Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1928)

Artikel: Ueber die Schmutzbänderung der Gletscher
Autor: Nussbaum, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319343

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

F. Nussbaum.

Ueber die Schmutzbänderung der Gletscher.

Mit 4 Tafeln.

1. Vorkommen.

Eine der auffälligsten und in ihrem Wesen noch nicht völlig abgeklärten Erscheinungen der Gletscher ist die sog. Schmutzbänderung, jene eigentümlichen, bogenförmigen dunklen Streifen, die auf der Oberfläche der Gletscherzungen auftreten und die man als Ogiven bezeichnet. Sie geben in ihrer Lage die Art der Gletscherbewegung wieder, indem sie in der Mitte nach unten ausgebogen sind, während die Seiten an den Gletscherrändern stark zurückbleiben. Auf einigen Gletschern haben die Ogiven Halbkreisform, auf andern sind sie spitzbogenförmig gestaltet. Von der Erscheinung der Ogiven gibt uns das nebenstehende Bild Taf. 1 eine gute Vorstellung; es ist eine von der Ad Astra Aero Zürich gemachte Fliegeraufnahme und stammt aus dem im Verlag E. Rentsch, Erlenbach, erschienenen Prachtswerk „Die Schweiz aus der Vogelschau" [1]). Das hier wiedergegebene Bild stellt das „Mer de Glace" in der Montblancgruppe, einen zusammengesetzten Talgletscher mit all seinen wesentlichen Merkmalen dar.

Auf der gewundenen Gletscherzunge erkennen wir in überaus schöner und übersichtlicher Weise die Erscheinung der Seiten- und Mittelmoränen, die zahlreichen Quer- und Randspalten und die in Frage stehenden dunklen, bogenförmigen Schmutzbänder, die Ogiven,

[1]) Dieses mit 258 Abbildungen ausgestattete prächtige Buch erweist sich als ein ausserordentlich wertvolles geographisches Quellenwerk; die von O. Flueckiger besorgte und mit erläuterndem Text versehene Auswahl von 243 Bildern aus einer sehr grossen Anzahl der von der Ad Astra Aero Zürich gemachten prächtigen Fliegeraufnahmen beschlägt alle Typen der so mannigfaltigen Natur- und Siedelungsgebiete der Schweiz und greift gelegentlich noch über die Landesgrenze hinaus. Vor allem reichhaltig ist die Sammlung an Abbildungen, die sich auf die Morphologie und Gletscherkunde der Alpen beziehen. Unter den die Gletschererscheinungen darstellenden Aufnahmen kommt insbesondere dem Bild 243, betitelt „Mer de Glace" die Eigenschaft eines einzigartigen Uebersichtsbildes einer alpinen Gletscherlandschaft zu. [Von diesem Bilde besteht nun eine vom Verlag Wachsmut, Leipzig, herausgegebene gute Vergrösserung, betitelt: Das Luftbild als Anschauungsmittel. Bearbeitet von Studienrat Dr. Ewald. Alpiner Gletscher (Mer de Glace, Mont Blanc). Preis Fr. 5.20.]

die hier zum ersten Mal von J. FORBES entdeckt und beschrieben worden sind (Lit. 1). Ueber hohen, steilen, schuttbedeckten oder felsigen Hängen zu beiden Seiten der Gletscherzungen liegen zahlreiche Hängegletscher und Firnflecken, die von zackigen Felsgräten und Gipfeln überragt werden; die zwei sich vereinigenden Gletscher, rechts der Glacier du Géant, links der Glacier de Leschaux, steigen stufenförmig zu blinkenden Firnfeldern an.[1]) Unter den die Montblanc-Gruppe kennzeichnenden, scharf zugespitzten Felsgipfeln erkennen wir im Vordergrund rechts die Aiguilles de Charmoz, im Mittelgrund rechts die schmale Aiguille du Géant (4014 m) und links die Aiguilles des Grandes Jorasses (4205 m). Hinter ihnen, ganz in der Ferne, taucht die an Kar- und Hängegletschern reiche Gruppe des Gran Paradiso empor.

Fassen wir nun die auf unserem Bilde besonders auffällige Erscheinung der Ogiven oder Schmutzbänder näher ins Auge, so zeigt sich, dass diese sowohl auf der „Mer de Glace" benannten Zunge des Glacier de Géant, unterhalb eines deutlichen, in Wülsten sich auswirkenden Gletschersturzes, wie auch auf dem Glacier de Leschaux vorkommen. Sie werden durch bogenförmige, ziemlich breite und sehr regelmässig verteilte Streifen dunklen Eises bewirkt, welche Färbung durch Staub, Sand und andere mineralische Beimengung hervorgerufen wird.

Aehnliche Streifung wurde auch auf dem Grossen Aletschgletscher, dem Gl. de Ferpècle, dem Unteraar- und dem Triftgletscher, ferner auf Gletschern Nordamerikas und Asiens beobachtet.

Die genaue Betrachtung einer photographischen Aufnahme des Unteraargletschers (Taf. 2), die ich vor einigen Jahren vom Rothorn aus machte, ergibt ebenfalls das Vorhandensein zahlreicher Ogiven in Form von deutlich wahrnehmbaren dunkleren Bändern. Auf sie hatte schon L. AGASSIZ hingewiesen (Lit. 2, p. 212). Die dunklen Streifen sind verhältnismässig schmal und wechseln mit breiteren Streifen hellen Eises ab. Dies ist namentlich auf dem sog. Finsteraarfirn der Fall. In der Nähe besehen, lässt sich der Staubbelag hier nicht deutlich feststellen; man trifft meist nur blasenarmes Eis, und doch kann es sich nicht nur um den Farbenunterschied zwischen weisslichem und bläulichem Eis handeln, sonst würden die dunkleren Streifen auf der photographischen Platte nicht so deutlich erscheinen.

---

[1]) Vergl. auch die vortreffliche, von X. IMFELD und L. KURZ gezeichnete „Carte Albert Barbey La Chaîne du Mont Blanc" von 1:50,000. 1910.

Ebenso deutlich sind Ogiven auf dem Triftgletscher im Gadmental entwickelt. Sie befinden sich auf der Gletscherzunge, die aus einem typischen Gletschersturz hervorgeht, der sich an seinem Fuss noch in halbkreisförmigen Wülsten auswirkt; allein diese verschwinden ziemlich bald. Dagegen bleiben die dunklen, bogenförmigen Streifen bestehen; aber jeder Streifen setzt sich aus einer Anzahl ganz schmaler, dunkler Linien oder Blätter zusammen, deren Lage und Anordnung genau mit der Löffelstruktur der Gletscherzunge übereinstimmt (vergl. Bild 5). Bemerkenswert ist auch hier, dass die dunkle Streifung gletscherabwärts deutlicher wird, als dies am Fuss des Gletscherabsturzes der Fall ist.

Eine nach Lage und Aussehen den Ogiven des Mer de Glace sehr ähnliche Schmutzbänderung ist von W. H. SHERZER von zwei Gletschern in Britisch Columbia, dem Victoria und dem Deville Glacier, beobachtet, abgebildet und beschrieben worden (Lit. 10, p. 50).

Ferner hat G. MERZBACHER die gleiche Erscheinung auf einem gut entwickelten Talgletscher des Bogdo-Ola Gebirges im Tian-Schan festgestellt (Lit. 12, Taf. 12).

2. Verschiedene Deutungen.

Ueber die Entstehung dieser durchaus nicht allgemein, sondern nur an vereinzelten Gletschern auftretenden Erscheinung gehen die Meinungen der Forscher auseinander. Es sind hierüber drei verschiedene Auffassungen vorgebracht worden:

a) Der Entdecker der Ogiven, JAMES FORBES, glaubte, dass es sich nur um eine rein äusserliche Verunreinigung der Gletscherzunge durch Staub und Sand handle, und zwar nur bei solchen Schichten oder Blättern des Gletschers, die sich durch grössere Porosität von den andern, kompakteren Lagen unterscheiden (Lit. 1, p. 162).

b) Eine wesentlich andere Deutung wurde von TYNDALL gegeben (Lit. 3). Dieser Gletscherforscher erklärt sich die Bildung dieser Bänder auf dem Mer de Glace aus der Wirkung eines Gletschersturzes, den der Gletscher bei seinem Uebergang aus dem Firngebiet in die Zunge bildet, wobei quer über den Gletscher laufende Wülste und Vertiefungen entstehen; in den letzteren sollen sich infolge der stärkeren Abschmelzung der Wülste die mineralischen Beimengungen, namentlich Staub, ansammeln, liegen bleiben und in dieser Anordnung infolge der in der Mitte stärkeren Bewegung allmählich Bo-

genform annehmen. Diese von TYNDALL gegebene Erklärung wird auch von HEIM geteilt und ist jüngst noch von SHERZER in seiner Beschreibung kanadischer Gletscher gebracht worden (Lit. 10, p. 50).

c) Die dritte Auffassung über die Entstehung der Schmutzbänder bringt diese in Zusammenhang mit der ursprünglichen Schichtung des Firns und der daraus hervorgehenden Blätterung oder Bänderung der Gletscherzunge. Als erster, der diese Auffassung vertritt, ist L. AGASSIZ zu nennen, der ja auch zuerst auf den Zusammenhang zwischen Firn-Schichtung und Bänderung hingewiesen hat (Lit. 2). Ihm folgt HESS, der die Bänderung auf der Gletscheroberfläche als Ogiven bezeichnet, die bei jedem Gletscher getrennt ausgebildet seien, und hiezu auch die von FORBES und TYNDALL beschriebenen Schmutzbänder rechnet. Diese Oberflächenformen, sagt er, sind der Ausdruck einer bestimmten Struktur im Innern der Eismasse, deren räumliche Anordnung als eine löffelförmige bezeichnet werden kann, der Bänderung. Tatsächlich fällt der Verlauf der Schmutzbänder mit dem der übrigen Blätter der Gletscherzunge zusammen (Lit. 6).

Angesichts dieser verschiedenen, noch heute in der Gletscherliteratur vertretenen Deutungen über die Bildung der Schmutzbänder, mag es am Platze sein, dieser Frage noch etwas näher zu treten.

3. Diskussion.

a) Beginnen wir mit der von TYNDALL vertretenen Auffassung, so lässt sich nicht leugnen, dass unterhalb von Gletscherstürzen eine wellen- oder wulstartige Gestaltung der Gletscheroberfläche zustande kommt, die, wie unser Bild 6 zeigt, noch ziemlich weit erhalten bleibt, aber allmählich doch verschwindet.

Sodann muss darauf hingewiesen werden, dass bei der von TYNDALL und HEIM gegebenen Auffassung die Schmutzbänderung an allen Gletschern mit Gletscherstürzen auftreten müsste, was durchaus nicht der Fall ist. Man kennt zahlreiche Gletscher, bei denen unterhalb eines gut ausgesprochenen Gletschersturzes eine deutliche Bildung von Schmutzbändern fehlt, wogegen sich die Ogiven in Form feiner und sehr zahlreicher Linien zeigen.

Ferner müssten bei einem Gletschersturz, der die ganze Breite eines Gletscherstromes einnimmt, die Schmutzbänder auch quer über die ganze Zunge laufen. Dies ist wiederum nicht der Fall. Die breiten,

dunklen Ogiven gehören nur einem Gletscherzufluss an; jeder Gletscher besitzt sein eigenes Ogivensystem.

Ein schönes Beispiel hiefür bietet der Aletschgletscher, wie sich namentlich auf der von Ingenieur H. IMFELD gezeichneten Karte[1]) ergibt. Hier vermag man mehrere verschiedenartig ausgebildete Ogi-

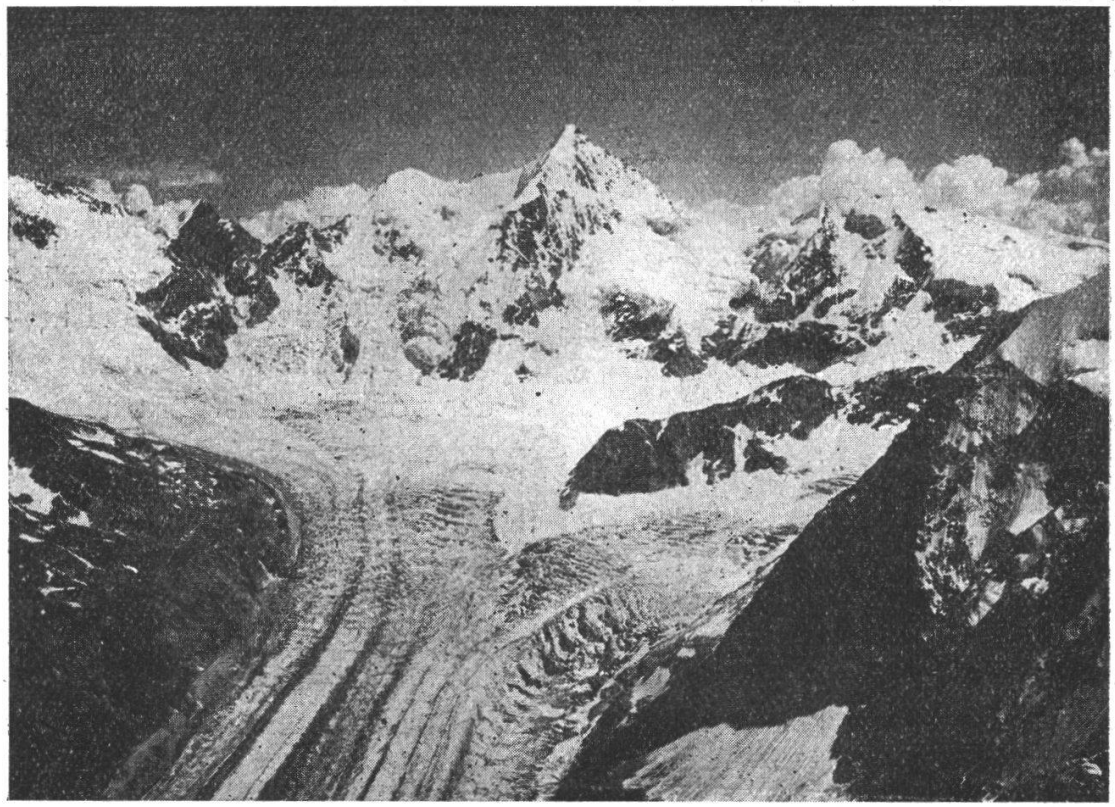

Bild 6. **Blick auf den Zinalgletscher von den »Bouquetins«.**
Aufn. G. Brion.
Das Bild zeigt eine Gletscherlandschaft des Walliser Hochgebirges mit Talgletschern, rechts ein Talgletschersturz mit Wulstbildung.*)

vensysteme nebeneinander zu erkennen. Daneben besitzt der vom Ewig Schneefeld kommende Gletscher einen gut ausgeprägten Gletschersturz, unterhalb dem sich noch einige Wülste zeigen, die aber allmählich verschwinden; von Entwicklung der Schmutzbänder ist aber kaum etwas zu bemerken.

---

[1]) Diese Karte (Blätter 489 und 493 der Siegfriedkarte) findet sich auch bei A. HEIM, Handbuch der Gletscherkunde. Dem Kartenbild entspricht einigermassen unsere Abbildung 7, die nach einer mir in liebenswürdiger Weise von Hrn. Top.-Ing. ZOELLY in Bern zugestellten Photographie gezeichnet wurde.

*) Die Bildstöcke der Abbildungen 4, 6 und 7 wurden uns in dankenswerter Weise von der Firma Kümmerly & Frey, Bern, überlassen.

Zudem ist noch anzuführen, dass, wie die Wülste mit zunehmender Entfernung von einem Gletschersturz allmählich verschwinden, auch die zwischen ihnen entstandenen Schmutzstreifen gletscherabwärts verblassen, undeutlicher werden müssten, da das oberflächlich abrinnende Schmelzwasser auch den nur oberflächlich auflagernden Staub mehr und mehr wegschwemmen würde.

Allein dies trifft nicht zu; man hat eher den Eindruck, dass die Ogiven gletscherabwärts deutlicher ausgeprägt sind als weiter oberhalb. Dies zeigt sich namentlich auf einer prächtigen, von Kapitän SPELTERINI gemachten Ballonaufnahme des „Mer de Glace", die bei Wehrli in Kilchberg erhältlich ist. Auch auf der von der Ad-Astra herausgegebenen Fliegeraufnahme, wie sie auf Tafel 1 wiedergegeben ist, erkennt man, dass die Ogiven auf dem mittleren Abschnitt der Gletscherzunge deutlicher erscheinen als weiter oberhalb; gegen das Ende der Gletscherzunge wird allerdings ihre Form durch die zahlreichen Spalten sehr beeinträchtigt.

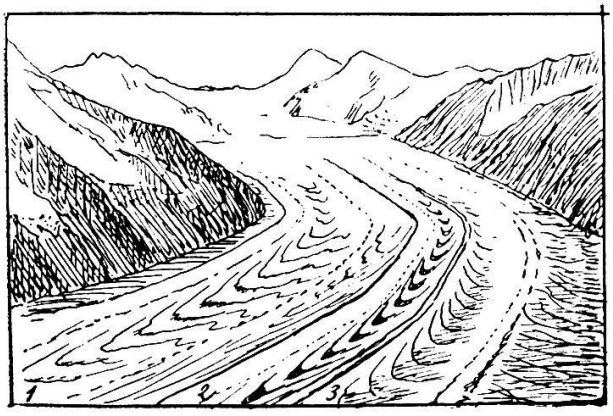

Bild 7. **Bänderung a. d. Gr. Aletschgletscher.**

Ferner ist, mit Bezug auf die von FORBES gegebene Erklärung, nicht recht einzusehen, warum der auf den Gletscher gefallene Staub sich nur gerade in den bestimmt abgegrenzten Streifen auf der Gletscheroberfläche hätte halten sollen und nicht auch auf benachbarten Schichten; denn die Unterschiede der Porosität des Eises sind doch ursprünglich nicht so stark, dass sich eine solche geradezu schematische Anordnung und Absonderung erklären liesse. Tatsächlich erscheint dem Gletscherwanderer das Eis der Gletscheroberfläche im kleinen ziemlich gleichmässig rauh und höckerig, wenn auch öfters, wie die sog. Reid'schen Kämme es beweisen, einzelne Schichten oder Blätter deutlicher aufragen, andere dagegen wie Wagengeleise vertieft dazwischen verlaufen. Die etwas grössere Porosität der von Schmutz überdeckten Bänder ist wohl eher als eine Folge dieser Auflagerung anzusehen, indem sich hier infolge der grösseren Erwärmung des dunklen Schuttes Vertiefungen durch Schmelzen des Eises bilden.

Ueberdies könnte es sich nach der von FORBES angenommenen

Deutung nur um Staub handeln, der aus der Luft auf den Gletscher niedergefallen wäre. Dies ist jedoch nicht ausschliesslich der Fall; neben Staub, der allerdings die Hauptmasse bildet, findet sich z. T. noch Sand und sogar kleineres Geröll, kleine eckige Gesteinstrümmer, wie sie aus der Verwitterung der umgebenden Felsen entstehen.

Was die Lagerung des Staubes in diesen Schmutzstreifen anbetrifft, lassen sich recht eigentümliche Beobachtungen machen: So vermag man aus einiger Entfernung, wie etwa von der Flégère aus oder aus der Luft, die Ogiven des Mer de Glace mit aller Deutlichkeit zu erkennen. Begibt man sich aber auf den Gletscher selber, so erscheint selbst mitten in einem dunklen Schmutzband das Eis an der Oberfläche ganz rein, ohne Staubbelag. AGASSIZ und ESCHER haben im scheinbar reinsten, klarsten Gletschereise noch 2,5 gr feinen kiesigen Sand und Staub pro Liter gefunden.[1]) Es ist Material, das in den Haarspalten vorhanden ist und das trotz der wenig dichten Verteilung zusammen mit dem Blau des Eises eine dunkle Oberflächenfarbe hervorzurufen vermag. Dieser Umstand, das Vorkommen des Staubes im Gletschereis, beweist mit aller Deutlichkeit, dass der Staub nicht ausschliesslich an der Oberfläche des Gletschers liegt, daher auch nicht erst auf der Gletscherzunge entstanden sein kann oder abgelagert worden ist, sondern dass seine streifenartige Erscheinung tatsächlich mit der Struktur des Gletschers in engstem Zusammenhang steht.

4. Die Gletscherstruktur.

Darunter ist die Schichtung des Firns und die Bänderung oder Blaublätterstruktur der Gletscherzunge verstanden. Sie fehlt keinem Gletscher; aber je nach Lage und Grösse zeigen sich Verschiedenheiten in der Ausbildung der Struktur. Am besten ist sie bei grossen Talgletschern entwickelt.

a) Unter Schichtung der Gletscher versteht man die lagenartige Struktur des Firns, die sich in einem mehr oder weniger regelmässigen Wechsel mächtiger weisser Schneemassen mit Schichten von leicht ins bläuliche spielenden, von Eiskörnern oder Eiskrusten durchsetzten Firns und mit ganz dünnen Staublagen äussert.

Ueber die Entstehung der Schichtung herrscht unter den Gletscherforschern ganz allgemein — mit einer einzigen Ausnahme (PHI-

[1]) Cit. n. A. HEIM, Handb. d. Gletscherkunde, S. 375.

LIPP) — Uebereinstimmung. Sie entspreche, sagt A. HEIM, den verschiedenen Schneefällen einerseits, den dazwischen liegenden Schmelzperioden und den Staubfällen anderseits. „Die Winde jagen stets Staub auf der ganzen Erde und in allen Regionen herum. Der Meteorstaub setzt sich überall ab, oft fällt er zusammen mit Schnee und mit Regen" (Lit. 4, p. 100). H. HESS beschreibt den Wechsel heller und dunkler Streifen an den Firnspalten als Spuren der Schichtung und spricht von der „obersten Kruste körnigen, mit leichtem Staub bedeckten Eises", über dem sich die folgenden Niederschläge ablagern, ferner von dem Staube, welcher sich auf den Firnflächen absetzt und die Grenzflächen der Firnschichten kennzeichnet (Lit. 7, p. 179). H. CRAMMER betont besonders die scharfe Trennung der einzelnen Firnschichten durch den „Staub, der aus der Luft auf jede Schneelage fällt, solange sie zuoberst liegt" (Lit. 9, p. 93).

Ueber die Umwandlung des Hochschnees zu Firn, die Bildung der durch oberflächliche Schmelzung hervorgerufenen Eiskrusten, Harschte, und die Entstehung des Gletscherkorns haben sich insbesondere A. HEIM, H. CRAMMER und H. HESS eingehend geäussert (vergl. Liter.-Verz.).

b) Als Bänderung bezeichnet man die im Eis der Gletscherzunge wahrnehmbare Parallelstruktur, gegeben durch die Folge von dünnen Lagen, bestehend teils aus weisslichem, blasenreichem und teils aus bläulichem, luftarmem Eise, weshalb sie auch die Bezeichnung Blaublätterstruktur erhalten hat. Sie wird häufig durch Beimengung von dünnen Schuttstreifen noch deutlicher gemacht. In der Regel ist die Bänderung sowohl auf der Gletscheroberfläche wie auch im Gletscherkörper selbst, bei Spalten, also im Schnitt zu erkennen. Ist letzteres der Fall, so bemerkt man, dass die blauen Blätter meist schief gegen den Gletscher einfallen und sich auf der Oberfläche als eigenartige, am Rande abwärts laufende, in der Mitte aber infolge der grösseren Bewegung nach unten gebogene Linien und schmale Streifen abzeichnen, Ogiven genannt. Die Gletscherzunge besitzt demnach eine löffelartige Struktur.

Die Beschaffenheit der Bänderung der Gletscher wird von E. von DRYGALSKI wie folgt geschildert (Lit. 11):

„An Stelle der Luftbeimengungen kann nun auch die Verteilung von Staub, Sand und Steinen im Eise eine Bänderung bedingen, wenn diese nämlich in gleicher Weise wie die Luftblasen zu bestimmten Flächenrichtungen geordnet werden. In diesem Falle wird man

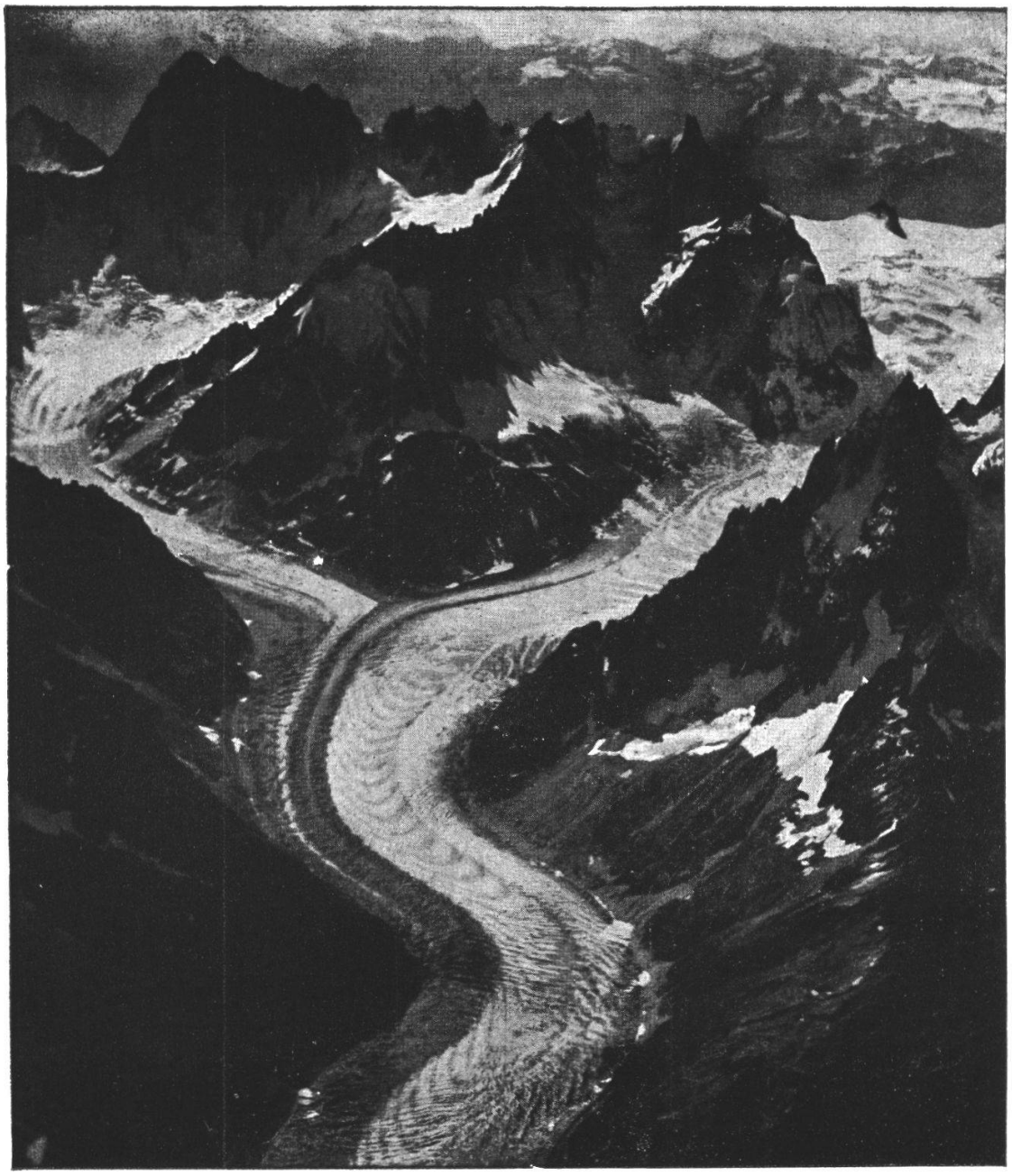

Bild 1. **Das Mer de Glace.**
Eine typische Gletscherlandschaft der Montblancgruppe.
Aufnahme Ad Astra Zürich.

Beispiel eines zusammengesetzten, von steilen felsigen Hängen umgebenen Talgletschers. Die hohen zackigen Felsgipfel, die man hier als Nadeln bezw. „Aiguilles" bezeichnet, sind typisch für die Montblancgruppe: links im Hintergrunde ragen die 4205 m hohen Aiguilles des Grandes Jorasses, in der Mitte die 4014 m hohe Aiguille du Géant und rechts vorn die Aiguilles des Grands Charmoz empor; rechts im Hintergrund das Firnfeld des Glacier du Tacul, dem sich von links (auf dem Bilde) der Glacier de Leschaux anschliesst. Die als „Mer de Glace" bekannte mächtige Gletscherzunge zeichnet sich durch schöne Bildung von Mittelmoränen und Ogiven aus.

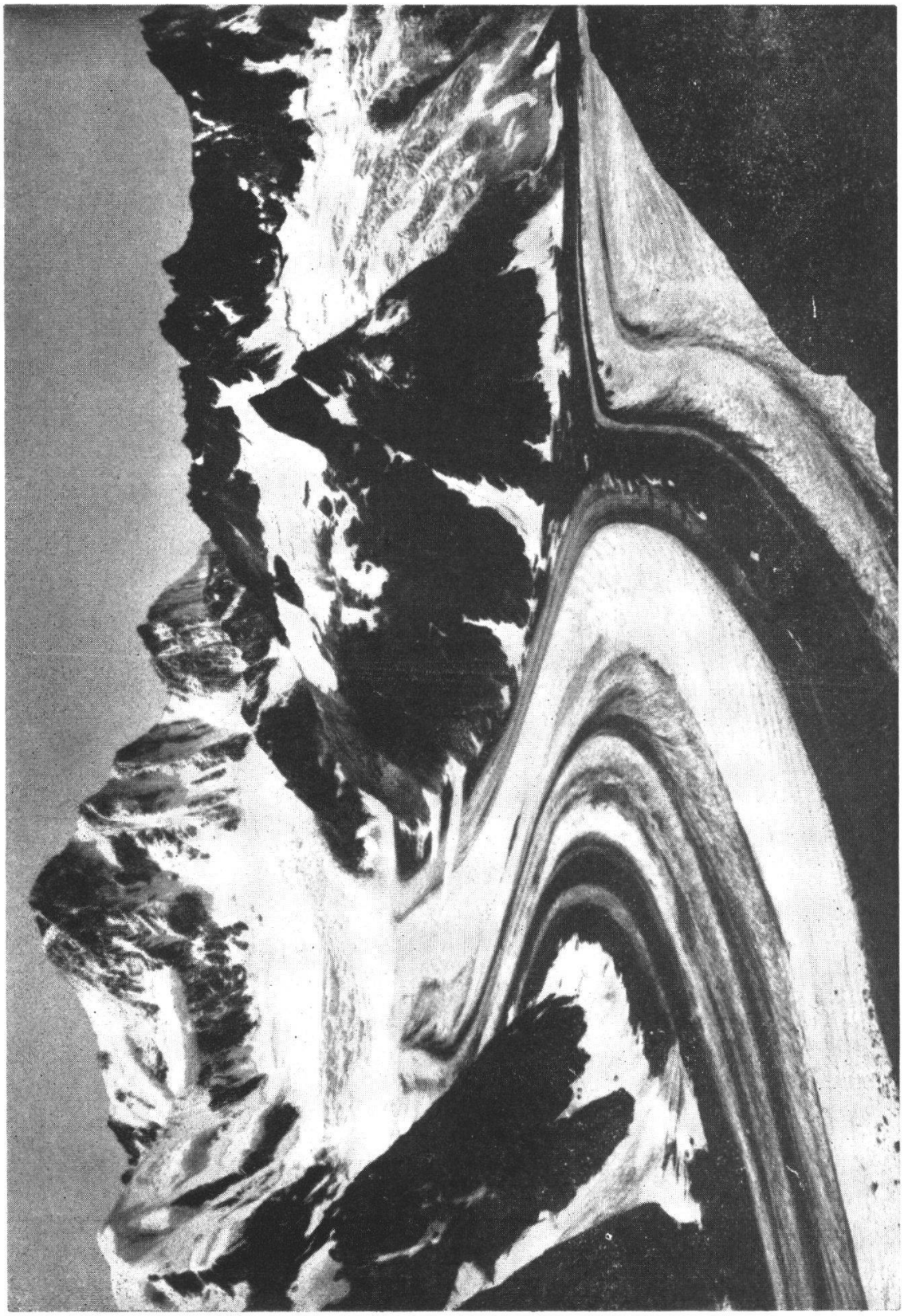

Bild 2. **Blick auf den Unteraargletscher und das Finsteraarhorn.**
Phot. Aufnahme von F. Nussbaum.

Die mächtige Mittelmoräne geht aus der Vereinigung des Lauteraarfirns (rechts im Bild) und des Finsteraarfirns (links) hervor; auf dem Letztern sind zahlreiche gegen die Mitte gebogene Schmutzbänder (Ogiven) zu erkennen.

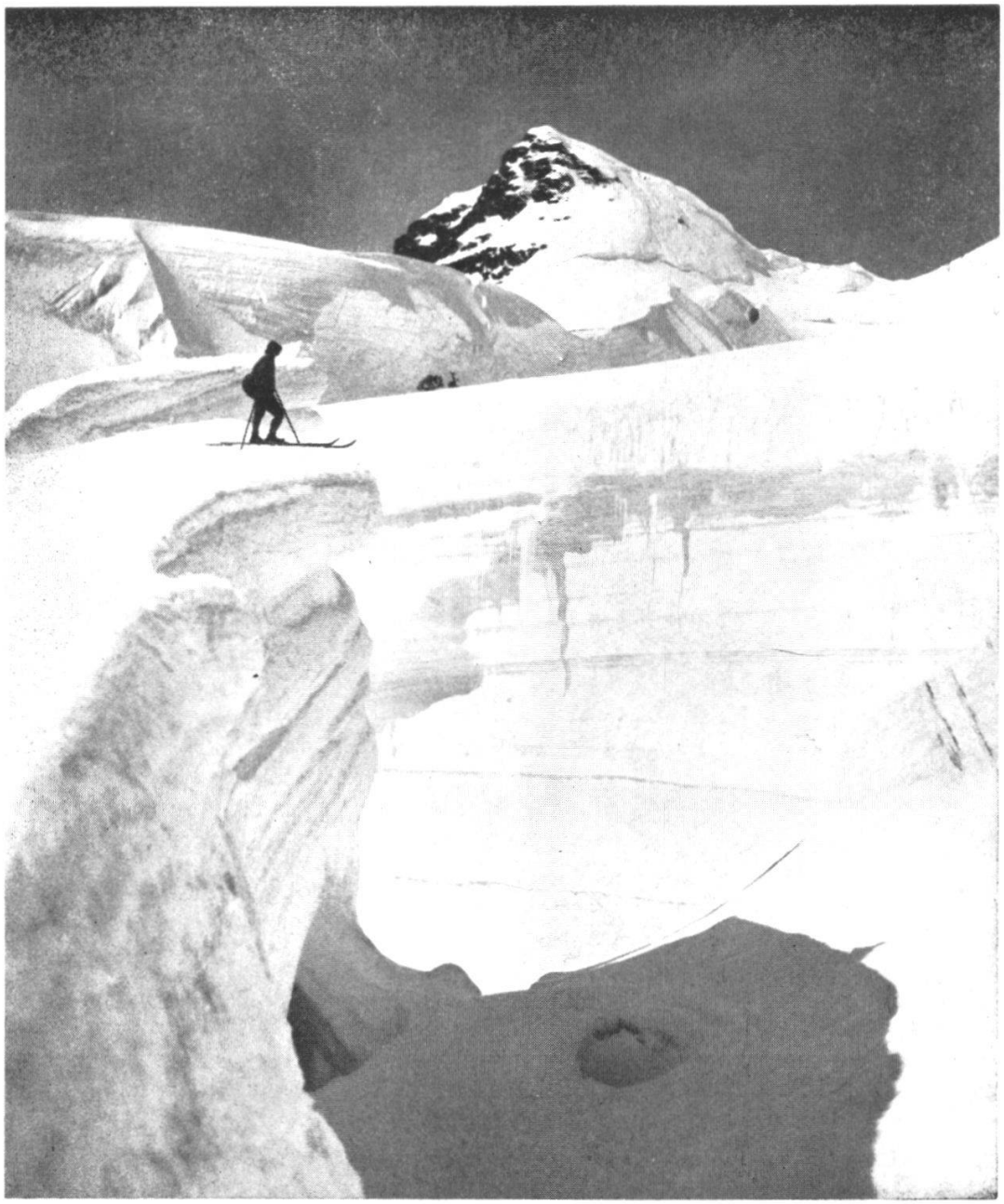

Bild 3. **Firnschichtung im Jungfraugebiet.**
Phot. J. Gabarell.

An der Wand einer breiten und tiefen Firnspalte bemerkt man die regelmässige Aufeinanderlagerung mächtiger Firnschichten, die durch dünne Eis- und Staublagen voneinander getrennt sind. Mehrere Firnschichten sind zu einer Hauptschicht vereinigt, die offenbar der Summe jährlichen Schneefalles entspricht.

Bild 4. **Verwitterung und Bergschrund am Piz Zupo.**
Phot. Wehrli, Kilchberg.

Bild 5. **Bogenförmige Streifung auf der Zunge des Triftgletschers (Kt. Bern).**
Phot. Aufnahme von H. Mettler.

von einer Schmutzbänderung sprechen. Die mineralischen Beimengungen vertreten hierbei die Stelle der Luftlinien und Flächen und sind, wie diese, unmittelbar von luftarmem, blauem Eise umgeben, während die Lagen der weiteren Umgebung dazwischen luftreicher und dadurch weisser sind. Die Schmutzbeimengungen können schon ursprünglich in bestimmten Flächen geordnet gewesen sein und würden dann jener Klasse von blauen Eislagen entsprechen, welche wir oben als Schichten kennzeichneten; sie können aber auch nachträglich durch innere Vorgänge umgeordnet worden sein und würden dann den blauen Bändern entsprechen. Das Studium von Uebergangsformen hat hier die gleiche Bedeutung wie oben, insbesondere in Verbindung mit Staubhorizonten der Oberfläche, aus welchen eine Schmutzschichtung entstehen kann, sowie mit der Grundmoräne, in welcher die Schmutzbänderung, die ihrerseits aus der Schichtung hervorgeht, schliesslich verläuft."

In diesen Ausführungen wird bereits eine sehr wichtige Frage angedeutet:

5. Der Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung.

Die meisten der früheren Forscher — TYNDALL, FORBES, HEIM, FOREL u. a. — haben die Blaublätterstruktur und die Schmutzbänderung als Eigentümlichkeiten der Gletscherzunge angesehen, wo erstere infolge des anhaltenden Druckes in Verbindung mit Regelation entstanden sein sollte; namentlich sei der Druck unterhalb eines Gletschersturzes sehr beträchtlich und müsse hier bedeutende Veränderungen des sich allmählich aus dem Firn in Eis umwandelnden Gletscherkörpers bewirken. Mit dem Auftreten von Gletscherstürzen wird auch die Bildung der Schmutzbänderung, wie wir bereits gehört haben, in Beziehung gebracht.

Dagegen hat schon L. AGASSIZ bei seinen Untersuchungen auf dem Unteraargletscher darauf hingewiesen, dass wahrscheinlich ein Zusammenhang bestehe zwischen der Schichtung des Firns und der Blaublätterstruktur oder Bänderung der Gletscherzunge. Diese Auffassung wird von den meisten jüngeren Gletscherforschern wie S. FINSTERWALDER, BLUEMCKE, H. CRAMMER, H. HESS, F. REID, E. BRUECKNER, E. v. DRYGALSKI u. a. geteilt.[1]) So sagt H. HESS hierüber Folgendes (Lit. 8):

---

[1]) Eigentümlicherweise vertritt einer der jüngsten Gletscherforscher, H. PHILIPP, die Ansicht, dass Schichtung und Bänderung nichts mit

An mehreren Gletschern wurde der Zusammenhang zwischen der Firnschichtung und der in der Zunge als Bänderung oder auch Blaublätterstruktur vorhandenen Struktur zu ergründen versucht. Es ist fast allgemeine Uebereinstimmung in der Ansicht, dass die Bänderung, d. h. die abwechselnde Folge von löffelförmigen Lagen blauen, luftfreien und weissen, lufthaltigen Eises der Gletscherzunge durch die Deformation der Firnschichten entsteht, welche diese während des Transportes im Gletscherbett erfahren müssen. Am Fornogletscher (Maloja) konnte die allmähliche Umformung der horizontalen Firnschichten in die der Gestalt des Gletscherbettes angepassten Löffellagen der Gletscherzunge gut verfolgt werden.

Gleiche Beobachtungen hat H. CRAMMER an mehreren ostalpinen Gletschern gemacht. Der Vorgang der Umwandlung des Firnschnees zu Eis lässt sich wie folgt erklären:

Die von jüngeren Schichten bedeckten Schneelagen, die durch Staub und eine infolge oberflächlicher Abschmelzung entstandene Eiskruste von einander getrennt werden, erleiden durch anhaltende Pressung eine allmähliche Veränderung aus Firn zu Eis. Sie äussert sich in erster Linie im Auspressen von Luft und in der Ueberführung der Schneekristalle in Eiskörner. Die Körner einer und derselben Schicht greifen in einander über, aber nie über die Schicht hinaus in eine andere. Die Verdrängung der Luft geht nicht gleichmässig vor sich: Mächtige Schneeschichten sind stets luftreicher als dünne Lagen, bei denen durch oberflächliches Schmelzen schon ein Teil des Schnees in Eis umgewandelt worden ist. Infolge des anhaltenden, jahrelangen Druckes werden die an Luftblasen stets ärmeren Schichten immer dünner und erscheinen schliesslich in der Gletscherzunge als mehr oder weniger blaue Blätter, von denen die einen durch Staub und andere mineralische Beimengungen verunreinigt, daher grau sind, die andern klar und staubfrei erscheinen.

Da jedoch unterhalb der Schneegrenze eine sehr beträchtliche Abschmelzung erfolgt, so besteht die Gletscherzunge, je näher wir

---

einander zu tun hätten, dass sie vielmehr beide als Folgeerscheinungen der Bewegungsvorgänge des Gletschers anzusehen seien (Lit. 13 und 14). PHILIPP verneint also auch die ganz allgemein festgestellte echte Schichtung des Firns, wie sie infolge der verschiedenen Schneefälle im Hochgebirge entsteht, indem sich in den schneefreien Zeiten durch Schmelzung eine Eiskruste bildet und sich Staub darüber ablagert. Die Ausführungen PHILIPP's, die sich teilweise auf Beobachtungen im Gebiet des Unteraargletschers und des Gr. Aletschgletschers stützen, sind keineswegs überzeugend.

dem Gletscherende sind, aus immer älteren Schichten oder Blättern, und diese weisen infolge der Bewegung am oder nahe dem Grunde des Gletschers ziemlich viel Schutt auf. Sie liegen zudem nicht horizontal zur Grundfläche, sondern fallen schief gletscherwärts ein.

Es ergibt sich somit in der Gletscherzunge auch ein Zusammenhang zwischen Struktur und Bewegung. Nach FINSTERWALDER und HESS bewegen sich die einzelnen Teile des Gletschers, je nach ihrer Lage zur gesamten Gletschermasse zwar verschieden schnell, aber doch stets parallel zum Untergrund. Dabei geht an einzelnen Stellen die Bewegung entsprechend den Schichtflächen vor sich. Wenn obere Teile über untere Schichten rascher hinweggleiten, so kommt es zur sog. Abscherung, was sich in der Zunge an deutlich wahrnehmbaren, aus Schutt bestehenden Querstreifen zu erkennen gibt.[1])

Es ist nun denkbar, dass solche durch Abscherung entstandene Querstreifen eine Art von Schmutzbändern hervorrufen können. Allein es wäre wohl zu weit gegangen, wollte man die eingangs beschriebene, in auffälliger Regelmässigkeit auftretende Erscheinung der Ogiven nur auf den Vorgang der Abscherung zurückführen.

Für die hier in Frage stehenden Schmutzbänder sind drei Merkmale kennzeichnend:

1. die Uebereinstimmung ihrer Lage mit der Struktur der Gletscherzunge, der Blaublätterstruktur;
2. die Regelmässigkeit ihrer Anordnung auf der Gletscherzunge, d. h. der regelmässige Wechsel von dunklen schmäleren Streifen mit breiteren Streifen helleren, nicht verunreinigten Eises;
3. ihr Auftreten auf einzelnen, meist durch besondere orographische Verhältnisse charakterisierte Gletscher.

Aus der Erörterung dieser wesentlichen Merkmale gelangen wir zu Schlüssen über die mutmassliche Bildung der Ogiven.

Was den ersten Punkt anbetrifft, so ist zu bemerken, dass H. HESS (Lit. 7, p. 169) das Zusammenfallen der Ogiven oder

---

[1]) H. PHILIPP stellte solche Abscherungserscheinungen an verschiedenen Gletschern fest, darunter eine von grösserer Ausdehnung am Unteraargletscher (Lit. 14, p. 45); er fand in dem Schutt der Abscherungsfläche Moräne mit gescheuerten Geschieben, und er glaubt, dass die Schrammung und Scheuerung der Geschiebe auf den Abscherungsvorgang zurückzuführen sei. Demgegenüber darf darauf hingewiesen werden, dass es sich hier wohl eher um ein Uebereinandergleiten von stark mit Grundmoräne durchsetzten Blättern handeln dürfte, wie solche am Grunde und gegen das Ende des Gletschers ja sehr häufig sind.

Schmutzbänder mit der Bänderung oder Blätterung der Gletscherzunge betont hat.[1])

Ferner ist hinsichtlich der Entstehung der Ogiven wesentlich der Umstand, dass die blauen Blätter mit den Staub führenden Blättern übereinstimmen; in einigen Gletschern finden sich nur blaue, aus kompaktem Eis zusammengesetzte Blätter, die mit helleren, luftreichen Blättern wechsellagern; bei andern Gletschern weisen die mit den weissen Bändern wechsellagernden blauen Blätter auch Verunreinigungen auf, die als Schmutzbänder erscheinen. So sagt H. PHILIPP, dass durch Beimengung von feinem Schlamm und Sand die Färbung einer blauen Lamelle grau werde und bei Anreicherung des Fremdmaterials die blauen Bänder zu ausgesprochenen Schmutzbändern, den „dirt bands" von FORBES werden (Lit. 14, p. 468). Dass letztere tatsächlich nichts anderes sind als die Blaublätter, hat DRYGALSKI scharf betont.

Die zweite Eigentümlichkeit, der regelmässige Wechsel von Schuttbändern mit Streifen helleren, nicht verunreinigten Eises, führt uns auf den Gedanken, dass die Staub- bezw. Schuttüberlagerung nicht erst in der Gletscherzunge, sondern bereits im Firngebiet von statten geht und dass hier abwechslungsweise Serien von Schneeschichten ohne und Schichtenserien mit Verunreinigung entstehen. Dabei haben wir uns die reinen Schichten auch als die in der Regel mächtigeren vorzustellen, aus denen in der Gletscherzunge die dickeren, reinen und hellen, d. h. luftreichen Blätter hervorgehen, während die von Staub bedeckten, weniger mächtigen Firnschichten die blauen oder dunklen, dünneren Blätter erzeugen.

Der regelmässige Wechsel dieser verschiedenen Schichtenserien kann offenbar nur dem jahreszeitlichen Wechsel von Winter- und Sommerschneefällen zugeschrieben werden. Naturgemäss fällt, entsprechend der grossen Höhe des Gebirges und der daraus hervorgehenden starken Abkühlung der feuchten Winde und bei deren Häufigkeit in den Alpen (als Folge der häufigen nördlichen Zyklonen) sowohl in den Sommermonaten wie auch während des Winters Schnee. Nach einer freundlichen Mitteilung eines langjährigen Beobachters

---

[1]) Dieser Gedanke ist bereits allgemein in die Lehrbücher übergegangen; so drückt sich F. MACHATSCHEK in Supans Grundzügen der Phys. Erdkunde (7. Aufl., Bd. I, 445) wie folgt aus: „Die Ogiven . . . sind nichts anderes als das Ausstreichen der einzelnen Blätter." In ähnlicher Weise äussert sich auch A. PHILIPPSON, Grundzüge der Allg. Geographie, II. Bd., S. 210.

der Schnee- und Gletscherverhältnisse der Schweizer Alpen, des Hrn. R. STREIFF-BECKER, sollen im Herbst und Frühjahr die grössten Niederschläge fallen.[1]) Wesentlich sind hierbei zwei Faktoren, erstens dass bei den mittleren tiefen Temperaturen von dem im Vorwinter gefallenen Schnee sehr viel liegen bleibt und zweitens, dass die über den Firn aufragenden Felshänge entweder überschneit oder doch gefroren sind. Ueber die winterlichen Niederschläge wurden seit Jahren an verschiedenen Punkten der Alpen Messungen gemacht, worüber das Jahrbuch des S. A. C. regelmässig Bericht erstattet. Aus 9-jährigen Beobachtungen im Drancetal und im Engadin bei Bevers ergab sich, dass der Schneefall hauptsächlich im Winter stattfindet und die Schneeschicht ihr Maximum im März erreicht.[2])

---

[1]) Hrn. R. STREIFF-BECKER verdanke ich die folgenden wertvollen Angaben: „In Höhen über 3000 m fallen die grössten Niederschläge im Spätherbst, hauptsächlich aber im April, Mai und Juni (siehe Jungfraujoch u. a. Messungen). In den eigentlichen Wintermonaten sind sie am schwächsten, unter anderen Ursachen weil auch das Condensationsniveau tiefer liegt und Anticyclonen häufig sind. In den Höhen über 3000 bis 3500 m, also in den eigentlichen Nährgebieten der grossen Gletscher, ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter nicht sehr bedeutend.

Als Mitglied der Zürcher Gletscherkommission besorge ich die alljährliche Aufnahme im Claridengebiet und hie und da auch im Silvrettagebiet. Seit einer Reihe von Jahren habe ich durch ausgehobene Schächte an deren Wänden das Profil der Firnschichtung aufgenommen und mit den Witterungsberichten der Schweiz. Meteorologischen Centralanstalt verglichen. Dabei zeigte es sich, dass jeweilen helle, luftreiche Firnschichten verschiedener Mächtigkeiten und vom spez. Gew. 0,4 bis 0,5 abwechseln mit ½ bis 2 cm dicken Hartschichten von dunklem Eis vom spez. Gew. 0,7 bis 0,9, wobei die weissen Schichten den Perioden der Akkumulation entsprechen, die dunklen, dünnen Hartschichten den Verdichtungs- und Ablationsperioden angehören müssen. Wir streuen in jedem Spätherbst Ocker auf bestimmte Stellen und erhalten durch Erbohren dieses Ockers die Mächtigkeit des Firnzuwachses pro Messungsjahr. Was im Spätsommer vom Schnee der verflossenen Winterjahrhälfte übrig bleibt, sind die Schichten des Vorwinters, während diejenigen des Nachwinters naturgemäss zuerst der Ablation verfallen. Die Schichtlinien im Firn, seien sie in Firnklüften, oder im Schacht, oder oberflächlich an ausapernden Stellen sichtbar (wo sie wie Höhenkurven aussehen), sind nicht Jahresschichten, sondern sind die Schnitte durch Oberflächen längerer Trocken (Anticyclonen)- resp. Ablationsperioden (warme Front von Cyclonen). Das Auftreten dieser Perioden ist nicht streng an nur eine Jahreszeit geknüpft, und ihre Anzahl variiert in den verschiedenen Jahren. Man könnte vielleicht diese Linien „Wetterlinien" oder „Wetterschichten" nennen."

[2]) Jahrbuch des Schweizer Alpenklub 1913, p. 24.

Im Sommer — darunter ist die drei- bis viermonatliche Ablationsperiode Juni bis September verstanden — erscheinen die klimatischen Verhältnisse des Hochgebirges wesentlich anders als im sehr viel längeren Winter. Sie sind durch häufigen Wechsel von hellen Tagen mit hoher Wärme bei direkter Sonnenstrahlung und von kühlen, niederschlagsreichen Tagen mit Regen- und Schneefällen gekennzeichnet. Naturgemäss fällt jetzt durchschnittlich weniger Schnee als im Winter. Oberhalb der Schneegrenze bleibt wohl stets noch etwas von den sommerlichen Schneefällen liegen; aber dieser Schnee ist beim Schmelzen der obern Schichten von Wasser durchtränkt, das gefriert und die dünne Schneeschicht in Eis umwandelt. Folgen nun mehrere helle, warme Tage, so bildet sich an den aperen Felswänden feiner Verwitterungsschutt, Staub; dieser wird von den Winden auf den Firn getragen, sodass dieser nach einiger Zeit eine ins Graue gehende Farbe erhält.[1]) Diese Vorzüge können sich im Laufe des Sommers mehrmals wiederholen. So ist die Firnbildung im Sommerhalbjahr durch geringere Mächtigkeit, durch stärkeres Schmelzen und häufig wiederholte Eisbildung und durch häufige Zufuhr von Staub gekennzeichnet. Dazu kommt auch die Bildung von gröberem Schutt aus den die Firnmulde umgebenden, apern Felswänden, die bei dem häufigen Temperaturwechsel starke Verwitterung erleiden (Bild 4). Damit stimmt die Tatsache überein, dass bei mehreren Gletschern die Schmutzbänder der untersten, dem Gletscherende am nächsten liegenden Eisschichten nicht nur Sand und Staub, sondern auch grössere Gesteinstrümmer aufweisen. Teils rühren sie, infolge von Abscherungsvorgängen, wie schon dargelegt wurde, aus der Grundmoräne her; teils stammen sie aus Schutt, der sich durch Verwitterung im Hintergrund der Firnmulde an der umgebenden Felswand gebildet hat.

Beispiele von Schuttbildung im Hintergrund oder an der Seite einer von aperen, aus kristallinen Schiefern bestehenden Felswänden umgebenen Firnmulde wurden vom Verfasser u. a. an der Ostseite des Muttengletschers (St. Gotthardgruppe) beobachtet; eine entspre-

---

[1]) Dass es in jenen Gebieten zu einer lebhaften Staubbildung kommt, geht aus einer Angabe von A. Heim (Lit. 4, p. 3) hervor, wonach bei der sehr starken Erhitzung der Felsen in 3000—4000 m oft 1 cm mächtiges staubig verwittertes Gestein angetroffen werde.

Durch die heftigen Föhnwinde wird, wie mir H. R. Streiff-Becker bestätigt, in jenen Höhen die Firnoberfläche sogar mit kleinen Steinchen überschüttet.

chende Erscheinung zeigt auch das Bild 4 vom Gipfelhang des Piz Zupo in der Berninagruppe.

Solche lokale Schuttbildung im Hintergrund einer schmalen Firnmulde vermag offenbar die eigenartige Gestaltung von Ogiven hervorzurufen, wie sie auf Abb. 7 bei dem Ogivensystem 2 des Aletschgletschers erscheint. Dazu kommt hier noch eine allgemeine, wenn auch nicht sehr lebhafte Staubbildung, wodurch die Ogiven der anderen Gletscherzuflüsse hervorgerufen werden.

Von besonderer Bedeutung für die Bildung der Schmutzbänder auf den Gletschern erscheint die orographische und geologische Beschaffenheit ihrer Firnumrahmung.

Wo die Firnmulden hoch liegen und sich der Firn über sanftere Hänge hinaufzieht oder sogar gerundete Gipfel überdeckt, wo also auch im Sommer nur kleine Felsflächen aper werden, da bleibt der Firn verhältnismässig rein; er wird nur wenig von Staub bedeckt, und in der Gletscherzunge sind dunkle, durch Staublagen oder anderen Schutt gezeichnete Ogiven fast gar nicht vorhanden.

Dort jedoch, wo die Firnmulden von hohen, im Sommer aperen Felswänden umgeben sind, die zudem aus leicht verwitterbarem Gestein, wie kristalline Schiefer, bestehen, wo infolgedessen im Sommerhalbjahr eine lebhafte Verwitterungstätigkeit einsetzt und die Winde den Staub auf die Firnfelder tragen, bilden sich mehrmals auf neuen, aber wenig mächtigen Schnee- und Firnschichten Staublagen, die mit dem Schmelzwasser in die Oberfläche einsickern und dann mit ihm gefrieren. So ist das Vorkommen von feinem, in den Haarröhrchen verteilten Staub im Innern von blauen Blättern, die aus Eiskristallen, aus Gletscherkörnern bestehen, zu erklären. Ausserordentlich begünstigt für die Bildung solcher dunkler und breiter Ogiven ist das „Mer de Glace", das, wie jedes Bild zeigt, eine hoch aufragende, im Sommer den Temperaturschwankungen stark ausgesetzte, aus kristallinem Gestein bestehende Felsumrahmung aufweist. Ganz anders liegen die orographisch-morphologischen Verhältnisse beim benachbarten Bossongletscher, dessen Firnmantel sich bis über den gerundeten Gipfel des Mont Blanc hinauf erstreckt und diesen bedeckt. Daher fehlt hier auch trotz des typischen Gletschersturzes die Erscheinung der Ogiven.

Selbst bei ein und demselben zusammengesetzten Gletscher können in den verschiedenen Firnkesseln die orographischen Verhältnisse recht verschieden sein. Dies ist beispielsweise beim Gr. Aletschgletscher

der Fall; beim Ewig Schneefeld fehlt die hohe Felsumrahmung, bei westlichen Firnmulden ist sie vorhanden.

Da nun nach diesen Ausführungen die dunklen, vorwiegend aus blauen Blättern bestehenden und häufig von Staub gefärbten Lagen der Gletscherzungen wohl aus den im Sommerhalbjahr gefallenen Firnschichten hervorgehen, die weisslichen, luftreichen, meist dickeren Bänder dagegen den im Winter gefallenen mächtigeren Schneeschichten entsprechen, so stellt uns das Gesamtbild einer von Ogiven gequerten Gletscheroberfläche gleichzeitig eine ganze Serie von Jahresschichten dar, vergleichbar den Jahresringen eines Baumes, die sich durch ein verschiedenes Wachstum während der verschiedenen Jahre und Jahreszeiten voneinander unterscheiden. Es liegt auf der Hand, dass ein Gletscher aus den schneeigen Niederschlägen zahlreicher Jahre entstanden ist und dass die Form und Mächtigkeit dieser Niederschläge jährliche, aber noch viel besser ausgeprägte jahreszeitliche Unterschiede aufweisen müssen, die in den Strukturverhältnissen zum Ausdruck gelangen. Demnach lässt sich aus der Anzahl von Ogiven die Anzahl der Sommer oder allgemein das Alter einer Gletscherzunge herauslesen. Am Mer de Glace konnten gegen 40, am Unteraargletscher bedeutend mehr Ogiven festgestellt werden.

Die hier vorgebrachte Ansicht über die Entstehung der sog. Schmutzbänderung der Gletscher dürfte zur Klärung einiger Fragen über das Wesen der Gletscher beitragen. Es bleibt abzuwarten, ob sie durch weitere Beobachtungen bestätigt oder widerlegt wird.

Literatur.

1. J. Forbes, Travels through the Alps of Savoy etc. Edinburgh 1843.
2. L. Agassiz, Nouvelles Etudes et Expériences sur les Glaciers actuels etc. Paris 1847.
3. J. Tyndall, Les Glaciers et les transformations de l'eau etc. Paris 1876, 2me édit.
4. A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.
5. S. Finsterwalder, Der Vernagtferner. Wiss. Ergänzungsh. zur Zeit. A. V. Graz 1897.
6. H. Hess, Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. Stuttgart 1902.
7. H. Hess, Die Gletscher. Braunschweig 1904.
8. H. Hess, Fortschritte der Gletscherkunde. Gaea. 1909, Heft 10, Stuttgart.
9. H. Crammer, Struktur und Bewegung des Gletschereises. Mitt. Geogr. Gesellschaft, München, IV. Band, 1909.
10. W. H. Sherzer, Glaciers of the Canadian Rockies and Selkirks. Smithson. Contrib. of Know. Washington 1907.
11. E. v. Drygalski, Beobachtungen an Gletschern und Inlandeis. Lehrbuch prakt. Geologie Keilhack, 3. Auflage 1916. Stuttgart.
12. G. Merzbacher, Die Gebirgsgruppe des Bogdo-Ola im östl. Tian-Schan. Abh. d. kg. Bayr. Akad. der Wiss. Math.-phys. Kl., 27. Bd. München 1916.
13. H. Philipp, Untersuchungen über Gletscherstruktur und Gletscherbewegung. Geol. Rundschau Bd. V. Leipzig 1914.
14. H. Philipp, Geologische Untersuchungen über den Mechanismus der Gletscherbewegung und die Entstehung der Gletschertextur. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. Beil. Bd. 43. Stuttgart 1920.