

- [8] Hoinkes, H.: Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern II, Geograf. Ann. 35, 116, 1953.
- [9] —: Über glazial-meteorologische Arbeiten im Sommer 1952, Anzeiger der Akademie der Wissenschaften, Wien, Math.-naturw. Klasse, Nr. 15, Jg. 1954.
- [10] Rivolier, J.: Expéditions polaires Françaises, Rapports Préliminaires 24, 43, Paris 1954.

Eingelangt am 23. V. 1956.

Anschrift des Verfassers: Dr. W. Ambach, Physikalisches Institut der Universität, Innsbruck, Schöpfstraße 41.

Die Bedeutung des aufgefrorenen Eises (superimposed ice) für die Entstehung von Kryokonitlöchern *

Von H. Hoinkes, Innsbruck

Mit 7 Bildern (Tafel XXXI, XXXII)

I.

Es ist das Verdienst von O. Steinböck (7), auf Grund eigener Beobachtungen und umfassender Literaturstudien darauf hingewiesen zu haben, daß man nach ihrem Aussehen zwei Typen von Kryokonitlöchern unterscheiden muß. Senkrechte schmale und tiefe, scharfrandige Röhren bilden den nach Steinböck's Eindruck vorwiegend in hohen Breiten vorkommenden ersten oder polaren Typ, unregelmäßig gestaltete flachere Hohlformen mit einer oft deutlichen Orientierung (Mittagslöcher mit Basis in Ost-West-Richtung) den mehr in niedrigen Breiten, besonders aus den Alpen bekannten zweiten oder alpinen Typ. Das Ergebnis der von A. Wagner daraufhin veröffentlichten Überlegungen „zur Entstehung von Kryokonitlöchern“ (11) lautete jedoch: „Wenn in hohen Breiten die zylindrischen Kryokonitlöcher anscheinend viel häufiger sind als die muldenförmigen, so kann dies nicht auf den niedrigen Sonnenstand zurückgeführt werden...“ wie Steinböck vermutet hatte. Leider verfügen wir auch heute noch nicht über erschöpfende Angaben, die Schwächung der Strahlung bei ihrem Eindringen in das Gletschereis betreffend; die bisherigen, an Wassereis und Schnee gewonnenen Kenntnisse sowie die ersten Ergebnisse diesbezüglicher Messungen, die mein Mitarbeiter W. Ambach (1) im Sommer 1955 am Zungeneis des Hintereisferners im Ötztal begonnen hat, zeigen jedoch, daß die Ansicht A. Wagners von der Entstehung der Kryokonitlöcher ohne Zweifel zu Recht besteht und daß andere Gründe für das unbestreitbare Vorkommen der zwei verschiedenen Typen von Kryokonitlöchern gesucht werden müssen.

Die sehr sorgfältigen Beobachtungen von Kryokonitlöchern, die H. Tollner (10) auf Jan Mayen, Spitzbergen sowie in den Alpen, zugleich mit systematischen Versuchen über deren Bildung durchgeführt hatte, haben bald ergeben, daß „der wichtigste Umstand für das Entstehen der geometrisch exakt ausgebildeten Formen... die Beschaffenheit des Gletschereises“ ist, denn „nur dort, wo die Eisschichten lotrecht in die Tiefe fielen und die feine Haarkluftstruktur vorhanden war, ließen sich wohl ausgebildete Kryokonitlöcher herstellen. Auf jedem anderen Eis bildet der Kryokonit keine lotrechten Röhren und Wannen, sondern

* Herrn Univ.-Prof. Dr. R. v. Klebelsberg zum 70. Geburtstag gewidmet.

formenunschöne und wenig tiefe unregelmäßige Schmelzgruben". Unmittelbar nach dem Abschmelzen des Schnees auf dem Nordenskiöldgletscher beobachtete H. Tollner, daß die gesamte ebene Eisoberfläche ein poröses „schneeartiges" Aussehen hatte; das Gletschereis war von feinen lotrechten „Haarklüften" durchsetzt. Diese Eisbeschaffenheit „bedeutet eine enorme Schwächung des Eises gegenüber dem Einschmelzen des Kryokonits", fördert also die relative Vertiefung der Kryokonitlöcher auch noch in Tiefen, wo die schräg durch das Eis hindurchdringende Strahlungsintensität nach unseren heutigen Kenntnissen dazu nicht mehr ausreichend wäre. Die leider nicht sehr bekannt gewordene schöne Arbeit Tollners schließt mit dem bemerkenswerten Hinweis auf eine Zoneneinteilung, die auf der Oberfläche des Nordenskiöldgletschers ausgeprägt war (und die wahrscheinlich allgemeinere Bedeutung hat): ausgehend vom Firngebiet folgte gletscherabwärts eine fast ebene Eisoberfläche, in die zahlreiche regelmäßig gestaltete Kryokonitlöcher eingetieft waren, daran schloß sich eine Zone mit hammelrückenartigen weißen Eiswülsten, die aus dunklem Eis aufragten und die ihre größte relative Höhe einige Wochen nach der Schneeschmelze erreichten. Schließlich folgte das stark verschmutzte Eis der Zunge ohne wesentliche Gliederung der Oberfläche.

II.

Im Zuge von Wärmehaushaltsstudien, die wir dank einer großzügigen Subvention der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Sommer 1955 am Hintereisferner in den Ötztaler Alpen durchführen konnten, wurden auch Beobachtungen über die Oberflächenformen des Gletschers gesammelt. Begünstigt waren diese durch den Umstand, daß der Gletscher, angefangen von der ersten Ausaperung im Frühjahr bis zum Wiedereinschneien im Herbst im Abstand von drei bis vier Wochen, zwischen 20. Juli und 9. August jedoch täglich in seiner ganzen Länge aus dem Firngebiet bis zur Zunge begangen werden mußte. Dabei konnte wieder eindeutig bestätigt werden, daß scharfrandige, kreisrunde Kryokonitlöcher zahlreich nur in der Nähe der temporären Schneegrenze zu finden waren, wo das Eis streckenweise fast eben und sehr weiß war. Tiefer unten, im dunkleren und stärker verschmutzten Eis der Zunge waren nur wenige unregelmäßig geformte Schmelzwannen vorhanden, einige davon mit den charakteristischen Merkmalen der Mittaglöcher. Scharfrandige Kryokonitlöcher mit senkrechten Wänden, deren Tiefe den Durchmesser wesentlich übertraf, kamen auf dem Eis der Zunge nicht mehr vor.

Die Zone mit den gut entwickelten Kryokonitlöchern wandert im Laufe des Sommers offenbar über den Gletscher. Zwischen den Pegelstangen 6 und 8 bei etwa 2700 m Höhe lag am 30. Juni 1955 noch zwischen 60 und 100 cm Altschnee, der am 20. Juli bis auf geringe Reste abgeschmolzen war. Am 23. und 24. Juli wurden dort in der fast ebenen, sehr weiß erscheinenden Gletscheroberfläche in großer Zahl runde Kryokonitlöcher von 10 bis 15 cm (maximal 18 cm) Tiefe mit Durchmessern von

0,1 bis 4 cm (maximal 6 cm) beobachtet. Die Abbildungen 1 und 2 geben charakteristische Proben von der Feinstruktur der jungen Gletscheroberfläche knapp unterhalb der temporären Schneegrenze, während Abbildung 3 einen Überblick über einen größeren Teil derselben bietet; sie ist auf weite Strecken auffallend flach und ungestört. Abbildung 4 zeigt zum Vergleich Mittaglöcher in der älteren, d. h. schon längere Zeit vom Winterschnee entblößten Gletscheroberfläche, die vor allem wesentlich dunkler und kompakter erscheint. Am 2. August waren die Kryokonitlöcher in der gleichen Gegend 15 bis 20 cm (maximal 27 cm) tief, am 7. August wurden Tiefen von 25 bis 30 cm (maximal 37 cm) gemessen. Die Gletscheroberfläche war nun nicht mehr so glatt, wie auf Abbildung 3, sondern vielfach tief zertalt, es begannen sich die sogenannten Hammelrücken zu entwickeln; die schönsten Kryokonitlöcher waren im weißen Eis der Rücken zu finden und nicht im dunkleren der Täler, die zum Teil von Schmelzwasserbächen durchflossen wurden. Am 9. September war die Gletscheroberfläche zwischen den Pegeln 6 und 8 wesentlich schmutziger; Kryokonit war noch vielfach in flachen Schmelzwannen vorhanden, doch gab es kaum mehr ausgeprägte Kryokonitlöcher. Diese waren erst viel höher oben am Gletscher, in der Nähe der Schneegrenze zu finden, mit der sie offenbar im Laufe des August gletscheraufwärts gewandert waren. Herr Prof. Dr. R. Finsterwalder hat mir freundlich mitgeteilt, daß nach seinen Beobachtungen auch auf den Gletschern des Pamir die Kryokonitlöcher der sich im Laufe des Sommers zurückziehenden Schneegrenze folgen.

III.

Das Eis, das nach dem Abschmelzen der Winterschneedecke im Frühsommer zum Vorschein kommt, ist nicht die Gletscheroberfläche aus dem Spätherbst des Vorjahres. Das an der Oberfläche der Schneedecke im Frühjahr gebildete Schmelzwasser sickert in diese ein und friert wieder, sobald es auf Schneeschichten trifft, deren Temperatur niedriger als Null Grad ist. Durch die dabei freiwerdende Schmelzwärme wird ein weiterer Teil der Schneedecke auf Schmelztemperatur gebracht; neuerdings von der Oberfläche kommendes Schmelzwasser kann nun tiefer einsickern, bis es wieder friert. Durch diesen Vorgang werden nicht nur die charakteristischen Eislagen und -strünke in der Frühjahrschneedecke gebildet, sondern es wird auch der Winterfrost aus der Schneedecke beseitigt, so daß das Schmelzwasser bis zu deren Grund versickern kann. Dort trifft es auf die noch vom Frühwinter her bis zu einer gewissen Tiefe auf Temperaturen unter Null Grad abgekühlte alte Gletscheroberfläche und muß auf ihr wieder gefrieren, und zwar in solcher Menge, daß durch die dabei freiwerdende Schmelzwärme die Eistemperatur auf Null Grad gebracht wird. Dieses aus der Winterschneedecke, d. h. aus Altschnee und Schmelzwasser gebildete Eis wird im englischen Schrifttum als „superimposed ice" bezeichnet (2); ich möchte vorschlagen, es im Deutschen „aufgefrorenes Eis" zu nennen, da es auf der Gletscheroberfläche friert.

Das „aufgefrorene Eis“ entsteht also anders, als die in der Literatur so genannten „Aufeisbildungen“ (5, 6), auf die mich Herr Prof. Dr. R. v. Klebelsberg freundlicherweise aufmerksam gemacht hat. Diese bilden sich im Vorfeld polarer oder zentralasiatischer Gletscher während des schneearmen Winters durch das Frieren der Gletscherbäche; dabei ist sicher eine Wärmeabgabe durch Ausstrahlung und Scheinleitung wesentlich beteiligt. In kleinerem Umfang findet man Aufeisbildungen auch im Bereich von Quellen während des Spätherbstes in den Alpen; hier gibt es auch am festen Erdboden echtes aufgefrorenes Eis, dessen Substanz aus der Winterschneedecke stammt, wenn dieser vor dem Einschneien bereits stark abgekühlt war. Zur Kennzeichnung dieses anderen Bildungsvorganges ist wohl die Einführung der neuen Bezeichnung „aufgefrorenes Eis“ gerechtfertigt. Je nach der Witterungsgeschichte des vorausgegangenen Spätherbstes und Winters, die den Frostbetrag im Gletscher bestimmt, wird eine verschieden mächtige Schicht aufgefrorenen Eises gebildet werden, deren Dicke bestimmt werden muß (im Frühjahr 1955 beobachteten wir am Hintereisferner etwa 10 bis 16 cm), wenn man keine Fehler bei der Berechnung des Eishaushaltes machen will. Darauf hat V. Schytt (9) erstmalig nach Erfahrungen im Kebnekajsegebiet hingewiesen; bei anderer Gelegenheit soll über die Bedeutung des aufgefrorenen Eises für den Massenhaushalt der Alpengletscher ausführlicher berichtet werden.

Die Grenze zwischen dem aufgefrorenen Eis und der alten Gletscheroberfläche ist in den meisten Fällen leicht an einem Schmutzhorizont zu erkennen, aber auch an einer Änderung der Eisstruktur. Im aufgefrorenen Eis finden sich zuweilen eindeutig orientierte, bis auf geringe Verzweigungen senkrecht stehende Ketten von länglich gedehnten Luftblasen als charakteristisches Merkmal, das zur Unterscheidung dienen kann. Abbildung 5 zeigt ein Stückchen aus der Unterseite der Schicht aufgefrorenen Eises, die in einer Dicke von 15 bis 16 cm unter 116 cm Altschnee am 30. Juli 1955 am Hintereisferner bei etwa 2950 m Höhe freigelegt wurde. Man erkennt deutlich die in das Eis verlaufenden parallelen Luftblasenketten mit gelegentlichen kurzen Verzweigungen besonders in der Mitte und im rechten Teil des Stückes. Abbildung 6 zeigt die gleiche Probe von der Seite, so wie sie der alten Gletscheroberfläche aufgelegt war; die Luftblasenketten stehen nun senkrecht, ein kleines schwarzes Steinchen (im Bild an der Spitze des Daumens) stammt von der alten Gletscheroberfläche.

Die Luftblasenketten geben offenbar die Richtung des Temperaturgradienten zur Zeit der Bildung des aufgefrorenen Eises an¹; leider

¹ Anm. bei der Korrektur: die gleiche Ansicht findet man in dem sehr gründlichen, dem Verfasser soeben bekannt gewordenen Werk von P. A. Šumskij, *Osnovy strukturnogo ledovedenija* (Grundlagen einer Gefügekunde des Eises), Moskau 1955, wie folgt ausgesprochen: „gelenkte Luftbläschen sind eine genauere und zuverlässigere Anzeige der Richtung des Wärmestromes, als die Orientierung der Eiskörner“.

konnten wir ohne Hilfsmittel nicht feststellen, ob das auch für die Hauptachsen der Kristalle zutrifft, was von vornherein unwahrscheinlich ist, da es sich ja um ein Gemisch aus bereits vorhandenen Altschneekörnern und wieder gefrorenem Schmelzwasser handelt. Bei den bekannten Kammeisbildungen fallen die Hauptachsen der Kristallite jedenfalls nicht mit den Stengelachsen (die grob betrachtet in Richtung des Temperaturgradienten liegen) zusammen, was jedoch von S. Steinemann (8) als anomale Wachstumsform bezeichnet wird. Bei Eisbildungen auf der Oberfläche stehender Gewässer ist es bekannt, daß die Hauptachsen der Kristalle senkrecht zur Oberfläche und damit in der Richtung des Temperaturgradienten liegen. Nach jeder klaren Nacht konnten wir beobachten, daß die Kryokonitlöcher oberflächlich zugefroren waren; wenn das Wasser während der Nacht nicht versickern konnte, war die Eisdecke häufig etwa 8 mm dick, durchsetzt von senkrecht zur Oberfläche stehenden, länglichen Luftblasen. Schöne Bilder solcher Luftblasenketten in See-Eisdecken hat W. A. Bentley (3) veröffentlicht; auch B. Brandt (4) erwähnt sie bei der Schilderung von Kryokonitlöchern auf dem Eis der Moldau. Es ist schließlich bekannt, daß wassergefüllte Höhlungen auf der Gletscheroberfläche, wenn das Eis sich im Spätherbst infolge seiner geringeren spezifischen Wärme und Dichte und wegen seiner höheren Wärmeleitfähigkeit rascher abkühlt, so zufrieren, daß die Kristallite radial, also ebenfalls in Richtung des Temperaturgradienten, von den Wänden her gegen die Mitte zu wachsen. Abbildung 7 zeigt als Beispiel dafür einen von den Seitenwänden her fast zugefrorenen alten Wasserlauf am Hintereisferner; auch hier findet man orientierte intra- oder interkristalline Lufteinschlüsse.

IV.

Sehr bald nachdem das aufgefrorene Eis durch Abschmelzen des Winterschnees für die Witterungseinflüsse zugänglich geworden ist, werden zahlreiche winzige Kanälchen sichtbar (Abb. 1), die es senkrecht durchsetzen; es sind die Luftblasenketten, die bei seiner Bildung angelegt worden sind. H. Tollner (10) hat das „poröse“ Aussehen der Eisoberfläche in Spitzbergen auch beobachtet und als „Haarkluftstruktur“ bezeichnet, ohne über die Ursachen dieser Struktur Angaben zu machen. Ohne Zweifel ist also das aufgefrorene Eis mit seiner dem Einschmelzen des Kryokonits überaus förderlichen Struktur der Hauptträger der runden, scharfrandigen, verhältnismäßig schmalen und tiefen Kryokonitlöcher¹. Da das aufgefrorene Eis auf den polaren Gletschern wegen ihres viel größeren Wärmeverlustes im Winter über größere Gebiete verbreitet und in wesentlich größerer Mächtigkeit auftritt, als auf alpinen Gletschern, ist es verständlich, daß auf polaren Gletschern und im polaren Schrift-

¹ Diese Ansicht wurde vom Verfasser erstmalig während des von Prof. R. Finsterwalder geleiteten Kurses für Hochgebirgsforschung in Obergurgl im September 1955 zur Diskussion gestellt. Vgl. diese Zeitschrift, Bd. III, Heft 2, S. 261.

tum die scharfrandigen, schmalen und tiefen Kryokonitlöcher dominieren. Ihre Tiefe nimmt gegen den Herbst zu ab, was auch für die Schichtdicke des aufgefrorenen Eises gilt. Wo dieses durch die Ablation gänzlich beseitigt werden kann, fehlen typische Kryokonitlöcher. So dürften die Berichte über das Vorkommen beider Arten von Kryokonitlöchern auf Gletschern der hohen Breiten als aus verschiedenen Jahreszeiten stammend zu verstehen sein. Auf den Gletschern der niedrigeren Breiten kann das aufgefrorene Eis wegen des ganz anderen Wärmehaushaltes keine große Mächtigkeit erreichen, es wird durch die Ablation rasch aufgezehrt. Die typischen Kryokonitlöcher sind daher hier als kurzlebige Bildungen stets nur in der Nähe der temporären Schneegrenze zu finden.

Freilich sind dadurch nicht alle Fragen restlos geklärt. Einige der Röhren haben am Grund zunächst keinen Kryokonit, was Tollner und Brandt auch erwähnen; nach einigen Tagen haben sich jedoch mehrere davon zu einem ganz normalen Kryokonitloch vereinigt. Auf Abbildung 1 sind in einzelnen Fällen noch Spuren der Vereinigung mehrerer kleiner zu einem größeren Loch zu erkennen. Durch welche Vorgänge die dabei stehenden scharfen Grate an der Innenwand beseitigt werden, so daß wieder annähernd ein kreisförmiger Querschnitt entsteht, ist noch nicht bekannt; vermutlich sind zunächst Luftzirkulationen wirksam, die einen erhöhten Wärmeübergang aus der Luft zum Eis gerade an den Kanten bewirken. Wenn die Löcher später völlig wassergefüllt sind, könnten Zirkulationen im Wasser ähnliche Wirkungen haben. In einem Fall konnte durch Aufhacken der Gletscheroberfläche festgestellt werden, daß mehrere kleine Kryokonitlöcher in einen gemeinsamen Hohlraum über einem offenbar alten, viel größeren Kryokonitloch mündeten. Ein etwa 10 bis 12 cm dickes, vielfach durchlöchertes Stück des aufgefrorenen Eises konnte von der alten Gletscheroberfläche abgehoben werden, die durch Absorption von Strahlung, die das aufgefrorene Eis durchsetzt hatte, bereits weiter eingeschmolzen war. Vielleicht ist dieser Vorgang verbreitet, denn es ist auffallend, daß sich offenbar Reste des aufgefrorenen Eises an einigen Stellen, z. B. auf den Hammelrücken, viel länger zu erhalten scheinen, als es nach der ursprünglichen Mächtigkeit dieser Schicht und nach der Ablation erwartet werden könnte. Es ist auch denkbar, daß in der Nähe der Firnlinie einige Jahre hindurch Schicht auf Schicht des aufgefrorenen Eises erhalten bleibt, so daß dort schließlich relativ mächtige Eislagen die charakteristische Schwächung durch die senkrecht zur Oberfläche orientierten Luftblasenkette aufzuweisen haben und damit prädestiniert für die Entwicklung tiefer Kryokonitlöcher sind. In dem sehr alten Zungeneis können derartige Strukturen dagegen kaum mehr vorhanden sein, weshalb dort echte Kryokonitlöcher überhaupt fehlen.

Zusammenfassung

Das aufgefrorene Eis entsteht im Frühjahr durch das Wiedergefrühen von Schmelzwasser aus der Winterschneedecke auf der noch kalten Gletscheroberfläche. Es ist durchsetzt von senkrecht zur Gletscheroberfläche, d. h. in Richtung des Temperaturgradienten zur Zeit seiner Bildung, orientierten Luftblasenkette. Diese besondere Struktur erleichtert das Einschmelzen des Kryokonits. Die scharfrandigen, zylindrischen Kryokonitlöcher, deren Tiefe ihren Durchmesser mehrfach übertrifft, bilden sich daher vorwiegend im aufgefrorenen Eis. Auf den Gletschern der Polargebiete ist das aufgefrorene Eis in größerer Mächtigkeit und Ausdehnung vorhanden, als auf den Gletschern der mittleren und niedrigen Breiten. Die zylindrischen scharfrandigen Kryokonitlöcher findet man daher verbreitet auf den Gletschern der Polargebiete, während sie auf den Gletschern der Alpen nur in der Nähe der temporären Schneegrenze vorkommen.

Summary

The importance of superimposed ice for the formation of cryoconite holes

Superimposed ice forms in spring by the refreezing of water originating from the winter snow cover on the cold glacier surface. It is pervaded by chains of air bubbles which are vertical to the glacier surface, i. e. orientated in the direction of the temperature gradient at the time of its formation. This particular structure facilitates the melting-in of the cryoconite. The sharp-edged cylindrical cryoconite holes, the depth of which is several times greater than their diameter, are therefore formed mainly in superimposed ice. On glaciers in polar regions superimposed ice is of greater thickness and extension than on glaciers in middle and low latitudes. Cylindrical sharp-edged cryoconite holes are therefore found in large quantities on the glaciers of polar regions, whereas in alpine glaciers they occur only in the vicinity of the temporary snow line.

Literaturverzeichnis

- [1] Ambach, W.: Über die Strahlungsdurchlässigkeit des Gletschereises. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. II, 164, 483, 1956.
- [2] Baird, P. D.: Method of nourishment of an ice cap in Baffin Island. Ass. Int. d'Hydrologie, Publ. No. 32, Tome I, 194, Ass. Gén. Bruxelles 1951, auch Journal of Glaciology Vol. 2, 2, 1952.
- [3] Bentley, W. A.: Studies of frost and ice crystals. Monthly Weather Rev. XXXV, 348, 1907.
- [4] Brandt, B.: Kryokonit auf Flußeis in Mitteleuropa. Ztschr. f. Gletscherkunde XIX, 317, 1931 und XX, 84, 1932.

- [5] Drygalski, E. v. u. Machatschek, F.: Gletscherkunde, Wien 1942.
 [6] Klebelsberg, R. v.: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Wien 1948.
 [7] Steinböck, O.: Über Kryokonitlöcher und ihre biologische Bedeutung. Ztschr. f. Gletscherkunde XXIV, 1, 1936.
 [8] Steinemann, S.: Kammeis, eine anomale Wachstumsform der Eiskristalle. Ztschr. f. angew. Math. u. Physik. IV, 500, 1953.
 [9] Schytt, V.: Re-freezing of the melt-water on the surface of glacier ice. Geograf. Ann. XXXI, 222, 1949.
 [10] Tollner, H.: Beiträge zur Formenkunde der arktischen Gletscheroberfläche. II. Jahresber. d. Arch. f. Polarforschung, 4, Wien 1939.
 [11] Wagner, A.: Zur Entstehung von Kryokonitlöchern. Ztschr. f. Gletscherkunde XXVI, 129, 1938.

Eingelangt am 23. V. 1956.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. H. Hoinkes, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, Schöpfstraße 41

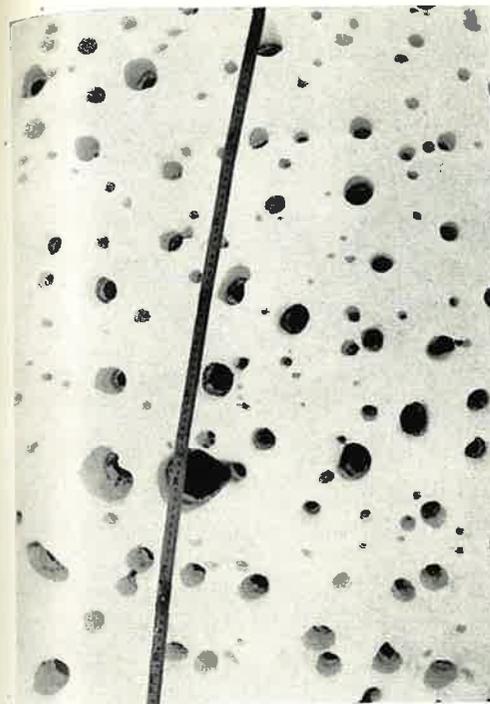


Bild 2

- Bild 1. Kryokonitlöcher am Hintereisferner b. Pegel 8 (ca. 15 m Tiefe 15–18 cm, am 24. Juli 1955, Gletscheroberfläche 5 Tage ohne Winterschnee. Photo II.
 Bild 2. Kryokonitlöcher am Hintereisferner bei Pegel 7 am 24. Juli 1955, Gletscheroberfläche etwa 7 Tage ohne Winterschnee. Photo F. Puri
 Bild 3. Oberfläche des Hintereisferners bei Pegel 7 am 31. Juli 1955. Im Vordergrund ein Stück der alten Gletscheroberfläche ab der Bildmitte das viel hellere aufgefrorene Eis mit noch vergleichsweise sehr ebenen Oberfläche. Photo II.
 Bild 4. Mittagslöcher am Vernagtferner, Ende August 1955. Photo N. Unt...

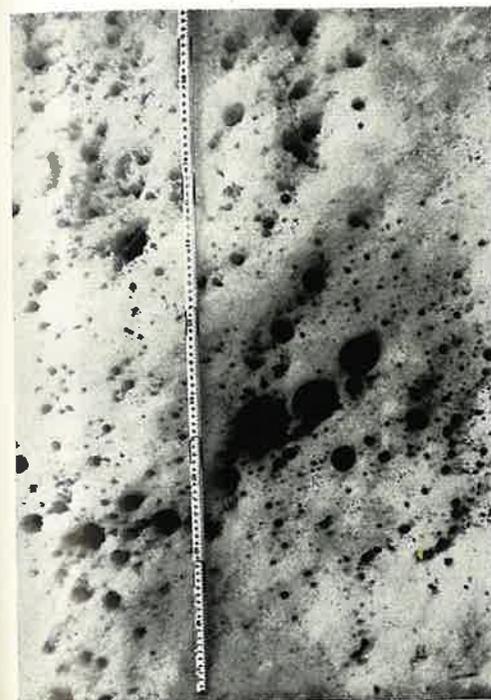


Bild 1

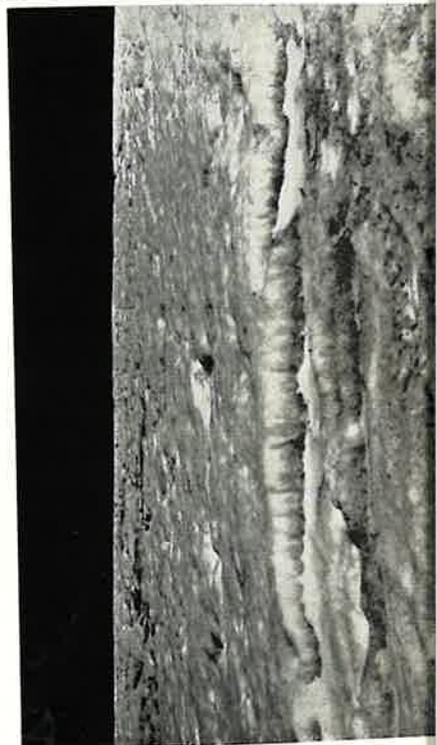


Bild 5.

Probe aus dem aufgefrorenen Eis, schräg von oben gesehen; freigelegt unter 116 cm Altschnee am Hintereisferner bei 2950 m

Photo F. Purtscheller
30. Juli 1955



Bild 6.

Die gleiche Probe wie auf Bild 5, von der Seite gesehen. Die Luftblasenketten stehen senkrecht auf die Gletscheroberfläche und parallel zueinander

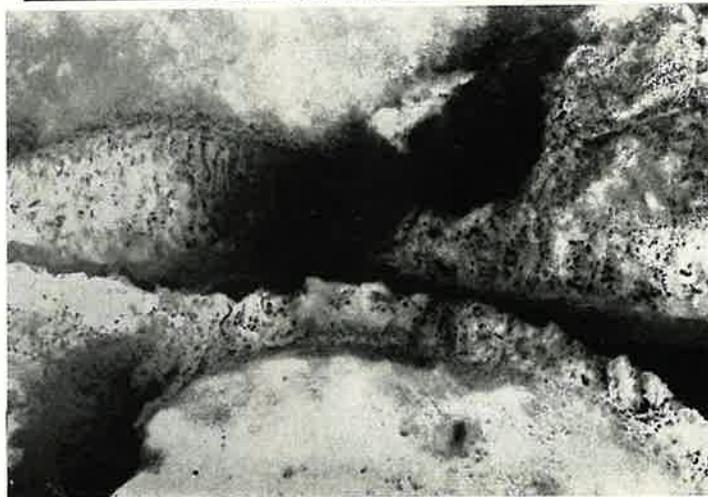
Photo F. Purtscheller



Bild 7.

Zugefrorener alter Wasserlauf am Hintereisferner, 3. August 1955; die Kristallite sind von beiden Seiten her gegen die Mitte gewachsen

Photo H. Hoinkes



L'orientation préférentielle des galets dans les moraines récentes du glacier de Moiry (Valais)¹

Par J. P. Portmann, Neuchâtel (Suisse)

Avec 1 fig. et 1 photo (table XXXIII)

Généralités

Il semble, au premier abord, que l'orientation des galets dans les moraines ne puisse révéler le sens de la marche du glacier. En effet, lors de la fonte de la glace qui les englobe, les fragments rocheux subissent un déplacement relatif et perdent leur orientation initiale. Le conglomérat en voie de déformation, qu'est une moraine à ce moment là, se tasse et glisse sur son substratum. Il paraît étonnant dès lors que la structure originelle soit conservée.

Pourtant la concordance entre l'orientation des galets et celle des stries glaciaires a été établie en de nombreuses régions autrefois glaciées. Les travaux, entre autres, de K. Richter en Allemagne du Nord, de Lundqvist en Suède et de Holmes en Amérique du Nord sont convainquants. Dans une étude très fouillée, Holmes a précisé l'influence des divers facteurs qui régissent l'orientation des galets dans la glace; la forme des éléments rocheux semble jouer le rôle principal.

Miller fut probablement le premier à étudier systématiquement l'orientation des galets dans les moraines: „le grand axe des pierres est souvent dirigé dans le sens du glacier, et l'extrémité effilée est fréquemment, mais pas toujours, tournée contre la glace" (p. 167). En 1888, Bell, profitant d'un voyage dans les Alpes, fit quelques recherches sur des moraines récentes; il en déduisit que l'orientation des galets est tout à fait irrégulière, désordonnée dans les glaciers courts et crevassés. Dès lors, à notre connaissance, aucune autre étude ne fut consacrée à cette question, dans le domaine alpin.

Méthodes et résultats

L'aspect méthodologique de la question a été envisagé dans une autre publication. Faisons remarquer toutefois que certaines méthodes requièrent l'utilisation d'appareils délicats et nécessitent beaucoup de temps. En fait, n'y a-t-il pas avantage à recourir, dans l'étude statistique de phénomènes naturels, nombreux et complexes, à des méthodes simples,

¹ Le glacier de Moiry, long de 6 km, large de 1,7 km, s'étend dans la partie supérieure du val d'Anniviers, en Valais (Suisse).