

Weiteres über Gletschereis.

Von

Ed. Hagenbach - Bischoff.

Vor sechs Jahren habe ich über die Natur des Gletscherkornes, die Art seiner Entstehung und seines Wachstums meine Ansichten mitgeteilt¹⁾; im Folgenden beabsichtige ich beizufügen, wie sich seither durch weitere Beobachtungen und Versuche meine Anschauungen darüber in mancher Hinsicht erweitert und abgeklärt haben.

Ueber die Entstehung der Krystalle, welche das Gletscherkorn bilden, standen sich damals hauptsächlich zwei Anschauungen gegenüber; nach der einen, die von F. A. Forel vertreten war, entnimmt der wachsende Krystall das Material dem Wasser, das in die Spalten zwischen die Körner eindringt; nach der andern, die mir wahrscheinlicher schien, wächst der Krystall auf Kosten des Materials, das er seinen Nachbarn entnimmt. Seither hat Herr Forel²⁾ in Folge sorgfältiger Versuche über die Durchdringbarkeit des Gletschereises für Flüssigkeit

¹⁾ Ed. Hagenbach. Das Gletscherkorn. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, Bd. VII, Seite 192.

²⁾ F. - A. Forel. Etudes glaciaires, III. Perméabilité du glacier. Archives des sciences physiques et naturelles. T. XVIII, pag. 5.

seine früheren Ansichten aufgegeben, ich trete desshalb auf die erste Anschauung hier nicht mehr weiter ein, sondern gehe gleich zu der Frage über, wie das Umkrystallisieren zu erklären ist. In meiner früheren Abhandlung habe ich dazu eine Hypothese aufgestellt, die auf der ungleichen Zusammendrückbarkeit der Eiskry-
stalle nach verschiedenen Achsenrichtungen beruhte; darnach war zu erwarten, dass die optischen Achsen nicht ganz gleichmässig nach allen Richtungen, sondern in bevorzugter Weise nach der Druckrichtung gekehrt sind. Mannigfache seither angestellte Beobachtungen an verschiedenen Gletschern haben immer mehr die Ansicht bei mir gereift, dass keine solche Bevorzugung der Achsenrichtung stattfindet; es hat mich das bestimmt, die frühere Hypothese zur Erklärung des Ueberkrystallisierens aus einem Krystall in den andern aufzugeben und in einer andern Weise mir das Wachstum der Krystalle zurecht zu legen. Bevor ich jedoch zur Darlegung meiner Ansicht übergehe, muss ich noch einiges erörtern, das sich auf die von A. Heim¹⁾ aufgestellte Theorie bezieht. Dieser Forscher glaubt nämlich aus Versuchen gefunden zu haben, dass bei gleicher Stellung der optischen Achsen Totalregelation zu einer Einheit eintrete; bei ungleicher Stellung der benachbarten Krystalle sei jedoch die Regelation gehindert, es trete nur eine Partialregelation auf, welche leicht durch Bruch wieder zerstört werden kann. Hieraus wird nun das Wachsen des Gletscherkorns folgendermassen erklärt. Durch die fliessende Bewegung des Gletschers werden seine Körner gegenseitig beständig an einander vorbei gedreht und verstellt; dabei muss der Fall sehr häufig

¹⁾ A. Heim. Handbuch der Gletscherkunde. 1885. Seite 329 bis 333.

eintreten, dass zwei sich berührende Körner sich parallel stellen und dadurch zu einem Krystall zusammenfrieren; so entstehen bei der stetigen Bewegung nach und nach die grossen Krystalle. Gegen diese Theorie spricht schon der Umstand, dass auch in sehr wenig bewegten, so zu sagen toten Gletschern, wie z. B. im unteren Teile des Arollagletschers, sehr grosse Gletscherkörner vorkommen; allein auch von physikalischer Seite ergeben sich verschiedene Einwendungen gegen die aufgestellte Theorie.

Ich suchte vorerst durch Versuche im Laboratorium festzustellen, ob wirklich die Achsenstellung einen so grossen Einfluss auf die Stärke der Regulation hat. Zu solchen Versuchen eignete sich ganz besonders das schöne Eis, welches die kalten Tage des Dezembers 1887 auf stehendem Wasser lieferten. In solchem Eis stehen bekanntlich die optischen Achsen senkrecht zur Oberfläche, und man konnte desshalb, wie schon Heim getan hatte, aus diesem Eis mit einer erwärmten Säge Würfel herausschneiden, in welchen die Achsenrichtung bekannt war; zur grösseren Sicherheit wurde stets noch mit Anwendung des Polarisationsapparates eine Kontrolle vorgenommen. Die Regulation der Würfel wurde dann in einem Raum, der wenige Grade über Null war, so vorgenommen, dass die Flächen auf ebenen Metallplatten, und zwar zuerst auf einer erwärmten, und dann auf einer von der Zimmertemperatur eben geschliffen und so auf einander gelegt wurden, dass keine Luftschicht dazwischen war; es wurde diess leicht durch Schieben und Reiben der Flächen auf einander erreicht. Dann kamen die Würfel in eine Schraubenpresse, bei der man abwechslungsweise anzog und nachliess. Nach mehreren Stunden war die Regulation vollständig und häufig so, dass auch bei vollkommen klarem Eis die

Verwachsungsflächen nicht mehr sichtbar waren. Um dann die Festigkeit in der Regelaionsfläche zu untersuchen, wurden nach der schon von Heim eingeschlagenen Methode die regelierten Würfel zwischen die Platten einer hydraulischen Presse gebracht, und zwar so, dass die Regelaionsflächen senkrecht zu den Platten, also in der Druckrichtung standen, und darauf einem nach und nach zunehmenden Drucke ausgesetzt.

Wurde diese Untersuchung in einem Raum angestellt, der über null Grad war, so traten bei Steigerung des Druckes die ersten Risse gewöhnlich in der Regelaionsfläche auf; es konnte daraus geschlossen werden, dass in diesen Verwachsungsflächen die Festigkeit geringer war als im Innern des Krystalles; und ausserdem ergab sich noch ein kleiner Unterschied in Bezug auf die Stärke der Verwachsung, je nachdem die mit den optischen Achsen zusammenfallenden Krystallhauptachsen parallel oder gekreuzt waren; in so fern als bei parallelen Achsen sich die Festigkeit als etwas grösser erwies. Es zeigt sich dieser Unterschied am besten, wenn

Fig. 1.

A B



drei nach dem Schema der beistehenden Figur 1 regelierte Würfel der Pressenprobe unterworfen werden. Auch wenn man ohne Anwendung der Presse das regelierte Eisstück so hinlegte, dass nur das mittlere

Stück unterstützt war und die warme Luft einwirken liess, so brach zuerst der linke Würfel bei A und erst einige Zeit später der rechte bei B ab. Einen Theil der hier erwähnten Versuche habe ich in Gemeinschaft mit A. Heim angestellt.

Ganz anders erwies sich jedoch das Resultat, wenn die regelierten Stücke und die Presse unter Null abge-

kühlt waren und auch die Untersuchung in einem Raume unter dem Eispunkte vorgenommen wurde. In diesem Falle traten bei Steigerung des Pressendruckes die Risse in der Druckrichtung überall durch die ganze Masse hindurch auf ohne irgend welche Bevorzugung der Regelationsfläche.

Wir ziehen aus diesen Versuchen folgenden Schluss:

Die Regelation zweier Eisstücke ist, wenn sie gut bewerkstelligt wird, immer eine vollkommene und von der gegenseitigen Richtung der Hauptachsen ganz unabhängige, das heisst eine solche, dass die Festigkeit in der Verwachsungsfläche ganz ebenso gross ist als im Innern des Krystalles. Bei Einwirkung der Wärme wird jedoch der Zusammenhang zuerst in der Verwachsungsfläche gelockert und zwar etwas schneller, wenn die Hauptachsen gegen einander geneigt als wenn sie parallel sind.

Diese Thatsache erklärt auch das Verhalten des in der Natur vorkommenden, aus grösseren zusammengewachsenen Krystallen bestehenden Eises; indem dabei die natürliche Verwachsungsfläche sich ganz genau so verhält wie die Regelationsfläche zweier zusammengepresster Krystalle; und zwar gilt diess ebenso gut für das Seeeis, welches sich im Winter auf ruhendem Wasser bildet, wobei die Krystallachsen sämtlich zur Oberfläche des gefrierenden Wassers senkrecht und somit unter sich parallel sind, als für das Gletschereis, bei welchem die Krystallachsen alle möglichen Richtungen haben und somit in der Regel zwei an einander liegende Krystalle mit gegen einander geneigten Achsen verwachsen sind. Solches Natureis ist bei einer Temperatur unter Null vollkommen klar und es ist keine Spur von den Verwachsungsflächen zu sehen; wird dasselbe mit einem Hammer zerschlagen, so zeigt es einen muschligen

Bruch, der ganz regellos die Masse durchsetzt ohne den Verwachsungsflächen zu folgen. Bei Auftauen kommen aber sogleich die Verwachsungsflächen zum Vorschein und die Eismasse zerfällt in die einzelnen Krystalle, beim Seeeis in parallel gerichtete Stängelchen und beim Gletschereis in unregelmässige Körner; in beiden Fällen können die einzelnen einheitlichen Krystalle eine Grösse von 1 bis 2 und noch mehr Decimeter Durchmesser haben.¹⁾ Die oben erwähnte Thatsache, dass bei paralleler Achsenstellung die Lösung durch Wärme etwas schwieriger vor sich geht als bei gekreuzter, mag es erklären, dass das Zerfallen in einzelne Krystalle durch Auftauen beim Seeeis nicht so schnell und vollständig eintritt als beim Gletschereis.

Nach Heim tritt bei Parallelstellung der Krystallachsen Totalregelation zu einer Einheit ein; es soll das wohl heissen, dass sich in diesem Fall ein einheitlicher Krystall bildet, bei dem die Verwachsungsflächen gar nicht mehr zu erkennen sind. Nun ist aber diess schon aus rein theoretischen Gründen nicht wohl möglich, da ja zur Bildung eines einheitlichen Krystalles auch die Nebenachsen parallel sein müssten und das in der Regel nicht eintreten wird, wenn ganz zufällig verschiedene Krystalle mit parallelen Hauptachsen neben einander zu liegen kommen. Ich suchte aber auch noch durch Versuche die Bedeutung der Nebenachsen bei der Regelation festzustellen.

Wenn man eine einige Millimeter dicke planparallele

¹⁾ Grosse Krystalle von Seeeis sind beschrieben von:

J. C. McConnel and D. A. Kidd. On the plasticity of glacier and other ice. Proceedings of the royal Society. Vol. 44, pag. 331.

Thomas H. Holland. The Crystallization of lake ice. The Nature. Vol. 39, pag. 295.

Platte aus Seeeis, welche senkrecht zu der Krystallachse herausgeschnitten und schön eben geschliffen ist, im Nörrenberg'schen Polarisationsapparate für convergentes Licht hindurchschiebt, so kann man die Verwachsungsflächen nur dann erkennen, wenn die Hauptachsen der mit einander verwachsenen Krystalle nicht genau parallel, sondern etwas gegen einander geneigt sind, weil dann, wenn die Verwachsungsfläche durch das Gesichtsfeld geht, die farbigen Ringe mit dem schwarzen Kreuz sich plötzlich etwas verschieben; wenn jedoch, was häufig vorkommt, die Hauptachsen vollkommen parallel sind, so ist ein optisches Erkennen der Verwachsungsflächen unmöglich. Dieselben geben sich jedoch in anderer Weise kund. Sie treten nämlich entsprechend dem, was unsere oben besprochenen Versuche ergeben haben, beim Auftauen deutlich hervor. Noch besser ergibt sich die Verschiedenheit der beiden Krystalle, wenn man die Tyndall'schen Schmelzfiguren hervorruft. Man sieht dann sehr deutlich, dass innerhalb ein und desselben Krystalls die den Nebenachsen parallelen Strahlen der Sternchen genau parallel sind, während sie von einem Krystall zu einem zweiten um einen merklichen Winkel abweichen. Bei dieser Untersuchung wird, wie es Tyndall getan hat, eine senkrecht zu den Hauptachsen geschliffene Eisplatte in die mit elektrischem Licht versehene Projektionslampe gebracht und das Bild auf einen grossen Schirm geworfen. Man kann dann durch Anlegen eines Lineals sich von der Richtigkeit der obigen Behauptung überzeugen, entweder direkt an dem Bilde auf der Wand oder an einer Photographie, die man von dem Bilde aufnimmt. Ein Lichtdruck nach einer solchen Photographie befindet sich auf Tafel VII; das Bild ist etwa im Verhältniss von 8 zu 5 gegenüber der natürlichen Eisplatte vergrössert. Man sieht darauf

sehr deutlich die durch Schmelzung hervortretende Verwachsungsfläche der beiden Krystalle und kann sich leicht davon überzeugen, dass in jedem einzelnen Krystall die Strahlen der Sternchen genau gleich gerichtet sind, während beim Uebergang von einem Krystall zum andern eine Neigung von etwa 25° sich kund giebt.

Wir schliessen aus diesem Versuche, dass zwei mit parallelen Hauptachsen verwachsene Krystalle nicht in einen einheitlichen Krystall übergehen, sobald die Nebenachsen gegen einander geneigt sind.

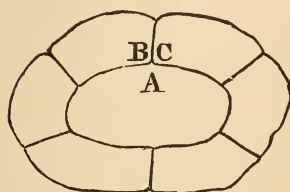
Wenn somit nach der Ansicht von Heim das Zusammenwachsen vieler kleiner Krystalle zu einem grossen dadurch geschehen soll, dass die gleich gerichteten Krystalle durch Regelation in einen übergehen, so könnten als gleich gerichtet nur solche Krystalle gelten, die sowohl in Bezug auf die Hauptachsen als auf die Nebenachsen parallel sind; die Wahrscheinlichkeit, dass beim Uebereinanderrollen zwei neben einander liegende Krystalle genau in diese Lage kommen, ist nun beim verhältnissmässig langsamen Vorgang des Uebereinanderrollens so ausserordentlich klein, dass es unmöglich ist, auf diese Weise die Entstehung der grossen einheitlichen Krystalle zu erklären.

Wir gehen nun über zur Darstellung unserer Anschauungen über die Bildung der grossen Krystalle. Diese geht einfach dahin, dass ein grösserer Krystall nach und nach die kleineren um ihn herum liegenden in sich aufnimmt; was wir etwas trivial so ausdrücken können, dass wir sagen: „die grossen Krystalle fressen die kleinen auf“. Allein das ist nur die Behauptung einer Tatsache, deren physikalische Rechtfertigung wir noch versuchen wollen.

Die Krystallisation beruht darauf, dass sich die Mo-

lekeln gegenseitig richten und dadurch in Reih und Glied aufstellen; und es kann das wohl nur durch die Kräftepaare bewirkt werden, mit welchen die einzelnen Molekeln einander angreifen.¹⁾ Nun wird ein Molekel mitten in einer Reihe beidseitig durch Kräftepaare gehalten, während ein solches am Ende einer Reihe nur einseitig angefasst wird; das erstere befindet sich also in einer festeren und stabileren Gleichgewichtslage als

Fig. 2.



das letztere. Die nebenstehende Figur 2 stelle einen grossen Krystall dar, der von mehreren kleinen umgeben ist. Ein Molekel des grossen Krystalls in der Gegend von *A* wird durch die umgebenden Molekeln fester gehalten

sein als die Molekeln der kleinen Krystalle an den vorspringenden Ecken *B* und *C*. Bei der Temperatur des Schmelzpunktes, wo die Beweglichkeit der Molekeln gross ist, wird somit das Bestreben da sein, von den Lagen *B* und *C* in die Lage *A* überzugehen; oder, anders ausgedrückt, der grosse Krystall wird an der Stelle, wo zwei kleinere an ihn anliegende zusammenstossen, das Bestreben haben, die Molekeln aus dem kleinen Krystall heraus in sich aufzunehmen und somit auf Kosten des Materials der kleinen zwischen diese hineinzuwachsen. Diese Auffassung erhält noch eine Stütze durch eine Beobachtung an den netzartigen Figuren, welche die Grenzlinien der Gletscherkörner an der Oberfläche des der Schmelzwirkung ausgesetzten Gletschereises bilden; dabei kann man nämlich häufig sehen, wie

¹⁾ Hagenbach. Aphorismen zur Molekularphysik. Basel 1874. Seite 15.

der grosse Krystall mit vorspringendem Winkel zwischen zwei kleine anliegende sich eindrängt (Figur 3) oder auch, wie einzelne kleine Kryställchen die Ecken zwischen den grossen ausfüllen, offenbar als Reste, die nach und nach ganz schwinden (Figur 4). Die früher ge-

Fig. 3.**Fig. 4.**

machte Bemerkung¹⁾, dass ganz kleine Körner verhältnissmässig selten zwischen den grossen vorkommen, beruht nämlich auf einem Irrtum; vielfach wiederholte Beobachtungen an mehreren Gletschern haben gerade die häufige Anwesenheit solcher eingelagerter kleiner Krystalle dargetan.

Wenn nun die hier entwickelte Auffassung über die Bildung der grossen Eiskrystalle im Gletschereise richtig ist, so hängt die Bildung des Gletscherkornes gar nicht mit der Bewegung des Gletschers zusammen, und es muss ein solches Wachstum des Kornes durch Ueberkrystallisieren überall da stattfinden, wo Eiskrystalle bei der Temperatur von null Grad fest aneinander liegen. Diess lässt sich nun auch leicht überall am Eis verfolgen.

Der frisch gefallene Schnee besteht aus ganz kleinen Kryställchen; unter dem mit Polarisationseinrichtung versehenen Mikroskop kann man sehr schön die Polarisationsfarben jedes einzelnen Krystalles sehen; ohne Anwendung einer Vergrösserung heben sich alle Farben

¹⁾ Diese Verhandlungen Bd. VII, Seite 210.

zu einem neutralen Weiss auf. Sobald dann der Schnee einige Zeit liegen bleibt, wird er körnig, was die Folge eines solchen Ueberkrystallisierens der Molekeln ist, und die Körner sind bald so gross, dass man ohne Anwendung einer Vergrösserung im parallelen polarisierten Licht ganz deutlich die Farben der nach verschiedenen Seiten gerichteten Kryställchen sieht. Wenn der Schnee einige Wochen gelegen hat, so kann man bei Beobachtung im convergenten polarisierten Lichte die farbigen Ringe mit dem schwarzen Kreuz sehen, wenn die Krystalle so liegen, dass das Licht in der Richtung der optischen Achse durchgeht. Der Druck befördert, wie leicht begreiflich, das Umkrystallisieren und somit das Wachstum des Kornes; man kann desshalb schon nach wenigen Stunden Kryställchen erhalten, welche deutlich das schwarze Kreuz zeigen, wenn man frisch gefallenen Schnee zu einer eisigen Masse zusammenpresst. Je länger der Schnee liegt, um so grösser wird das Korn; davon kann man sich sehr gut überzeugen, wenn man in der Höhenregion, wo der Schnee liegen bleibt, alte Schneemassen verschiedener Jahrgänge mit einander vergleicht; in den ältern tiefern Schichten ist das Korn ganz allgemein grösser. Der Uebergang von Schnee zu Firn und von Firn zu Gletscher ist ein ganz allmäliger mit allen Zwischenstufen und beruht nur auf dem stetig fortschreitenden Ueberkrystallisieren der kleinen Krystalle in die grösseren. Ganz den gleichen Entwicklungsgang bietet uns die Natur unter andern Umständen, man findet desshalb eine dem Gletschereis vollkommen ähnliche grobkörnige Strucktur bei den tropfsteinartigen Eisgebilden an Wasserfällen und in Höhlen, so wie bei Eis, das lange im Eiskeller gelegen hat. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, dass unter allen Umständen die grossen Eiskrystalle aus dem Zusammenwachsen kleiner entstan-

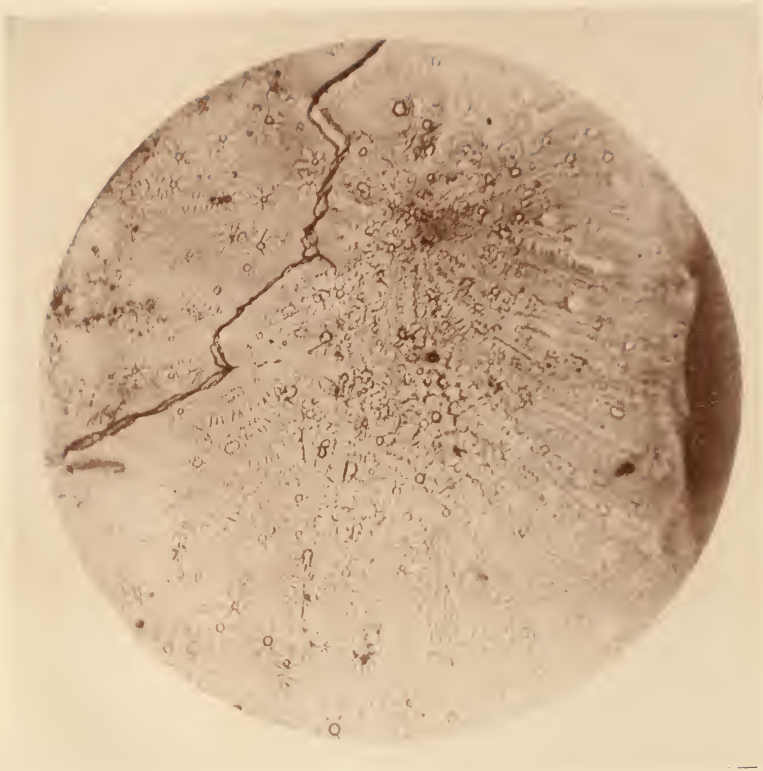
den sind. So hat man alle Ursache anzunehmen, dass sich an der Oberfläche des ruhenden Wassers beim Gefrieren gleich grössere Krystalle bilden; auch bei den Eiskrystallen an Hagelkörnern¹⁾, wo sich zuweilen deutliche Krystallflächen zeigen, darf man annehmen, dass das überschmolzene Wasser der Wolken gleich in ausgebildeten grösseren Krystallen anschießt.

In Betreff des Gletscherkornes, welches die Veranlassung zu den hier mitgetheilten Untersuchungen bildete, fassen wir das Resultat folgendermassen zusammen:

Die Bildung des Gletscherkornes ist keine nur dem Gletscher eigenthümliche oder von der Bewegung desselben abhängige Erscheinung, sondern eine Folge der ganz allgemeinen physikalischen Thatsache, dass ein Aggregat von Eiskrystallen mit der Zeit stets grobkörniger wird, indem die Molekeln aus den kleinern Krystallen in die grössern überkrystallisieren; so können nach und nach aus frisch gefallenem Schnee durch alle möglichen Zwischenstufen hühnereigrosse, ja selbst kopfgrosse einheitliche Krystalle entstehen, welche dann das Gletscherkorn bilden. Mannigfache an sehr vielen Gletschern in ganz verschiedener Höhe angestellte Beobachtungen haben mich immer mehr in dieser Ansicht bestärkt; bei dem ausserordentlich reichen und vielseitigen Beobachtungsmateriale ist nur zu wünschen, dass noch recht viele andere Forscher sich diesem manches Interesse darbietenden Gegenstande zuwenden und die noch vorhandenen Lücken ergänzen

¹⁾ Hagenbach. Ueber Hagelkörner mit Eiskrystallen. Diese Verhandl. Bd. VII. Seite 175. Wiedemann Annalen. Bd. VIII. Seite 666.





Lichtdruck H. BESSON — Basel.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1890

Band/Volume: [8_1890](#)

Autor(en)/Author(s): Riggenbach-Burckhardt Albert

Artikel/Article: [Resultate aus 112 jährigen Gewitteraufzeichnungen in Basel 821-832](#)