

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

Von

E. v. Drygalski in Berlin.

Im Jahrgang 1899 Bd. II dieser Zeitschrift hat O. MÜGGE p. 123—136 einige Bemerkungen über die Structur des grönländischen Inlandeises und ihre Bedeutung für die Theorie der Gletscherbewegung gegeben, welche von meinen in Grönland¹ gewonnenen Beobachtungen und den von mir daraus gezogenen Schlüssen ausgehen. MÜGGE kommt dabei im zweiten Theil seiner Abhandlung zu Resultaten, welche sich von den meinigen wenig oder gar nicht unterscheiden. Denn wenn er (M, II, 136) erklärt, zu der Ansicht zu neigen, dass theilweise Verflüssigung und Wiedererstarrung des Eises die einzige wesentliche Ursache des Kornwachsthums ist, so ist das genau die gleiche Auffassung, welche ich nach einer eingehenden Discussion meiner Beobachtungen (D, I, 497) aufgestellt habe. Wenn er ferner Druckverflüssigung und Regelation einen wesentlichen Factor bei der Eisbewegung nennt (M, II, 134), so unterscheidet er sich von meiner Auffassung nur darin, dass ich diesen Vorgang als den wesentlichsten ansehe (D, I, 525).

¹ V. DRYGALSKI, Grönland-Expedition der Berliner Gesellschaft für Erdkunde. 1891—93. Berlin; W. H. KÜHL. 1897. 1. Ich werde dieses Werk im Folgenden stets unter D, I, MÜGGE's eingangs erwähnte Abhandlung unter M, II, und seine frühere Abhandlung über die Plasticität der Eiskrystalle in dies. Jahrb. 1895. II. 211—228 unter M, I citiren.

Und wenn er als Resultat der inneren Beweglichkeit des Eises die Orientirung sämmtlicher Eiskrystalle mit ihren Basisflächen senkrecht zur Druckrichtung ansieht (M, II, 133), so darf er sich auch darin mit Recht auf meine Beobachtungen und Darlegungen (D, I, 108, 320, 332, 339, 494 ff. u. a. O.) stützen. Angesichts dieser Übereinstimmung in fundamentalen Punkten ist es nicht verständlich, wie MÜGGE im Anfang seiner Abhandlung äussern kann, ich wäre über die Ursachen der Eisstructur zu unrichtigen Vorstellungen und daher über die Mechanik der Eisbewegung zu unhaltbaren Resultaten gelangt.

Thatsächlich liegt die Differenz zwischen MÜGGE's Ansicht und meinen Darlegungen auch nur darin, dass er bei der Bewegungsmechanik des Eises neben der von mir in den Vordergrund gestellten Druckverflüssigung und Regelation noch der sogenannten Translationsfähigkeit, einer Art von Plasticität, eine wesentliche Bedeutung zuschreibt, ohne sich indessen bestimmt darüber zu äussern, welcher von beiden Einflüssen überwiegt. Er lässt diese Frage ausdrücklich offen (M, II, 134) und die von mir gegebenen Erklärungen der Eisbewegung durch den Wechsel des Aggregatzustandes durchaus bestehen. Meine Darlegungen werden mithin höchstens erweitert, nicht aber, wie MÜGGE sich ausdrückt, als haltlos oder unrichtig erwiesen.

Was nun diese Erweiterung betrifft, also die Erklärung eines Theils der Eisbewegung durch die Translationsfähigkeit, so hat MÜGGE in der Annahme Recht, dass ich bei meinen Ausführungen von den älteren Angaben über die Plasticität des Eises ausgegangen bin. Da diese, wie MÜGGE selbst sagt, sich z. Th. widersprechen, habe ich ihnen keine wesentliche Bedeutung zuschreiben können. Die neuesten habe ich im Grönlandwerk naturgemäss noch nicht berücksichtigt. Denn die grundlegenden Versuche Mc CONNELL's¹ waren erschienen, während ich in Grönland war, und sind mir deshalb entgangen. MÜGGE's eigene Arbeit aber über die Translationsvorgänge beim Eise² ist erst während der Drucklegung des Grönlandwerkes erschienen und nachdem ich bereits meine diesbezüg-

¹ Proc. Roy. Soc. 49. 1891.

² M, I, dies. Jahrb. 1895. II.

lichen Anschauungen in Vorträgen und vorläufigen Mittheilungen¹ veröffentlicht hatte. Es dürfte somit kaum ein Vorwurf sein, wenn dieselben von mir nicht berücksichtigt sind, zumal eine Verbindung durch eine irgendwie geartete Bezugnahme MÜGGE'S auf meine vor seinen Arbeiten erschienenen Mittheilungen über denselben Gegenstand nicht hergestellt war.

Was nun den Einfluss der durch diese Versuche von Mc CONNEL und MÜGGE gezeigten Translationsfähigkeit des Eises auf dessen Bewegung anbetrifft, so will ich an dieser Stelle nicht untersuchen, wie weit derselbe auch seinerseits unter die von mir in den Vordergrund gestellten Bewegungsvorgänge durch Verflüssigung und Regelation zu rechnen ist. Ich drücke mich hinsichtlich der Plasticität des Eises auf Grund der älteren Versuche dahin aus, dass ich den Einfluss der Plasticität auf die Bewegung nicht angeben kann, weil ich nicht weiss, wie weit auch diese Plasticität selbst auf inneren Verflüssigungen beruht (D, I, 523). Hierüber geben aber auch die neuesten Versuche von Mc CONNEL und MÜGGE keinen genügenden Aufschluss. Sie zeigen lediglich Umformungen an und berühren in keiner Weise den Punkt, ob dieselben nicht vielleicht auch selbst erst durch innere Verflüssigungen möglich geworden sind. Die für die Zeit der Versuche angegebenen Temperaturen sind freilich theilweise so niedrig, dass eine Verflüssigung durch Druck dabei schwer eintreten konnte. Dieselben gelten jedoch bei Mc CONNEL für die umgebende Luft, nicht für das Eis selbst, welches dagegen vorher auf angewärmten Metallplatten zurechtgeschliffen und dadurch zweifellos in seinem Gefüge gelockert war. MÜGGE giebt nicht an, wofür die von ihm mitgetheilten Temperaturen gelten und in welcher Weise er die Form der Versuchsplatten hergestellt hat. Er bemerkt dagegen, dass die über das Eis gelegte Schnur, an welcher das Gewicht hing, durch welches die Umformungen bewirkt wurden, sich nachher öfters festgefroren fand (M, I, 220), was entschieden auf Verflüssigungen während des Versuchs hindeutet. Da die gezeigte Plasticität überdies bis zu einem gewissen Grade als von der

¹ Schriften der phys.-ökon. Ges. zu Königsberg i. Pr. 35. 1894. p. [25]; Deutsche geogr. Blätter 1894; Verh. des Bremer Geographentages 1895.

Temperatur abhängig befunden wurde, bleibt es um so mehr eine offene Frage, ob sie nicht auch bei den neuesten Versuchen mit einem Wechsel des Aggregatzustandes zusammenhängt, als man die Anfänge der Druckverflüssigung im Eise in ihren Beziehungen zur Temperatur durchaus nicht genügend kennt und hierüber eigentlich nicht viel mehr weiss, als dass im Eise durch Druck Verflüssigungen entstehen. Bei welchem Drucke dieselben eintreten und in welcher Weise die Druckvertheilung dabei mitwirkt, ist eine neuerdings wohl angeschnittene Frage¹, die aber noch näher zu untersuchen bleibt. Es liegt daher, wenn man auf die Fundamente zurückgeht, kein Grund vor, meine Ansicht, dass Verflüssigung und Regelation die Hauptrolle bei der Eisbewegung spielen, durch die Annahme eines neuen Factors, der Translationsfähigkeit, einzuschränken, weil diese beiden Momente vielleicht eben so nahe zusammenhängen, wie ich es im Grönlandwerk auf Grund der älteren Versuche über die Plasticität des Eises angedeutet habe (D, I, 523).

Ich will jedoch jetzt vorläufig die Translationsfähigkeit des Eises als unabhängig von einem Wechsel des Aggregatzustandes ansehen, wie MÜGGE es — nicht mit Recht — a priori als selbstverständlich bezeichnet, und untersuchen, ob dadurch meine Ausführungen über die Eisbewegung erweitert werden.

MÜGGE's Ausführungen bewegen sich in zwei Richtungen. Er sucht erstens zu erweisen, dass „mein positiver Grund, weshalb ich eine vorübergehende Verflüssigung zur Erklärung des Kornwachsthums annehme, nämlich die Kornumlagerung, nicht zutreffend sei“, weil dieselbe vielmehr auf Translationsvorgängen beruhe, und führt dann zweitens aus, dass „das Kornwachsthum eben nicht anders als durch Druckschmelzung erklärt werden könne“. Der zweite Theil sucht die That-sachen zu beweisen, deren Feststellung durch mich der erste bestreitet.

Wie wohl keinem Leser des Grönlandwerkes zweifelhaft sein kann und wie ich immer wieder, zuletzt bei der Zu-

¹ LE CHATELIER in Zeitschrift für Physik u. Chemie. 1882. 9. 335 ff.;
v. DRYGALSKI im Grönlandwerk. 1. 515.

sammenfassung der Ergebnisse (D, I, 511 ff.), hervorgehoben habe, beruht meine ganze Auffassung der Eisbewegung auf der in den verschiedensten Beobachtungen begründeten Erkenntniss von Druckverflüssigungen und Wiederverfestigungen im Eiskörper. Ich habe dieselbe in gleicher Weise durch Temperaturmessungen (D, I, 469 ff.), wie durch Structurbeobachtungen (D, I, 491 ff., 511 ff.) begründet. Ich finde sie durch die Vertheilung der Bewegungsgeschwindigkeiten bestätigt (D, I, 268 ff., 338 f., 354, 511 ff.), durch die Anordnung der Schichtung (D, I, 103 ff., 319 ff.) bewiesen, durch die Klärung (D, I, 107, 516) der unteren Eislagen bekräftigt, durch Kornwachsthum, Kornformen und Krystallorientirung dargethan (D, I, 475 ff.) und durch eine ganze Reihe von anderen Einzelheiten erläutert, auf die ich hinzuweisen an keiner Stelle verfehle. Wenn nun MÜGGE zu dem Resultat gelangt, mein positiver Grund für die Erklärung des Kornwachsthums durch vorübergehende Verflüssigungen sei unzutreffend, so meint er damit den einen, aus der regelmässigen Krystallorientirung in den unteren Lagen hergeleiteten, welchen ich nur gegenüber der Ansicht EMDEN'S von einer trockenen Umlagerung der Molecüle besonders als positiven Grund hervorgehoben habe. Er bestreitet mithin einen einzelnen Grund, den er aus einer grossen Reihe hervorhebt; die Thatsache des Kornwachsthums durch innere Verflüssigungen, die derselbe neben Anderen beweist, erkennt er vollkommen an.

Aber auch den einzelnen, umstrittenen Punkt muss ich aufrecht erhalten, zumal MÜGGE'S Darlegungen einen Gegenbeweis nicht führen. Es handelt sich dabei um mein Ergebniss, dass die Orientirung der Körner in den am dichtesten gebänderten Theilen des Eises mit den optischen Hauptaxen senkrecht zur Bänderung¹ dadurch zu Stande kommt, dass

¹ Ich habe diese Erscheinung im Grönlandwerke Schichtung genaunt, weil sie wie eine Schichtung aussieht und von meinen Vorgängern im Studium des Grönlandeises so bezeichnet worden ist. Ein Missverständniss konnte dadurch nicht entstehen, weil ich die Erscheinung in längeren Ausführungen beschrieben und als Schieferung erklärt habe; ich spreche es ausdrücklich aus (D, I, 319), dass sie mit den ursprünglichen Aufschüttungsverhältnissen wenig oder gar nichts zu thun hat. Ich werde die Erscheinung nunmehr nach den Feststellungen der Gletscherconferenz als Bänderung

hier ein Wiedergefrieren verflüssigten Eismaterials unter Druck erfolgt. Die Richtung der optischen Haupttaxen fällt mit der Druckrichtung zusammen. Die Basis der Krystalle liegt senkrecht dazu.

Dieses Ergebniss ist von mir durch einen Vergleich der verschiedenen Eisbildungen (Bacheis, Binnenseeeis, Fjordeis, Gletschereis) und ihres Verhältnisses zu den jedesmal herrschenden Druckrichtungen gewonnen. MÜGGE sucht es zu widerlegen, indem er meine Einzelbetrachtungen kritisirt.

Dabei bestätigt er zunächst gegenüber den früheren Darstellungen des Vorganges der Eisbildung auf Binnenseen von KLOCKE und EMDEN meine Beobachtung¹, dass die optische Hauptaxe nicht parallel, sondern senkrecht zur Längsrichtung der zuerst über das Wasser hinschiessenden Eisnadeln gelegen ist. Auch bezüglich der zwischen den Nadeln mit der Basis sich parallel an die Gefrierfläche anlegenden Eistafeln sind wir einig, desgleichen darin, dass auf diese Weise die Wasseroberfläche nach oben abgeschlossen wird. Nach diesem Abschluss soll jedoch die von nun an ganz gleichmässige Orientirung des Eises unter den obersten Lagen mit der Hauptaxe senkrecht zur Gefrierfläche nicht, wie ich annehme, damit zusammenhängen, dass das Eis unter Druck wächst, weil nach MÜGGE das Neueis unter allseitigem, also richtungslosem Druck steht, sondern einfach damit, dass die oberste Eisdecke

bezeichnen, wodurch ich nur einen anderen zweckmässigeren Namen verwende, in meiner Ansicht über ihre Entstehung durch Verflüssigung und Regelation unter Druck aber nichts ändere. Neben den Schichten habe ich im Grönlandwerke auch die Structurform der Blaubänderung eingehend beschrieben und in gleicher Weise wie die Schichtung erklärt. Auch diese fällt unter den von der Gletscherconferenz festgestellten Begriff der Bänderung. Sie ist nur eine an anderen Stellen des Eises gelagerte und deshalb anders aussehende Form derselben Erscheinung. Auf ihre Verwandtschaft mit der Schichtung des Grönlandeises habe ich auch hingewiesen (D, I, 106, 522) und davon gesprochen, dass die erstere die letztere in den Randgebieten des Inlandeises vertritt.

¹ Gegenüber der Darstellung MÜGGE's, dass ich seine früheren, mir nur unbekannt gebliebenen Beobachtungen bestätigt hätte, darf ich darauf hinweisen, dass meine Beobachtungen 1892/93 erfolgten und in vorläufigen Mittheilungen und Vorträgen schon 1894 und 1895, also vor Erscheinen seiner diesbezüglichen Abhandlung bekannt gegeben waren. Vergl. p. 2 Anm. 3.

bildenden Kryställchen nach unten, wo sie Spielraum haben, weiterwachsen.

Hiergegen ist erstens zu bemerken, dass der Druck im Wasser unter dem Eise allerdings allseitig ist, nicht aber an der Unterfläche des Eises selbst, also dort, wo gerade die Neubildung stattfindet. Hier ist er gegen die Eisdecke gerichtet, wie man aus den vielfachen Auftreibungen derselben (D, I, Taf. XXVI) ersieht und stets erkennen kann, wenn man die Eisdecke durchstösst und das Wasser dann hervorsprudeln sieht. Da der Verschluss auf den Seen Grönlands durch den stark und schnell einsetzenden Frost besonders wirksam hergestellt wird, sind die Auftreibungen der Eisdecke sehr häufig zu beobachten, z. B. in allen Kryokonitlöchern und Seen auf dem Inlandeis. Dieselben entstehen nach dem ersten Verschluss des Wassers. Sie haben eine runde bis ovale Gestalt, umfassen bei kleineren Wasseransammlungen den ganzen Umfang der Oberfläche, bei grösseren Theile derselben und kommen in demselben See auch in grösserer Anzahl nebeneinander vor (D, I, Taf. XXVI). Es sind locale Auftreibungen der Eisdecke infolge eines von unten gegen dieselbe gerichteten Druckes und es unterliegt nach ihrem Aussehen keinem Zweifel, dass ein solcher an der Unterfläche des Eises vorhanden ist, mithin auch, dass die Eisneubildungen daselbst unter seiner Gegenwart erfolgen. Da nun aber die Hauptaxenrichtung der dort entstehenden Krystalle senkrecht zur Unterfläche liegt, ist es einfach eine Thatsache, dass sie mit der Druckwirkung an derselben zusammenfällt.

MÜGGE hat zweitens eingewandt, dass es für den Krystallographen gar keiner Erklärung der Axenstellung in dem Eise unter den obersten Lagen senkrecht zur Gefrierfläche bedürfe, weil die Kryställchen einfach nach unten, wo sie Spielraum haben, weiterwachsen. Dass ein solches Weiterwachsen von Krystallen stattfinden kann, dürfte eine auch über den Kreis der Krystallographen hinaus nicht unbekannt Thatsache sein. Die Untersuchung einer Binneneisdecke zeigt jedoch, dass die Krystalle darin nur kurze Strecken und nicht durch die ganze Dicke der Eisdecke weiterwachsen, dass die von MÜGGE theoretisch gegebene Erklärung mithin den Beobachtungen in der Natur nicht entspricht. Man sieht das einmal

daraus, dass unregelmässig orientirte Eiskrystalle ausschliesslich den obersten Lagen angehören und sich nach unten hin nicht fortsetzen, und zweitens daraus, dass auch die dazwischen gelegenen, gleichmässig senkrecht zur Gefrierfläche orientirten Krystalle bald aufhören, um anderen ähnlich als klumpige Stengel geformten, aber gleich orientirten Individuen Platz zu geben. Eine Binnenseeisdecke besteht eben nicht aus Krystallen, welche die ganze Dicke durchsetzen, sondern aus einem Aggregat von körnigen Stengeln, die sich ablösen und unregelmässig ineinandergreifen. Man erkennt das beim Zerfallen des Eises sowie dann, wenn man Eisplatten unter dem Mikroskope untersucht. Man findet die beschriebenen Individuengrenzen, ebenso wie im Gletschereis die Korngrenzen. Die Hauptaxen sind mit geringen Abweichungen, die überall vorkommen, gleichmässig, nämlich senkrecht zur Gefrierfläche gerichtet. Ob dabei die Nebenaxen verschieden gerichtet sind, habe ich nicht untersucht. Jedenfalls lässt aber die deutliche Abgrenzung der tieferen Individuen von den höheren die ersteren nicht als die unmittelbare Fortsetzung der letzteren, sondern als andere Krystalle erscheinen, wie es auch MÜGGE in dem gleichen Fall annimmt (dies. Jahrb. 1895. II. p. 221), während das Nichtvorhandensein unregelmässig orientirter Individuen unterhalb der Oberflächenlagen auch positiv und streng krystallographisch darthut, dass sich die Eisdecke nicht überall durch ein Wachsthum der Oberflächenkrystalle nach unten verdickt, sondern durch das Entstehen neuer Krystalle unterhalb der Oberflächenlagen und zwar solcher, deren Hauptaxen dann in der Druckrichtung liegen. Ich habe das Wachsthum einer Binnenseeisdecke im Grönlandwerk auch in dieser Weise dargestellt (D, I, 411 ff., 486) und den Vorgang nicht so geschildert, wie ihn MÜGGE annimmt.

Den ursächlichen Zusammenhang zwischen Axenstellung und Druckrichtung habe ich jedoch nicht aus dieser einen Thatsache gefolgert, sondern aus einem Vergleich derselben mit den entsprechenden Verhältnissen bei anderen Eisarten. Beim Meereis, welches schwimmt und keinen Überdruck an der Unterfläche auszuhalten hat, wie das Binnenseeis, das mit den Ufern fest verbunden ist, findet eine ähnliche Orientirung nämlich nicht statt. Hier fehlt der richtende Druck. In der

Bewegung des Meeres treiben kleine Eisplättchen locker umher, schieben sich in überwiegend verticaler Stellung der Basisflächen in die Zwischenräume der vorher an der Oberfläche schon zusammengeschlossenen Eisplättchen hinein und werden dann allmählich verfestigt. Da eine steile Stellung der Basisflächen schon beim ersten Zusammenschluss der Plättchen an der bewegten Oberfläche die Regel ist, setzt sich dieselbe naturgemäss nach unten hin fort, so dass schliesslich in der ganzen Eisdecke die optischen Hauptaxen annähernd parallel zur Gefrierfläche liegen. Wenn MÜGGE im Gegensatz zu dieser Darstellung das letztgenannte Ergebniss dadurch erklärt, dass sich schon beim Schwimmen im Meer Packete von Plättchen bilden, deren Form dann die Steilstellung der Plättchen beim Schwimmen und bei der Verfestigung zur Folge hat, so mag das theoretisch vielleicht zutreffend sein, entspricht jedoch wiederum dem beobachteten Sachverhalt nicht. Man kann die Plättchen noch nach dem Ansetzen an die Unterfläche der Eisdecke in der ersten Zeit mit Leichtigkeit von einander trennen, und es ist von mir niemals beobachtet worden, dass die Packete oder Bündel oder Körner des Fjordeises schon vorher beim Schwimmen entstanden sind. Mithin kann deren Form auch nicht die Steilstellung der Plättchen bedingt haben. Diese ist vielmehr lediglich eine Folge davon, dass der Ansatz der einzelnen Plättchen an der Unterfläche des Eises in bewegtem Wasser und in die Zwischenräume des vorher schon verfestigten Eises erfolgt und zwar hier ohne einseitig richtenden Druck, weil die Eisdecke schwimmt und nicht fest mit den Ufern zusammenhängt, wie beim Binnenseeis. Auch diesen Vorgang habe ich im Grönlandwerk, wie hier angegeben, beschrieben (D, I, 419 ff. u. 487) und nicht so, wie ihn MÜGGE theoretisch sich denkt und dargestellt hat.

Wir haben also im Binnenseeis bezw. im Fjordeis eine schräge bezw. steile Stellung der Basisflächen, wenn ihr Zusammenschluss in bewegtem Wasser und ohne richtenden Druck erfolgt, was in ersterem Fall nur an der Oberfläche, in letzterem durchgängig geschieht. Wir haben im Binnenseeis eine zur Oberfläche parallele Lage der Basisflächen, wenn seine Bildung in ruhigem Wasser an der Oberfläche geschieht,

und auch unterhalb derselben überall dort, wo sie bei dem Vorhandensein eines bestimmt richtenden Druckes vorgeht. Die zur Oberfläche parallele Stellung entspricht bei ruhigem Wasser auch an dieser selbst der Gleichgewichtslage als eine einfache Folge des hydrostatischen Druckes, wie es auch MÜGGE ausspricht (M, I, 226). Beim Bacheis liegen die Verhältnisse genau wie im Binnenseeeis und zeigen, wie hier und wie im Fjordeis, in positivem wie in negativem Sinn eine Übereinstimmung zwischen Druckrichtung und Axenstellung. Da dasselbe nun endlich auch im Gletschereis der Fall ist und zwar desto mehr, je weiter eine bestimmte Druckrichtung in den gebänderten Randtheilen ausgeprägt ist, scheint mir ein ursächlicher Zusammenhang zwischen beiden wahrscheinlich und sehe ich deshalb die bestimmte Orientirung der Krystalle als eine Folge des Druckes an, zumal Luftarmuth und Klarheit des Eises, Temperaturverhältnisse, wie Lage und Form der Beimengungen ein lebhaftes Schmelzen und Neukrystallisiren in den untersten Gletscherlagen beweisen.

Dass die von MÜGGE für Binnenseeeis und Fjordeis gegebenen anderweitigen Erklärungen der Axenstellung nicht zulässig sind, habe ich dargelegt. Durch Wärmeströmungen, wie es FINSTERWALDER¹ gemeint hat, lassen sich die Axenstellungen auch nicht erklären, weil beim Fjordeise wenigstens die Hauptaxen nicht in der Richtung des Wärmestroms stehen. Wenn MÜGGE endlich beim Gletschereise das Zusammenfallen zwischen Druckrichtung und Axenstellung, das er durch meine Beobachtungen als erwiesen ansieht, durch Translationen begründet, indem er meint, dass die Eisplättchen parallel zur Basis durch Druck so lange verschoben werden, bis sie alle senkrecht zur Druckrichtung liegen, so ist dagegen erstens zu bemerken, dass dann die gleichmässigen Axenstellungen bei den anderen Eisarten noch unerklärt bleiben, zweitens, dass neben den Translationen auch Verflüssigungen und Wiederverfestigungen unter Druck stattfinden, wie MÜGGE ebenfalls annimmt, und dass somit das von mir herangezogene Moment jedenfalls doch besteht, drittens, dass man auch nach den MÜGGE'schen Versuchen noch nicht weiss,

¹ PETERM. Mitth. 1899. 7.

wie weit die Translationen selbst mit Verflüssigungen und Wiederverfestigungen zusammenhängen, so dass diese letzteren noch in allen Fällen die Ursache der Verschiebungen sein können, und viertens endlich, dass die Unregelmässigkeit der Kornformen trotz mancher plattigen Gestalten in den gebänderten Theilen die Annahme schwierig macht, dass sie durch ein Übereinanderschieben von Platten entstanden sind.

Mithin wird der Zusammenhang zwischen Axenstellung und Druckrichtung durch die Translationsfähigkeit höchstens in einzelnen Fällen erklärt und auch dann nur mit Schwierigkeit, während die Annahme einer Abhängigkeit der Axenstellung von der Druckrichtung, wie ich sie mache, mit den bei allen Eisarten beobachteten Thatsachen übereinstimmt. Bei meiner Annahme ist das Endergebniss der Axenstellung mit denjenigen Druck- und Gefrierverhältnissen in Beziehung gesetzt, wie sie in der Natur zu beobachten sind, während es bei MÜGGE durch ein Experiment begründet wird, dessen Geltungsbereich in der Natur man nicht kennt. Ich sehe deshalb keinen Grund, die Ansicht zu ändern, dass Druckschmelzung und Wiederverfestigung unter Druck die wesentlichsten Momente bei der Gletscherbewegung und bei denjenigen an den Krystallen zu beobachtenden Einzelheiten sind, die damit in Zusammenhang stehen. Dass die als Translationsfähigkeit bezeichnete Plasticität des Eises mitwirken kann, ist möglich. Keinesfalls kann sie aber alles erklären, und wird es immer noch nothwendig sein, festzustellen, wie weit sie überhaupt unabhängig von den Verflüssigungen ist.

Wenn sie dadurch bedingt wird, hätten wir in den Translationen keine besondere Art von Verschiebungen infolge einer Plasticität ohne Aggregatwechsel zu sehen, sondern nur eine bestimmt gerichtete Äusserung derjenigen Vorgänge, auf welchen die Bewegungsfähigkeit des Eises zu einem grossen Theile sicher beruht. Wir hätten dann in den Mc CONNELL-MÜGGE'schen Versuchen nur das interessante Resultat, dass Verflüssigungen unter Druck am leichtesten längs den Basisflächen entstehen, mithin auf den Grenzflächen der Grundformen der Eiskrystalle, da dieses die hexagonalen Platten sind, wie ich beim Bacheis, Binnenseeis und Fjordeis ausführen konnte (D, I, 492) und auch beim Gletschereis ange-

nommen habe (D, I, 481, 494). Verflüssigungen sahen wir vorzugsweise an äusseren und inneren Grenzflächen ansetzen, wenn ich unter den letzteren die Einschlüsse verstehen darf, und sahen sie dann in den Schmelzfiguren auf den Basisflächen auch ohne solche Grenzflächen entstehen. Falls nun die Translationen parallel zu den Basisflächen auf Verflüssigungen beruhen, reihen sie sich somit vollkommen in die sonst zu beobachtenden inneren Verschiebungen ein.

Zum Schlusse möchte ich noch auf zwei Einzelheiten zu sprechen kommen, welche MÜGGE in seiner Arbeit berührt hat, nämlich auf die FOREL'schen Streifen und auf den Einfluss der Kornstructur für die Gletscherbewegung.

Ich habe unter FOREL'scher Streifung im Grönlandwerk, wie ich nach den Tagen der Gletscherconferenz, an der ich im August 1899 theilnahm, annehme, eine andere Erscheinung beschrieben, als andere Beobachter und vor allem der Entdecker selbst. Die bei der Gletscherconferenz als FOREL'sche Streifen aufgefassten Linien waren zweifellos Schmelzlinien. Sie waren oft sehr fein und verliefen auf den sichtbaren Flächen der einzelnen Körner untereinander parallel, hatten aber in der Regel einen nicht vollkommen geradlinigen, sondern einen etwas geschlängelten Verlauf. Sehr selten habe ich gesehen, dass sie über eine Korngrenze hinweggingen und somit in zwei benachbarten Körnern gleich gerichtet waren. Von dieser mir ebenfalls wohlbekanntem Streifung nehme ich auch an, dass sie mit der krystallinischen Structur des Kornes nichts zu thun hat, sehe dann allerdings auch keinen Grund, sie von den beiden anderen Streifungen zu unterscheiden, welche EMDEN neben ihr aufgestellt hatte¹.

Was ich im Grönlandwerke als FOREL'sche Streifen beschrieben habe, ist eine andere und, wie es scheint, bisher noch nicht weiter beachtete Erscheinung. Ich habe diese Streifen beim Bacheis, Binnenseeeis und Fjordeis beobachtet und gefunden, dass sie nichts anderes sind, als die Grenzlinien der Eisplättchen, welche sich beim Gefrieren der Gewässer aneinanderlegen, oder besser gesagt, als die Zwischenräume zwischen den Kanten dieser Plättchen. Je nach der Grösse

¹ EMDEN, Über das Gletscherkorn. p. 22 ff.; v. DRYGALSKI, Grönlandwerk. 1. p. 488 ff.

und der Regelmässigkeit der Umgrenzung der Plättchen ist auch die Streifung ausgebildet. Bacheis und Binnenseeis haben Plättchen mit einer langen und vollkommen geradlinigen Kante, welche sich beim Gefrieren an die Oberfläche anlegt, während die Fläche bei bewegtem Wasser schräge in dasselbe hineinragt. Wenn nun andere Plättchen in derselben Stellung und parallel zu einander hinzukommen, wie es häufig geschieht, entsteht eine sehr feine, ganz regelmässige, vollkommen geradlinige und bisweilen nicht unerheblich lange Streifung (D, I, 406). Beim Fjordeis, wo die Plättchen viel kleiner und unregelmässiger sind, ist auch die Streifung unregelmässiger. Ich habe dieselbe nach einem Staniolabdruck, den ich davon nahm, abgebildet (D, I, 424). Beim Inlandeis habe ich eine solche Streifung nicht beobachtet, aber darauf hingewiesen, dass sie wohl bei denjenigen Körnern auftreten kann, welche aus den Krystallpyramiden entstehen, die man besonders häufig in Gletschergrotten trifft (D, I, 481). Sie hätte dann eine ganz analoge Bedeutung, wie bei den anderen Eisarten, und würde die Zwischenräume zwischen den Kanten der die Pyramiden bildenden Plättchen bedeuten. Diese Streifungen stehen, wie aus obiger Darstellung wohl hervorgehen wird, mit der Krystallstructur in Zusammenhang, indem die Hauptaxen stets senkrecht zu den Flächen, also auch senkrecht zu deren Kanten und somit auch zu den Zwischenräumen zwischen denselben, nämlich den Streifen, stehen.

Wenn MÜGGE in seiner Arbeit die Ansicht durchblicken lässt, dass eine gleich geartete Streifung auch durch Translation entstehen kann, so ist das wohl möglich. Es wäre jedoch nicht richtig, die ganze Erscheinung als Translationsstreifung zu bezeichnen, weil dieselbe hauptsächlich bei der ersten Aneinanderlagerung der Plättchen im Beginn der Eisbildung sichtbar wird, solange das Eis noch nicht vollkommen verfestigt ist, so dass man die Plättchen noch isoliren kann. Dann ist von Translationen noch keine Rede, die Streifung vielmehr nur die Folge der ursprünglichen Aneinanderlagerung der Plättchen selbst.

Was nun endlich den Einfluss der Kornstructur auf die Gletscherbewegung und die Ursachen für die Veränderungen der Kornstructur angeht, so sind meine diesbezüglichen Darlegungen

von MÜGGE offenbar nicht beachtet worden. Denn angesichts der Thatsache, dass ich die inneren Umwandlungen der Gletschermassen, Kornwachsthum und Kornumlagerung in erster Linie durch Druckschmelzung und Wiederverfestigung erkläre, bleiben MÜGGE's in scheinbarem Gegensatz zu meinen Anschauungen gegebene Darlegungen über den grossen Einfluss von Druckschmelzung und Wiederverfestigung unverständlich. So irrt MÜGGE denn auch in der Annahme, dass ich die Kornstructur als ganz gleichgültig für die Bewegungsfähigkeit des Gletschers ansehen soll, da nach meinen Darlegungen Kornwachsthum und Kornumlagerung gerade einen grossen Theil der inneren Verschiebungen ausmachen und damit die Bewegungsfähigkeit in gleichem Maasse bedingen. Meine durch Beobachtungen gestützten Darlegungen gehen nur dahin, dass ich die inneren Verflüssigungen und damit die Bewegungsfähigkeit nicht an die Korngrenzen gebunden erachte. Dieselben finden nämlich auch im Innern der Körner statt, und zwar in Anlehnung an die vielen Einschlüsse von Sand und Luft, welche die Körner enthalten, deren Umrisse man als innere Korngrenzen bezeichnen könnte. Ausserdem sieht man endlich bei strahlender Wärme in den TYNDALL'schen Schmelzfiguren Verflüssigungen innerhalb der Körner auch ohne jeden Anhalt entstehen. Alle diese Verflüssigungen tragen zu den inneren Verschiebungen und somit zur Bewegungsfähigkeit des Eises bei, und in diesem Sinne darf man wohl sagen, dass für die letztere die Kornstructur nicht wesentlich ist. Das gleiche wäre übrigens auch dann der Fall, wenn man mit MÜGGE die Translationen als selbständiges Moment bei der Gletscherbewegung und unabhängig von inneren Verflüssigungen ansehen will, was, wie erwähnt, noch nicht feststeht. Und MÜGGE kommt denn auch selbst zu dem Satze, dass jedes Korn nicht allein gegenüber den anderen, sondern auch in sich mobilisirt wird und dass dadurch die innere Beweglichkeit entsteht. Das ist ganz die von mir eingehend erörterte Ansicht, nur dass ich den Grund für die innere Mobilisirung in den inneren Verflüssigungen gefunden habe, während sie MÜGGE durch Translationen erklärt, was eben dann auch auf dasselbe herauskommen würde, wenn die Translationen erst bei inneren Verflüssigungen möglich werden.

Die Frage, ob Gletscherkörner ausschliesslich infolge von Verflüssigungen wachsen oder ob nicht vielleicht auch eine Vereinigung zweier Körner zu einem Individuum im Sinne HEIM's dann erfolgt, wenn benachbarte Körner in der Bewegung mit ihren Axen parallel orientirt werden, habe ich im Grönlandwerke als möglich offen gelassen, wie es auch MÜGGE thut. MÜGGE macht dann aber mit vollem Recht noch darauf aufmerksam, dass ein solches Wachsthum theilweise geradezu zu erwarten wäre, da nach meinen Beobachtungen die untersten Gletscherlagen vielfach eine gleichmässige Orientirung, also eine Parallelrichtung der Hauptaxen zeigten. Ob die Richtung der Nebenaxen in dieser Frage auch in Betracht kommt und ob der von MÜGGE vorgeschlagene Weg, die Frage dadurch zu klären, dass man die Richtungen dieser untersucht, zum Ziel führen wird, ist allerdings zweifelhaft, da durch HAGENBACH-BISCHOFF zu wiederholten Malen mit Nachdruck auf die interessante Thatsache aufmerksam gemacht ist, dass bei den Gletscherkörnern die TYNDALL'schen Schmelzfiguren rund sind und nicht hexagonale Sterne, wie beim Wassereise, was darauf hinzudeuten scheint, dass in den Gletscherkörnern die Richtungen der Nebenaxen nur unvollkommen oder gar nicht zur Entwicklung gelangen. Es wäre von hohem Interesse, dieses durch HAGENBACH-BISCHOFF gestellte Problem weiter zu verfolgen.

MÜGGE fasst seine Ansichten über die Structur des grönländischen Inlandeises und ihre Bedeutung für die Theorie der Gletscherbewegung schliesslich dahin zusammen, dass bei der letzteren die Plasticität des Eises, seine Fähigkeit unter Druck zu schmelzen und die Kornstructur als wesentliche Factoren erscheinen. In welchem Verhältniss Plasticität oder Translationsfähigkeit einerseits und Druckschmelzung andererseits zur Beweglichkeit beitragen, bleibt auch bei ihm offen. Da nun die Kornstructur bei der Eisbewegung nur insofern in Betracht kommt, als an den Korngrenzen Verflüssigungen erfolgen, aber durchaus nicht ausschliesslich daran, da es ferner bei den Translationen noch unentschieden ist, ob sie nicht selbst durch Verflüssigungen parallel zur Basis erst ermöglicht werden, wie die Experimente MÜGGE's z. Th. vermuthen lassen, und unter allen Umständen neben den Translationen auch nach MÜGGE's

Ansicht innere Verflüssigungen eine grosse Rolle spielen, muss ich nach wie vor den steten Wechsel des Aggregatzustandes als das wesentlichste Moment bei der Eisbewegung bezeichnen. Die in der Translationsfähigkeit begründete Plasticität des Eises ist vielleicht nichts anderes als die Ausdehnung der an den Korngrenzen ansetzenden Lockerung des Gefüges durch Verflüssigung oder Druck auf die Grundformen der Eiskrystalle, nämlich auf die dünnen Plättchen, welche die Körner bilden. Hierauf deuten auch die Schmelzfiguren hin.
