

Bericht der internationalen Gletscherkommission.

Dem IX. Internationalen Geologen-Kongreß zu Wien 1903 erstattet
von S. Finsterwalder, z. Z. Präsident der Kommission.

Die internationale Gletscherkommission, welche 1894 vom VI. Geologen-Kongreß in Zürich zum Studium der Größenänderung der Gletscher in den verschiedenen Gegenden des Erdballes eingesetzt wurde, hat seit der letzten Berichterstattung in Paris 1900 ihre Tätigkeit in der bis dahin eingehaltenen Richtung fortgesetzt und jährlich eine Zusammenstellung der von den einzelnen Mitgliedern gesammelten Nachrichten über die Gletscherschwankungen ihres Landes veröffentlicht.¹⁾ Die letzte dieser Veröffentlichungen, welche sich auf das Jahr 1902 bezieht, habe ich die Ehre, dem IX. internationalen Geologen-Kongreß vorzulegen. Die Kommission hat im Laufe der letzten drei Jahre in der Person des Professors J. Muschketow ein hervorragendes und überaus pflichteifriges Mitglied, den Vertreter für Rußland, verloren. Mit dem Ausdrucke der tiefen Trauer über diesen Verlust verbinde ich die zuversichtliche Hoffnung, daß sein von der Kommission gewählter Nachfolger, Herr Oberst J. v. Schokalsky, die für unsere Ziele besonders wichtige Vertretung des russischen Reiches in gleich erfolgreicher Weise weiter betätigen wird, so wie er es in der Zwischenzeit seit dem Hinscheiden seines Vorgängers bereits getan hat. Die Organisation der Kommission hat sich auch in den verflossenen drei Jahren gut bewährt. Dank dem regen Eifer ihrer Mitglieder sind die Nachrichten aus den wichtigsten Gletschergebieten regelmäßig eingelaufen. Die nationale Organisation hat namentlich in Frankreich durch Gründung einer französischen Gletscherkommission eine erfreuliche Kräftigung erfahren. Es ist ein dringender Wunsch unserer Kommission und entspricht einem unabweisbaren Bedürfnis, daß eine ähnliche Organisation in England, von wo aus die Anregung zur Gründung der internationalen Gletscherkommission erging, geschaffen werde, damit die

¹⁾ Vergl. Archives des Sciences physiques et naturelles 1896—1903. Genève.

wichtigen Gletschergebiete des Himalaya und der neuseeländischen Alpen eine regelmäßige Überwachung erfahren. Die Kosten der Verwaltung der Kommission hat wie seit ihrer Gründung der Ehrenpräsident Prinz Roland Bonaparte bestritten, wofür ihm auch an dieser Stelle der gebührende Dank ausgesprochen sei.

Wenn wir nun zu den positiven Resultaten übergehen, welche unsere Kommission zutage gefördert hat, so müssen wir zunächst daran erinnern, daß die neun Jahre ihres Bestehens einen sehr kurzen Zeitraum im Vergleiche zu jenen bedeuten, innerhalb welcher sich die Gletscherschwankungen abspielen. Mit einiger Wahrscheinlichkeit können wir erwarten, daß die von E. Brückner entdeckte 35jährige Klimaschwankung, so wie sie die Veränderungen der Alpengletscher beherrscht, auch jene der übrigen Gletscher der Erde beeinflußt. Nicht minder wahrscheinlich ist indessen die Existenz längerer klimatischer Perioden, welche an den Gletschern ebenso zum Ausdruck kommen müssen wie die 35jährige und deren Verhalten ungemein kompliziert gestalten. Zweifellos ist außerdem der individuelle Charakter der Veränderungen des einzelnen Gletschers, je nach seinen Neigungsverhältnissen, den Größenbeziehungen zwischen Sammelgebiet und Zungenfläche und ähnlichen orographischen Elementen. Wir stehen daher vor einem Phänomen von ungeheurer Variabilität im einzelnen, dessen Studium uns erst eine lange Reihe von Jahren beschäftigen wird, ehe wir die Gesetze des Zusammenhanges zwischen Klima und Gletschergröße klar erkennen können. Die bemerkenswerteste und für alle bekannten Gletschergebiete der Erde sichergestellte Tatsache ist das Vorherrschen der rückgängigen Tendenz der Gletscher in der gegenwärtigen Zeit. Der stationäre Zustand und das Vorschreiten einzelner Gletscher erscheinen als Ausnahmen und energische, ins Auge fallende Verstöße sind geradezu Seltenheiten. Diese Ausnahmen, welche naturgemäß das Interesse der Spezialforscher beherrschen, finden sich überall und verlaufen keineswegs regellos. So ist in den Alpen, die auch in dieser Richtung weitaus das bestdurchforschte Gebirge darstellen, ein gleichzeitiges Auftreten der vorschreitenden Gletscher innerhalb einer Gruppe und ein Wandern des gruppenweisen Auftretens, ausgehend von der höchsten Gruppe des Montblanc, nach Osten und Süden unverkennbar. Von der Montblancgruppe aus, wo übrigens die vorschreitende Tendenz in den achtziger Jahren allgemein war und seither gänzlich verschwunden ist, rückte innerhalb 20 Jahre das Vorkommen wachsender Gletscher bis zum äußersten Osten, der Ankogel- und Hochalmspitzgruppe vor, wobei allerdings die Intensität des Vorschreitens im allgemeinen abgenommen hat. Es wird eine lohnende Aufgabe der Zukunft sein, die orographischen und vielleicht auch

klimatischen Ursachen jener Wanderung festzustellen und namentlich auch das Überspringen einzelner am Alpenrande gelegener und die Bevorzugung anderer der Zentralkette angehöriger Gebirgsgruppen zu erklären. Von den vorhin als Seltenheiten bezeichneten auffallenden Vorstößen möge hier nur jener des Vernagtferners im Herzen der Ostalpen Erwähnung finden. Dieser Gletscher ist in den Jahren 1897—1902 um etwa 400 *m* gewachsen, was an sich nichts Außerordentliches ist. Dabei hat sich aber seine Abflußgeschwindigkeit an einem bestimmten Profil an der Wurzel der Zunge in geometrischer Progression von 17 *m* auf über 250 *m* gesteigert, um dann plötzlich innerhalb eines Jahres auf 80 *m* wieder zu sinken. Allein der Vernagtferner ist in vieler anderer Hinsicht ein Unikum, dessen fleißiges Studium der Gletscherkunde noch manche Aufklärung bringen wird. Die scheinbare Regellosigkeit und der Mangel auffallender Ursachen der Gletscherschwankungen haben schon lange Erklärung gefordert und eine Theorie gezeitigt, welche sich an die Namen meiner beiden hochverdienten Vorgänger in der Leitung der Gletscherkommission, Prof. F. A. Forel¹⁾ in Morges und Prof. E. Richter²⁾ in Graz, knüpfen. Hiernach kommen für die Gletscherschwankungen zwei Ursachen in Betracht: eine weit zurückliegende, nämlich die Füllung des Sammelbeckens, und eine augenblicklich wirksame, die Ablation. Die Verknüpfung beider Ursachen geschieht in folgender Weise. Starke Füllung des Firnbeckens erhöht den obersten Querschnitt der Zunge. Der größere Querschnitt hat die Neigung, rascher abwärts zu wandern, er schwellt die weiter abwärts liegenden an, die ihrerseits ein rascheres Tempo einschlagen, und so pflanzt sich die Tendenz zum Wachsen rascher nach unten fort, als das Eis selbst. Der angeschwollene Gletscher fließt rascher als der schwächere und liefert mehr Eis als die Ablation fortzuschaffen vermag; er verlängert sich, und zwar so weit, bis entweder das Firnfeld erschöpft ist oder der Gletscher eine Größe erreicht, auf welcher die Ablation die gesteigerte Massenzufuhr aufzuzehren imstande ist. Liefert das Firnfeld weniger Eis, als der gesteigerten Abflußtendenz des Gletschers entspricht, so tritt eine Erniedrigung des obersten Querschnittes der Zunge und damit eine geringere Geschwindigkeit desselben ein. Auch die unteren Querschnitte werden dann geringer ernährt und sinken ein, indem sie zugleich ihre Geschwindigkeit vermindern; die Ablation überwiegt und trägt zur weiteren Erniedrigung der Querschnitte bei; der Gletscher geht rasch zurück, indem die wenig

¹⁾ Essai sur les variations périodiques des glaciers. Archives des Sciences phys. et naturelles. 1881, pag. 5 und 448.

²⁾ Beobachtungen an den Gletschern der Ostalpen. Zeitschrift des Deutschen und Österr. Alpenvereins 1883, pag. 57.

bewegten Eismassen fast an Ort und Stelle schmelzen. Gesteigert wird der Vorgang wesentlich, sobald die Ablation in der Periode des Vorschreitens kleiner, in jener des Zurückweichens größer als im Durchschnitt wird. Es legen dann die rasch bewegten vorschreitenden Eismassen einen noch längeren Weg zurück, ehe sie durch die Ablation vernichtet werden, und die langsam bewegten Eismassen des Rückzugsstadiums kommen noch weniger weit, ehe sie zu Wasser werden.

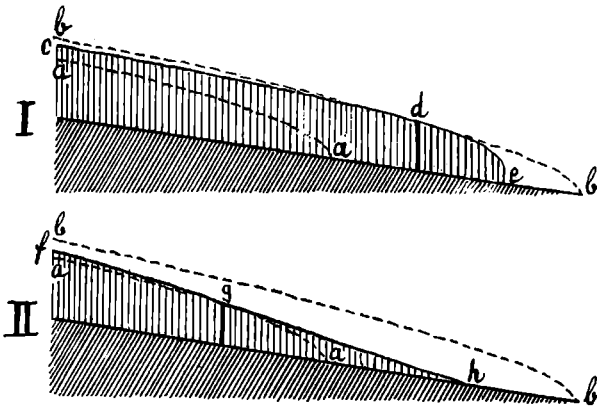
Die Folgerungen aus der Forel-Richterschen Theorie stehen mit den an den Alpengletschern beobachteten Tatsachen in guter Übereinstimmung und bestätigen somit die Voraussetzungen derselben. Dennoch bleibt dem Wunsche Raum, es möchten die nur qualitativ gezogenen Folgerungen durch eine quantitative mathematische Analyse kontrolliert und erweitert werden. Eine solche läßt sich verhältnismäßig leicht durchführen, wenn man die Voraussetzungen der Theorie in geeigneter Weise formuliert. Wir legen den Betrachtungen einen idealen zweidimensionalen Gletscher zugrunde, wie er etwa in dem Längsschnitt eines wirklichen Gletschers vorliegt. Genauer würden die Resultate der folgenden Ableitungen für den Längsschnitt eines breiten Hängegletschers auf gleichförmig geneigter Unterfläche gelten, bei dem der Einfluß der seitlichen Ränder verschwindet. Ferner nehmen wir an, daß der Gletscher nur an der Oberfläche abschmelze, und zwar gleichförmig über die ganze Zunge proportional der Horizontalprojektion. Auch die Neigung des Bettes sei gleichmäßig und die Geschwindigkeit des Abfließens eines Querschnittes werde proportional einer passenden Potenz der Dicke des Eises, nach Analogie mit dem fließenden Wasser etwa proportional der Wurzel aus der Tiefe gesetzt. Irgendeine Stelle, bezw. ein Querschnitt des Gletschers sei durch seine Entfernung x von dem obersten Querschnitt, an welchem die Eismassen vom Firnfeld in den Gletscher eintreten, gekennzeichnet. Die Dicke y des Gletschers ist dann eine Funktion von x und außerdem von der Zeit t und, wenn wir diese Funktion kennen, so ist das Problem der Gletscherschwankung unter den genannten Voraussetzungen mathematisch gelöst. Wir können aus dieser Funktion zu jeder Zeit die Abhängigkeit der Dicke des Eises y von der Entfernung x vom oberen Querschnitt, d. h. das Längsprofil des Gletschers, entnehmen und außerdem berechnen, wie sich in einer bestimmten Entfernung x die Eisdicke y mit der Zeit t verändert. Zur Bestimmung dieser Funktion haben wir eine lineare partielle Differentialgleichung 1. O. ¹⁾, die den mathematischen Ausdruck der soeben formu-

$$1) (n + 1) ky^n \frac{dy}{dx} + \frac{dy}{dt} = -a,$$

wo k von der Neigung des Bettes abhängt und a die Ablation in der Zeiteinheit bedeutet. Die Integration läßt sich nach bekannten Regeln ausführen. Besondere

lierten Voraussetzungen bildet, und außerdem müssen wir wissen, wie sich der Anfangsquerschnitt der Zunge mit der Zeit ändert. Die Integration der Differentialgleichung läßt sich allgemein durchführen und in eine verhältnismäßig einfache geometrische Konstruktion der sukzessiven Längsprofile des veränderlichen Gletschers umsetzen. Gestatten Sie mir, daß ich Ihnen einige Resultate diesbezüglicher Konstruktionen vorführe. Es liegen ihnen noch die speziellen Annahmen zugrunde, daß die Geschwindigkeit eines Querprofils der Wurzel aus der Eisdicke proportional ist und daß der oberste Querschnitt regelmäßige wellenförmige Schwankungen von gleicher Dauer und gleicher Amplitude macht. Außerdem ist die Ablation zunächst unabhängig von der

Fig. 1.



I. Vorrückender Gletscher. — II. Zurückweichender Gletscher.

aa = untere Grenze der Minimalstände der Profile.

bb = obere Grenze der Maximalstände der Profile.

Auf den Strecken de und fg sind die Profile im Zunehmen; auf den Strecken cd und gh im Abnehmen begriffen.

Zeit vorausgesetzt. Unter solchen Verhältnissen gilt der Satz, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwelung über die Gletscherzunge überall proportional der Abflußgeschwindigkeit ist, und zwar $1\frac{1}{2}$ mal¹⁾ so groß als jene. Die Schwankung der Gletscheroberfläche (Fig. 1) spielt sich dabei in einem Raume ab, der nach oben begrenzt ist von einer Gletscherfläche, die einem stationären Gletscher zugehört, für welchen sich der oberste Querschnitt dauernd auf der Maximalhöhe erhält, während die untere Grenze der Gletscheroberfläche einem stationären

Untersuchung erheischen die Singularitäten am Gletscherende ($y = 0$). Als Formel für die Abflußgeschwindigkeit v wurde: $v = ky^n$ angenommen.

¹⁾ Im allgemeinen Falle: $(n + 1)$ mal.

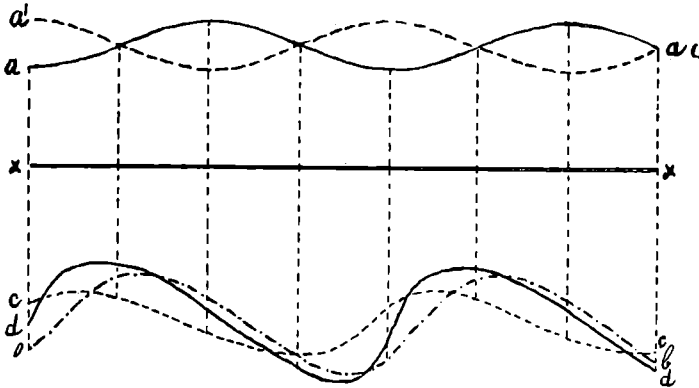
Gletscher entspricht, dessen oberster Querschnitt dauernd auf dem Minimalstande seiner Schwankung verbleibt. Niemals ist der Raum zwischen den beiden Grenzen ganz mit Eis erfüllt, der Gletscher hält sich während des Vorstoßes zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Stellen der oberen Grenze, ohne sie in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig zu erreichen, wie er auch während des Rückganges die untere Grenze zu verschiedenen Zeiten an immer anderen Stellen erreicht. Gegen Schluß des Vorschreitens ist immer ein Querschnitt an der oberen Grenze; die oberhalb gelegenen Querschnitte nehmen bereits ab, die unterhalb gelegenen steigen noch, der kritische Querschnitt, der stets aus anderen Eisteilen besteht, wandert mit der Schwellungsgeschwindigkeit abwärts. Ist derselbe an das Gletscherende gekommen, so ist das Maximum der Länge erreicht und die Abnahme der Querschnitte greift über die ganze Zunge. Das Rückzugstadium beginnt. Ein zweiter kritischer Querschnitt, aus immer neuen Eisteilchen gebildet, oberhalb dessen die Querschnitte sich heben, während sie unterhalb abnehmen, bewegt sich mit der nun wesentlich geringer gewordenen Schwellungsgeschwindigkeit nach abwärts und wenn er am Ende angelangt ist, so tritt das Minimum der Zungenlänge ein. Von da ab herrscht Zunahme über der ganzen Zunge. Sehr auffällig sind die Unterschiede in der Form des Längsprofils während der verschiedenen Stadien der Gletscherschwankung. Mit Beginn des Vorstoßes wölbt sich die Gletscherstirn und bildet alsbald eine steile Wand, die an Höhe zunimmt. In dem Maße, wie der Vorstoß seinem Ende entgegengeht, nimmt die Höhe der Steilwand ab, um beim Eintritt des Maximums wieder zu verschwinden. Während des Vorstoßes ist das Längsprofil stark nach oben gewölbt (Fig. 1, I). Nach Ablauf desselben verschwindet die Wölbung alsbald und macht erst einer geradlinigen, später einer leicht eingesunkenen Profillinie Platz (Fig. 1, II). Das Gletscherende läuft dünn aus und zieht sich rasch zurück. Erst wenn die von oben herablaufende Schwellung dem sich zurückziehenden Ende begegnet, bildet sich wieder die normale Form der Gletscherstirn aus.

Wir wenden uns nun der Frage zu: In welcher Weise kommt die als regelmäßige Sinusschwankung vorausgesetzte Änderung des obersten Querschnittes in der Schwankung des Zungenendes zum Ausdruck? Die Antwort lautet: Erstens in verstärktem Maße, d. h. das Verhältnis vom Maximum zum Minimum der Zungenlänge ist größer als jenes der größten und kleinsten Eisdicke am obersten Querschnitt; zweitens zeitlich verspätet, insofern die Extreme der Zungenlängen nach jenen der Eisdicken am obersten Querschnitt eintreten, und zwar ist die Verspätung des Maximums größer als jene des Minimums; das

Gletscherende geht langsam vor und rasch zurück (Fig. 2). Dieser Umstand widerspricht einigermaßen der Erfahrung, insofern viele Gletscher rasch wachsen und langsam schwinden. Der Widerspruch kann dadurch gelöst werden, daß man annimmt, die Schwankung des obersten Querschnittes sei keine regelmäßige, sondern weise steilen Anstieg und flachen Abfall auf.

Bisher haben wir ausschließlich die Längenänderung des Gletschers in Betracht gezogen. Mit ihr geht die Volumänderung keineswegs parallel. Es tritt vielmehr das Maximum des Volumens

Fig. 2.



aa = Linie, welche die zeitlichen Schwankungen des obersten Querschnittes (der Zufuhr) anzeigt.

$a'a'$ = Linie, welche die zeitlichen Schwankungen der Ablation anzeigt.

cc = Änderung der Länge (xc) eines Gletschers mit konstanter Zufuhr und variabler Ablation.

bb = Änderung der Länge (xb) eines Gletschers mit variabler Zufuhr bei konstanter Ablation.

dd = Änderung der Länge (xd) eines Gletschers mit variabler Zufuhr und variabler Ablation.

erheblich vor jenem der Länge ein und auch das Minimum des Volumens geht jenem der Länge voraus.

Wie ich vorhin betonte, blieb bei den soeben angestellten Untersuchungen die zeitliche Veränderung der Ablation außer Betracht. Falls wir dieselbe berücksichtigen und eine Schwankung in gleichem Zeitraum und in verhältnismäßig gleicher Größe für sie annehmen, wie vorhin für den obersten Querschnitt, so ergibt sich folgendes: Für einen Gletscher von konstanter Zufuhr, d. h. unveränderlichem obersten Querschnitt sind die durch die veränderliche Ablation hervorgerufenen Längsschwankungen verhältnismäßig kleiner

als jene der Ablation. Die Extreme sind zwar auch etwas verspätet, aber nur ganz unbedeutend. Wirken die Schwankungen der Zufuhr und der Ablation in der Weise zusammen, daß dem Minimum der Zufuhr ein Maximum der Ablation und umgekehrt entspricht, so verstärken sich die Extreme der Längsschwankung. Die Verspätung der Extreme wird vermindert, die Rückzugsgeschwindigkeit vermehrt und das Minimum verbreitert, so daß annähernd jener von Forel als typisch erklärte Fall eintritt, wo der Minimalzustand die Regel, der Vorstoß die Ausnahme bildet. (Fig. 2.)

Es zeigt sich also, daß der mathematische Gletscher, d. h. jenes künstliche, abstrakte Gebilde, das durch wenige einfache Gesetze regiert wird, die Eigentümlichkeiten eines wirklichen Gletschers, wie sie die Natur hervorbringt, in vielen Punkten überraschend genau wiedergibt und daß die Forel-Richtersche Theorie der Gletscherschwankungen mithin auch vor dem Forum der mathematischen Analyse stand hält. Dennoch wäre es übereilt, sie als für alle Fälle ausreichend zu erklären. Der Vorstoß des Vernagtferners in den letzten Jahren hat uns ein Beispiel geliefert, wo ihre Voraussetzungen entschieden nicht erfüllt sind, wie sehr auch der Ablauf des Vorstoßes in manchen Dingen der Theorie entspricht. Die großen Geschwindigkeitsänderungen an der Wurzel der Zunge von 17 *m* auf 250 *m* sind vor sich gegangen, ohne daß der Querschnitt an dieser Stelle entsprechende Schwankungen aufweist. Derselbe ist vielmehr nach einer Schwellung von etwa 15 *m* fast unverändert geblieben und namentlich auch dann noch, als die Geschwindigkeit bereits wieder auf 80 *m* gesunken war. Schon vor bald 20 Jahren hat Prof. M. v. Frey¹⁾ auf das kaskadenförmige, ja eruptive Ablaufen mancher Gletschervorstöße hingewiesen, das durch die Forel-Richtersche Theorie nicht zu erklären sei. Neuerdings hat Prof. H. Hess²⁾, der an der Erforschung des Vernagtferners großen Anteil hat, experimentell gezeigt, daß Eis unter gleichem Druck mit immer wachsender Geschwindigkeit ausfließt und diesen Umstand auf eine mit der Zeit vom Beginn des Fließens an abnehmende innere Reibung des Eises zurückgeführt. Noch sind die Anschauungen über diese Veränderung der Eigenschaften des Eises während des beschleunigten Fließens zu wenig präzisiert, um sie einer mathematischen Analyse zugrunde zu legen; hier führt eben die Erforschung der Gletscherschwankungen zu neuen Fragestellungen der Glazialphysik. Ähnlich wie in diesem Falle ein begrenztes geographisch-klimatolo-

¹⁾ Über die Ursachen der Gletscherschwankungen. Zeitschrift des Deutschen und Österr. Alpenvereins 1883, pag. 244.

²⁾ Plasticität und innere Reibung des Eises. Annalen der Physik. Bd. 8, 1902, pag. 405.

gisches Problem die Glazialphysik anregt, ist auch unsere Kommission, die zum Studium jenes Problems eingesetzt ist, ein nicht zu unterschätzender Faktor in der Förderung der allgemeinen Gletscherkunde. Sie bildet nicht nur den natürlichen Vereinigungspunkt der Forscher, welche großangelegte und mühevollere Versuchsreihen an Gletschern, so am Rhonegletscher, am Hintereisferner, an der Mer de Glace, an schwedischen Gletschern und anderwärts, durchführen, in ihren Berichten kommen auch die zahlreichen Entdeckungen neuer Gletschergebiete, so namentlich innerhalb des russischen Reiches und in Nordamerika, zum Ausdruck und manches für die Gletscherkunde wichtige Faktum findet dort den gebührenden Platz. Ich erinnere nur an die Tatsache, daß im Jahre 1899 der Muirgletscher in Alaska infolge eines Erdbebens $2\frac{1}{2}$ km seines ins Meer mündenden Endes verlor, oder an die Existenz grönländischer Gletscher, die im Laufe der Zeit ihr Firnfeld durch Abschmelzung eingebüßt haben, während das Eis der Zunge, durch Schutt geschützt, zum Teil erhalten geblieben ist.

Die internationale Gletscherkommission hat sich in der Sitzung vom 22. August 1903 statutengemäß neu konstituiert und für die nächsten drei Jahre Herrn Prof. Harry Fielding Reid aus Baltimore, den Vertreter für Nordamerika, zum Präsidenten gewählt. Das Amt des Sekretärs ist Herrn Ernst Muret, Chef du service des forêts du canton de Vaud, in Lausanne weiter übertragen worden. Die Kommission hat eine Anzahl um die Gletscherkunde hochverdienter und für die Förderung der speziellen Zwecke derselben eifrig bemühter Männer zu korrespondierenden Mitgliedern vorgeschlagen. Es sind dies die Herren: Dr. A. Blümcke, Professor in Nürnberg, Dr. Hans Hess, Professor in Ansbach, Hofrat Dr. A. Penck, Professor in Wien, und G. Vaux, Ingenieur in Philadelphia. Sie erbittet vom IX. Internationalen Geologen-Kongreß die Verlängerung ihres Mandats auf weitere drei Jahre und hofft der ihr gestellten Aufgabe in immer vollkommenerer Weise gerecht zu werden.

Mag immerhin das in wohlwogener Absicht engbegrenzte Arbeitsgebiet unserer Kommission dem Interessenkreise der meisten Geologen ferner liegen, mag dasselbe vielleicht in bezug auf Arbeitsmethode der Geographie und Klimatologie näher stehen, in einem Hauptpunkte weist es seine Zugehörigkeit zur Geologie unverkennbar auf: es ist die notwendig zu bewältigende Vorstufe zur Erkenntnis der Eiszeit. So sei es denn der internationalen Gletscherkommission gegönnt, unter der Ägide des Internationalen Geologen-Kongresses jene langjährige Tätigkeit zu entfalten, die allein einen vollen Erfolg verbürgt.