seiner Definition wünschenswerth, weil wir bestimmt erwarten können, daß diese schwierige Aufgabe gegenwärtig viel befriedigender als früher werde gelöst werden.

3. Von dem hie und da gemachten Vorschlage, bei dieser Gelegenheit die Normaltemperatur von 4°C. für das Wasser zu verlassen und statt derselben eine höhere Temperatur zu wählen, können wir unserer Untersuchung zu folge keinen erheblichen Vortheil erwarten. Allerdings würde dadurch einerseits der Einfluß unserer unsichern Kenntniß von der Ausdehnung des Wassers auf das Resultat etwas vermindert, allein anderseits ist beim Maximum der Dichtigkeit die Volums-Änderung des Wassers überhaupt am geringsten und zudem wird, wie wir schon oben erwähnt haben, die neue Herleitung des Kilogramms die beste Gelegenheit darbieten, die so wichtige Ausdehnung des Wassers mit aller wünschbaren Schärfe zu bestimmen.

III. *Ueber Gletscher; von Albert Heim aus Zürich.*

Die vergletscherten Berge meiner Heimath, besonders wenn sie im Abendstrahl glänzten, übten auf mich seit meiner Kindheit eine mächtige Anziehung. Das später hinzugetretene wissenschaftliche Interesse steigerte dieselbe. Die vorliegende Arbeit enthält über einige Erscheinungen der Gletscher einzelne Beobachtungen und Betrachtungen, das Resultat der herrlichen Tage, die ich in der Gletscherregion bei allen Witterungsverhältnissen zugebracht, des Studiums der Gletscherliteratur, und einiger experimentellen Versuche.

1. Das Gletscherkorn.

Die Beobachtungen über die «Haarspalten», die das Gletschereis durchziehen, und das Gletscherkorn begränzen, und die daran sich knüpfenden Betrachtungen, namentlich

über deren Ursprung, veranlaßten unter den Männern, die sich in den 30er und 40er Jahren mit der Erforschung der Gletscher abgaben, harten Streit. Niemand siegte. In den neueren Arbeiten wird die Frage meist übergangen. Selbst Professor Tyndall widmet den Haarspalten nur wenige Zeilen, vom Gletscherkorn spricht er gar nicht (*Glaciers of the Alps* page 338 und 339). Um so mehr überrascht uns aus dem Jahr 1867 in den *«Comptes rendues»* von M. Grad ein Aufsatz, in dem ganz genau die Ansicht, die Hugi zu Anfang der 40er Jahre so energisch vertheidigt hatte, aufgestellt wird, — aus dem Aufsatz ist nicht zu ersehen, ob der Verfasser Hugi kennt, oder durch seine Beobachtung selbstständig zum gleichen Resultat gekommen ist. Sie läßt sich in Folgendes zusammenfassen: Die directe Beobachtung lehrt, daß die Gletscherkörner die fortentwickelten Firnkörner sind. Diese Entwicklung, bestehend in einer Vergrößerung und (nach M. Grad) hinzutretenden «krystallinischen Orientation» der Firnkörner, ist es, auf welche alle Bewegungserscheinungen der Gletscher zurückzuführen sind. So Hugi und M. Grad. Letzterer bemerkt, Prof. Tyndall leite alle Bewegungserscheinungen von Druck ab, es sey das aber unrichtig: für dieses Unrichtigseyn giebt er aber keinen Beweis, ebensowenig für seine Ansicht. Gestützt auf die Beobachtung, daß das Gletscherkorn dem unteren Ende des Gletschers zu größer ist als weiter oben, und daß die Structur des Gletschereises sich gegen den unteren Theil des Gletschers immer mehr der krystallinischen Structur des Wassereises nähert, indem sich die Axen der Krystallkörner alle parallel senkrecht stellen, sagt er einfach, es sey so.

Noch verschiedener sind die Resultate der Versuche, welche die Frage, ob das Haarspaltennetz den ganzen Gletscherkörper durchziehe, beantworten sollten. Agassiz fand die Haarspalten selbst im dichtesten Gletschereise, Schlagintweit infiltrirte dieselben mit Lösungen von Kaliumchromat bis in 60 und 80 Meter Tiefe unter der Oberfläche des Gletschers. M. M. Bertin, Grad und Du-

prée erhielten mit Obigem übereinstimmende Resultate. Dagegen läugnet Hugi die Durchdringbarkeit des inneren Gletschereises vollständig; ebenso finden sie sich nach Mr. Huxley's Versuchen im gesunden unangewitterten Gletschereise nicht. Alle haben sehr gewissenhaft experimentirt; die einen haben das Gegentheil wie die andern gefunden, woher kommt das?

Wenn die Haarspalten durch das ganze Gletschereis existiren, aber, wie es im »gesunden blauen« Eise dann der Fall seyn muß, mit Wasser angefüllt sind, so können Infiltrationsversuche zu keinem Resultat führen, denn es ist kein Grund vorhanden, daß das Wasser der gefärbten Flüssigkeit weiche, es sey denn, daß wir es mit einer Eisschicht zu thun haben, unter der ungehindert die Flüssigkeit ablaufen kann, und auf die von oben eine beträchtliche Säule der gefärbten Flüssigkeit drückt. Weit schwieriger läßt sich der umgekehrte Fall denken, daß die angegebene Infiltration durch Haarspalten, wie sie die anderen Beobachter gesehen zu haben behaupten, eine bloße Täuschung sey, denn daß diese auch mit »gesundem« Gletschereise arbeiteten, steht fest. In den Partien des Gletschers, wo großer Druck herrscht, also überall im »*structure mill*« von Prof. Tyndall, wird das Wasser, das in den Haarspalten ist, falls dieselben durch den ganzen Gletscher gehen, zum Theil herausgepreßt; in diese Partien wird demnach neue Infiltrationsflüssigkeit unmöglich eindringen können; leichter wird das möglich seyn, wo das Eis sich unter geringerer Pressung befindet, z. B. über den Gletscherstürzen wo Querspalten auftreten, bei Thalbiegungen auf der convex gekrümmten Seite des Gletscherkörpers. Die verschiedenen Resultate der Infiltrationsversuche stehen vielleicht in directer Beziehung zu den Stellen des Gletschers, wo sie ausgeführt worden sind.

Daß auch das festeste durchsichtige blaue Gletschereis aus dem Innern des Gletscherkörpers an der erwärmten Luft, besonders aber durch die Wirkung der Sonnenstrahlen weiß wird, dadurch daß ein Netz von feinen Spalten sichtbar

wird, welches das Eis überall in unregelmäßig geformten Körnern von einer gewissen, für die Localität ungefähr constanten Größe abgränzt, ist eine Beobachtung, die noch von Niemand bestritten worden ist, und die jeder wiederholen kann. Warum geschieht aber das beim gewöhnlichen Wassereise nicht? Wie könnte die Wärme eine solche Körnerstructur hervorrufen, wenn diese nicht schon vorher, schon im „gesunden“, compacten Eise vorgezeichnet wäre. Wie sie im „gesunden“ Eise schon vorhanden ist, ob in Form von wirklichen Capillarspältchen, die mit flüssigem Wasser gefüllt sind, oder ob sich aus unbekannten Gründen auf unregelmäßig die Masse durchziehenden Flächen das Eis leichter verflüssige, oder wie sonst man sich das denken will, ob infiltrirbar oder nicht, das ist für uns ziemlich gleichgültig: es genügt uns, dass die gleiche Kornstructur die wir an der Oberfläche beobachten, durch die ganze Gletschermasse geht oder doch darin vorgezeichnet ist.

Wie diese Kornstructur entstehe, das ist auch schon zu erklären versucht worden. Die oben angeführte und nicht bewiesene Ansicht von den Herren Hugi und Grad, die Gletscherkörner seyen die fortentwickelten Firnkörner, ist nicht etwas, was, wie sie meinen, die directe Beobachtung (ich werde auf diese zurückkommen) lehrt, sondern eine Hypothese. Wir wollen sie einmal für einige Augenblicke annehmen, und gestützt darauf eine kleine Rechnung vornehmen, die sie am ehesten in das rechte Licht setzen wird.

Bei Gletschern von etwa 8000 Meter Länge (z. B. Hüfigletscher, Rhonegletscher etc.) wächst das Gletscherkorn von der Getreidekorngröße auf wenigstens Wallnussgröße (bei größeren Gletschern kann es nach Hugi „selbst 5 bis 6 C.-M. groß“ werden) also von etwa 3 Millim. Durchmesser auf 30. Das Volumen der Körner dem entsprechend von 3^s auf 30^s, oder, was das gleiche Verhältniß angiebt, von 1 auf 1000. Und diese Formvergrößerung findet durch die ganze Masse des Gletschers statt, nicht etwa bloß in den Schichten zunächst der Oberfläche. In der Zeit, die für einen Punkt des Gletschers

am oberen Ende nöthig ist, um ans untere zu gelangen, würde der Gletscher sein Volumen (abgesehen von der Ablation) vertausendfachen; die Ablation muß nicht nur die vorhandene Eismasse in eben dieser Zeit in Wasser überführen, sondern diese Vertausendfachung compensiren. Obschon wir unsere Rechnung am Aletschgletscher, dessen Länge mehr als das Doppelte von 8000 M. beträgt, durchführen werden, wollen wir uns doch zu Gunsten der zu prüfenden Hypothese statt mit noch einer Vertausendfachung, der Vertausendfachung des Volumens, mit der einfachen Vertausendfachung begnügen. Die Zahlenwerthe, mit denen wir rechnen, sind nur ungefähr, wir runden sie immer zu Gunsten der Hypothese ab.

Die mittlere jährliche Geschwindigkeit des Aletschgletschers ist etwa 40 Meter. Vom Fusse des Dreieckhornes und Faulberges weg, wo der eigentliche Gletscher erscheint, gemessen, ist er 17000^m lang. Wir wollen nun die Gletschermasse unterhalb des Querschnittes, der an oben bezeichneter Stelle liegt, in ihrer Volumveränderung betrachten, bis sie ganz geschmolzen ist, bis also unser Querschnitt, mit dem Eise langsam wandernd, am unteren Ende angelangt ist. Dazu sind etwa $\frac{17000}{40} = 425$ Jahre nöthig. Das Volumen unserer Gletscherzunge läßt sich auf etwa 6150 Millionen Kubikmeter berechnen, oder, richtiger ausgedrückt: schätzen; auf 100 Millionen mehr oder weniger ist die Zahl natürlich nicht sicher. Diese Eismasse sammt ihrer Vermehrung durch Kornwachsthum wird in 425 Jahren thatsächlich zu Wasser durch die oberflächliche Abschmelzung (Ablation). Die Abschmelzung der Gletscher von unten durch die Erdwärme ist zweifelhaft, jedenfalls aber verschwindend gering. Die vertikale Senkung der Oberfläche durch Abschmelzung beträgt jährlich im Durchschnitt etwa 3^m (sie wurde gemessen an dem immer stärkeren Hervortreten von in die Oberfläche eingerammten Pfählen, oder an der relativen Erhebung künstlich vor Ablation geschützter Stellen). Die Abschmelzungsoberfläche im

ersten von den 425 Jahren, auf dem eidgenössischen Atlas gemessen, ist 25 Millionen Quadratmeter. Im zweiten liegt der, unsere Gletschermasse nach oben abgrenzende Querschnitt bereits 40^m weiter thalabwärts; der Gletscher ist an jener Stelle 1600^m breit, also die Abschmelzungsfläche für das zweite Jahr $40 \cdot 1600 = 64000$ Quadratmeter kleiner als diejenige des ersten. Für die folgenden Jahre wird sie ebenso immer kleiner, je tiefer unser Querschnitt rückt. Am Ende der 425 Jahre erreicht sie 0. Die Fläche, auf der während der 425 Jahre die vertikale Abschmelzung von etwa 3^m gewirkt, und unsere Gletschermasse factisch geschmolzen hat, ist die Summe aller dieser 425 ungleich grossen Oberflächen der einzelnen Jahre. Wäre die Gletscheroberfläche genau ein Rechteck, unten gleich breit wie oben, so wäre diese Summe das 425fache der halben Oberfläche des ersten Jahres, also

$$= 425 \cdot 25000000 \cdot \frac{1}{2} = 5312500000$$

Quadratmeter. Wäre sie genau ein Dreieck (dessen Basis die grösste Breite = 1800^m, dessen Höhe die Länge = 17000^m), so wäre diese Summe =

$$\frac{1800 \cdot 17000}{2 \cdot 425^2} (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 425^2)$$

oder ausgerechnet = 2175000000 Quadr.-Meter. In Wirklichkeit liegt sie dazwischen, wir wollen annehmen in der Mitte; dann ist sie 3740 Millionen Quadr.-Meter. Die Lage der oberen Gränze für jedes Jahr in die Karte zu zeichnen, die Oberflächen unterhalb derselben messen, und diese 425 Oberflächen zu summiren, wäre unnöthige Arbeit, weil unsere anderen Zahlen alle nicht entsprechend genau sind.

Es besteht nun die Gleichung: Oberfläche multiplicirt mit Ablation gleich ursprüngliches Volumen mal x . Wenn die Hypothese von Hugi und Grad richtig ist, müssen wir für x über 100 erhalten, wenn keine wesentliche Massenvermehrung im Eise stattfindet, hingegen einen Werth nahe an 1.

Setzen wir unsere Werthe ein:

$$3740000000 \cdot 3 = 6150000000 \cdot x, \text{ also } x = 1,8 \dots$$

Das heisst: Um die Vertausendfachung des Volumens, die durch Kornwachsthum entstehen würde, zu compensiren, müsste die Ablation nahe 1000 mal gröfser seyn, als sie ist; sonst wäre am Ende der 425 Jahre das Volumen des Gletschers statt ganz verschwunden, fast 1000 mal gröfser als Anfangs.

Aus dieser Rechnung scheint mir mit Bestimmtheit hervorzugehen, dafs, wenn es wahr wäre, dafs die Gletscherkörner die entwickelten Firnkörner seyen, — wenn es wahr wäre, dafs das grofse Gletscherkorn der unteren Regionen aus dem kleineren der oberen durch Anfrieren von Infiltrationswasser wachsend entstehe, dann die Gletscher sich vermehren würden, dafs sie kein Ende erreichten, dafs gegenwärtig die ganze Erde in tiefer Eiszeit ruhen müsste.

Wir haben im obigen alle Zahlen der Hypothese von Hugi und Grad zu günstig abgerundet, daher für x mehr als 1 gefunden; wir könnten sie für dieselbe aber noch viel günstiger annehmen, und dennoch würde das Resultat schlagend gegen die Hypothese sprechen.

Die alte Dilatationstheorie aber mufs eine Massenvermehrung durch das in den Spältchen gefrierende Wasser annehmen. M. Grad beharrt auf der Dilatationstheorie, ohne einen Versuch, die zahlreichen Einwürfe, die derselben schon vor vielen Jahren gemacht worden sind, zu widerlegen. In den Messungen, die er selbst im Jahre 1869 mit M. Dupré am Aletschgletscher gemacht hat, liegt ein Beweis gegen die Dilatationstheorie. Er findet nämlich dort, dafs sich der untere Theil des Aletschgletschers bedeutend langsamer bewegt, als der obere. Das müsste, wie Forbes erkannt hat, nach der Dilatationstheorie gerade umgekehrt sein, indem wir den oberen Anfang des Gletschers als festen Stützpunkt für die Gletscherzunge anzu sehen haben, und die Dilatation zu einer immer gröfseren Bewegung für einen Punkt sich summiren müsste, je entfernter dieser Punkt von dem oberen Anfang des Gletschers ist.

Noch einige andere Thatfachen lassen sich anführen, die gegen die Herleitung des Gletscherkornes vom Firnkorn

sprechen. Die durch Kornwachsthum verursachte Aufschwellung der ganzen Gletschermasse müßte in den Formen des Gletschers sich zeigen. Nur Schwinden durch Schmelzen, aber nie ein Aufblähen ist darin zu erkennen.

Sehr oft finden wir in den großen, prächtig wasserhellen Gletscherkörnern einzelne Luftblasen eingeschlossen, und zwar bald ganz in der Mitte, bald excentrisch. Im feinen Firn findet sich die Luft nur zwischen den Körnern, und wenn sich das Firnkorn nach und nach durch Anfrieren von Wasser vergrößern würde, so bliebe die Luft zwischen den Körnern. Ich kann nicht einsehen, wie sie eingeschlossen werden könnte. An thauendem Schnee kann man dagegen unmittelbar zusehen, daß er dadurch grobkörnig wird, daß einzelne Kryställchen, später einzelne Körnchen, sich zusammenballen zu einem, daß also das größere Firnkorn nicht ein gewachsenes kleineres ist, sondern mehreren kleinen entspricht.

Daß das Gletscherkorn der oberen Theile des Gletschers kleiner ist, als das der unteren, ist leicht zu sehen, aber so oft ich schon darnach suchte, ist mir noch nie möglich gewesen, den Uebergang vom Firnkorn ins Gletscherkorn zu verfolgen. Wo der Firn aufhört, und das klare, aber blasenreiche Eis an der Oberfläche zum Vorschein kommt, zeigt dieses keine, oder doch keine deutliche Kornstructur; erst eine Strecke weiter thalabwärts tritt das Gletscherkorn Anfangs ziemlich klein auf. Auch scheint mir das Wachsthum der Körner gegen das Ende hin durchaus nicht so regelmäßsig stattzufinden, wie behauptet wurde. Ich glaubte erst lange, der Fehler läge in meiner Beobachtung, bis mich obige Rechnung hierüber tröstete.

Wie könnte es seyn, daß die feinen Trennungen zwischen den einzelnen Firnkörnern sich durch zwei oder sogar drei und mehr Jahrhunderte oft unter starkem Druck erhalten würden, ohne von der Regelation zerstört zu werden, während durch diesen Proceß die mächtigsten Spalten der Gletscherstürze fast spurlos verschwinden können, und zwei Eisstücke, einige Tage schwach aneinandergepreßt, so regeliren, daß

beim Zerschlagen das Stück nicht wieder an der gleichen Stelle bricht.

Das Spaltennetz oder diejenige Structur des Gletschereises, welche an warmer Luft die Entstehung des Spaltennetzes bewirkt, *ist nothwendig ein immer vergehendes und daneben gleichzeitig sich immer wieder neu bildendes; denn die von den Spältchen abgegränzten Gletscherkörner der höher und tiefer gelegenen Gletscherpartien entsprechen, wie die Rechnung beweist, einander nicht.*

Schon Forbes vermuthete, das Haarspaltennetz möchte eine „von Druck und Bewegung hervorgebrachte, oder wenigstens unterhaltene Zertheilung“ sein.

Wenn wir eine Partie Gletschereis von der Oberfläche in seine Körner auseinander nehmen, so fällt auf, daß sie nicht alle sich gleich leicht trennen. Während die Umgrenzungen der Körner durch die in die Spältchen eingedrungene Luft theilweise sichtbar sind und silberweiß erscheinen, und nach ihnen die Körner sich leicht trennen lassen (primäre Haarspalten), treten einzelne unregelmäßige Trennungsflächen quer durch die Körner erst auf, wenn wir mehr Gewalt anwenden; es sind dieses letztere schon vorgezeichnete Trennungsflächen, nicht etwa neue Bruchflächen, sie helfen oft ein Korn in mehrere Stücke zerlegen, ich will sie secundäre Haarspalten nennen zum Gegensatz der obigen. Es liegt der Gedanke nahe, daß die secundären Haarspalten alte, noch nicht ganz regelirte primäre sind. und uns in diesen beiden Formen Trennungsflächen der Gletscherkörner in verschiedenen Entwicklungszuständen vorliegen. Die als primäre Haarspalten bezeichneten sind meist glatt, krumm bis ebenflächig; die secundären zeigen meistens (vielleicht immer) feine scharfe Erhöhungen, die in Vertiefungen des daneben Liegenden genau passen, oft in einer Richtung länglich sind, und dann parallele Runzeln darstellen.

Zwischen der Erklärung der Gletscherbewegung aus Druck, wie Tyndall sie giebt, und der fortwährenden Erneuerung des Spaltennetzes will es mir aber scheinen, ist

ein tiefer innerer Zusammenhang. Prof. Tyndall sagt in Beziehung auf seine Experimente: „*the ice, in changing its form from that of one mould to that of another, was in every instance broken, and crushed by the pressure,*“ und fährt dann in Beziehung auf die Gletscher fort: „*but suppose, that instead of three moulds, three thousand had been used; or, better still, suppose the curvature of a single mould to change by extremely slow degrees; the ice would then so gradually change its form, that no rude rupture would be apparent. Practically the ice would behave as a plastic substance.*“

Ich glaube, daß eben dieses, was hier „*rude rupture*“ genannt wird, auch im Gletscher stattfindet, und die Zertheilung des Eises in Körner hervorbringt. Das Gletschereis ist so spröde, daß ich mir eine Formveränderung ohne fortwährendes Zerbrechen in Stücke (ohne „*rude rupture*“) auch wenn die Muldenform, in die das Eis gepreßt ist, noch so langsam sich ändert, nicht vorstellen kann. Auch im Gletscher wird in jedem Augenblick die Eismasse in Stücke, die Gletscherkörner, zerbrechen, und diese wieder durch Regelation verkittet; beide Processe gehen gleichzeitig in der ganzen Gletschermasse ununterbrochen vor sich, und zwar um so lebhafter, je schneller die Bewegung, und je unregelmäßiger die Thalform ist, an die sich der Gletscher schmiegen muß, kurz je größer die relative Bewegung benachbarter Eistheile ist.

Wir dürfen nicht erwarten, Formen des muschligen Bruches am Korn der Gletscher zur Stütze dieser Ansicht finden zu können. Die ihn characterisirenden concentrischen Streifen gruppiren sich nur um einzelne ausgesprochene Angriffspunkte der Kraft; im Gletscher findet aber der Druck durch die ganze Masse ungefähr gleichförmig statt, wir haben da für die Kraft unendlich viele gleichwerthige Angriffspunkte.

Wenn obige Erklärung von der Entstehung des Gletschereises richtig ist, so muß auch im compacten Wassereise eine dem Gletscherkorn analoge Zertheilung künstlich

hervorgebracht werden können, und das ist mir wirklich gelungen. Hätte Prof. Tyndall bei seinen Versuchen über das Formen von Eis nicht so starken Druck wirken lassen, daß das Eis momentan in feines Pulver zerhersten mußte, hätte er demselben nicht auf einmal so starke Formveränderungen zugemuthet, und mit größeren Eismassen experimentirt, so wäre ihm eine Kornstructur in den umgeformten Eismassen sichtbar geworden. Sein Gletscherkorn war pulverfein, und daher der Beobachtung entgangen.

Es wurde eine muldenförmige Vertiefung etwa 1 Fuß breit und $\frac{1}{2}$ Fuß lang, deren Biegung $2\frac{1}{2}$ Fuß zum Radius hat, in einen Block Holz geschnitten, und ein in die Mulde passendes, also convex gekrümmtes Stück hergestellt. Zwischen diese beiden Formstücke wurde eine möglichst schön reine, etwa 2 Zoll dicke ebene Platte von Flußeis gelegt, genau gleich lang und breit wie die Mulde, und das ganze mit Brettern fest umgeben, um das Ausweichen des Eises zu verhindern. Ein Schlag mit einem Gewichtstein von $\frac{1}{2}$ Centner darauf geführt, genügte die ebene Eisplatte in die Muldenform zu quetschen.

Eine Hauptunvollkommenheit dieses Versuches liegt darin, daß hier nicht wie am Gletscher auf alle Stellen der zu formenden Eismasse gleichzeitig ein fast gleicher Druck wirkt, sondern derselbe, wenn auch innerhalb der kurzen Zeit des Schlages, verschiedene Stellen der Eisplatte eine nach der andern angreift, nicht gleichzeitig. Dadurch kann die Wirkung nicht durch die ganze Masse gleichmäÙig werden, wie am Gletscher. Das Experiment sollte in der Weise verbessert werden, daß die Muldenform langsam geändert werden könnte, vielleicht dadurch, daß statt in eine Holzmulde die Eisplatte zwischen zwei biegsame Stahlplatten geklemmt langsam gebogen würde. Der angedeuteten Unvollkommenheit wegen zeigen denn auch die Bruchstücke muschligen Bruch (concentrische Streifen).

Zwischen den beiden Formstücken lag jetzt, deren Rundung angeschmiegt, eine durch Sprünge in einzelne Körner abgetheilte Eismasse. Die Körner schwanken in ihrem Vo-

lumen von nicht ganz einem Kubikcentimeter bis auf etwa das 6fache, und zwischen denselben lagen oft noch feine Eissplitter. In einem Fall wurde die so geformte Eismasse in der Mulde liegend kalt erhalten, und von Zeit zu Zeit mit etwas Wasser begossen; in einem zweiten mehrere Tage an eine Stelle gesetzt, wo des Tages die Sonne eine schwache Schmelzung hervorbrachte, Nachts aber die Temperatur bedeutend unter 0° sank; in einem dritten endlich unter dem bleibenden Druck von $\frac{1}{2}$ Centner während 2 Tagen in einen Raum gesetzt, dessen Temperatur sich, die Nacht ausgenommen, zwischen 0° und -2° hielt, und nur Nachmittags ein wenig über 0° stieg. In den beiden ersten Fällen sind die Umstände denen an der Oberfläche eines Gletschers ähnlich, im dritten denen, die auf das innere Gletschereis wirken, ähnlicher.

In allen Fällen erhielt ich eine Eismasse, die anscheinend ziemlich compact war, nur ein Theil der Risse war noch freilich unscharf, sichtbar. Ich konnte keinen Unterschied finden zwischen ihrem Ansehen und demjenigen des oberflächlichen Gletschereises am frühen Morgen, bevor die Ablation beginnt, so weit wenigstens, als ich letzteres noch in Erinnerung hatte. Bei Anwendung von etwas Gewalt liefs sich das Ganze von der Hand wieder in seine Körner auseinander nehmen. Ins warme Zimmer, oder an die Mittagssonne gebracht, wurde das Spaltennetz etwas deutlicher sichtbar, und die Körner liefsen sich nun leichter trennen. Ihre Oberflächen zeigten nie mehr Form des muschligen Bruches, sondern waren rauh durch unregelmäßige kleine Erhöhungen und Vertiefungen ganz wie bei den secundären Haarspalten, nur waren die Unebenheiten etwas feiner und zahlreicher als bei diesen.

In diesen Versuchen zeigten sich unmittelbar nach dem Brechen nur muschlige Flächen, nachdem Regelation und theilweise Durchtränkung gewirkt hatten, nur Haarspalten zweiter Ordnung. Weil am Gletscher alle Processe gleichzeitig stattfinden, so finden wir auch ihre Wirkungen am Gletscherkorn gleichzeitig.

Aus den angeführten Beobachtungen folgt, daß die secundären Haarspalten aus den primären durch einen secundären Proceß entstehen, der nur Regelation und Durchtränkung seyn kann, weil anderes inzwischen nicht mit dem Eise vorgefallen ist. Diese Prozesse bringen in der anfangs muschligen (am Gletscher platten) Haarspalte eine krause Fältelung der Oberfläche unter den gegebenen Umständen hervor. Einige Versuche, die entscheiden sollten, ob es mehr der eine oder mehr der andere Proceß sey, konnten nicht mehr zum Schlusse gebracht werden.

Au den Ufern der Havel und des Müggelsees bei Berlin fand ich in der thauenden Eiskruste eine unregelmäßig vertical prismatische Absonderung (häufig dreiseitig). Das Eis hatte sich während Schneefall gebildet. Die Absonderungen waren theils durch Zwischenräume von einander getrennt, theils hafteten sie zusammen. Fast immer aber war ihre Oberfläche eine fein runzlige, erinnernd an die der secundären Haarspalten. Daneben kamen noch vom einsickern den Schmelzwasser gefurchte Flächen vor, die nicht mit den gefältelten verwechselt werden dürfen.

Die in den Versuchen erhaltene muldenförmige körnige Eisplatte ließ sich innerhalb gewisser Gränzen genau so biegen, wie dies mit den körnigen Eisplatten der Fall ist, die sich an heißen Sommertagen oft leicht am Rande der großen Gletscherspalten diesen parallel ablösen lassen (erinnernd an den Gelenk Itacolumit). Bei diesem sorgfältigen Biegen war auch das gleiche Geräusch von der Verschiebung der Körner aneinander herrührend hörbar, wie an den Platten von wirklichem Gletschereise. Wird gewaltsam mehr gebogen, als sich die Körner an einander verschieben lassen, so entstehen durch Bruch neue primäre Haarspalten. Das gegenseitige Verschieben der zum Theil stark aneinandergepreßten Körner und die „*rude rupture*“ oder das Entstehen neuer Haarspalten sind es wohl, die zusammen das Geräusch hervorbringen, das man, wenn sonst tiefe Stille herrscht (z. B. Nachts oder früh Morgens, wenn noch

keine Schmelzwasserbäche rieseln und rauschen) an Gletschern oft wahrnimmt (Agassiz hörte das zuerst).

Der Habitus des aus den Versuchen erhaltenen gekörnten Eises ist auf den ersten Blick genau derjenige des ächten Gletschereises, mit dem bloßen Unterschiede, daß dort die Korngröße regelmäßiger ist, als sie im kleinen Versuche erhalten werden konnte.

Könnten wir dem Gletschereise die Eigenschaft der Regelation plötzlich nehmen, so verhielte der Gletscher in seinen Bewegungen sich wie Sand, Erde oder ein Kieshaufe¹⁾.

Wenn bei den obigen Versuchen ein schwacher Druck (Schlag) angewendet wird, so zertheilt sich die Eisplatte in nicht sehr zahlreiche Brocken oder Körner. Je stärker der Druck, desto genauer muß sich das Eis der Muldenform anschmiegen, desto kleiner das Korn. Jeder neue Riß schlägt den Weg ein, wo die Cohäsion der Materie die geringste ist. Sind Luftblasen im Eise, so haben die Haarspalten die Tendenz quer durch dieselben sich zu schlagen. Ein blasenreiches Eis stellt eine Masse von geringerer Cohäsion dar, als ein compactes; der gleiche Druck, der in den obigen Versuchen angewendet worden ist, wird in blasigem Eise eine zahlreichere Zertheilung, ein kleineres Korn hervorbringen als im compacteren.

Ganz dem entsprechend sind die Verhältnisse am Gletscher. In den oberen Partien scheint das Eis weiß durch eine Menge von Blasen. Da ist es auch feinkörnig, und die Haarspalten durchsetzen vielfach die Luftblasen. Durch die Haarspalten kann Wasser in die Blasenräume gelangen und kann darin gefrieren, die Luft aber entweichen. Dadurch vermindert sich die Blasenzahl, das Eis wird, während es vorrückt, immer compacter, und daher das Korn größer.

1) Das Schweißen von Metallen (Eisen, Platin) ist vielleicht ganz der gleiche Process wie die Regelation des Eises, wenigstens kenne ich keinen wesentlichen Unterschied. Wenn zwei schlecht zusammengeschweißte Eisenstücke wieder von einander brechen, so ist die Bruchfläche auch runzelig. Vielleicht würde durch genaue Vergleichung beider Processes etwas mehr Licht auf ihr Wesen fallen.

In den oberen Theilen des Gletschers, wo der Querschnitt mächtiger ist, ist auch der Druck, den die einzelnen Theile auszuhalten haben, gröfser; weiter unten nimmt er mit dem Querschnitt ab, und daher werden wiederum die neuentstehenden Haarspalten schwächer an Zahl.

Hugi machte die Beobachtung (ich habe sie freilich nie selbst wiederholt), dafs bei einem Gletscher, der einer starken Thalbiegung folgen mufs, das Korn an der concaven Seite der Gletscherzunge kleiner sey, als an der convexen. In der Mitte ist der Druck der gewöhnliche normale, an der concaven Seite des gebogenen Eiskörpers ist der Druck ein Maximum, an der convexen ein Minimum; dort sind die Haarspalten zahlreicher als hier, also auch das stimmt.

Wenn diese Erklärungen richtig sind, so ist es ferner einleuchtend, warum unmittelbar unter der Firngränze in der Mitte der Gletscheroberfläche nie ein deutliches Gletscherkorn auftritt, denn diese Eispartien sind noch nie zu beträchtlichen Differentialbewegungen von starkem Druck gezwungen worden. *Je gröfser Druck, Differentialbewegung und Porosität des Eises sind, desto stärker auch die Zertheilung* (das Volum des Kornes desto geringer); *mit dem Abnehmen der ersteren nimmt die Zertheilung ab, die Korngröfse zu.*

Dieser Satz liefs sich auf deductivem Wege finden, er stimmt für die mir bekannten Thatsachen, und empfiehlt sich dadurch weiterer Prüfung.

Dafs sich die Blasen Zahl auf die oben angedeutete Weise vermindere, will ich nicht bestimmt behaupten. Wir kennen die Eigenschaften des Gletschereises nur nahe der Gletscheroberfläche. Das ist eine gröfse, und nur unbehülfliche Lücke für die Erkenntnis der Processe, die im Gletscher vor sich gehen.

Die Winterkälte vermag in die schlecht leitende Gletschermasse nur etwa 8^m tief einzudringen. Im Frühling, wo das erste Wasser in die erkältete Schicht von oben eindringt, wird dieses zum Gefrieren gebracht, und bedingt

eine Volumvermehrung (Aufreibung). Diese ist aber eine sehr beschränkte, sie berührt nur die obersten Schichten, und ist auf wenige Zeitpunkte beschränkt.

M. Grad schreibt dem Gefrieren des Infiltrationswassers in den Haarspalten außer der Vergrößerung noch die von Bertin entdeckte und nachher von M. Grad und M. Dupré bestätigte und verallgemeinerte „krystallographische Orientirung“ des Gletschereises zu. Wie die nun durch das rings um die Oberfläche der Körner gefrierende Wasser hervorgebracht werden soll, davon macht er sich selbst, wie mir scheint, keine genaue Vorstellung; es dürfte auch schwierig seyn. Ich bin eher geneigt, diese „krystallographische Orientation“ als eine Function des Druckes anzusehen. Die Eismassen des unteren Theiles des Gletschers, an denen sie beobachtet worden ist, sind nicht die gleichen, die im oberen Theile des Gletschers die Erscheinung nicht zeigten; sie sind diejenigen, die früher unter dem mächtigen Druck der jetzt weggeschmolzenen oberen Eislagen während vieler Jahren gestanden haben. Wenn wir zudem bedenken, daß moleculare Umlagerungen in einem Körper, dessen Temperatur immer seinem Schmelzpunkte nahe steht, leicht vor sich gehen, und daß es nicht an Erschütterungen fehlt, die durch die Eismasse gehen (eine solche tritt z. B. unter Krachen jedesmal auf, wenn eine neue Spalte sich wirft), so erhält der Gedanke noch mehr Wahrscheinlichkeit. Die Erscheinung, die MM. Bertin, Grad und Dupré beobachtet haben, daß in horizontal aus dem unteren Theile des Gletschers geschnittenen Lamellen im Polarisationsmikroskop Farbenringe mit schwarzem Kreuz auftreten, weist auch nicht mit Nothwendigkeit auf wirkliche Krystalstructuren hin; amorphes Glas gepresst kann durch seine von außen ihm aufgezwungenen Spannungen dieselbe Erscheinung geben. Es scheint mir, als müßte die Wirkung beim Glase auch bleibend werden, wenn nur erst der gewaltige Druck lange Jahre gewirkt hätte. Versuche im Kleinen, die durch Druck die krystallographische Orientation in Eisstücken hervorbringen soll-

ten, ergaben kein Resultat. Und es kann uns das nicht wundern, denn ich konnte nicht, wie es mancher Gletscher thut, 5 Centner Druck per Quadratzoll während 200 Jahren, oder ähnlich starke Factoren wirken lassen. Schon Sir John Herschel hat im Bd. XXVII des *Philosophical Magazine* vermuthet, daß parallele Stellung der optischen Axen eintrete, und so viel sich merken läßt, nicht aus Gründen, die der Erklärung von M. Gard entsprechen.

Noch muß ich bemerken, daß nach den Rechnungen eines Engländers M. Moseley (*Phil. Mag.* 1869 Mai) die Festigkeit des Eises gegen die scheerenden Kräfte der Gletscherbewegung zu groß wäre, als daß das Eis durch die eigene Schwere gebrochen und so der Gletscher durch sein Gewicht sich bewegen würde. Wenn ich die Tyndall'schen Versuche und meine eigenen über das Umformen von Eisplatten recht verstehe, so wird das Eis darin, und auch im Gletscher, nicht auf Scheeren, sondern auf Brechen durch Biegen in Anspruch genommen. Die scheerenden, tangentialen Verschiebungen geschehen längs den durch Brechen (Liegen) vorher hervorgebrachten Spältchen. Es kommt mir vor, als wären in der Rechnung die ganz besonderen mechanischen Verhältnisse des Eises auch nicht genügend berücksichtigt worden. Zu diesen gehört seine außerordentliche Sprödigkeit noch bei 0°; der gleiche Druck, der eine gewisse Eismasse, wenn alles ruhig ist, lange nicht zu brechen vermag, bricht sie, sobald eine Erschütterung hinzutritt. Ferner gehört dazu das massenhafte Vorkommen von kleinen Luftblasen, die die Festigkeit um sehr vieles verringern müssen. Im untern Theil, wo die Luftblasen fast fehlen, haben wir die alten erst halb regelirten secundären Haarspalten, nach denen wieder das neue Brechen leichter geschieht, während in dieser Region die primären Haarspalten etwas weniger zahlreich, die secundären, sich länger erhaltend, besonders starke Fältelungen zeigen. Es verwickeln sich so viele, in ihrer Wirkung ungemessene, und ihrem Verhalten kaum gekannte Factoren in die Mechanik der Gletscherbewegung, daß mich das Resultat einer

Rechnung, die auf dem Bekannten beruht, vorläufig unmöglich zum Verwerfen der Erklärung aus Druck, mit der alle Thatsachen, von denen ich weiß, und die ich gesehen habe, so vollkommen stimmen, veranlassen kann. Nach der Erklärung, die M. Moseley (Jan. 1863 und Aug. 1869 *Phil. Mag.*) für die Gletscherbewegung giebt, müßte sie wohl im Ganzen in den oberen, mittleren und unteren Partien des Gletschers im Durchschnitt gleich groß seyn, was nicht der Fall ist. Da noch nie beobachtet worden ist, daß an irgend einer Stelle, auch nicht am unteren Ende der Gletscher, sich zu gewissen Zeiten auch nur das Geringste aufwärts bewegt, so müßte bei Temperaturabnahme die Linie, die relativ zur Unterlage fest bleibt, am obersten Ende des Gletschers liegen, bei Temperaturzunahme an der untersten Spitze. Daß das untere Ende bei Temperaturzunahme sitzen bliebe, und die ganze lange Gletscherzunge, die durch eigenes Gewicht nicht thalwärts kann, nachzöge, ohne daß sie quer ab sich in einzelne selbstständige Stücke reißen würde, kann ich mir nicht denken. Die Gletscheroberfläche nahe dem Gletscherrande erleidet mehr und stärkere Temperaturschwankungen, als die Mitte (bald Reflexion der Wärme von den Thalwänden, bald deren Schlagschatten, besonders aber durch die Winde, die in der Mitte mit schon dem Gletscher genäherter Temperatur anlangen). Die Ränder haben gewissermaßen ein mehr continentales, die Mitte ein mehr oceanisches Klima. So sollte man meinen, daß der Rand der Gletscher sich schneller, oder doch ebenso schnell bewegen würde, wie die Mitte, wenn die Temperaturschwankungen die Bewegung bewirkten.

Es fällt mir nicht im Entferntesten ein, M. Moseley's Ansichten ohne weiteres verwerfen zu wollen, sondern ich erlaube mir nur einiges, was mir jetzt als dagegen sprechend erscheint, vorzuführen, um es zu rechtfertigen, daß ich die Erklärung, wie sie Prof. Tyndall gegeben hat, noch festhalte. Vielleicht wird Herr Moseley diese Schwierigkeiten heben können, und besonders durch Temperaturmessungen im Inneren des Gletschers seine Ansichten fester begründen.

Im *Phil. mag.* März 1869 ist eine „Neue Theorie der Gletscherbewegung“ von Mr. Croll gegeben worden; die in Betreff der scheerenden Kräfte die Schwierigkeiten der Theorie von Prof. Tyndall nicht enthält. Ich muß eine Besprechung dieser Theorie unterlassen, weil ich sie selbst noch nicht klar verstehe. Nach derselben wäre eine vertikale Stellung der optischen Axen sehr leicht zu erklären.

2. Versuche mit abgetödtetem Gyps.

Die Theorie der Plasticität, wie sie Forbes gegeben hatte, führte unmittelbar zu Versuchen mit halbflüssigen Massen. Damals wurde der Unterschied von zähen (*viscous*) halbflüssigen Massen und von nicht zähen noch übersehen. Beide geben auf Druck nach. Während aber die ersteren auf Zug sich dehnen und in der Querrichtung zusammenziehen (sogar bis zu dünnen Faden), so widerstehen die letzteren ohne Formveränderung dem Zuge, oder sie reißen quer durch. Bei den ersteren bringt Zug und Druck ein Verschieben der Theile hervor, bei den letzteren Druck ein Verschieben, Zug nichts oder ein Trennen. Prof. Tyndall hob diesen Unterschied zuerst scharf hervor. Das Eis ist fest und sehr spröde, weder auf Druck noch auf Zug verschieben sich seine kleinsten Theile merklich; entweder verändern sie ihre Lage gar nicht, oder sie trennen sich ganz — das Eisstück bricht. Diese Eigenschaft hat auch das Gletschereis. Nicht seine kleinsten Theile verschieben sich durch Druck, sondern auf den Haarspalten trennen sie sich durch Bruch, und die ganzen Eisklötze, die dadurch abgegrenzt werden, die Gletscherkörner verhalten sich nun wie die Moleküle der halbflüssigen Massen, die auf Druck plastisch sind. Auf Zug kann der Gletscher unmöglich sich wie ein „*viscous body*“ verhalten, weil die Körner theils von einander getrennt sind, und nicht wie Moleküle eine Anziehungssphäre um sich haben, theils durch Regelation verwachsen und sich dann wie ein Handstück Wassereis, also spröde verhalten.

Wollte man mit homogenen halbflüssigen Massen Be-

wegungsversuche machen, die direct in Beziehung gebracht werden könnten mit dem, was am Gletscher beobachtet ist, so müßten die Moleküle derselben auf Druck sich verschieben, auf Zug sich nicht verschieben, sondern trennen. Bei den hierher gehörigen Körpern, die ich kenne, ist aber der Zug, der zum Trennen nöthig ist, sehr gering, geringer als die Schwere jedes einzelnen Molecüles, und das giebt ihnen die Eigenschaft der Dünnsflüssigkeit. Wir können sie nicht zu Versuchen über Gletscherbewegung gebrauchen, weil, sobald eine Spalte entstehen würde, die eigene Schwere die Theile vom Rande der Spalte in dieselbe hinunterziehen würde, also keine Spalte entstehen könnte.

Der einfachste Ausweg, den ich sehe, ist folgender: Wir müssen uns eine dickflüssige Masse herstellen, die nicht homogen, sondern aus festen Körperchen besteht, welche wir mit einander verkitten, so daß auseinandergezogen sie sich leicht trennen, aber doch der Zusammenhalt die Schwere einer kleinen Menge von Körperchen, nicht aber einer ganzen Masse aufzuheben vermag.

Solche Körper wären nasser Sand, benetzte Pulvermassen etc. Durch andere Arbeiten wurde ich zunächst auf den „abgetödteten“ Gyps geleitet. Das „gebrannte“ Gypspulver ist unter dem Mikroskop als deutlich krystallinisch zu erkennen. Mit Wasser befeuchtet zeigt sich nach einiger Zeit plötzlich eine lebhafte Bewegung, das Bild ändert sich fast momentan, und andere Gypskrystalle liegen da. Die Gypsmaße steift sich im gleichen Momente. Nach wenigen Sekunden treten in Menge neue, ganz feine nadel-förmige Gypskrystalle auf, die, wenn nicht gestört, sich nicht selten schön strahlig gruppieren; sie verdichten noch das Geflecht, das die anderen größeren Krystalle bilden, und erhöhen dadurch die Festigkeit der steif gewordenen Masse. Der Moment der heftigen Bewegung ist wohl der, wo die Krystalle des „gebrannten“ Gypses Wasser aufnehmen. Wird nun in dem Momente, wo die Umkrystallisierung erfolgt, neues Wasser in gehöriger Menge zugegossen, und die Masse heftig gerührt oder bewegt, so können sich die

Gypskrystalle nicht verflechten, sie bleiben einzeln und lose. Diese Masse steift sich nicht wieder, und kann beliebig lang dickflüssig erhalten werden. Ausgetrocknet an der Hitze, wird sie wenig fest und rissig, mehlig. Solchen nicht mehr selbst fest werdenden Gypsbrei nennen die Hafner und Gypser „abgetödtet“.

Der abgetödtete Gyps besteht also aus stengligen und nadelförmigen Gypskrystallen, die aneinander nur durch das Wasser in den Zwischenräumen lose haften, — eine benetzte Pulvermasse.

Durch Zusatz von mehr oder weniger Wasser kann ein beliebiger Grad von Dickflüssigkeit dargestellt werden. Die Versuche über die Bewegung des abg. Gypses wurden folgendermassen angestellt: Aus Töpferthon wurde ein Gletscherthal oder mehrere sich vereinigende mit Biegungen, steileren und flacheren, engeren und weiteren Partien, wie das in Wirklichkeit vorkommt, angefertigt (etwa 4 Fuß lang), und dann in den oberen Theil von dem Gypsbrei gegossen, und dieser ganz beliebig langsam durch Klopfen an der Unterlage, oder durch Heben auf der oberen Seite in fließende Bewegung gebracht. Bei leicht flüssigem Brei war die Bewegung bloß ein Fliesen, je dickflüssiger er gehalten wurde, oder um so glatter die Thalwände gemacht wurden, desto mehr war sie zusammengesetzt aus Gleiten und Fliesen, und leicht konnte er so dick angewendet werden, daß die Bewegung nur ein Gleiten der ganzen Masse an den Thalwänden darstellte. Den Verhältnissen des Gletschers entsprechend, wurde ein Mittel eingehalten, das eine Bewegung zusammengesetzt aus Fliesen und Gleiten bewirkte. Die durch ungleichförmige Bewegung erzeugten Zerklüftungen sind oft haarfein. Färbt man das Wasser, in dem man den Gyps abtödtet, vorher mit etwas dunkler Farbe, z. B. blau, so werden diese Spältchen alle noch viel sichtbarer, indem sie sich mit dem gefärbten Wasser füllen, während des der weisse Gyps daneben nur unbedeutend gefärbt wird.

Der Gesamteindruck, den diese Gypsströme liefern, ist vollkommen derjenige eines Gletschers. Meine hochverehrten Lehrer Prof. Escher von der Linth und Prof. Mousson haben die Versuche zum Theil selbst mit angesehen. Einige Resultate der Versuche folgen.

Mittelwall zusammengesetzter Gletscher. Läßt man durch zwei sich vereinigende Thäler ungefähr gleich starke Gypsströme langsam abwärts fließen, so bildet sich durch den bloßen Mechanismus der Bewegung unmittelbar am Vorsprunge, wo die Vereinigung geschieht eine Vertiefung, abwärts davon aber sehr bald eine scharfe mittlere wallartige Erhebung, die bald eine constante Höhe erreicht, und erst nach längerem Lauf allmählig wieder verschwindet. Jeder der beiden Gypsströme war von halbkreisförmigem Querschnitte, etwa 5^{cm} breit und 2^{cm} tief, der vereinigte Strom 8^{cm} breit. Der entstandene Mittellängswall hatte an seiner ausgeprägtesten Stelle etwa 13^{mm} Breite und 3^{mm} Höhe. Die Erscheinung ist oft sehr auffallend, tritt jedoch nicht immer in der Weise auf. Der Vereinigungswinkel der beiden Ströme, die Querschnittformen etc., haben starken Einfluß auf deren Auftreten.

Es brachte dies sogleich die Vermuthung nahe, daß ein Theil der Erhebung mancher Mittelmoränen zusammengesetzter Gletscher nicht auf Schutz des darunter liegenden Eises vor Abschmelzung durch die Trümmer, sondern auf eine solche rein mechanische Weise hervorgebracht werde. Die Mittelmoräne müßte dann auf der Strecke, wo der mechanische Mittelwall sich erhebt, schneller an Höhe zunehmen, als nachher, wo der mechanische Damm sich schon fertig gebildet hat, und nicht mehr erhöht.

Am Claregletscher ist auf 1200^m Länge nicht der ganze Mittelmoränendamm von Trümmern bedeckt, sondern nur mit solchen gekrönt, und diese Strecke beginnt etwa 400^m unter dem Zusammenflusse, gerade da, wo in dem 12000mal verkleinerten Maafsstabe der Gypsversuche ein Mittelwall sich zu erheben begann. Später gleiten die Trümmer zur

Seite hinunter, und bedecken den früher trümmerlosen Abhang. Ob er sich auch selbst wieder senkt, wie es beim langen Lauf des Gypsstromes war, weiß ich nicht. Ein Querprofil durch die Mitte des Unteraargletschers 250 Meter unter der Vereinigung der beiden Hauptströme Lauteraar (L) und Finsteraargletscher (F) stellt Fig. 2, Taf. I dar. Ein solches etwa 1000^m unter dem Vereinigungspunkt stellt Fig. 3, und eines 3300^m unterhalb Fig. 4 dar. Es ist eigenthümlich, daß beim Claregletscher wie Fig. 3 zeigt, die Moränenkrone nicht genau auf der Mitte des Walles steht, sondern nach der linken Thalseite verschoben ist.

Ganz das Gleiche wie am Claregletscher, aber noch viel auffallender fand ich am Steinlimmigletscher, da wo sich mit ihm ein mächtiger Arm des Steingletschers, der zwischen Bocksberg 2640 und Thierbergli 2754 jäh hinunter stürzt, vereinigt. Die Moräne mit ihrem trümmerlosen Wall vom Steinlimmigletscher skizzirt Fig. 7. Das Profil, da wo die beiden Seitenmoränen noch nicht ganz vereinigt sind, etwa an der Stelle, die in die Mitte von Fig. 7 fällt, zeigt Fig. 5, Taf. I.

Immer aber werden, wie in den Gypsversuchen, gewisse Unregelmäßigkeiten in der Form des Bettes die Bildung eines deutlichen mechanischen Mittelwalles verhindern; ebenso tritt er nicht auf, wenn die beiden Ströme sehr ungleich mächtig sind. Profile wie die obigen haben wir daher bei durchaus nicht allen zusammengesetzten Gletschern zu erwarten. Seit ich auf diesen Punkt achte, habe ich selbst erst die zwei angeführten Gletscher gesehen, von solchen, die aus zwei nahe gleich starken Strömen zusammengesetzt sind.

Wie mir scheint, ist es die Beobachtung solcher Profile wie Fig. 3 und 5, was Charpentier verleitet hat, das Profil einer Moräne, wie sie das Eis vor Abschmelzung schützt, zu zeichnen wie Fig. 6 zeigt, und von einem „*piédestal des moraines superficielles*“ zu sprechen, während er bei den Seitenmoränen Erhebung durch Ablation des Gletschers nicht erwähnt, und die Verbreiterung der Moränen

durch Hinuntergleiten in die Schmelzthäler noch nicht kennt, sondern nur diejenige durch Ausbreitung des Gletschers in ein weites Thal bespricht (*Essai* §. 21, 1841).

Verschiebungsspalten. Zieht man auf der Oberfläche eines Stromes von abgetödtetem Gyps quer hinüber geradlinig einen Streifen von anderer Farbe, so wäre zu erwarten, daß er sich in Folge der in der Mitte größeren Geschwindigkeit in eine thalabwärts gekrümmte continuirliche Curve ausziehen würde, allein wir erhalten ein Bild wie Fig. 8, Taf. I. Es treten annähernd dem Rande parallele Verschiebungsklüftchen auf, besonders zahlreich nahe dem Ufer, und auf diesen wird unsere Linie gebrochen, es entsteht eine gebrochene Curve. Eine Reihe in's Eis eingerammter Pfähle in einer Linie quer über den Gletscher genügen nicht, uns über das entsprechende Verhältniß am Gletscher aufzuklären; wir müssen eine continuirliche scharfe Querlinie haben. Eine solche kann leicht hergestellt werden. Wir sammeln kleine dunkle Steinchen und legen eins hart an's andere in eine Gerade. Sie bilden eine sichere Linie, die beim heftigsten Regengufs nicht zerstört werden kann, weil sie durch vermehrte Wärmeabsorption sogleich in's Eis einsinkt. Zu Ende August des Sommers 1869 habe ich mit Hülfe meines Freundes Alfred Kleiner, stud. med. und des Maderaner Gemsjägers Joseph Maria Trösch an zwei verschiedenen Stellen des oberen Rhonegletschers, und Anfangs September quer über den Hüfigletscher solche Linien hergestellt. Als ich drei Wochen später die Localitäten wieder besuchte, waren die Linien alle noch ganz gut erhalten, aber die Zwischenzeit war zu kurz, um schon eine merkliche Veränderung in der Form der Linien hervorgebracht zu haben. In der Hoffnung, daß unsere Linien auch den Winter aushalten werden und im Sommer 1870 mehr Formveränderung zu sehen seyn werde, stieg ich wieder zu Thale.

Wenn ich auch die Verschiebungen noch nicht nachgewiesen habe, so glaube ich doch das System der Verschiebungsklüftchen des bestimmtesten namentlich am oberen

Rhonegletscher aufgefunden zu haben. Bei regelmässigem Gletscherbett gehen bekanntlich die Hauptspalten vom Rande schief aufwärts gegen die Mitte zu. Diese können oft sehr beträchtlich weit werden. Sie stehen senkrecht, oder nahe zu senkrecht zur Structur des Eises (blaue Bänder) an den seitlichen Partien. Nun findet sich aber noch ein System von Spalten am oberen Rhonegletscher, das der Structur theils parallel geht, theils sie unter flachen Winkeln schneidet. Bisher ist es noch unbeachtet geblieben, weil diese Spalten nie klaffen, meist nur Raum genug bieten, eine Taschenmesserklinge hineinzustecken, und auf den ersten Blick mit Structur verwechselt werden können. Sie gehen ganz in die Gletschermasse hinein; noch in den tiefsten Hauptspalten konnten sie bis unten verfolgt werden. Sie sind in ihrem Verlauf sehr regelmässig, so weit wir sie beobachten konnten, immer geradlinig, und setzten sich fort bis sie das Gletscherufer unter schiefem Winkel schneiden, oder unter den Randmoränen verschwinden, was Längen von 800 und noch mehr Meter ergibt. Dabei sind niemals zwei sehr nahe beisammen, sondern sie sind in fast regelmässigen Abständen (von vielleicht 10 bis 20 Fufs) wie auch die Verschiebungsspältchen im Gypsstrom in regelmässigen Abständen sind. Vielfaches Graben lehrte, dass das Eis auf diesen Spalten vollkommen getrennt ist, während leicht ein Stück weisses Gletschereis gehauen werden kann, das quer von einigen blauen Bändern durchzogen ist, — Structur hebt den Zusammenhang nicht auf.

Da wo die Structur diese feinen Spalten schneidet, sind vielfach Verschiebungen, die nach denselben stattgefunden haben, direct nachweisbar, und bei denen, die wir gefunden haben, war auch immer das der Mitte nähere Eisstück weiter thalabwärts gerückt, als das dem Thalufer zu gelegene. S. Fig. 9, Taf. I. Die Structurbänder a und a_1 , b und b_1 beiderseits der Verschiebungsspalte x entsprechen einander. Bei verschiedenen Beleuchtungen betrachteten wir von verschiedenen Punkten der Thalgehänge den Gletscher, um den Verlauf dieser Verschiebungsspältchen über

den ganzen Gletscher zu sehen; allein sie sind schon aus kleiner Entfernung nicht mehr sichtbar, selbst nicht bei schiefen Beleuchtungen. Wie schwierig es ist, sich auf der Gletscheroberfläche selbst über solche und ähnliche Dinge zu orientiren, weiß nur wer es selbst erfahren hat. Die enormen Dimensionen der Gletscheroberfläche, die Unmasse von großen Erhöhungen und Vertiefungen, die alle einander ähnlich sind, die Masse von Spalten, die weit umgangen werden müssen, die Aufmerksamkeit, mit der man auf den eigenen Fußtritt achten muß, das alles erschwert den Ueberblick unglaublich. Dieses Umstandes wegen mußte ich mich damit begnügen, den Verlauf der Verschiebungsklüfthen auf der östlichen Seite des oberen Rhonegletschers festzustellen. An anderen Gletschern fand ich nachher wiederholt, namentlich unregelmäßigen Ufern nahe, ähnlich gestellte feine Spalten mit ganz dem gleichen Character ohne ihren Verlauf genauer verfolgen zu können. Sie treten hauptsächlich da auf, wo die Bewegung an den Rändern bedeutender als in regelmäßigem Thale verzögert wird, wie hinter Vorsprüngen. Fig. 10 giebt die Uebersicht ihres Verlaufes am oberen Rhonegletscher; *a* bezeichnet die Verschiebungsspalten, *b* die Richtung der Structur, *c* die gewöhnlichen klaffenden Spalten. Fig. 10 A und 10 B stellen in größerem Maßstabe mit den genauen Winkeln Stellen bei A und B in Fig. 10 dar. Fig. 9 ist ebenfalls in der Gegend von B in Fig. 10 hineinzuzeichnen. Die große Bucht zwischen D und E muß am Rhonegletscher in diesen Gegenden sehr starke Verzögerung der Bewegung hervorrufen.

Am Gypsstrom können die Verschiebungsspalten, wenn sie zahlreich auftreten, die gewöhnlichen klaffenden Spalten ganz ersetzen; an den Gletschern scheinen sie mehr eine locale Erscheinung zu seyn, die klaffenden Spalten hingegen die allgemeine. Ob das am Rhonegletscher zuerst gefundene feine Spaltensystem wirklich das Analogon der Verschiebungsspältchen am Gypsstrom ist, kann endgültig erst durch spätere Beobachtung der Steinlinien, die wir gezogen

haben, entschieden werden. (Siehe deren Lage am oberen Rhonegletscher in Fig. 10 durch starke Linien angedeutet, eine in der Gegend von A, eine auf der andern Seite oberhalb.)

Bei einem etwas complicirteren Versuche mit abgetödtetem Gyps, wo zwei stärkere und ein schwächerer Strom zum Zusammenfluß gebracht wurden, zeigten auch longitudinale Linien Unterbrechungen durch Verschiebungen. Der Mittelwall der beiden stärkeren Ströme wurde von Spältchen schief durchschnitten, an denen schwache Verschiebungen der Gypsmaße in vertikaler Richtung statt hatten. Bei den einen Versuchen traten die den gewöhnlichen schief aufwärts vom Rande der Mitte entgegen gehenden Gletscherspalten entsprechenden Risse sehr deutlich, ohne weit zu klaffen, dafür aber in großer Zahl, auf. Bei anderen schien es, sie seyen durch Verschiebungen in der Masse unnöthig gemacht worden. Ein Versuch, alle die feinen Formen photographisch aufzunehmen, muß wiederholt werden.

Ausbreitungen. Wenn ein Gletscher an seinem unteren Ende sich in Folge Eintrittes in eine erweiterte Thalstufe ausbreiten kann, so wirft er im oberen Theile der Ausbreitung Längsspalten, die, sich den Rändern zu biegend, am unteren Ende ein radialfächriges System bilden. Es ist das auch leicht begreiflich. Der Druck der mittleren Masse, dem jetzt das Eis nachgeben kann, ist radial, der Zug peripherisch um das Ende herum, die Spalten werfen sich senkrecht zum Zug, also radial. Merkwürdiger Weise ist es nicht so beim Versuche mit abgetödtetem Gyps. Da treten am Ende zwei Systeme von Spältchen auf, die sich unter einem constanten Winkel von 69 bis 72 Grad schneiden. Diese Spältchen klaffen nie. Auf ihnen geschehen verticale Verschiebungen, die unteren Theile verschieben sich nach oben. Sie sind ungefähr ähnliche Dreiecke, eine Seite wird von dem Rande der ausgebreiteten Masse gebildet, die beiden anderen von je einer Spalte der beiden Systeme. Es wird hier das radiale System klaffender Spalten am Gletscher durch zwei sich kreuzende Systeme von Verschiebungsspältchen ersetzt.

Die Adhäsion ist bei so kleinen nassen Massen verhältnißmäßig stark, und den Trennungen mehr Feind, als den Verschiebungen. Es ist diese Vorliebe für Verschiebungen am abg. Gyps uns schon weiter oben entgegengetreten; mir scheint, sie ist es, die hier den Unterschied bewirkt, vielleicht ist er aber tiefer im Wesen der Masse begründet. Leider konnte ich nicht mehr andere halbflüssige, nicht zähe Massen auf ihr Verhalten in dieser Beziehung untersuchen. Inwiefern der Winkel von etwa 70 Grad speciell dem abgetödteten Gyps von dem betreffenden Grade der Dickflüssigkeit zukommt, weiß ich auch nicht. An Gletschern konnte ich, so sehr ich darnach suchte, nichts von einem doppelten Systeme finden. Fig. 11 zeigt den Verlauf der Spalten am Ende des Rhonegletschers, Fig. 12 die Verschiebungsspältchen am ausgebreiteten Ende eines Gypsstromes.

Differentialbewegung. Man hat schon versucht, die Structur des Gletschereises, die blauen und weißen Eisbänder, auf die Flächen größter Differentialbewegung zurückzuführen. Diese wie die Eisstructur findet auf Flächen statt, die wie ineinandergelegte Schalen (wie der vordere Theil eines Löffels) die Form haben, das vordere ausgezogene Ende nach unten. Solche Flächen kann man sehr leicht erhalten. Wenn man in dem Gypsstrom eine verticale Schicht anders färbt, so sieht man, daß sie sich bei der Bewegung in eine solche Form auszieht. Die Differentialbewegungen finden aber nicht in diesen Bändern statt, sondern schneiden dieselben wie schon Fig. 8 zeigt. Prof. Tyndall hat schon auf diesen Punkt aufmerksam gemacht. Ob die Differentialbewegung auf solche Löffel-Flächen, oder parallel den Thalwandungen am größten sey, mit andern Worten, ob „*the direction, in which the filaments slide past each other will be obliquely directed towards the middle*“ oder parallel der Mittellinie, habe ich durch einen Versuch darzuthun gesucht. Ich will denselben entwickeln, weil er noch in anderer Richtung Anknüpfungspunkte bietet.

Wenn eine Menge lamellarer oder linearer fester

Körperchen sich in einer dickflüssigen Masse befinden, so bleiben sie ruhig in ihrer Lage ohne bestimmte Anordnung liegen, sobald die ganze Masse sich überall gleich schnell bewegt, und die Lamellen müssen sich keineswegs, wie ich vor kurzem sagen hörte, alle senkrecht zur Richtung des Flusses stellen (z. B. in Laven). Eine bestimmte Anordnung tritt erst dann ein, wenn in der Masse Differentialbewegungen auftreten, wenn also die einen Partien sich schneller bewegen als die anderen. Das ist überall der Fall, wo eine Masse in einem festen Bette fließt. Da zieht die Reibung die Geschwindigkeit in der Nähe der Bettwände herunter (Laven, Schlammströme, Gletscher). Dasjenige Ende einer in der fließenden Masse liegenden Lamelle, das nach der langsamer sich bewegenden Seite des Stromes steckt, geht langsamer, wird gegenüber dem anderen zurückgehalten, die Lamelle wird gedreht, bis sie in die Fläche größter Differentialbewegung hineinfällt: in dieser Stellung bleibt sie. Sollte sie durch einen Zufall drüber hinaus gedreht werden, so würde sie gleich umgekippt, und wieder im gleichen Sinne in dieselbe hineingedreht, wie anfangs. Lamellen in einer fließenden Masse stellen sich alle in die Flächen größter Differentialbewegung ein.

Ich schnitt mir eine ungeheure Menge Holzblättchen von etwa einer Quadratlinie Gröfse, und der Dicke von starkem Papier. Diese wurden mit der Gypsmasse gemischt, und die Masse durch die Thallinne fließen gelassen, hernach fest eingetrocknet, wobei sich die Form freilich etwas verzog, und nun auf die Lage der Blättchen untersucht. Die Anordnung in einem Längsschnitt der durch die Mittellinie der Oberfläche geführt worden ist, zeigt Fig. 13. Die Flächen größter Differentialbewegung sind also parallel den Wänden des Bettes. In den höheren, mittleren, Theilen, wo überhaupt die Differentialbewegungen viel kleiner sind, war noch keine Anordnung eingetreten. Wäre die andere Ansicht die richtige, so müfste der Längsschnitt das Bild gegeben haben, das Fig. 14 zeigt.

Das „*sliding of the filaments towards the middle*“ hat

etwas bestechendes, wenn man bedenkt, daß am Rande der Gletschermasse, wo die Bewegung viel langsamer ist, eine Ueberhäufung von Masse, und in Folge davon eine Bewegung derselben nach der Mitte stattfinden müßte. Dieses ist aber nur ganz oben am Gletscher der Fall, wo die breite Firnmulde in das engere Gletscherthal mündet. Dort bewegt sich die Hauptmasse der Mitte zu, und an den Rändern wird nur nachgeschoben, was gut Platz hat. Am Gletscher selbst, wie der ungestörte Verlauf aller Mittel- und Seitenmoränen beweist, ist es anders. Es verhält sich der Gletscher wie eine Menge von Halbcylindern, die alle ineinander liegen, deren innere schneller thalwärts gleiten, als die äusseren; von einer Ueberhäufung am Rande ist nichts vorhanden. Die Frage ist nur noch die: Sind diese Cylinder unendlich dünn, d. h. nimmt die Geschwindigkeit continuirlich nach der Mitte zu, oder bildet je ein Büschel unendlich dünner, die sich nicht sehr viel ineinander verschieben lassen, einen dickeren, d. h. nimmt die Geschwindigkeit sprungweise nach der Mitte zu, finden Verschiebungen statt wie beim Gypsstrom (Fig. 8). Wenn ich die Verschiebungsklüftchen am Rhonegletscher richtig gedeutet habe, so sind sie in diesem Vergleiche die Trennungen zwischen zwei dickeren Halbcylindern.

Wenn analog den Thälern der Rhone-, des Triftgletschers und vieler anderer im Thal eine sehr steile Stelle angebracht wird, so bricht über derselben ganz wie der Gletscher auch der Gypsstrom treppenförmig hinunter. Am Fusse des Sturzes werden die Terrassen allmähig zu schwachen querlaufenden, bogenförmigen Erhebungen, und verschwinden endlich ganz; am Gletscher lassen sie bekanntlich die Schmutzbänder zurück.

Steckt man kleine Hölzchen aufrecht in den Gypsstrom, so neigen sie sich sehr bald thalabwärts, Beweis, daß die Geschwindigkeit nach der Tiefe abnimmt.

Daß bei gebogenem Thal das Bewegungsmaximum der concaven Thalseite näher rückt, daß der Gletscher auf kleine Seitenschluchten in seinem Thale kaum reagirt, daß

er kleine seitliche Zuflüsse bei Seite drückt oder überwältigt etc., alle diese Verhältnisse können sehr schön am Strom von abgetödtetem Gyps demonstrirt werden. Natürlich aber sind die Oberflächenformen niemals diejenigen des Gletschers, weil die Ablation fehlt, und am fortschreitenden unteren Ende des Gypsstromes ist die Bewegung ein Wälzen, am Gletscher der Ablation wegen nicht, oder tritt nur ganz untergeordnet und sehr problematisch im Winter ein.

Läfst man abgetödteten Gyps von einer Mulde nach zwei Richtungen entgegengesetzt sich langsam in Thäler bewegen, so erhält man auf dem Scheitel der Mulde ein prächtiges System von Querspalten ganz genau, wie sie sich auch auf den Firnplateaus, die Gletscherscheiden sind, bilden. Dieses Spaltensystem kann niemals durch Verschiebungen ersetzt werden.

An dieses alles knüpfen sich allerlei zu weiteren Versuchen führende Gedanken an, z. B. über eine Anordnung der halbfüssigen Massen in eine systematische Reihe nach mechanischen Principien u. s. w. Vielleicht werde ich später wieder einmal mich an die Sache machen können. Die noch sehr lückenhaften Versuche konnten nicht mehr fortgesetzt werden, denn wie im Bergstrom das Geschiebe langsamer bewegt wird als das Wasser, so geht die Arbeit immer langsamer als die Zeit.

3. Ueber Structur.

Um nachzuweisen, daß die Structur des Gletschereises (die blauen Bänder) nicht von der Schichtung des Schnees abgeleitet ist, suchte Hr. Prof. Tyndall nach Stellen, wo die Structur und die Schichtung gleichzeitig zu sehen wären. Nach langem Suchen fand er solche. Auf dem oberen Rhonegletscher hatten wir im Sommer 1869 fortwährend Gelegenheit, seine Beobachtung zu wiederholen und zu bestätigen. Fast in allen Spalten war horizontal die Schneeschichtung, und sie fast senkrecht schneidend die Structur sichtbar, so daß wir gewünscht hätten, daß Prof. Tyndall

zuerst hier darnach gesucht hätte; er hätte schneller gefunden, was er sehen wollte. Das Gleiche war am oberen Triftgletscher und selbst an kleinen Glärnischgletscher massenhaft deutlich zu sehen.

Ein zweiter Beweis für die Verschiedenheit von Schichtung und Structur und zum Theil auch eine Stütze für die Tyndall'sche Erklärung von der Entstehung der Structur ist folgendes: Ich dachte mir, wenn ein Gletscher mit deutlich entwickelter Structur (Längsstructur, oder schon stark ausgezogene Querstructur) nachher noch einen Sturz zu machen hat, so muß die, an dessen Fuß entstehende neue Querstructur die schon dagewesene Längsstructur schneiden. Wäre die Structur eine Schichtung, so könnte sie sich selbst nie schneiden. Der Rhonegletscher in seinem oberen Theile hat schon eine ordentliche Structur; wir suchten darum am Fusse des Sturzes im „*structure mill*“ nach gekreuzter Structur. So regelmäfsig war indessen die Sache nicht, wie ich mir gedacht hatte, die Eismassen gerathen im Rhonegletschersturz in bedeutende Unordnung, werden vielfach gedreht und verschoben, die alte Structur war nicht mehr in ihrem gesammten Verlauf zu verfolgen, sondern nur partienweise deutlich, oft war mir unklar, ob ich es mit alter oder neuer zu thun hätte. Bei langem Suchen und fleißigem Aufbauen der oberen weissen Kruste (es war an einem herrlichen Spätsommertage) fanden wir aber doch eine ungeheure Menge von Stellen auf der ganzen Menge von Stellen auf der ganzen Breite des Gletschers zerstreut, die sehr deutlich gekreuzte Structur zeigten, z. B. in dem fein weifsblasigen Eise ein blaues Band von ein Zoll Breite unter 40 Grad querdurchschnitten von einem anderen nahe gleichstarken blauen Bande, und ähnliches mehr, selbst ganze Bandsysteme, die sich kreuzten, so deutlich als man es nur wünschen konnte. Weiter unterhalb des „*structure mill*“ war die neue Structur so vorwaltend ausgebildet, dafs Spuren der alten nicht leicht zu finden waren.

An manchen anderen Gletschern ist wohl noch leichter gekreuzte Structur zu finden, und alles wird regelmäfsiger

seyn, wenn der Sturz nicht ein so wilder, und die Structur am oberen Theile schon besser entwickelt ist, als am Rhonegletscher.

Die Gränzfläche zwischen blasenlosem (blauem) Eisband, und blasigem (weißem) Eis läßt sich im Handstück leicht durch einen sorgfältig geführten Schlag bloslegen. Es fällt sogleich auf, dafs sie vertical cylindrisch gestreift ist. Auf den ersten Blick drängt sich sogleich folgende Erklärung dafür auf: die Wege, die die bei Bildung des blauen Bandes entweichenden Luftblasen genommen haben, sind, durch Eis ausgefüllt, an Steinkerne erinnernd, erhalten, und in einzelnen Fällen drang die Luftblase nicht mehr bis ganz oben, sie steht am Ende des Eiskernes, der ihren unvollendeten Weg bezeichnet. Wie sehr diese Beobachtung die Tyndall'sche Erklärung von der Entstehung der blauen Bänder im weissen Eise stützt, liegt auf der Hand. Zuerst hab' ich sie am oberen, dann am unteren Rhonegletscher gemacht, und hernach an anderen bestätigt gefunden. Fig. 15 stellt ein Stück weisses Gletschereis mit blauen Bändern dar, an dem die Gränzfläche des einen blauen Bandes blofs gelegt ist.

Wenn die kleinen Verschiebungsklüftchen nicht mehr als solche thätig sind, so gefriert endlich das Wasser, das in sie geräth, zu einer blasenlosen schmalen Eisader von höchstens 1 Ctm. Dicke. Diese ist schon leicht von blauen Bändern durch ihren regelmässigen Verlauf zu unterscheiden, sie hat einen etwas anderen Habitus, zudem schneidet sie gewöhnlich unter flachem Winkel die Structur, was an den Wänden klaffender Normalspalten häufig zu sehen ist. (Siehe Fig. 16, *a* ist diese Eisader). Diese Gletscheradern finden sich an der linken Seite des Rhonegletschers unmittelbar über dem Sturze und unterhalb desselben ziemlich häufig. An ihrer Gränzfläche habe ich nie cylindrische Structur gesehen. Es erklärt sich das sofort durch ihre andere Bildung von selbst.

Weit mehr als irgend ein anderer Gletscher eignet sich zum Studium der Entstehung von Schmutzbändern und

Structur der Triftgletscher, der über die Triftlimmi als Firnscheide mit dem Rhonegletscher zusammenhängt, aber diesem entgegengesetzt in die nach Norden sich senkenden Thäler steigt. Sein Hauptsturz von 450^m Höhe ist ungleich grofsartiger und wilder als der des Rhonegletschers. Die Gletscherstrecke unmittelbar drunter hat auf 2000^m Länge und 1100^m Breite nur 115^m Gefäll; hernach folgen wieder steilere sturzähnliche Partien von 1800^m Länge. Von der dicht oben neben dem Gletscher stehenden Clubhütte überblickt man das Ganze, und kann völlig von der Natur die Erklärung unmittelbar ablesen, die Prof. Forbes und Prof. Tyndall von der Entstehung der Schmutzbänder geben. Die Structur ist so deutlich, dafs sie von oben in ihrem Verlauf über den ganzen Gletscher genau verfolgt werden kann. Noch nie habe ich eine so grofsartige Gebirgsansicht genossen, wie diese; die gröfseren Gletscher alle die ich gesehen, erreichen an Schönheit den einen wenig gekannten nicht.

4. *Firnschnee*. Den 25. August 1869 erstiegen wir unter wolkenlosem Himmel den Galenstock und den 28. wandelten wir den ganzen Rhonegletscher hinauf über die Triftlimmi. Dabei fiel mir eine feine Rippung des Firnschnee's überall an der Oberfläche auf, die ich mich nicht erinnere, früher gesehen zu haben. Nach zwei Richtungen, die sich unter etwa 60 Grad schnitten, war der Firnschnee überall fein gefurcht, und dadurch in kleine Rhomben an der Oberfläche abgetheilt, deren längere Diagonale von vielleicht 2 bis 3^{ctm} immer ost-westliche Richtung hatte. Fig. 17 giebt ein Bild davon. Der Wind bringt oft Aehnliches im Firnschnee hervor, aber die ungeheure Regelmäfsigkeit und allgemeine Verbreitung war immerhin sonderbar.

Albert Heim del.

Albert Schützli lith.