten ein. Sie liegen da den Hängen oder Wänden des Gletscherbettes stets vollkommen flach an. Je näher der Mitte des Gletscherstromes, um so steiler sind die Blätter aufgerichtet. In der Mitte der Zunge stehen sie vertikal. Die Blätter haben folglich im Querschnitte durch die Zunge jene fächerförmige Anordnung, die im Abbilde 6 dargestellt ist.

Über die Herkunft beziehungsweise die Entstehung dieser merkwürdig regelmäßig angeordneten Struktur bestehen auch

abb. 6.



Querschnitt durch eine Gletscherzunge mit gut entwickelter, fächerförmig angeordneter Blätterung.

derzeit noch weit auseinander gehende Ansichten. Ein Teil der Forscher sieht die Blätterung für eine vollständige Neubildung an, die ganz unabhängig von jeder etwa früher vorhandenem Struktur sich gebildet hat. Der andere Teil aber leitet die Blätterung

von der Schichtung her, indem er die Blätterung für umgebildete Schichtung hält. Aber auch die Anschauungen der letztgenannten Forschergruppe gehen trotz teilweiser Übereinstimmung dennoch ziemlich weit auseinander. Im vorgeschriebenen Rahmen würde es zu weit führen, alle bestehenden Meinungsverschiedenheiten im Einzelnen mitzuteilen. Ich selber habe mich mit der erwähnten Strukturfrage durch viele Jahre eingehend befaßt. Das hierdurch bereits gewonnene abschließende Ergebnis lege ich hiermit zur Beurteilung vor.

Wenngleich meine Ansicht über die Entstehung der Blätter-

struktur erst nach und nach durch die Betrachtung vieler verschiedener Gletscher heranreife, will ich mich im folgenden doch fast nur auf einen Gletscher berufen, den ich erst spät, erst im Jahre 1907, kennen gelernt und auch im Jahre 1908 wieder besucht habe. Denn dieser Gletscher zeigt alle in Betracht kommenden Erscheinungen in einer Klarheit und räumlichen Gedrängtheit, wie ich sie sonst nirgends angetroffen habe. Es ist das der schon im Eingange erwähnte Obersulzbachgletscher im Gebiete des Großvenedigers. Einige photographische Aufnahmen, die ich von diesem Gletscher im Jahre 1908 machte, sollen das folgende bekräftigen¹⁾.

Das Bild auf Tafel 12 wurde in der Nähe der Kürsingerhütte aufgenommen, am rechtsseitigen Hang des Obersulzbachtales. Es gewährt einen ziemlich weiten Blick auf den linken, westlichen Teil des Firnfeldes und auf die beginnende Zunge. — Das Firnfeld des Obersulzbachgletschers zerfällt durch Felsrippen, die vom Hauptkamme des Gebirges abzweigen und alsbald unter Eis und Schnee verschwinden, in fünf Teilbecken. Eine solche Rippe verrät sich auch in unserem Bilde durch eine Reihe von Felsinseln, die den Firn überragen. Die Längsachsen der Teilbecken laufen, wie die Speichen eines halben Rades, radial gegen die Zungenwurzel zusammen und bilden auf diese Art einen Fächer von 180° Spannweite. Unterhalb der Teilbecken sammeln sich die aus ihnen kommenden Teilströme in einen tiefen und weiten Talkessel zur wenig geneigten Zungenwurzel, die sich talabwärts trichterförmig rasch verengt, weil sich in dieser Richtung die beiderseitigen Talgehänge einander stark nähern. Am Ende dieses Trichters, das ist an seiner Spitze, veranlaßt eine hohe Talstufe die Bildung eines Gletscherbruches, der „türkische Zeltstadt“ genannt wird. Dieser Sturz setzt sich noch ein Stück weit in die eigentliche Gletscherzunge hinein fort. Im weiteren Verlaufe ist das Gefälle der Zunge viel sanfter und gleichbleibend. Auch die Zungenbreite ändert sich nur mehr wenig.

Die talabwärts geringer werdende Breite eines jeden Teilbeckens, die fächerförmige Anordnung dieser Becken, durch welche alles aus dem Becken kommende Eis gegen einen Punkt ge-

¹⁾ Man sehe auch die vom Deutschen und Österreichischen Alpenverein herausgegebene Spezialkarte der Venediger-Gruppe 1 : 50 000.

drängt wird, endlich die Trichterform des Felsbettes, in welchem die Zungenwurzel liegt, alles das bewirkt, daß die talabwärts bewegten Eismassen auf dem ganzen Wege vom obersten Firnrande bis zum Austritt aus der Zungenwurzel außerordentlich starken seitlichen Pressungen ausgesetzt sind. Von der ungeheuren Größe der pressenden Kräfte und ihrem raschen Anschwellen erhält man eine Vorstellung durch die Betrachtung des Verlaufes der Mittelmoränen im Trichter. Denn so rasch diese Moränen talabwärts zusammenlaufen, um ebensoviel verlieren die zwischen ihnen liegenden Teilströme durch seitliche Pressungen an Breite; dafür gewinnen sie natürlich an Mächtigkeit. — Der Parallelismus der Mittelmoränen auf der eigentlichen Zunge verrät dagegen, daß in letzterer keine Steigerung der seitlichen Druckkräfte stattfindet.

Da die nächstfolgenden Bilder, Tafel 13 bis 18, dem westlichsten Teilstrom entnommen sind, sei über diesen zur späteren Orientierung noch einiges gesagt: Zwischen der großen im Bilde Tafel 12 sichtbaren Felsinsel und dem orographisch linken Felsufer dieses Teilstromes steigt das Eis aus dem Firnbecken in regelmäßigen Treppenbrüchen in den Trichter herab. Im oberen Teil des Trichters sind keine Spalten. Solche öffnen sich erst in einiger Entfernung vom Treppenbruche. Sie gähnen um so weiter, je näher sie der Zeltstadt gerückt sind. Am Fuße der Zeltstadt schließen sich die Klüfte wieder.

Nun wollen wir vom Firnbecken des westlichsten Teilstromes, der allgemeinen Bewegungsrichtung des Eises folgend, hinabwandern bis auf die Zunge des Gletschers.

Oben im flachgeneigten Sammelbecken streichen die Firnschichten an den Wänden der Klüfte parallel zur Oberfläche des Firnfeldes aus. Etwas weiter unten im Treppenbruche, von dem die Tafel 13 die beiden untersten Absätze wiedergibt, ist das Teilbecken schon um vieles schmaler wie weiter oben. Da sehen wir an den vertikalen Wänden einer jeden Treppenstufe wiederum Schichten austreichen, aber sie bilden hier flache Mulden, deren Schenkel sich unter recht spitzen Winkeln mit den horizontalen Flächen der Treppenstufen verschneiden. Das macht den Eindruck, die Schichten haben einem von links und rechts her wirkenden Drucke durch Verbiegung etwas nachgegeben. Im Vordergrund des Bildes, das gletscheraufwärts aufgenommen

worden ist, breitet sich der obere, wenig geneigte Teil des Trichters aus, der infolge der mangelnden Spalten keinen Einblick in das Innere des Eiskörpers gestattet.

Wir begeben uns weiter talabwärts gegen die türkische Zeltstadt, zu einer der ersten dort aufreißenden Spalten. Sie ist auf Tafel 14 abgebildet. Da auch dieses Bild gletscheraufwärts aufgenommen wurde, erscheint hinter der Spalte wieder der obere Teil des Trichters und ganz im Hintergrunde der Treppenbruch, der im sich senkenden Nebel zu verschwinden droht. Trotz der verhältnismäßig geringen Entfernung vom Treppenbruch, wo die Schichten erst ganz schwach gebogen sind, bis zur abgebildeten Spalte, sehen wir an der uns entgegenstehenden Spaltenwand die Schichten von beiden Seiten her schon recht auffällig zusammengeschoben. Hinter dem Eispickel liegen drei stark gekrümmte Schichtmulden ineinander, deren Schenkel an der Gletscheroberfläche steil ausstreichen. Nur der im Bilde linke Schenkel der untersten der drei Mulden legt sich an der Gletscheroberfläche flach um. Bemerkenswert ist ferner, daß neben der grobzügig angelegten Faltung eine zweite, viel feinere Fältelung vorhanden ist.

Je näher wir der türkischen Zeltstadt kommen, um so stärker gefaltet streichen die Schichten an den zahlreichen, immer weiter klaffenden Querspalten aus. Im Bilde auf Tafel 15 sind die Faltenscheitel schon spitzer zusammengedrückt und die Schenkel noch steiler aufgerichtet. Auch hier ist die schon am vorigen Bilde wahrgenommene feinere Fältelung vorhanden. Daß an dieser Stelle wirklich Schichten vorliegen, die im Firnfeld in Folge der Periodizität der Schneefälle entstanden, aber auf dem Wege bis hier herab gefaltet wurden, ist unzweifelhaft. Das wird uns besonders klar, wenn wir uns auf einen erhöhten Standpunkt, etwa zur Kürsingerhütte begeben und von dort aus alles bisher im Einzelnen Gesehene im Zusammenhang überblicken. — Daß echte Schichtung vorliegt geht auch daraus hervor, daß an der Spaltenwand auf Tafel 15, wie an den Spaltwänden oben im Firnfeld, zwischen auffällig deutlich erkennbaren Schichtflächen, die den sommerlichen Schmelzperioden entsprechen, in viel kleineren Abständen eine Menge oft schwer erkennbarer Schichtflächen ausstreichen, welche die einzelnen Schneefälle der kalten Jahreszeit trennen. Die Höhe der Spaltenwand, so weit

sie im Bilde sichtbar ist, beträgt nach vorsichtiger Schätzung mindestens 10 m. Danach sind die Maße der Falten zu beurteilen.

Das Ausstreichen der Falten kann auch an der Oberfläche des Gletschers beobachtet werden; denn die Gletscheroberfläche ist nicht die aus dem Firnfeld herabgewanderte oberste Schichtfläche, sondern eine Abschmelzungsfläche, die sich dem Untergrund des Eisstromes talabwärts langsam aber stetig nähert, bis sie ihn am Gletscherende trifft. Deshalb werden die in der Bewegungsrichtung des Eises streichenden Schichtfalten von der Gletscheroberfläche nach talauf- und talabwärts gerichtete Bögen geschnitten, je nachdem ein Schichtsaattel oder eine Schichtmulde zum Schnitte kommt. Die Scheitel dieser Bögen sind um so spitzer, und ihre beiden Bogenäste um so gerader und um so mehr in die Bewegungsrichtung des Eises gestellt, je steiler die Falten aufgerichtet und je mehr sie von den Seiten zusammengedrückt sind. Selbstverständlich kommen durch die Abschmelzung gletscherabwärts immer ältere Schichten zutage.

Weil das Bild auf Tafel 15 gletscheraufwärts aufgenommen wurde, so sieht man im Hintergrunde wieder den Treppenbruch. Von genau demselben Standpunkt wie dieses Bild, machte ich zwei andere Aufnahmen gletscherabwärts, die einander etwas übergreifen. Im linken dieser beiden zuletzt erwähnten Bilder, Tafel 16, schließt an einen breiten Saattel mit sekundärer Faltung rechts eine steilgestellte Mulde an. Dieselbe Mulde ist auch auf der linken Seite des Bildes, Tafel 17, vorhanden. Rechts von der Mulde ist von Schichtfalten fast nichts bemerkbar. Nur ganz in der Nähe der Mulde sind hie und da noch Spuren von Faltung zu finden. Sonst sind überall die Faltenwölbungen durch die ungeheure Zunahme des von beiden Gletscherufern her wirkenden Druckes vollständig ausgequetscht worden, so daß von den Falten nur deren Schenkel erhalten blieben. Hierdurch wurden die Schichten in ebene Blätter gänzlich zerteilt, die an den Spaltenwänden in annähernd vertikaler Richtung, und auf der Gletscheroberfläche in der Bewegungsrichtung des Eises ausstreichen. Schichtung im gewöhnlichen Sinne besteht also an dieser Stelle des Gletschers nicht mehr. Wir geben daher der aus ihr hervorgegangenen Struktur einen eigenen Namen, der ihr Wesen kennzeichnet, und nennen sie Blätterung.

Wir stehen nun an der Oberkante der türkischen Zeltstadt. Die Durchkletterung der letzteren dürfte wohl nur an wenigen Stellen ausführbar sein. Im Jahre 1907 bin ich den Gletschersturz nahe dem linken Ufer ohne besondere Schwierigkeit hinaufgestiegen; im Jahre 1908 machte ich einen vergeblichen Versuch den Sturz in der Mitte des Gletscherstromes zu überwinden. Großartige Klüfte zwischen Eismauern mit schmalen Kämmen und Gräten geboten mir die Umkehr. Ich konnte aber doch mit Sicherheit feststellen, daß die Blätterung im Absturze nicht zerstört wird. Die Masse des Eisstromes überstürzt sich nicht im Herabsteigen über die Talstufe, sondern sie bewegt sich ruhig und in mehr gleichmäßiger Weise. Nur einzelne Eisnadeln kommen zu Falle, aber deren Masse verschwindet gegenüber dem anderen Eise, und ihre Trümmer schmelzen bald. Daß die einmal entstandene Blätterung überall in der Zeltstadt fortbestehen bleibt, und daß sie daselbst nicht einmal in Unordnung gerät, sieht man auch vorzüglich, wenn man weiter unten auf der Zunge steht und von dort auf den Sturz zurückblickt. Die wilderspaltene Eismassen erscheinen dann infolge der Blätterung vollkommen einheitlich, mehr oder weniger vertikal gestreift.

Das Bild Tafel 18 zeigt einen Teil des Fußes des Gletschersturzes in unmittelbarer Nähe gesehen. Die Blätterung ist hier nicht im Mindesten durcheinander geworfen. Von der Blätterung an der Oberkante des Sturzes unterscheidet sie sich aber durch größere Feinheit der Blätter.

Auch unterhalb des Sturzes setzt sich die Blätterung mit unverändertem Streichen in der Längsrichtung des Gletschers fort. Mit der Entfernung vom Sturze nimmt ihre Feinheit noch etwas zu, und damit geht sie ganz allmählich in jene fächerförmig angeordnete Blätterung über, die ich schon am Beginne dieser Erörterung beschrieben habe, und die allen jenen Gletschern eigen ist, deren Breite im Vergleich zur Breite des Firnfeldes, aus dem sie kommen, verhältnismäßig gering ist.

Das Gesehene beweist untrüglich, daß die Blätterung in den Gletscherzungen durch allmähliche Faltung der Firnschichtung und Auswalzung der Falten hervorgeht, daß also die Blätterung bloß die umgebildete Firnschichtung und keine Neubildung ist.

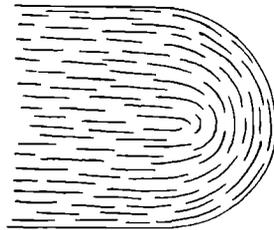
Von manchen Forschern, die die Umwandlung der Schichtung in Blätterung bestreiten, wird auf Stellen hingewiesen, wo die Firnschichtung von Blättern durchschnitten wird. Diese Forscher sagen: Ginge die Blätterung aus der Schichtung hervor, so könnten sich diese beiden Strukturen nicht schneiden. — Gegen die Richtigkeit des letzten Satzes ist nichts einzuwenden; doch nur unter der Voraussetzung, daß die Blätter, welche die Firnschichten schneiden, gleicher Entstehung sind, wie jene Blätter, aus denen die ganze Zunge zusammengesetzt ist. Ich selber habe auf verschiedenen Gletschern gar nicht selten die Firnschichtung von Blättern unter schiefen oder rechten Winkeln quer durchschnitten gefunden. Das war z. B. auch an den vertikalen Wänden des schon genannten Treppenbruches im westlichsten Teilstrom des Obersulzbachgletschers der Fall. Aber dort, wie sonst überall waren diese Blätter nicht wie jene in den Zungen aus Gletscherkörnern, sondern aus stengelförmigen Kristallen zusammengesetzt, welche genau die Anordnung hatten, die uns aus dem Abbilde 5 bekannt ist. Die Blätter, die die Schichtung schneiden, sind demnach Wassereisbildungen, die enge Spalten ausfüllen. Sie sind also etwas ganz anderes wie die Blätter, welche der Zunge die charakteristische Blätterstruktur verleihen. Sie entscheiden daher hinsichtlich der Entstehung dieser Struktur gar nichts.

Im Zungenende kann die Blätterung eine zweifache Anordnung besitzen. Liegt das Gletscherende in einer Schlucht, dann bleibt die im Zungenquerschnitt fächerförmige Anordnung der Blätter bis an das Gletscherende fortbestehen. Das ist z. B. der Fall beim Schalf-Marzellferner und beim Hochjochferner. Breitet sich jedoch das Zungenende, wie beim Hornkees im Zillertal, auf einem ebenen, weiten Talboden aus, dann fällt der Blätterfächer weiter auseinander und die Gruppierung der Blätter an der Stirne der Zunge wird ganz eigentümlich. Die Bänderung auf der Oberfläche des gewölbten Zungenendes verläuft da nicht parallel zur Zungenaxe, sondern in schönen Bögen, die zum gerundeten Rande des Zungenendes parallel sind, von einer Seite der Zunge zur anderen. Siehe Tafel 19. Je weiter ein solcher Bogen vom Rande der Zungenspitze absteht, um so schärfer ist er gekrümmt. Im Abbild 7, das das Ende einer Gletscherzunge in der Draufsicht vorstellt, sieht man, in welcher Weise die zur Zungenachse parallel streichende Bänderung, die wir schon früher bei der Querung

einer Gletscherzunge in ihrem mittleren Teile besprochen haben, in die bogenförmige Bänderung in der Zungenspitze übergeht. — Wenn die Zungenspitze von Radialspalten durchsetzt ist, so kann man an den Spaltenwänden das Einfallen der Blätter in den Eiskörper beobachten. Am Rande der Zungenspitze liegen die untersten Blätter überall dem Untergrund ganz flach auf. Je höher ein Blatt vom Untergrund absteht, um so steiler fällt es gletscherwärts ein. Da jedes Blatt gegen den Untergrund sanft gekrümmt ist, so fallen die Blätter tief im Innern der Eismasse flacher ein, wie an der Eisoberfläche. Im Abbild 8 habe ich das Einfallen der Blätter so dargestellt, wie ich es an den Wänden von Radialspalten oft beobachtete. In Zungenspitzen, die sich auf einen ebenen Talboden ausbreiten können, haben also die Blätter eine doppelte Krümmung. Man siehe das Abbild 7 und 8. Die Blätter sind darum in solchen Gletscherenden nach Flächen angeordnet, die die Gestalt der Vorderteile von Eßlöffeln haben. Je höher über dem Boden ein solcher Löffel liegt, um so schmaler und zugespitzter ist er, und um so steiler sind seine Seitenwandungen gestellt. Die Wände des innersten Löffels stehen vertikal und lassen zwischen sich keinen Raum frei. Gletscheraufwärts geht auf diese Weise die löffelförmige Anordnung der Blätter in die fächerförmige über.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, betone ich ganz ausdrücklich, daß kein Löffel und keine Fächerwand aus einem einzigen Blatte, sondern aus einer sehr großen Zahl bald größerer, bald kleinerer flachlinsenförmiger Blätter besteht, die sich mit ihren auskeilenden Rändern übergreifen. Freilich sieht man das Auskeilen aus einiger Entfernung nicht mehr, und dann gewinnt man den falschen Eindruck, als ob die Zungenspitze aus dünnen,

Abbild 7.



Draufsicht auf das Ende einer Gletscherzunge, das sich auf breitem Talboden frei ausbreiten kann. Die gestrichelten Linien deuten das Ausstreichen der Blätterung an.

Abbild 8.



Einfallen der Blätterung, wie man es an Radialspalten in Gletscherenden beobachtet, welche letztere sich frei ausbreiten können.

ununterbrochen fortlaufenden Blättern beziehungsweise Schichten bestände.

Sonderbar ist es, daß wir im Firngebiete keine gefalteten Schichten sehen, obwohl sicher schon dort wegen der zunehmenden Verengung des Firnbeckens recht bedeutende seitliche Presungen stattfinden. Diese Ungereimtheit findet ihre Lösung in dem Umstande, daß oberhalb der Firnlinie die älteren, bereits gefalteten Schichten alljährlich durch neue, ausdauernde Schneeschichten verdeckt werden. Setzen wir ein Firnfeld voraus, das an seinem obersten Rande die größte Breite hat und sich von da bis zur Firnlinie ganz gleichmäßig verengt, und betrachten wir die vereisten Schneeschichten, wo sie durch das Querprofil an der Firnlinie hindurchgehen, so ergibt sich folgendes: die unterste älteste Schichte, welche bereits die ganze Länge des Firnfeldes durchmessen hat, also von dessen obersten, breiten Rande bis zur verhältnismäßig schmalen Stelle an der Firnlinie vorgerückt ist, hat durch die Einzwängung in ein schmales Bett außerordentlich an Breite verloren und wurde dadurch stark gefaltet. — Die um vieles jüngere Schichte, welche ungefähr in der halben Höhe des genannten Querprofiles liegt, hat erst etwa die Hälfte des obenerwähnten Weges zurückgelegt. Ihr Verlust an Breite und das Maß ihrer Faltung ist demnach auch nur halb so groß wie in der untersten Schichte. — Endlich in der obersten, allerjüngsten Schichte, die noch gar keine nennenswerte Ortsveränderung ausgeführt hat, ist noch gar keine Faltung vor sich gegangen. Diese einfache Betrachtung überzeugt uns, daß im Querprofil an der Firnlinie unter der obersten, nicht gefalteten Schichte, gefaltete Schichten liegen, und daß der Faltungsgrad in vertikaler Richtung abwärts, von einer Schichte zur anderen immer stärker wird. Wenn die Verschmälerung des Firnbeckens bis zur Firnlinie sehr bedeutend ist, so sind die untersten Schichten im Querprofil an der Firnlinie außerordentlich stark gefaltet, ja vielleicht sogar schon geblättert, obwohl die obersten sichtbaren Schichten nicht eine Spur von Faltung verraten. — Außer dem Gesagten läßt auch der Umstand, daß mit dem Abstand unter der Eisoberfläche der Vertikaldruck und damit die Plastizität des Eises größer wird, darauf schließen, daß die Faltung der Schichten gegen den Untergrund zu stärker ist, und daß dort die Falten

zahlreicher, wenn auch kleiner sind. Es dürfte dort insbesondere die beobachtete sekundäre Faltung gut ausgebildet sein. Da schließlich die Falten in Blätter ausgewalzt werden, so folgt weiters, daß in der Nähe des Untergrundes die Blätter am feinsten und kleinsten sind. Die Richtigkeit dieser Ansicht wird durch die Beobachtung bestätigt; denn die Feinheit der Blätterung auf der Oberfläche des Gletschers nimmt tatsächlich gegen das Gletscherende zu, also in derselben Richtung in der immer tieferliegende Eispartien durch die Abschmelzung zum Vorschein kommen.

Auch die rasche Umwandlung der ungefalteten Schichtung in Blätterung, die wir auf der nur ungefähr $\frac{1}{2}$ km langen Strecke vom Treppenbruch bis zur Oberkante der türkischen Zeltstadt wahrgenommen haben, ist lange nicht ausschließlich auf die Zunahme des seitlichen Druckes in dieser Strecke, sondern in hohem Maße darauf zurückzuführen, daß in dieser schon im Abschmelzgebiete liegenden Strecke talabwärts immer tieferliegende und schon im Firnfeld gefaltete Schichten an die Oberfläche treten.

Neben den bereits besprochenen Strukturen nimmt die Spaltenstruktur eine bedeutende Stellung ein. Spalten reißen auf und schließen sich wieder. Sie hinterlassen aber auch dann, wenn sie nicht mit Wassereis ausgefüllt werden, unverwischbare Narben. Die Fläche, nach welcher sich die Wände einer Spalte wieder zusammengeschlossen haben, streicht als scharfgezogene Linie an der Gletscheroberfläche aus. Solche Narben sind auf manchen Gletschern derart gehäuft, daß sie der Oberfläche ein besonderes Aussehen verleihen. Im folgenden spreche ich nur von jener Struktur, die durch Querspalten erzeugt wird. Als Beispiel wähle ich wieder den Obersulzbachgletscher.

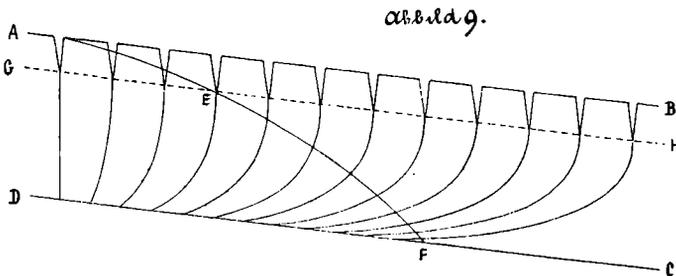
Im „Trichter“ dieses Gletschers nimmt die Geschwindigkeit des Eises bei Annäherung an die große Talstufe, welche die Bildung der türkischen Zeltstadt verursacht, rasch zu. Darum reißen Spalten auf, die, nur an einzelnen Stellen unterbrochen, sich in wohlgeformten, gletscheraufwärts gerichteten Bögen quer über den ganzen Trichter erstrecken. Mit dem Eise rücken die Spalten talabwärts, und neue Klüfte öffnen sich hinter ihnen. — Da die Geschwindigkeit des Eisstromes von beiden Ufern gegen die Mitte zunimmt, wird der Verlauf der wandernden Spalten immer ge-

streckter und gestreckter. Es werden sonach schon in der Zeltstadt aus den gletscheraufwärts gekrümmten Spalten, gerade verlaufende, und in weiterer Folge sehen wir unterhalb der Zeltstadt auf dem mehr ebenen Teil der Zunge, wo nur mehr die Spaltennarben vorhanden sind, diese in gletscherabwärts gerichteten Bögen quer über den Gletscher ausstreichen. Diese Bögen sind um so schärfer gekrümmt, je näher sie dem Zungenende liegen.

Da die Spalten weder im Trichter noch in der Zeltstadt bis auf den Grund klaffen, ist es sonderbar, daß wir zahlreiche Spaltennarben noch am Zungenende, also in den dem Untergrund unmittelbar aufliegenden Eismassen antreffen. Das erklärt sich wie folgt: das Eis des Trichters schiebt sich über die Oberkante der Talstufe freischwebend so weit vor, bis eine Spalte über die Kante kommt. In der vertikalen Verlängerung der Spalte nach abwärts, also nach dem geschwächten Querschnitt des Eisstromes wird dann die vorgeschobene mächtige Eisplatte abgeschert, und sinkt, eingezwängt zwischen dem Eise vor und hinter ihr, langsam die Talstufe hinab, während gleichzeitig die nächste Platte über die Kante vorgeschoben wird. Nach dieser Schilderung des Vorganges sind die Narben am Zungenende eigentlich keine Spaltennarben, sondern Scherungsflächen. Weil aber diese die unmittelbaren Fortsetzungen der Spalten sind, fasse ich alle durch Spalten und Scherungsflächen entstandenen Strukturen unter dem Namen „Spaltenstruktur“ zusammen.

So tief ich in offene Spalten schauen konnte, überall sah ich die Spaltenwände in nahezu vertikaler Stellung. Hingegen beobachtete ich regelmäßig, daß die Scherungsflächen an der Gletscheroberfläche um so flacher geneigt ausstreichen, je näher sie dem Zungenende liegen. Ferner habe ich an günstig aufgeschlossenen Stellen gesehen, daß diese Flächen außer der Krümmung im horizontalen Sinne, die wir schon wahrgenommen haben wo die Narben an der Gletscheroberfläche ausstreichen, auch eine Krümmung im Vertikalschnitte besitzen. Das Abbild 9 macht das anschaulich. In demselben versinnlicht das Parallelogramm ABCD den Längsschnitt nach der Achse einer Gletscherzunge, unter der Annahme, daß an der Gletscheroberfläche keine Abschmelzung stattfindet, während die krumme Linie AEF die durch die Abschmelzung bedingte Gletscheroberfläche vorstellt. Durch

die keilförmigen Ausschnitte zwischen den Geraden AB und GH ist eine klaffende Spalte während ihrer Wanderung an verschiedenen Stellen des Eisstromes angedeutet. Die gebogenen Linien darunter stellen die dazugehörige Abscherungsfläche vor.



Vertikaler Längsschnitt durch eine Gletscherzunge unter der Voraussetzung, daß dieselbe der Abschmelzung nicht unterliegt. Zwischen AB und GH unverändert bleibende Spalten. Zwischen GH und CD zunehmende Deformierung der Scherungsflächen. AEF ist die Ablationsfläche.

Die dauernde Vertikalstellung der Spaltenwände beweist, daß im vertikalen Längsschnitt der obersten Eispartien keine relativen Verschiebungen stattfinden, sondern daß dieser Teil des Eiskörpers sozusagen nur passiv schwimmend als Ganzes weiter getragen wird. Die talabwärts zunehmende Neigung der ursprünglich vertikalen Scherungsflächen im Eise darunter, läßt hingegen in diesem Eisteile auf eine Zunahme der Geschwindigkeit des Eises mit der Entfernung vom Boden schließen. Doch folgt aus der steileren Stellung der oberen Partie einer jeden Scherungsfläche, daß sich diese Geschwindigkeitszunahme mit der Entfernung vom Boden verringert, bis sie endlich in der Höhe der Linie GH gleich Null wird.

Infolge ihrer doppelten Krümmung haben auch die Scherungsflächen und zwar besonders im Zungenende die Gestalt des Vorderteiles eines Eßlöffels, wie die Blätterstruktur im Ende eines Gletschers, das auf breiter Talsohle liegt. Das gab Veranlassung, daß in früherer Zeit manchmal beide Strukturen als übereinstimmend erachtet worden sind, und daß man die am Fuße von Gletscherbrüchen quer über die Zunge verlaufende Spaltenstruktur für eine dort neuentstandene Blätterstruktur gehalten hat.

In Gletscherenden, die in Schluchten liegen, wird die fächerförmige Blätterstruktur von der löffelförmigen Spaltenstruktur geschnitten. Darum sind in solchen Gletscherenden die beiden Strukturen leicht auseinander zu halten, außer an den seitlichen Rändern, wo die Schnittwinkel beider Strukturen recht klein sind.

Zum Schlusse sei die vielumstrittene Frage der Gletscherbewegung gestreift. Hinsichtlich der Bewegungsart des Eises sind zunächst nur zwei Fälle denkbar: Entweder bewegt sich die ganze Eismasse als starrer Klotz, der auf seiner Unterlage einfach gleitet, oder es finden innerhalb der Eismasse Verschiebungen zwischen Teilen des Eises statt, deren Resultierende die Gletscherbewegung ist. Ersteres kann nicht zutreffen. Dagegen reden die im Eise wahrgenommenen Geschwindigkeitsunterschiede eine deutliche Sprache. Die Eisbewegung ist demnach zweifellos das Ergebnis von Verschiebungen innerhalb des Eiskörpers. Da ist aber wieder zweierlei denkbar. Entweder verschiebt sich jedes einzelne Eismolekül an seinen Nachbarn, ähnlich wie es die Moleküle des fließenden Wassers tun, oder es verhalten sich Gruppen von Molekülen mehr oder weniger als starre Einheiten, die sich als Ganzes aneinander verschieben.

Würde die Bewegung von Molekül zu Molekül vor sich gehen, würde also jedem einzelnen Molekül eine von seinem Nachbarn verschiedene Geschwindigkeit und vielleicht auch verschiedene Bewegungsrichtung zukommen, dann würden die Moleküle, welche einen Eiskristall zusammensetzen, alsbald voneinander getrennt werden. Mit anderen Worten: durch solche Bewegungsart müßte die kristalline Struktur des Eises schon nach Zurücklegung eines kurzen Weges vollständig verloren gehen. Die Kristallstruktur bleibt aber in allen Gletschern bis an deren Ende erhalten.

Bestände hingegen die Bewegung in der gegenseitigen Verschiebung der einzelnen Kristalle, so würden zwar diese weiter bestehen, aber sie würden ohne Rücksicht auf die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Schichte miteinander vermengt werden. Es müßte sonach durch solche Bewegungsart jede Spur von Schichtung verschwinden. Die Schichtung geht jedoch, wie wir gesehen haben, im Gletscher trotz der Bewegung lange nicht verloren. Im Gletscherende gibt es zwar nicht mehr durchlaufende Schichten,

aber noch wohlerhaltene Teile der Schichten, die Blätter. Das macht sehr wahrscheinlich, daß sich das Gletschereis bewegt, indem seine Schichten und die daraus durch Faltung und Auswalzung hervorgegangenen Blätter nach den Schicht- bzw. Blattflächen aneinander vorbeigleiten. Die Gewißheit hierfür erhalten wir durch die beobachtete Tatsache, daß sich die Schicht- und Blattflächen immer und überall in die Bewegungsrichtung stellen, und daß besonders die Blattflächen wie abgeschliffen aussehen.

Verschiebungen längs den Schicht- und Blattflächen setzen zwar keine vollkommene Lösung, doch unbedingt eine Lockerung im Zusammenhange des Eises an diesen Flächen voraus. Wie diese Lockerung zustande kommt, das will ich im folgenden klar machen.

Betrachten wir vorerst die Temperaturverhältnisse im Boden eines Hochgebirgskares unter der Voraussetzung, weder Schnee noch Eis bedecke den Fels. Im Felsen machen sich dann bis zu einem bestimmten Abstände unter seiner Oberfläche, bis zur sogen. invariablen Schichte, jährliche Temperaturschwankungen geltend. An der invariablen Schichte selbst herrscht eine konstante Temperatur, die entsprechend der niedrigen mittleren Lufttemperatur des Ortes unter 0° ist. Unterhalb der invariablen Schichte nimmt die Felstemperatur nach abwärts langsam aber stetig zu und erreicht schließlich hohe Grade. Alle Punkte des Gesteins, welche gleiche Temperatur haben, liegen in einer zur Gesteinsoberfläche annähernd parallel verlaufenden Geothermenfläche.

Nun falle Schnee und es bleibe im Kare alljährlich ein Rest des Winterschnees liegen. Es häuft sich dann eine zum Karboden parallel geschichtete Schnee- bzw. Eismasse an, welche die Temperaturverteilung im Felsboden darunter notwendigerweise beeinflusst. Der Kürze wegen bezeichnen wir die Eisschichten in der Reihenfolge ihres Entstehens, also von unten nach oben als erste, zweite Schichte u. s. w. Ferner machen wir die Annahme, es wachse alljährlich nur eine einzige Eisschichte zu, und alle Eisschichten haben genau dieselbe Beschaffenheit, also auch dieselbe Dicke.

Schon die erste Eisschichte, die die ganze warme Jahreszeit überdauert, verursacht eine Verschiebung der invariablen Schichte.

Denn die Eisschichte verhindert von nun an das Eindringen von Temperaturen über 0° in den Boden. Die Amplitude der jährlichen Temperaturschwankungen im Felsboden ist also kleiner wie bisher, und die invariable Schichte rückt sonach der Felsoberfläche näher. Auch die Temperatur der invariablen Schichte erleidet eine Änderung, doch bleibt sie unter 0° , weil sich die Temperaturschwankungen in der Eisschichte zwischen 0° und einem negativen Minimum vollziehen. Entsprechend den Veränderungen, die die invariable Schichte betreffen, findet auch eine Verschiebung der Isothermenflächen statt.

Sobald eine zweite Eisschichte auf der ersten liegt, vollziehen sich die maximalen Temperaturschwankungen in dieser zweiten Schichte, und in der ersten Schichte ist die Amplitude kleiner wie früher. Aus dem letzteren Grunde rückt die invariable Schichte im Fels noch weiter in die Höhe und nähert sich der Felsoberfläche noch mehr. Das wird fortgesetzt, so oft im Firnfeld eine neue Schichte zuwächst. Die invariable Schichte muß somit einmal mit der Felsoberfläche zusammenfallen und dann in den Eiskörper übertreten, in welchem sie Jahr für Jahr, ebenso wie die Oberfläche des Firnfeldes, um die Dicke einer Schichte in die Höhe steigt.

Der invariablen Schichte folgen die Geoisothermenflächen auf dem Fuße nach. Unterhalb der im Eise aufwärtsrückenden invariablen Schichte erhöht sich somit alljährlich die Temperatur einer jeden Eisschichte um einen kleinen Betrag, jedoch so, daß in der Gesamtheit dieser Schichten das Temperaturgefälle nach oben stets bestehen bleibt. Die unterste, erste Eisschichte ist folglich immerwährend die relativ wärmste. Bei fortgesetztem Firnzuwachs erreicht sie endlich die Schmelztemperatur, die wegen des Druckes, den diese Schichte durch das überlagernde Eis erfährt, negativ ist. Infolge des Zuwachses der nächsten Firnlage erhöht sich nunmehr die Temperatur der zweiten Eisschichte auf jenen Schmelzpunkt, der eben zuvor der ersten Schichte zukam. In der ersten Schichte aber sinkt die Temperatur; denn durch den erhöhten Druck wird der Schmelzpunkt dieser Schichte herabgedrückt. Die hierdurch frei werdende Wärme wird zur Erweichung des Eises, welche der Schmelzung vorangeht, verbraucht. — Ein abermaliger Firnzuwachs verursacht folgendes: Er bringt die dritte Schichte über dem Boden auf jene Schmelztemperatur,

welche eben zuvor der zweiten Schichte zukam; er erniedrigt die Schmelztemperatur der zweiten Schichte in gleicher Weise, wie dies eben vorher mit der ersten Schichte geschah; er leitet also nun auch die Erweichung der zweiten Eisschichte ein; endlich drückt der Firnzuwachs den Schmelzpunkt, also die Temperatur der ersten Schichte noch tiefer herab, wodurch der in dieser Schichte bereits begonnene Erweichungszustand noch weiter getrieben wird. So geht das fort. Durch die fortgesetzte Anhäufung von Schnee- und Eismassen, bzw. durch die hierdurch bedingte Drucksteigerung werden also die untersten schon etwas erweichten Schichten noch mehr erweicht, während nach oben hin immer neue Schichten in die „Erweichungszone“ einbezogen werden. Es ist bemerkenswert, daß in der Erweichungszone das Temperaturgefälle vertikal nach abwärts gerichtet ist, während es oberhalb dieser Zone bis zur invariablen Schichte hinauf ständig nach oben gerichtet ist. Im Eise oberhalb der invariablen Schichte ist das Temperaturgefälle je nach der Jahreszeit bald nach oben, bald nach unten gekehrt.

In der Erweichungszone besitzt das Eis an allen Punkten die dem herrschenden Drucke entsprechende Schmelztemperatur. Das wurde durch Temperaturmessungen in tiefen Bohrlöchern bestätigt. Daß hingegen die Temperatur des Eises über der Erweichungszone unter dem Schmelzungspunkt liegt, folgt zuverlässig aus der Tatsache, daß wassererfüllte Spalten von den Spaltwänden aus zufrieren. Nur in einer verhältnismäßig dünnen, oberflächlichen Eislage steigt die Temperatur während des Sommers auf den Schmelzpunkt. Hierauf wird im folgenden keine Rücksicht genommen.

Da die Erweichung des Eises an die Schmelztemperatur gebunden ist, bildet das Eis oberhalb der Erweichungszone eine einheitliche, mehr oder weniger starre Masse. In der Erweichungszone hingegen verhält sich das Eis plastisch; es ermöglicht daher in seinem Innern Verschiebungen, d. h. die Bewegung des Eises unter dem Einfluß der Schwerkraft.

Aus der Erhaltung der Kristallstruktur bis an das Ende der Gletscher schlossen wir schon früher, die Bewegung des Gletschereises könne unmöglich in der Verschiebung von Molekül zu Molekül bestehen. Aus demselben Grunde müssen wir nun weiters schließen, daß in der Erweichungszone der Zusammen-

hang der Moleküle innerhalb eines jeden Kristalles entweder gar nicht, oder was wahrscheinlicher ist, doch nur in einem viel geringeren Grade gelockert wird, wie an den Kristallgrenzen. Dafür spricht auch der Umstand sehr gewichtig, daß ein Eisblock, der langsam taut, ohne weiteres Hinzutun nach und nach in seine einzelnen Kristalle zerfällt, und daß sein noch gesunder Kern, trotz des homogenen Aussehens, beim Zerschlagen nicht mehr wie bei niedrigerer Temperatur muschelrig, sondern nach den Kristallgrenzen zerbricht. Offenbar lockert in diesen Fällen die von außen in das Eis eingedrungene Wärme den Zusammenhang des Eises längs den Kristallgrenzen in höherem Maße, wie innerhalb der Kristalle. Nichts spricht dagegen, dieselbe Wirkungsweise jener Wärme zuzuschreiben, welche in der Erweichungszone der geschichteten Eismasse im Firnfeld durch die Steigerung des Vertikaldruckes frei wird.

Im Gletschereise können trotz solcher Lockerung des Zusammenhanges der Kristalle keine namhaften Verschiebungen von Korn zu Korn stattfinden. Denn die Körner sind oft gelenkartig ineinander gewachsen und die Korngrenzen verlaufen im Eise überhaupt ganz regellos. Nur längs den Schichtflächen, wo die gelockerten Korngrenzen mehr oder weniger ebene und durchlaufende Flächen zusammensetzen, sind weitgehende Verschiebungen möglich. Die Schichten gleiten also unter der Einwirkung der Schwerkraft in der Richtung des Schichtfallens, also talabwärts übereinander hinweg, und damit beginnt die Bewegung des Gletschereises.

Die relative Geschwindigkeit mit der sich eine Schichte auf jener unter ihr vorschiebt, ist um so größer, je stärker die Schichten geneigt sind und je größer der Lockerungsgrad des Eises an der gemeinsamen Schichtfläche ist. Da nun die Schichten parallel übereinander lagern, also gleich geneigt sind, und der Lockerungsgrad des Eises in vertikaler Richtung aufwärts von Schichtfläche zu Schichtfläche abnimmt, so verringert sich die relative Geschwindigkeit der Schichten mit größer werdendem Abstände vom Untergrunde. An der oberen Grenze der Erweichungszone ist die relative Geschwindigkeit der Schichten, ebenso wie in der ganzen darüber befindlichen Eismasse gleich null, das heißt, im Eise über der Erweichungszone verschieben sich die Schichten gegenseitig nicht.

Die unterste, am Boden befindliche erste Schichte überträgt ihre Geschwindigkeit auf die zweite Schichte darüber, die sich außerdem mit der ihr eigenen relativen Geschwindigkeit auf der ersten Schichte vorschiebt. Die Gesamtgeschwindigkeit, das ist die absolute Geschwindigkeit der zweiten Schichte, ist folglich um ihre relative Geschwindigkeit größer, wie jene der ersten Schichte. Indem nun die zweite Schichte ihre absolute Geschwindigkeit auf die dritte überträgt, und dazu noch die relative Geschwindigkeit der dritten Schichte kommt, u. s. w., nimmt die absolute Geschwindigkeit des Gletschereises vom Boden aufwärts, von einer Schichte zur anderen um die relative Geschwindigkeit der betreffenden Schichte zu. Die absolute Geschwindigkeit steigert sich folglich in abnehmendem Maße bis zur Oberseite der Erweichungszone. Von da aufwärts bis zur Oberfläche des Firnfeldes hat die Eismasse in ihrer ganzen Mächtigkeit die gleiche absolute Geschwindigkeit. Zu Schlüssen, die damit vollkommen übereinstimmen, kamen wir bereits früher, als wir von der Deformierung der Scherungsklüfte und der dauernden Vertikalstellung der Spaltenwände sprachen.

Die gegenseitige Verschiebung der Schichten erzeugt Reibungswärme. Diese wird zur verstärkten Gefügelockerung verbraucht wodurch die Bewegung des Eises noch weiter gefördert wird. Das gibt eine Erklärung dafür, daß die Geschwindigkeit des Eises mit der Entfernung vom oberen Firnrande, also mit der Dauer der Bewegung größer wird. Freilich spielt in dieser Beziehung auch die gleichzeitig zunehmende Mächtigkeit des Eises eine bedeutsame Rolle mit.

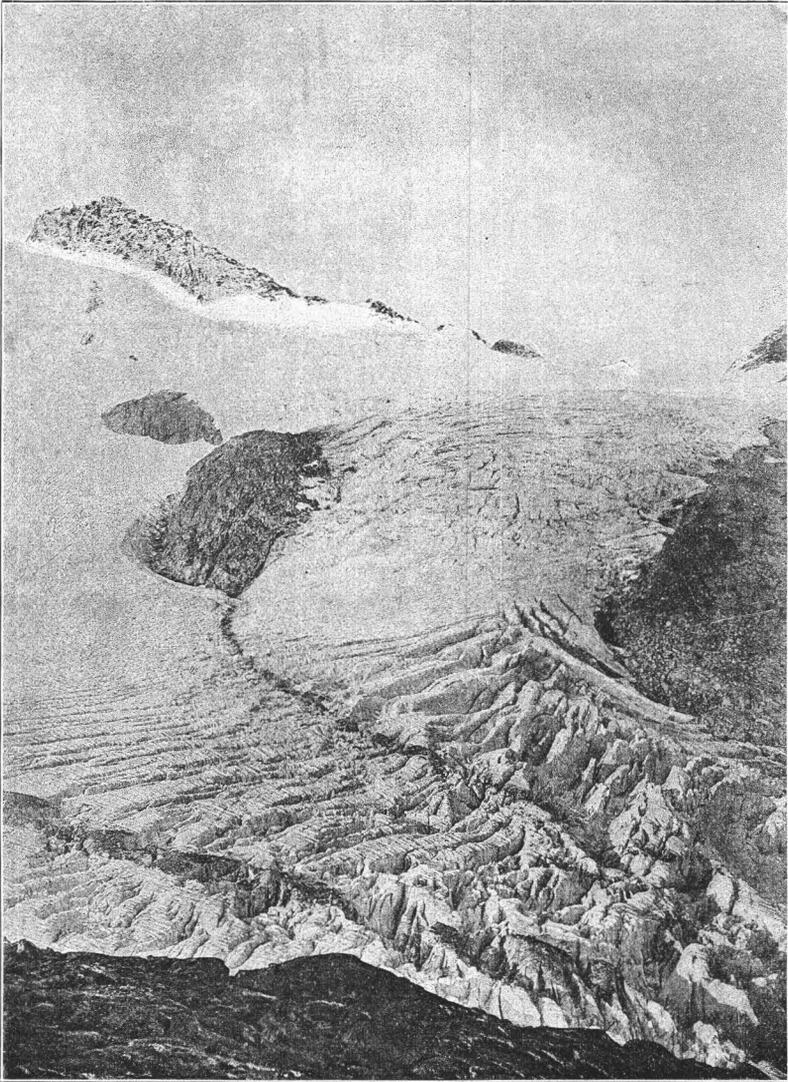
Im Firnfeld kommen die sich zu Tal bewegendenden Eisschichten an immer enger werdende Stellen des Gletscherbettes und erleiden dadurch einen von beiden Ufern her wirkenden, zur Bewegungsrichtung senkrechten Druck. Sie geben dem Drucke allmählich nach und werden in Falten zusammengeschoben, die senkrecht zur Druckrichtung, das ist in der Bewegungsrichtung streichen. Die Faltung verhindert somit das Übereinandergleiten der Schichten nicht. Durch den zunehmenden Druck werden schließlich die Schichtfalten zu Blättern ausgequetscht, die ebenfalls in der Bewegungsrichtung stehen. Die Bewegung des Eises ist nun ein Über- und Nebeneinanderhinweggleiten der Blätter.

Ungleiche Geschwindigkeiten an verschiedenen Stellen ein und derselben Schichte oder ein und desselben Blattes werden in den oberen starren Partien durch das Aufreißen von Spalten, in den unteren plastischen Teilen aber durch kleine Verschiebungen der Körner ausgeglichen.

In sehr mächtigen Gletschern mag das Eis in der Nähe des Untergrundes einem so hohen Druck ausgesetzt sein, daß dort an den Korngrenzen nicht nur Erweichung, sondern sogar Druckschmelzung stattfindet. In solchem Falle dürfte das verflüssigte Wasser längs den Korngrenzen gegen Stellen niedrigen Druckes gepreßt werden, wo es wieder gefriert. Die Eisbewegung bestünde also dann, freilich in nur sehr untergeordneter Weise, auch in Verschiebungen von Molekül zu Molekül.

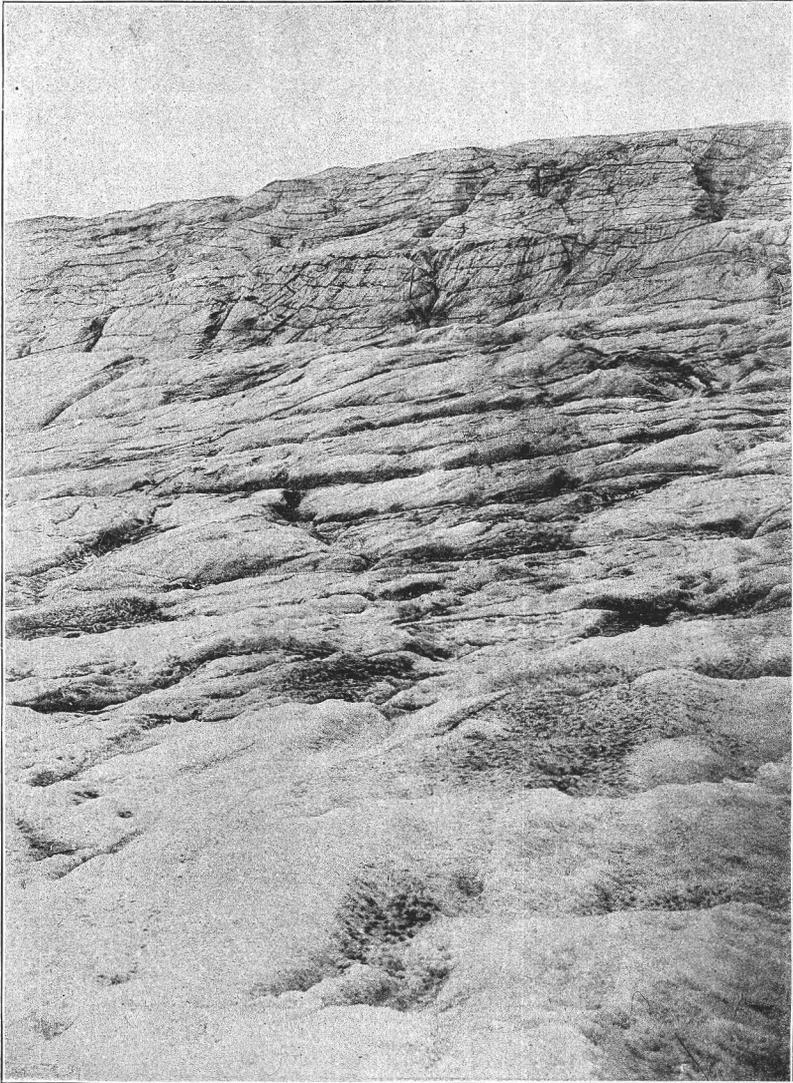
Endlich scheint im Gletscherende, wo die Scherungsflächen zur allgemeinen Bewegungsrichtung nahezu parallel gestellt sind, auch diese Struktur die Bewegung einigermaßen zu regeln, indem Verschiebungen längs den Scherungsflächen vor sich gehen.

Zwischen Struktur und Bewegung des Gletschereises besteht sonach ein inniger Zusammenhang. Nur unter eingehendster Berücksichtigung dieser Wechselbeziehung können wir die Struktur und die Bewegung der Gletscher richtig erfassen.



Obersulzbachgletscher. Westlicher Teil des Firnfeldes und Zungenwurzel
mit der Türkischen Zeltstadt.

Aufgenommen von H. Crammer am 13. VIII. 1908.



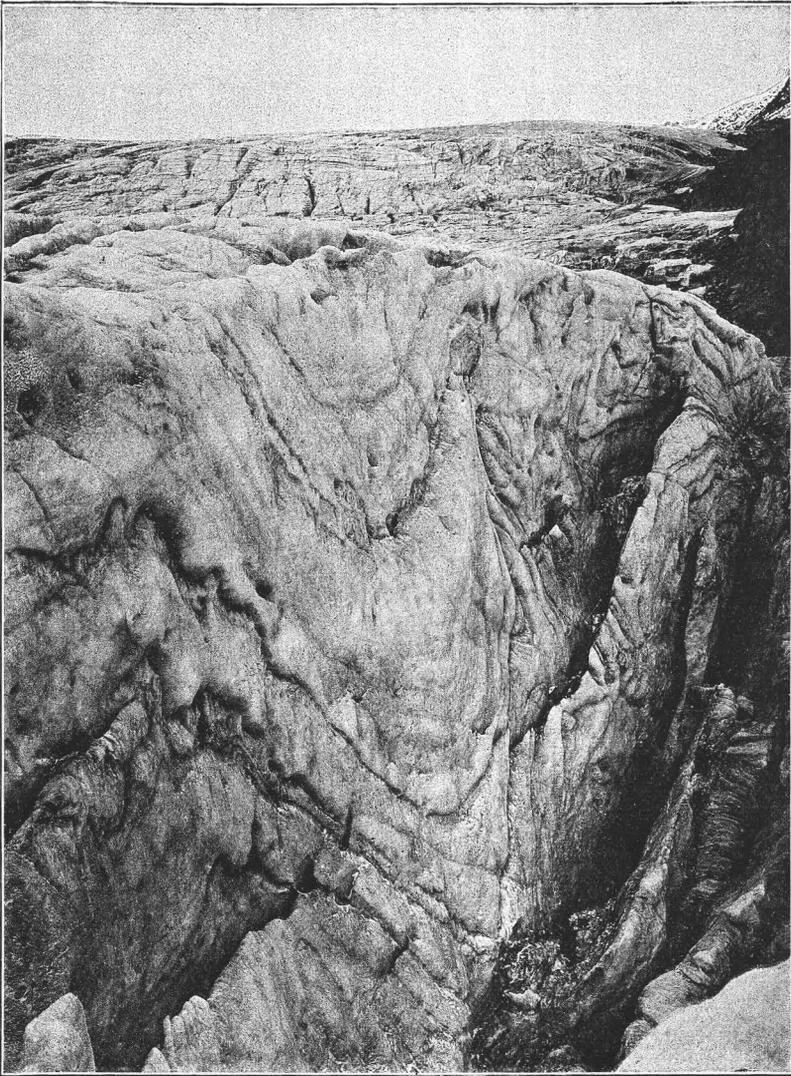
Obersulzbachgletscher. Im Hintergrund die beiden untersten Stufen des Treppenbruches. An den vertikalen Stufenwänden streicht eine flache Schichtmulde aus. Die Schichtung wird von zahlreichen „Wassereisblättern“ durchschnitten, die durch das Gefrieren von Wasser entstanden sind, das sich in engen Spalten sammelte. Längs den Wassereisblättern ist die Schichtung häufig etwas verworfen. Im Vordergrund ist die spaltenfreie Fläche des „Trichters“.

Aufgenommen von H. Crammer am 13. VIII. 1908.



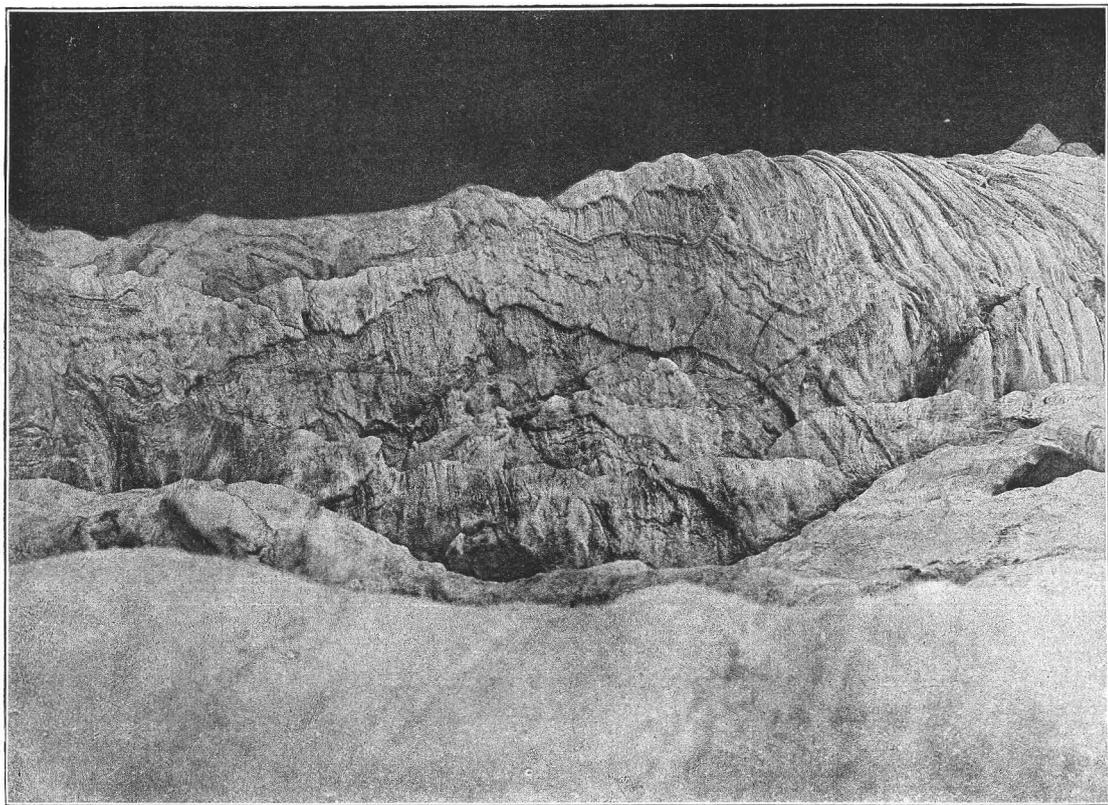
Obersulzbachgletscher. Im Vordergrund verläuft eine der ersten Querspalten des Trichters, an deren bergseitiger Wand hinter dem Eispickel eine schon ziemlich stark gekrümmte Mulde ausstreicht. Im Hintergrund verschwindet im Nebel der Treppenbruch. Man beachte die sekundäre Fältelung.

Aufgenommen von H. Crammer am 13. VIII. 1908.

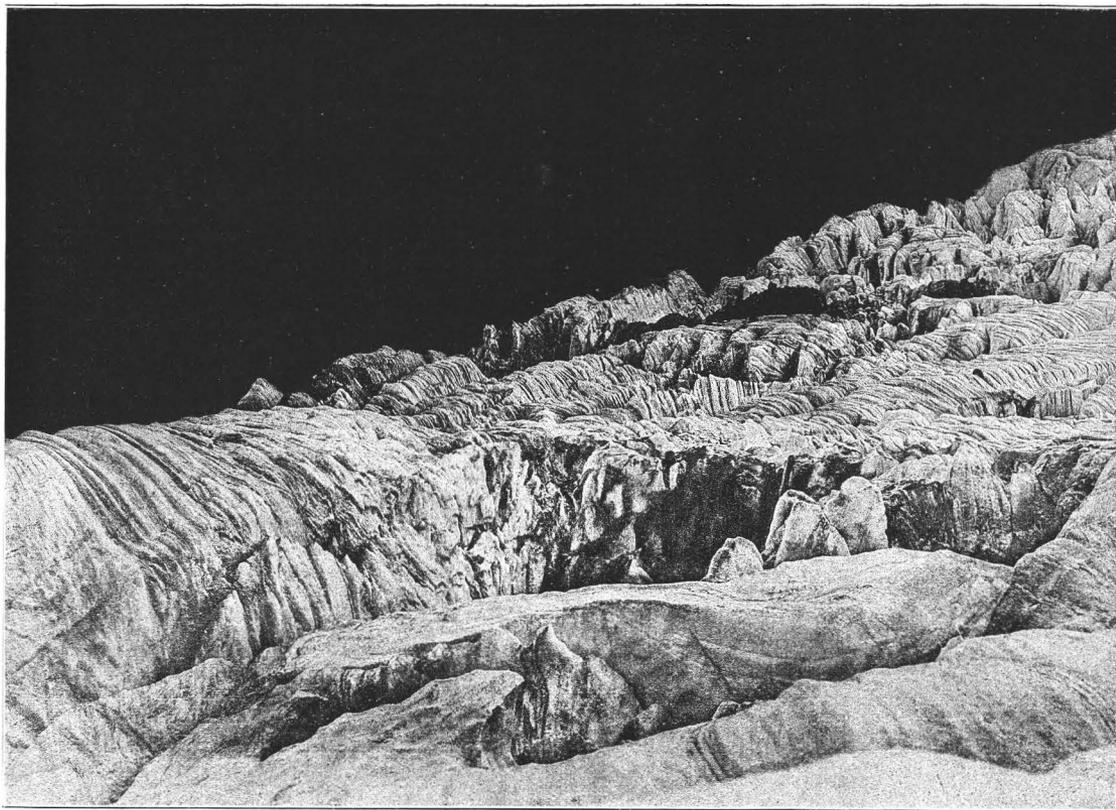


Obersulzbachgletscher. Stark gefaltete Eisschichten mit sekundärer Fältelung. Die vorliegende Spaltenwand befindet sich nur ein kleines Stück unterhalb jener, die in Tafel 14 abgebildet ist. Im Hintergrunde ist der Treppenschub mit seiner erst ganz wenig verbogenen Firnschichtung sichtbar.

Aufgenommen von H. Crammer am 13. VIII. 1908.



Obersulzbachgletscher. Spaltenwand an der Oberkante der türkischen Zeltstadt. Aufgenommen von derselben Stelle wie das Bild auf Tafel 15, jedoch gletscherabwärts. Im mittleren Teil des Bildes ein breiter Sattel mit sekundärer Fältelung. Rechts davon eine steilgestellte Mulde. Noch weiter rechts steil aufgerichtete Faltenschenkel. Aufgenommen von H. Crammer am 13. VIII. 1908.

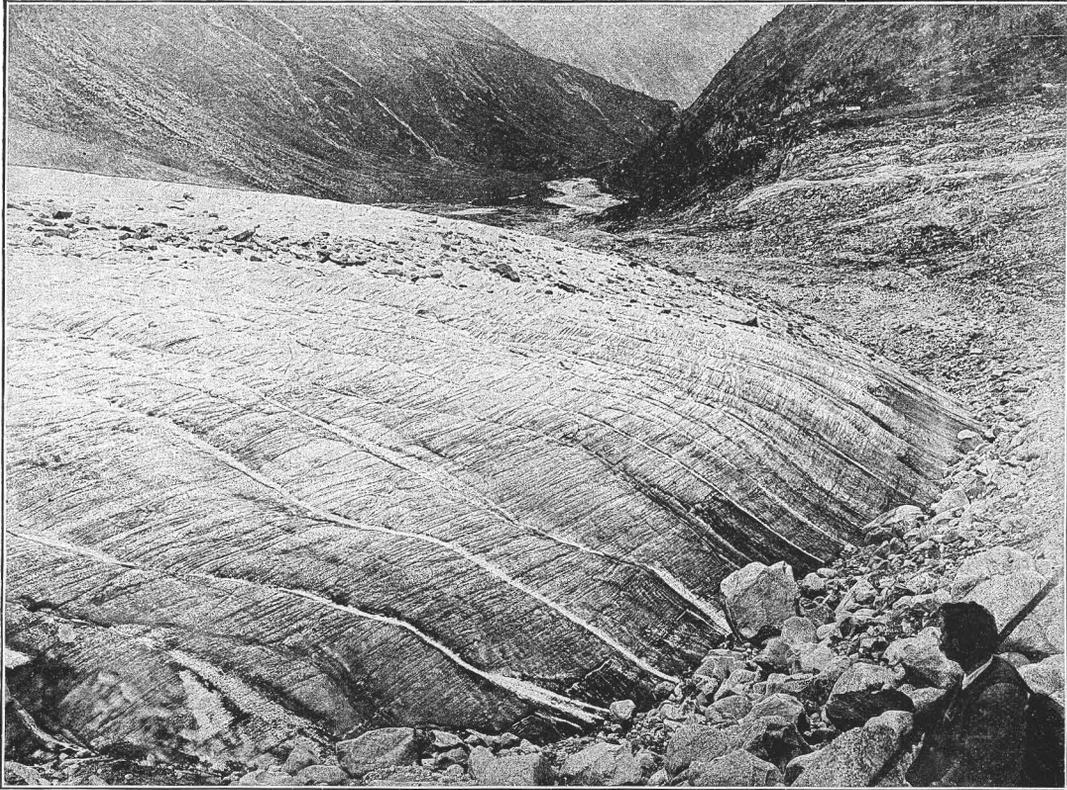


Obersulzbachgletscher. Dieses Bild übergreift das auf Tafel 16 auf dessen rechter Seite. Links ist dieselbe steile Mulde wie auf Tafel 16 zu sehen. Rechts davon steilgestellte Faltschenkel und nur mehr Spuren von Wölbungen. Noch weiter rechts ausschließlich Blätterung, die an den Spaltenwänden vertikal und auf der Gletscheroberfläche in der Bewegungsrichtung ausstreicht. Aufg. von H. Crammer am 13. VIII. 1908.



Obersulzbachgletscher. Wohlgeordnete Blätterung am Fuße der türkischen Zeltstadt.

Aufgenommen von H. Crammer am 12. VIII. 1908.



Hornkees im Zillertale. Verlauf der Blätterung auf der Oberfläche des Gletscherendes, das sich auf breitem Talboden ausbreitet. Man beachte die feinen Linien, welche die Blätterung unter spitzen Winkeln schneiden. Diese Linien sind das Ausgehende von Scherungsflächen. Die weißen Streifen, welche die Blätterung unter größeren Winkeln schneiden, sind Schmelzwasserfurchen die Reste von Neuschnee enthalten. Aufgenommen von H. Crammer am 17. VIII. 1908.