

Über
die Theorie der Gletscher,
von
Hrn. Prof. PETER MERIAN.

Die genauere Untersuchung der Gletscher, die verschiedenen Erscheinungen, welche an ihnen sich wahrnehmen lassen, und die Erforschung der Ursachen, denen sie ihre Entstehung verdanken, hat in den letzten Jahren auf's Neue das lebhafteste Interesse der Naturforscher in Anspruch genommen. VENETZ und JOH. VON CHARPENTIER stellten bekanntlich die Behauptung auf, die grossen Blöcke alpinischer Felsarten, welche wir in der sogenannten ebenen, zwischen den *Alpen* und dem *Jura* sich erstreckenden *Schweitz* und auf dem südlichen Abhange des *Jura-Gebirges* zerstreut finden, seyen einst durch Gletscher, welche von den *Alpen* bis zum *Jura-Gebirge* herausreichten, an Ort und Stelle gebracht worden. AGASSIZ verfolgte die Idee noch weiter und gelangte zu der Ansicht, der geologischen Epoche, in welcher wir gegenwärtig leben, sey unmittelbar vorher eine sogenannte Eis-Zeit vorausgegangen, während welcher nicht nur die *Schweitz*, sondern der grösste Theil der gemäßigten Zone unserer Erde in Schnee und Eis eingehüllt gewesen seye und alles frühere organische Leben aufgehört habe. Diese Theorie'n stellen folglich die Gletscher dar als ein mächtiges geologisches Agens in dem Zeitraume, welcher dem jetzigen Zustande der Dinge auf der Erde vorhergegangen ist. Die Urheber der Hypothesen haben sich nicht damit begnügt, eine Reihe

von Erscheinungen von den Gletschern herzuleiten; sie haben auf eine lobenswerthe Weise die Gletscher selbst, wie sie jetzt noch in den *Alpen* sich darstellen, einer genauern Beobachtung unterworfen, und sind zum Theil zu einer Erklärungs-Weise der beobachteten Erscheinungen gelangt, die wesentlich abweicht von derjenigen, welche vor ihnen gründliche Naturforscher und namentlich SAUSSURE aufgestellt haben.

Um sich Begriffe zu bilden über die Wirkungen, welche in frühern geologischen Epochen den Gletschern zugeschrieben werden können, ist es vor Allem nothwendig, über die Ursachen ins Klare zu kommen, welche gegenwärtig die Erscheinungen, die wir an den Gletschern wahrnehmen, bedingen. Es mag daher der Mühe lohnen, die Haupt-Züge der bestrittenen SAUSSURE'schen Erklärungs-Weise einer genauern Prüfung zu unterwerfen und sie zusammenzuhalten mit den Theorie'n, welche man statt ihrer aufzustellen versucht hat. Es soll das der Zweck der gegenwärtigen Abhandlung seyn, in welcher ich mich ausschliesslich auf die Betrachtung der jetzt existirenden Gletscher, und zwar vorzugsweise den *Schweitzischen* Gletscher beschränke und die Erörterungen einstweilen unberührt lasse, mittelst welcher man eine vormalige weit grössere Ausdehnung der Gletscher nachzuweisen versucht hat.

1) Das ewige Eis der Höhen.

Die abnehmende Temperatur mit zunehmender Erhebung bewirkt, dass auf Bergen, die eine gewisse Höhe übersteigen, der Schnee das ganze Jahr hindurch sich erhält, an allen Stellen wenigstens, wo eine nicht zu grosse Steilheit der Abhänge die Ablagerung von Schnee gestattet. Die Linie, welche den ewigen Schnee der Höhen von den tiefern Gegenden sondert, nennen wir die *Schnee-Linie*, die Berge, welche diese Höhe übersteigen, *Schnee-Berge*.

Die Lage der *Schnee-Linie*, in einer gegebenen Gegend, ist zunächst abhängig von der mittlen Jahres-Wärme, die in derselben Gegend in der Tiefe stattfindet. Je höher diese Jahres-Temperatur ist, desto höher wird, unter übrigens gleichbleibenden Bedingungen, die *Schnee-Linie* auf den

Bergen angetroffen werden. In einem warmen Jahre oder in einer Folge von warmen Jahren wird in der Regel die Schnee-Linie sich höher hinaufziehen; sie wird umgekehrt in kalten Jahren sich heruntersinken.

Die mittlere Jahres-Temperatur ist aber nicht das einzige Element, welches die Lage der Schnee-Linie bedingt. Auch die verschiedene Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Jahres-Zeiten und namentlich die Masse des im Winter herabfallenden Schnee's übt einen wesentlichen Einfluss aus. Fällt im Winter sehr viel Schnee, so wird er in dem darauf folgenden Sommer sich theilweise an Stellen erhalten, wo er bei gleicher Sommer-Wärme in einem andern Jahre verschwunden ist, dessen Winter keine so grosse Schnee-Masse gebracht hat. Aus diesem Grunde liegt die Schnee-Linie im Innern des Festlandes unter denselben Breite-Graden merklich höher, als in der Nähe der Meeres-Küsten. Denn einerseits ist an der Meeres-Küste die Menge des im Jahre, und vorzüglich im Winter herabfallenden atmosphärischen Wassers weit grösser, als in einem Kontinental-Klima; es häuft sich also auf den Höhen eine ungleich grössere Menge von Schnee an. Andererseits ist der Unterschied der Wärme der Jahreszeiten nicht so gross; der kühlere Sommer des Küsten-Klima's wirkt also zur Verminderung der im Winter angesammelten Schnee-Masse nicht so kräftig ein, als der heissere Sommer im Innern des Festlandes. So fanden z. B. WAHLENBERG, SCHOUW und SMITH die Grenze des ewigen Schnee's auf der Ost-Seite des skandinavischen Gebirges um mehr als 100 Toisen höher, als auf der norwegischen Seite, ungeachtet die jährliche Mittel-Temperatur in gleicher Meeres-Höhe und unter demselben Breite-Grade auf der norwegischen Seite beträchtlicher ist. Die Schnee-Linie am *Kaukasus* steht nach KUPFER und PARROT um volle 300 Toisen höher, als an den unter gleichen Breite-Graden liegenden *Pyrenäen*, wo sie ungefähr in 1400 Toisen über dem Meere angetroffen wird. Am *Kaukasus* zeigt sich aber in gleicher Meeres-Höhe eine merklich geringere mittlere Jahres-Temperatur, als in den *Pyrenäen*.

Einen fernern wesentlichen Einfluss auf die Höhe der

Schnee-Linie hat die eigenthümliche Lage eines Orts. Unter denselben Umständen wird auf einem der Sonne zugekehrten Abhange der Schnee eher wegschmelzen, als in einem gleich hoch liegenden engen schattigen Thale; und zwar abgesehen davon, dass Winde und Lawinen einen Theil des aus der Atmosphäre herabfallenden Schnee's von höher gelegenen Orten in die tiefern herabführen und auf mittelbare Weise die Schnee-Masse daselbst vermehren. Auch die auf die Umgebungen sich erstreckende Einwirkung grösserer vorhandener Schnee-Anhäufungen ist von Einfluss. Auf Bergen, die vereinzelt in die Region des ewigen Schnee's sich erheben, wird aus dieser Ursache die Schnee-Linie höher liegen, als auf solchen, die mit einer ausgedehnten Kette von Schnee-Gebirgen im Zusammenhange stehen.

Es folgt aus diesen Erörterungen, dass die Lage der Schnee-Linie auch in ein und derselben Gegend ziemlichen Verschiedenheiten unterworfen ist, und das um so mehr, je veränderlicher in einem gegebenen Klima die Umstände sind, welche eine Einwirkung ausüben. Unter den beständigen Witterungs-Verhältnissen der heissen Zone ist diese Linie schärfer bezeichnet und daher auch leichter zu bestimmen, als unter unserem Himmels-Striche, wo deren Fixirung genauere Erwägung der einwirkenden Verhältnisse und Vergleichung einer grösseren Anzahl von Beobachtungen erfordert. SAUSSURE (*Voy.* §. 942 und 943) nimmt die Höhe der Schnee-Linie in den *Alpen* auf zusammenhängenden Schnee-Gebirgen zu 1300 Toisen, auf vereinzeltten Berg-Spitzen zu 1400 Toisen über der Meeres-Fläche an. Als Mittel-Zahl können wir folglich 1350 Toisen oder 8100 Par. Fuss setzen, müssen aber niemals die Veränderungen aus dem Auge verlieren, denen diese Annahme nach den Lokal-Verhältnissen ausgesetzt ist.

Die mitte jährliche Luft-Temperatur unter der Schnee-Linie fällt bloss in den Äquatorial-Gegenden ziemlich nahe mit dem Eis-Punkt zusammen. In den *Alpen* steht sie beträchtlich niedriger. Nach BISCHOF'S Ausmittlung (*Wärme-Lehre des Innern unseres Erd-Körpers*, S. 224), welcher in den *Schweitzer-Alpen* die mitte Luft-Temperatur von 0°

R. in 6165 Par. Fuss Meeres-Höhe setzt und eine Abnahme von 1° R. auf 677' Erhebung annimmt, würde in 8100' die middle Luft-Wärme ungefähr -3° R. betragen, was mit PICTET'S Schätzung (GILB. *Ann.* 25, S. 318) gut zusammenstimmt. In höhern Breiten und mehr im Innern des Festlandes liegt sie noch beträchtlich tiefer, aus Gründen, die sich aus den vorhin gegebenen Erörterungen ableiten lassen, in die wir jedoch hier nicht eintreten wollen.

Das ewige Eis ist indess nicht auf die Gebirgs-Höhen beschränkt, die oberhalb der Schnee-Linie liegen. In den Thal-Gründen, welche von den beständig beschneiten Regionen der Höhen herunterreichen, werden Eis-Massen gegen die Niederungen hervorgeschoben und erhalten sich nur durch das immerwährende Nachrücken des Eises von oben herab in Umgebungen, wo ewiger Schnee längst nicht mehr selbstständig zu bestehen vermag. Diese Eis-Massen, die folglich nicht gebildet sind aus dem Schnee, der aus der Atmosphäre an Ort und Stelle herunterfällt, sondern die unterhalten werden von dem oberhalb der Schnee-Linie ursprünglich abgelagerten und in die vorliegenden tiefern und wärmern Thäler sich hervordrängenden Eise, sind die eigentlichen Gletscher.

Die Gletscher reichen bis zu den Stellen herab, wo das in der wärmeren Luft-Temperatur der Tiefen zusammenschmelzende Eis durch Nachschieben von oben ersetzt zu werden vermag, was für die einzelnen Gletscher, je nach den eigenthümlichen Verhältnissen eines jeglichen, in verschiedenen Höhen stattfindet. In der *Alpen*-Kette gibt es Gletscher, die bis zu 3000 Fuss Meeres-Höhe herabkömmeu. So liegt z. B. das Ende des untern *Grindelwald-Gletschers* nach BISCHOF'S barometrischen Messungen in einer Höhe von 2989 Par. Fuss in Umgebungen, deren middle Luft-Temperatur ungefähr zu $+ 5^{\circ}$ R. angenommen werden kann (Wärme-Lehre S. 113). Der auffallende Gegensatz zwischen dem starren ewigen Eise des Gletschers und der üppigen Vegetation, die unter solchen atmosphärischen Verhältnissen unmittelbar daneben gedeiht, hat von jeher die Aufmerksamkeit der *Alpen*-Besucher auf die Gletscher hingezogen. Der

End-Punkt eines Gletschers ist indess eben so wenig ein fixer Punkt, als die Lage der Schnee-Linie. Tritt eine Reihe von kalten Sommern ein, wo die Gletscher weniger abschmelzen, oder rücken mächtigere Eis-Massen, als die gewöhnlichen, von oben nach, so rückt das Gletscher-Ende vor; in warmen Sommern, oder wenn der Nachdrang von oben sich vermindert, zieht es sich zurück.

Die Grenz-Linie, über welcher der auf den Gletscher herabfallende atmosphärische Schnee das Jahr hindurch nicht mehr abschmilzt, oder mit andern Worten, die Schnee-Linie auf dem Gletscher, nennt HUGI Firn-Linie (*Alpen-Reise* S. 332). Er behauptet, dieselbe sey viel schärfer und bestimmter abgegrenzt, als das was man gewöhnlich Schnee-Linie zu nennen pflegt; und es erscheint diese Behauptung begründet; denn wenigstens ein auf die Lage der Schnee-Linie mächtig einwirkendes modifizirendes Element, der erwärmende Einfluss des Erd-Bodens, namentlich wenn derselbe theilweise entblösst von der Sonne beschienen wird, fällt hier weg, da die Unterlage immer Eis ist. In den Eis-Gebirgen des *Berner Oberlandes* und der nördlichen Kette des *Wallis* hat HUGI nach seinen Beobachtungen die Firn-Linie beständig zwischen 7600 und 7700 Fuss Meeres-Höhe angetroffen. Sie liegt im Allgemeinen etwas tiefer als die Schnee-Linie am Abhange der Berge, einestheils wegen der erwähnten eisigen Unterlage, andererseits weil die Gletscher die dem Einfluss der Sonne im Ganzen weniger ausgesetzten Thäler erfüllen. Bei der Verschiedenheit der Lage und der klimatischen Beschaffenheit der Jahrgänge ist jedoch auch diese Linie grössern Veränderungen unterworfen, als HUGI anzunehmen geneigt scheint.

Ich enthalte mich hier auseinanderzusetzen, wie der lockere nur theilweise zusammengesinterte Schnee oberhalb der Firn-Linie, Firn, wie man ihn in den *Alpen* nennt, durch Einsickern des an der Oberfläche abschmelzenden Schneewassers und nachheriges Gefrieren zum festen Gletscher-Eis wird, und wie dasselbe durch Herunterrücken in die tiefern Regionen an Konsistenz zunimmt, da im Wesentlichen SAUSSURE mit den neuern Beobachtern den Hergang

übereinstimmend beschreibt und Diess kein streitiger Punkt der Theorie ist. Die Trennung von Gletscher und Firn ist übrigens keine scharfe; denn der letzte besteht in der Tiefe ebenfalls aus Gletscher-Eis und nimmt bis zu einer, freilich noch nicht genau ausgemittelten Höhe an derselben abwärts gerichteten Fortbewegung der ganzen Masse Theil.

2) Geschichtliche Nachweisungen.

Die ersten Nachrichten von den Gletschern finden wir bei JOSIAS SIMLER (*Vallesiae et Alpium descriptio*, 1574) und RUDOLPH REBMANN (*Naturae Magnalia*, 1605). Die Schilderung des letzten wiederholt MATTHÄUS MERIAN fast wörtlich in der Erläuterung zur Abbildung des untern *Grindelwald-Gletschers*, die er in seiner helvetischen Topographie mittheilt (1642). Mehr von dem Standpunkt des Naturforschers aus fasst J. HEINR. HOTTINGER (*Ephem. Nat. Curios.*, 1706) die Erscheinungen auf. Er erwähnt bereits die deutliche Schichtung, die im Eise einiger Gletscher bemerkbar ist. J. JAK. SCHEUCHZER beschäftigt sich mit der Betrachtung der Gletscher in seiner vierten, im J. 1723 zuerst im Druck erschienenen Alpen-Reise. Er fügt den Wahrnehmungen seiner Vorgänger wenig Neues bei, sucht hingegen die Bewegung des Gletscher-Eises und das angebliche Ausstossen fremder Körper durch das Wasser zu erklären, welches sich in Spalten und andern im Eise sich vorfindenden Zwischenräumen ansammelt, daselbst gefriert und, weil es nach dem Gefrieren einen grössern Raum einnimmt als vorher, nach allen Seiten einen Druck ausübt und den Gletscher Thalabwärts drängt.

J. GEORG ALTMANN in seinem Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisberge vom J. 1751 theilt manche schätzbare Beobachtung über den *Grindelwald-Gletscher* mit, den er selbst genau untersucht hat. In Beziehung auf die Theorie der Gletscher sucht er darzuthun, „dass der ganze Gletscher, wie ein Gewölb, gleichsam auf Säulen ruhe und nur an etwelchen Orten auf der Erde fest stehe“. Das Fortrücken werde bewirkt durch das von oben herabgestossene Eis, „dadurch denn der an

dem Berg liegende und gleichsam hangende Gletscher von oben her gedrückt wird, und auf diese Weise geschieht es, dass durch dieses grosse von oben herkommende Gewicht der ganze Gletscher weiter gegen das Thal hinuntergeschoben wird“ (S. 44 und 45). Freilich ist er mit seinen theoretischen Ideen nicht immer glücklich, namentlich nicht mit der Annahme eines sogenannten helvetischen Eis-Meeres, welches die Thal-Gründe zwischen den höchsten Eis-Gebirgen erfüllen, in der Tiefe flüssig und nur an der Oberfläche mit Eis bedeckt seyn soll.

Ausführlich werden die Gletscher beschrieben in dem im J. 1760 gedruckten Werke: die Eis-Berge des *Schweitzerlandes* von GOTTLIEB SIGMUND GRUNER. Die beiden ersten Bände dieses Buches enthalten Beschreibungen und Abbildungen der vorzüglichsten Gletscher der *Schweitz*. Der dritte Band ist den physikalischen Betrachtungen über die Eis-Gebirge gewidmet und beschäftigt sich namentlich auch mit der Beschreibung der Erscheinungen an den Gletschern und mit deren Erklärung. SAUSSURE gibt dieser Arbeit das Zeugniß: *Dans ce traité l'auteur a épuisé son sujet, autant du moins qu'un sujet de physique est susceptible de l'être; et bien qu'un physicien ne fût peut-être de son avis en tout, il serait cependant difficile de donner en général de meilleures explications des différens phénomènes que présentent ces amas de glace*“ (Voy. §. 519). Bei Durchlesung des Werkes muss man indess gestehen, dass SAUSSURE ein zu wohlwollendes Urtheil über die Arbeit seines unmittelbaren Vorgängers fällt und dass, abgesehen von mancherlei physikalischen Verstössen, die SAUSSURE nur leise rügt, die GRUNER'schen Erklärungen in Hinsicht der Schärfe und Bestimmtheit mit denjenigen von SAUSSURE den Vergleich nicht aushalten. GRUNER nimmt an, dass die Gletscher bei dem fortwährenden Abschmelzen durch ihre eigene Schwere auf abhängigem Grunde Thal-abwärts vorrücken können; er stellt aber nicht mit derselben Bestimmtheit, wie ALTMANN, die Behauptung auf, dass das ganze Hervordringen der Gletscher-Masse auf diese Weise geschehe (S. 135 und 156).

Am umfassendsten und gründlichsten ist die Theorie

der Gletscher-Bildung von HORACE BENEDICT DE SAUSSURE behandelt worden. Derselbe hat, wie er selbst berichtet, die Grundzüge seiner Theorie bereits im J. 1764 in einem akademischen Vortrage entwickelt, als er das GRUNER'sche Werk noch gar nicht kannte. Durch den Druck hat er sie jedoch erst im J. 1779 in dem ersten Bande der Quart-Ausgabe seiner Alpen-Reisen bekannt gemacht.

Ganz mit den SAUSSURE'schen Ansichten übereinstimmend und auf gründlichen eigenen Wahrnehmungen beruhend ist der im ersten Bande des HÖPFNER'schen Magazins für die Naturkunde *Helvetiens* (1787) abgedruckte Aufsatz über den Mechanismus der Gletscher von BERNH. FRIEDR. KUHN (dazu der Nachtrag Bd. 3, S. 427). Er gibt unter Anderem die richtige Erklärung der Gufer-Linien auf der Mitte der Gletscher. Derselbe Band enthält einen Brief von Prof. STUDER, dem Vater, in welchem die Gletscher-Tische, die mit Erde bedeckten Eis-Hügel und die engen tiefen mit Wasser gefüllten Löcher des vordern *Aar-Gletschers* näher beschrieben werden.

Die Beiträge zur nähern Kenntniss der *Schweitzischen* Gletscher aus spätern Zeiten halte ich für überflüssig hier aufzuzählen.

3) Theorie der Bewegung der Gletscher durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers.

Wie wir gesehen haben, hat SCHEUCHZER den Wachsthum und die abwärts gerichtete Bewegung des Gletscher-Eises durch die Ausdehnung zu erklären versucht, die das in den Spalten sich ansammelnde Wasser beim Gefrieren erleidet. Die Erfahrung hat gelehrt, dass das Eis der Gletscher, wenigstens in den Sommer-Monaten, in kontinuierlicher fortschreitender Bewegung ist. Zu dieser Zeit sind aber die Gletscher-Spalten nur ausnahmsweise mit Wasser gefüllt. Gefriert dieses Wasser bei kalten Nächten, so geschieht das nur an der Oberfläche. Diese Erklärungs-Weise der Erscheinungen, die in neuern Zeiten wieder von TOUSSAINT VON CHARPENTIER (GILB. *Ann.* 63, S. 388) und BISELX (GILB.

Ann. 63, S. 192) versucht worden ist, ist daher allgemein als unzureichend erkannt worden.

Hingegen ist sie, unter Beibehaltung der Grund-Idee, von VENETZ, JOH. VON CHARPENTIER und AGASSIZ auf eine eigenthümliche Weise modifizirt worden. Das an Sommer-Tagen durch Abschmelzen des Eises der Oberfläche entstehende Wasser, oder auch dasjenige, welches als Regen auf den Gletscher herabfällt, zieht sich nach dieser Ansicht in alle feinen Haar-Spalten des Gletscher-Eises hinein und trinkt dasselbe wie einen Schwamm. „Nothwendiger Weise besitzt dieses Wasser eine Temperatur, die nur sehr wenig den Eis-Punkt übersteigen kann, und wird im flüssigen Zustand nur durch die geringe Wärme erhalten, welche ihm das von der Oberfläche oder der umgebenden Luft nachströmende Wasser zuführt. Das absorbirte Wasser muss folglich gefrieren, sobald diese einzige Wärme-Quelle ihm entzogen wird. Das muss aber jederzeit geschehen, sobald bei eintretender Erkältung der Atmosphäre das Abschmelzen des Gletschers an der Oberfläche aufhört. Eine solche Erkältung wird aber in der Regel in allen Sommer-Nächten eintreten. Die Gletscher werden folglich während der Sommer-Tage mit Wasser getränkt, und dieses gefriert während der Nächte“ (CHARPENTIER, *essais sur les Glaciers*, 1841, S. 6). Beim Gefrieren dehnt das Wasser sich aus, und diese ausdehnende Gewalt treibt den Gletscher abwärts.

Da in dem festen Erd-Boden die täglichen Wärme-Änderungen der angrenzenden Atmosphäre nur bis auf eine sehr geringe Tiefe fühlbar sind, so ist wohl an sich klar, dass die Erkältung der Nacht nur bis in eine sehr geringe Tiefe in das Eis des Gletschers herabreichen kann, dass daher auch das in den Zwischenräumen des Gletscher-Eises enthaltene Wasser flüssig bleiben muss, wenn die Oberfläche des Gletschers überfriert. Zum Überfluss führt FORBES (*Bibl. univ. de Genève*, 42, S. 363) die Erfahrung an, dass auf einem bei eingetretener kalter Witterung schon mehrere Tage lang überfrorenen Gletscher überall in der Tiefe von weniger als einem Fuss, nasses Eis anzutreffen war. Die unmittelbare Mittheilung der täglichen Wärme-Änderungen der

Atmosphäre bis in grössere Tiefen des Gletschers wird auch nicht angenommen, sondern der Vorgang wird dargestellt wie wir es oben, möglichst mit den eigenen Worten von CHARPENTIER zu geben versucht haben. Offenbar ist aber eine solche Darstellung unzulässig. Das in die Haar-Spalten des Gletscher-Eises eindringende Schmelz-Wasser kann nur gefrieren, wenn das Eis eine niedrigere Temperatur besitzt als 0° ; sonst muss es flüssig bleiben. Dann muss es aber, wenn es in die feinen Zwischenräume des Eises eindringt, im Augenblick des Eindringens gefrieren. Es ist also gar kein Grund vorhanden, dass das Gletscher-Eis bloss am Tage mit flüssigem Wasser sich tränken und das eingedrungene Wasser bloss in der Nacht gefrieren soll. Die einzige zulässige Art zu einem Wachsthum des Gletschers von innen heraus und zu einer Ausdehnung durch das in seinem Innern gefrierende Wasser zu gelangen ist folglich die, ein Kälte-Magazin in seinem Innern anzunehmen, welches bewirkt, dass das täglich einsinkende Wasser sofort gefriert, wenn es in die unter 0° stehenden Theile des Eises gelangt. Es ist das auch die Vorstellungs-Weise, welcher gegenwärtig AGASSIZ zugethan scheint. Es scheint mir, dass, wenn solche angebliche kalte Massen im Innern des Gletschers wirklich existirten, das Einfiltriren des von oben hereinsickernden Wassers nur an den äussern Umgebungen der erkalteten Masse stattfinden könnte. Durch das erfolgende Gefrieren des eindringenden Wassers an allen Stellen, wo das Eis unter 0° zu stehen anfängt, würde der fernere Zutritt in die feinern Zwischenräume des erkalteten Eises verstopft. Erst wenn die Erkaltung dieser festgefrorenen äusseren Hülle des kälteren Gletscher-Theils durch allmähliche Wärme-Mittheilung aus den Umgebungen abgenommen hätte, wäre ein ferneres Vordringen des einsickernden Wassers gegen das Innere des kalten Gletscher-Theiles möglich. Die Art und Weise, wie nach dem Winter, wo allerdings eine solche Erkaltung der äussern Kruste des Gletschers stattgefunden hat, das Wasser an der Oberfläche der Gletscher in vielen Spalten und Vertiefungen längere Zeit angesammelt bleibt, bis es den Zutritt in das zerklüftete Innere des Gletscher-

Eises findet, scheint mir einen direkten Beweis für diese Ansicht darzubieten. Das fortwährende Gefrieren des täglich eindringenden Wassers und die mit demselben in Verbindung stehende Ausdehnung des Eises könnte folglich, unter solchen Voraussetzungen, bloss an der äussern Hülle des unter 0° erkalteten Theiles der Gletscher-Masse stattfinden, und so unregelmässig auch die Gestaltung dieser Hülle angenommen werden mag, so wäre eine Ausdehnung, die bloss an derselben erfolgt, offenbar unzureichend um die Thatsache des täglichen Vorrückens der ganzen mächtigen Eis-Masse des Gletschers zu erklären.

Doch wir wollen von diesem Einwurfe einstweilen abstrahiren und die Gründe untersuchen, die zur Annahme des angeblichen Kälte-Magazins im Innern des Gletschers berechtigen sollen. Es müsste dieses Kälte-Magazin ein sehr bedeutendes seyn, wenn es zur Erklärung der Erscheinungen zureichen sollte, weil es durch das beständig vor sich gehende Gefrieren des einsinkenden Wassers, durch welches die beständig fortschreitende Bewegung des Gletschers erklärt zu werden versucht wird, eine fortwährende Verminderung erlitte. Nehmen wir eine Eis-Masse im Innern des Gletschers von -1° R. Temperatur an, so wird jedes Pfund Wasser auf 0° , welches sie zum Gefrieren bringt, mehr als 60 Pfd. dieser Eis-Masse durch die beim Gefrieren entwickelte latente Wärme bis zum Eis-Punkt zu erwärmen vermögen; denn die beim Gefrieren frei werdende Wärme könnte bekanntlich die Temperatur von 60 Pfd. Wasser um einen Grad erhöhen und die spezifische Wärme des Eises ist geringer, als die des flüssigen Wassers. Noch am untersten Eude des Gletschers, während der langen Reihe von Jahren, die das Gletscher-Eis braucht, um von der Firn-Region bis dahin zu gelangen, müssten aber noch Überreste dieses Kälte-Magazins vorhanden seyn, denn die fortschreitende Bewegung, welche durch dasselbe erklärt werden soll, zeigt sich auch da noch immer; und das trotz der beständigen Abnahme, welche dasselbe erlitten hat, ohne dass ein zureichender Ersatz für die beständig vor sich gehende Abnahme sich darbietet. Ein Ersatz wäre zunächst denkbar durch die Kälte,

welche während des Winters, vorzüglich in den kalten obern Regionen, in das Gletscher-Eis eindringt. Auch dieses Eindringen kann aber, zufolge der Erfahrungen, die wir über die Mittheilung der jährlichen Wärme-Änderungen in das Innere der festen Erd-Rinde besitzen, sich nur bis in eine mäsigte Tiefe erstrecken und muss folglich durch das bei eintretender warmer Jahreszeit wieder stattfindende Einsinken des Schmelz-Wassers von der Oberfläche bald wieder beseitigt seyn. Durch direkten Versuch fand AGASSIZ, dass ein während des Winters von 1841 auf 1842 auf 24 Fuss Tiefe in das Eis des *Aar-Gletschers* beim *Hôtel des Neuchatelois*, also in ungefähr 7500' Meereshöhe, eingesenkter Thermometrograph keine tiefere Winterkälte als $-0^{\circ},3$ C. zeigte (*Comptes rendus*, 15, S. 736; Jahrb. 1843, 366). Dasselbe beweisen die verschiedenen Gletscher-See'n, die in durch Gletscher abgesperrten Vertiefungen sich bilden, deren Ausgänge im Spätjahr durch die Einwirkung der eindringenden kalten Luft und durch das erfolgende Gefrieren gesperrt werden. Das Wasser, welches den Sommer hindurch unter dem Gletscher seinen Abfluss gefunden hat, häuft sich dann an, und füllt endlich das Becken aus. Im Winter gefrieren diese See'n, jedoch nur an der Oberfläche, in der Tiefe bleibt das Wasser flüssig. Sie erhalten sich bis in den Sommer, wo dann, durch den Einfluss des einsickernden Wassers oder durch die Bewegung, welche bei zunehmender Wärme im Gletscher merkbarer wird und Spalten erzeugt, die Ausgänge wieder eröffnet werden und der ganze See, oft in wenigen Stunden, unter dem Gletscher hindurch abfließt. Vgl. z. B. die Beschreibung, welche SAUSSURE von einem dieser See'n, dem *Gouille à Vassu* im *Entremont-Thale*, gibt, dessen Rand ungefähr 7700 Fuss über dem Meere liegt. Es beweisen diese Erscheinungen, dass, selbst in einer so beträchtlichen Höhe, die Winter-Kälte nicht zureicht mehr als die Oberfläche des Eis-kalten Wassers dieser See'n zum Gefrieren zu bringen, und dass Solches eben so wenig durch Kälte-Mittheilung aus dem umgebenden Erd-Boden bewirkt wird, der einzigen Erkältings-Quelle, die nebst dem Einfluss der Winter-Kälte der Atmosphäre noch zu Hülfe gezogen werden könnte.

Es lässt sich in der That kein geeigneterer Apparat denken, um die Temperatur von 0° zu bewahren, als gerade der Gletscher es ist. Erkaltungen von der Oberfläche aus können, wie wir eben gesehen haben, nur auf eine sehr geringe Tiefe sich erstrecken. Eine Erwärmung über 0° ist vollends unmöglich. Der erwärmende Einfluss der Sommerzeit bleibt daher nicht, wie im Erd-Boden, in der äussersten Kruste haften, um durch den entgegengesetzten Einfluss der kalten Jahres-Zeit wiederum beseitigt zu werden. Er äussert sich bloss dadurch, dass er Eis von 0° in Wasser von eben derselben oder nur ausnahmsweise von etwas darüber erhöhter Temperatur verwandelt, was sofort durch die ganze zerklüftete Masse hinuntersickert. Ist das Gletscher-Eis mit der Wasser-Menge gesättigt, mit welcher es, in Folge seiner Porosität, getränkt bleiben kann, so wird das heruntersickernde Wasser auf seinem Wege bis zum Gletscher-Boden nirgends haften bleiben; es sey denn, es träfe Eis an, welches unter 0° erkältet ist und sein Gefrieren bewirken müsste. Durch die beim Gefrieren frei werdende latente Wärme würde aber dieses kältere Eis sofort erwärmt, bis es ebenfalls die Temperatur von 0° besässe und sich verhielte, wie die übrige mit Wasser getränkte Eis-Masse. Alles wirkt folglich darauf hin, die Temperatur von 0° im Innern des Gletschers zu erhalten und sie wiederherzustellen, wenn sie durch eine zufällige Ursache in irgend einem Theil sich verändert haben sollte. Das Innere eines Gletschers besteht folglich aus Eis auf 0° , dessen Zwischenräume mit Wasser von ebenfalls 0° benützt sind. Die Kälte der äussern Umgebungen kann nur bis auf eine mäsige Tiefe eindringen, und das benützende Wasser zum Gefrieren bringen. Nur ausnahmsweise wird die kalte Winter-Luft, wenn durch Ungleichheit des Luft-Drucks ein Luft-Zug erzeugt wird, in die weiteren Zwischenräume des Gletschers gelangen und eine Erkaltung unter 0° auf ihrem Wege bewirken können. Zu den feinern Zwischen-Räumen des Eises wird sie sich selbst sofort den Zugang verstopfen, indem sie das aus denselben nachsickernde Wasser zum Gefrieren bringt. Alle bisherigen Erfahrungen weisen darauf hin, dass es sich im

Innern des Gletschers auf die angegebene Weise verhält, so weit man hat eindringen können. Bei seinen Bohr-Versuchen im J. 1842, auf dem *Aar-Gletscher*, fand AGASSIZ die Temperatur immer auf 0° bis in 200 Fuss Tiefe (*Comptes rendus XV*, 204). Ein Kälte-Magazin im innern unzugänglichen Theil ist folglich eine jeder Wahrscheinlichkeit widersprechende Annahme, die Begründung durch Thatsachen ermangelt.

Ist aber die Beschaffenheit der Gletscher die angegebene, so folgt von selbst, dass kein Wachsthum des Gletscher-Eises von innen heraus stattfindet, dass überhaupt, auch in Folge der Winter-Kälte, die Eis-Bildung durch Gefrieren des im Gletscher enthaltenen Wassers nur in einer mäsigen Entfernung von der Aussenfläche eintreten kann. Die Erklärung des Fortschiebens der ganzen Gletscher-Masse durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers fällt dadurch von selbst.

Es folgt daraus selbst, dass die Temperatur des Erdbodens unter dem Gletscher das ganze Jahr hindurch auf 0° sich erhalten wird, diejenigen Stellen ausgenommen, wo ein durch Höhlungen sich hindurchziehender Luftstrom auf eine etwas bleibende Weise erkältend oder erwärmend wirkt. Derselbe Grund, welcher bewirkt, dass die äusserste Erd-Hülle an jedem Orte eine Mittel-Temperatur annimmt, die der Mittel-Temperatur der umgebenden Luft ungefähr gleich ist, muss bewirken, dass die Erd-Oberfläche unter den Gletschern, die seit undenklichen Zeiten mit Eis auf 0° in Berührung ist, dieselbe Temperatur muss angenommen haben. Ihrer eigenthümlichen Verhältnisse zufolge sind also Gletscher Apparate, welche einerseits die Temperatur des Bodens, den sie bedecken, auf 0° erhalten in Umgebungen, deren middle Luft-Temperatur beträchtlich über 0° steigt: auf $+ 5^{\circ}$ R. z. B. am Ende des untern *Grindelwald-Gletschers*, wie oben ist angeführt worden; andrerseits aber auch in den obern Gletscher-Regionen in Umgebungen, deren middle Luft-Temperatur bedeutend unter 0° sinkt. Wie weit aufwärts dieser eigenthümliche Einfluss der Gletscher stattfindet, muss noch ermittelt werden. Wahrscheinlich erstreckt er sich so weit, als noch eine fortschreitende Bewegung im ewigen Eise

der Höhen bemerkbar ist, also noch weit in die Firn-Region hinauf.

Wir wollen nunmehr untersuchen, wie die Theorie, wodurch man die SAUSSURE'sche zu verdrängen versucht, von der Thatsache Rechenschaft gibt, dass das Gletscher-Eis nur Thal-abwärts vorrückt. Wir legen hier wieder CHARPENTIER'S Darstellung zum Grunde (§. 11). „Wenn“, sagt er, „das in allen feinen Zwischenräumen des Gletscher-Eises enthaltene Wasser zum Gefrieren kommt, so nimmt es an Raum zu, und theilt eine Art von Ausdehnung der ganzen Masse mit. Diese Ausdehnung muss vorzüglich nach der Richtung sich äussern, wo sie am wenigsten Widerstand findet; also einerseits nach der Richtung des Abhangs oder der Länge des Gletschers; andrerseits nach der Richtung der Dicke des Eises, von der untern Fläche des Gletschers gegen oben; denn nach den andern Richtungen findet sie Widerstand, sowohl von dem Berge, von welchem der Gletscher herabkommt, als von den Thal-Wänden, die ihn der Länge nach zu beiden Seiten einschliessen“. Bei einem bleibenden Zustande des Gletschers wird durch das erfolgende Abschmelzen an der Oberfläche und am Ende des Gletschers die nach beiden Richtungen erfolgende Ausdehnung der Eis-Masse beseitigt, dem ganzen Gletscher entlang bleibt aber die Thal-abwärts gehende Bewegung des Eises bemerkbar.

Wäre eine solche Erklärung die richtige, so müsste man allervorderst am oberen Ende des Gletschers und an den ihn einschliessenden Thal-Wänden Spuren der nach diesen Richtungen sich äussernden ausdehnenden Kraft des Eises finden; denn der hier erfolgende Widerstand soll es ja seyn, und nicht das eigene Gewicht des Eises, welcher den Gletscher Thal-abwärts drängt. Nun lesen wir aber bei CHARPENTIER selbst (S. 81), dass, wenn ein Gletscher an seinem obern Ende an einer Felswand endigt, das Zusammensinken (*tassement*) des Eises die unmittelbare Berührung hindert und eine weite Kluft zwischen der Fels-Wand und dem Gletscher-Eise erzeugt. Also gerade das Gegentheil von einem Anstämmen des Eises gegen das hinterliegende Gebirge, und eine Erklärung des AblöSENS durch das eigene Gewicht des

Eises nach SAUSSURE'schen Grundsätzen. Überhaupt müsste eine in der ganzen Masse vor sich gehende, nach allen Richtungen sich äussernde Ausdehnung alle Spalten, leeren Zwischenräume und Klüfte, die den Gletscher durchziehen und ihn von den einschliessenden Felswänden trennen, vollständig schliessen, ehe sie eine mehre Stunden lange Eis-Masse auf öfters wenig geneigter Unterlage abwärts zu schieben vermöchte. Von diesem Allem bemerkt man aber nichts. Die Reibung, die beim Vorwärts-Schieben einer so ungeheuren Eis-Masse zu überwinden ist, liesse schlechterdings keine andere Ausdehnung zu, als ein Aufquellen der ganzen Masse nach der Dicke, auch ohne die Annahme, die CHARPENTIER ausserdem noch vertheidigt, dass der ganze Gletscher an seiner Grundfläche festgefroren sey.

Es hat CHARPENTIER das Gewicht dieses Einwurfes, der ihm 1838 bei der Versammlung der *Schweizerischen* Naturforscher in *Basel* bereits gemacht worden ist, gar wohl gefühlt. Er gibt zu (S. 105), dass wenn die Ausdehnung nur an einer einzelnen Stelle des Gletschers sich äussern würde, auch nur ein solches Aufquellen der Gletscher-Masse an der entsprechenden Stelle eintreten könnte; allein da die Ausdehnung dem ganzen Gletscher entlang erfolge, so könne das nicht eintreten. Es will mir jedoch scheinen, wenn man das Aufquellen an einer Stelle für zulässig findet, dass bei einer Ausdehnung, die in der ganzen Gletscher-Masse sich kund gibt, eben ein Aufquellen an allen Stellen und beim Vorwärtsschieben stattfinden müsste *).

Die Annahme des Angefrorenenseyns des Gletscher-Eises an dem Boden scheint mir vollends schlechterdings unvereinbar mit der Thatsache des Vorrückens der Gletscher, sie mag nun hergeleitet seyn, von welcher Theorie man will. Wenn das Gletscher-Eis zu jeder Stunde des Tages im Vorrücken begriffen ist, wenn durch die zwischen Eis und dem unterliegenden Fels-Boden eingepressten Gesteins-Trümmer bei diesem Vorrücken Ritzen auf dem Fels-Boden entstehen — und das sind Thatsachen, die CHARPENTIER und AGASSIZ lebhaft vertheidigen —, so können doch unmöglich Eis und Erd-

*) Vgl. Jahrb. 1842, 345.

Boden zusammenhaften (vergl. auch FORBES in *Ann. de Chym. et de Phys.* 3^e. Sér. VI, 251).

CHARPENTIER führt nun freilich eine Thatsache an, welche das Angefrorenseyn der Gletscher an ihrer Grundfläche darthun soll (§. 34). Von dem über eine Felswand herabhängenden *Gietroz-Gletscher* im *Bagne-Thal* lösen im Sommer tagtäglich Eis-Massen sich ab, die unten im Thale eine Eis-Anhäufung bilden, den sogenannten untern *Gietroz-Gletscher*. Häuft sich dieses Eis sehr an, so sperrt es den Abfluss der *Drance*, welche dann zu einem See anschwillt, dessen Abfluss beim Durchbrechen des Eis-Damms schon mehrmals bedeutende Verheerungen angerichtet hat; so namentlich im J. 1818. Um Das zu verhindern, hat die Regierung von *Wallis* im J. 1821 einen Stollen durch den Eis-Damm anlegen lassen, durch welchen der Abfluss der *Drance* offen erhalten wird. Alljährlich wird dieser Stollen aufgeräumt. Jedes Jahr, und zwar von Juni bis in den Oktober, hat man nun nach CHARPENTIER bei diesen Arbeiten den Boden des Gletschers gefroren gefunden, mit Ausnahme eines Streifens von etwa 10 Fuss Breite, über welchen die *Drance* unmittelbar wegfließt. Die Stelle liegt ungefähr 5500' über dem Meere. Wenn die Thatsache richtig ist, und ich habe keine Ursache an CHARPENTIER'S Angabe zu zweifeln, so wird eine nähere Untersuchung wohl lehren, dass an einer solchen Stelle kein Vorrücken des Gletscher-Eises über den untenliegenden Boden stattfindet. Die Frage würde, gerade weil alljährlich Arbeiten vorgenommen werden, leicht zu entscheiden seyn. Jedenfalls ist das eine sehr vereinzelte Thatsache, denn überall sonst, wo man unter einen wirklich in Bewegung begriffenen Gletscher eingedrungen ist, hat sich das am Boden aufliegende Eis im Zustande des Abschmelzens gezeigt.

Eine zweite Thatsache, die nach CHARPENTIER das Angefrorenseyn der Gletscher am Boden und folglich eine Temperatur unter 0° beweisen soll, ist die, dass Wurzeln perennirender Alpen-Pflanzen, welche im J. 1818 beim Vorrücken des Gletschers *du Tour* im *Chamouni-Thale* in 4700' Meereshöhe von demselben bedeckt worden sind, noch Triebkraft

genug behielten, um wieder ausschlagen zu können, als vier Jahre später der Gletscher sich wieder zurückzog. Diese Wurzeln hätten, nach seiner Ansicht, während dieses langen Zeitraums faulen und gänzlich absterben müssen, wenn sie nicht in einer niedrigeren Temperatur als 0° verweilt hätten. Ich sollte indess meinen, dass solche Wurzeln in einem gewöhnlichen Eis-Keller, in welchem das aufbewahrte Eis ebenfalls immer auf 0° bleibt, ihre Lebenskraft, ohne zu faulen, würden erhalten haben.

Ich komme nunmehr zu der Erklärungs-Weise der angeblichen Säuberung des Gletschers und des Ausstossens von fremden Körpern, die man auch als Stütze der Gefrierungs-Theorie und eines Wachsthums des Eises von innen nach aussen geltend gemacht hat. Die meisten Gletscher zeigen nämlich auf ihrer Oberfläche an gewissen Stellen, den sogenannten Gufer-Linien, Anhäufungen von Stein-Blöcken und Fels-Trümmern, von denen in der Regel das Innere des Gletscher-Eises frei bleibt. Doch ist der Fall so selten nicht, als man öfters behauptet, dass Schichten des Gletscher-Eises durch Zwischen-Lagen von Sand, Kies und grössern Steinen unterschieden sind, wie es z. B. KUHN bezeugt, der längere Zeit *Grindelwald* bewohnt hat (HÖPFNERS Magaz. 1, S. 120), und neuerlich ARNOLD ESCHER (Jahrbuch 1843, 232). Dass alle Stein-Trümmer, die von den umgebenden Felswänden auf den eigentlichen Gletscher herunterfallen, auf seiner Oberfläche müssen liegen bleiben, ist an sich klar, denn der im Winter niederfallende Schnee schmilzt hier in der warmen Jahreszeit vollständig wieder ab. Nur in der Firn-Region, wo aus der jährlich herabfallenden Schnee-Masse eine neue Schicht von Gletscher-Eis sich bildet, welche durch die abwärts schreitende Bewegung nach Jahren in die untern Gletscher-Regionen vorgeschoben wird, können Stein-Trümmer in das Innere des Gletscher-Eises gelangen. Auch diese erscheinen allmählich an der Oberfläche, was SAUSSURE aus der immer vor sich gehenden Abschmelzung des der Atmosphäre zugekehrten Theiles des Gletschers erklärt, wodurch die im Innern vergrabenen fremden Körper allmählich zum Vorschein kommen, auf dem Gletscher liegen bleiben und

mit demselben Thal-abwärts vorrücken. Wenn das der Vorgang der Sache ist, so wird behauptet, es müsste das Gletscher-Eis, was aus der Firn-Region herkommt, zum Theil das Ansehen einer durch Eis verbundenen Trümmer-Breccie haben (CHARPENTIER, S. 17).

Wir wollen uns hier nicht mit der Erklärungs-Weise befassen, die nach Art der Älpler ein wirkliches Aufwärts-Bewegen der im Innern begrabenen fremden Körper, durch das umgebende Eis hindurch, annehme. CHARPENTIER hat in seiner Schrift deren Ungrund hinlänglich dargelegt (§. 25). Er selbst erklärt sich den Vorgang auf folgende Weise: durch das Gefrieren des in die Zwischenräume des Gletscher-Eises eingesickerten Wassers und die damit verbundene Ausdehnung gelangt eine jede Schicht des Innern des Gletschers nach und nach in eine immer grössere Entfernung vom Boden. An der Oberfläche findet aber durch Abschmelzen eine fortdauernde Verminderung des Eises Statt, die eben durch jenen angeblichen Wachsthum von innen ersetzt wird. Jede mit Unreinigkeiten erfüllte Eis-Schicht, die aus der Firn-Region heruntergeschoben worden ist, gelangt daher endlich an die Oberfläche, wo dann die Unreinigkeiten, nach stattgefundenem Abschmelzen des umgebenden Eises, liegen bleiben. CHARPENTIER hält es sogar für möglich, dass auf diese Weise Steinblöcke, die bis an den Boden des Gletschers heruntergefallen sind, an die Oberfläche gelangen können, wenn sie in einer solchen Lage sich befinden, dass die Eis-Bildung unter ihnen vor sich gehen kann. Wenn ich diese Erklärungs-Weise recht verstehe, so wäre nach derselben in den unteren Regionen der Gletscher alles aus der Firn-Region herabgeschobene Eis vollständig abgeschmolzen; der Gletscher bestände hier nur aus dem durch Gefrieren des infiltrirten Wassers allmählich gebildeten Eise und zeigte eben aus diesem Grunde die grosse Reinheit.

Abgesehen von den Einwendungen, welche oben gegen den Wachsthum des Gletscher-Eises von innen heraus überhaupt geltend gemacht worden sind, streitet die Erklärungs-Weise gegen die schönen im letzten Jahre von AGASSIZ gemachten Beobachtungen über die Schichtung des Gletscher-

Eises, von deren Richtigkeit ich mich meines Orts unter dessen Führung auf dem *Aar-Gletscher* vollkommen überzeugt habe. Einen kurzen Abriss dieser Beobachtungen hat derselbe bereits im Jahrbuch von LEONHARD und BRONN mitgetheilt (1843, S. 84 und 86). In der Firn-Region, am *Lauteraar-Firn* z. B., ist die Eis-Masse in horizontal liegende Schichten abgetheilt, die wahrscheinlich aus den Schnee-Ablagerungen der einzelnen Winter bestehen und deren Absonderungen durch den Staub und Sand, welche zur Sommers-Zeit von den entblösten Fels-Wänden durch die Winde hergeweht werden, bezeichnet sind. Jede Schicht deutet folglich einen Jahrgang an. Bereits HOTTINGER (*Ephem. nat. cur.* 1706, S. 41) und nach ihm SAUSSURE (*Voy.* §. 514 und 2015) und Andere haben auf diese Schichtung des Firns aufmerksam gemacht. So wie der Firn Thal-abwärts in die eigentliche Gletscher-Region gelangt, biegen sich die anfänglich horizontalen Schichten, indem sie von beiden Rändern gegen die Mitte einsinken. Das Ausgehende auf dem Gletscher bildet daher nicht mehr eine gerade Linie, sondern einen Bogen, dessen Konvexität Thal-abwärts gerichtet ist. Weiter unten nimmt die Einsenkung der Mitte zu, das Ausgehende der Schichten auf der Gletscher-Oberfläche zeigt eine mehrfach eingeknickte Zickzack-Linie, deren allgemeine Konvexität immer noch abwärts gerichtet ist. In den Umgebungen des *Hôtel des Neuchâtelois*, wo der *Lauteraar-Gletscher*, durch den grossen Gufer-Wall getrennt, mit dem von der andern Seite des *Abschwungs* herkommenden *Finsteraar-Gletscher* zusammengestossen ist, hat die Einbiegung der Schichten dermaassen zugenommen, dass dieselben an den beiden Rändern unter steilen Winkeln gegen die Mitte einfallen und auf der Mitte des Gletschers selbst theilweise senkrecht stehen, nach der Längen-Erstreckung des Gletschers fortstreichend. Ein ähnliches Verhalten zeigt der *Finsteraar-Gletscher* auf der rechten Seite des Gufer-Walls. Wo ein kleinerer Seiten-Gletscher mit dem grossen Haupt-Gletscher zusammenstösst, wird sehr bald seine ganze Masse so aufgerichtet, dass seine Schichten steil vom Haupt-Gletscher gegen den Rand zu einfallen. Die einzelnen Schichten lassen

sich deutlich erkennen durch die gewöhnlich etwas abweichende Beschaffenheit ihres Eises und durch den Sand, welchen sie vorzüglich an der ursprünglich nach oben gerichteten Oberfläche einschliessen, und der zuweilen naheliegenden Schichten eine etwas verschiedene Färbung mittheilt. Bei der vor sich gehenden Abschmelzung wird dieser Sand nicht sofort von den Gletscher-Bächen vollständig weggespült, sondern er bleibt theilweise an der Stelle der Abschmelzung liegen, was zu einer deutlichen Bezeichnung der Linien des Ausgehenden, wenn man den ganzen Gletscher überblickt, wesentlich beiträgt. Es kann wohl kein deutlicherer unmittelbarer Beweis des beim Vorschieben des Gletschers erfolgenden Einkeilens und Zusammendrängens der ganzen Eis-Masse gegeben werden, als eben diese Struktur.

Nebst dieser Schichten-Abtheilung wird das poröse Gletscher-Eis durchzogen von blauen Bändern dichtern Eises, die offenbar entstanden sind durch das Gefrieren des das Gletscher-Eis tränckenden Wassers während der kalten Jahreszeit, so weit die Winter-Kälte in das Innere der Gletscher- und Firn-Masse einzudringen vermag. Es hat nämlich dieses Eis eine ganz übereinstimmende Beschaffenheit mit demjenigen, welches sich in künstlich gemachten und mit Wasser angefüllten Vertiefungen im Winter auf dem Gletscher bildet. Die blauen Bänder existiren schon in der Firn-Region. ZUMSTEIN, welcher bei seiner ersten Besteigung des *Monte Rosa* im August 1820 in einer Firn-Spalte in 13,128 Fuss Meeres-Höhe die Nacht zubrachte, gibt davon eine sehr anschauliche Beschreibung (v. WELDEN, der *Monte Rosa*, 1824, S. 152). Später haben sie bekanntlich die Aufmerksamkeit von FORBES auf sich gezogen (*Edinb. new phil. Journ. Jan. 1842*). Sie laufen, auf dem eigentlichen Gletscher wenigstens, im Allgemeinen parallel mit der Schichtung, stehen daher senkrecht oder fallen steil ein, wo die Schichten eine entsprechende Stellung haben. Der Parallelismus ist jedoch nicht immer vollständig; sie laufen den Schichtungs-Absonderungen zuweilen unter spitzen Winkeln zu. Wir haben deren nähere Beschreibung und die Darstellung ihres Verhaltens in den verschiedenen Regionen des Gletschers von AGASSIZ

zu gewärtigen. FORBES scheint anzunehmen (*Bibl. univ. de Genève, XLII, 352*), es entstünden diese Bänder aus Spalten, die sich durch die ungleichförmige Bewegung der verschiedenen Theile des Gletschers nach der Richtung der Bänder auf dem mittlern Theil des *Aar-Gletschers*, also seiner Längen-Erstreckung nach, bildeten und später sich mit Wasser füllten, was im Winter gefriere. Die Unstatthaftigkeit dieser Erklärung ergibt sich wohl daraus, dass solche Längen-Spalten, die doch bei der stärksten Bewegung des Gletschers während des Sommers in dieser Jahreszeit vorzugsweise beobachtet werden müssten, auf dem *Aar-Gletscher* gar nicht existiren. Alle Spalten laufen in der Regel quer über den Gletscher.

In den tiefern, vom *Hôtel des Neuchâtelois* weiter abwärts liegenden Theilen des *Aar-Gletschers* wird die Schichten-Stellung wieder verändert, auf eine Art und Weise, in die wir hier eintreten wollen. Im Allgemeinen wird sie verworrener, blaue Bänder und wahre Schichtungs-Absonderungen lassen sich kaum mehr von einander unterscheiden. Das Daseyn einer Schichtung wird indess leicht erkannt, wenn man sich einmal von der Thatsache an denjenigen Stellen des Gletschers überzeugt hat, wo sie wegen grösserer Regelmäßigkeit anschaulicher hervortritt.

Das Vorhandenseyn einer Schichtung im Gletscher-Eise spricht nun ganz gegen eine Entstehungs-Weise des Eises in den untern Regionen der Gletscher, wie CHARPENTIER sich dieselbe vorstellt. Eine bloss aus gefrorenem Wasser entstandene klare Eis-Masse könnte keine Schichtung zeigen. CHARPENTIER behauptet auch, die geschichtete Struktur des Firnes gehe verloren, wenn er sich zum Gletscher umwandle (S. 18). Es ist überhaupt merkwürdig, wie lange die Struktur-Verhältnisse der Gletscher auch von emsigen Beobachtern übersehen worden sind. Es erklärt sich das zunächst daraus, dass die Gletscher gewöhnlich nur bei schöner Witterung besucht werden. Dann ist aber durch die vor sich gehende Abschmelzung die äussere Oberfläche des Gletscher-Eises aufgelockert; Schichtung und blaue Bänder sind kaum bemerkbar, so deutlich sie bei Regenzeit sich darstellen. Ist man

aber einmal durch genauere Beobachtung auf die Sache aufmerksam geworden, so wird man überall die Schichtung erkennen.

Dass man im Innern des Gletscher-Eises selten gröbere Gesteins-Trümmer antrifft, erklärt sich wohl genügend daraus, dass erstlich die Stellen, wo durch Herabfallen von Schutt derselbe in die Firn-Masse begraben werden kann, im Vergleich zu denjenigen, wo kein Schutt auf den Firn gelangt, nur von unendlich kleiner Ausdehnung sind. Dann liegen aber diese Stellen am Rande des sich bildenden Gletschers. Beim Herabschieben gegen die Tiefe zu erleidet aber das am Rande liegende Eis gewöhnlich eine besonders starke Abschmelzung, wie die Vertiefungen beweisen, welche die Oberfläche des Gletschers häufig von den das Thal einschließenden Felswänden trennen, namentlich wenn die Thalwand der Erwärmung durch die bescheinende Sonne ausgesetzt ist. Die im Eise des Randes eingeschlossenen Fels-Trümmer werden also bald entblösst und gelangen in die Gandecke des Gletschers. Oder der Gletscher vereinigt sich mit einem andern, wo dann, wie wir bei der Darstellung der Schichtungs-Verhältnisse gesehen haben, der Rand in der Höhe bleibt, die Schichten in der Mitte sich einbiegen und einknicken und zusammengedrängt werden. Auch hier bleiben also wieder die Theile des frühern Randes in der Höhe, dem Abschmelzen durch den Einfluss der warmen Atmosphäre vorzugsweise ausgesetzt. Die heransschmelzenden Stein-Trümmer gelangen in die auf dem zusammengesetzten Gletscher sich hinziehende Guferlinie; die theilweise aufgerichteten und zusammengepressten Schichten des mittlern Theils des frühern Gletschers schmelzen hingegen nur an den der Atmosphäre zugekehrten Kanten ab. Alles trägt folglich dazu bei, dass diejenigen Theile des Firns, welche gröbere Stein-Trümmer enthalten können, zusammenschmelzen, ehe sie in den untern Theil des Gletschers gelangen, und es ist sich daher kaum zu verwundern, dass man sie selten im Innern des letzten wahrnimmt.

So absolut rein, wie man gewöhnlich anzunehmen pflegt, ist indess das Gletscher-Eis durchaus nicht. Der Sand, den

die Winde auf die Mitte des Firns treiben und der zur deutlichen Bezeichnung von dessen Schichtungs-Absonderung beiträgt, bleibt in den Schichten des Gletscher-Eises und theilt ihm selbst eine schwache Färbung mit, wie wir oben gesehen haben. Es findet das nicht nur an der Oberfläche Statt, wo dieser Sand allerdings beim Abschmelzen den Trennungs-Linien der Schichten entlang sich anhäuft. An allen Spalten auf dem Gletscher bemerkt man, wie die durch den Sand verschiedentlich gefärbten Eis-Schichten sich in die Tiefe hinunterziehen. Durch Schmelzen des an einem Loche von 20 Fuss Tiefe herausgeförderten Eises hat AGASSIZ das Vorhandenseyn des enthaltenen Sandes direkt nachgewiesen (*Comptes rendus*, XV, S. 435). Und doch müssten diese feineren Unreinigkeiten, die im Firn-Eis mit herunterkommen, eben sowohl im Gletscher-Eise verschwinden, wenn CHARPENTIER'S Darstellung begründet wäre.

4) Die SAUSSURE'sche Theorie der Bewegung der Gletscher.

Das Vorrücken der Gletscher geschieht nach der von ALTMANN znerst aufgestellten und von v. SAUSSURE näher entwickelten Theorie durch ihr eigenes Gewicht. Wenn die Stellen, an welchen der Gletscher auf der abschüssigen Unterlage aufliegt, allmählich abschmelzen, so bewirkt die von oben aufdrückende Last ein Vorrücken Thal-abwärts. Die Ungleichheiten der Unterlage, worüber der Gletscher wegleitet, oder auch die unregelmäßige Gestaltung der Seiten-Wände, neben welchen der Gletscher vorgeschoben wird, bewirken die Entstehung der Spalten, die den Gletscher durchziehen. Die Spalten ganz oder theilweise abzuleiten von einer Spannung der Masse, die durch ungleichmäßige Vertheilung der Temperatur in ihrem Innern entstehen soll, ist unstatthaft, weil, wie oben näher entwickelt worden ist, Alles darauf hinweist, dass der ganze Gletscher in seinem Innern die gleichmäßige Temperatur von 0° besitzt.

Dass die Gletscher an ihrer Auflagerungs-Fläche im Abschmelzen begriffen sind, beweist die unmittelbare Erfahrung an allen Stellen, wo man unter den Gletscher hat eindringen können. Unter vielen Gletschern ziehen sich zwischen

dem Boden und dem Eise Höhlungen hindurch, als unmittelbaren Beweis der hier vor sich gehenden Abschmelzung. Die Eis-Gewölbe, unter welchen die Gletscher-Bäche am untern Ende vieler Gletscher hervorkommen, sind allgemein bekannt, so z. B. die des *Glacier des Bois* im *Chamouni-Thal*, des *Rhone-Gletschers*, des *Zermatt-Gletschers*, welches letzte AGASSIZ (*Études sur les Glaciers*, Taf. 6) abbildet, u. a. m. Es ziehen sich diese Gewölbe öfter weit unter die Gletscher hinein, und verzweigen sich auf manchfache Weise. Einen Beweis davon liefert das bekannte Abenteuer des Wirths CHRISTIAN BOHREN, welcher im Juli 1787 auf dem obern *Grindelwald-Gletscher* in eine 64 Fuss tiefe Spalte stürzte und trotz seines gebrochenen Arms glücklich einen Ausweg fand, indem er in dem Bette des Bachs unter dem Gletscher heraufkroch (WYSS, *Reise ins Berner Oberland*, S. 653). HUGI beschreibt (*Alpen-Reise* S. 261) die Gewölbe unter dem *Uraz-Gletscher* am Fusse des *Tillis*, in welchen er während $1\frac{3}{4}$ Stunden herumgekrochen ist. Die ganze Gletscher-Masse ruhte hier auf einer unzähligen Menge kleinerer und grösserer unregelmässig vertheilter Pfeiler, wie ALTMANN sich die Sache vorgestellt hat. Ganz übereinstimmende Wahrnehmungen machte er am *Oberaar-, Viescher* und *Gastern-Gletscher*, wo es ihm ebenfalls gelang, ziemlich weit unter die Eis-Masse vorzudringen. Die End-Punkte dieser Gletscher liegen nach seinen Beobachtungen in 7000, 4154 und 5341 Fuss Meereshöhe (S. 350 und 339). Auch ENNEMOSER konnte im Bette des Baches, der aus dem *Pfalderer Gletscher* im *Tyrol* hervorkommt, sehr weit aufwärts gelangen und sah noch immer das Eis-Gewölbe sich fortziehen (BISCHOF, *Wärme-Lehre* S. 111). Es nehmen diese Höhlungen wahrscheinlich an Umfang ab, je höher der Gletscher ansteigt; dass sie aber auch an hochgelegenen Punkten noch existiren müssen, beweisen die starken Gletscher-Bäche, die auch dort noch durch Spalten in die Tiefe stürzen und ungehindert abfließen. Sehr oft kann man durch die Spalten das Rauschen der unter dem Eise fortströmenden Bäche vernehmen. Am augenscheinlichsten wird das Vorhandenseyn von zusammenhängenden Höhlungen, die unter dem ganzen Gletscher sich

fortziehen, durch jene obenerwähnten, oft hoch am Gletscher liegenden Gletscher-See'n bewiesen, die gewöhnlich in kurzer Zeit sich leeren und dann plötzlich die am Ende der Gletscher abfließenden Bäche beträchtlich anschwellen.

Die Ursachen, welche das Abschmelzen an der untern Fläche der Gletscher bewirken, sind: das von aussen in die Klüfte des Gletschers eindringende Wasser, die eindringende warme Luft, die Wärme des Erd-Bodens und endlich die Quellen, die unter dem Gletscher entspringen.

Unter diesen Ursachen ist wohl die wirksamste das Abschmelzen durch die an den Boden des Gletschers gelangenden Wasser. AGASSIZ (*Études*, S. 206) fand die Temperatur der kleinen Wasser-Rinnen und Bäche auf der Oberfläche der Gletscher immer sehr genau auf 0° , so lange sie auf reinem Eis flossen, welches auch die Wärme der umgebenden Luft seyn mochte; sobald sie aber auf der Oberfläche des Gletschers über Sand und Kies rieselten, stieg ihre Temperatur höher, bis zu $+ 0^{\circ},6$ R. Ebenso verhielt es sich mit dem in den oberflächlichen Vertiefungen des Gletscher-Eises sich ansammelnden Wasser. Bestanden deren Wände aus reinem Eis, so war das Wasser immer auf 0° , sie mochten klein oder sehr weit und tief seyn; sobald aber der Boden mit Schlamm, Sand oder Kies bedeckt war, stieg die Temperatur des Wassers bei warmer Luft-Temperatur höher, bis zu $+ 1^{\circ},2$ R. Das aus dem Abschmelzen des oberflächlichen Eises entstandene Wasser wird folglich, wenn es durch die Klüfte des Gletschers abfließt, zum Abschmelzen des Eises im Innern seiner Masse und auf dem Boden beitragen. In viel höherem Maasse wird das bei dem Wasser der Fall seyn, welches über die von Schnee entblösten, den Gletscher einschliessenden Thal-Wände demselben zuströmt und unter seiner Masse sich versenkt. Das auf die Oberfläche des Gletschers herabfallende und von den Seiten ihm zufließende Regenwasser wirkt auf ähnliche Weise.

Ferner wirkt abschmelzend die Luft, welche unter den Gletscher eindringt. Die in den Zwischenräumen des Gletschers enthaltene auf 0° stehende Luft wird mit der äussern, zur Sommers-Zeit stärker erwärmten Luft sich ins

Gleichgewicht zu setzen suchen. Sie wird, wie die Luft in den Bergwerken, in den abwärts geneigten Kanälen in die Tiefe sinken, zu den unten liegenden Öffnungen ausströmen, während die wärmere äussere Luft durch die höher liegenden Öffnungen eingesogen wird, und, indem sie durch die Höhlungen des Eises dringt, zu deren Erweiterung durch Abschmelzung beitragen. Wie bei den Luftzügen der Bergwerke ist dieser Luft-Wechsel in den hohlen Räumen unter dem Gletscher und der an gewissen Stellen ausströmende Gletscher-Wind um so stärker, je grösser der Temperatur-Unterschied zwischen der äussern und innern Luft ist. Er nimmt an Stärke zu bei sehr warmen Tagen, ist häufig unmerklich des Morgens und wächst gegen den Mittag. Im Übrigen sind diese Luftzüge natürlicher Weise sehr abhängig von der Gestaltung der unter dem Gletscher sich durchziehenden Höhlungen. Sinkt die Temperatur der äussern Luft merklich unter den Eis-Punkt, so kann die Richtung der Luft-Strömungen auch im entgegengesetzten Sinne eintreten und erkältend im Innern des Gletschers einwirken, wie wir bereits oben bemerkt haben. Diese Einwirkung ist aber nothwendiger Weise ungleich beschränkter, weil durch das eintretende Gefrieren des durchsickernden Wassers die kalte Luft den fernern Zugang in das Innere des Gletschers sich bald selbst verstopft. Im Winter kommt noch dazu die bedeckende äussere Schnee-Hülle, welche die Zugänge zu den Höhlungen des Gletschers von aussen ebenfalls einschliesst.

Die Wärme des Erd-Bodens muss ebenfalls zum Abschmelzen an der untern Fläche der Gletscher beitragen, wenn auch nicht in dem Maasse, wie SAUSSURE es sich scheint vorgestellt zu haben zu einer Zeit, wo man über die Vertheilung der Wärme im Innern des Erd-Körpers noch wenig bestimmte Erfahrungen besass. Diese Ursache ist aber von Einfluss, weil sie an allen Punkten, wo das Gletscher-Eis aufliegt und zu jeder Jahreszeit, ungefähr gleichmässig sich äussern muss. Die Thatsache, dass die Wärme des Erd-Körpers zunimmt, so wie man in sein Inneres eindringt, bringt als nothwendige Folge mit sich, dass an allen Punkten der Erd-Oberfläche Wärme ausströmt, bei dem stattfindenden

Vertheilungs-Zustände freilich in so geringer Menge, dass sie die mittlere Luft-Temperatur eines Orts nicht merkbar zu erhöhen vermag. ÉLIE DE BEAUMONT berechnet (LEONH. und BRONN Jahrb. 1842, S. 855), dass die Wärme-Ausströmung für Paris jährlich eine $6\frac{1}{2}$ Millimeter dicke Eis-Rinde zu schmelzen vermag. Es nimmt diese Grösse zu, wenn die Zunahme der Wärme gegen das Erd-Innere oder die Wärmeleitungs-Fähigkeit des Erdbodens wächst; die Veränderungen dieser Grössen können aber nach ÉLIE DE BEAUMONTS Ansicht nicht gar beträchtlich seyn. Demzufolge würde man, wenigstens näherungsweise, annehmen können, dass die Wärme-Ausstrahlung des Erd-Bodens unter dem Gletscher ungefähr dieselbe ist. Sie trifft hier, wie wir gesehen haben, eine beständige Temperatur von 0° an, sie wird also vollständig zur Schmelzung des aufliegenden Eises verwendet. Nach diesen Angaben würde sie demnach jährlich $6\frac{1}{2}$ Millimeter Eis an der Grundfläche des Gletschers schmelzen oder monatlich etwa $\frac{1}{2}$ Millim., also im Zeitraum eines Monats nicht mehr Wasser liefern, als ein ganz unbedeutender Regenschauer. Die Annahme, dass eine der Grössen, von welcher die jährliche Wärme-Ausstrahlung abhängig ist, nämlich die Zunahme der Wärme des Bodens, wenn man in denselben eindringt, unter dem Gletscher nicht wesentlich abweichen kann von dem, was an andern Orten beobachtet wird, scheint mir, wenigstens für die untern Gletscher-Regionen, sehr unwahrscheinlich. Am Gletscher-Boden wird ausnahmsweise eine beständige Temperatur von 0° erhalten, während in den Umgebungen die mittlere Boden-Wärme eine viel höhere seyn kann. Am Ende des untern *Grindelwald - Gletschers* herrscht z. B., wie wir angeführt haben, eine mittlere Luft-Temperatur von $+5^{\circ}$ R.; die mittlere Boden-Temperatur ist wahrscheinlich noch höher. Die Vertheilung der Wärme nach dem Erd-Innern wird aber hauptsächlich abhängig seyn von der Temperatur, die an der weit ausgedehntern, vom Gletscher nicht bedeckten Boden-Fläche herrscht. Auf dem verhältnissmässig sehr geringen Flächenraum, der von Gletscher-Eis bedeckt wird, muss daher in der äussersten Erd-Hülle ausnahmsweise eine stärkere Temperatur-Zunahme

nach innen eintreten, in gleichem Verhältnisse nimmt aber die Wärme-Ausströmung zu. Nehmen wir aber auch eine beträchtliche Vervielfachung der von ÉLIE DE BEAUMONT berechneten Grösse an, der Satz, wozu er endlich gelangt, bleibt richtig, dass die Abschmelzung, welche in Folge der Wärme-Ausströmung des Erd-Körpers unter dem Gletscher erfolgt, nur einen verhältnissmässig sehr kleinen Beitrag liefert, zu der Wasser-Masse der Bäche, die aus dem Gletscher abfliessen.

Auf eine mehr mittelbare Weise kann die Erd-Wärme abschmelzend auf die untere Fläche der Gletscher einwirken durch die Quellen, die unter dem Gletscher selbst entspringen, und welche, wenn sie aus einer etwas beträchtlichen Tiefe kommen, die wärmere Temperatur der tiefern Erdschichten mit sich bringen. Diese Ursache der Abschmelzung ist eine durchaus örtliche, der Umfang ihres Einflusses kann daher nur sehr schwer beurtheilt werden. Wo die Mittel-Temperatur der Oberfläche des Bodens unter 0° sinkt, derselbe folglich in einer gewissen Tiefe fortwährend gefroren bleibt, die atmosphärischen Wasser also nicht mehr eindringen können, müssen auch alle Quellen verschwinden. Nach den Erfahrungen, die man im Norden von *Europa* gemacht hat, steht in Gegenden, welche einen beträchtlichen Theil vom Jahre mit einer Schnee-Hülle bedeckt sind, die Mittel-Temperatur der äussersten Schicht des Erd-Bodens immer höher als die Mittel-Temperatur der umgebenden Luft, weil der entblösste Erd-Boden die Sommer-Wärme aufnimmt, im Winter hingegen die Schnee-Bedeckung das Eindringen der Kälte hemmt und überdiess, wenn der Erd-Boden gefroren ist, das Einsickern vom Wasser aufhört. In den *Alpen*, wo ähnliche Verhältnisse obwalten, wird daher die middle Boden-Temperatur von 0° sich höher hinaufziehen, als die middle Luft-Temperatur von 0° , welche, wie angeführt worden, nach BISCHOF in einer Meeres-Höhe von 6165 Fuss anzutreffen ist. Über die Höhe, in welcher in den *Alpen* die Mittel-Temperatur des Bodens unter 0° sinkt, fehlen noch genauere Beobachtungen. Jedenfalls muss daselbst jeder Einfluss der Quellen aufhören.

Die unter den Gletscher gelangenden Wasser geben nicht einmal unter allen Umständen ihren Temperatur-Unterschied über 0° vollständig ab, bis sie am untern Ende des Gletschers wieder zu Tage kommen. BISCHOF (Wärme-Lehre S. 109) fand den Gletscher-Bach des untern *Grindelwald-Gletschers* an seinem Ausflusse auf $+ 0^{\circ},4$ R., am obern *Grindelwald-Gletscher* auf $+ 0^{\circ},6$ und am *Lämmern-Gletscher* auf der *Gemmi* auf $+ 0^{\circ},2$; ungeachtet die beiden letzten keine Eis-Gewölbe an ihrem Ende hatten und das Wasser unmittelbar unter dem Eise hervorkam. Es ist das ein Beweis, dass ein Wasserstrahl von einiger Stärke den Überschuss von Wärme an das Eis, mit welchem er in Berührung kommt, nur allmählich abgibt, dass er daher, noch in ziemlichen Entfernungen von den Punkten, wo er unter den Gletscher eintritt, Abschmelzungen an dessen Grundfläche bewirken kann. ENNEMOSER (BISCHOF a. a. O.) beobachtete bei 6 *Tyroler* Gletschern die Temperatur der abfließenden Bäche sogar auf $+ 1^{\circ}$ R., am *Pfelderer-Gletscher* auf $+ 1^{\circ},7$. AGASSIZ (*Études*, S. 215) fand die Temperatur der *Visp* beim Ausflusse aus dem *Zermatt-Gletscher* des Morgens immer fast genau 0° ; während des Tages erhob sie sich aber bis $+ 1^{\circ},2$ R. Eine ganz ähnliche Wahrnehmung machte er am Bache des *Zmull-Gletschers*. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass die höhere Temperatur bei den Bächen dieser beiden Gletscher hauptsächlich herkommen mag von der grössern Wärme, welche die von der Seite zuströmenden unter die Gletscher sich versenkenden Bäche mitbringen und beim Durchfluss durch die Gletscher-Gewölbe nicht ganz verlieren, da sie diese höhere Temperatur nur während des Tages besitzen. Die unter den Gletscher, hauptsächlich während des Tages, einströmende warme Luft kann jedoch auch von Einfluss seyn. Die *Aar*, beim Austritt aus dem *Unteraar-Gletscher*, zeigte nach AGASSIZ während des Tags gewöhnlich $+ 0^{\circ},8$ R.

Die Eis-Schicht, welche an der Boden-Fläche eines Gletschers abschmilzt, muss an denjenigen Stellen, wo hauptsächlich nur das eindringende Schmelz-Wasser wirkt, sehr unbeträchtlich seyn im Verhältniss zu der Abnahme, die

der Gletscher durch das Abschmelzen an seiner Oberfläche erleidet; denn die Schnee-Gewässer können im günstigsten Falle nur mit einem geringen Temperatur-Überschuss über 0° an den Boden des Gletschers gelangen. Die Total-Einwirkung der ausströmenden Erd-Wärme ist, wie wir gesehen haben, ebenfalls nur gering. Unter günstigen Verhältnissen, namentlich wenn der Zutritt der äussern wärmern Luft lebhaft stattfindet, kann hingegen das Abschmelzen am Boden sehr bedeutend werden. Vom 26. Juni bis zum 10. Sept. 1842 beobachtete FORBES nahe beim Rande des *Eismeeers* im *Chamouni-Thale* ein Einsinken des Gletschers von 25 engl. Fuss und $1\frac{1}{2}$ Zoll. In der Mitte des Gletschers war das Einsinken bedeutender. Er hat sich überzeugt, dass dasselbe bei weitem zum grössten Theil vom Abschmelzen des Eises an der Bodenfläche herrührt (*Bibl. univ. de Gen.* 42, 364 und 356).

5) Würdigung einiger gegen die SAUSSURE'sche Theorie erhobenen Einwürfe.

Ein Einwurf gegen die Theorie des Herabgleitens der Gletscher auf geneigter Grundfläche in Folge ihres eigenen Gewichts, welchen man oft geltend gemacht hat, ist folgender (s. z. B. CHARPENTIER §. 14): Viele Gletscher ruhen auf einer so stark geneigten Grundfläche, dass nicht abzusehen sey, warum, wenn sie einmal ins Gleiten kommen, dasselbe nicht fortduere und die ganze Gletscher-Masse in die Tiefe stürze. Der Einwurf wäre begründet, wenn ein Gletscher aus einer starren, fest zusammenhängenden Masse bestünde, wie z. B. eine Scheibe von Glas oder ein Felsblock. Ein Körper von dieser Beschaffenheit würde allerdings fortgleiten, wenn sein Gewicht einmal die Reibung am Boden, welche ihn auf einer gleichmässig geneigten Grundfläche festhält, überwunden hat; denn die Reibung auf der Grundfläche bleibt beim Fortbewegen eines solchen Körpers ungefähr dieselbe; zu dem Druck von oben, der einmal diese Reibung überwunden hat, kommt die Gewalt der Bewegung selbst, es ist folglich keine Ursache da, welche die einmal eingeleitete Bewegung hemmt, und die ganze Masse stürzt mit

beschleunigter Geschwindigkeit in die Tiefe. Die angegebene Beschaffenheit ist aber durchaus nicht diejenige eines Gletschers. Er besteht im Gegentheil aus einer vielfach zerklüfteten, dem Drucke nachgebenden Masse, kann also besser verglichen werden mit einer Anhäufung von Schutt, welcher auf einer geneigten Grundfläche aufliegt, als mit einem zusammenhängenden Felsblock. Der wesentliche Unterschied zwischen einer Schutt-Masse aus Fels-Trümmern und einer Trümmer-Masse von Eis, wie wir uns den Gletscher denken müssen, ist derjenige, dass die erste unverändert dieselbe bleibt, dass folglich Fels-Schutt auf geneigter Grundfläche liegen bleibt, wo er einmal sich abgelagert hat, es sey denn, dass nachfallende Massen den Druck von oben vermehren, oder dass einsinkende Wasser die Beweglichkeit der einzelnen Theile erhöhen. Eis-Schutt auf geneigter Grundfläche erleidet aber eine beständige Veränderung durch die fort-dauernde Abschmelzung, die an der Auflagerungs-Fläche vor sich geht. Es löst sich dadurch der Zusammenhang an allen Stellen, wo die Masse an der Grundlage aufsitzt, und es muss folglich ein Zeitpunkt eintreten, wo der Druck von oben den Widerstand an der Grundfläche überwindet und die Masse weiter gleitet. So wie aber das Gleiten eintritt, vermehren sich durch die Nachgiebigkeit der ganzen Masse die Berührungs-Stellen, der Gletscher greift wieder vollständiger ein in die Unebenheiten der Unterlage, der Zusammenhang mit derselben nimmt zu, bis er durch die immer fortschreitende Abschmelzung wieder geschwächt wird. Der Gletscher, bei seiner Fortbewegung, erlangt also niemals ein starkes Bewegungs-Moment; die durch das fortwährende Abschmelzen an der Grundfläche eingeleitete Bewegung wird eben so allmählich vermindert; der Gletscher muss sich folglich mit gleichmäsiger langsamer Bewegung fortschieben, so lange das Abschmelzen an der Boden-Fläche in gleichem Maasse vor sich geht und der Druck von oben auf der geneigten Grundfläche derselbe bleibt.

Erlitte die Reibung am Boden nicht auf die angegebene Weise eine beständige Verminderung, so wäre auch kaum zu begreifen, warum bei einem nur etwas mächtigen Gletscher,

der auf abschüssiger Unterlage weiter gleitet, die Fortbewegung in der Regel immer in der ganzen Eis-Masse vom Boden bis zur Oberfläche gleichmässig stattfindet, und nicht ein oberer Theil des Gletscher-Eises häufig über den untern weitergleitet; denn der zu überwindende Zusammenhang im Innern des Gletscher-Eises selbst könnte kaum grösser seyn, als die zwischen dem Gletscher und seiner Grundfläche. Am allerwenigsten ist ein Unterschied denkbar, wenn nach CHARPENTIER'S Behauptung die Gletscher am Boden festgefroren wären. Wir wollen hier die zum Theil höchst unglücklichen Erklärungs-Weisen nicht berühren, die eine verschiedene Geschwindigkeit in der Bewegung verschiedener übereinander liegender Schichten des Gletscher-Eises darzulegen versuchen; überall, wo man den Gletschern durch direkte Beobachtung hat beikommen können, hat sich die gleichmässige Fortbewegung in der ganzen Mächtigkeit des Gletschers als Thatsache erwiesen; die angebliche Ungleichmässigkeit der Bewegung unter solchen Verhältnissen bloss in diejenigen Stellen zu verlegen, die der direkten Beobachtung unzugänglich sind, ist bei physikalischen Erklärungen ein höchst missliches Unternehmen. Bewegt sich aber das Gletscher-Eis in der Regel immer seiner ganzen Mächtigkeit nach gleichmässig, so ist das einer der direktesten Beweise, dass die Lösung des Widerstandes fortwährend an der Bodenfläche stattfindet, und dass das eigene Gewicht der Gletscher-Masse die Ursache ihrer Bewegung ist.

Dass es übrigens viele Gletscher gebe, die, wie CHARPENTIER behauptet, auf einer mehr als 45° geneigten Grundfläche liegen, bedarf noch der Nachweisung durch genauere Messungen, da bei einer blossen Schätzung nach dem Augen-Masse in der Beurtheilung der Berg-Abhänge bekanntlich leicht Irrthümer unterlaufen.

Ein zweiter Einwurf ist dem vorigen gerade entgegengesetzt. Viele Gletscher sollen eine so geringe Neigung der Oberfläche zeigen, dass bei einem so schwachen Gefälle ein Vorwärts-Schieben durch ihr eigenes Gewicht nicht denkbar ist. Auch dieser Einwurf scheint nicht von Erheblichkeit. Es ist noch kein Beispiel eines in Bewegung begriffenen

Gletschers nachgewiesen worden, dessen Oberfläche, nur in einiger Erstreckung, völlig horizontal läge. Der *Unteraar-Gletscher* wird als ein Beispiel eines sehr wenig geneigten Gletschers angeführt, und doch zeigt seine Oberfläche einen Abfall von 3 und 4°. ELIE DE BEAUMONT, welcher sich mit Ausmittlung der Neigung der Gletscher speziell beschäftigt hat, bemerkt ausdrücklich, er kenne in den *Alpen* keinen Gletscher, der sich in einiger Ausdehnung, z. B. von einer Stunde, auf einer erheblich geringern Neigung als von 3° bewege (LEONH. und BRONN, *Jahrb. 1842*, S. 858). Ein Wasserstrom von der Mächtigkeit des Gletscher-Eises mit einer solchen Neigung seiner Oberfläche würde eine ganz ungeheure Geschwindigkeit besitzen, und das ja auch nur in Folge des eigenen Gewichts seiner Wasser-Masse. Auch auf wenig geneigter Fläche muss folglich das Eis gegen die Tiefe geschoben werden, wenn die Stellen, wo es auf dem Boden aufliegt, zusammenschmelzen. Es sind überhaupt zwei Elemente, welche das Fortrücken eines Gletschers hauptsächlich bedingen: der abwärts wirkende Druck, der wiederum abhängig ist von der Neigung der Bodenfläche und von dem Gewicht der aufliegenden Eis-Masse, und die Grösse des an dem Boden stattfindenden Abschmelzens. In Folge des Druckes allein bewegt sich der Gletscher so wenig vorwärts, als eine auf geneigter Fläche abgelagerte Schutt-Masse, die Abschmelzung am Boden muss dazu kommen. Ist diese sehr gering, so kann auf sehr geneigter Grundfläche ein Gletscher langsamer vorrücken, als einer von demselben Gewicht, der auf einer viel weniger geneigten Bodenfläche ruht, auf welcher aber das Abschmelzen viel rascher vor sich geht; ist das Abschmelzen aber gleich, so muss unter denselben Umständen das Vorrücken auf einer geneigtern Unterlage allerdings schneller vor sich gehen. Der Einfluss jedes der Elemente, in einem gegebenen Fall, ist freilich schwer zu bestimmen. Wenn AGASSIZ im Sommer 1842 die mittlere tägliche Bewegung auf dem *Aar-Gletscher* etwa = $3\frac{1}{2}$ Schweizer Zoll gefunden hat (*Comptes rendus*, 15, 736), an einem Punkte freilich, der noch nicht fern vom Rande lag, und wo daher der Gletscher nicht die schnellste Bewegung

hatte, FORBES hingegen ungefähr zu derselben Zeit diese tägliche Bewegung am *Eismeer* im *Chamouni-Thale* von 15 bis $17\frac{1}{2}$ engl. Zoll, gegenüber dem *Montanvert* sogar von 27 Zoll gefunden hat (*Bibl. univ. de Gen.* 42, S. 340 und 345), so können wir bloss abnehmen, dass die Geschwindigkeit des Fortschiebens an verschiedenen Gletschern eine sehr verschiedene ist; es mangeln uns aber noch alle That-sachen um auszumitteln, welchen Antheil an dem so ungleich stärkern Fortschreiten, welches FORBES beobachtet hat, die stärkere Neigung des *Eismees* und welchen die stärkere Abschmelzung am Boden gehabt hat.

Rückt ein Gletscher in verschiedenen Abständen von seinem untern Ende, aus irgend einer Ursache, mit verschiedener Geschwindigkeit vor, so sind zwei Fälle denkbar. Ein weiter Thal-abwärts liegender Theil schreitet schneller vor; dann werden, weil die hinterliegenden Theile nicht nachkommen, eine Menge von Spalten entstehen, und die Längen-Ausdehnung des Gletschers wird in Folge der vielen entstehenden und sich erweiternden leeren Räume zunehmen, während die Gesammtheit der vorhandenen Eis-Masse dennoch in stetem Abnehmen begriffen ist. Oder ein Thal-aufwärts liegender Theil des Gletschers bewegt sich schneller, als ein ihm vorliegender. Es wird in diesem Falle ein Druck der hinterliegenden Massen gegen die vorliegenden entstehen, deren erster Effekt seyn wird, die vorhandenen Spalten zu schliessen. Nur bis in eine mäsige Entfernung wird aber der Druck der hinterliegenden Theile gegen die vorliegenden fühlbar seyn können und jene Geschwindigkeit vermehren, welche diese letzten für sich annehmen würden, denn die beim Vorrücken über die Grundfläche zu überwindende Reibung wird bald zu gross werden. Durch den von hinten wirkenden Druck und den weiter abwärts stattfindenden Widerstand wird dann die ganze Gletscher-Masse sich aufstauen; die Dicke des Gletschers wird an solchen Stellen zunehmen, bis das mehre Nachrücken von hinten mit dem vorliegenden Widerstande sich ins Gleichgewicht gesetzt hat. Diese Erscheinung wird vorzüglich eintreten, wo das Bett des Gletschers von einer starken Neigung plötzlich zu

einer weit geringern übergeht. An solchen Stellen wird daher die Dicke des Gletschers in der Regel bedeutend zunehmen. Auf dem *Aar-Gletscher* ist die Gegend beim *Ab-schwung* eine Stelle, an welcher wir durch das Einsinken und Einknicken des mittlen Theils der Gletscher-Schichten einen unmittelbaren Beweis von dem erfolgenden Zusammen-drängen und Aufquellen der ganzen Masse vor uns haben und diess Alles durch das erfolgende Nachrücken, ohne irgend ein Anwachsen des Gletscher-Eises von innen heraus.

Es erleiden diese Vorgänge noch einige Modifikation durch das Abschmelzen, welches im Gletscher-Eise nicht nur an der Oberfläche und am Boden, sondern in seiner ganzen Masse stattfinden muss. Namentlich muss Diess eintreten durch die Einwirkung der warmen Luft, wenn sich durch die stark zerklüftete Masse eines Gletschers Zutritt findet; ferner durch die von der Oberfläche abfliessenden Schmelz-Wasser und noch in stärkerem Masse durch die herabfallenden wärmern Regen-Wasser, die allerorts durch die Klüfte des Gletschers eindringen. Bei dem oben erwähnten durch FORBES vom 26. Juni bis zum 10. Sept. 1842 beobachteten so bedeutenden Zusammensinken des Gletscher-Eises am *Eismeer* des *Chamouni-Thals* hat unstreitig diese allseitige Abschmelzung des Eises mächtig mitgewirkt. Es lassen sich demzufolge Stellen an einem Gletscher denken, wo in Folge einer stärkern Bewegung der Thal-aufwärts liegenden Theile die Entfernung zwischen zwei gegebenen Punkten der Oberfläche abnimmt, ohne eine damit verbundene Zunahme der Mächtigkeit des Gletschers, indem bloss die durch das allseitige Abschmelzen erfolgende Erweiterung aller Klüfte durch das schnellere Nachrücken von oben ganz oder theilweise ersetzt wird.

Aus diesen Erörterungen geht hervor, dass auch der Beweis eines Ersatzes des Eises von innen heraus, den AGASSIZ aus der geringen Abnahme der Mächtigkeit eines Gletschers an seinen Thal-abwärts liegenden Theilen abzuleiten versucht, ohne Gewicht ist. Er führt das Beispiel eines 4000 Fuss langen Gletschers an, der an seinem Ursprung 50 Fuss Mächtigkeit besitzt und fast dieselbe Mächtigkeit noch an seinem Ende zeigt (*Comptes rendus*, 15, S. 284). Es scheint ihm

das unvereinbar mit einem fortdauernden Abschmelzen an der obern und untern Fläche während des langen Zeitraums, den die Eis-Masse bedarf, um vom obern Ende des Gletschers bis zum untern vorzurücken, wenn nicht ein Ersatz durch Anwachsen der Eis-Masse von innen heraus stattfände. Das bei Thal-abwärts stattfindender Abnahme der Geschwindigkeit des Vorrückens erfolgende Aufquellen, durch den Druck des hinterwärts liegenden Theils des Gletschers, kann aber die durch das Abschmelzen erfolgende Abnahme der Mächtigkeit hinreichend ersetzen. In der Regel scheint jedoch die Mächtigkeit der meisten Gletscher gegen den Punkt hin, wo sie ausmünden, allerdings abzunehmen.

Die genauern, von AGASSIZ und FORBES im Sommer 1842 ausgeführten Messungen haben gezeigt, dass die Gletscher kontinuierlich zu allen Stunden des Tages und der Nacht im Vorrücken begriffen sind, und dass die Mitte des Gletschers schneller vorrückt als seine Ränder. Ob zu keiner Zeit ein ruckweises Vorschreiten eintrete, bleibt noch zu erörtern; denn nach einigen ältern schwer zu bezweifelnden Angaben ist ein solches bestimmt beobachtet worden. Der Pfarrer von *Grindelwald*, FRIEDRICH LEHMANN, gibt folgende Beschreibung eines Ereignisses auf dem untern *Grindelwald-Gletscher* (WYSS, Reise ins *Berner Oberland*, S. 659): „das Ziel unserer Tagreise, die Hütten am *Zesenberge*, ruhten schon sichtbar vor unsern Augen, und eine Viertelstunde davon lagerten wir uns, um eine Pfeife anzuzünden, ganz sorgenlos auf dem Eis. Kaum aber sass ich, so hatte das wundersame Ereigniss des Gletscher-Wachsens Statt. Ein unvergleichbar schreckliches Getöse, ein betäubender Donner liess sich hören. Um uns her fing Alles an sich zu regen. Flinten, Bergbickel, Waidsäcke, die wir auf den Boden gelegt, schienen lebendig zu werden. Felsenstücke, ruhig zuvor auf dem Gletscher haftend, rollten behend über einander. Schründe verschlossen sich mit einem Knalle, dem Schuss einer Kanone gleich, und spritzten das Wasser, das gewöhnlich in ihnen sich befindet, bis zu Hauseshöhe, wobei wir tüchtig beregnet wurden. Neue 10 bis 12 Schuh breite Spalten öffneten sich mit einem ganz unbeschreiblich widerwärtigen

Getöse. Die gesammte Gletscher-Masse rückte vielleicht um einige Schritte vorwärts. Eine schreckliche Umwälzung schien sich zu bereiten; aber in wenigen Sekunden war Alles wieder still, und nur das Pfeifen einiger Murmelthiere unterbrach das bängliche Todes-Schweigen“. Fast ganz übereinstimmende Beobachtungen, ebenfalls vom untern *Grindelwald-Gletscher*, theilen ALTMANN (S. 47) und KUHN (a. a. O. S. 129) mit. Es mag sich indess mit der Richtigkeit dieser Beobachtungen verhalten, wie man will, die Thatsache steht fest, dass das kontinuierliche Vorrücken der Gletscher Regel, das ruckweise jedenfalls nur seltene Ausnahme ist.

Auf den ersten Blick könnte man allerdings glauben, nach der SAUSSURE'schen Theorie müsste ein ruckweises Fortgleiten des Gletschers beobachtet werden. Die kontinuierliche Fortbewegung ist auch noch nach FORBES als Haupt-Einwurf gegen diese Theorie geltend gemacht worden, nachdem er die Unstatthaftigkeit der CHARPENTIER'schen ausführlich nachgewiesen hat (*Bibl. univ. de Gen.* 42, S. 362). Eine genauere Betrachtung der Sache, wie sie oben gegeben worden ist, führt aber zum Ergebniss, dass in der Regel ein allmähliches, langsames Fortschreiten der Gletscher stattfinden muss; eine ruckweise Bewegung kann fast nur beim Einstürzen grösserer, am Boden des Gletschers entstandener Gewölbe beobachtet werden. Es müsste nämlich eine ruckweise Bewegung eintreten, wenn der Gletscher, wie ein fester Fels, nur an wenigen Punkten auf seiner Unterlage aufläge. Würde dann der Gletscher an seinen Auflagerungspunkten abschmelzen, so würde er fortgleiten, bis die vermehrte Reibung am Boden ihn wieder zur Ruhe brächte. Da aber das Aufliegen der ihrem Gewichte nachgebenden Gletscher-Masse an sehr vielen Punkten stattfindet, die Bewegung jeder einzelnen Partie des Gletschers bedingt wird durch den Widerstand, den die vorliegenden Partie'n darbieten, und durch den Druck, den die hinterliegenden ausüben, so kann, wenn das Abschmelzen am Boden ein allmähliches ist, die fortschreitende Bewegung auch nur eine allmähliche kontinuierliche seyn. Die ruckweise, unregelmässige Bewegung, welche die einzelnen Theile für sich annehmen würden,

gleicht sich, wie bei allen Vorgängen ähnlicher Art, zu einer mittlen allgemeinen Bewegung der ganzen Masse aus.

Aus einer ähnlichen Ursache bemerkt man wohl auch einen so geringen Unterschied in der Geschwindigkeit des Gletschers während des Tags und der Nacht. Die den Tag über, namentlich in der letzten Hälfte des Tags, in den Gletscher sich versenkenden Wasser sind stärker und wärmer als des Nachts, sie müssen folglich kräftiger das Abschmelzen befördern. Bis sie aber an den Boden gelangen und auf die Ablösung der Auflagerungs-Punkte ihren vollen Effekt ausüben, vergeht eine beträchtliche, schwer a priori zu bestimmende Zeit. Ähnliches gilt von der Einwirkung der eindringenden wärmern Tages-Luft. Wenn daher der Gesamt-Effekt während einer Reihe aufeinanderfolgender Tage derselbe bleibt, so wird man einen geringen Unterschied in der Bewegung des Gletschers während der einzelnen Tagesstunden wahrnehmen können, der noch überdiess von den eigenthümlichen Verhältnissen eines gegebenen Gletschers abhängig seyn muss. In der That fand AGASSIZ im Sommer 1842 die Bewegung des *Aar-Gletschers* während der Nacht, von 7 Uhr Abends bis 7 Uhr Morgens, etwas Weniges stärker, als während der 12 übrigen Stunden, im Mittel von 23 Beobachtungs-Tagen 19 Linien des Nachts, $16\frac{1}{2}$ Linien des Tags (*Comptes rendus* 15, S. 736). FORBES hingegen beobachtete am *Eismeer* im *Chamouni-Thal* in den letzten Tagen des Juni 1842, von 6 Uhr Abends bis 6 Uhr Morg., ein Fortschreiten von 8 oder $8\frac{1}{2}$ Zoll, während der 12 Tagesstunden von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll mehr (*Bibl. univ. de Gen.* 42, S. 340). Nahm hingegen während mehren auf einander folgenden kalten Tagen die Menge sowohl, als die Wärme der in den Gletscher eindringenden Wasser bedeutend ab, so verminderte sich allerdings auch die fortschreitende Bewegung des Gletschers auf eine sehr entschiedene Weise (S. 364).

Der stärkere Druck der in der Mitte des Gletschers mächtigeren Eis-Massen und die grössere Menge der eindringenden Wasser, welche in Folge der Neigung des Bodens daselbst zusammenfliessen und eine stärkere Abschmelzung bewirken, sind wahrscheinlich die Ursachen der von AGASSIZ

sowohl als von FORBES ausgemittelten Thatsache, dass die Bewegung des Gletschers in der Mitte beträchtlich grösser ist, als an beiden Seiten-Rändern. Mit dieser ungleichmässigen Bewegung muss nothwendigerweise ein Verschieben der gegenseitigen Lage zweier ungleich vom Rande entfernten Punkte auf dem Gletscher verbunden seyn. Längen-Spalten können aber dadurch keine entstehen; denn die in der Mitte schneller nachrückende Masse füllt alle entstehenden Zwischenräume sofort wieder aus oder lässt sie vielmehr nicht zum Entstehen kommen, auf ähnliche Weise, wie die Queer-Spalten in einem Gletscher sich schliessen, wenn die Bewegung des Gletscher-Eises oberhalb stärker ist, als mehr Thal-abwärts. In der That werden auch auf einem in die Länge sich erstreckenden, in einem regelmässigen Thale eingeschlossenen Gletscher, wie z. B. auf dem *Aar-Gletscher*, keine Längen-Spalten beobachtet, so häufig auch die aus der schnellern Bewegung des Thal-abwärts liegenden Eises entstehenden Queer-Spalten sind. Hingegen zeigen sich auf dem *Aar-Gletscher* an denjenigen Stellen des Randes, wo die den Gletscher einschliessende Thal-Wand Felsen-Vorsprünge zeigt, sternförmig sich verbreitende, von diesen Stellen schief aufwärts laufende Spalten. Der Grund ihrer Entstehung liegt offenbar in der Verzögerung der Bewegung des Thal-anwärts liegenden Eises, welche der Felsen-Vorsprung veranlasst, während das Thal-abwärts liegende Eis ungehemmt vorrückt. In einiger Entfernung abwärts vom Vorsprung sind aber diese Spalten wieder vollständig geschlossen, so wie die Verzögerung der Bewegung, welche der Vorsprung veranlasst hat, wieder ausgeglichen ist. Wie man aber zwei Stücke Gletscher-Eis, die man aneinander drückt, zusammenhaften sieht, so bildet die Gletscher-Masse, wenn Spalten durch den Druck sich wieder geschlossen haben, auch wieder eine ununterbrochene Masse.

Schliesslich ist noch der Einwurf zu berühren, welcher gegen die SAUSSURE'sche Theorie aus der angeblichen Unbeweglichkeit der Gletscher im Winter hergeleitet worden ist. Ob diese Unbeweglichkeit im Winter wirklich stattfindet oder nicht, ist noch ein Gegenstand des Streites, der nur durch

bestimmtere Beobachtungen erledigt werden kann. Aus dem Zustande der Schnee-Decke, welche den *Aar-Gletscher* im März 1841 gleichmässig überdeckte, als AGASSIZ denselben besuchte, leitet er den Schluss ab, dass der Gletscher zu dieser Jahreszeit sich nicht bewegen könne (*Bibl. univ. de Genève, Avril 1842*). HUGI hingegen führt das bestimmte Zeugniß des Pfarrers ZIEGLER in *Grindelwald* an, dass die dortigen Gletscher ein sehr deutliches Vorrücken zur Winters-Zeit zeigen (die Gletscher und die erratischen Blöcke, S. 33). Diese letzte Meinung scheint mir die wahrscheinlichere, schon wegen der allgemein beobachteten Thatsache, dass die Gletscher im Früh-Sommer weit weniger Spalten zeigen als im Spätjahr, was auf ein Zusammenrücken der ganzen Gletscher-Masse während des Winters hinweist. Jedenfalls ist die fortschreitende Bewegung viel geringer als im Sommer, was übrigens ganz im Einklange ist mit den oben gegebenen Entwicklungen. Im Winter können nur die Erd-Wärme und die ganz lokal wirkenden, unter dem Gletscher entspringenden Quellen eine Abschmelzung an dessen Grundfläche hervorbringen. Wie gering aber der Effekt der Erdwärme gegen den der übrigen im Sommer einwirkenden Ursachen seyn muss, haben wir genugsam dargethan. Da die Erd-Wärme an allen Stellen des Gletscher-Betts viel gleichmässiger wirkt, als die eindringenden Wasser und die warme Luft, die zur Sommers-Zeit in den untern Theilen des Gletschers eine ungleich grössere Abschmelzung zu Stande bringen müssen, als in den höher liegenden, so lässt sich vermuthen, dass zur Winters-Zeit die Bewegung des Gletschers in den tiefern Gegenden verhältnissmässig sich mehr verzögert, und dass eben desshalb durch das Nachdrängen der weniger Zögerung erleidenden obern Massen die Spalten zur Winters-Zeit sich schliessen und der ganze Gletscher unten an Mächtigkeit zunimmt. Auch das Festfrieren des Gletschers, was im Winter um seinen Rand herum eintreten kann, wenn die deckende Schnee-Hülle nicht genugsam schützt, muss die Bewegung am Ausgehenden des Gletschers hemmen und das Nachrücken der obern Eis-Massen befördern.

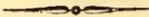
Die von den Gletschern abfliessende Wasser-Masse ist

im Winter sehr gering, was in dem eben Gesagten seine Erklärung findet. Aus der Klarheit des Wassers den Schluss abzuleiten, dass dasselbe bloss von unter dem Gletscher entspringenden Quellen herrühren könne, scheint mir etwas gewagt; denn das spärlicher und folglich langsamer fließende Wasser muss weniger fremde Theile mit sich führen, als die stärkeren Gletscher-Bäche im Sommer, deren Wasser beständig eine gewisse Trübung besitzt. Als SAUSSURE im Winter 1764 das *Chamouni-Thal* besuchte, wo eine tiefe Schnee-Decke das ganze Thal bedeckte, sah er noch sehr beträchtliche Bäche unter allen Gletschern hervorkommen. Bei einigen Gletschern versiegen indess die Bäche ganz. Nach den von BISCHOF eingezogenen Erkundigungen (Wärme-Lehre S. 104) scheint das beim *Lämmern-Gletscher* auf der *Gemmi* einzutreten. Es ist das freilich ein kleiner, auch im Sommer wenig Wasser liefernder Gletscher, dessen unteres Ende 7000 Fuss über dem Meere liegt. Nach den Beobachtungen des Pfarrers ZIEGLER (BISCHOF, S. 116) liefert der sehr tief ins Thal sich herunterziehende untere *Grindelwald-Gletscher* im Winter ebenfalls kein Wasser, während der Bach des höher liegenden obern *Grindelwald-Gletschers* beständig fortfließt. Es ist sehr möglich, dass in diesen Fällen die Ausgänge an der äussern, der Einwirkung der kalten Luft ausgesetzten Seite des Gletschers zufrieren und das im Innern sehr langsam abschmelzende Wasser hinter dem Eisdamm, welcher ihm den Ausweg verschliesst, sich ansammelt und im Frühjahr wieder durchbricht. Nach der Beschreibung des Pfarrers ZIEGLER ist Diess der Vorgang am untern *Grindelwald-Gletscher*.

In neuester Zeit hat FORBES (a. a. O.) die Erscheinungen an den Gletschern abzuleiten versucht von einer Plastizität oder Halbflüssigkeit ihrer Masse. Seinen Erklärungen mangelt aber die nöthige Bestimmtheit und Klarheit. In Bewegung begriffene Schutt-Massen, wie wir uns die Gletscher denken können, zeigen allerdings in Folge der Verschiebbarkeit und Nachgiebigkeit ihrer Bestand-Masse gewisse Erscheinungen, welche sie den flüssigen Körpern nähern. Das abschmelzende Eis auf 0° Temperatur, wie wir es zur Sommers-Zeit überall

auf dem ganzen Gletscher antreffen und wie es im Innern das ganze Jahr hindurch besteht, ist aber ein fester, keineswegs ein halbflüssiger Körper. Es muss daher, wenn es sich in Bewegung setzt, ein wesentlich verschiedenes Verhalten von einem zähen Schlamm-Strome zeigen. Der Haupt-Unterschied besteht darin, dass die Bewegung nur durch die an der Auflagerungs-Fläche stattfindende Abschmelzung möglich wird, dass daher die einzelnen Partie'n eines Gletschers in ihrer ganzen Mächtigkeit, vom Boden bis zur Oberfläche, gleichmäßig vorrücken, während die Theile eines Schlamm-Stroms über einander sich wegschieben.

Das Vorrücken durch das eigene Gewicht auf geneigter Grundfläche in Folge der daselbst vorgehenden Abschmelzung und der so zu sagen ausschliessliche Ersatz der abschmelzenden Massen durch Nachschieben von oben herab sind die Grundlagen der SAUSSURE'schen Gletscher-Theorie. Weit entfernt durch die neuern Erfahrungen geschwächt worden zu seyn, sind sie durch dieselben nur klarer und vollständiger bewiesen worden. Gletscher, die über eine ausgedehnte Ebene vorrücken, wie man solche zur Erklärung gewisser geologischer Erscheinungen hat annehmen wollen, sind eine physikalische Unmöglichkeit. Überhaupt gibt sich der Ungrund aller Erklärungs-Weisen, die man an die Stelle der SAUSSURE'schen hat setzen wollen, überall kund, sobald man sie einer genauern Prüfung unterwirft.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1843

Band/Volume: [1843](#)

Autor(en)/Author(s): Merian Peter

Artikel/Article: [Über die Theorie der Gletscher 413-456](#)