

## Bemerkungen

über den gegenwärtigen Standpunkt der Gletscherfrage

von Prof. A. Mousson.

### 1) Die relative Bewegung.

Es ist das Verdienst der Hrn. Agassiz, Forbes und Schlaginweit, durch bestimmte Messungen nachgewiesen zu haben, dass der Gletscher nicht nur als ganze Masse sich verschiebt, sondern zwischen seinen Theilen relative Bewegungen hat, so dass zwei derselben je nach den Umständen zu oder von einander rücken können.

Die Art aber, wie im Ganzen die Theile sich relativ bewegen, ist kein Eigenthum des Gletschereises allein, sondern wiederholt sich, in angemessenen Schranken des Druckes und Gefälles, und mit Abweichungen der Zeit und Geschwindigkeit, bei jeder aus beweglichen Theilen bestehenden Masse: Beim Wasser, bei abfließender Lava, bei einem Schlammstrome, einem weichen Teige, bei sich setzendem Schnee, selbst bei einer aus losen Körnern oder Brocken gebildeten Masse, einer Aufschüttung von Getreidekörnern, einer Sand- und Schuttanhäufung u. s. f. Ich rede hierbei nicht von der frontalen Bewegung, noch von der gleichzeitigen Totalverschiebung, die oft ganz fehlt, sondern von der relativen Bewegung der nachrückenden Theile.

Diese Seite der Bewegung ist daher unabhängig von der Natur der Beweglichkeit oder von dem innern Mechanismus der Bewegung; die einzige Bedingung beweglicher Theile muss zu ihrer Erklärung genügen.

Bisher untersuchte man die relative Bewegung einer Reihe auf einer Querlinie liegender Punkte; es ergab sich, dass die mittleren parallel und gleich fortrücken, diejenigen seitwärts mehr und mehr zurückbleiben und divergiren wie Fig. 1 zeigt. Zieht man die Totalbewegung, d. h. die Verschiebung der Gesamtmasse, welche auch von dem abgelösten Rande getheilt wird, ab, so erhält man Fig. 2, die relativen Bewegungen.

Fig. 1.

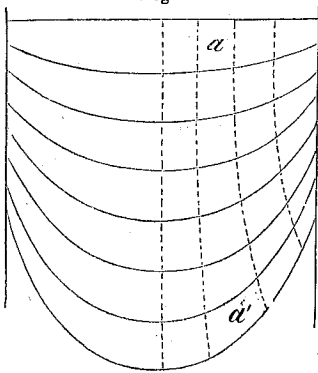
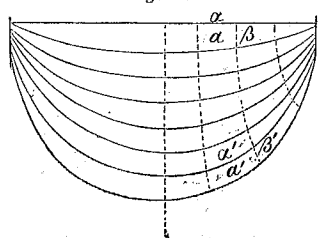


Fig. 2.



Wenn hierbei das Viereck  $a$  später zu  $a'$  wird, so hat sich dasselbe transversal (senkrecht zur Richtung des Fortschreitens) gedehnt, die Seite  $\alpha$  ist zu  $\alpha'$  geworden; im longitudinalen Sinne (in der Richtung des Fortschreitens) verkürzt,  $\beta$  wurde zu  $\beta'$ . Hr. Tyndall hat diese Veränderung durch die Umformung sichtbar gemacht, welche auf fließendem

Schlamm gezeichnete Kreise bei der Fortbewegung erlitten. Die Verkürzungen und Verlängerungen der Durchmesser entsprechen dann der Veränderung im Sinne  $\beta$  und  $\alpha$ . Wohl hat jeder Physiker in diesen Veränderungen eine Wirkung des Druckes, gewissermassen ein Breitdrücken der Masse gesehen.

So verhält es sich in einem gleichmässigen Bette. Natürlich aber tritt die transversale Ausbreitung (in dem obigen Sinne genommen) gegenüber der longitudinalen Verkürzung noch auffallender hervor, wenn das Bett sich erweitert oder das Gefälle sich vermindert, was beides die Vorwärtsbewegung verlangsamt; während umgekehrt Verengungen und Gefällsvermehrungen das Viereck  $a$  schmaler und länger machen.

Wir glauben nicht, dass Hr. Tyndall diesen Vorstellungen über die Bewegung im Ganzen etwas wesentlich Neues beigefügt habe; nur wendet er sie auf eine ebenso einfache als überzeugende Weise auf die Entstehung gewisser Schmutzzonen an, die an der kuchenartigen Ausbreitung des Rhone-Gletschers peripherisch oder transversal herumlaufen. Bei vermehrtem Gefälle oder sich verengendem Bette müssen natürlich die Schmutzzonen dieses Ursprunges longitudinal werden.

2) Die Richtung der Spalten, in Massen von geringer Verschiebbarkeit und starkem Zusammenhang, hängt gleichfalls nur von den allgemeinen Bewegungserscheinungen ab und nicht von dem innern Mechanismus der Bewegung. Natürlich klaffen die Theile nach der Richtung von einander, nach der sie aus einander gerückt werden; die Spalte, eine

Reihenfolge aus einander reissender Theile, bildet sich longitudinal, im Sinne des Fortschreitens. In der Mitte des Gletschers, wo die Theile sich parallel bewegen, fehlen in der Regel Spalten, nach der Mitte wachsen sie im Verhältniss wie die Viereckseiten  $\alpha$  (Fig. 2) sich vergrössern. Selbst an einer sich verschiebenden Trümmersmasse erkennt man diese Tendenz: im Sinne der Bewegung liegen die Theile gedrängt an einander, im transversalen Sinne zeigen sie vielfache Lücken und Trennungen. Wenn eine ductile Bleimasse, in Einer Richtung gepresst, kuchenartig sich ausbreitet und an der Peripherie radical aufspringt, so ist das immer dieselbe Erscheinung.

Bei einer solchen Bewegung der Masse, in Folge deren die Vierecke  $a$  sich in der Richtung des Fortschreitens verlängern, im transversalen verkürzen, entwickeln sich transversale und nicht mehr longitudinale Spalten. Immer jedoch wird vorausgesetzt, dass nicht besondere Unregelmässigkeiten der Gletscherbettes die Spannungen und Risse des Eises veranlassen.

Auch aus diesen Erscheinungen lassen sich direkt wohl keine Folgerungen über die Natur der Beweglichkeit ableiten, welche eben den Cardinalpunkt der Gletscherfrage bildet.

### 3) Die Natur der Beweglichkeit.

Um, weitergehend, die beiden Thatsachen, dass die Theilchen relativ beweglich sind und die Gletschermasse ein zusammenhängendes Ganzes bildet, in Verbindung zu setzen, hat man zuerst an eine Beweglichkeit in der Art einer stets zusammenhängenden viscosen Flüssigkeit gedacht. Man

muss sich hierbei über den Sinn des Wortes Viscosität verständigen. Das Wesentliche des Begriffes bleibt wohl eine Verschiebbarkeit der kleinsten Theilchen ohne Trennung derselben.

So definirt, besteht zwischen der Viscosität einer eigentlichen Flüssigkeit und der Ductilität eines Metalles nur ein stufenweiser, kein wesentlicher Unterschied; denn es lassen sich alle möglichen Uebergänge zwischen dem einen und dem andern Zustande beobachten. Nur die zur Umstellung und Verschiebung der Theilchen erforderlichen Kräfte, so wie der Spielraum und die nöthige Zeit der Umstellung weichen ab.

Wenn eine Bleikugel mit rundem Hohlraume durch Druck platt und letzterer zu einem flachen Sphäroide wird, so kann diess, bei Erhaltung der Stetigkeit der Masse, nicht anders geschehen, als indem die kleinsten Theilchen sich an einander verschoben und neue Gleichgewichtslagen gefunden haben. Jedermann nennt diess Ductilität. Ganz dieselbe Veränderung aber muss mit dem innern Gletschereise vorgegangen sein, in welchem die runden Luftbläschen sich zu Linsen, ja zu runden flachen Scheibchen abgeplattet haben. Es ist daher kein Zweifel, dass auch das Eis im strengen Wortsinne ductil ist, allerdings vielleicht nur bei einer Temperatur, die, wie im Innern des Gletschers, nahe genau 0 ist und unter der Wirkung lange dauernden Druckes. Die letztere Bedingung namentlich lässt sich bei Versuchen im Kleinen nicht erfüllen; der Druck wirkt zu heftig auf einzelne Stellen und die Masse springt, ohne dass Bläschen sich bleibend umgestalten.

Ich glaube übrigens die meisten Physiker, Agassiz und Forbes nicht ausgenommen, haben die Beweglichkeit des Gletschers nicht eigentlich, wenigstens nicht ausschliesslich einer wahren Viscosität oder Ductilität zugeschrieben. Die Worte Viscosität, Ductilität, Semifluidität, Plasticität wurden eben gebraucht, als die Frage der relativen Bewegungen im Vordergrund stand und die Analogie jener allgemeinen Bewegungserscheinungen mit denen einer zähen Flüssigkeit in die Augen sprang. Aber neben dem Gedanken an eine Beweglichkeit der kleinsten Theilchen, — die sich nach dem Gesagten nicht vollständig leugnen lässt, — wurde stets als das vorwaltende Moment derjenige einer Beweglichkeit in Folge einer mehr oder weniger entwickelten durchgreifenden Zertheilung festgehalten. Hugi setzte letztere in Verbindung mit der innern Kornentwicklung, Agassiz betrachtete sie als veranlasst durch den letzten breitgequetschten Luftinhalt des Gletschers, Forbes als eine Wirkung der ungleichen Bewegung benachbarter Eisschichten, Rendu endlich als eine Erscheinung der Zermalmung (tassement). Die relative Bewegung und Umstellung grösserer Partien und Brocken, womit der Einfluss der Feuchtigkeit und mittelbar der Witterung auf das Fortschreiten des Gletschers in Beziehung gesetzt wurde, zieht sich als ein Hauptmoment durch die meisten neuern Gletschertheorien.

4) Die Regeneration des Eises. — Damit freilich ist das Verhalten des Gletschers nicht vollständig erklärt. Eine Zertheilung, durch die seculäre Bewegung des nämlichen Eises fortgesetzt,

müsste am Ende eine vollständige Aufhebung der innern Verbindung, eine Auflösung in Grus und Brocken zur Folge haben, wäre nicht ein entgegengesetzter Prozess wirksam, der die vorübergehend getrennten Theile immer wieder zu einem zusammenhängenden Körper verbände, als welchen sich der Gletscher bis zum Ende darstellt.

Man hatte bisher nur in zwei Fällen auf die Regeneration des Gletschereises geachtet. Erstens sah man zwei Gletscherarme sich durch und durch in Einen Stamm vereinigen und ihre individuellen Bewegungen allmählig in ein gemeinsames Bewegungsgesetz auflösen. So z. B. verbinden sich der Vorder- und Hinteraargletscher, unter den gehobenen Mittelmorainen durch, zu einem einzigen Eiskörper. Zweitens wusste man, dass am Fusse eines Gletscherbruches die getrennten Trümmer unter dem Einflusse der Witterung, d. h. durch ein Zerfallen in Körner, ein Ausfüllen der Lücken, eine Durchtränkung mit Wasser, endlich durch Wiedergefrieren zu einer ebenso compacten Eismasse wie oberhalb des Bruches verwachsen. Vor Hrn. Tyndall hatte aber Niemand diesen Wiederherstellungsprozess als einen nothwendigen, beständigen und durchgreifenden aufgefasst, noch weniger die Bedingungen angegeben, unter denen er eintritt.

Ich betrachte die Anwendung der Faraday'schen und Tyndall'schen Versuche über die Umformung der Eisstücke auf den Gletscher im Grossen als einen der allerwichtigsten Fortschritte zur Lösung der Gletscherfrage, als das einzige Mittel, die beiden Thatsachen der steten Zertheilung und Zermal-

mung und des fortdauernden Zusammenhangs gehörig zu vermitteln.

5) Die Erscheinung des Verwachsens ist nicht allein mit Rücksicht auf den Gletscher, sondern vom physikalischen Standpunkte von hohem Interesse.

Schlaginweit hatte bereits durch Anwendung der hydraulischen Presse, unter Entweichen von Wasser, lockern Schnee zu dichtem Eise comprimirt. Auch war der Druck mehrfach als ein wesentlicher Factor bei der Eisbildung in der Tiefe des Gletschers bezeichnet worden. Allein erst aus den neuern Versuchen der englischen Physiker ergab sich die einfache Thatsache, dass es genüge, Eisstücke mit nassen Flächen in genaue Berührung zu setzen, um ihr Zusammenwachsen zu bewirken. Die Wasserschicht oder Wasserhaut, welche in einer Luft über  $0^{\circ}$  C. an der freien Oberfläche flüssig bleibt, gefriert, wenn sie zwischen zwei Eisstücke eingeschlossen ist, wo ihre Temperatur tiefer steht als bei einseitiger Berührung mit wärmerer Luft. Ohne Wasserhaut, in kalter Luft unter 0, scheint das Verwachsen nicht zu erfolgen und es zeigen sich einfach die Wirkungen der gewöhnlichen Adhäsion.

Verwandelt man durch Druck ein Eisstück in eine ebenso dichte Eismasse von anderer beliebiger Form, so lassen sich dabei drei Vorgänge unterscheiden: eine Zermalmung, d. h. mannigfache Trennungen in Folge der Ungleichheit des Druckes auf verschiedene Stellen, ein Zusammenschieben der grössern und kleinern Brocken, in Stellungen, welche der mitgetheilten Form besser entsprechen, endlich ein gleichzeitig fortschreitendes Verkitten der



getrennten Theile zu einer homogenen Masse — welche zugleich die günstigste Vertheilung des Druckes darbietet.

### 6) Das Gefrieren in Capillarräumen.

Das Gefrieren des Wassers in engen Räumen zeigt auffallende Abweichungen. Lässt man enge Röhren unter 0,7 Millim. Weite, in der Mitte mit einer Wassersäule von einiger Länge versehen und an den Enden zur Hinderung der Verdampfung mit Siegelack verschlossen, horizontal Tage und wochenlang der kalten Luft (bis — 6 und 7° C.) ausgesetzt, so gefrieren sie nicht, selbst nicht, wenn man durch kleine Schläge das Rohr erschüttert. Weitere Röhren von 1 Millim. und mehr gefrieren in jeder Nacht, wobei die Eissäule sich nach dem bekannten Verhältnisse von  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{9}$  ausdehnt. — Schon eine Wasserschicht zwischen Spiegelplatten widersteht dem Gefrieren, wenn die letztern durch Schrauben hinlänglich genähert werden, während das einfache Gewicht einer aufgelegten Platte in kalter Nacht die Entstehung des Eises oft nicht zu hindern vermag.

Man erhält so unter dem Einfluss der Adhäsion die Erscheinung des Ueberfrierens, welche man sonst durch vollkommene Ruhe, unter Abhaltung der Erschütterungen des Bodens und der Bewegungen der Luft, zu beobachten gewohnt ist. Man muss sich denken, dass die Wassertheilchen zunächst unter 0° C. zweier Gleichgewichtszustände fähig sind, eines flüssigen, in welchem sie mit ganz unregelmässigen Stellungen durch einander liegen, und eines festen, entsprechend den von den Cohäsionskräften vorgeschriebenen gleichartigsten und stabilsten Lagen.

Jener Zustand, bei Temperaturen über  $0^{\circ}$  der einzig mögliche, wird unter diesem Punkte zu einem labilen, den sehr geringe relative Umstellungen der Theilchen bereits aufheben, da dieselben dann, eines das andere nach sich ziehend, von der Umwälzung in die günstigste Stellung ergriffen werden und krystallisiren. In den obigen Fällen scheint nun die Adhäsion der glatten und reinen Glaswände in dem engen Raume dahin zu wirken, die Theilchen in den ungeordneten Stellungen des flüssigen Zustandes festzuhalten, ihre Umstellung zu hindern.

Dieser schützende Einfluss hört aber zum Theil auf, wenn das Wasser der Röhre am Ende mit äusserem Eise in Berührung steht. Verticale oder schiefe Röhren, die unten in ein Gefäss mit gefrierendem Wasser tauchen, oder horizontale, deren Wassersäule am Ende als Tropfen hervortritt und dort gefriert, hindern die Eisbildung nicht mehr so vollständig. In einer einzigen Nacht von  $-5^{\circ}$  C froren alle Röhren über 0,3 und zwar ohne zu zerspringen. Letzteres erklärt sich nach dem bekannten Grundsatz, dass überhaupt Gefässe nicht zerspringen, wenn die Eisbildung vom Grunde derselben gegen die freie Oberfläche der Flüssigkeit hin, und nicht umgekehrt, fortschreitet. Das Gefrieren in der engen Röhre rührt von einem Einfluss der gesetzlich geordneten Theilchen des äussern Eises auf die noch ungeordneten der Flüssigkeit her. Die Macht gleichartiger Krystalle um als Ansatzpunkte zu wirken, d. h. um die Krystallisation neuer Theilchen zu bestimmen, ist ohnehin bekannt genug und vermag bis zu einer gewissen Enge der Röhren, den entgegengesetzten Einfluss der Capillarität und Adhäsion zu überwinden.

Bei einer Wasserhaut zwischen Eis wird vollends jede Ueberschmelzung unmöglich sein und das Wasser abweichend von dem Verhalten an der Oberfläche des Eises oder zwischen Glas, nothwendig immer gefrieren. Denn erstens ist die Temperatur in dem engen Raum zwischen zwei Eisstücken nothwendig  $0^{\circ}$ , während diess in wärmerer Luft an der äussern Eisoberfläche nicht streng der Fall sein kann; und zweitens wirkt nicht nur kein Hinderniss gegen die Umstellung der Theilchen, sondern die Wände selbst geben von beiden Seiten (nicht nur einseitig, wie oberflächlich) die stärkstmögliche Anregung dazu. Je schwerer das Gefrieren in einem engen Glasraume, desto leichter muss es in einem engen Eisraume vor sich gehen.

#### 7) Der Ursprung des Verkittungswassers.

Woher aber soll im Innern der Eismasse, zumal im Innern des ungeheuern Gletscherkörpers die Feuchtigkeit kommen, welche zur sofortigen Vereisung der aus der Zerdrückung entstehenden Theile erforderlich ist? Eine Schmelzung durch eingestralte oder von Aussen hereingeleitete Wärme, wie sie von Herrn Tyndall an der Oberfläche jeder Lücke und Pore des den Sonnenstralen ausgesetzten Eises nachgewiesen worden, kann es nicht; die Tiefe, zu welcher solche Wärme gelangt, ist viel zu gering. Die Hrn. Tyndall und Huxley geben keine Antwort auf jene Frage, obgleich ihre schönen Versuche über die Umformung von dichtem Eise zu dichtem Eise, wie mir scheint, eine solche einschliessen.

Wenn man bei einer Temperatur, die wenig über 0 steht, ein vollkommen klares glasiges Eisstück, etwa von 60 Millim. nach jeder Seite, unter einer starken

hydraulischen Presse zerdrückt, was anfangs mit schwachem Krachen, später mit einem eigenthümlichen Aechzen geschieht, und den Druck fortwirken lässt, bis eine zusammenhängende Platte von 8—10 Millim. Dicke entsteht, — die allerdings in unsern Versuchen immer matt und trübe war, — so entweicht eine Menge Wassers, die mit den äussern erwärmenden Ursachen in keinem Verhältnisse steht, ja dem Gewichte der entstandenen Eisplatte gleichkommen kann. Wer den auffallenden Versuch sieht, wird sich kaum der Ueberzeugung erwehren, dass ein grosser Theil der Schmelzung, statt das Resultat äusserer Erwärmung zu sein, als eine Wirkung der auf das Eis ausgeübten mechanischen Arbeit gedeutet werden muss.

Berücksichtigt man, dass der umgestaltete Theil des festen Eises wieder ganz ähnliches dichtes Eis ist wie das ursprüngliche und auch die nämliche Temperatur  $0^{\circ}$  besitzt, so repräsentirt derselbe keinerlei mechanische oder thermische Arbeit, denn die Wirkungen der Trennungen der Theilchen werden durch diejenigen ihrer Wiedervereinigung compensirt. Die ganze mechanische Arbeit muss daher, so wenigstens möchte man im Sinne der schönen Wärmetheorie der Herren Thomson und Clausius schliessen, — in Wärme sich umgewandelt haben und zur Schmelzung eines andern Theiles Eis verwendet worden sein. Die Schmelzungswärme des vollständig gesammelten Wassers müsste, verglichen mit der mechanischen Arbeit der Presse, auf das nämliche gegenseitige Aequivalent führen, das bereits übereinstimmend aus der Compression der Gase und der Wärmeentwicklung durch Reibung ermittelt worden ist.

Mir scheint es nach diesen und andern Versuchen

keinem Zweifel unterworfen, dass die Zermalmung des Eises durch Druck stets von einer Wasserbildung begleitet ist, welche alle aus dem Zerdrücken des Eises entstehenden Trennungen benetzt und die zusammengepressten Theile sofort wieder verkittet. Es bedarf keines Nachweises, dass dieser Vorgang nothwendig auf den Gletscher seine Anwendung findet, so dass derselbe ein merkwürdiges Beispiel darstellen würde, wie selbst die Kraft der Schwere, die einzige ursprünglich bewegende Kraft des Gletschers, sich grossentheils in Wärme umsetzen kann.

### 8) Die Durchtränkung des Gletschers.

Man darf nicht vergessen, dass die Veränderungen des Eises, bei Versuchen mit der hydraulischen Presse in kurzer Zeit zu Ende gebracht, im riesenmässigen Gletscherkörper, langsam aber stetig vor sich gehen, daher die Wiedervereinigung an jeder Stelle unmittelbar und augenblicklich der Trennung folgt; ferner, dass ein grosser Theil der mechanischen Wirkung der Schwere auf ein massenhaftes Verschieben des Gletschers verwendet wird und Reibungen veranlasst, deren Wärme nur an der Grenzfläche, nicht im Innern zur Schmelzung einwirkt.

Nichtsdestoweniger, wenn das Innere des Gletschers streng auf  $0^{\circ}$  steht und auf  $0^{\circ}$  bleibt, sieht man nicht ein, wie das Schmelzwasser der mechanischen Arbeit, so gering an Menge und vertheilt es sein mag, wieder verschwinden kann. Hat sich dasselbe gebildet und gefriert, so entwickelt es nothwendig ein gleiches Quantum Wärme, als es zu seiner Entstehung bedurfte, und andere, der Krystallisation weniger günstige, nach ihrer Struktur geneigtere Stellen werden

zur Schmelzung gelangen. Wo das kleine Wärmeübermass, wie in kalten Nächten, nahe der Oberfläche nach Aussen entweichen kann, muss das Eis nothwendig zu einer ganz dichten festen Masse werden. Für das Innere hingegen ist die durchgreifende Vereisung nicht evident und man sieht nicht ein, wie das durch die Arbeit direct oder indirect gebildete Wasser anders als flüssig fortbestehen kann, an Stellen natürlich, die dem Wiedergefrieren am wenigsten günstig sind.

Eine auch noch so schwache Durchtränkung des innern Gletschers, wie sie Hr. Agassiz ausschliesslich und in viel stärkerem Masse von Aussen ableitete, scheint daher eine nothwendige Folge der mechanischen Wärmetheorie. Sie zieht hinwieder das Dasein von Lücken irgend einer Art voraus, in denen das gebildete Wasser verweilt oder durch welche es absickert. Wäre irgend eine Ursache zu finden, welche das Innere der Eismasse um ein Minimum unter  $0^{\circ}$  erhielte, so würde die obige Schlussfolge von selbst wegfallen und die Annahme einer wasserfreien Eismasse ganz gerechtfertigt sein. Eine solche Ursache wüsste ich nicht anzugeben.

### 9) Die Haarspalten.

Ich berühre damit die Frage der Haarspalten, deren Dasein früher schon Hugi, nach einem fruchtlosen Infiltrationsversuche, der eine ganze Nacht dauerte, geleugnet und neuerdings wieder Huxley mit scheinbar schlagenden Gründen widerlegt hat.

Nach diesen Versuchen kann nicht bezweifelt werden, das ein grosser Theil des Gletschers aus Eis besteht, das, selbst bei geringer Dicke, keine farbige

Flüssigkeit durchlässt. Und doch, wenn man die mehrere Meter des inneren Eises umfassenden grossartigen Versuche der Herren Agassiz und Schlagin weit näher betrachtet, namentlich die Bewegung der Flüssigkeit an den Wänden geschützter Stellen, kann man sich mit der gegebenen Erklärung einzelner zufälliger Risse, die oben und unten in eine oberflächliche Schicht enden, nicht zufrieden stellen. Der Gegensatz zwischen dem von äussern Agentien zertheilten oberflächlichen Eise, in welchem die Infiltrationen sich rasch nach allen Seiten verbreiten, und dem weit weniger zertheilten innern Eise, war den gedachten Physikern vollkommen bekannt, die Grenze bis zu welcher die starke Zertheilung eindringt genau, und zwar vermuthlich in Folge der Jahreszeit oder Witterung tiefer als bei den Huxley'schen Beobachtungen, nachgewiesen und als diejenige gedeutet worden, bis zu welcher die Temperaturveränderungen kalter Nächte eindringen mögen. Wenn je, möchte man glauben, hatte man es bei mehreren jener Filtrationsversuche, mit dem wahren innern Eise zu thun, ebenso gut als bei Bedeckung mit einem blossen Stein.

Ob nicht beiden Thatsachen in gewissem Umfange ein Recht zukömmt? — Hält man die beiden Vorstellungen der Wiederverkittung und der mechanischen Wärmeentwicklung fest, so begreift es sich, dass grosse Massen des Gletschers, jene nämlich, in denen eben keine relativen Bewegungen erfolgen, dicht und fest gefroren sein können. So wird es auch an allen der Oberfläche nahen Stellen der Fall sein, welche von äussern auflösenden Einflüssen geschützt oder durch Einwirkung kalter Nächte, den Wärmeüberschuss

der Arbeit nach Aussen verlieren können. Namentlich kann die oberflächliche Verdunstung dazu beitragen. Wo hingegen der Gletscher stärker arbeitet, muss flüssiges Wasser sich bilden und an den Stellen sich finden, wo die Schmelzung am leichtesten vor sich geht. Dass das scheinbar gleichartige Eis unter dem Einfluss von Wärme und Sonne in Körner zerfällt, beweist jedenfalls, dass es Stellen ungleicher innerer Cohäsion und ungleicher Schmelzbarkeit enthält, welche die Masse als ein Netzwerk durchsetzen. Es scheint natürlich das Wasser der mechanischen Arbeit in einem, je nach seiner Menge, mehr oder weniger entwickelten Complex solcher etwas leichter schmelzbaren Stellen zu suchen. In dem einen Theile des Gletschers, wo geringe Arbeit, mag sich der Complex auf einzelne unregelmässige Lücken, die Wasserkammern des Hrn. Huxley, beschränken, in andern mag er mehr Zusammenhang gewinnen und, obgleich andern Ursprunges und mit anderer Deutung das frühere System der Haarspalten darstellen, welches die bisherigen Physiker annahmen. Dass von jenen Lücken jene am längsten fortbestehen, welche zufällig in Verbindung stehen, ihr eignes Wasser verlieren oder äusserem Schmelzwasser zum Durchgang dienen, begreift sich leicht. Ihre Unregelmässigkeit lässt sie aber nicht mit Spalten verwechseln, welche, auch bei der Feinheit eines Haares, stets in Flächen nach bestimmten von der Bewegung vorgeschriebenen Richtungen das Eis durchsetzen.

10) Die Bläschen, von denen das meiste Eis durchstreut ist, bieten allerdings dem Schmelzwasser der mechanischen Arbeit noch einen andern Sammelraum.



Sind die schönen Beobachtungen des Herrn Huxley, dass die oft sehr zahlreichen, oft auch plattgedrückten Bläschen auch im tiefen, von allem Eindringen äusserer Wärme geschützten Gletscher Wasser enthalten, richtig, so muss auch die Schmelzwärme dieses Wassers aus dem Innern stammen und findet seine einfache Erklärung eben in der Wärme der mechanischen Arbeit. Denn mit Grund ist darauf aufmerksam gemacht worden, dass wahrscheinlich oberflächliche Eistheilchen, wie an den Wänden der Bläschen, in Folge leichterer Beweglichkeit durch eine etwas geringere Wärme schmelzen, als welche zur Aufhebung der Cohäsion des dichten Eises erforderlich ist, eine Wärme, die vom Eise geleitet, erst an dessen Begrenzung, nämlich an den Blasenwänden, Schmelzung bewirken würde.

Man könnte versucht sein, auch den Ursprung der Bläschen in Frage zu stellen. Alle bisherigen Forscher betrachten diese regelmässigen hohlen Räume als den letzten Ueberrest des ungeheuern Luftinhaltes des Firnschnees und Firnwassers. Es könnte aber ein leerer Raum neben dem Wasserinhalte einfach dadurch entstehen, dass das Schmelzwasser einen kleinern Raum einnimmt als das Eis, woraus es sich gebildet. In letzterm Falle müsste aber der Hohlraum luftleer sein und ein ganz bestimmtes Verhältniss von  $\frac{1}{9}$  zum Wasserinhalte haben. Beides bestätigt sich nicht: der Wasserinhalte ist ein sehr veränderlicher und dessen Erzeugung kann daher den kleinen Blasenraum nur vergrössert, nicht vollständig hervorgebracht haben. Wenn dieselbe Unabhängigkeit der Grösse der Höhlung vom Wasserinhalte auch bei den Wasserkammern gefunden wird, so können auch diese keine unmittel-

bare einfache und reine Wirkung der Schmelzung sein; entweder sind sie aus einer Vereinigung zufällig nahe-  
liegender Bläschen entstanden, zwischen denen die  
Trennungswand geschmolzen ist, oder sind ein Ueber-  
rest eines vollständigen Netzwerkes, das einen Theil  
seines Wassers verloren und sich wieder durch theil-  
weises Verwachsen in g e s o n d e r t e Höhlen umge-  
staltet hat. Beobachtungen über die verschiedenen  
Entwicklungsstufen des Gletschereises an der Firn-  
grenze, in verschiedenen Tiefen und verschiedenen  
Stellen relativer Bewegungsthätigkeit sollten darüber  
entscheiden können.

---

Ich schliesse diese Bemerkungen ohne die wich-  
tige Frage der Bandstruktur zu berühren. Sie scheint  
mir, trotz der neuen Thatsachen, die ihr zugeflossen,  
noch immer nicht spruchreif. Selbst die obigen Aus-  
einandersetzungen gebe ich nicht als eine erwiesene  
Theorie, sondern als einen blossen Versuch, die neuen  
und wichtigen Beobachtungen der englischen Physiker  
mit den ältern Thatsachen in Verbindung zu setzen,  
und die ganze Gletscherfrage vom Standpunkte der  
neuern Physik zu beleuchten. Vielleicht wird man-  
cher Reisende dadurch auf die Punkte geleitet, die  
einer nähern Prüfung besonders werth sind.

Kurz zusammengefasst, scheint mir die folgende  
Vorstellung über den Vorgang der Gletscherbewegung  
der jetzigen Stufe unserer Kenntnisse am besten zu  
genügen.

1) Die Schwere verschiebt den Gletscher theils  
als Ganzes, theils relativ in seinen einzelnen Theilen,  
wobei die relativen Verschiebungen und die entstehen-

den Trennungen den allgemeinen Gesetzen aller solchen Bewegungen gehorchen.

2) Das Eis hat unter angemessenen Umständen eine wahre Ductilität, aber die relativen Bewegungen scheinen weniger von dieser, als von einer Art innerer Zertheilung in grössere oder kleinere Theile durch Druck, eine Art Zermalmung, herzurühren.

3) Diese Theile, von Feuchtigkeit durchdrungen und dicht aneinander liegend, verwachsen wieder, wie sie entstehen, indem die Wärme der mechanischen Arbeit das Verkittungswasser liefert.

4) Wo das Eis wenig arbeitet, vereist die Masse bis auf einen geringen Wasserrückstand vollständig. So auch gegen die Oberfläche hin, wo die Wärme der mechanischen Arbeit durch äussere Kälte oder Verdunstung entweichen kann. Wo im Innern Arbeit erfolgt, muss auch Wasser sich finden.

5) Dies Wasser bildet sich an den leichtest schmelzbaren Stellen des Eises und befindet sich daher vorzüglich in den vorhandenen Blasen und Kammern des Eises. Dass erstere ihren Ursprung nicht der Schmelzung allein verdanken, scheint erwiesen; dass auch letztere nicht, scheint wahrscheinlich.

---

### N o t i z e n.

---

**Resultat der chemischen Untersuchung des Schinznacher Schwefelwassers von Prof. Bolley und Fr. Schweizer, Assistent am gleichen chemischen Laboratorium.**

A. Temperatur am 16. August 1857 28,5° Cels.

„ „ 30. Nov. 1857 34,8° „

„ „ 2. Dez. 1857 34,7° „

B. Spezifisches Gewicht bei 11° C. 1,0022 bis 1,0023.