

---

**Sonder-Abdruck**  
aus der  
**Zeitschrift für Gletscherkunde**  
für Eiszeitforschung und Geschichte des Klimas

herausgegeben von  
**Professor Dr. Ed. Brückner in Wien**

---

BERLIN  
VERLAG VON GEBRÜDER BORNTRAEGER  
SW 11 GROSSBEERENSTRASSE 9

## Zur Entstehung der Blätterstruktur der Gletscher aus der Firnschichtung.

Von Hans Crammer in Salzburg.

Auf dem der Venedigergruppe angehörenden Obersulzbachgletscher habe ich Ende August 1907 Beobachtungen angestellt, deren Mitteilung mir geeignet erscheint, der jüngsten Anschauung über die Entstehung der Blätterstruktur aus der Schichtung neue Anhänger zu gewinnen.

Das ungefähr 8,5 km breite Firnbecken des Obersulzbachgletschers wird im Süden vom Hauptkamm der Hohen Tauern begrenzt. Senkrecht zu diesem Kamme zweigen Felsrippen ab, die zwar alsbald unter Eis und Schnee verschwinden, deren weiterer Verlauf aber dennoch durch die Gestaltung der Firnoberfläche über ihnen erkennbar bleibt. Sie unterteilen das gesamte Firnfeld in fünf Teilbecken, deren Längsachsen radial gegen die Zungenwurzel zusammenlaufen. Die Achsen der beiden äußersten Becken sind einander gerade entgegengesetzt gerichtet. Das ganze Firnfeld umspannt demnach einen Fächer von  $180^{\circ}$ . Die Abflüsse der hochliegenden Teilbecken steigen, seitlich miteinander zusammenhängend, zumeist in Staffelbrüchen in einen tiefen, weiten Kessel herab, in welchem sie sich zur Zungenwurzel vereinigen. Die Eismassen, die den einzelnen Teilbecken entstammen, nenne ich im Gegensatze zum Gesamtstrom Teilströme. Sie sind in der Zungenwurzel und in der Zunge durch Innenmoränen gegeneinander scharf abgegrenzt. Die Oberfläche der Zungenwurzel bildet einen ausgedehnten,

wenig geneigten ebenen Boden, der sich trichterförmig sehr rasch auf eine Breite von weniger als 1 km verengt. Eine Talstufe veranlaßt in der Trichterspitze die Bildung eines schönen Gletscherbruches, der „Türkische Zeltstadt“ heißt. Dieser Bruch setzt sich eine Strecke weit in die eigentliche Gletscherzunge hinein fort. Unterhalb des Sturzes nimmt die Oberfläche der Zunge wieder ein sanfteres, gleichbleibendes Gefälle an. Eine Verschmälerung der Zunge durch gegenseitige Annäherung der beiden Talgehänge findet nirgends statt.

Die talwärts geringer werdende Breite eines jeden Teilbeckens, die fächerförmige Anordnung dieser Becken, durch welche alles aus ihnen kommende Eis gegen einen Punkt gedrängt wird, endlich die Trichterform des Felsbettes, in dem die Zungenwurzel liegt, alles das bewirkt in hohem Maße, daß das talab drängende Eis auf dem ganzen Wege vom obersten Firnrande bis zum Austritt aus der Zungenwurzel sehr starken seitlichen Pressungen ausgesetzt ist. Von der außerordentlichen Größe und dem ungemein raschen Anschwellen der geweckten Druckkräfte erhält man die beste Vorstellung, wenn man von einem Übersicht bietenden Standplatz das rasche Zusammenlaufen der Mittelmoränen auf der Zungenwurzel beachtet. Man sieht so, wie viel jeder Teilstrom in der Zungenwurzel schon auf kurzem Wege durch seitliche Pressungen an Breite verliert. — Der Parallelismus der Mittelmoränen auf der Zunge verrät dagegen, daß in der Zunge keine Steigerung der seitlichen Druckkräfte stattfindet.

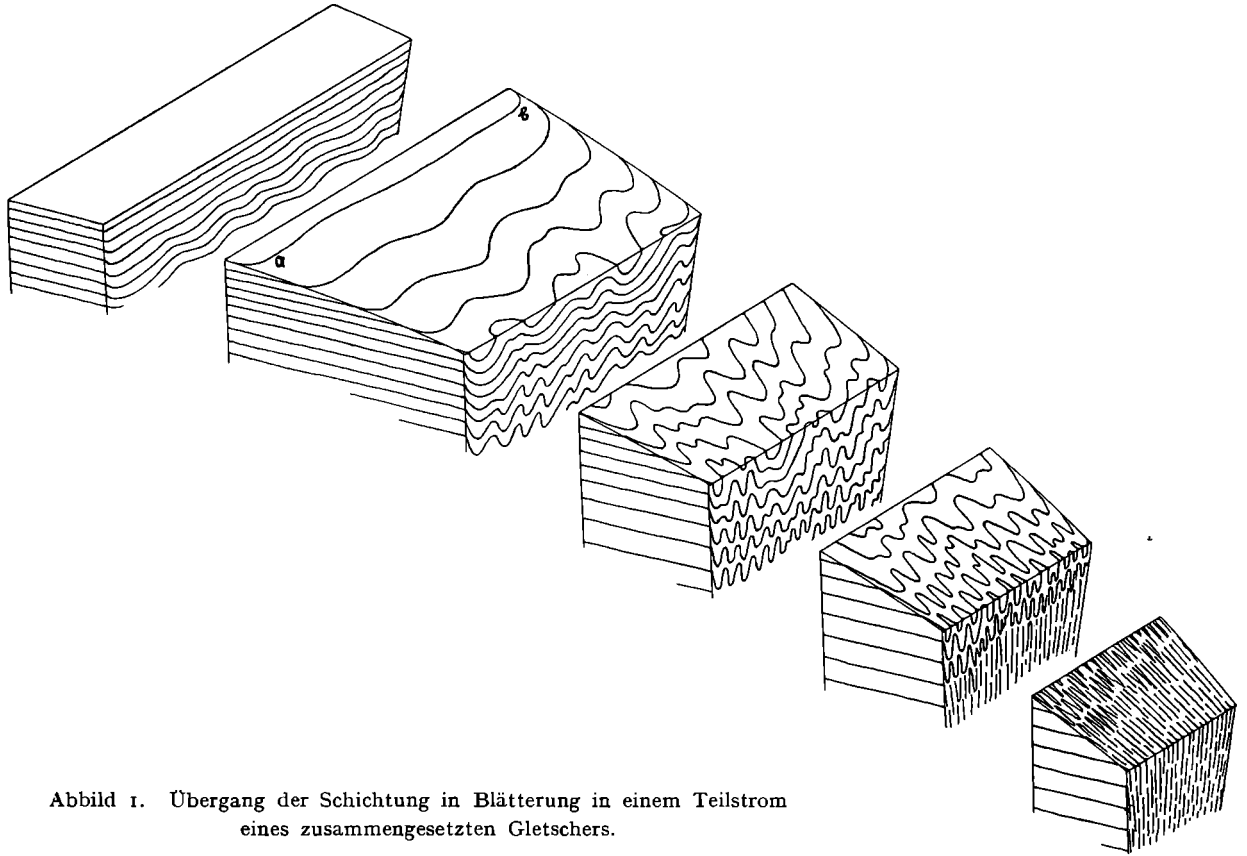
Hauptsächlich studierte ich jenen Teil des Gletschers, der dem westlichsten Teilbecken entspringt, durch das der Weg über das Krimmlertörl in das Krimmlertal hinüberführt. Nachdem ich am ersten Tage den linken Teil der Zunge und der türkischen Zeltstadt eingehend besichtigt und auf dem westlichsten Teilstrom eine Meereshöhe von 2470 m erreicht hatte, querte ich die Zungenwurzel, um zur Kürsingerhütte zu gelangen. Von diesem Unterkunfts Hause des um die Gletscherforschung hochverdienten Deutschen und Österreichischen Alpenvereines genoß ich nicht nur einen herrlich schönen, sondern auch ebenso lehrreichen Blick auf das begangene Gletschergebiet. Von hier aus konnte schon mein unbewaffnetes Auge viele Stellen mit den Eisstrukturen genau wiedererkennen, die ich erst einige Stunden vorher in unmittelbarer Nähe besichtigt hatte. Da drängte sich die Zusammenfassung meiner Einzelbeobachtungen zu einem einheitlichen Ganzen förmlich auf. — Am zweiten Tage kehrte ich zum Höhenpunkt 2470 m zurück und setzte den Aufstieg bis zum Krimmlertörl fort. Ich ging also auf dem Gletscher von unten nach oben. Diese Richtung

gewährt den Vorteil des besseren Überblicks auf das Eis und seine Strukturen. Im folgenden werde ich aber meine Beobachtungen aus entwicklungsgeschichtlichen Gründen in der Reihenfolge beschreiben, als wäre ich von oben nach unten gegangen.

Im westlichsten Teilbecken des Obersulzbachgletschers, soweit es oberhalb der Firnlinie liegt, strichen die Schnee- beziehungsweise Eisschichten nur an den Firnkluftwänden aus, und zwar nach geraden, zur Oberkante der Kluftwände parallelen Linien. Die Schichten lagen also hier ihrer Entstehungsweise gemäß zur Firnoberfläche parallel. Nahezu dieselbe Beobachtung machte ich auch noch etwas unterhalb der Firnlinie, am unteren schmalen Ende des Teilbeckens, wo sich das Eis in Staffelbrüchen zur Zungenwurzel hinabsenkt. Doch war hier stellenweise eine schwache Verbiegung der Schichten wahrzunehmen, als gäben diese einem von links und rechts her wirkenden Druck nach. Auffällig stark war die Verbiegung der Schichten schon eine kleine Strecke unterhalb des Staffelbruches. Dort waren an den Wänden von Querspalten bereits wohlausgebildete breite Faltensättel und Mulden sichtbar. Die in der Längsrichtung des Teilstromes streichenden Falten verschnitten sich mit der Gletscheroberfläche nach Bögen, die talauf- oder talabwärts gerichtet waren, je nachdem ein Sattel oder eine Mulde angeschnitten war.

Je weiter ich gletscherabwärts in der trichterförmigen Verengung der Zungenwurzel stand, in um so kleinere und zugleich stärker aufgerichtete Falten waren die Schichten des Eises um mich her von beiden Seiten zusammengeschoben. Die Bögen, nach denen sich die Falten mit der Gletscheroberfläche verschnitten, wurden darum schmaler und ihre Krümmung am Scheitel zusehends schärfer. Hingegen nahm die Krümmung der Bogenäste, die sich immer mehr in die Längsrichtung des Teilstromes stellten, ab.

Noch weiter talab, es war dies aber noch immer in der Zungenwurzel, wurden sowohl die Bogenscheitel auf der Gletscheroberfläche, als auch die Sättel und Mulden an den Spaltenwänden spitzer und spitzer, bis schließlich von Krümmungen nichts mehr zu sehen war. Von den Falten blieben bloß die aufrechtgestellten, enge aneinandergepreßten und in der Längsrichtung des Teilstromes streichenden Faltenschenkel erhalten. Das Eis bestand also hier nicht mehr aus durchlaufenden Schichten, sondern aus auskeilenden Blättern, in welche die Schichten nach und nach zerteilt worden sind. Die ursprüngliche Schichtstruktur des Eises ging somit auf dem zurückgelegten Wege



Abbild 1. Übergang der Schichtung in Blätterung in einem Teilstrom eines zusammengesetzten Gletschers.

allmählich verloren und aus ihr entwickelte sich eine andere Struktur, die Blätterstruktur oder kurzweg Blätterung<sup>1)</sup>).

Die eben geschilderten Verhältnisse glaube ich im Abbild 1 durch eine schematische Zeichnung anschaulicher zu machen, als es viele Worte zu tun vermögen. Bei der Anfertigung der Zeichnung dienten mir Skizzen, die ich an Ort und Stelle machte, und Photographien, die Herr Karl Regel aus Würzburg am Tage meiner Studien aufnahm, als Grundlage.

Das Abbild 1 versinnlicht ein Stück Teilstrom eines zusammengesetzten Gletschers. Dem westlichsten Teilstrom des Obersulzbachgletschers entsprechend können wir uns auch in der Zeichnung die linke Flanke des Stromes durch das felsige Gehänge, seine rechte Flanke aber durch die Wand einer Innenmoräne begrenzt denken. Oberhalb und auch noch ein Stück unterhalb der Firnlinie a b, wo die Innenmoränenwand noch nicht bis an die Oberfläche des Teilstromes heraufreicht, wurde ihre erweiterte Ebene zur Abgrenzung des Bildes benützt. Der Oberfläche des Teilstromes gab ich ein wachsendes Gefälle, um der talabwärts zunehmenden Erniedrigung der Eisoberfläche durch Abschmelzung Rechnung zu tragen. Endlich dachte ich mir mehrere Querstücke aus dem Teilstrom herausgeschnitten und entfernt, damit dessen Struktur außer an seiner Ober- und der einen Seitenfläche auch auf den bloßgelegten Schnittflächen der verbleibenden Eiskörper sichtbar werde.

Ganz ähnliche Zustände wie im westlichsten Teilstrom traf ich in allen andern Teilströmen dieses Gletschers. Im Gebiete der Zungenwurzel zeigten sich zwar in den verschiedenen Teilströmen graduelle Unterschiede in der Faltung, aber solche waren ja auch in jedem einzelnen Teilstrom vorhanden. Talabwärts glichen sich diese Verschiedenheiten mehr und mehr aus. Unterhalb der Zeltstadt gab es nirgends mehr Faltung, sondern ausschließlich Blätterung. Durch vielfachen Einblick in Querspalten überzeugte ich mich, so weit ich sehen konnte, von der fächerförmigen Anordnung der Blätter im Querschnitte durch den Gesamtstrom: in der Mitte der Zunge stehen die überall zur Zungenachse parallel streichenden Blätter vertikal; den Ufern näher neigen sie sich zunehmend gegen diese, um an den Ufern selbst dem Felsgrunde flach aufzuliegen. Diese Anordnung der Blätter,

---

<sup>1)</sup> Den bisher üblichen Namen „Bänderung“ gebrauche ich mit Vorsatz nicht. Denn dieser Name bezeichnet nicht das Wesen einer Struktur. Er paßt eigentlich nur auf die Zeichnung, die entsteht, wenn dünne Schichten ausstreichen.

der sich die Innenmoränen vollkommen einfügen, traf ich auf der ganzen Zunge des Obersulzbachgletschers. Meiner Beobachtung in dieser Hinsicht blieb nur die Zungenspitze entzogen, von deren Besuch mich die vorgeschrittene Tageszeit leider abhielt.

Was ich am Obersulzbachgletscher gesehen und im vorstehenden mitgeteilt habe, läßt nur folgende Deutung zu: Die ursprüngliche Firnschichtung wird gefaltet und allmählich in Blätterung übergeführt. In der Blätterung haben wir folglich keine Neubildung, sondern bloß die Umbildung einer schon früher bestandenen Struktur zu erkennen.

Die Faltung und ihr Streichen in der Längsrichtung des Eisstromes veranlaßt uns, die Ursache der Umbildung in Druckkräften zu suchen, die senkrecht zur Längsrichtung des Gletschers wirken. Das Auftreten solcher Kräfte haben wir bereits aus der zunehmenden Verengung des Gletscherbettes und der Abwärtsbewegung des Eises geschlossen. Diese ins Riesige anwachsenden Druckkräfte machen es ohne weiteres verständlich, daß die in immer engere Gletscherquerschnitte gezwängten horizontalen Schichten mehr und mehr gefaltet werden, daß sich die entstehenden Falten senkrecht zur Druckrichtung, das ist in die Längsrichtung des Eisstromes stellen, sich immer steiler und steiler aufrichten, so daß schließlich die Faltensättel und Mulden vollständig ausgequetscht und die Schichten in Blätter zerteilt werden.

Meine Beobachtungen widerlegen also die von andern Forschern vertretene Anschauung, die Blätterung sei eine von der Schichtung vollkommen unabhängige Neubildung. Hören wir übrigens die zur Stütze der letzteren Anschauung vorgebrachten Gründe.

Die Entstehung der Blätterung aus der Schichtung wird bestritten, weil man an Spaltwänden über fast vertikal gestellter Blätterung horizontalgeschichteten Firn liegen sah, ohne daß irgend ein Übergang zwischen Firnschichtung und Blätterung bemerkbar gewesen wäre. Hans Heß bringt in seinem Buch „Die Gletscher“<sup>1)</sup> auf S. 176 einen ähnlichen Fall zur Abbildung. Über älteren, durch Faltung aufgerichteten Schichten ruht ein junges, horizontalgeschichtetes Firnlager. Heß erklärt diese Erscheinung in zutreffender Weise durch das Herabrücken der Firnlinie über ihren gewöhnlichen Stand. Es handelt sich also in solchen Fällen um zwei recht verschiedenaltige Bildungen, von denen die untere, um vieles ältere, im Umwandlungsprozeß in Blätterung schon weit fortgeschritten war, als sie durch die obere, ganz junge

---

<sup>1)</sup> Braunschweig 1904.

verdeckt wurde. Darum können freilich diese beiden Bildungen nicht ineinander übergehen. Aber dieser ganz besondere Fall berechtigt keineswegs zu dem Schlusse, es gäbe überhaupt keinen Übergang von der Schichtung in die Blätterung. Tatsächlich findet dieser Übergang in jedem Gletscher statt, dessen Eismassen durch Verengung des Bettes starken seitlichen Pressungen ausgesetzt sind. Er ist jedoch nicht, oder doch nicht in deutlich erkennbarem Zusammenhange zu verfolgen, wenn die Firnlinie eine außergewöhnlich tiefe Lage einnimmt, so daß ein großer Teil der früher aper gewesenen Eisoberfläche schneebedeckt und viele sonst offene Spalten verhüllt sind. Wir müssen es daher geradezu selbstverständlich finden, daß zu Zeiten ausgebreiteter Firnbedeckung die Forscher sich vom Zusammenhange zwischen Schichtung und Blätterung nicht überzeugen konnten. In unseren Alpen waren die letzten Jahre für das Erkennen dieses Zusammenhanges außerordentlich günstig, weil in dieser Zeit die Firnlinie von Jahr zu Jahr über ihren gewöhnlichen Stand weiter hinaufrückte.

Zum Beweise, daß die Blätterung aus der Schichtung nicht hervorgehen könne, wird ferner angeführt, daß die horizontale Schichtung des Firnes hie und da von der Blätterstruktur geschnitten wird. In solchen Fällen handelt es sich aber, wie ich mich oft überzeugte, nicht um die von uns beschriebene Blätterung, sondern nur um einzelne Blätter aus blasenarmem Eise, das entstanden ist, indem sich Schmelzwasser in engen Spalten, welche die Schichtung durchsetzten, sammelte und gefror.

Endlich wird gesagt: Die Blätterung kann nicht aus der Schichtung hervorgehen, denn in steilen Gletscherbrüchen gerät die etwa noch vorhandene Schichtung in volle Unordnung und verschwindet gänzlich; aber trotzdem entsteht unterhalb des Bruches die Blätterung in schönster Ausbildung.

Meine Beobachtungen auf dem Obersulzbachgletscher stimmen mit dieser Aussage nicht überein. In den schon erwähnten Staffelbrüchen ging die Schichtung nicht verloren. Ich fand ferner, daß das Durcheinander, welches der erste Anblick des Gletscherbruches in der türkischen Zeltstadt bietet, nur scheinbar ist. In Wirklichkeit herrscht auch im Gletscherbruche eine ruhige Gesetzmäßigkeit, die durch die Anordnung der Eisstrukturen deutlich zum Ausdruck kommt. Im Bruche findet die Verwandlung der Schichtung in Blätterung ihren ungestörten Fortgang. Wo im Bruche die Blätterung bereits besteht, behält sie trotz weitklaffender Spalten ihre gesetzmäßige Anordnung im großen und ganzen vollkommen bei. Nur wo Stauchungen statt-



finden, da stellt sich örtliche Faltung der Blätterung ein, die etwas weiter unterhalb wieder verschwindet. Ich konnte nicht bemerken, daß sich unterhalb des Bruches eine neue Blätterstruktur entwickelt. Wohl aber sah ich dort eine die fortlaufende Blätterstruktur schneidende zweite Struktur von ganz anderem Wesen. Dieselbe verdankt ihre Entstehung der außerordentlich großen Anzahl von im Bruche aufgerissenen und wieder geschlossenen Spalten. Ich beabsichtige diese Struktur im kommenden Sommer noch eingehender zu studieren, möchte aber schon heute die Vermutung aussprechen, daß diese Struktur in manchen Fällen mit der Blätterung verwechselt worden sein dürfte.

Man versuchte, die Entstehung der Blätter unabhängig von einer schon früher vorhandenen Struktur zu erklären, indem man annahm, das Eis schmelze in einzelnen zur Druckrichtung senkrechten Ebenen, worauf das Schmelzwasser wieder gefriere. So sollen Blätter entstehen, die sich durch geringeren Luftgehalt, also durch größere Klarheit von ihrer Umgebung unterscheiden. — Es ist aber nicht einzusehen, aus welchem Grunde gerade längs einzelner Ebenen des Eises Druckschmelzung stattfinden sollte; denn das würde entweder voraussetzen, daß in diesen Ebenen ein höherer Druck herrsche, wie zu beiden Seiten einer jeden einzelnen solchen Ebene, oder daß das Eis in diesen Ebenen leichter schmelzbar sei. Eine so ungleiche Verteilung des Druckes ist unmöglich. Hingegen wäre eine leichtere Schmelzbarkeit des Eises an bestimmten Orten durch Strukturverschiedenheiten erklärbar, aber — es wird ja behauptet, die Blätterstruktur entstehe unabhängig von andern Strukturen. So verliert denn die Ansicht, die Blätterung sei eine lediglich durch Druck hervorgerufene Neubildung, auch den letzten Stützpunkt. Wohl verdankt die Blätterung den durch die Eisbewegung geweckten Druckkräften ihre Entstehung, wohl können wir somit die Blätterung als eine Druckerscheinung bezeichnen, aber niemals dürfen wir sagen, diese Struktur sei von der Schichtung unabhängig, denn sie geht aus der Schichtung durch Einwirkung des Druckes hervor.

Wieder von anderer Seite wird zwar die Ansicht geteilt, die Blätterstruktur in den Gletscherzungen gehe aus der Firnschichtung hervor, aber es wird zugleich damit die Vorstellung verbunden, die Schichten werden nicht mannigfach gefaltet und zerteilt, sondern es wird angenommen, die Schichten bleiben ganz und werden nur einfach gebogen, so daß sie der Form des Zungenbettes entsprechend in diesem wie Rinnen konzentrisch ineinander liegen. Man sehe den erläuternden Querschnitt in Abbildung 2. Dazu ist zu bemerken, daß eine mit dieser

Vorstellung sich deckende Beobachtung bisher nirgends gemacht worden ist. Wie wäre es übrigens nach der Abbildung 2 zu erklären, daß von der obersten, einst über die ganze Breite des Firnfeldes sich erstreckenden jüngsten Schichte gerade ihr mittlerer Teil erhalten bleiben konnte, während alles Übrige durch Schmelzung verloren ging? — Profile, welche zeigen, wie man sich den allmählichen Übergang der horizontalen Schichtung im Firnfeld in die einfach gebogene Schichtung der Zunge (Abb. 2) vorzustellen habe, wären sehr erwünscht.

Wenden wir uns nunmehr dem Obersulzbachgletscher wieder zu. Bemerkenswert ist, daß ich in seiner Firnregion keine gefalteten Schichten sah, obwohl gerade in dem von mir begangenen, nach unten sich stark verengenden Teilbecken sicher recht bedeutende seitliche Pressungen des Eises auftreten. Diese Ungereimtheit findet ihre Lösung in dem Umstande, daß oberhalb der Firnlinie die bereits gefalteten

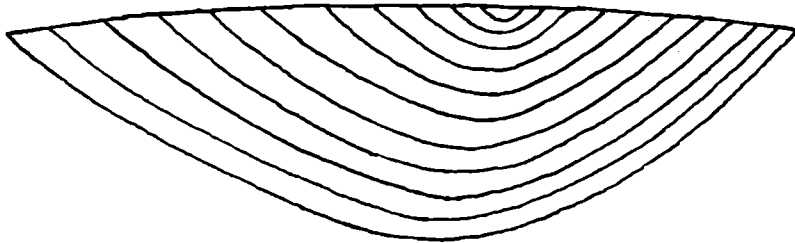
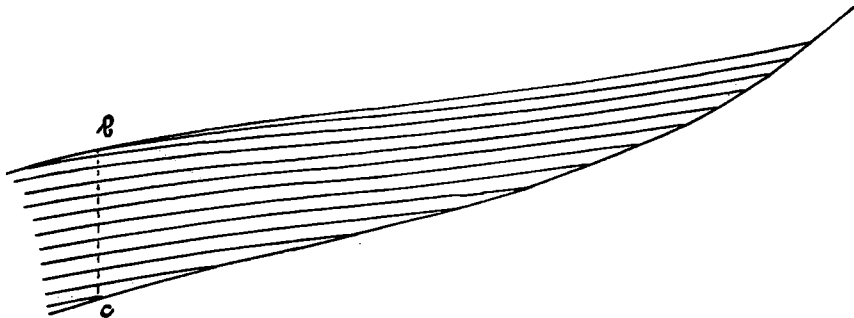


Abbildung 2. Unrichtige Vorstellung von der Anordnung der Firnschichten in einer Gletscherzunge.

Schichten alljährlich durch neue, ausdauernde Schneeschichten verdeckt werden. Wollen wir genaueren Aufschluß über die Faltungsvorgänge in den Schichten des Firnfeldes erlangen, so müssen wir vorerst über die Anordnung dieser Schichten im klaren sein. Bei gleichbleibendem Klima behält die obere Grenze des Firnfeldes trotz des anhaltenden Herabrückens der Firnmassen ihre Lage im großen und ganzen unveränderlich bei. Das geschieht, indem jede neu zugewachsene dauernde Schneelage ~~über~~ ihre Vorgängerin nach oben hin um ebensoviel übergreift, als letztere bis zu ihrer Überdeckung durch die neue Schichte bereits talabwärts gewandert ist. Im Firnfeld müssen demnach die Schichten jene Anordnung besitzen, die ich in Abbildung 3, rechts von der Geraden ~~bc~~, in einem Längsschnitt durch das Firnfeld dargestellt habe. In b denke ich mir die Firnlinie geschnitten; links von bc ist also das Abschmelzgebiet.

Fassen wir zunächst die jüngste, also oberste Schichte ins Auge. Eben entstanden, bedeckt sie vollkommen ungefaltete das Firnfeld in seiner ganzen Ausdehnung. Die unter ihr strömende Eismasse teilt ihr eine Bewegungsgeschwindigkeit mit, die in den vorderen Teilen größer als in den rückwärtigen ist. Wir wollen aber vorläufig von dieser ungleichen Geschwindigkeit absehen und überall dieselbe Geschwindigkeit annehmen. Ferner setzen wir voraus, das Firnfeld verenge sich von seinem oberen Rande bis zur Firnlinie ganz gleichmäßig von rund 4000 m auf 1000 m Breite. Die Längsachse des Firnfeldes teilen wir in eine beliebige Anzahl, z. B. in drei gleiche Teile. Durch die Teilungs- und Endpunkte legen wir senkrecht zur Achse Ebenen, deren Schnitte mit der obersten Schichte der Reihe nach, von oben nach unten, mit I, II, III und IV bezeichnet werden mögen. Diese Querschnitte sind 4000, 3000, 2000 und 1000 m breit. Sobald die oberste Schichte talabwärts soweit vorgerückt ist, daß ihr Schnitt I an der



Abbild 3. Firnschichtung im Längenschnitt durch das Firnfeld.

Stelle von II ist, dann befindet sich unserer Annahme zufolge der Schnitt II an Stelle von III, III an Stelle von IV, während IV bereits außerhalb des Firnfeldes gerückt ist und vorläufig außer Betracht bleibe. Jeder der Schnitte I—III geriet also an eine schmalere Stelle des Firnbeckens, jeder wurde von beiden Seiten her zusammengeschoben und verlor dabei durch Faltung der Schichte von seiner ursprünglichen Breite 1000 m. Das bedeutet aber, daß die Schichte durch Faltung im Schnitte I ein Viertel, im Schnitte II ein Drittel, im Schnitte III aber gar die Hälfte ihrer ursprünglichen Breite eingebüßt hat. Diese ungleichmäßige Zusammenschiebung bedingt natürlich, daß durch die Talwärtsbewegung die vorderen, von vornherein schmalere Teile der Schichte stärker gefaltet werden als die rückwärtigen. Dieser Unterschied im Faltungsgrade der Schichte wächst, je weiter die Schichte

im Firnbecken herabrückt; denn immer und immer erfahren die vorderen, schmälere Teile verhältnismäßig den größeren Breitenverlust. Zu demselben Ergebnis gelangen wir in etwas verstärktem Maße, wenn wir die größere Geschwindigkeit der vorderen Teile unserer Schichte berücksichtigen.

Natürlich nehmen die besprochenen Faltungsvorgänge ihren Fortgang auch dann, wenn die betrachtete Schichte im Laufe der Zeit infolge wiederholter Schneefälle in immer größeren Abstand unter die Firnoberfläche kommt, und ebenso selbstverständlich ist es, daß sich derselbe Vorgang in jeder Schichte des Firnfeldes abspielt. Es gilt daher allgemein: In talabwärts sich verengenden Firnfeldern nimmt die Faltung in jeder Schichte von deren oberem Rande gegen die Firnlinie hin unaufhörlich zu.

Verliert der Eisstrom auch noch jenseits der Firngrenze durch Einengung seines Bettes an Breite, so wird die Faltung der Schichten auch dort noch stärker. Ob die Einengung durch gegenseitige Annäherung der felsigen Ufer oder durch Gletscherzuflüsse erfolgt, das ist diesbezüglich gleichgültig. Häufig vereinigen sich beide Umstände zu besonders wirksamer Arbeit, wie z. B. am Obersulzbachgletscher, wo sich die aus den verschiedenen Teilbecken kommenden Teilströme im Trichter treffen.

Im Firnbecken ist die jeweils oberste Schichte bis zu einem gewissen Grade bereits gefaltet, wenn sie durch eine noch gänzlich ungefaltete Neuschneedecke dauernd verhüllt wird. Zwischen den beiden unmittelbar untereinanderliegenden Schichten ist demnach ein Faltungsunterschied vorhanden, der auch in Zukunft fortbestehen bleibt. Da die beiden in Betracht gezogenen Schichten gegenüber den andern keine Ausnahmestellung einnehmen, können wir einen zweiten allgemein gültigen Satz aussprechen: In talabwärts sich verengenden Firnfeldern nimmt die Faltung an jeder Stelle in vertikaler Richtung abwärts von einer Schicht zur andern bis zum Untergrund zu.

Im Zusammenhalt der vorstehend gesperrt gedruckten zwei Sätze ergibt sich, daß im Firnfeld das Maximum der Faltung vertikal unter der Firnlinie am Grunde des Gletschers liegt. Vom hohen dort herrschenden Faltungsgrade erhalten wir eine Vorstellung, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß an dieser Stelle die Schichten mit ihrem rückwärtigen Ende das Firnfeld verlassen, und daß dieses Ende einst gleiche Breite mit dem oberen Firnfeldrand hatte, nun aber auf die

verhältnismäßig sehr geringe Breite des Abflusses aus dem Firnfeld zusammengeschoben ist.

Die Größe des Faltungsunterschiedes von Schicht zu Schicht hängt nach dem Gesagten von dem Grade der Faltung ab, den jede Schichte erreicht, solange sie im Firnfeld obenauf liegt. Auf Grund unserer früheren Untersuchungen ist dieser Faltungsgrad um so größer, eine je schmälere Stelle des Firnfeldes in Betracht gezogen wird, je rascher sich das Firnfeld verengt, je größer die Geschwindigkeit des Eises ist und je längere Zeit die oberste Schichte unbedeckt bleibt. Wenngleich wir in jeder Hinsicht die in der Natur im allgemeinen vorkommenden günstigsten Bedingungen für die Faltung der obersten Schichte voraussetzen, ja, wenn wir sogar darüber hinausgehen, indem wir annehmen, die oberste Schichte bleibe ein ganzes Jahr lang unbedeckt, so kann doch der von dieser Schichte erreichte Faltungsgrad nur äußerst gering sein. Denn wegen der unter allen Umständen langsamen Bewegung des Eises befindet sich die oberste Schichte auch nach Ablauf eines ganzen Jahres an keiner merklich engeren Stelle des Firnbeckens wie am Beginne dieses Jahres. Ja selbst nach einer Reihe von Jahren ist aus ähnlichem Grunde die Faltung der Schichte noch recht unbedeutend. Wir bemerken darum auch an ziemlich alten Schichten, die in größerem Abstände unter der Firnoberfläche an Kluftwänden austreichen, immer noch keine Faltung. Mit einer so außerordentlich geringen Steigerung der Faltung in vertikaler Richtung abwärts ist die hochentwickelte Faltung, die wir der untersten Schichte vertikal unter der Firnlinie zuerkennen mußten, nicht vereinbar, obwohl sich unter der Firnlinie das Maximum der Schichtenzahl findet. Eine einfache Überlegung scheint mir eine befriedigende Lösung zu geben.

Die Abbildung 4 stelle einen breiten Querschnitt in der Nähe des oberen Firnrandes vor und für kurze Zeit sei angenommen, die eingezeichneten Schichten seien ungefalted. Beim Talabwärtswandern gelangt dieses Eisprofil an schmälere Stellen des Firnfeldes. Die Schichten werden darum von beiden Seiten her zusammengeschoben. Dabei verlieren die unteren, weil von vornherein schmälere Schichten verhältnismäßig mehr an Breite. Sie werden somit stärker gefaltet als die oberen Schichten. Also allein durch die Bewegung in einem sich verschmälernden Bette werden die Schichten einer bisher ungefalteten Eismasse derart in Falten geworfen, daß der Faltungsgrad in vertikaler Richtung abwärts von Schicht zu Schicht zunimmt. Ist die Eismasse in solcher Weise schon etwas gefaltet, dann wird der

Faltungsunterschied von Schicht zu Schicht vergrößert, und zwar um so mehr, je länger der zurückgelegte Weg ist.

Das Querprofil an der Firnlinie ist nicht einheitlichen Alters; denn während es sich vom oberen Firnfeldrand seinem jetzigen Platze näherte, wuchs es bei jedem Schneefall in die Höhe. Seine obersten Schichten sind also außerordentlich jung und haben darum, trotzdem sie die größte Geschwindigkeit besitzen, den kürzesten, kaum nennenswerten Weg zurückgelegt. Die um vieles älteren Schichten in der halben Profilhöhe haben einen Weg hinter sich, der ungefähr der halben Länge des Firnfeldes gleich ist, während endlich die untersten Schichten, trotzdem sie die kleinste Geschwindigkeit besitzen, wegen ihres hohen Alters schon das ganze Firnfeld durchmessen konnten. — Im obersten Teile des Querprofils ist daher der Faltungsunterschied von einer Schichte zur andern außerordentlich klein, im mittleren Teile schon recht bedeutsam, im untersten Teil erreicht er aber seinen Höchstwert. Zwischen diesen drei Orten finden entsprechende Übergänge statt. Die Faltung der Schichtung nimmt also in vertikaler Richtung abwärts gewissermaßen nach einer geometrischen Progression



Abbild 4. Querschnitt durch ein Firnfeld nahe seinem oberen Rande mit ungefalteter gedachter Schichtung.

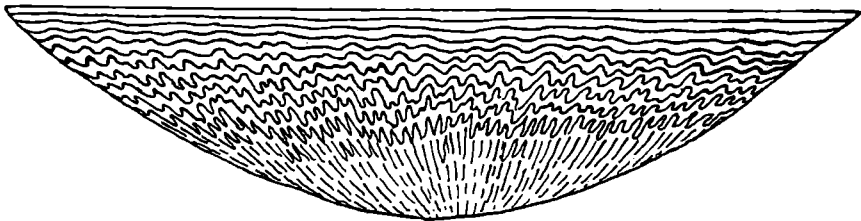
zu: oben sehr langsam, unten rasch. Das macht es begreiflich, daß an der Firnlinie unter den oberen Schichten, die eine Zunahme der Faltung nach unten fast gar nicht erkennen lassen, in den Tiefen am Grunde dennoch sehr stark gefaltete, ja vielleicht sogar schon geblätterte Schichten liegen.

Meine Vorstellung vom Querschnitt an der Firnlinie habe ich in Abbildung 5 durch eine schematische Zeichnung wiedergegeben. Ich betone, diese Vorstellung ist an ein Firnbecken geknüpft, das sich, ähnlich wie das westlichste Teilbecken des Obersulzbachgletschers, talabwärts stark verschmälert.

Nicht zu vergessen ist eines Umstandes, der auf die Faltung der tieferliegenden Schichten Einfluß nimmt. Diese Schichten sind durch die überlagernden Eismassen einem hohen Druck ausgesetzt, der bewirkt, daß an den Grenzen der Gletscherkörner, aus welchen das Gletschereis besteht, eine Erweichung und in geringem Grade sogar

Schmelzung des Eises stattfindet. Dadurch wird der gegenseitige Zusammenhang der Gletscherkörner und Schichten gelockert, was die Schichten biegsamer und dem seitlichen Drucke nachgiebiger macht. Je tiefer also eine Schicht liegt, in umso zahlreichere, wenn auch kleinere Falten wird sie zusammengeschoben.

Betreten wird das Gebiet unterhalb der Firnlinie. Die Oberfläche des Schmelzgebietes wird Jahr für Jahr durch Abschmelzung erniedrigt. Auf ihr müssen daher, wenn das Querprofil Abb. 5 den wirklichen Verhältnissen entspricht, von der Firnlinie abwärts zuerst ungefaltete, dann immer stärker gefaltete Schichten austreichen, bis zuletzt die Blätterung zum Vorschein kommt. Die Beobachtungen auf dem Obersulzbachgletscher lassen diese Forderung erfüllt erscheinen. Ich erkenne in diesem Umstande einen Beweis für die richtige Zeichnung der Abbildung 5.



Abbild 5. Übergang der Firnschichtung in die Blätterung im Querschnitte an der Firnlinie eines Gletschers.

Manche unserer Alpengletscher erfahren wie der Obersulzbachgletscher auch noch unterhalb der Firnlinie eine starke Verengung ihres Strombettes. In solchem Falle nimmt die Faltung und Verwandlung der Schichtung in Blätterung im Schmelzgebiete ungestörten Fortgang. Der an der Sohle liegende geblätterte Teil des Eisstromes wird rasch mächtiger, während gleichzeitig die Gletscheroberfläche durch Abschmelzung erniedrigt wird. Beides zusammen bewirkt, daß auf der Oberfläche solcher Gletscher die Blätterung schon in verhältnismäßig kleiner Entfernung von der Firnlinie zutage tritt, besonders, wenn wie beim Obersulzbachgletscher starke Zerklüftung die Abschmelzung begünstigt. Der Hintereisferner in Tirol ist ein Gletscher mit mäßiger Verengung seines Firn- und Zungenbettes. Dementsprechend erscheint auf diesem Gletscher die Blätterung erst weitab von der Firnlinie. Der östliche Teil der Übergossenen Alm (Salzburger Kalkalpen) erfährt weder im Firn- noch im Schmelzgebiete wesentliche

seitliche Pressungen. Wir treffen daher die von uns beschriebene Blätterung nicht einmal am untersten Rande der Osthälfte dieses Gletschers.

Die großen Inlandeismassen Grönlands und der Antarktis strömen nach allen Seiten auseinander. Seitliche Drucke in ihnen sind ausgeschlossen. Ihre Schichtung bleibt daher ungefaltet. Das wurde von den Südpolarforschern dort beobachtet, wo sich von dem im Meere liegenden Inlandeisrand die tafelförmigen Eisberge loslösen. In Grönland findet das Inlandeis den Weg zum Meere zumeist nur in Form von Eisströmen, welche das Küstengebirge in Fjordtälern durchbrechen. Den Übertritt des weitgedehnten Inlandeises in die engen Fjorde vermitteln Sammeltrichter, an die sich die Fjorde anschließen. (Man sehe die Karte 2 der Karajakeisströme in: v. Drygalski, Grönland-Expedition. Berlin 1897. I. Bd.) In diesen Trichtern erfährt das eintretende Inlandeis ganz außerordentlich hohe, sich steigernde seitliche Drucke, durch welche die Schichtung genau in derselben Weise wie in unseren Alpengletschern in Blätterung verwandelt wird.

Welche Gestaltung der Untergrund des Inlandeises hat, wissen wir nicht. Ist er durch Berge, Täler und Ebenen gegliedert, so können sich die tieferliegenden Inlandeismassen nicht wie die oberen unabhängig von den Bodenformen bewegen, sondern sie werden durch die Berge von der allgemeinen Bewegungsrichtung abgelenkt und müssen den Tälern folgen. Beim Eintritt des Eises in solche Täler findet natürlich auch Faltung und Blätterung statt. Es ist darum das über die Struktur des Inlandeises oben Gesagte dahin einzuschränken, daß bei unebenem Boden die unteren Partien des Inlandeises gefaltet und geblättert sind.

Faltung und Blätterung wird im Gletschereise auch noch hervorgerufen, wenn sich die Bewegung des geschichteten Eises nach vorne verlangsamt. Diese Art der Blätterbildung habe ich bereits in einer früheren Schrift (Eis- und Gletscherstudien, Neues Jahrbuch für Min. Geol. Beilageband XVIII 1903, S. 110—111) besprochen. Ich komme hier nicht ausführlicher darauf zurück, weil die auf solche Weise erfolgte Blätterbildung in Gletschern vom Typus des Obersulzbachgletschers nur eine untergeordnete Rolle spielt.

---