Ueber die Structur des Grönländischen Inlandeises und ihre Bedeutung für die Theorie der Gletscherbewegung.

Von

O. Mügge in Königsberg i. Pr.

In dem ersten Bande der „Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891—93“¹ hat der Führer der Expedition, v. DRYGALSKI, „Grönlands Eis und sein Vorland“ eingehend behandelt und namentlich über die Structur des Inlandeises interessante Beobachtungen in Wort und Bild mitgetheilt. Er entwickelt indessen, was die Ursache dieser Structur anbetrifft, unrichtige Vorstellungen und kommt infolge davon auch hinsichtlich der Bewegungsmechanik des Eises zu unhaltbaren Resultaten. Da v. DRYGALSKI'S Anschauungen durch Vorträge vor der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin, der Deutschen Geologischen Gesellschaft, der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, ferner durch zusammenfassende Mittheilungen und Referate ausserordentlich verbreitet sind, ohne dass auf die Unrichtigkeit jener Anschauungen und Folgerungen bis jetzt irgendwie aufmerksam gemacht wäre, scheint es mir geboten, hierauf hinzuweisen und die richtige Deutung zu geben, um so mehr, als eine neue Expedition, diesmal in antarktische Gebiete, unter v. DRYGALSKI'S bewährter Führung bevorsteht und dieser selbst noch jüngst² die Wichtigkeit seiner Beobachtungen gerade über die Struc-

¹ W. H. KÜHL. Berlin 1897.

² Geographische Zeitschrift. 5. z. B. p. 272, 276. 1899.

tur des Gletschereises für seine Auffassung der Gletscherbewegung betont hat.

v. DRYGALSKI kommt namentlich dadurch zu unrichtigen Folgerungen, dass er eine fundamentale Eigenschaft des Eises, seine Plasticität, nicht anerkennt. Über die Rolle, welche diese bei der Bewegung der Gletscher spielt, äussert er sich nämlich p. 523 folgendermaassen:

„Was die bruchlose Umformung anbetrifft, so ist der Einfluss derselben schwer zu begrenzen, weil man bisher nicht mit Sicherheit sagen kann, ob nicht die im Eise beobachteten bruchlosen Umformungen selbst auf inneren Verflüssigungen oder Zertheilungen beruhen. Der Umstand, dass die bruchlos umgeformte Eismasse in der Umformung verbleibt und nicht nach Aufhören der Kraft in die alte Form zurückkehrt, macht es sehr wahrscheinlich, dass es beim Eise überhaupt keine Plasticität ohne Brüche oder ohne Änderung des Aggregatzustandes giebt. Da ich keine Erscheinung bei der Eisbewegung kenne, welche nur durch bruchlose Umformung erklärt werden kann, dagegen sehr viele, die sich dadurch nicht erklären lassen, glaube ich der bruchlosen Umformung keine Bedeutung in der Mechanik des Eises zuschreiben zu dürfen, zumal sie selbst noch nicht sicher bewiesen ist.“

Aus dem letzten Satze scheint hervorzugehen, dass v. DRYGALSKI nur die älteren, einander allerdings z. Th. widersprechenden Angaben über die Plasticität des Eises bekannt waren, nicht aber die Resultate der von Mc CONNELL und später von mir angestellten Versuche, oder dass ihm ihre Bedeutung für die von ihm beobachteten Structurdifferenzen der verschiedenen Eisarten entgangen ist. Ich gehe daher zunächst ganz kurz auf das Resultat dieser Experimente ein.

Mc CONNELL¹ schloss aus seinen Versuchen, dass jeder einzelne Eiskrystall sich gegenüber einseitigem Druck so verhält, als bestände er aus zahlreichen, nach seiner Basisfläche (0001) sehr dünnen, nicht ausdehnbaren, aber einzeln beliebig biegsamen Schichten, welche sich nur schwer völlig von einander trennen, aber leicht aufeinander verschie-

¹ Proc. Roy. Soc. 48. 259. 1890 und ausführlicher das. 49. 323. 1891.

ben lassen, etwa so, wie die einzelnen Blätter eines Haufens von Papieretiketten, zwischen welche man etwas (nicht trocknenden) Klebstoff gebracht hat.

Ich konnte später die Beobachtungen und Schlüsse Mc CONNELL'S durch zahlreiche Versuche bestätigen, namentlich auch, indem ich zeigte¹, dass man einzelne solcher Blättchen oder vielmehr dünne Lagen solcher ganz aus dem Eiskrystall herausschieben kann, und dass die Richtung, in welcher man dabei schiebt, anscheinend fast gleichgültig ist, wenn sie nur in der Basis (also der Ebene der Blättchen) liegt; dass dies dagegen nicht möglich ist in der Richtung senkrecht zur Basis, dass sich das Eis gegen Druck von solcher Richtung vielmehr wie ein spröder Körper verhält.

Eine derartige eigenthümliche Verschiebbarkeit von Theilen eines Krystalls gegen einander längs nur einer, oder mehreren krystallographisch bestimmten Ebenen kommt nicht bloss dem Eis zu, sondern, wie frühere² und namentlich spätere³ Untersuchungen gezeigt haben, auch zahlreichen anderen, anscheinend ebenso starren Krystallen, sie ist u. A. wohl die wesentlichste Ursache der Geschmeidigkeit der edlen Metalle⁴. Es ist die dabei vor sich gehende Bewegung, um sie von anderen, äusserlich ähnlichen, zu unterscheiden, nicht als Gleitung, sondern als Translation bezeichnet (dies. Jahrb. 1889. I. 159). Diese erfolgt also am Eis längs der Basisfläche und annähernd gleich gut nach allen Richtungen derselben.

Infolge der Translationsfähigkeit lassen sich Stäbe von Eis durchbiegen, wenn der Druck senkrecht zur Basis wirkt, die Durchbiegung ist eine unelastische⁵ (sie hat selbstver-

¹ Nachrichten d. k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. 1895. Heft 2 und ausführlicher dies. Jahrb. 1895. II. 218.

² Dies. Jahrb. 1889. I. 145 (Brombaryum) und 1892. II. 95 (Kaliummanganchlorid).

³ Nachrichten d. k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. 1897. Heft 2 und dies. Jahrb. 1898. I. 71.

⁴ Nachrichten d. k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. 1899. Heft 1 und dies. Jahrb. 1899. II. 55.

⁵ Diese unelastische Durchbiegung ist gewiss auch früher schon oft beobachtet; gelegentliche Angaben darüber macht z. B. WIECHERT (Schrift. d. phys.-ökonom. Ges. zu Königsberg. 34. [4.] 1893).

ständig mit den infolge Druckschmelzung vor sich gehenden Formänderungen nichts zu thun).

Zur Einleitung der Translation genügen beim Eis schon geringe Drucke (vergl. unten p. 134). Eisstäbe aus Eiszapfen, welche sich ähnlich wie das Gletschereis aus körnigen Krystallindividuen in regelloser Anordnung aufbauen und andere Eismassen von unregelmässiger Kornstructur zeigen sich ebenfalls sehr deformationsfähig (ohne Druckschmelzung), es ist daher klar, dass im Gletscher die einzelnen Eiskrystalle, das sind (vermuthlich, vergl. darüber unten p. 135) die Gletscherkörner, sehr beträchtliche Deformationen in der Tiefe desselben erfahren können. Daraus erklärt sich zunächst, wie wir sehen werden, die auch früher schon von Anderen beobachtete, immer wieder angezweifelte, jetzt aber von v. DRYGALSKI für Grönlands Gletschereis ganz sicher festgestellte Regelmässigkeit seiner Structur, das ist die orientirte Stellung der Körner in der Nähe des Gletscherbodens und fester Wände überhaupt, nämlich die Basisfläche parallel zu jenen festen Wänden, speciell auch die von v. DRYGALSKI meines Erachtens nicht sehr glücklich¹ als „Schichtung“ bezeichnete Structur des Inlandeises.

Um v. DRYGALSKI'S nicht haltbare Anschauungen über die Ursache dieser Structur zu verstehen, ist zunächst auf seine Betrachtungen über die Structur des Teich- (oder Binnensee-) und des Meer- (oder Fjord-) Eises etwas einzugehen.

Hinsichtlich des Wachstums des Teicheises bestätigt v. DRYGALSKI durchaus meine früheren Beobachtungen². Darnach bilden sich zunächst einzelne lange Eisnadeln, in denen nicht, wie die früheren Beobachter (KLOCKE und auch

¹ Ein Zusammenhang mit der Firnschichtung soll nämlich nach p. 102 nicht bestehen und ist auch nach der Art der Anhäufung von Schneeflocken in der That nicht zu erwarten; nach p. 327 ist vielmehr die Schichtung das Ergebniss verschiedener früherer Vorgänge, unter denen die ursprüngliche Aufschüttung den geringsten, die Druckvertheilung den grössten Einfluss gehabt hat. Darnach hätte die Erscheinung als Schieferung bezeichnet werden müssen.

² Dies. Jahrb. 1895. II. 226; v. DRYGALSKI hat sie wohl nicht gekannt.

noch EMDEN¹⁾ meinten, die optische Axe parallel, sondern vielmehr senkrecht zur Längsrichtung liegt. Sie sind vielleicht besser als sehr schmale Tafeln nach der Basis zu bezeichnen, bei welchen die Basis aus l. c. von mir genannten Gründen nicht horizontal, sondern schräg liegt. Dazwischen entstehen dann bald auch hexagonale, schneesternähnliche Skelettbildungen, welche sich mit der breit ausgedehnten Basisfläche parallel zur Wasseroberfläche legen, und zwar nur deshalb, wie l. c. gegenüber älteren complicirten Erklärungsversuchen hervorgehoben wurde, weil dies die stabile Gleichgewichtslage für solche tafelige, schwimmende Körper ist.

Die letztgenannten tafeligen Krystalle schliessen nun allmählich die Wasserfläche nach oben ab und es soll dann nach v. DRYGALSKI das weiter ausgeschiedene Eis sich deshalb überall mit seiner Basis parallel zur Wasseroberfläche orientiren, weil es unter Druck wächst und gegen die schon vorhandene feste Decke gepresst wird. Das ist aber eine unverständliche und auch überflüssige Annahme. Denn falls die Wassermasse durch die darüber gebildete erste Eisdecke wirklich ganz hermetisch abgeschlossen ist, steht doch das neu sich bildende Eis unter allseitigem, also richtungslosem Druck, und es ist nicht einzusehen, wie dieser irgendwelchen Einfluss auf die Orientirung der neuen Eisausscheidung gewinnen soll. Für den Krystallographen bedarf es vielmehr keiner Erklärung, er weiss, dass die die oberste Eisdecke bildenden Kryställchen jetzt nach unten weiter wachsen und also die Decke verdicken müssen, da sie ja seitlich keinen Spielraum mehr haben. Der Druck spielt also bei der Orientirung des Teicheises gar keine Rolle, ein Versuch überzeugt leicht, dass die Eisdecke von Teichen aus ebenso orientirten Krystallindividuen auch dann besteht, wenn Luftlöcher für Fische etc. die Entstehung jeden Überdruckes im Wasser verhindern.

Beim Meereis (Fjordeis) beobachtete v. DRYGALSKI nicht

¹ Über das Gletscherkorn. Von der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft mit dem Preise der Schläfli-Stiftung gekrönte Schrift. (Neue Denkschriften d. allgem. schweiz. Ges. f. d. gesammten Naturw. 33. Abth. 1. 1893; dies. Jahrb. 1895. I. -46-.)

jene Lagerung der Basisflächen parallel der Wasseroberfläche, hier standen erstere vielmehr senkrecht zu letzterer. Das rührt nach v. DRYGALSKI daher, dass es auf dem Meere nicht zur Bildung einer geschlossenen Eisdecke kommt und daher der richtende Druck fehlt. Der wirkliche Grund ist, wie aus v. DRYGALSKI's Beobachtungen hervorgeht, ein ganz anderer. Nach diesen schieben sich nämlich die auch hier entstehenden, lose auf dem Wasser schwimmenden, nach der Basis tafeligen, skeletförmigen Eiskryställchen infolge der Bewegung des Wassers aufeinander, frieren später mit ihren Basisflächen zusammen und bilden so kleine Packetchen. Wurden diese nun mehr hoch (senkrecht zur Basis gemessen) als breit, so konnten sie nur so im stabilen Gleichgewicht schwimmen, dass ihre Basisflächen sich vertical stellten, das musste um so genauer geschehen, je dicker die Packete geworden und je regelmässiger sie geformt waren; indessen ist zu vermuthen, dass die Orientirung senkrecht zur Wasseroberfläche hier nicht so genau erreicht wurde wie beim Teicheis die Orientirung parallel derselben. Dass eine solche Packetbildung beim Meereis eintritt, beim Teicheis nicht, dürfte lediglich in der stärkeren Störung der Meeresoberfläche durch Wellenschlag und in dem gleichzeitig durch den Salzgehalt und warme Strömungen stark verzögerten Gefrieren seinen Grund haben.

Die Packetstructur solchen Meereises macht sich namentlich auch beim Aufthauen auf den Querflächen senkrecht zur Basis durch eine Streifung parallel derselben, also längs den Zusammensetzungsflächen der Blättchen, bemerklich. Eine sehr ähnliche Streifung und von derselben Orientirung beobachtete v. DRYGALSKI auch an Gletscherkörnern, und er identificirt diese, ob mit Recht, vermag ich nicht zu sagen, mit der sogen. FOREL'schen Streifung der Gletscherkörner. Sollte die FOREL'sche Streifung wirklich parallel zur Basis der Körner verlaufen, so würde ich es für höchst wahrscheinlich halten, dass sie durch die Translationsfähigkeit bedingt, vielleicht sogar selbst „Translationsstreifung“ ist, worauf ich früher (dies. Jahrb. 1895. II. 225) bereits aufmerksam machte. Die FOREL'sche Streifung wäre also jedenfalls eine Druckwirkung, welche aber ebensowenig wie die oben dargelegte

gesetzmässige Orientirung der Eiskörner in den sogen. geschichteten Theilen der Gletschermasse mit einem während des Wachstums der Körner entstandenen Druck etwas zu thun hat, sondern wie jene erst durch die Translationsfähigkeit des Eises möglich wird.

v. DRYGALSKI erklärt nämlich die gesetzmässige Lagerung der Gletscherkörner in den „geschichteten“ Theilen des Gletschers, so dass die optischen Axen senkrecht, also die Basis parallel zur „Schicht“-Fläche und zum Boden oder zu den Grenzflächen anderer Widerstände liegen, dadurch, dass ebenso wie beim Teicheis eine Krystallisation unter Druck, und zwar hier speciell eine Krystallisation des durch Druck verflüssigten Eises unter senkrecht zum Boden wirkendem Druck, stattgefunden habe; da, wo die Schichten sich um Hindernisse herumbiegen, änderte sich mit der Druckrichtung daher auch die Orientirung der Eiskörner u. s. w. Aber diese Annahme ist auch hier wie beim Teicheis unhaltbar, die Orientirung der Eiskörner ist vielmehr durch Translation bedingt.

Wir denken uns jedes einzelne Gletscherkorn, also jedes einzelne Eiskryställchen, in feine Blättchen parallel seiner Translationsfläche, d. i. parallel zur Basis, zerlegt. Das ganze Gletschereis wird sich nun gegen Druck etwa so verhalten wie eine Menge kleiner, wirt durcheinander geworfener, dabei ganz unregelmässig (entsprechend der äusseren Form der Gletscherkörner) beschnittener Etiquetten-Häufchen: bei Druckänderung werden die einzelnen Etiquettchen in jedem Häufchen sich übereinander wegschieben, die Form jedes Häufchens wird sich also ändern, manche werden sogar in zwei oder mehrere dünnere sich zertheilen, und diese werden z. Th. auch gebogen und zusammengefaltet werden. Vor Allem aber werden, wenn durch Druck eine Bewegung der ganzen Masse unter starker Reibung eintritt, die einzelnen Etiquetten und dünnere Packete derselben sich dem Boden und sonstigen festen Wänden möglichst anzuschmiegen suchen, gleichgültig, welches ihre ursprüngliche Orientirung gegenüber diesen Wänden war. Das ist in der That das, was E. v. DRYGALSKI in der „Schichtung“, der Biegung derselben um Hindernisse herum u. s. w. hinsichtlich der Orientirung der Gletscherkörner beobachtet hat.

Aber auch bei jenen unregelmässig, aber doch glatt beschnittenen Etiquettenhäufchen, welche nur wenig deformirt wurden, müssen doch durch die geringen Bewegungen längs den einzelnen Blättchen die Ränder der letzteren hervortreten, in ähnlicher Weise, wie die Ränder der einzelnen Postkarten deutlich werden und das Abzählen erleichtern, wenn der Schalterbeamte ein Packet derselben hin und her biegt. Diese durch die Biegung hervortretenden Ränder sind die oben schon genannten „Translationsstreifen“, welche also möglicherweise mit den FOREL'schen Streifen identisch sind¹.

Es stimmt mit dieser Auffassung über die Ursache der Orientirung der Körner in den geschichteten Theilen noch die weitere Beobachtung v. DRYGALSKI's, dass „geschichtetes“ Eis nicht ein nach allen Richtungen ungefähr gleich ausgedehntes, unregelmässig geformtes, sondern plattiges Korn hat, was früher auch schon von Anderen beobachtet ist². Diese Form ist in der That zu erwarten, wenn die Orientirung wie eben geschildert vor sich geht; vor Allem sind lange, in der Richtung senkrecht zur Basis verlängerte stengelige Individuen, wie sie sich im Teicheis bilden und nach v. DRYGALSKI's Erklärung gerade so gut auch hier entstehen könnten, nicht zu erwarten, sie würden durch Translation alsbald in kürzere Stengel und schliesslich in Platten nach der Basis zerlegt werden. Dass bei einer solchen „Umlagerung“ im festen Zustand, oder, um diesen irreführenden Ausdruck zu vermeiden, bei einer solchen Deformation auch etwa vorhandene Luft- und andere Einschlüsse ausgeschieden und längs den Translations- (also auch den „Schichtungs“-) Flächen

¹ vorausgesetzt, dass diese wirklich, wie v. DRYGALSKI und auch die früheren Beobachter meinen, parallel der Basis verlaufen, was aber von EMDEN (l. c. p. 4) durchaus verneint wird. Ich selbst habe nicht Gelegenheit gehabt, die FOREL'sche Streifung am Gletschereis, wohl aber Translationsstreifung an gebogenem Teicheis zu beobachten (l. c. p. 217). Diese letzteren waren aber sehr fein und nur auf frischen Bruchflächen sichtbar. Da durch das Zusammenpressen mehrerer Eiskrystalle, so dass ihre Basisflächen parallel liegen, noch keine physikalisch homogenen Körper entstehen, werden die Individuengrenzen solcher Complexe beim Anthauen zum Vorschein kommen können und den FOREL'schen Streifen vielleicht ähnlich sein.

² HEIM, Gletscherkunde. p. 309.

angeordnet werden können, was v. DRYGALSKI ebenfalls beobachtete, bedarf keiner besonderen Betonung.

Da der „positive Grund“, weshalb v. DRYGALSKI eine vorübergehende Verflüssigung zur Erklärung des Kornwachstums annimmt, darin liegt, dass in den unteren geschichteten Theilen des Inlandeises nicht allein ein Wachstum stattgefunden hat, sondern auch sehr häufig eine Anordnung der optischen Axen senkrecht zur „Schichtung“, so könnte man meinen, nachdem dieser Grund als nicht zutreffend erwiesen ist, dass eine Veranlassung, Druckschmelzung anzunehmen, nun nicht mehr vorläge, und man könnte also geneigt sein, die völlig sicher nachgewiesene Plasticität der Eiskrystalle allein für die Bewegung der Gletscher verantwortlich zu machen, wie EMDEN (l. c. p. 43) dies auch thut. Indessen scheint mir schon allein die Thatsache des Wachstums der Gletscherkörner nicht anders als durch Druckschmelzung erklärbar. Auch die Kornstructur selbst, welche nach EMDEN (l. c. p. 44), dem sich v. DRYGALSKI darin anschliesst, für die Bewegungsfähigkeit des Gletschers ganz gleichgültig sein soll, ist meines Erachtens für ihr Verständniss durchaus von erheblicher Bedeutung. Es wird das am besten hervorgehen aus der folgenden Darlegung, in der namentlich die Wechselwirkung zwischen Plasticität, Druckschmelzung und Kornstructur betont ist. Auf Grund dieser drei Thatsachen kann man sich den Vorgang der Gletscherbewegung etwa wie folgt denken:

Wird ein lockeres Haufwerk von grossen und kleinen Eis- (oder Schnee-) Kryställchen gleichmässig durchwärmt, so findet bei Überschreitung der Schmelztemperatur ein gleichmässiges Abschmelzen der grossen wie kleinen Krystalle von ihrer Oberfläche aus statt. Nach einer gewissen Zeit wird infolge dessen ein Theil der kleineren Krystalle ganz verschwunden, die grösseren werden unter Zurundung kleiner geworden sein. Tritt jetzt eine gleichmässige Abkühlung unter den Gefrierpunkt ein, so wird das zwischen den Eiskörnern befindliche Wasser, mindestens z. Th., in Parallelstellung zu denselben fixirt, d. h. die übrig gebliebenen Körner

wachsen, und das Gesamtergebnis der Temperaturschwankung ist dasselbe, als hätten die grösseren Krystalle die kleineren z. Th. aufgezehrt. Ganz Analoges ist bekanntlich auch an künstlichen Krystallen, welche in ihrer Mutterlauge längere Zeit kleinen Temperatur- und damit Concentrationsschwankungen ausgesetzt waren, beobachtet und erklärt sich dadurch, dass die kleineren Krystalle dem Lösungsmittel eine relativ grössere Angriffsfläche bieten als grössere. Die Eiskrystalle zeigen also in dieser Hinsicht nicht etwa ein ganz besonderes Verhalten.

Bei der Umwandlung des Schnees in Firn- und Gletschereis wird das Wachstum der Körner des letzteren auf die eben beschriebene Weise offenbar nur in den allerobersten, der Durchlüftung und Durchstrahlung ausgesetzten Theilen stattfinden können und müssen. Ebenso wie Temperaturänderungen bei constantem Druck an der Oberfläche des Firns etc., wirken aber **Druckänderungen** bei constanter Temperatur in den Tiefen des Firnfeldes oder Gletschers¹. Wenn solche Druckänderungen grosse und kleine Eisindividuen öfter treffen, wird wieder derselbe Effect eintreten wie vorher: die kleinen verschwinden nach und nach, die grösseren wachsen und scheinen erstere direct aufzuzehren, während sie in Wirklichkeit nur ihr Schmelzwasser an sich ziehen. Wenn also für das Wachstum der Eiskrystalle dasselbe gilt, was an vielen künstlichen Krystallen beobachtet ist, so genügt zur Erklärung des Wachstums der Gletscherkörner die Annahme von Druckschwankungen im Gletscher.

Solche Druckschwankungen werden im Grossen, d. h. grössere Theile des Gletschers annähernd gleichzeitig und gleichmässig treffend, durch wechselnde Mächtigkeit desselben, Wechsel der Form des Bettes, der Reibung u. s. w. veranlasst, aber die Veränderungen in dieser Hinsicht werden sehr langsame, die Druckschwankungen und die dadurch bewirkten Umkrystallisationen in der Zeiteinheit entsprechend geringe sein. Viel beträchtlichere Druckschwankungen entstehen dadurch, dass der Gletscher kein physikalisch homogener

¹ Wie die Temperatur um den Schmelzpunkt, muss natürlich der Druck um den der Innentemperatur des Gletschers entsprechenden Schmelzdruck schwanken.

Körper, sondern ein Aggregat solcher, nicht ein einziger Krystall, sondern ein unregelmässiges Haufwerk von Krystallkörnern ist. Die Folge davon sind zunächst Ungleichheiten des Druckes im Kleinen, von Korn zu Korn, und diese ziehen alsbald Druckschwankungen wegen der Plasticität jedes Kornes nach sich. Diese bewirkt zunächst (neben den das Firneis durchdringenden und wieder gefrierenden oberflächlichen Schmelzwassermassen), dass aus dem lockeren Haufwerk von Eiskörnern ein auf ein Minimalvolumen zusammengepresstes festes Aggregat wird, indem die einzelnen Körner sich deformiren und möglichst an ihre Nachbarn anschmiegen, bis sie so innig miteinander verzahnt sind wie etwa die Quarze eines Gelenksandsteines. Da aber die einzelnen Körner dem Druck in ganz verschiedener Weise nachgeben, je nach der Grösse ihres Querschnitts parallel zur Translationsfläche und vor Allem je nach der Neigung der Druckrichtung zur Translationsebene, so werden weitere Ungleichheiten des Druckes und damit Druckschwankungen nach Ort und Zeit, und damit Umkrystallisationen die Folge sein; für jedes Korn wird der Druck schon nach der Art seiner Formänderung immerfort schwanken, und es wird dementsprechend bald wachsen, bald abschmelzen. Da die Korngrenzen Homogenitätsgrenzen sind, werden die Druckschwankungen hier die grössten Beträge erreichen, hier müssen daher die Umschmelzungen und Umkrystallisationen vor sich gehen, d. h. es müssen z. B., wie es auch HEIM (l. c. p. 322) beobachtete, beim Pressen von Gletschereis die Grenzen seiner Körner sichtbar werden, wenn sie es bis dahin nicht waren.

Jedes Korn ist so nicht allein gegenüber den anderen, sondern in sich mobilisirt und es entsteht so die innere Beweglichkeit der ganzen Gletschermasse, ihr „Fliesen“. Diese innere Beweglichkeit wird so lange andauern müssen, bis sämtliche Eiskrystalle mit ihren Basisflächen sich senkrecht zur Druckrichtung orientirt haben. Würde dieser Fall in irgend einem Theil des Gletschers für sämtliche Körner eintreten, so müsste der Gletscher sich hier verhalten wie eine gegen Druck spröde, geschichtete oder geschieferte Masse, welche wohl als Ganzes auf ihrer Unterlage, oder in ihren Theilen längs ihren Schichtungs- oder Schieferungsflächen

weiter rutschen oder bei geeigneten Druck- und Temperaturverhältnissen der Schmelzung unterliegen oder auch zermalmt werden kann, die sich aber sonst hinsichtlich ihrer Beweglichkeit nicht von einer festeren Felsmasse aus geschichtetem oder geschiefertem Gestein unterscheiden würde¹. Ich halte es für ein wesentliches Verdienst v. DRYGALSKI's, mit Sicherheit festgestellt zu haben, dass die Körner der grönländischen Gletscher thatsächlich diese Stellung ihrer Basisflächen überall da aufweisen, wo ihre „fliessende“ Bewegung gehemmt ist, nämlich am Boden, und überhaupt in der Nähe fester Wände.

Als wesentliche Factoren der Gletscherbewegung erscheinen mir demnach, wie auch HEIM, die Plasticität des Eises, seine Fähigkeit, durch Druck zu schmelzen, und die Kornstructur speciell des Gletschereises. In welchem Maasse Plasticität und Druckschmelzung jede einzeln zur Beweglichkeit beitragen, ist vorläufig kaum zu schätzen. Nach der von Wood² aufgestellten Rechnung würde ein (gleichmässig vertheilter) Druck von 266 Atmosphären nur $\frac{1}{40}$ des gepressten Eises in Wasser verwandeln. In einem Gletscher von 500 m Dicke³, welche einem Druck von etwa 40—45 Atmosphären entspricht, würde also das Schmelzwasser nur etwa $\frac{1}{200}$ der ganzen Eismasse ausmachen, und zwar auch nur in der Nähe des Bodens, wo jener Druck allein herrscht, während seine Menge weiter oben noch geringer wäre; ferner auch nur unter der Annahme, dass die Innentemperatur des Gletschers nicht unter 0° beträgt. Bei meinen Versuchen betrug der Druck etwa 10 Atmosphären, war aber wegen Anwendung einer Schnur zur Befestigung des Gewichtes nur ungefähr zu schätzen. Wahrscheinlich genügt zur Einleitung der Translation ein erheblich geringerer Druck, da es bei jenen Versuchen darauf ankam, möglichst schnell eine

¹ Diesen Einfluss der Kornstructur auf die Bewegungsfähigkeit hat ja auch schon HEIM beobachtet, als er einmal eine Platte Teicheis (vermuthlich senkrecht zur Tafel = Basisfläche) und das andere Mal eine Eis-Breccie Druckversuchen unterwarf (l. c. p. 322).

² Amer. Journ. of Sc. (3.) 41. 32. 1891.

³ Das ist nach HEIM (Gletscherkunde. p. 79) etwa die maximale Mächtigkeit der Alpengletscher.

erhebliche Translation zu erzielen. Der Querschnitt parallel zur Translationsfläche war etwa 1 cm^2 . Die Translation wird darnach für Körner von 1 cm Querschnitt schon in weniger als 120 m Tiefe beginnen; in welchem Maasse sie sich dann nach der Tiefe zu fortsetzt, ist aber schwer zu übersehen, da dabei in Frage kommt, inwieweit ein Korn unbehindert von den anderen sich bewegen kann, die Capillarspalten also zu berücksichtigen sind. Dass solche stets vorhanden sind, ergibt sich einmal aus der geringeren Dichte des Eises gegenüber seinem Schmelzwasser, wie andererseits daraus, dass die Grenzflächen zweier Körner im Allgemeinen krystallographisch ungleichwerthig sind, in der einen also die Deformationen durch Temperaturschwankungen anders erfolgen als in der zweiten.

Die Frage, ob die Gletscherkörner, wie oben angenommen, ausschliesslich infolge von Druckschwankungen und dadurch bewirkten Umkrystallisationen wachsen, ist, wie mir scheint, erst von secundärer Bedeutung. Da die Translation nach allen Richtungen parallel zur Basisfläche merklich gleich gut erfolgt, werden zwei Krystalle, in welchen diese Flächen parallel liegen, sich hinsichtlich der Translation annähernd wie ein einziger verhalten, und dasselbe kann (annähernd!) möglicherweise auch hinsichtlich der Druckschmelzung stattfinden. Dann würden ihre Grenzflächen beim Pressen kaum sichtbar werden, entsprechend dem Resultat der von HEIM (l. c. p. 331) angestellten Versuche. Kommen daher mehrere Krystalle in dieser Lage unter Druck miteinander in Berührung, was nach dem Obigen nicht zufällig, sondern geradezu zu erwarten wäre, so könnte man von einer Vereinigung mehrerer Gletscherkörner zu einem, also einem Kornwachsthum infolge Druckes sprechen, wie HEIM¹ dies thut, aber doch nur unter der Voraussetzung, dass die Gletscherkörner nicht Krystallindividuen, also nicht für sämtliche Eigenschaften homogen sind, sondern nur für gewisse, z. B. die optischen Eigenschaften, homogene Aggregate

¹ l. c. p. 332. Zu dieser Ansicht scheint auch J. C. RUSSEL (Amer. Journ. of Sc. [4.] 3. 346. 1897) zu neigen; es geht aber aus seinen Äusserungen hervor, dass er optisch einheitliche Eismassen für Krystallindividuen hält, was nicht richtig ist.

von Krystallen sind, so dass z. B. die Strahlen der TYNDALL'schen Schmelzfigur nicht an allen Stellen eines Kornes dieselbe Richtung haben, sondern nur in parallelen Ebenen liegen würden. Zeigt sich aber, dass die Gletscherkörner wirklich Krystallindividuen sind (und das ist, wenn ich nicht irre, durch TYNDALL'sche Schmelzfiguren in einigen Fällen in der That nachgewiesen¹), so kann von einem Kornwachsthum durch blosse Parallelstellung der Basisflächen infolge Druck, ohne Verflüssigung, nicht die Rede sein. Ich neige zu der Ansicht, dass die theilweise Verflüssigung und Wiedererstarrung des Eises die einzige wesentliche Ursache des Kornwachsthums ist; die Frage wäre durch die Untersuchung möglichst zahlreicher Gletscherkörner auf die einheitliche oder nichteinheitliche Orientirung ihrer Ätzfiguren oder TYNDALL'schen Schmelzfiguren zu entscheiden. EMDEN hat in seiner Preisschrift über das Gletscherkorn diesen wichtigen Punkt leider gar nicht berührt.

¹ HEIM, l. c. p. 122 sagt, dass sie „ganz parallel“ innerhalb eines und desselben Kornes liegen.

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: 1899

Band/Volume: [1899_2](#)

Autor(en)/Author(s): Mügge Johannes Otto Conrad

Artikel/Article: [Ueber die Structur des Grönländischen Inlandeises und ihre Bedeutung für die Theorie der Gletscherbewegung 123-136](#)