hat Wasser aus 100 und aus 1606 Meter Tiefe auf seine Dichtigkeit geprüft, und dieselbe gleich gefunden mit der des Wassers von der Oberfläche ¹).

XIV. Ueber die Theorie der Gletscher; vom Rathsherrn Peter Merian in Basel ²).

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus dem Bericht über die Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. No. V.)

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 An-

1) Hr. A. hat auch den bekannten Versuch von Gay-Lussac (*Ann. de chim. et de phys. T. XI p. 299*) wiederholt, wodurch er zeigte, daß eine 2 Meter hohe Säule einer Salzlösung nach 20 monatlichem Stehen in einem Raum von unveränderlicher Temperatur unten keinen andern Salzgehalt besitzt als oben. Hr. A. ist mit einer Zinkvitriollösung zu demselben Resultat gelangt; doch möchte wohl sein Versuch, da dabei keine besondere Vorkehrung zur Beständighaltung der Temperatur getroffen zu seyn scheint, nicht eben den älteren zur besonderen Bestätigung gereichen. P.

2) Der Verfasser suchte in einem ausführlichen Vortrage, welcher der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel in den Sitzungen vom 12. Mai, 9. Juni und 7. Juli 1841 vorgelegt worden ist, die Gesamtheit der bis dahin bekannt gewordenen Thatsachen über die Gletscher auf möglichst vollständige Weise zusammenzustellen. Seit dieser Zeit sind verschiedene wichtige Beiträge über diesen Gegenstand erschienen, namentlich das Werk von Charpentier, und die Berichte über die seitherigen Arbeiten von Agassiz und Forbes. Bei dem Abdrucke des auf die Gletschertheorie bezüglichen Theils jenes Vortrages ist daher zweckmäßig erachtet worden, das Wesentliche aus den Mittheilungen mit aufzunehmen, welche der Verfasser nach einem bei Agassiz auf dem Aargletscher gemachten Besuche der Gesellschaft in der Sitzung vom 19. October 1842 gegeben hat.

spruch 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 Schweiz, und auf dem südlichen Abhang des Juragebirges zerstreut finden, seyen einst durch Gletscher, welche von den Alpen bis zum Juragebirge 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 Eiszeit vorausgegangen, während welcher nicht nur die Schweiz, sondern der größte Theil der gemäßigten Zone unserer Erde in Schnee und Eis eingehüllt gewesen sey, und alles frühere organische Leben aufgehört habe. Diese Theorien 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 genauen Beobachtung unterworfen, und sind zum Theil zu einer Erklärungsweise 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 früheren geologischen Epochen den Gletschern zugeschrieben werden können, ist es vor Allem nothwendig, über die Ursachen in's Klare zu kommen, welche gegenwärtig die Erscheinungen, die wir an den Gletschern beobachten, bedingen. Es mag daher der Mühe lohnen, die Hauptzüge der bestrittenen Saussure'schen Erklärungsweise einer genaueren Prüfung zu unterwerfen, und

sie zusammenzuhalten mit den Theorien, 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, und zwar vorzugsweise der schweizerischen Gletscher beschränke, und die Erörterungen einstweilen unberührt lasse, mittelst welcher man eine vormalige weit gröfsere Ausdehnung der Gletscher nachzuweisen versucht hat.

1) Das ewige Eis der Höhen.

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

Die Lage der Schneelinie, in einer gegebenen Gegend, ist zunächst abhängig von der mittleren Jahreswärme, die in derselben Gegend in der Tiefe stattfindet, Je höher diese Jahrestemperatur ist, desto höher wird, unter übrigens gleichbleibenden Bedingungen, die Schneelinie auf den Bergen angetroffen werden. In einem warmen Jahre, oder nach einer Folge von warmen Jahren, wird in der Regel die Schneelinie sich höher hinaufziehen; sie wird umgekehrt in kalten Jahren sich heruntersinken.

Die mittlere Jahrestemperatur ist aber nicht das einzige Element, welches die Lage der Schneelinie bedingt. Auch die verschiedene Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Jahreszeiten, und namentlich die Masse des im Winter sich ansammelnden Schnees, übt einen wesentlichen Einflufs aus. Fällt im Winter sehr viel Schnee, so wird er in dem darauf folgenden Sommer sich theilweise

an Stellen erhalten, wo er bei gleicher Sommerwärme in einem andern Jahre verschwunden ist, dessen Winter keine so große Schneemasse gebracht hat. Aus diesem Grunde liegt die Schneelinie im Innern des Festlandes unter denselben Breitengraden merklich höher, als in der Nähe der Meeresküsten. Denn einerseits ist an der Meeresküste die Menge des im Jahre, und vorzüglich im Winter, herabfallenden atmosphärischen Wassers weit größer, als in einem Continentalclima; 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 Küstenklimas wirkt also zur Verminderung der im Winter angesammelten Schneemasse nicht so kräftig ein, als der heißere Sommer im Innern des Festlandes. So fanden z. B. Wahlenberg, Schouw und Smith die Gränze des ewigen Schnees auf der Ostseite des skandinavischen Gebirges um mehr als 100 Toisen höher, als auf der norwegischen Seite, ungeachtet die jährliche Mitteltemperatur in gleicher Meereshöhe und unter demselben Breitengrade auf der norwegischen Seite beträchtlicher ist. Die Schneelinie am Kaukasus steht, nach Kupfer und Parrot, um volle 300 Toisen höher, als an den unter gleichem Breitengrade liegenden Pyrenäen, wo sie in ungefähr 1400 Toisen über dem Meere angetroffen wird. Am Kaukasus zeigt sich aber in gleicher Meereshöhe eine merklich geringere mittlere Jahrestemperatur, als in den Pyrenäen.

Einen fernerer wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Schneelinie 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 Schnees von höher gelegenen Orten in die tieferen herabführen,

und auf mittelbare Weise die Schneemasse daselbst vermehren. Auch die auf die Umgebungen sich erstreckende erkältende Einwirkung größerer vorhandener Schneeanhäufungen ist von Einfluß. Auf Bergen, die vereinzelt in die Region des ewigen Schnees sich erheben, wird aus dieser Ursache die Schneelinie höher liegen, als auf solchen, die mit einer ausgedehnten Kette von Schneegebirgen im Zusammenhange stehen.

Es folgt aus diesen Erörterungen, daß die Lage der Schneelinie auch in ein und derselben Gegend ziemlich verschiedenen unterworfen ist, und das um so mehr, je veränderlicher in einem gegebenen Klima die Umstände sind, welche eine Einwirkung ausüben. Unter den beständigen Witterungsverhältnissen der heißen Zone ist diese Linie schärfer bezeichnet, und ihre Lage daher auch leichter zu bestimmen, als unter unserem Himmelsstriche, wo deren Fixirung genauere Erwägung der einwirkenden Verhältnisse, und Vergleichung einer größeren Anzahl von Beobachtungen erfordert. Saussure (*Voy.* S. 942 und 943) nimmt die Höhe der Schneelinie in den Alpen auf zusammenhängenden Schneegebirgen zu 1300 Toisen, auf vereinzelt Bergspitzen zu 1400 Toisen über der Meeresfläche an. Als Mittelzahl können wir folglich 1350 Toisen oder 8100 Par. Fufs setzen, müssen aber niemals die Veränderungen aus dem Auge verlieren, denen diese Annahme nach den Localverhältnissen ausgesetzt ist.

Die mittlere jährliche Lufttemperatur unter der Schneelinie fällt bloß in den Aequatorialgegenden ziemlich nahe mit dem Eispunkte zusammen. In den Alpen steht sie beträchtlich niedriger. Nach Bischof's (Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers, S. 224) Ausmittlung, welcher in den Schweizeralpen die mittlere Lufttemperatur von 0° R. in 6165' Meereshöhe setzt, und eine Abnahme von 1° R. für 677' Erhebung annimmt, würde in 8100' die mittlere Luftwärme ungefähr — 3° R. betragen, was mit Pictet's Schätzung (Gilb. Ann. XXV S. 318) gut zu-

sammenstimmt. In höheren 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 Gebirgshöhen beschränkt, die oberhalb der Schneelinie liegen. In den Thalgründen, welche von den beständig beschneiten Regionen der Höhen herunterreichen, werden Eismassen 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 Eismassen, die folglich nicht gebildet sind aus dem Schnee, der aus der Atmosphäre an Ort und Stelle herunterfällt, sondern die unterhalten werden aus dem oberhalb der Schneelinie ursprünglich abgelagerten, und in die vorliegenden tieferen und wärmeren Thäler sich hervordrängenden Eise, sind die *eigentlichen Gletscher*.

Die Gletscher reichen bis zu den Stellen herab, wo das in der wärmeren Lufttemperatur der Tiefen zusammenschmelzende Eis durch das 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 Alpenkette giebt es Gletscher, die bis zu 3000 Fufs Meereshöhe herabkommen. So liegt z. B. das Ende des *unteren Grindelwald-Gletschers*, nach Bischof's barometrischen Messungen, in einer Höhe von 2989 Fufs, in Umgebungen, deren mittlere Lufttemperatur ungefähr zu $+5^{\circ}$ R. angenommen werden kann (Wärmelehre, S. 113). Der auffallende Gegensatz zwischen dem starren ewigen Eis des Gletschers, und der üppigen Vegetation, die unter solchen atmosphärischen Verhältnissen unmittelbar daneben gedeiht, hat von jeher die Aufmerksamkeit der Alpenbesucher auf die Gletscher hingezogen. Der Endpunkt

eines Gletschers ist indeß eben so wenig ein fixer Punkt, als die Lage der Schneelinie. Tritt eine Reihe von kalten Sommern ein, wo die Gletscher weniger abschmelzen, oder rücken mächtigere Eismassen, als die gewöhnlichen, von oben nach, so rückt das Gletscherende vor; in warmen Sommern, oder wenn der Nachdrang von oben sich vermindert, zieht es sich zurück.

Die Gränzlinie, über welcher der auf dem Gletscher herabfallende atmosphärische Schnee das Jahr hindurch nicht mehr abschmilzt, oder, mit anderen Worten, die Schneelinie auf dem Gletscher, nennt Hugi (Alpenreise, S. 332) *Firnlinie*. Er behauptet, dieselbe sey viel schärfer und bestimmter abgegränzt, als das was man gewöhnlich Schneelinie zu nennen pflegt; und es erscheint diese Behauptung begründet, denn wenigstens ein auf die Lage der Schneelinie mächtig einwirkendes modificirendes Element, der erwärmende Einfluß des Erdbodens, namentlich wenn derselbe theilweise entblößt von der Sonne beschienen wird, fällt hier weg, da die Unterlage immer Eis ist. In den Eisgebirgen des Berner Oberlandes und der nördlichen Kette des Wallis hat Hugi nach seinen Beobachtungen die Firnlinie beständig zwischen 7600 und 7700 Fufs Meereshöhe angetroffen. Sie liegt im Allgemeinen etwas tiefer als die Schneelinie am Abhange der Berge, eines Theils wegen der erwähnten eisigen Unterlage, andererseits weil die Gletscher die dem Einfluß der Sonne im Ganzen weniger ausgesetzten Thäler erfüllen. Bei Verschiedenheit der Lage und der klimatischen Beschaffenheit der einzelnen Jahrgänge ist jedoch auch diese Linie größeren Veränderungen unterworfen, als Hugi anzunehmen geneigt scheint.

Ich enthalte mich hier auseinanderzusetzen, wie der lockere, nur theilweise zusammengesinterte Schnee oberhalb der Firnlinie, der *Firn*, wie man ihn in den Alpen nennt, durch Einsickern des an der Oberfläche abschmelzenden Schneewassers und nachheriges Gefrieren zum

festen Gletschereise wird, und wie dasselbe durch Herunterrücken in die tieferen Regionen an Consistenz zunimmt, da im Wesentlichen Saussure mit den neueren Beobachtern den Hergang übereinstimmend beschreibt, und das kein streitiger Punkt der Theorie ist. Die Trennung von Gletscher und Firn ist übrigens keine scharfe, denn der letztere besteht in der Tiefe ebenfalls aus Gletschereis (Charpentier, §. 3), 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 Rudolf Rebmann (*Naturae Magnalia* 1605). Die Schilderung des letzteren wiederholt Matthäus Merian fast wörtlich in der Erläuterung zur Abbildung des unteren Grindelwald-Gletschers, die er in seiner helvetischen Topographie mittheilt (1642). Mehr von dem Standpunkt des Naturforschers aus faßt J. H. Hottinger (*Ephem. Nat. Curios.* 1706) die Erscheinungen auf. Er erwähnt bereits die deutliche Schichtung, die im Eise einiger Gletscher bemerkbar ist. J. J. Scheuchzer beschäftigt sich mit der Betrachtung der Gletscher in seiner vierten, im Jahr 1723 zuerst im Druck erschienenen Alpenreise. Er fügt den Wahrnehmungen seiner Vorgänger wenig Neues bei, sucht hingegen die Bewegung des Gletschereises und das angebliche Ausstoßen fremder Körper durch das Wasser zu erklären, welches sich in den Spalten und anderen im Eise sich vorfindenden Zwischenräumen ansammelt, daselbst gefriert, und weil es nach dem Gefrieren einen größeren Raum einnimmt als vorher, nach allen Seiten einen Druck ausübt und den Gletscher thalabwärts drängt.

Joh. Georg Altmann, in seinem Versuch einer

historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisberge vom Jahr 1751, theilt manche schätzbare Beobachtungen über den Grindelwald-Gletscher mit, den er selbst genau untersucht hat. In Beziehung auf die Theorie der Gletscher sucht er darzuthun, »dafs der ganze Gletscher wie ein Gewölbe, gleichsam auf Säulen ruhe, und nur an etwelchen Orten auf der Erde feststehe.« Das Fortücken werde bewirkt durch das von oben hervorgestofsene Eis, »dadurch denn der an dem Berg liegende und gleichsam hangende Gletscher von oben her gedrucket wird, und auf diese Weise geschiehet es, dafs durch dieses grofse, 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 Eismeer, welches die Thalgründe zwischen den höchsten Eisgebirgen erfüllen, in der Tiefe flüssig und nur an der Oberfläche mit Eis bedeckt seyn soll.

Ausführlich werden die Gletscher beschrieben in dem im Jahr 1760 gedruckten Werke: Die Eisgebirge des Schweizerlandes, von Gottlieb Siegmund Gruner. Die beiden ersten Bände dieses Buchs enthalten Beschreibungen und Abbildungen der vorzüglichsten Gletscher der Schweiz. Der dritte Band ist den physikalischen Betrachtungen über die Eisgebirge gewidmet, und beschäftigt sich namentlich auch mit der Beschreibung der Erscheinungen an den Gletschern und mit deren Erklärung. Saussure giebt 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 pas de son avis en tout, il serait cependant difficile de donner en général de meilleures explications des différents phénomènes que présentent ces amas de glace.*« (Voy. §. 519). Bei Durchlesung des Werkes mufs man indels gestehen, dafs Saus-

sure ein zu wohlwollendes Urtheil über die Arbeit seines unmittelbaren Vorgängers fällt, und dafs, 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, dafs die Gletscher bei dem fortwährenden Abschmelzen durch ihre eigene Schwere auf abhängigem Grunde thalabwärts vorrücken können; er stellt aber nicht mit derselben Bestimmtheit, wie Altmann, die Behauptung auf, dafs das ganze Hervordringen der Gletschermasse auf diese Weise geschehe. (S. 135 und 156.)

Am umfassendsten und gründlichsten ist die Theorie der Gletscherbildung von Horace Benedict de Saussure behandelt worden. Derselbe hat, wie er selbst berichtet, die Grundzüge seiner Theorie bereits im Jahr 1764 in einem academischen Vortrage entwickelt, als er das Gruner'sche Werk noch gar nicht kannte. Durch den Druck hat er sie jedoch erst im Jahr 1779 im ersten Bande der Quartausgabe der Alpenreisen 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 Bernhard Friedr. Kuhn. (Dazu der Nachtrag, Bd. III S. 427.) Er giebt unter Anderem die richtige Erklärung der Guferlinien auf der Mitte der Gletscher. Derselbe Band enthält einen Brief von Prof. Studer dem Vater, in welchem die Gletschertische, die mit Erde bedeckten Eishügel, und die engen, tiefen, mit Wasser gefüllten Löcher des vorderen Aargletschers näher beschrieben werden.

Die Beiträge zur näheren Kenntnifs der schweizerischen Gletscher aus späteren 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 Gletschereises 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 Sommermonaten, in continuirlicher fortschreitender Bewegung ist. Zu dieser Zeit sind aber die Gletscherspalten nur ausnahmsweise mit Wasser gefüllt. Gefriert dieses Wasser bei kalten Nächten, so geschieht das nur an der Oberfläche. Diese Erklärungsweise der Erscheinungen, die in neueren Zeiten wieder von Toussaint von Charpentier (Gilb. Annal. Bd. LXIII S. 388) und Biselx (Gilb. Annal. Bd. LXIII S. 192) versucht worden ist, ist daher allgemein als unzureichend anerkannt worden.

Hingegen ist sie, unter Beibehaltung der Grundidee, von Venetz, J. von Charpentier und Agassiz auf eine eigenthümliche Weise modificirt worden. Das an Sommertagen 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 Haarspalten des Gletschereises hinein, und tränkt dasselbe wie einen Schwamm. »Nothwendigerweise besitzt dieses Wasser eine Temperatur, die nur sehr wenig den Eispunkt übersteigen kann, und wird im flüssigen Zustande nur durch die geringe Wärme erhalten, welche ihm das von der Oberfläche oder der umgebenden Luft nachströmende Wasser zugeführt wird. Das absorbirte Wasser muß folglich gefrieren, sobald diese einzige Wärmequelle ihm entzogen wird. Das muß aber jederzeit geschehen, sobald bei eintretender Erkaltung der Atmosphäre das Abschmelzen des Gletschers an der Oberfläche aufhört. Eine solche Erkaltung wird aber in der Regel in allen Sommernächten eintreten. Die Gletscher werden folglich während

der Sommertage mit Wasser getränkt, und dieses gefriert während der Nächte.« (Charpentier, *essai sur les glaciers*, 1841, §. 6). Beim Gefrieren dehnt das Wasser sich aus, und diese ausdehnende Gewalt treibt den Gletscher abwärts.

Da im festen Erdboden die täglichen Wärmeänderungen der angränzenden 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 Gletschereises enthaltene Wasser flüssig bleiben muß, wenn die Oberfläche des Gletschers überfriert. Zum Ueberflufs führt Forbes (*Bibl. univ. de Genève*, XXXXII, p. 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 Fufs, nasses Eis anzutreffen war. Die unmittelbare Mittheilung der täglichen Wärmeänderungen 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 Haarspalten des Gletschereises eindringende Schmelzwasser 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 Gletschereis 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 einer Ausdehnung durch das in seinem Innern gefrierende Wasser zu gelangen, ist folglich die, ein Käl-

temagazin in seinem Innern anzunehmen, welches bewirkt, daß das täglich einsickernde Wasser sofort gefriert, wenn es in die unter 0° stehenden Theile des Gletschers gelangt. Es ist das auch die Vorstellungsweise, welcher gegenwärtig Agassiz zugethan scheint. Es scheint mir, daß wenn solche angebliche kalte Massen im Innern des Gletschers wirklich existirten, das Infiltriren des von oben hindurchsickernden Wassers nur an den äußeren 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 feineren Zwischenräume des erkalteten Eises verstopft. Erst wenn die Erkaltung dieser fest gefrorenen äußeren Hülle des kälteren Gletschertheils durch allmälige Wärmemittheilung aus den Umgebungen abgenommen hätte, wäre ein ferneres Vordringen des einsickernden Wassers gegen das Innere des kalten Gletschertheiles möglich. Die Art und Weise, wie nach dem Winter, wo allerdings eine solche Erkaltung der äußeren 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 Gletschereises findet, scheint mir einen directen 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 äußeren Hülle des unter 0° erkalteten Theiles der Gletschermasse stattfinden, und so unregelmäßig auch die Gestaltung dieser Hülle seyn möchte, so wäre eine Ausdehnung, die bloß an derselben erfolgt, offenbar unzureichend, um die Thatsache des täglichen Vorrückens der ganzen mächtigen Eismasse des Gletschers zu erklären.

Doch wir wollen von diesem Einwurfe einstweilen

abstrahiren, und die Gründe untersuchen, die zur Annahme des angeblichen Kältemagazins im Innern des Gletschers berechtigen sollen. Es müßte dieses Kältemagazin ein sehr bedeutendes seyn, wenn es zur Erklärung der Erscheinungen zureichen sollte, weil es durch das beständig vor sich gehende Gefrieren des einsickern-
den Wassers, durch welches die beständig fortschreitende Bewegung des Gletschers erklärt zu werden versucht wird, eine fortwährende Verminderung erlitt. Nehmen wir eine Eismasse im Innern des Gletschers von -1° R. Temperatur an, so wird bekanntlich jedes Pfund Wasser auf 0° , welches sie zum Gefrieren bringt, mehr als 60 Pfund dieser Eismasse durch die beim Gefrieren entwickelte latente Wärme bis zum Eispunkt zu erwärmen vermögen; denn die beim Gefrieren frei werdende Wärme könnte bekanntlich die Temperatur von 60 Pfund Wasser um einen Grad erhöhen, und die specifische Wärme des Eises ist geringer, als die des flüssigen Wassers. Noch am untersten Ende des Gletschers, während der langen Reihe von Jahren, die das Gletschereis braucht, um von der Firnregion bis dahin zu gelangen, müßten aber noch Ueberreste dieses Kältemagazins 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 diese beständig vor sich gehende Abnahme sich darbietet. Ein Ersatz wäre zunächst denkbar, durch die Kälte, welche während des Winters, vorzüglich in den kalten oberen Regionen, in das Gletschereis eindringt. Auch dieses Eindringen kann aber, zufolge der Erfahrungen, die wir über die Mittheilung der jährlichen Wärmeänderungen in das Innere der festen Erdrinde besitzen, sich nur bis in eine mäßige Tiefe erstrecken, und muß folglich durch das bei eintretender warmer Jahreszeit wieder stattfindende Einsickern des Schmelzwassers von

der Oberfläche bald beseitigt seyn. Durch directen Versuch fand Agassiz, dafs ein, während des Winters von 1841 auf 1842, 24 Fufs tief in das Eis des Aargletschers beim *hôtel des Neuchatelois*, also in ungefähr 7500 Fufs Meereshöhe, eingesenkter Thermometrograph keine tiefere Winterkälte als $-0^{\circ},3$ C. zeigte. (*Comptes rendus*, XV, p. 736). Dasselbe beweisen die verschiedenen Gletscherseen, 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 Abflufs gefunden hat, häuft sich dann an und füllt endlich das Becken aus. Im Winter gefrieren diese Seen, jedoch nur an der Oberfläche, in der Tiefe bleibt das Wasser flüssig. Sie erhalten sich bis in den Sommer, wo dann durch den Einflufs des den Gletscher durchsickernden 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. S. z. B. die Beschreibung, welche Saussure (*Voy.* §. 1013) von einem dieser Seen, der *Gouille à Vassu* im Entremontthale giebt, dessen Rand ungefähr 7700 Fufs über dem Meere liegt. Es beweisen diese Erscheinungen, dafs, selbst in einer so beträchtlichen Höhe, die Winterkälte nicht zureicht mehr als die Oberfläche des eiskalten Wassers dieser Seen zum Gefrieren zu bringen; dafs das eben so wenig durch Kältemittheilung aus dem umgebenden Erdboden bewirkt wird, die einzige Erkältungsquelle, die nebst dem Einflufs der Winterkälte der Atmosphäre, noch zu Hülfe gezogen werden könnte.

Es läfst sich in der That kein geeigneterer Apparat denken, um die Temperatur von 0° zu bewahren, als gerade der Gletscher es ist. Erkältungen von der Ober-

fläche aus können, wie wir eben gesehen haben, nur auf eine geringe Tiefe sich erstrecken. Eine Erwärmung über 0° ist vollends unmöglich. Der erwärmende Einfluß der Sommerzeit bleibt daher nicht, wie im Erdböden, in der äußersten Kruste haften, um durch den entgegengesetzten Einfluß der kalten Jahreszeit wiederum beseitigt zu werden. Er äußert sich bloß dadurch, daß er Eis von 0° im Wasser von eben derselben, oder nur ausnahmsweise von etwas darüber erhöhter Temperatur verwandelt, was sofort durch die ganze zerklüftete Masse hinuntersickert. Ist das Gletschereis mit der Wassermenge gesättigt, mit welcher es, in Folge seiner Porosität, getränkt bleiben kann, so wird das hinuntersickernde Wasser auf seinem Wege bis zum Gletscherboden nirgends haften bleiben; es sey denn es träfe Eis an, welches unter 0° erkältet ist, und welches sein Gefrieren bewirken müßte. Durch die bei 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 Eismasse. Alles wirkt folglich darauf hin, die Temperatur von 0° im Innern des Gletschers zu erhalten, und sie wieder herzustellen, 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° benetzt sind. Die Kälte der äußeren Umgebungen kann nur bis auf eine mäßige Tiefe eindringen, und das benetzende Wasser zum Gefrieren bringen. Nur ausnahmsweise wird die kalte Winterluft, wenn durch Ungleichheit des Luftdrucks ein Luftzug erzeugt wird, in die weiteren Zwischenräume des Gletschers gelangen, und eine Erkaltung unter 0° auf ihrem Wege bewirken können. Zu den feineren Zwischenräumen des Eises wird sie selbst sofort den Zugang verstopfen, indem sie das aus denselben nachsickernde Wasser zum Gefrieren bringt.

Alle

Alle bisherigen Erfahrungen weisen darauf hin, daß es sich im Innern des Gletschers wirklich auf die angegebene Weise verhält, so weit man hat eindringen können. Bei seinen Bohrversuchen im Jahr 1842 auf dem Aargletscher fand Agassiz die Temperatur immer auf 0° , bis in 200 Fufs Tiefe. (*Compt. rend. XV, p. 204.*) Ein Kältemagazin im inneren unzugänglichen Theil ist folglich eine jeder Wahrscheinlichkeit widersprechende Annahme, die jeder Begründung durch Thatsachen ermangelt.

Ist aber die Beschaffenheit der Gletscher die angegebene, so folgt von selbst, daß kein Wachstum des Gletschereises von innen heraus stattfindet, daß überhaupt, auch in Folge der Winterkälte, die Eisbildung durch Gefrieren des im Gletschereise enthaltenen Wassers, nur in einer mäßigen Entfernung von der Außenfläche eintreten kann. Die Erklärung des Fortschiebens der ganzen Gletschermasse, durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers, fällt dadurch von selbst.

Es folgt daraus ferner, 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 Erdhülle an jedem Orte eine Mitteltemperatur annimmt, die der Mittemperatur der umgebenden Luft ungefähr gleich ist, muß bewirken, daß die Erdoberfläche, 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 mittlere Lufttemperatur beträchtlich über 0° steigt; auf $+5^{\circ}$ R. z. B. am Ende des unteren Grindelwald-Gletschers, wie

oben ist angeführt worden; andererseits aber auch in den oberen Gletscherregionen, in Umgebungen, deren mittlere Lufttemperatur bedeutend unter 0° sinkt. Wie weit aufwärts dieser eigenthümliche Einfluß der Gletscher stattfindet, muß noch genauer ermittelt werden. Wahrscheinlich erstreckt er sich so weit noch eine fortschreitende Bewegung im ewigen Eise der Höhen bemerkbar ist, also noch weit in die Firnregion hinauf.

Wir wollen nunmehr untersuchen, wie die Theorie, wodurch man die Saussure'sche zu verdrängen versucht, von der Thatsache Rechenschaft giebt, daß das Gletschereis nur thalabwärts vorrückt. Wir legen hier wieder Charpentier's Darstellung zum Grunde. (§. 11.) »Wenn,« so sagt er, »das in allen feinen Zwischenräumen des Gletschereises enthaltene Wasser zum Gefrieren kommt, so nimmt es an Raum zu,¹ 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 in der Richtung des Abhanges oder der Länge des Gletschers; andererseits nach der Richtung der Dicke des Eises, von der unteren Fläche des Gletschers gegen oben; denn nach den anderen Richtungen findet sie Widerstand, sowohl von dem Berge, von welchem der Gletscher herabkommt, als von den Thalwänden, 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 Eismasse beseitigt, dem ganzen Gletscher entlang bleibt aber die thalabwärts 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 Thalwänden 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 thalabwärts drängt. Nun lesen wir aber bei Charpentier selbst (S. 81), daß wenn ein Gletscher an seinem oberen Ende an einer Felswand endigt, das Zusammensinken (*tassement*) des Eises die unmittelbare Berührung hindert und eine weite Kluft zwischen der Felswand und dem Gletschereise erzeugt. Also gerade das Gegentheil von einem Anstemmen des Eises gegen das hinterliegende Gebirge, und eine Erklärung des Ablösens durch das eigene Gewicht des Eises nach Saussure'schen Grundsätzen. Ueberhaupt müßte eine in der ganzen Eismasse vor sich gehende, nach allen Richtungen sich äuffernde Ausdehnung alle Spalten, leere Zwischenräume und Klüfte, die den Gletscher durchziehen und ihn von den einschließenden Felswänden trennen, vollständig schließsen, ehe sie eine mehrere Stunden lange Eismasse, auf öfter wenig geneigter Unterlage, abwärts zu schieben vermöchte. Von diesem Allen bemerkt man aber nichts. Die Reibung, die beim Vorwärtsschieben einer so ungeheuern Eismasse zu überwinden ist, ließe schlechterdings keine andere Ausdehnung zu, als ein Aufquellen der ganzen Eismasse nach der Dicke, auch ohne die Annahme, die Charpentier außerdem noch vertheidigt, daß der ganze Gletscher an seiner Grundfläche angefroren 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 giebt zu (S. 105), daß wenn die Ausdehnung nur an einer einzelnen Stelle des Gletschers sich äußern würde, auch nur ein solches Aufquellen der Gletschermasse 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, daß, wenn man das Aufquellen an

einer Stelle für zulässig findet, dafs bei einer Ausdehnung, die in der ganzen Gletschermasse sich kund giebt, eben ein Aufquellen an allen Stellen, und kein Vorwärtsschieben des Gletschers stattfinden müfste.

Die Annahme des Angefrorenseyns des Gletschereises an dem Boden scheint mir vollends schlechterdings unvereinbar mit der Thatsache des Vorrückens der Gletscher, sie mag nun hergeleitet werden von welcher Theorie man will. Wenn das Gletschereis zu jeder Stunde des Tages im Vorrücken begriffen ist, wenn durch die zwischen Eis und dem unterliegenden Felsboden eingeprefsten Gesteinstrümmen bei diesem Vorrücken Ritzen auf dem Felsboden entstehen, und das sind Thatsachen, die Charpentier und Agassiz lebhaft vertheidigen, so können doch unmöglich Eis und Erdboden zusammenhaften. (Vergl. auch Forbes, *Ann. de chim. et de phil.* 3^e Sér. VI, p. 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 *Gietrozglletscher* im Bagnethal lösen im Sommer tagtäglich Eismassen sich ab, die unten im Thale eine Eisanhäufung bilden, den sogenannten unteren Gietrozglletscher. Häuft dieses Eis sich sehr an, so sperrt es den Abflufs der *Drance*, welche dann zu einem See anschwillt, dessen Abflufs beim Durchbrechen des Eisdamms schon mehrmals bedeutende Verheerungen angerichtet hat; so namentlich im Jahr 1818. Um das zu verhindern, hat die Regierung von Wallis im Jahr 1821 einen Stollen durch den Eisdamm anlegen lassen, durch welchen der Abflufs der Drance offen erhalten wird. Alljährlich wird dieser Stollen aufgeräumt. Jedes Jahr, und zwar vom Juni bis in den October, hat man nun, nach Charpentier, bei diesen Arbeiten den Boden des Gletschers gefroren gefunden, mit Ausnahme eines Streifens von etwa 10 Fufs Breite, über welchen

die Drance unmittelbar wegfliest. Die Stelle liegt etwa 5500 Fufs 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, dafs an einer solchen Stelle kein Vorrücken des Gletschereises über den unterliegenden 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 an dem Boden, und folglich eine Temperatur unter 0° beweisen soll, ist die, dafs Wurzeln perennirender Alpenpflanzen, die im Jahr 1818 beim Vorrücken des Gletschers *du Tour* im Chamounithale in 4700 Fufs Meereshöhe von demselben bedeckt worden sind, noch Triebkraft genug zeigten, 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, dafs solche Wurzeln in einem gewöhnlichen Eiskeller, in welchem das aufbewahrte Eis ebenfalls immer auf 0° bleibt, ihre Lebenskraft ohne zu faulen würden erhalten haben.

Ich komme nunmehr zu der Erklärungsweise der angeblichen Säuberung des Gletschers und des Ausstofsens von fremden Körpern, die man auch als Stütze der Gefrierungstheorie und eines Wachsthums des Eises von innen nach ausen geltend gemacht hat. Die meisten Gletscher zeigen nämlich auf ihrer Oberfläche an gewissen Stellen, den sogenannten *Guferlinien*, Anhäufungen von

Steinblöcken und Felstrümmern, von denen in der Regel das Innere des Gletschereises frei bleibt. Doch ist der Fall so selten nicht, als man öfter behauptet, daß Schichten des Gletschereises durch Zwischenlagen von Sand, Kies und größeren Steinen unterschieden sind, wie das z. B. Kuhn bezeugt, der längere Zeit Grindelwald bewohnt hat (Höpfner's Magazin, I, S. 120) und neuerlich Arnold Escher (Poggendorff's Annal. Bd LVI, S. 611). Daß alle Steintrümmer, 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 Firnregion, wo aus der jährlich herabfallenden Schneemasse eine neue Schicht von Gletschereis sich bildet, welche durch die abwärts schreitende Bewegung nach Jahren in die unteren Gletscherregionen vorgeschoben wird, können Steintrümmer in das Innere des Gletschereises gelangen. Auch diese erscheinen allmählig an der Oberfläche, was Saussure aus der immer vor sich gehenden Abschmelzung des der Atmosphäre zugekehrten Theils des Gletschers erklärt, wodurch die im Innern begrabenen fremden Körper allmählig zum Vorschein kommen, auf dem Gletscher liegen bleiben, und mit demselben thalabwärts vorrücken. Wenn das der Hergang der Sache ist, so wird behauptet, es müßte das Gletschereis, was aus Firnregionen herkommt, zum Theil das Aussehen einer durch Eis verbundenen Trümmerbreccie darbieten. (Charpentier, S. 17.)

Wir wollen uns hier nicht mit den Erklärungsweisen befassen, die nach Art der Aelpler ein wirkliches Aufwärtsbewegen der im Innern begrabenen fremden Körper, durch das umgebende Eis hindurch, annehmen. Charpentier hat in seiner Schrift deren Ungrund binlänglich dargelegt (§. 25). Er selbst erklärt sich den Vorgang auf folgende Weise: Durch das Gefrieren des in die

Zwischenräume des Gletschereises eingesickerten Wassers und die damit verbundene Ausdehnung gelangt eine jede Schicht des Innern des Gletschers nach und nach in eine immer gröfsere Entfernung von dem Boden. An der Oberfläche findet aber durch Abschmelzen eine fort-dauernde Verminderung des Eises statt, die eben durch jenen angeblichen Wachsthum von innen heraus ersetzt wird. Jede mit Unreinigkeiten erfüllte Eisschicht, die aus der Firnregion 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, dafs auf diese Weise Steinblöcke, die bis an den Boden des Gletschers heruntergefallen sind, auf die angegebene Weise an die Oberfläche gelangen können, wenn sie sich in einer solchen Lage befinden, dafs die Eisbildung unter ihnen vor sich gehen kann. Wenn ich diese Erklärungsweise recht verstehe, so wäre nach derselben in den unteren Regionen der Gletscher alles aus der Firnregion herabgeschobene Eis vollständig abgeschmolzen; der Gletscher bestände hier nur aus dem durch Gefrieren des infiltrirten Wassers allmählig gebildeten Eise, und zeigte aus eben diesem Grunde die grofse Reinheit.

Abgesehen von den Einwendungen, welche oben gegen den Wachsthum des Gletschereises von innen heraus überhaupt geltend gemacht worden sind, streitet die Erklärungsweise gegen die schönen, im letzten Jahre von Agassiz gemachten Beobachtungen über die Schichtung des Gletschereises, von deren Richtigkeit ich mich meines Orts, unter dessen Führung auf dem *Aargletscher*, vollkommen überzeugt habe. Einen kurzen Abrifs dieser Beobachtungen hat derselbe bereits im Jahrbuch von Leonhard und Bronn mitgetheilt (1843, S. 84 und 86). In der Firnregion, am Lauteraarfirn z. B., ist die Eismasse in horizontal liegende Schichten abgetheilt, die

wahrscheinlich aus den Schneeablagerungen der einzelnen Winter entstehen, und deren Absonderungen durch den Staub und Sand, welche zur Sommerzeit von den entblößten Felswänden durch die Winde hergeweht werden, bezeichnet sind. Jede Schicht deutet folglich einen Jahrgang an. Bereits Hottinger (*Ephem. nat. car.* 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 thalabwärts in die eigentliche Gletscherregion gelangt, biegen sich die anfänglich horizontalen Schichten, indem sie sich von beiden Rändern gegen die Mitte einsenken. Das Ausgehende auf dem Gletscher bildet daher nicht mehr eine gerade Linie, sondern einen Bogen, dessen Convexität thalabwärts gerichtet ist. Weiter unten nimmt die Einsenkung der Mitte zu, das Ausgehende der Schichten auf der Gletscheroberfläche zeigt eine mehrfach eingeknickte Zickzacklinie, deren allgemeine Convexität immer noch abwärts gerichtet ist. In den Umgebungen des *Hôtel des Neuchatelois*, wo der Lauteraargletscher, durch den großen Guferwall getrennt, mit dem von der andern Seite des Abschwungs herabkommenden Finsteraargletscher zusammengestoßen ist, hat die Einbiegung der Schichten dermaßen zugenommen, daß sie an den beiden Rändern unter steilen Winkeln gegen die Mitte einfallen, und auf der Mitte des Gletschers selbst theilweise senkrecht stehen, nach der Längenerstreckung des Gletschers fortschreitend. Ein ähnliches Verhalten zeigt der Finsteraargletscher auf der rechten Seite des Guferwalls. Wo ein kleinerer Seitengletscher mit dem großen Hauptgletscher zusammenstößt, wird sehr bald seine ganze Masse so aufgerichtet, daß seine Schichten steil vom Hauptgletscher 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 nahe liegenden Schichten eine etwas verschiedene Färbung mittheilt. Bei der vor sich gehenden Abschmelzung wird dieser Sand nicht sofort von den Gletscherbächen 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 unmittelbarer Beweis des beim Vorschieben des Gletschers erfolgenden Einkeilens und Zusammendrängens der ganzen Eismasse gegeben werden, als eben diese Structur.

Nebst dieser Schichtenabtheilung wird das poröse Gletschereis durchzogen von blauen Bändern dichterem Eises, die offenbar entstanden sind durch das Gefrieren des das Gletschereis tränkenden Wassers, während der kalten Jahreszeit, so weit die Winterkälte in das Innere der Gletscher- oder Firnmasse 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 Firnregion. Zumstein (v. Welden, der Monte Rosa, 1824, S. 152), welcher bei seiner ersten Besteigung des Monte Rosa, im August 1820, in einer Firnspalte in 13128 Fufs Meereshöhe die Nacht zubrachte, giebt davon eine sehr anschauliche Beschreibung. 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 Schichtungsabsonderungen 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*, 42, p. 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 mittleren Theil des Aargletschers also seiner Längenerstreckung nach, bildeten, später sich mit Wasser füllten, was im Winter gefriere. Die Unstatthaftigkeit dieser Erklärung ergibt sich wohl daraus, daß solche Längenspalten, die doch bei der stärksten Bewegung des Gletschers während des Sommers in dieser Jahreszeit vorzugsweise beobachtet werden müßten, auf dem Aargletscher gar nicht existiren. Alle Spalten laufen in der Regel queer über den Gletscher.

In den tieferen, vom *Hôtel des Neuchatelois* weiter abwärts liegenden Theilen des Aargletschers wird die Schichtenstellung wieder verändert, auf eine Art und Weise, in die wir hier nicht eintreten wollen. Im Allgemeinen wird sie verworrener, blaue Bänder und wahre Schichtungsabsonderungen 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 Entstehungsweise des Eises in den unteren Regionen der Gletscher, wie Charpentier sich dieselbe vorstellt. Eine bloß aus gefrorenem Wasser entstandene klare Eismasse könnte keine Schichtung zeigen. Charpentier behauptet, auch die geschichtete Structur des Firns gehe verloren, wenn er sich zum Gletscher umwandelt (S. 18). Es ist überhaupt merkwürdig, wie lange die Structurverhältnisse 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 Gletschereises aufgelockert; Schichtung und blaue Bänder sind kaum bemerkbar, so deutlich sie bei Regenzeit sich darstellen. Ist man aber einmal durch genauere Beobachtungen auf die Sache aufmerksam geworden, so wird man überall die Schichtung erkennen.

Dafs man im Innern des Gletschereises selten größere Gesteinstrümmer antrifft, erklärt sich wohl genügend daraus, dafs erstlich die Stellen, wo durch Herabfallen von Schutt derselbe in die Firnmasse begraben werden kann, im Vergleich zu denjenigen, wo kein Schutt auf den Firn gelangt, nur von unendlich kleiner Ausdehnung sind. Dann liegen 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 Felstrümmer werden also bald entblöfst und gelangen in die Gandecke des Gletschers. Oder der Gletscher vereinigt sich mit einem andern, wo dann, wie wir bei der Darstellung der Schichtungsverhältnisse 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 früheren Randes in der Höhe dem Abschmelzen durch den Einfluß der warmen Atmosphäre vorzugsweise ausgesetzt; die herausschmelzenden Steintrümmer gelangen in die auf dem zusammengesetzten Gletscher sich hinziehende Guferlinie; die theilweise aufgerichteten und zusammengeprefsten Schichten des mittleren Theils des früheren Gletschers

schmelzen hingegen nur an den der Atmosphäre zugekehrten Kanten ab. Alles trägt folglich dazu bei, daß diejenigen Theile des Firns, welche gröbere Steintrümmer enthalten können, zusammenschmelzen, ehe sie in den unteren Theil des Gletschers gelangen, und es ist daher kaum zu verwundern, daß man solche selten im Innern des letzteren wahrnimmt.

So absolut rein, wie man gewöhnlich anzunehmen pflegt, ist indeß das Gletschereis durchaus nicht. Der Sand, den die Winde auf die Mitte des Firns treiben, und der zur deutlicheren Bezeichnung von dessen Schichtungsabsonderung beiträgt, bleibt in den Schichten des Gletschereises 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 Trennungslinien der Schichten entlang sich anhäuft. An allen Spalten auf dem Gletscher bemerkt man, wie die durch Sand verschiedentlich schwach gefärbten Eisschichten sich in die Tiefe hinunterziehen. Durch Schmelzen des aus einem Bohrloche von 20 Fufs Tiefe heraufgeführten Eises hat Agassiz das Vorhandenseyn des enthaltenen Sandes direct nachgewiesen. (*Comptes rendus*, XV, p. 435.) Und doch müßten diese feineren Unreinigkeiten, die im Firneis mit herunterkommen, eben sowohl im Gletschereise verschwinden, wenn Charpentier's Darstellung begründet wäre.

(Schluß im nächsten Heft.)

XV. *Vorkommen von Quecksilber in Frankreich.*

In einem früheren Bande dieser Annalen (Bd. XXXIX, S. 527) wurde Nachricht gegeben von dem Vorkommen des Quecksilbers im Dep. Haute-Vienne. Ein ähnliches, freilich eben so spärliches Vorkommen dieses im Ganzen seltenen Metalles ist kürzlich von Hrn. Leymerie in