

Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher.

Von

Hans Hess in Ansbach.

Mit 5 Figuren.

Zwei Structurformen sind bisher an den Gletschern beobachtet worden: die Schichtung im Firngebiet und die Bänderung auf der Gletscherzunge. Nach der Definition, welche die internationale Gletscherconferenz von 1899¹ nach eingehender Besichtigung der Structur am Rhônegletscher und am Unteraargletscher gegeben hat, soll man unter Schichtung die Spuren und Kennzeichen der ursprünglichen Ablagerung oder Aufschüttung des Schnees im Firngebiet verstehen; dagegen ist für das Auftreten von Blättern blauen blasenfreieren Eises im weisslichen blasenreicheren, wie es sich in den oberen Theilen der Gletscher findet, sowie von Schmitzen mit Luftblasen im Eise, wie es in den tieferen Theilen vorherrscht, der Ausdruck „Bänderung“ gewählt worden. Darüber, ob zwischen diesen beiden Structurformen ein ursächlicher Zusammenhang besteht oder nicht, ist man 1899 noch nicht übereingekommen und auch bei der Gletscherconferenz dieses Jahres ist eine Einigung der verschiedenen Ansichten noch nicht zu Stande gekommen.

In den folgenden Zeilen möchte ich zur Stütze der von den meisten Gletscherforschern, die heuer im Ötztthale zusammenkamen, vertretenen Ansicht Einiges beitragen und es

¹ Vergl. S.-A. aus den Verhandl. des VII. internationalen Geographencongresses in Berlin. 1899. p. 287.

soll deshalb zunächst auf Grund des citirten Berichtes, sowie nach eigener Erfahrung eine nähere Beschreibung der Structurformen gegeben werden.

Im Firngebiete der Gletscher wechseln, wie anderwärts, niederschlagsreiche Tage mit mehr oder minder langen Reihen klarer, niederschlagsfreier Tage ab. An den klaren Tagen findet eine theilweise Schmelzung der oberflächlichen Partie des zuletzt gefallenen Schnees statt; die Schmelzwasser dringen, bis sie ihren Wärmevorrath abgegeben haben, in die Schneemasse ein und geben so Veranlassung zur Umkrystallisation bezw. Vergrößerung der durch sie berührten Schneekristalle. Das entstandene feinkörnige Eisgefüge dieser obersten Schichte enthält weniger Luftporen, als die dicht darunter befindlichen Lagen pulverigen, trockenen Schnees. Dauert die niederschlagsfreie Zeit länger an, so wird diese oberste Eisschichte auch noch einen merklichen Überzug von feinem Verwitterungsstaub erhalten, der nur ganz wenig einschmilzt. Auf diese oberste Kruste körnigen, mit leichtem Staub bedeckten Eises, werden die folgenden Niederschläge abgelagert in einer Höhe, welche für weite Theile des Firnbeckens ziemlich gleichmässig ist, und nur von der Dauer und Intensität der Schneefälle abhängt. In den obersten Lagen dieser Aufschüttung werden unter dem Einflusse der Sonnenwärme und der Luftströmungen sich ähnliche Veränderungen vollziehen, wie sie soeben beschrieben wurden und es ist klar, dass die ganze Firnmasse, die als Nährstoff des zu Thale sinkenden Eisstromes dient, nicht eine homogene, sondern eine geschichtete, zum grossen Theil recht ungleichartige Substanz ist, deren Schichten annähernd horizontal verlaufen. An den Wänden grosser, tief hinabreichender Firnspalten bemerkt man hellere und dunklere Streifen in mannigfachem Wechsel, die zumeist horizontal laufen, vielfach jedoch deutlich erkennen lassen, dass sie durch die Anbequemung der Firnmasse an die Formen des Untergrundes, in andere, nicht mehr völlig horizontale Richtungen gezwungen wurden. Diese Streifen sind nichts anderes als die Spuren der einzelnen Firnschichten in der Spaltenwand: die Schichtung. Im ganzen Firngebiet kann dieselbe wahrgenommen werden; ein Beweis dafür, dass sie während der Abwärtsbewegung der Firnmasse nicht ver-

schwindet, dass also auch die durch sie gekennzeichnete Firn-structur erhalten bleibt.

An den Spaltenwänden der Gletscherzunge sieht man, besonders bei Querspalten, deutlich von einander unterscheidbare Lagen von blauem und weissem Eise. Am Rand der Gletscherzunge zeigen diese Lagen einen dem Thalboden nahezu parallelen Verlauf; noch ganz in der Nähe des Randes richten sie sich mehr und mehr aufwärts und fallen immer steiler gegen die Eismasse ein. Je weiter man gegen die Gletscheraxe fortschreitet, desto weniger häufig sieht man diese „Bänder“; hier verlaufen sie weniger steil. An der Gletscheroberfläche entsprechen diesen Lagen von abwechselnd luftfreierem und luftreicherem Eise Furchen von mehreren Centimetern bis zu einigen Decimetern Breite, die über die Unebenheiten der Oberfläche ungestört hinweglaufen und sich im Allgemeinen der Bewegungsrichtung des Eises anschmiegen. Setzt sich ein Gletscher aus mehreren Zuflüssen zusammen, deren Grenzen durch die Mittelmoränen bezeichnet sind, so lässt sich in den mittelhoch gelegenen Theilen der Gletscherzunge besonders deutlich beobachten, dass diese Bänder für jeden Zufluss getrennt ausgebildet sind und nahe den Mittelmoränen diesen parallel verlaufen, während nahe der Axe jedes Zuflusses die als Ogiven bezeichneten, gegen das Thal convexen Bogen quer über das Eis ziehen. Auf diese Eigenthümlichkeit hat schon TYNDALL (Gletscher der Alpen p. 451) im Gegensatz zu FORBES aufmerksam gemacht, welcher letzterer u. A. die Ogiven des Mer de Glace zur Hälfte auf dem moränenfreien Theil des Gletschers, zur anderen Hälfte unter den Moränen verlaufend darstellt, also für die verschiedenen Zuflüsse des Gletschers ein einziges System dieser Structurcurven zeichnet.

Diese Oberflächenerscheinungen sind der Ausdruck einer bestimmten Structur im Inneren der Eismasse, deren räumliche Anordnung als eine löffelförmige bezeichnet werden kann, der Bänderung.

Während nun bei der Schichtung die Entstehung keinem weiteren Zweifel unterliegt, ist die Ursache der Bänderung bis jetzt noch nicht sicher festgestellt. Der einfachsten Annahme, dass die Bänder unmittelbar durch Auswalzen der Firn-

schichten entstehen, widersprechen einzelne Beobachtungen von AGASSIZ und TYNDALL, wonach die Bänder ab und zu die Schichtung fast senkrecht durchkreuzen. Andererseits macht es einigen Forschern Schwierigkeiten, zu glauben, dass die Schichten des Firnes allmählich in die Löffelformen der Gletscherzunge umgemodelt werden könnten.

Ich habe nun versucht, durch ein Experiment zu zeigen, wie Schichten, die ähnlich wie der Firn des Gletschers durch Druck allmähliche Umformungen erfahren, thatsächlich in Lagen übergehen, die als löffelartig ineinanderliegend erscheinen. Mit Hilfe einer hydraulischen Presse drückte ich 6 cm Durchmesser zeigende Scheiben von Wachs, die in abwechselnd weisser und rother Substanz übereinanderlagen,



Fig. 1.



Fig. 2.

durch eine etwa 4 cm² grosse seitliche Öffnung einer Pressform hinaus, welche am Grunde ungefähr das Modell eines Gletscherbeckens vorstellt. Das Resultat war ein „Modellgletscher“ aus Wachs, der genau die Structurformen des natürlichen Eisstromes aufweist und in Ansicht und Durchschnitt hier abgebildet ist. Man sieht (Fig. 1 u. 2) die Veränderung, welche die den Firnschichten entsprechenden, ursprünglich kreisrunden und horizontalen Wachstäfelchen erfahren haben, sehr gut und kann das Ineinanderliegen der „Löffel“ deutlich verfolgen, trotzdem wegen des ziemlich rasch wirkenden Druckes die Wachsscheibchen z. Th. zerbrachen und so zu Störungen im Verlauf der Structur führten.

Die Versuche wurden bei Zimmertemperatur gemacht. Würde nahe am Schmelzpunkte befindliches Wachs verwendet,

so würden die Schichten ihren Zusammenhang viel mehr behalten und es würde wohl zur Erzeugung eines solchen Modellgletschers das Gewicht des Wachses allein genügen, wenn die ganze Masse mehrere Tage (oder Wochen) auf constanter Temperatur gehalten würde. Dafür spricht das Verhalten des Paraffins, wie es von BLÜMCKE und mir in unseren: Untersuchungen am Hintereisferner¹ beschrieben ist.

Die Krümmung, welche die „Löffel“ aufweisen, hängt wesentlich vom Verhältniss des Querschnittes der Pressform zu dem der Ausflussöffnung und von der Gestalt der letzteren ab. Je grösser und je flacher die Ausflussöffnung ist, um so weniger gekrümmt verlassen die Wachsscheibchen die Form. So weisen z. B. die Lagen des Wachses in dem Pressstück, das in Fig. 3 a und b wiedergegeben ist, wesentlich stärkere



Fig. 3 a.



Fig. 3 b.

Krümmungen auf, als die des Stückes der Fig. 1 u. 2, weil die 2 Ausflussöffnungen, durch die das Wachs getrieben wurde, zusammen noch einen bedeutend kleineren Querschnitt hatten als die eine im anderen Falle. Fig. 3 a u. 3 b stellen übrigens den Zusammenfluss zweier „Modellgletscher“ dar. In jedem Zufluss ist das Ogivensystem sehr schön ausgebildet und man bemerkt, dass die beiden Curvensysteme auch da getrennt nebeneinander bleiben, wo die beiden Zuflüsse vereinigt weiter durch die Ausflussform gedrückt werden. Sehr deutlich zeigt das ein Querschnitt, der kurz nach der Vereinigungsstelle gemacht ist. Hier ist auch die gegen den Rand zunehmende Aufwärtskrümmung der „Löffel“ gut wahrzunehmen (Fig. 3 b). Ich bemerke noch, dass die Pressstücke so abgebildet wurden, wie sie aus der Form kamen, und da

¹ Wissenschaftl. Erg.-Hefte zur Zeitschr. d. Deutsch. u. Österr. A.-V. 2. 1900. p. 47.

diese auf ziemlich primitive Weise aus Holz angefertigt wurde, so kommen die Unregelmässigkeiten der Form auch in den Bildern theilweise zum Ausdruck. Darauf ist z. B. die auffallende Querschnittsänderung des Wachsstückes an der Stelle (Fig. 3 a), an welcher die Breite des umflossenen Hindernisses am grössten ist, zurückzuführen. Dieselbe verdankt also ihr Vorhandensein nicht etwa einem ungeschickten nachträglichen Modelliren. Leider ist die zu meiner Verfügung stehende Presse zu klein, um mit Eis die Druckversuche in genügend grossen Dimensionen zu wiederholen. Dieselben würden jedoch das gleiche Ergebniss wie die Versuche mit Wachs liefern. Dafür spricht das Resultat von Experimenten, die ich im letzten Winter anstellte und bei denen abwechselnde Schichten von Eis und Sand durch eine seitliche Öffnung einer Form gedrückt wurden. Dafür spricht u. A. auch eine Bemerkung in HELMHOLTZ' Vortrag über „Eis und Gletscher“ (Vorträge und Reden. 4. Aufl. p. 257), wonach gepresste Eiscylinder, die aus abwechselnden Lagen von Eis und Schnee erzeugt werden, auch nach der Pressung noch ihre Entstehung deutlich erkennen lassen, da das aus dem Schnee erzeugte Eis weniger klar als das andere ist. Es bleiben also bei Druckversuchen mit Eis auch die einmal vorhandenen Schichten erhalten und ein in der von mir benützten Weise gedrücktes Eisstück müsste daher ebenso wie die Wachsstücke nach dem Ausfluss durch die seitliche Öffnung Löffelformen aufweisen.

Da nun, wie bereits hervorgehoben wurde, die Firnschichten bei ihrer kilometerweiten Wanderung im Firnbecken bestehen bleiben, so kann man nach meiner Ansicht unbedenklich das Ergebniss dieser Druckversuche mit Wachs auf die Verhältnisse übertragen, welche für die Gletscher bestehen. Bei den grossen Alpengletschern werden die Firnmassen aus weiten Mulden in enge Thäler ausgepresst; von den Plateaus der norwegischen Berge fliesst der geschichtete Firn in eine Anzahl enger Fjorde ab; das Inlandeis in Grönland strömt durch viele, bei den Nunatakern beginnende Abflusscanäle dem Meere zu — fast überall haben wir also Beziehungen zwischen Nähr- und Abflussgebieten, welche denen des „Modellgletschers“ vergleichbar sind und deshalb darf wohl folgender Schluss gezogen werden: Die zumeist horizon-

talen Schichten des Firnes werden beim Übergang aus dem weiten Firnbecken in das enge Thal, das die Gletscherzunge bestreicht, in löffelartig ineinandergefügte Lagen umgeformt. Weil aber auf der Gletscherzunge eine andere als die mit dem Namen „Bänderung“ bezeichnete Structur mit ähnlicher Anordnung der Lagen nicht beobachtet wird, so ist es höchst wahrscheinlich, dass die Bänderung aus der Firnschichtung entstanden ist.

Es soll damit nicht gesagt sein, dass ausser dem Vorgang, der nach Obigem das Entstehen der Bänderung bedingt, nicht auch noch andere Prozesse sich abspielen, welche die Bildung der Blaubänder begünstigen. Ich halte es beispielsweise für ganz gut möglich, dass ähnliche periodische Verdichtungen im Gletschereis auftreten, wie sie bei gedrückten Metallen mehrfach (in der Druckrichtung) beobachtet sind. Es ist weiterhin wahrscheinlich, dass die Zerlegung der weissen und blauen Bänder in ganz dünne Lagen mit Druckschieferung zu vergleichen ist. Aber diese besonderen Prozesse üben ihre Wirkungen sicherlich da am günstigsten aus, wo schon in Folge der Entstehung der ganzen Masse Ungleichartigkeiten gegeben sind, bilden also die von der Firnschichtung her vorhandene Structur weiter aus. Die Annahme solcher besonderer Prozesse halte ich jedoch zur Erklärung der Bänderung nicht für nothwendig.

Was nun die Fälle betrifft, in welchen frischer Firn mit horizontaler Schichtung auf älteren, mit bereits gebogenen, in die Lage der Bänder übergehenden Schichten liegt, so dürften dieselben wohl alle in der Nähe der Firnlinie beobachtet worden sein, wo leicht der frische Firn kurze Zeit nach der Beobachtung noch abschmelzen konnte und dadurch den obersten Theil der Gletscherzunge blosslegte. Die von AGASSIZ und TYNDALL angeführten Fälle, in welchen eine Durchsetzung von Bänderung und Schichtung beobachtet ist, bedürfen darnach allerdings einer besonderen Erklärung; auch dann, wenn man annimmt, dass die hiebei als „Schichtung“ bezeichnete Erscheinung mit der Firnschichtung nichts zu thun hat.

Eine wesentliche Stütze scheint mir aber die hier gegebene Auffassung über den Zusammenhang zwischen Schich-

tung und Bänderung durch die beim Zusammenfluss zweier Gletscher auftretende Umbiegung der Bänder zu gewinnen. Vor dem Zusammenfluss des Kesselwand- und des Hintereis-



Fig. 4.

ferners zeigen beide Gletscher im Randgebiete (dieser am linken, jener am rechten Rand) die Bänder in Lagen, die als dem Thalboden nahezu parallel angesehen werden können.

Etwa 100 m nach der Vereinigung kann man an 2 grossen Spalten, welche die gemeinsame Mittelmoräne durchsetzen, nicht nur das Auftreten der fast verticalen „Naht“ mit aus-

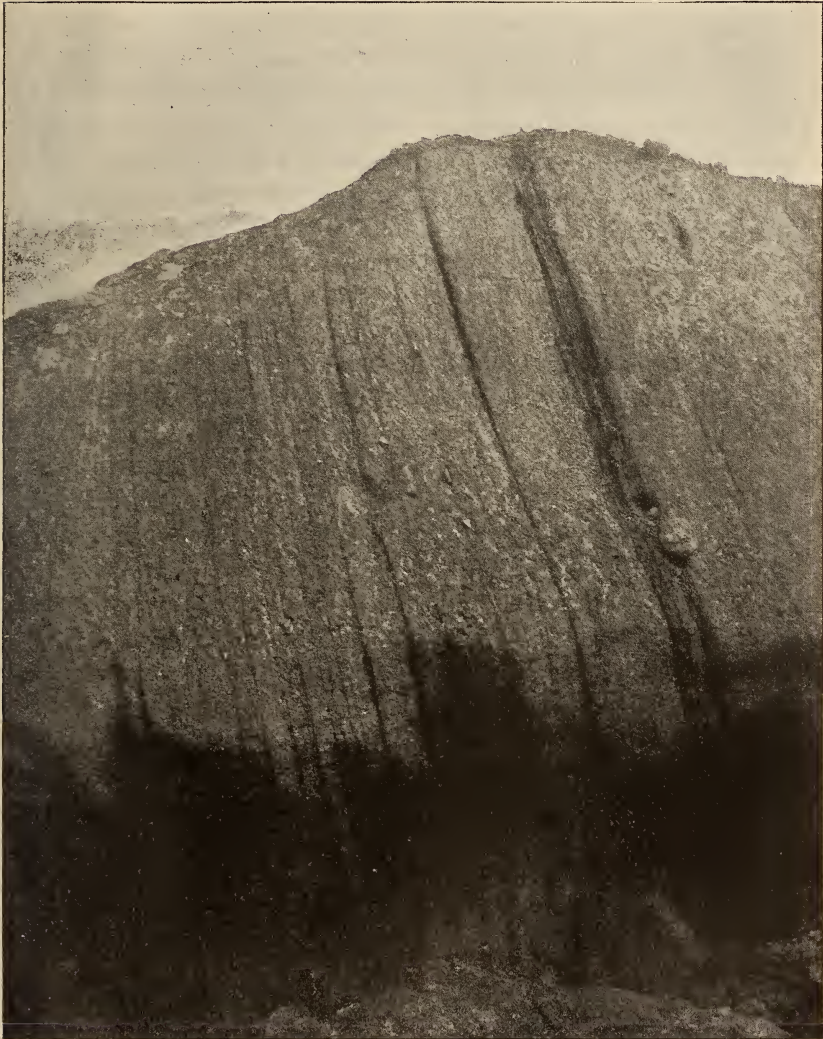


Fig. 5.

quellenden Steinen beobachten, sondern man bemerkt zugleich, dass diese Naht und die ihr benachbarten, durch Grundmoränenschlamm sehr gut gekennzeichneten Bänder immer

mehr vertical gestellt werden, je weiter der Weg ist, den die ursprünglich getrennten Eismassen gemeinsam zurücklegten.

Man bemerkt z. B. auf dem Bilde Fig. 4 der oberen Spaltenwand, wie die Lage der Naht und der Bänder noch ziemlich schief und oben gegen den Kesselwandferner weisend ist; auf dem 2. Bilde Fig. 5, von einer etwa 40 m weiter abwärts liegenden Spaltenwand, sind die Stellungen der Bänder der Verticalen sehr genähert. Noch weiter thalabwärts sieht man in Spalten die Naht genau vertical und die Bänder der beiden Gletscherarme fast symmetrisch schräg nach unten in die Eismassen einfallen. In ähnlicher Weise wie hier vollzieht sich wohl auch der Zusammenfluss zweier Gletscher anderwärts. Die Bänder der beiden Zuflüsse bleiben stets voneinander getrennt; deshalb sieht man die Naht so deutlich auf weiten Strecken der Mittelmoräne, deshalb beobachtet man die auf jedem Zufuss selbständig entwickelten Ogivensysteme. Wenn nun die beim Zusammenfluss der Gletscherarme auftretenden starken Deformationen der Eismasse den Zusammenhang der einzelnen Löffel nicht zu stören vermögen, sondern diese nur verkrümmen und den neuen Formen des Gletscherbettes anpassen, warum sollen dann nicht die Schichten des Firnes ebenfalls unter Wahrung ihres inneren Zusammenhanges den veränderten Thalformen sich anbequemen und die Gestalten annehmen, unter denen sie später die Bänder der Gletscherzunge bilden können?

Das Bild der Spaltenwand Fig. 5 weist übrigens an mehreren Stellen fast horizontale Streifen auf, welche die Bänder senkrecht durchsetzen. Sie scheinen mir die letzten Spuren wieder geschlossener Spalten zu sein, welche beim Aufbiegen der Eislagen in ihre jetzige Stellung entstanden. Sie besitzen in ihrer Anordnung auch Ähnlichkeit mit den von TYNDALL gezeichneten, als Spuren der Schichtung gedeuteten Streifen; ein Umstand, der die oben angedeutete Vermuthung, dass man es bei TYNDALL'S (und vielleicht auch AGASSIZ') Darstellung nicht mit Firnschichtung zu thun habe, zu stützen geeignet erscheint.

Der Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung, wie er im Vorstehenden gegeben ist, scheint mir auch eine Erscheinung aufzuklären, welche in dem Berichte der intern.

Gl.-Conf. von 1899 als der Klarlegung bedürftig bezeichnet wurde. Es heisst dort (p. 287):

In den unteren Theilen der Gletscherzungen finden sich nicht selten geradlinige, meist horizontal und der Bänderung parallel verlaufende Fugen, bei denen Grundmoränenmaterial austritt. Diese Erscheinung, welche auf Überschiebung tiefer gelegener Gletscherpartien durch höhere hinzudeuten scheint, ist aufzuklären und zu ermitteln, ob bei der Gletscherbewegung überhaupt ein Gleiten von Eis auf Eis stattfindet und zwar ob in dünnen Lagen oder grossen Massen.

Wird nämlich die oberste Schichte an der Umrandung des Firnfeldes infolge einer aussergewöhnlichen Verwitterungskatastrophe auf grösserer Fläche mit Schutt bedeckt, so muss derselbe bei seiner Wanderung, die er mit dem Eise ausführt, stets nahe am Untergrunde des Gletschers bleiben. Infolge der vielfachen Druckschwankungen, denen das ihn umgebende Eis unterworfen wird, muss er mehr oder minder verwittern und allmählich bildet sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten eine grosse, fast zusammenhängende Lage von Verwitterungsschlamm aus, die eine innige Verwachsung der Eisschichten verhindert. Während der Bewegung werden an dieser Stelle die Eisschichten z. Th. aneinander vorbei schieben können und die noch bestehen gebliebenen grösseren Gesteinsfragmente werden aneinander vorüber bewegt und können sich gegenseitig schrammen. Kommt dann nach Jahrhundert langer Wanderung die Eispartie am Ende des Gletschers zur Ausschmelzung, so treten auch diese Trümmer zu Tage, die wie Grundmoräne aussehen, ohne es je im eigentlichen Sinne gewesen zu sein. Dass die Austrittsfuge der Bänderung parallel läuft, erklärt sich damit sehr leicht. Übrigens sei bemerkt, dass solche Fugen fast nie über die ganze Gletscherzunge sich erstrecken, sondern (in den mir bekannten Fällen wenigstens) nur bis zu $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der entsprechenden Linie über dieselbe laufen. Der übrige Theil der Gletscherzunge weist eine Fortsetzung der Fuge und der ihr entsprechenden Verschiebung nicht auf, weil eben die Ursache, die Verwitterungskatastrophe, nur an einer Stelle der Firnumrahmung eintrat. Und weil solche Katastrophen nur verhältnissmässig selten vorkommen, so müssen

auch die ihnen folgenden Fugen in der Gletscherzunge nur vereinzelt an dem nämlichen Gletscher zu beobachten sein.

Die Auffassung, dass die Bänderung nichts anderes, als die durch die Bewegung deformirte Firnschichtung ist, schliesst, nach meiner Ansicht, auch die Ausnahme aus, dass die Grenzflächen der Bänder irgend eine Bedeutung für die Differentialbewegung der Gletschermasse hätten, so weit nicht stellenweise sehr grosse Schuttmassen zwischen den Bändern eingebettet liegen. Würde man nämlich annehmen, dass von den in einanderliegenden Löffeln jeder die Summe der Differential-Geschwindigkeiten der unter ihm befindlichen besitzt, so ergäbe sich, dass jeder einzelne Gletscherzufluss ungefähr in seiner Mitte ein Maximum der Geschwindigkeit haben müsste. An den Mittelmoränen zweier nahezu gleich mächtiger Gletscher müsste eine Abnahme der Geschwindigkeit gegen die der schuttfreien Eislagen auf beiden Seiten beobachtet werden können. Die Erfahrung aber zeigt das Gegentheil, nämlich einen ganz stetigen Verlauf der Geschwindigkeitscurven auch über die Mittelmoränen hinweg — speciell in solchen Theilen zusammengesetzter Gletscher, in denen auf beiden Seiten der Mittelmoräne die Bänderung gut ausgebildet ist.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: [1902](#)

Autor(en)/Author(s): Hess Hans

Artikel/Article: [Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher. 23-34](#)