

**Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse
vom 26. Feber 1953**

Sonderabdruck aus dem Anzeiger der math.-naturw. Klasse der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1953, Nr. 4

(Seite 52 bis 58)

Das wirkll. Mitglied Ficker übersendet eine kurze Mitteilung, und zwar:

„Zum Problem der Bänderung des Gletschereises.“
(Vorläufige Mitteilung.) Von W. Schwarzacher, Belfast und
N. Untersteiner, Wien.

Im Laufe einer 14tägigen Untersuchung (Sommer 1952) auf dem Pasterzenkees wurde Material, welches der weiteren Klärung der Natur der Bänderung des Gletschereises dienen sollte, gesammelt.

Gebändertes Eis, oft als „Pflugfurcheneis“ bezeichnet, ist eine normale Erscheinung der Gletscheroberfläche, die besonders durch den Wechsel von luftreichen und luftarmen Lagen (Blaubändern) hervorgerufen wird. Unter günstigen Witterungs-, bzw. Ablationsbedingungen treten auch Unterschiede bezüglich der Korngröße zutage. Um näher zu fassen, welche Bedeutung dieser Bänderung im Gletscher zukommt, wurden zwei Wege eingeschlagen.

Zunächst wurde das Korngefüge gebänderten Eises näher untersucht. Abschließend sollte an einem Profil quer über die Gletscheroberfläche festgestellt werden, welche Lagen diese Bänder einnehmen, um daraus zu schließen, wie sie sich in das allgemeine Bewegungsbild des Gletschers einordnen.

Es ist durch die Arbeiten von Perutz und Seligman [3], Bader [1] und Rigsby [4] bekannt, daß die Kristallachsen von Gletscherkörnern in einem bestimmten Verhältnis zur Lage der Bänderung geregelt sind. Um solche Regelungen zu messen, bedienten wir uns eines Universaldrehtisches. Eisdünnschliffe wurden durch Schmelzen hergestellt. Die im folgenden beschriebenen Proben stammen alle von einer Stelle, welche ungefähr in der Hauptstromachse des Gletschers etwa 1 km unterhalb der Hofmannshütte liegt. Das Streichen der Bänderung (im

folgenden immer als Feinbänderung bezeichnet) ist ziemlich genau quer zur Haupttransportrichtung des Eises. Das Fallen ist mit etwa $45-50^\circ$ gletscheraufwärts gerichtet.

Zur Entnahme von orientierten Proben (in Gletschermühlen) bedienten wir uns mit großem Erfolg eines röhrenförmigen, elektrisch geheizten Bohrers, welcher es gestattete, Kerne von 8 cm Durchmesser und bis zu 20 cm Länge in jeder beliebigen Lage aus dem Eise zu schneiden. An der Oberfläche wurden orientierte Proben durch Hacken und Sägen erhalten.

Das typische Achsenverteilungsdiagramm am Untersuchungs-ort (Abb. 1) zeigt einen gut ausgebildeten Gürtel, welcher in der Haupttransportrichtung des Eises liegt. In diesem Gürtel liegen 3 ausgeprägte Maxima, mit I, II, III bezeichnet. Das am besten entwickelte Maximum I schließt mit dem Pol der Feinbänderung einen Winkel von 15° ein — die zugehörigen Basisflächen (001) fallen weniger steil als das Band. Maximum II schließt mit dem Bandpol einen Winkel von 34° ein und die Basisflächen stehen fast lotrecht. Maximum III steht senkrecht auf Maximum I, wobei die Basisflächen steil gletscherabwärts fallen. In dem Diagramm Abb. 1 sind die Maxima und Submaxima von 7 Proben in so eine Lage rotiert, daß der Pol der Feinbänderung in den Mittelpunkt der Projektionskugel und die Richtung des Eis-transportes in die Nordrichtung derselben zu liegen kommt.

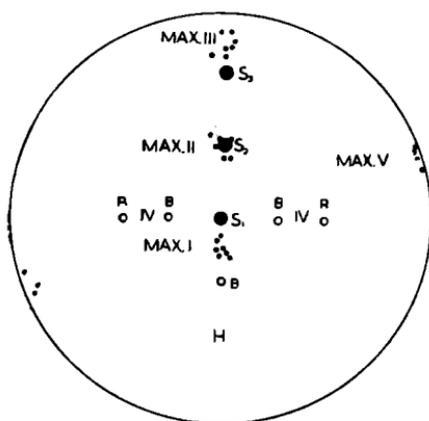


Abb. 1: Die Lage der Maxima und Submaxima von 7 Proben. S 1—S 3 sind die Pole der drei Feinlagen. B und R geben die Lagen von zusätzlichen Maxima, welcher Bader und Rigsby gefunden haben. H ist der Pol des Horizonts, die Haupttransportrichtung des Eises ist in der Zeichnung nach oben gerichtet.

Maximum I und Maximum II fallen mit zwei von Bader [1] beschriebenen Maxima zusammen. Weitere Maxima, welche auch Rigsby [4] fand, sind in unserem Material nur undeutlich vertreten. (Maximum V [Abb. 1] wird als spätere Überprägung angesehen.)

Es ergibt sich nun die Frage, wie dieses System von Achsenmaxima gedeutet werden kann. Hiezu ist eine Achsenverteilungsanalyse nach Sander [5] notwendig. Da es aus technischen Gründen unmöglich war, genügend große Anschliffe (etwa 20×20 cm) am U-Tisch zu vermessen, wurde ein großer Anschliff mit warmem Wasser angeätzt, so daß man aus den entstehenden Schmelzfiguren (6) zumindest die Spuren der Basisflächen (001) auffinden konnte. Da der Anschliff in die

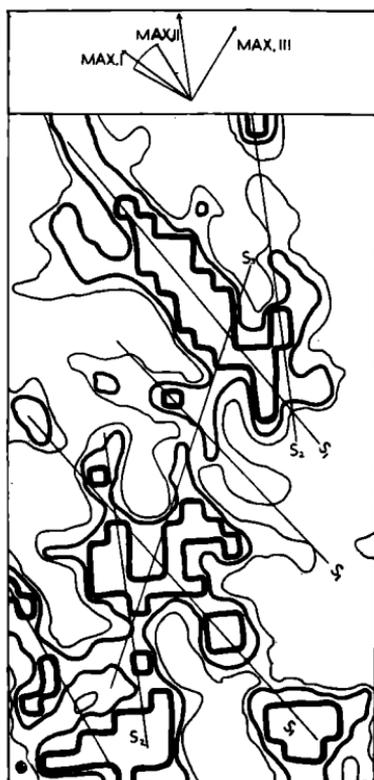


Abb. 2: Planimetrisches Verteilungsdiagramm der Richtungsgruppe $30-60^\circ$ Fallwinkel von (001). Flächenprozent: $>7,8-5,9-3,9-2-0$. Die Pfeile geben die Richtungen der Spuren von Körnern parallel zu den Maxima 1-3. ($\frac{1}{4}$ nat. Gr.)

Gürtelebene gelegt war, sind alle Kristallagen ziemlich sicher erfaßbar. Auf einer Zeichnung des Anschliffes wurden dann Areale gleicher Orientierung kenntlich gemacht. Besonders interessierende Lagen (Richtungsgruppen) können getrennt herausgezeichnet werden. So z. B. gibt Abb. 2 die flächenmäßige Verteilung in Prozenten von Bereichen, deren Basisflächen einen Fallwinkel von $30-60^\circ$ haben, also alles Bereiche, welche am Entstehen von Maximum I beteiligt sind. Abb. 2 läßt erkennen, daß diese Korngruppen im Anschliff inhomogen in drei bevorzugten Feinlagen verteilt sind. Zeichnet man derartige Verteilungsdiagramme für alle möglichen Kristallorientierungen, so bekommt man immer wieder das gleiche Bild der drei Feinlagen S 1, S 2, S 3, welche mit den drei Achsenmaxima in anscheinend festem Winkelverhältnis stehen.

Da allen drei Feinlagen eine Eigenregelung zukommt, müssen sie auch mechanisch betätigt worden sein. Es erschien uns berechtigt, S 1, S 2, S 3 als Scherflächen zu deuten, wobei wir nicht ausschließen konnten, daß eine (S 1) der Flächen durch die ursprüngliche Oberfläche vorgezeichnet ist.

Was den Regelungsmechanismus des Einzelkorns anbelangt, dürften folgende zwei Möglichkeiten nebeneinander bestehen: der von Perutz und Seligman [3] vermutete Vorgang, welcher (dem Prinzip von Becke-Riecke entsprechend) die Kornregelung auf thermodynamische Weise erklärt — oder der mechanische Vorgang der Intergranularzerscherung, welcher das Kristallgitter der Körner so lange dreht, bis die Basisflächen in eine Ebene nahe der größten Schubspannung kommen.

Da man die Achsenmaxima reellen Inhomogenitätsflächen im Gefüge zuordnen kann, läßt sich mit Sicherheit der von Rigsby [4] vorgeschlagene Weg ausschließen, welcher die 4 Maxima durch besondere Eigenschaften des Eiskristalls erklären will.

Betrachtungen über die Form der im Eis enthaltenen Luftblasen führten zu dem Ergebnis, daß aus ihr keine Rückschlüsse auf stattgefundene Relativbewegungen abzuleiten sind. Selbst wenn der Übergang der Fließgeschwindigkeit im Gletscher ganz ohne die Mitwirkung von Scherflächen erfolgte, können Vorgänge innerhalb des Bläschens eine Umformung desselben bewirken, die nichts mit Differentialbewegung zu tun hat. Als solche wurden möglich erachtet:

In kalten Gletschern Diffusionsvorgänge infolge verschiedenen Sättigungs-Dampfdruckes über verschieden stark gekrümmten Partien der Wand der Blase (sehr geringer Effekt).

Gefrieren eingeschlossenen Wassers bei (kurzfristiger) Abkühlung des Eises unter 0° , wobei das enthaltene Luftbläschen infolge Oberflächenspannung Kugelgestalt annimmt.

Betrachtungen über die Oberflächenenergie des Eises an der Wand der Blase, wobei möglicherweise der umschlossene Hohlraum durch Wanderung von Molekülen eine bestimmte Minimalfigur einzunehmen trachtet, die jedoch vermutlich keine Kugel ist.

Diese Vorgänge könnten dazu beitragen, eine durch Scherung stark ausgezogene Luftblase in eine weniger gestreckte Form zurückzuführen. Daß die Kugelgestalt zumeist nicht erreicht wird, sondern eine schwach rotations-ellipsoidische Form am häufigsten beobachtet wird, ist seit langem bekannt. Für die obersten 1—2 m des Gletschers würde die eindringende Sonnen- und Himmelsstrahlung wahrscheinlich genügen, um diese Form als Tyndallsche Schmelzfiguren zu erklären. (Auch Veränderungen während der Bearbeitung der Probe können vorkommen.) In diesem Zusammenhang wäre es sehr günstig, Proben aus großer Tiefe zu untersuchen.

Ob der wechselnde, schichtförmig angeordnete Luftgehalt des Eises (besonders gut sichtbar an vertikalen Aufschlüssen) Rückschlüsse auf die Natur der Bänderung erlaubt, ist ungewiß, da er sowohl sedimentärer Natur, mit bevorzugter Scherbewegung in den luftarmen Lagen, als auch erst durch die Scherbewegung selbst bedingt sein kann. Wenn letzteres der Fall ist, dann müßte auch die dem Maximum III zugeordnete Scherfläche in der Lage sein, solche Blasenschichten zu erzeugen. Eine genauere Analyse des Luftgehaltes einzelner Schichten wäre vermutlich aufschlußreich.

Abschließend wurde der Verlauf der Feinbänderung in einem Profil quer über den Gletscher vermessen (Abb. 3). Die Verteilung des Streichens und Fallens zeigt deutlich die Form eines zweifachen Löffels, mit der „Firnnaht“ [2] als Mittellinie. Ein unmittelbarer Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsprofil scheint nicht zu bestehen. Aus dem Gefügebefund hatten wir geschlossen, daß entlang der Feinbänderung Scherbewegungen stattgefunden haben und daß sie möglicherweise sedimentären Ursprungs ist. Die Form des doppelten Löffels kann ohne Schwierigkeiten durch das Zusammenfließen der beiden größten Teilkomponenten des Gletschers erklärt werden. Auffällig ist allerdings der steile Fallwinkel an den Spitzen der beiden Bögen, der in Gegensatz zu den von Vareschi [7] gemessenen Fallwinkeln von Ogiven anderer Gletscher steht. Doch ist ein unmittelbarer Vergleich hier offenbar nicht möglich.

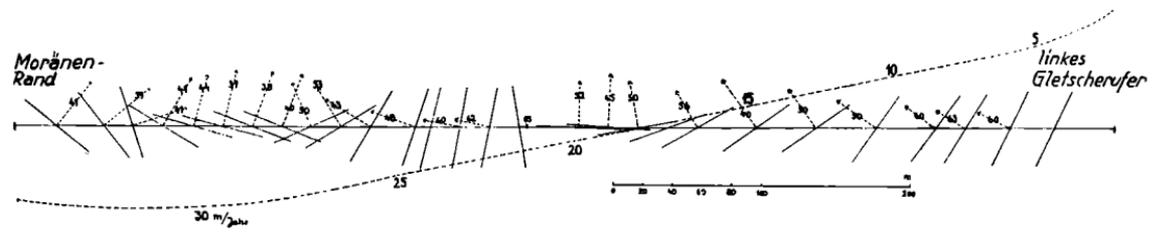


Abb. 3: Verteilung des Fallens und Streichens der Feinbänderung in einem Profil quer über den moränenfreien Teil des Gletschers. Mittlere Verteilung der Fließgeschwindigkeit (m./Jahr), nach Paschinger.

Daß die Feinbänderung über den ganzen Gletscher noch mechanisch aktiv ist, muß als unwahrscheinlich bezeichnet werden.

Ferner wurde noch ein Profil von „Rissen“, die nicht zu dem System der Feinbänderung gehören, aufgenommen, welches jedoch nicht befriedigend gedeutet werden konnte. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung erscheinen erfolversprechend.

Unser besonderer Dank gilt Herrn cand. med. H. G. Schwarzacher, ohne dessen Mithilfe die Durchführung der Feldarbeiten nicht möglich gewesen wäre. Zu großem Dank sind wir u. a. auch der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, verpflichtet, welche der vorliegenden Untersuchung finanzielle Unterstützung gewährte.

Literatur:

[1] Bader, H.: Introduction to Ice Petrofabrics. Journ. Geol., 59, 6, 1951.

[2] Paschinger, V.: Pasterzenstudien. „Carinthia“, XI. Sonderheft, 1948.

[3] Perutz, F. M. and G. Seligman: A crystallographic investigation of glacier structure and the mechanism of glacier flow. Proc. Roy. Soc., A, 950, 172, 1939.

[4] Rigsby, G. P.: Crystal Fabric Studies on Emmons Glacier, Mount Rainer, Washington. Journ. Geol., 59, 6, 1951.

[5] Sander, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Springer-Wien, 1950.

[6] Tyndall, J.: Die Gletscher der Alpen. Braunschweig 1898.

[7] Vareschi, V.: Die pollenanalytische Untersuchung der Gletscherbewegung. Veröff. Geobot. Inst. Rübel/Zürich, No. 19, 1942.