

Ueber die optische Structur des Gletschereises.

Von

F. Klocke.

Das Gletschereis ist ein körniges Aggregat von Eiskrystallen, in gleicher Weise wie der Marmor ein solches Aggregat von Kalkspathkrystallen ist. Eine regelmässige Begrenzung der Körner ist in beiden Fällen durch die unmittelbare gegenseitige Berührung verhindert; aber wenn auch die Krystallform fehlt, die Krystallstructur jedes Kornes lässt sich physikalisch leicht nachweisen. Für das Gletschereis geschah dies zuerst durch VON SONKLAR¹ auf optischem Wege; seine Beobachtung wurde später von Anderen wiederholt bestätigt.

Bei Gelegenheit der mit Herrn Dr. K. R. KOCH im vergangenen Sommer ausgeführten Messung der Bewegung des Morteratschgletschers² stellte ich, mit dem GROTH'schen Universalapparate zu diesem Zwecke ausgerüstet, an dem unteren Ende dieses Gletschers auch optische Beobachtungen über die Beschaffenheit seines Eises an. Wie zu erwarten war fand ich, dass jedes der unregelmässigen Körner, in welche das von der Sonne beschienene oder auch nur erwärmter Luft ausgesetzte Eis leicht zerlegt werden kann, ein einheitliches krystallinisches Individuum darstellt, denn in convergentem polarisirten Licht erhielt ich in senkrecht zur optischen Axe geschnittenen Platten

¹ KARL SONKLAR VON INNSTÄDTEN: Die Ötzthaler Gebirgsgruppe mit besonderer Rücksicht auf Orographie und Gletscherkunde. Gotha 1861. S. 72 ff.

² cf. WIEDEM. ANN. v. 8. p. 661.

das Interferenzbild der einaxigen Krystalle, welches bei Horizontal-drehung und beim Hin- und Herschieben der Platten unverändert und unverrückt im Gesichtsfeld stehen blieb. Dementsprechend zeigten in parallelem polarisirten Licht parallel zur optischen Axe geschliffene Gletscherkörner bei einer ganzen Horizontal-drehung die erforderliche viermalige einheitliche vollständige Auslöschung zwischen gekreuzten Nicols.

Es bestätigt sich also die Angabe, dass jedes Gletscherkorn ein Eis-Individuum ist, und somit sind die „Capillarspalten“ des Gletschereises, die auf so verschiedene Weise erklärt werden und ein so grosses Capitel der Gletscherlitteratur bilden, einfach die Individuums-Grenzen.

In einer kürzlich veröffentlichten Mittheilung³ habe ich erwähnt, dass die genau senkrecht zur optischen Axe geschliffenen Platten von See-Eis, welche in convergentem polarisirten Licht das merklich ungestörte Axenbild zeigen, in parallelem Licht zwischen gekreuzten Nicols nicht dunkel werden, sondern durch fleckenweise Aufhellung des Gesichtsfeldes Structur-Anomalien verrathen. Solche Anomalien habe ich nun auch an allen untersuchten Gletscherkörnern gleichfalls aufgefunden. Sämmtliche senkrecht zur optischen Axe geschliffenen Platten, welche in convergentem Licht das normale Interferenzbild zeigten, wurden in parallelem Licht bei gekreuzten Nicols nicht dunkel, wie es bei dieser Lage der Platte gegen die optische Axe eine vollkommen normale Structur erheischt, sondern zeigten sich unregelmässig weiss, hellblaugrau, bläulich und schwarz gefleckt⁴; die verschiedenen Partien gingen, auch bei sehr dünnen Platten ganz verschwommen ineinander über, — ein Zeichen, dass hier nicht Individuums-Grenzen, welche stets scharflinig zu verfolgen sind, sondern ineinander verlaufende verschiedene unregelmässige Spannungszustände eines und desselben Individuums vorliegen, dessen Einheitlichkeit überdies noch durch das oben beschriebene Verhalten in convergentem Lichte über allen Zweifel gestellt wird. Beim Drehen der Platten werden helle Partien dunkel und dunkle

³ Dies. Jahrbuch. 1880. I. p. 160.

⁴ Ist die Platte nicht genau senkrecht zur optischen Axe geschliffen, so treten lebhaft bunte Farben auf.

hell; die Auslöschung ist überdies meist keine vollständige und die Stellungen, in denen sie eintritt, lassen keinerlei Regelmässigkeit erkennen.

BERTIN⁵ bemerkt, er habe die Gletscherkörner des unteren Grindelwaldgletschers nicht homogen gefunden; ich nehme an, dass die von mir geschilderten Störungen der Krystallstructur hiermit gemeint sind.

Auf dem Rhonegletscher, dessen Eis ich gleichfalls untersuchte, beobachtete ich dieselben Erscheinungen; zuweilen wurden hier die Structur-Anomalien einzelner Gletscherkörner stark genug, um der Interferenzfigur deutliche Zweiaxigkeit zu ertheilen, wie ich das auch beim See-Eise zuweilen gefunden habe⁶.

Es wird behauptet, dass die Grösse des Gletscherkorns regelmässig von dem Ursprung des Gletschers nach seinem Ende hin zunehme. Während meine gelegentlichen Wahrnehmungen auf Gletschertouren im Allgemeinen dies bestätigen, so fiel mir bei diesen optischen Untersuchungen auf, dass die Grösse des Gletscherkorns an ein und derselben Stelle doch bedeutend wechselt, was schon daraus erhellt, dass ich kleinere Individuen in grossen eingebettet, nahezu rings von ihnen umschlossen fand.

Die unregelmässige aber eigenthümlich gereifte Oberfläche der Gletscherkörner ist oft beschrieben worden; sie ist nach einiger Übung leicht zu erkennen und von einer wirklichen Bruchfläche eines Gletscherkorns, die sich typisch muschlig darstellt, sicher zu unterscheiden.

In dem Innern mehrerer Körner rief ich durch ein mittelst einer Linse concentrirtes Bündel Sonnenstrahlen die durch TYN-DALL bekannt gewordenen Schmelzungsfiguren⁷ hervor. Sie zeigten sich hier nicht als complicirte Sterne, sondern nur als kreisrunde, parallel gestellte Wasserscheibchen. Ich stellte sie her, um zu untersuchen, ob dieselben unabhängig von der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen stets, wie TYN-DALL angiebt, in der gleichen krystallonomischen Ebene sich bildeten. Die optische Untersuchung zeigte, dass dies der Fall, und dass

⁵ Cpt. rend. 63. II. p. 346 (1866).

⁶ Dies. Jahrbuch 1879, p. 279.

⁷ Ich bilde diese Benennung nach Analogie des Wortes: Ätzfiguren.

die Ebene der Schmelzungsfiguren die Ebene der Nebenaxen des Eises ist.

Eine in hohem Grade merkwürdige Beobachtung über die Structur des Gletschereises wurde im Jahre 1866 von BERTIN (l. c.) mitgetheilt: an dem unteren Ende des unteren Grindelwaldgletschers seien die optischen Axen aller Gletscherkörner parallel, und zwar vertikal gestellt, während das eine kleine Strecke aufwärts von diesem Gletscher entnommene Eis diese Orientirung nicht zeigte. An dem benachbarten oberen Grindelwaldgletscher fand BERTIN überhaupt keine Orientirung.

Die auffallende Kunde von einer bestimmten Orientirung der Gletscherkörner regte zu weiterer Prüfung des Gegenstandes an. GRAD und DUPRÉ⁸ bestätigten das Vorhandensein der Parallelstellung an dem unteren Ende mehrerer grosser Gletscher, J. MÜLLER⁹ fand dagegen bei Untersuchung der betreffenden Stelle des unteren Grindelwaldgletschers keine Orientirung der Eis-Individuen.

Da das Eis der Gletscherzunge, das älteste des Gletschers, resp. dasjenige ist, welches als tiefste Schicht den stärksten und am längsten wirkenden Druck auszuhalten gehabt hat, so hätte eine Orientirung desselben möglicherweise eine interessante Beziehung zu der Druckrichtung enthüllt, wie durch das BERTIN'sche Gesetz bereits ein Zusammenhang zwischen der Stellung der optischen Axe des Eises und der Oberfläche des Erkaltes bekannt ist¹⁰. Die einander widersprechenden Mittheilungen veranlassten mich zunächst zu eigener Untersuchung der Thatsache selbst.

Das Ergebniss derselben ist, dass am unteren Ende des Morteratschgletschers keine Parallelstellung der optischen Axen der Gletscherkörner vorhanden ist.

Da der Morteratschgletscher nicht zu den von GRAD und DUPRÉ untersuchten gehört, so begab ich mich, um die gleichen Untersuchungen anzustellen, an den Rhonegletscher, von welchem die genannten Forscher die Orientirung der Körner am unteren

⁸ Cpt. rend. 69. II. p. 955 (1869).

⁹ Pogg. 147. p. 624 (1872).

¹⁰ BERTIN, Ann. chim. phys. 1878. 5. série, t. XIII. p. 283. KLOCKE, dies. Jahrbuch 1879. p. 272.

Ende angaben. Aber auch hier erhielt ich das gleiche Resultat wie am Morteratschgletscher: keine Orientirung.

Die zur Untersuchung gelangenden Eisplatten, welche der horizontalen Richtung parallel sein mussten, wurden in der Weise gewonnen, dass an passenden¹¹, in sehr verschiedenem Niveau gelegenen Stellen des Gletschers durch Hacken, Schneiden und Schaben eine möglichst ebene, etwa einen Quadratfuss grosse Fläche hergestellt wurde, deren horizontale Lage durch Controle mittelst Libellen gesichert war. Hierauf wurde das ganze Stück, welches diese Fläche trug, herausgearbeitet, durch Schleifen auf einer erwärmten Metallplatte eine parallele Gegenfläche hergestellt und der Platte die zur Untersuchung nöthige Dicke (von etwa 8—1 mm) ertheilt.

Keine der so gewonnenen Platten zeigte in convergentem Licht in ihrer ganzen Ausdehnung oder auch nur in grösseren Partien das normale Axenbild eines senkrecht zur Axe geschliffenen Krystalls, sondern fast nur unregelmässige Bilder. Hier und da fanden sich Körner, die von dem horizontalen Schnitt so getroffen waren, dass sie Theile von Interferenzfiguren zeigten, wie sie Platten eigen sind, die die optische Axe, der Schätzung nach¹², unter 70 bis 80° schneiden. Die genähert vertikale Stellung der optischen Axe fand ich nicht häufig, und dann war sie an ein einzelnes Korn gebunden. Denn schob ich die Platte im Instrument weiter, so änderte sich jedesmal die Interferenzfigur in dem Augenblick, wo eine Körner- (Individuums-) Grenze die Linsen passirte, woraus mit Sicherheit hervorgeht, dass in jedem Nachbarindividuum stets eine neue Lage der optischen Axe gegen die Plattenebene vorhanden war. Bei dickeren Platten kamen auch Stellen mit jenen merkwürdigen Interferenzfiguren vor, die entstehen, wenn dünne einaxige Platten mit etwas verschiedener Neigung gegen die optische Axe übereinander liegen, wodurch das stellenweise Übereinandergreifen verschieden gelagerter Eisindividuen erkennbar war.

¹¹ An der Stirnwand des Gletschers, in dem Gewölbe des Gletscherbachs, in den künstlichen für die Besucher ausgearbeiteten Höhlen, weiter oben in Spalten und unter Moränen.

¹² Durch Vergleichung mit mehr oder weniger schief gegen die Axe geneigt geschliffenen Kalkspathplatten.

Dasselbe Resultat gab die Untersuchung in parallelem polarisirten Licht. Die Auslöschungslagen benachbarter Individuen zwischen gekreuzten Nicols waren stets bedeutend von einander verschieden, sodass wenn ein Individuum auf Dunkel eingestellt war, seine Umgebung in hellen Farben erglänzte.

Hiermit war das Nichtvorhandensein einer Vertikal- und Parallelstellung der optischen Axen bereits erwiesen und die Beobachtungen J. MÜLLER's bestätigt. Ich vervollständigte meine Versuche aber noch dadurch, dass ich durch Probiren Platten herstellte, welche für ein grosses Korn in der Mitte der Platte genau die Bedingung senkrechter Stellung der optischen Axe zur Plattenebene erfüllten, und so in diesem Einen Individuum das normale Axenbild zeigten. Dasselbe erhielt sich beim Drehen und Hin- und Herschieben der Platten unverändert, so lange die Grenze dieses Individuums nicht überschritten wurde; geschah dies aber, so verschwand das normale Axenbild und fand sich in keinem andern Individuum der oft einen halben Fuss langen Platte wieder ¹³.

Mit der Constatirung der Nichtexistenz einer Parallelstellung der optischen Axen der Gletscherkörner werden die an diese Orientirung geknüpften Speculationen hinfällig.

Ob in den Gletschern, und besonders in deren unterem Ende gefrorenes Schmelzwasser und dadurch grössere oder kleinere Partien von See-Eis mit überall vertikaler Axe vorhanden sind, wie BERTIN und MÜLLER annehmen, darüber können erst äusserst zahlreiche weitere Beobachtungen entscheiden; es handelt sich hier darum, durch vergleichendes Zusammenfassen einer sehr grossen Zahl von Einzelbeobachtungen an einer Stelle eines Gletschers einen Überblick im Grossen zu gewinnen.

Doch lassen meine bisherigen Untersuchungen in dieser Hinsicht bereits mit Sicherheit erkennen, dass die Vorstellung MÜLLER's (l. c.): das in die sog. Capillarspalten eindringende Schmelzwasser gefriere in denselben wie See-Eis mit vertikaler Hauptaxe; dem thatsächlichen Verhältniss nicht entspricht. Man findet keine derartig gebauten Zonen zwischen den Gletscherkörnern. Friert das Wasser in den Capillarspalten, so geschieht dies unter dem

¹³ Der Durchmesser der Körner wechselte von 1—10 Centimetern.

orientirenden Einfluss der umgebenden Eis-Individuen; sie vergrössern sich durch parallele Fortbildung ihrer Molecularstructur, sie wachsen wie ein Krystall in seiner Lösung. GRAD¹⁴ hat das bereits ausgesprochen.

See-Eis wird sich nur beim Frieren relativ grösserer Wasseransammlungen bilden, und dass es solches ist, kann nur durch Abwesenheit der gerade das Gletschereis charakterisirenden Körnerstructur nachgewiesen werden. MÜLLER nahm an, dass jede kleine Stelle mit vertikaler Hauptaxe See-Eis wäre. Wenn bei seinen Beobachtungen, und in gleicher Weise bei den meinigen, einzelne Individuen eine nahezu vertikale Stellung der optischen Axe zeigten, so ist damit noch nicht ihre Seeis-Natur erwiesen; diese Lage kann ebenso gut eine von den unendlich vielen möglichen und wirklich vorkommenden Stellungen der Gletscherkörner sein.

Freiburg i. B., November 1879.

Nachschrift.

Da die Beobachtungen meiner Vorgänger auf diesem Arbeitsgebiet sich hauptsächlich auf den unteren Grindelwald-Gletscher beziehen, so erschien es mir nöthig, meine Untersuchungen auch auf diesen Gletscher auszudehnen, was mir soeben möglich war. Ich kann nunmehr nach einer grösseren Zahl von hier angestellten Beobachtungen die Angabe MÜLLER's bestätigen, dass an dem unteren Ende des unteren Grindelwaldgletschers keine Parallelstellung der optischen Axen der Gletscherkörner existirt. Das optische Verhalten dieses Gletschereises fand ich genau so, wie ich es in der vorstehenden Arbeit vom Rhone- und Morteratsch-Gletscher beschrieben habe.

Grössere Partien von Eis mit vertikaler Hauptaxe, die nach MÜLLER, als See-Eis gedeutet werden könnten, oder derartig orientirte Streifen zwischen einzelnen Körnern, habe ich nicht gefunden. Wenn in einer horizontalen Platte ausnahmsweise das

¹⁴ Sur la constitution et le mouvement des glaciers. Compt. rend. 64. I. p. 44 (1867). Der Ansicht dieses Forschers aber, dass das Wachstum der Eiskörner die Bewegungsursache des Gletschers sei, vermag ich nicht beizustimmen.

Interferenzbild an einer Stelle eine annähernd vertikale Lage der optischen Axe anzeigte, so ergab die den Nachbarindividuen entsprechende Grösse, die Begrenzung sowie die Beschaffenheit der Oberfläche der betreffenden aus der Platte herausgelösten Partie, dass es sich nur um ein einzelnes Gletscherkorn handelte, das zufällig seine optische Axe annähernd vertikal gerichtet hatte.

Von genau derselben Beschaffenheit wie das Eis des unteren, fand ich, wie vorauszusehen, auch das Eis des oberen Grindelwaldgletschers, von dem übrigens auch BERTIN (l. c.) zugibt, dass es keine Orientirung der Körner zeige.

Danach ist das Ergebniss meiner optischen Untersuchung des Eises von vier grossen Gletschern, dass dasselbe überall ein regelloses Aggregat krystallinischer Individuen ist, und dass somit die von BERTIN und später von GRAD und DUPRÉ angegebene Parallelstellung der optischen Axen der Gletscherkörner sich nicht bestätigt. Im Innern des Gletschereises auf Körnergrenzen und feinen Klüften zum Gefrieren kommendes Wasser dient zu regelmässiger krystallinischer Vergrösserung (Fortwachsung) der bereits bestehenden Individuen und bildet nicht Eisschichten mit neuer bzw. vertikaler Stellung der Hauptaxe.

Grindelwald, August 1880.