

# Ueber Gletscherbewegung und Moränen.

Von

**Hans Crammer** in Salzburg.

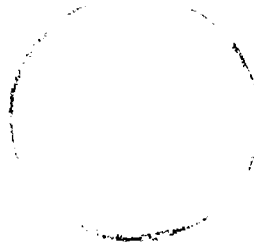
Mit 1 Tafel.



**Stuttgart.**

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele).

1905.



## Ueber Gletscherbewegung und Moränen.

Von

**Hans Crammer** in Salzburg.

Mit Taf. I.

### I. Entgegnung auf die Beurteilung meiner Bewegungstheorie durch H. HESS.

In seinem Buche „Die Gletscher“<sup>1</sup> nimmt HANS HESS Stellung gegen meine Gletscherbewegungstheorie, welche ich in zwei Schriften<sup>2</sup> veröffentlicht habe. Er erwähnt, meine zweite Abhandlung sei ihm erst während der Drucklegung seines Buches zugekommen. Es war ihm aber trotzdem möglich, aus dieser Abhandlung einiges über FOREL'sche Streifung in das Buch aufzunehmen. In auffälligem Gegensatz hierzu ließ er die Begründung meiner Bewegungstheorie, wie ich sie in der zweiten Abhandlung gab, gänzlich unberücksichtigt. Das, sowie der Umstand, daß HESS die seither verstrichene geraume Zeit zu keiner weiteren Äußerung benützte, kann ich nur so deuten: HESS hält die erhobenen Einwürfe auch gegenüber meiner letzten Schrift vollinhaltlich aufrecht. Diesen Einwürfen zu begegnen ist der Zweck des zunächst folgenden.

HESS schreibt (p. 319): „Die Deduktion CRAMMER's ist in einem Punkte unhaltbar. Es ist der Zusammenhang der

<sup>1</sup> Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1904.

<sup>2</sup> „Über den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung und über die Bewegung der Gletscher“, Centralbl. f. Min. etc. 1902. X. p. 103—107 und „Eis- und Gletscherstudien“, dies. Jahrb. 1903. Beil.-Bd. XVIII. p. 57—116.

Eismasse längs der Schichtflächen nicht geringer als in der übrigen Masse, wie aus der Bestimmung des Koeffizienten der inneren Reibung für geschichtetes Eis hervorgeht . . . . Es fehlt der zwingende Grund, die Schichtflächen als solche aufzufassen, an welchen eine sprunghafte Änderung der Geschwindigkeit eintritt, die wohl stattfinden müßte, wenn wirklich längs dieser Flächen die Kohäsion der Gletschermasse geringer wäre, als im Innern der einzelnen Schichten.“

Ich muß auf die Laboratoriumsversuche, welche HESS anstellte, näher eingehen, weil sich ausschließlich auf diese das vorstehende Urteil stützt<sup>1</sup>.

In einem Eisenrohr preßte HESS etwas Schnee zusammen; darauf gab er eine feine Schichte Staub, dann nassen Schnee, dann wieder trockenen Schnee usw. Jede einzelne Schichte wurde für sich gepreßt und wieder mit feinem Staub bedeckt. Aus den auf diese Weise erhaltenen, geschichteten Eiszylindern schnitt er Prismen, die in horizontaler Lage (die Schichtflächen stunden dabei vertikal) an den Enden unterstützt und in der Mitte belastet wurden, so daß die Kraft in der Richtung der Schichtflächen wirkte. Bei Temperaturen von  $-0,2^{\circ}$  bis  $-6,8^{\circ}$  C. brachte die Belastung längs den Schichtflächen keine größere Verschiebung zustande als in den übrigen Teilen des Eisstückes.

Fürs erste untersuchte also HESS kein Gletschereis, sondern eine durch Pressung von Schnee in kürzester Zeit hergestellte künstliche Eismasse, deren körniges Gefüge im Ver gleiche zu jenem des Gletschereises äußerst fein war.

Fürs zweite wurden die Versuche durchgängig bei so tiefen Temperaturen unter  $0^{\circ}$  ausgeführt, daß die vorgenommene Belastung keine Druckschmelzung erzeugen konnte, wie sie im Innern der Gletscher tatsächlich vor sich geht. Die Nichteinhaltung der dem Drucke entsprechenden Schmelztemperatur ist um so überraschender, als sich in dem Werke von HESS (p. 152) der Satz findet: „Die Temperatur des Gletschers ist die den jeweiligen Druckverhältnissen entsprechende Schmelztemperatur des Eises,“ und HESS (p. 321) weiter sagt: „Die Gletscherkörner er-

<sup>1</sup> Ausführlich geschildert sind diese Versuche in den Annalen d. Physik. IV. Folge. 8. 1902. p. 405—431.

scheinen somit“ (infolge der Druckschmelzung) „im Innern des Gletschers in Wasser eingebettet, und es ist denkbar, daß dieses als Schmiermittel wirkt, die gegenseitige Verschiebung der Körner und damit die Bewegungsfähigkeit der Eismasse begünstigt.“

Bei den Versuchen schlossen die niederen Temperaturen jede Verflüssigung, ja sogar die Erweichung, welche der Verflüssigung des Eises längs den Korngrenzen vorausgeht, vollkommen aus. Das gilt natürlich auch von den Schichtflächen; denn diese sind aus Korngrenzen zusammengesetzt. Die Körner und Schichten blieben also fest aneinandergefroren. Es ist somit nicht zu verwundern, daß HESS unter diesen Umständen längs den Schichtflächen keine größere Verschiebbarkeit fand, als sonst wo im Eise.

Die Versuche waren noch in anderer Hinsicht nicht ganz einwandfrei. Denn HESS beanspruchte seine Probestücke als Träger, indem er sie nur an den Enden unterstützte. Es entstanden so in der unteren Hälfte des Eises Zugspannungen, die der Verflüssigung entgegenwirkten. Derartige Spannungen gibt es im Gletscher, wo das Eis im allgemeinen dem Boden voll aufliegt, nicht.

Auch die Dauer der Krafteinwirkung war in den Versuchen gegenüber der Natur sehr kurz. Endlich ließ HESS die Kraft sofort in voller Stärke einsetzen, während sie im Firnfelde äußerst langsam, von Jahr zu Jahr nur um einen verhältnismäßig kleinen Betrag wächst.

Wir sehen, HESS beachtete eine ganze Reihe, darunter sehr wesentliche Vorbedingungen, wie sie in der Natur gegeben sind, nicht. Ich weise im besonderen auf die Nichteinhaltung der Schmelztemperatur hin. Das Ergebnis der Versuche konnte folglich zur Aufhellung der Bewegungsvorgänge im Firnfeld und in der Gletscherzunge nichts beitragen. Darum bot dasselbe aber auch nicht die geringste Handhabe zur Aburteilung meiner Gletscherbewegungstheorie.

HESS war bestrebt, durch seine besprochenen Versuche nachzuweisen (siehe hierüber auch p. 177), daß eingelagerte Staubschichten die Kohäsion nicht vermindern. Es scheint mir sonach, HESS hatte mich nicht vollkommen verstanden. Denn ich erkannte in beiden Schriften (besonders in den „Eis-

und Gletscherstudien“ p. 107) die wesentliche Bedeutung des Staubes nur darin, daß dieser der Erhalter der Schichtflächen im ruhenden Eise ist, und sagte ausdrücklich, wenn einmal die Bewegung im Gange ist, so sind die Staublagen nicht mehr nötig, weil dann die Schicht- bzw. Blattflächen durch die Bewegung erhalten bleiben.

Jedoch auch hinsichtlich der Schichtflächen sind wir nicht einig, denn HESS bestreitet die Existenz der Schicht- also auch der Blattflächen überhaupt. Nach ihm sind (p. 177) die Staubteilchen im Eise zwar schichtweise angeordnet, aber dieser Verteilung folgen nirgends die Korngrenzen, so daß der Staub zumeist im Innern der Kristalle steckt<sup>1</sup>. Erst wenn die Ränder dieser Staublagen zutage kommen, so daß ihre Flächen fast vertikal stehen, werden die Stäubchen wegen ihrer dunkleren Färbung die Wärmestrahlen in höherem Maße absorbieren als das benachbarte Eis und auf die Weise zur „Entstehung der Blätter in den einzelnen Bändern“ des Eises führen.

Diese Vorstellung von der Entstehung der Blätter kann nicht richtig sein, da sie die Vertikalstellung der Staublagen voraussetzt, die Blätter aber in Wirklichkeit alle möglichen Lagen einnehmen. Wie sollte es ferner möglich sein, daß durch die Ausschmelzung einer nicht ganz geschlossenen und nicht vollkommen ebenen Staublage so feine, haarscharf verlaufende, spaltähnliche Fugen entstehen, die oft Blätter von nur einigen Millimetern Dicke zwischen sich stehen lassen?

Seine Ansicht wähnt HESS durch den Umstand gestützt, daß sich die Blätter nur direkt an der Gletscheroberfläche zeigen, während man schon in geringem Abstände darunter nichts von den spaltähnlichen Fugen sieht. Das kommt aber wie folgt: Tief im Eisinnern sind die Gletscherkörner und die Blätter durch Druckschmelzung voneinander gelöst. Kommt eine solche Stelle im Laufe langer Zeiten infolge der Ablation allmählich der Gletscheroberfläche näher, so nimmt der Druck ab, und die Körner und Blätter regelieren aneinander und bilden eine scheinbar strukturlose Masse. Erst ganz nahe an der Oberfläche tritt bei günstigen Witterungsverhältnissen

<sup>1</sup> Gelegentliche Staubeinschlüsse in Gletscherkörnern werden selbstverständlich von mir nicht bestritten.

an den Korn- und Blattgrenzen wieder Schmelzung ein, indem bis dahin von oben her Wärme in das Eis dringt. Weil man unterhalb dieser dünnen Zone die Blattflächen nicht ohne weiteres sieht, darf also nicht behauptet werden, sie seien dort nicht vorhanden. Man könnte sonst mit demselben Rechte an der gleichen Stelle sogar die Existenz der Korngrenzen also auch der Gletscherkörner bestreiten, denn auch von diesen ist in geringer Entfernung unter der Eisoberfläche mit freiem Auge nichts zu sehen.

Vor Abfassung dieser Schrift habe ich mich eigens auf einigen Gletschern nochmals über die Blätterstruktur vergewissert. Ich fand in dieser Hinsicht nichts Neues. Wieder fiel mir der scharfgezeichnete Verlauf der ausstreichenden Blattflächen auf. Dieser kann nur die Folge großer Glätte der letzteren sein. Aber woher kommt diese Glätte, da doch die Blattflächen aus ursprünglich mehr oder weniger rauhen Schichtflächen hervorgehen? — Ich kann daraus nur das Werk der Abschleifung kleiner Unebenheiten ersehen, und finde so meine Ansicht über die Differentialbewegung des Eises längs den Schicht- und Blattflächen aufs neue bestätigt, insbesondere, weil bei ungestörtem Fließen die Blattflächen ausnahmslos in die Bewegungsrichtung des Eises gestellt sind.

Hess führt (p. 165) eine Beziehung zwischen Blätterung und Gletscherkorn an, über die ED. HAGENBACH-BISCHOFF berichtete<sup>1</sup>. Sie besteht darin, daß die Trennungsflächen der Schichten im blauen Eise durch die nahezu in einer Ebene sich anschließenden Grenzflächen der Körner gebildet werden. Hess meint, es handle sich um einen besonderen Fall und versucht ihn deshalb (p. 178) durch besondere Verhältnisse zu erklären. Ich habe aber diesen Fall auf allen von mir besuchten Gletschern und nicht nur im blauen, sondern auch überall im weißen Eise beobachtet; denn die durch Aneinanderreihung der Korngrenzen gebildeten Flächen sind eben nichts anderes als die scharf ausgeprägten Schicht- und Blattflächen, deren Bestand Hess nicht gelten lassen will.

Freilich gibt es auch Blattflächen, die keine Glätte haben. Man kann dann ihren Verlauf oft nur unsicher verfolgen und

<sup>1</sup> E. RICHTER, Die Gletscherkonferenz im August 1899. PETERM. Mitteil. 1900. Heft IV.

die einzelnen Blätter sind schwer auseinander zu halten. An solchen Blattflächen fanden eben keine Verschiebungen statt. Denn der an der ursprünglichen Schichtfläche gelegene Staub war zu spärlich verteilt, um das Wachstum der Kristalle der einen Schichte in die benachbarte und umgekehrt vollständig zu verhindern. Die beiden Schichten verwuchsen miteinander, und verhielten sich bei der später eintretenden Bewegung der ganzen Masse wie eine einzige Schichte.

Es ist jedoch auch denkbar, daß eine schon bestehende, glatte Blattfläche wieder verschwindet. Denn entfernt sich von ihr der feinverteilte Staub, indem er während der Bewegung zwischen die Körner der Blätter dringt, und setzt aus irgend einer Ursache die Verschiebung längs dieser Blattfläche durch längere Zeit aus, so wachsen die Körner der beiden Nachbarblätter durch Überkristallisieren ineinander, die Blätter verzahnen sich, und die glatte Blattfläche geht verloren.

Da die Blätter aus den Schichten durch Faltung und Auswalzung der Falten hervorgehen, wird die Blätterung überall dort entstehen, wo Anlaß zur Faltung vorhanden ist. Also zunächst an jenen Stellen des Firnfeldes, wo sich die vorderen Eispartien wegen Unregelmäßigkeit des Untergrundes langsamer bewegen als die rückwärtigen. Diese Ungleichheit der Bewegung wird natürlich unmittelbar über der störenden Ursache am größten sein, und sich von da in vertikaler Richtung aufwärts mehr und mehr verlieren, so daß sie an der Oberfläche des Firnfeldes zu gering ist, um dort die starreren Schichten in Falten zu legen. Ferner findet Faltung an der Zungenwurzel statt, wo das Eis durch die Verengung seines Bettes starken seitlichen Drucken ausgesetzt ist. Auch hier leistet die starre Kruste an der Oberfläche namhaften Widerstand, der aber um so rascher überwunden wird, je schmaler die Zunge im Vergleich zum Firnfeld ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel für solch rasche Verwandlung der Schichtung in Blätterung bietet der Vernagtferner.

In Gletschern mit geringer Querschnittsänderung wird an der Wurzel nur das Eis der tieferen Lagen geblättert, während die Schichten an der Oberfläche bloß eine schwache Faltung erfahren. Soweit talab auf der Zunge diese schwach

gefalteten Lagen nicht abgeschmolzen sind, ist die Blätterung unsichtbar. Sie tritt deshalb auf solchen Gletschern erst in der Nähe des Zungenendes an den Tag, wie z. B. auf dem Hintereisferner.

Die Osthälfte des Gletschers der Übergossenen Alm in Salzburg ist eigner Art. Frei auf einem geneigten Plateau liegend, wird das Eis nirgends seitlich eingeengt. Die Schichtung wird daher in den oberen Lagen bis ans Gletscherende nicht einmal schwach gefaltet.

Der Hintereisferner bildet sonach das Übergangsglied zwischen den beiden Extremen: dem Vernagtferner und der Übergossenen Alm.

Mir blieb es versagt, arktische und antarktische Gletscher zu schauen. Doch glaube ich durch das Studium der Literatur, insbesondere der beiden großen Werke v. DRYGALSKI'S<sup>1</sup>, auch in den polaren Gegenden die beiden vorgenannten extremen Gletschertypen zu erkennen. Alles Inlandeis ist wie das Eis unserer alpinen Firnbecken parallel zur Oberfläche geschichtet. Grönlands Eismassen werden bei Annäherung an das Meer durch Fjordtäler hindurchgezwängt, wobei die Schichtung bis hinauf zur Oberfläche der Eisströme, wie beim Vernagt, in Blätterung verwandelt wird. Das antarktische Eis hingegen gelangt wegen vollständiger Überflutung der Küste zumeist in ganz ungeheurer Breite bis in das Meer. Es erfährt auf seinem weiten Wege nirgends seitliche Pressungen. Wie bei der Übergossenen Alm tritt daher auch am Ende des antarktischen Inlandeises, an der sogenannten Eismauer, wo die Eisberge abbrechen, ungestörte oder doch nur wenig gestörte Schichtung zutage. Daß aber auch dieses Inlandeis wie das Eis unserer alpinen Firnbecken infolge der Unregelmäßigkeiten des Untergrundes nahe demselben, parallel zu ihm geblättert ist, geht aus jenen Beobachtungen E. v. DRYGALSKI'S hervor, die er in der Nähe des Gaußberges und an gekenterten Eisbergen machte.

Wir können folglich an allen Gletschern der Erde zwei Hauptstrukturen unterscheiden:

---

<sup>1</sup> Grönlandexpedition 1891—1893. 1. Berlin 1897, und Zum Kontinent des eisigen Südens. Berlin 1904.



1. Die Schichtung. Dieselbe entsteht durch den periodischen Schneefall.
2. Die Blätterung, die aus der Schichtung durch Faltung und Auswalgung der Falten hervorgeht.

Außer diesen beiden Benennungen möchte ich für die Zeichnung, die auf der Eisoberfläche durch das Ausstreichen der Schichtung bezw. Blätterung entsteht, die besonderen Namen: *Schichtbänderung* und *Blattbänderung* vorschlagen. Die Feststellung und Einhaltung dieser Benennungen für die im Vorstehenden genau bezeichneten Erscheinungen halte ich für dringend, da sich sonst die von HESS gebrauchten Ausdrucksweisen (p. 177, die Bänder erfahren eine weitere Unterteilung in dünnere Blätter, und p. 178, die Blätter entstehen in den Bändern) möglicherweise einbürgern, was die Klarheit in der Auffassung der Bewegungserscheinungen nicht fördern würde.

## II. Die Unter- und Innenmoräne.

Wie das Moränenmaterial am Untergrund der Gletscher in das Eis aufgenommen wird, können wir nicht unmittelbar sehen. Eine Vorstellung davon aber bekommen wir durch das Studium jener Stellen, wo die im Eise eingeschlossene Moräne an die Oberfläche des Gletschers tritt. Das geschieht am Rande des Abschmelzgebietes und auf dem Rücken der Zunge längs der Schweißnaht zusammengesetzter Gletscher.

Am Rande des Gletschers sehen wir die dem Boden nahen Eispartien durch den Schutt, Sand und Schlamm der Untermoräne verunreinigt. Oft ergibt erst eine nähere Untersuchung, die durch die Betrachtung der Wände von Radialspalten sehr gefördert wird, daß diese fremden Einschlüsse nicht *gleich-*mäßig oder regellos im Eise verteilt, sondern in dünnen Schmitzen angeordnet sind, die sich der uns bekannten Blätterstruktur vollkommen einfügen. Mit anderen Worten: Jeder Moränenschmitz lagert, selber wie ein Blatt gestaltet, zwischen den Blättern des Eises. Diese sind verhältnismäßig rein. Die Abstände der Schmutzeinlagen sind sehr verschieden. Bald liegen nur einige, bald ziemlich viele Eisblätter zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schmitzen. Nur in manchen Fällen befindet sich ein nahezu vereinzelter Schmitz in größerer Höhe

über der Sohle. Er streicht dann als eine besonders auffällige Linie aus, weil oberhalb ihr die Eisoberfläche rein, unterhalb ihr aber vom ausgeschmolzenen und herabgeschlammten Sand und Schlamm völlig bedeckt ist. Das Bild (Taf. I Fig. 1) vom Zungenende des Hornkeeses in den Zillertaleralpen zeigt das Ausschmelzen der Untermoräne. Ich verdanke diese treffliche Aufnahme Dr. A. E. FORSTER.

Daß auch in den grönländischen Gletschern der Untermoränenschutt im Eise dieselbe Art der Verteilung besitzt, wie in unseren, wegen ihrer Kleinheit manchmal etwas verlästerten Alpengletschern, das bezeugen die nicht minder guten Bilder, die v. DRYGALSKI vom Karajak-Eisstrom, einem großen Abfluß des grönländischen Inlandeises, seinerzeit mitgebracht hat<sup>1</sup>.

Auf dem Rücken unserer zusammengesetzten Gletscherzungen taucht, wie S. FINSTERWALDER<sup>2</sup> in überzeugendster Weise nachgewiesen hat, ebenfalls Untermoräne als sogenannte Innenmoräne empor. Räumt man hier den ausgeschmolzenen Schutt und Schlamm von der Oberfläche des Gletschers, so sieht man eine dünne fortlaufende Schmutz- bzw. Schuttschichte in der Richtung der Blattbänderung austreichen. Oft verläuft parallel damit beiderseits noch eine größere Zahl anderer gleichartiger Moräneneinlagerungen. Eine ähnliche, ergänzende Beobachtung kann man müheloser an den Wänden solcher Gletscherspalten machen, die eine Innenmoräne queren. Das sehen wir auf der photographischen Aufnahme (Taf. I Fig. 2), welche ich im Jahre 1902 etwas unterhalb der Vereinigung des Hintereisferners mit dem Kesselwandferner gemacht habe. Wieder nehmen wir wahr, daß auch das Material der aus der Untermoräne hervorgegangenen Innenmoräne in Schmitzen verteilt ist, welche zwischen die Blätter gelagert sind.

Diese von der Blätterung ganz allgemeine Abhängigkeit der Verteilung des im Eise steckenden, einst am Untergrunde aufgenommenen Moränenmaterials spricht deutlich dafür, daß zwischen der Aufnahme des Schuttes in das Eis und der Entstehung der Blätter eine innige Beziehung besteht.

---

<sup>1</sup> v. DRYGALSKI, Grönlandexpedition. 1. Taf. 27 u. 28.

<sup>2</sup> Der Vernagtferner. Wissenschaftl. Ergänzungshefte zur Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins. 1. 1. Heft. 1897.

Ich stelle mir das wie folgt vor: Auf dem Untergrunde liegende lose Gesteinstrümmer, (woher dieselben kommen, bleibe diesmal unerörtert), dann Sand und Schlamm werden in die unterste Schichte des Eises gepreßt und in dieser Lage über den Untergrund geführt. Findet nun an einer Stelle eine Stauchung des Eises statt, so wird das in der untersten Schichte steckende und an ihr haften bleibende Material mit dieser Schichte in das Eis eingefaltet und bildet nach Auswanzung der entstandenen Falten vom Eise ganz umschlossene dünne Schmitzen, die an den Blattflächen liegen und wie diese zum Untergrund parallel sind. Bei Wiederholung dieses Vorganges in derselben Eispartie kommen nicht nur neue Schuttschmitzen in das Eis, sondern es werden außerdem die bereits darin vorhandenen geradeso wie die Blätter in mehrere kleinere zerteilt. Vereinigen sich zwei Gletscher, so werden an der Vereinigungsstelle ihre Untermoränen mit den Blättern aufgerichtet und dadurch in Innenmoränen umgewandelt, in welchen die Struktur der Untermoränen erhalten bleibt.

---

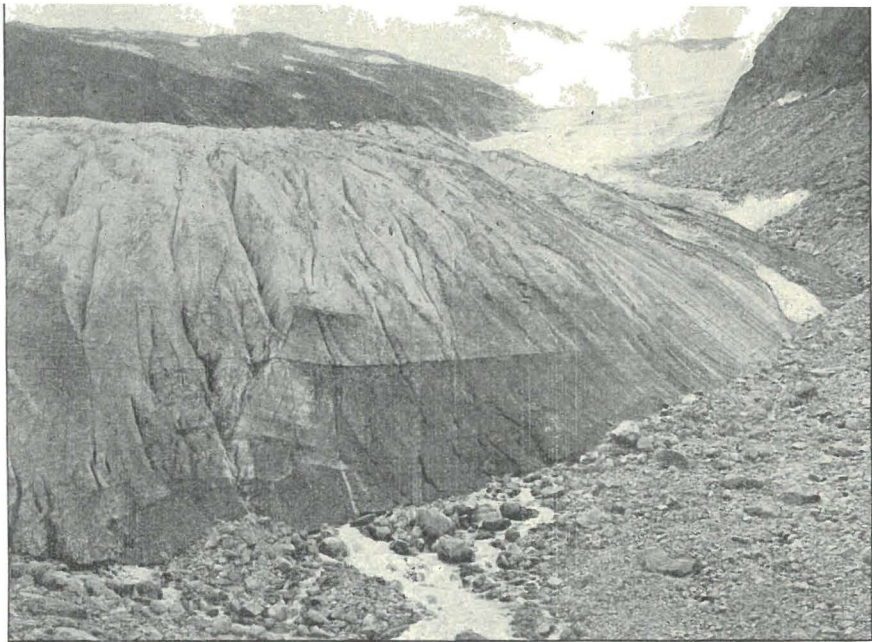


Fig. 1. Ausstreichen der Untermoräne am Zungenrande des Hornkeeses.  
Aufg. d. Dr. A. E. FORSTER, 15. Aug. 1899.

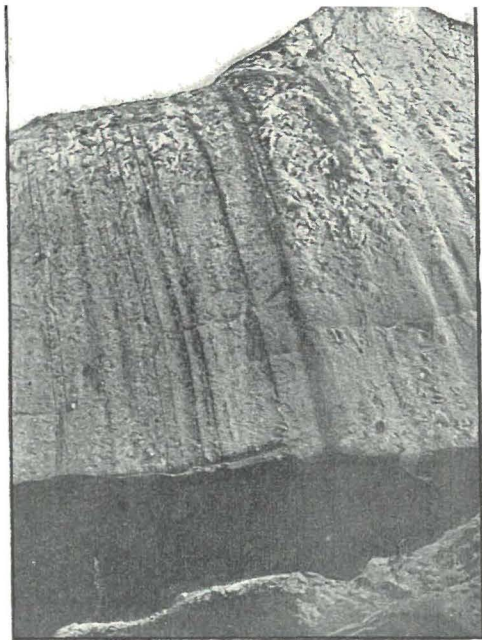


Fig. 2. Ausstreichen der Innenmoräne an der  
Wand einer Querspalte unterhalb der Vereinigung  
des Hintereisferners mit dem Kesselwandferner.  
Aufg. d. H. CRAMMER, 1902.