

NEUE ERGEBNISSE  
UND  
PROBLEME DER GLETSCHERFORSCHUNG

VON

DR. EDUARD RICHTER

O. Ö. PROFESSOR AN DER K. K. UNIVERSITÄT IN GRAZ

---

(NACH EINEM IN DER MONATS-VERSAMMLUNG DER K. K. GEOGRAPHISCHEN GESELLSCHAFT  
IN WIEN AM 23. NOVEMBER 1898 GEHALTENEN VORTRAGE)

---

SONDER-AUSGABE

AUS DEN

ABHANDLUNGEN DER K. K. GEOGRAPHISCHEN GESELLSCHAFT IN WIEN, I. 1899

1899. II. 75.  
30828.

---

WIEN 1899

R. LECHNER  (WILH. MÜLLER)

K. U. K. HOF- U. UNIVERSITÄTS-BUCHHANDLUNG

Es ist in den Naturwissenschaften viel weniger schwierig, eine bestimmte Untersuchung auszuführen und in zweckmäßiger Weise anzuordnen, als herauszufinden, welche Art von Untersuchung überhaupt anzustellen in einem gegebenen Momente zweckmäßig und angezeigt ist. Darüber Einsicht und Uebersicht zu gewinnen ist wohl nur auf dem Wege möglich, dass man sich die Mühe gibt, Sicheres und Unsicheres genau zu scheiden und die Probleme möglichst sauber und klar vor Augen zu stellen. Dazu hilft aber am besten die Verfolgung der Geschichte der gewonnenen Erkenntnisse. Da gegenwärtig einige neue, nicht unwichtige Entdeckungen auf dem Gebiete der Gletscherkunde vorliegen, scheint es nicht unpassend, einen solchen Rück- und Vorblick zu versuchen.

So ungemein ausgebreitet die Gletscherliteratur ist — enthält doch der Literaturband von Dollfus-Ausset «*Matériaux pour l'Étude des Glaciers*» schon 1864 mehrere Tausend Nummern — so ist doch der Kreis der engeren Mitarbeiter an den betreffenden Fragen stets ziemlich beschränkt gewesen. Es lassen sich daher die einzelnen Personen und Kreise in ihrem wissenschaftlichen Zusammenhange ziemlich genau verfolgen.

Von den ersten und ältesten Stadien kann abgesehen werden; die älteste Periode, deren Studien und Resultate für uns noch Geltung haben, ist die Agassiz'sche. Dieser energische Forscher hat in den Vierzigerjahren ein großes Centrum glacialer Studien geschaffen. Die Anregung war gegeben durch das Interesse an der eben entdeckten Eiszeit. An dieses Centrum schließt sich der englische Kreis, zunächst James Forbes, und an ihn, wenn auch nicht ganz direct, John Tyndall. Den Engländern verdanken wir auch die Entdeckung der Regelation (durch Faraday) und deren Erklärung (durch W. Thomson).

In den Ostalpen sind directe Nachahmer Agassiz' und seiner Gefährten die Schlagintweit, dann Simony und Sonklar. Als eine Art literarischer Abschluss dieser Periode kann das Buch von Mousson «*Die Gletscher der Jetztzeit*», Zürich 1854, betrachtet werden.

Ein neuer Anstoß gieng 1868 von der Schweiz aus, wo Prof. Rambert in diesem Jahre die Gründung einer Gletschercommission beim Schweizer Alpen-Club

beantragte, die 1869 zusammentrat, aus drei Mitgliedern des Schweizer Alpen-Clubs und drei der Naturforschenden Gesellschaft bestehend. Nach mancherlei tastenden Versuchen, in anderer Weise die Gletscherkunde zu fördern, entschloss man sich 1874 zur Vermessung des Rhône-gletschers.

Der äußere Grund, der damals zur energischen Wiederaufnahme der Gletscherforschung — und zwar in der Form der Gletschervermessung — führte, war der gewaltige Rückgang der alpinen Gletscher, der schon zum Theile in den Fünfzigerjahren begann, sich im Decennium von 1860—1870, und noch mehr zwischen 1870 und 1875 in höchst auffallender Weise bemerkbar machte.

Er war es auch, der in den letzten Siebzigerjahren den damaligen Professor der Physiologie an der Akademie in Lausanne Franz Alfons Forel bestimmte, sich der Untersuchung der Gletscher zuzuwenden — ein Mann, der seither mehr als irgend ein anderer die Gletscherforschung mit neuen Gedanken befruchtet und durch glückliche organisatorische Anregungen gefördert hat.

Das erste unter den Verdiensten Forel's ist die Erklärung der Gletscherschwankungen. Bis dahin war es unklar gewesen, weshalb die Gletscher nicht nach der Witterung der einzelnen Jahre schwanken, sondern in viel längeren Perioden, und in einem Maße, das über die Witterungsschwankungen der einzelnen Jahre weit hinausgeht, so dass die Rückzugsperioden niemals durch Rückfälle unterbrochen werden.

Forel geht von der Erfahrung aus, dass sich der Gletscher umso schneller bewegt, je größer sein Querschnitt ist, und umso langsamer, je kleiner, was zunächst allerdings nur nach der Analogie der Bewegung des Wassers angenommen war, immerhin aber im allgemeinen den Erfahrungen entspricht.

Bei jedem Gletscher hängt die Ernährung der Eiszunge von der Größe des Querschnittes ab, mit dem die Eismasse aus dem Firnfeld in die Zunge eintritt. Sinkt nun infolge geringerer Niederschläge dieser Querschnitt ein, d. h. wird die Zufuhr verkleinert, so wird auch die Gletscherzunge kleiner werden müssen. Aber nicht bloß um so viel, als eben die Zufuhr sich verringert hat, sondern ganz wesentlich mehr. Der kleinere Querschnitt bewegt sich nemlich auch langsamer. Die Ablation oder Schmelzung des Gletschers ist aber abhängig von der Zeit. Bis der neue, kleinere Querschnitt das erste Kilometer seiner Bahn zurückgelegt hat, ist er nicht bloß um so viel durch die Ablation verkleinert, als es auch der größere wäre, sondern um so viel mehr, als er mehr Zeit gebraucht hat, dieses Kilometer zurückzulegen; wenn er also die doppelte Zeit gebraucht haben sollte, wäre er um das Doppelte verkleinert. Es wird also eine verhältnismäßig geringe Abnahme des Abflusses aus dem Firnfeld eine sehr bedeutende Verminderung der Eiszunge erzeugen können.

Darnach werden also die Verkürzungen der Gletscher in Rückgangsperioden erst durch die Verlangsamung der Abflussgeschwindigkeit, die mit der Verminderung des Abflusses verbunden ist, so bedeutend.

Forel hat diese Speculation dann umgedreht und gefolgert: wenn ein größerer Querschnitt aus dem Firnfeld tritt, so wird er sich schneller bewegen, daher auf demselben Wege weniger durch Abschmelzung verlieren, und um so viel mächtiger am Ende des Gletschers ankommen, dass dieser vorstößt; so wird schon eine kleine Vergrößerung des Profiles einen unverhältnismäßig großen Vorstoß erzeugen.

Ich halte das aber nicht für ganz richtig. Es kann sich zwar ein kleinerer Querschnitt ganz seiner Bewegungstendenz entsprechend langsamer bewegen, da ihn nichts nach vorwärts treibt; es kann sich aber ein größerer Querschnitt nicht nach seiner Tendenz schneller bewegen, da er die kleineren, sich langsamer bewegenden oder ganz bewegungslosen Querschnitte vor sich stehen hat, die ihn aufhalten und zurückstauen.

Es kann vielmehr die raschere Bewegung erst dann eintreten, wenn die Anstauung am Ausgange des Firnfeldes so stark geworden ist, dass sie den Widerstand der vorlagernden, langsamer bewegten Massen durch ihren Druck überwinden kann. Es setzt dies einen Zusammenschub dieser Massen voraus; dadurch erhalten diese selbst einen größeren Querschnitt und eine Tendenz zu schnellerer Bewegung. Jetzt erst kann die schnellere Bewegung durch die ganze Masse hin eintreten: auf demselben zurückgelegten Wege kann weniger Eis durch Schmelzung entfernt werden, da eben der Weg schneller zurückgelegt wird; der Gletscher wird daher viel mächtiger an der Stelle seines früheren Endes anlangen und muß sich verlängern — vorstoßen.

Diese, wie mir schien, nothwendige Ergänzung der Forel'schen Theorie habe ich schon 1883 ausgeführt, und Forel selbst hat dann im Rapport VIII. «Sur les Variations Périodiques des Glaciers» seine und meine Theorie einander gegenübergestellt, die Entscheidung weiteren Studien überlassend.

Es sind nun im Verlaufe der letzten Jahre einige Erfahrungen gesammelt worden, die, wie ich glaube, zu Gunsten meiner Auffassung sprechen.

Es hat sich gelegentlich einer eingehenden Kritik der Ueberlieferungen über die letzten großen Gletschervorstöße gezeigt, dass die Vorstöße stets schon wenige Jahre nach den kühlen und regenreichen Jahren eintreten, die sie aller Wahrscheinlichkeit nach hervorgerufen haben. Besonders bei dem großen und überaus deutlichen, in den ganzen Alpen gleichzeitig aufgetretenen Vorstoß der Jahre 1818 bis 1820 ist der Zusammenhang mit der kalten und regenreichen Periode, die vom Beginne des Jahrhunderts bis 1817 währte, unverkennbar und schon von den Zeitgenossen, z. B. von Charpentier, hervorgehoben worden. Noch 1816 und 1817 waren schwere Missjahre infolge von Kälte und Regen. Wenn aber eine Verlängerung der Gletscherenden in so kurzer Zeit nach der Ueberfüllung der Firnfelder mit Schnee eintreten konnte, so ist das ein Beweis dafür, dass der Vorstoß nicht erst dann erfolgt, wenn der erste Querschnitt, der eine größere Geschwindigkeit besitzt, am Ende angelangt ist, sondern dass die ganze Eiszunge — auch die alten Theile gegen das Ende zu — die Tendenz zu rascherer Bewegung erhalten haben müssen. Diese kann ihnen aber nur durch den Druck von hinten her eingeflößt werden. Denn auch bei den größten bisher beobachteten Geschwindigkeiten würde das Eis der großen Alpengletscher 20—30 Jahre gebrauchen, um vom Firnfeldausgang bis ans Gletscherende zu gelangen.

Eine noch gewichtigere Stütze hat aber meine Auffassung durch eine Beobachtung erhalten, die 1897 und 1898 am Gliederferner gemacht worden ist. Dieser 1885 von Prof. Finsterwalder zuerst vermessene Gletscher zeigt nemlich seit mehreren Jahren eine beschleunigte Bewegung und eine Anschwellung von der Mitte der Zunge aufwärts. (Am Ende ist er noch im Rückgang.) Nun hat sich aber gezeigt, dass die Schwellung schneller vorwärts rückt, als sich das Eis

bewegt; die vorderen Theile der Schwellung bestehen also nicht aus schnellerbewegtem, nachgeströmtem Eise, sondern aus altem, früher langsamerem, jetzt aufgetriebenem Eise. Aehnlich scheinen die Verhältnisse nach den Beobachtungen von Blümcke aus denselben Jahren am Vernagt zu liegen.

Dies wäre also eine directe Bestätigung des theoretisch als wahrscheinlich ermittelten Vorganges.

Soll nun diese wichtige Streitfrage zu einer Entscheidung gebracht werden, so sind sehr dichte Messungen der Geschwindigkeit und der Anschwellungen, also Nivellierungen, und zwar von Jahr zu Jahr wiederholte solche Messungen an einem unzweifelhaft vorgehenden, schon kartographisch vermessenen Gletscher nothwendig. Dies wäre also das erste Problem, das sich aus dem bisherigen Stande der Fragen ergibt, und dessen Verfolgung sich empfiehlt.

Auch ein Ergebnis der berühmten Vernagtaufnahme durch Prof. Finsterwalder spricht sehr zu Gunsten meiner Annahme, nemlich dass jedem Gletschervorstoß eine gewisse Aufspeicherung von Material im Firnfeld vorausgehen muß. Der Vernagtferner hat sich seit dem letzten Vorstoß von 1848 um 239 000 000  $m^3$  Eis verkleinert, und um ebenso viel müsste er zunehmen, um bei einem neuen Vorstoß sein leeres Bett wieder zu füllen. Da aber sein Firnfeld nur 1 200 *ha* groß ist, kann diese Masse unmöglich in wenigen nasskalten Jahren zuwachsen; das Firnfeld muß sich durchaus um 20 *m* Eis erhöhen. Erst wenn man durch 20 Jahre den ganzen Abfluss des Gletschers sperren könnte, würde ungefähr eine ähnliche Quantität zusammenkommen. Nun konnte nachgewiesen werden, dass die Gletscherschwankungen im allgemeinen mit den Brückner'schen Klimaschwankungen parallel gehen, also die Vorstöße sich ungefähr alle 35 Jahre wiederholen. Der Vernagt stößt aber nur bei jeder zweiten oder dritten Klimaschwankung vor. Er stieß vor in den kalten Perioden von 1600, 1680, 1770 und 1850; er stieß aber nicht vor in den Perioden von 1630, 1715, 1820 und 1880. Er muß also die Eigenschaft besitzen, Material durch viele Jahre hindurch aufzuspeichern. Dies ist ein starkes Argument für die früher entwickelte Auffassung.

\* \* \*

Nicht geringere Verdienste als um die Erklärung der Gletscherschwankungen hat sich Prof. Forel um die Sammlung der Daten über diese Erscheinung erworben. Er hat zuerst in seinen (bisher 18) «Rapports sur les Variations Périodiques des Glaciers» die Daten über die Größenveränderung der Gletscher während der letzten Jahre und auch in früheren Perioden gesammelt und veröffentlicht, und in vielen Gegenden der Schweiz einen wirklichen Beobachtungsdienst eingerichtet. Nur durch diese genauen Beobachtungen wurde es möglich, die eben jetzt verlaufende, sehr schwach angedeutete Vorstoßperiode der Alpengletscher überhaupt zu erkennen.

Seine Daten waren es auch hauptsächlich, die mir den Muth gegeben haben, eine Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher zu versuchen, bei der sich nach Sichtung des Materials herausgestellt hat, dass für die letzten drei Jahrhunderte, soweit eben die historischen Daten reichen, die Gletscherschwankungen mit den von Brückner ermittelten 35jährigen Klimaschwankungen parallel gehen, so zwar, dass jeder feuchtkalten Periode ein Vorstoß der Alpengletscher entspricht.

Dem gleichen Bestreben, die Schwankungen der ostalpinen Gletscher zu verfolgen, ist eine lange Reihe ähnlicher Unternehmungen in den Ostalpen entsprungen. Die ältesten darunter — und schon durch die lange Zeit, die sie umspannen, höchst werthvoll — sind die Beobachtungen Friedrich Simony's an den Gletschern des Dachsteins. Die Anregung Simony's zu diesen Studien geht bekanntlich direct auf die Agassiz'sche Zeit zurück. Die K. K. Geographische Gesellschaft hat in den letzten Jahren durch die von ihr veranlasste Vermessung des Karlseisfeldes eine Lücke ausgefüllt, die unser verehrter Meister gelassen hatte, da er sich zu kartographischen Aufnahmen nicht entschließen konnte und seine ganze Kraft der bildlichen Darstellung widmete, in der er freilich Unerreichbares geleistet hat. Mit der kartographischen Aufnahme durch Herrn Obersten von Grollier hat die Gesellschaft die Möglichkeit eröffnet, die schon über 50 Jahre zurückreichenden Beobachtungen am Karlseisfeld weiter — so zu sagen ins Unendliche — fortzusetzen. Denn diese Aufnahme ist kein Abschluss, sondern ein Anfang, eine Basis für weitere Verfolgung desselben Zieles, und die Gesellschaft würde sich den wärmsten Dank aller für die Sache Interessierten sichern, wenn sie die Nachmessung des Dachsteingletschers — etwa alle fünf Jahre — dauernd in ihr Programm aufnähme.

Eine weitere Serie von Vermessungen zur Feststellung der Gletscherschwankungen ist dann am Beginn der Achtzigerjahre durch die Markierungen Oberbergrath Seeland's in Klagenfurt an der Pasterze eröffnet worden, sowie durch meine kartographischen Aufnahmen des Karlingergletschers und des Obersulzbachgletschers im Jahre 1880, die in letzter Linie auf Simony's Gedankenkreis zurückgehen, direct aber von Prof. Alphonse Favre in Genf und das Beispiel der Rhône-gletscher-Vermessung veranlasst waren. Diesen ersten Vermessungen folgten viele andere: Gliederferner, Gepatsch-, Salden- und Vernagtferner durch Finsterwalder, Alpeinerferner durch Pfaunder, Hochjoch- und Hintereisferner durch Blümcke und Hess, die Uebergossene Alm durch H. Crammer, die Sonnblickgletscher durch Penck, die drei Gletscher des Schwarzensteingrundes durch Forster 1898, denen sich zahlreiche Nachmessungen anschlossen. Diese Unternehmungen hatten zunächst den Zweck, den Betrag des bisherigen Rückganges festzustellen und für Erkenntnis späterer Schwankungen, besonders von Vorstößen, die sich freilich bisher nur in geringem Grade eingestellt haben, Daten zu gewinnen. Demselben Zwecke dienten auch zahlreiche Markierungen von Gletscherenden, die besonders durch die Alpenvereins-Section Breslau (in den Oetzthaler Alpen) und durch Dr. Magnus Fritsch aus Leipzig auf Veranlassung des Central-Ausschusses des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereines vorgenommen wurden.

Meiner Ansicht nach genügen die Arbeiten, die bisher in dieser Richtung unternommen worden sind, um den gestellten Zweck zu erreichen. Es wird sich damit dauernd auch für die Folgezeit das Bild der Veränderungen an den Gletschern der Ostalpen festhalten lassen, und es scheint nicht nöthig, noch weitere Gletscher neu aufnehmen zu lassen. Vielmehr ist es geboten, fortwährende Nachmessungen an den bereits vermessenen Gletschern vorzunehmen, damit das ausgelegte Capital an Arbeit und Geld auch die wünschenswerthen Früchte trage. Darauf sollen also alle daran interessierten Körperschaften in erster Linie ihr Augenmerk richten.

Die Gletscher der Alpen sind der Ausgangspunkt der Gletscherforschung gewesen. Sie haben sich als ein wichtiger Anzeiger für die Klimaschwankungen erwiesen. Es lag nahe, die Untersuchung auch auf die Gletscher der übrigen Welt auszudehnen. Zu diesem Zwecke wurde auf dem Geologen-Congress in Zürich 1894 die Commission Internationale des Glaciers gegründet. Der Zweck dieser Vereinigung ist, Daten über die Gletscherschwankungen aus der ganzen Welt zusammen zu bringen. Aus jedem Reiche, das innerhalb seiner Grenzen oder Colonien Gletscher besitzt, wurde ein Vertreter gewählt; Forel war der erste Präsident.

Bisher sind drei «Rapports» dieser Commission erschienen, die besonders aus Russland und Skandinavien viele werthvolle neue Kunde enthalten. Freilich sind in den meisten auswärtigen Gebieten die Beobachtungen erst einzurichten; und so lange man noch daran ist, fortwährend neue Gletscher zu entdecken, kann man nicht hoffen, Nachrichten über deren Schwankungen in früherer Zeit zu erhalten. Nur eine reiche Erfahrung, die gerade Entdeckungsreisende selten besitzen, befähigt dazu, aus dem bloßen Anblick eines Gletschers zu erkennen, ob er im Vorgang oder im Rückzug begriffen ist; ja unter Umständen, wenn nemlich gerade ein Maximalstand erreicht oder überschritten ist, oder überhaupt die Schwankungen dem Maße nach unbedeutend sind, wird auch der Kundigste kein sicheres Urtheil abgeben können.

Sind also die Ergebnisse der Thätigkeit der Commission vorläufig noch bescheiden, so ist doch das Ziel, das ihr gesteckt wurde, der höchsten Anstrengungen würdig. Die Gletscher sind die sichersten und verlässlichsten Indicatoren der Klimaschwankungen; diese aber können wohl die größte Beachtung beanspruchen. Grundfragen der Naturerkenntnis können möglicherweise gelöst werden durch eine sichere Aufklärung über die Ursachen der Veränderungen des Klimas, die in vergangenen Perioden der Erdgeschichte stattgefunden haben. Vielleicht sind es neben einer anderen Vertheilung von Land und Wasser gerade Klimaveränderungen, die den Anstoß zu der Entstehung neuer und dem Verschwinden alter Arten gegeben haben.

Zunächst ist also die wichtigste Aufgabe der Commission, festzustellen, ob die für die Alpen erkannten Schwankungsperioden der Gletscher auch für die anderen Welttheile gelten, oder ob etwa auf entgegengesetzten Halbkugeln entgegengesetzte Tendenzen herrschen, oder ob irgend ein anderes Gesetz des Verhaltens obwaltet.

Ein Problem knüpft sich auch noch an die Untersuchungen der Gletscher-Schwankungen in den Alpen, dessen Lösung höchst interessant wäre, für das aber noch kein Schlüssel gefunden ist. Das ist das langsame Fortschreiten der gegenwärtigen Gletscher-Vorstoßperiode von Westen nach Osten. Die Gletscher der Montblanc Gruppe haben schon vor 20 Jahren ihren Vorgang angetreten, entsprechend einer Brückner'schen kühlfeuchten Periode; in den Ostalpen haben sich erst zehn Jahre später Spuren in der Ortlergruppe gezeigt, und jetzt kommen jedes Jahr Nachrichten vom Vorgang immer östlicher gelegener Gletscher. Eine Lösung kann vielleicht gefunden werden, indem man die Geschichte der vorletzten Schwankung daraufhin nochmals durchsieht und zugleich in der Art der Brückner'schen Untersuchungen die meteorologischen Verhältnisse der West- und Ostalpen in den letzten 50 Jahren damit vergleicht.

Ein nachhaltiger Anstoß auf einem wichtigen Gebiete der Gletscherforschung ist von F. Ratzel ausgegangen. Ich meine seine schärferen Begriffsbestimmungen der Schneegrenze. Er hat zuerst orographische und klimatische Schneegrenze scharf geschieden. Auf seinen Bahnen wandelten Brückner, Penck und der Verfasser, als sie sich bemühten, die Schneegrenze aus den Erscheinungen der Vergletscherung zu ermitteln. Es würde zu weit führen, diese Fragen hier genauer zu behandeln, es sollen nur einige Ergebnisse mitgeteilt werden.

Noch Sonklar hielt an der Meinung fest, die Schneegrenze und damit alle klimatischen Höhengürtel stiegen in den Alpen von Westen nach Osten an, da die Westalpen nothwendigerweise ein mehr oceanisches, die Ostalpen ein continentales Klima haben müssten. Seine eigenen Beobachtungen über Höhenlage der Gletscherenden stimmten zwar nicht dazu, er traute ihnen jedoch weniger als jener, wie es schien, unanfechtbaren theoretischen Anschauung. Die genaueren Messungen, die durch die Isohypsen der österreichischen Originalaufnahme ermöglicht wurden, zeigten aber, dass die Gletscher im Osten häufig viel tiefer liegen als im Westen, und aus der Zusammenstellung des Materials ergab sich, dass die Lage der Schneegrenze — und damit die aller Höhengürtel — nicht abhängig ist von westlicher oder östlicher Lage, sondern von der Breitendimension des Gebirges, also von der Massenerhebung. Im Inneren des Gebirges liegt sie hoch, an den Rändern tief.

In den «Gletschern der Ostalpen» konnte der Verfasser einen Versuch machen, diese Verhältnisse kartographisch darzustellen. Die Linien gleicher Schneegrenzhöhen umziehen in concentrischen Curven die höchsten Gebirgsstöcke. In den Nördlichen Kalkalpen liegt die Schneegrenze kaum 2500 *m* hoch, in den Tauern schon bei 2700 *m*, im inneren Oetzthal bei 2900 und auf der Südseite derselben Gruppe über 3000 *m*. Wenn die Schneegrenzhöhe hier dieselbe wäre, wie in den Tauern — z. B. in Obersulzbach —, so könnte es kein Vent und Gurgl geben, sondern ein vereinigter Oetzthalergletscher, der den Aletschgletscher an Größe weit überträfe, erfüllte das Thal bis gegen Sölden. Gegen die Südseite der Alpenkette sinkt trotz der südlicheren Lage und der hohen Temperaturen in den Thälern die Schneelinie wieder, und in den Julischen Alpen liegt sie kaum höher, als in den Nördlichen Kalkalpen, wie die Gletscherreihe an dem nur 2500 *m* hohen Monte Canin beweist.

Mit der Schneegrenze steigen und fallen alle anderen klimatischen Höhengürtel. Während im Pinzgau kein Feld über 1300 *m* hoch liegt, finden sich im Schnalserthale noch Gerstenfelder bei 1800 *m*, und wenn an der Gleinalpe bei Graz ein geschlossener Wald über 1800 *m* kaum auftritt, so begegnet man im Martellthale noch Zirben bei 2300 *m*, mehr als 100 *m* höher als der Gipfel des Hochschwabs.

Prof. Brückner hat durch einen seiner Schüler ähnliche Untersuchungen für die Schweiz anstellen lassen, und noch auffallendere Ergebnisse erzielt. Am Säntis, als einer sehr isolierten hohen Alpengruppe nahe dem Alpenrande, liegt die Schneegrenze 2400 *m* hoch; im Wallis, besonders in der Monte Rosa Gruppe bei 3200 *m*.

Die größere Trockenheit der inneren Gebirgsteile, die längst bekannt ist, kann diese Erscheinung nur zum Theile erklären; ebenso ist die Waldlosigkeit der isolierten Gipfel, die vom Winde bewirkt wird, eine Sache für sich, die den Unterschied, der auch in den Thälern herrscht, nicht verständlich machen kann. Es



müssen auch die isothermalen Flächen im Inneren sich heben. Die mittleren Jahrestemperaturen, und auch die mittleren Sommertemperaturen, bringen aber keine Aufklärung. Prof. Brückner hat jedoch auch hier den Schlüssel gefunden. Er verglich die Temperaturen der wärmsten Tagesstunden und fand, dass diese im Inneren der Alpen in der gleichen Höhe viel wärmer sind, als am Alpenrande, oder anders ausgedrückt, dass dort die gleiche Wärme viel höher hinaufsteigt, als hier. Wenn die 15<sup>o</sup> Isotherme der warmen Tagesstunden am Alpenrande (z. B. am Säntis) bei 1 300 *m* liegt, findet sie sich im Engadin bei 1 960 *m*. Die Schneegrenze steigt mit der Massenerhebung; die Waldgrenze hingegen folgt einem anderen Gesetz: sie steigt mit der Höhe der Thalsohlen; in Unter Misox liegt sie bei 1 860 *m*; in Ober Misox bei 2 040 *m*; an der Nordseite der Tödigruppe bei 1 620 *m*, an der Südseite bei 1 920 *m*, weil das Rheinthal bedeutend höher liegt als das Linththal.

Diese wichtigen Aufklärungen hat Prof. Brückner in einem Vortrage gelegentlich der Versammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zu Grindelwald am 3. August 1898 mitgetheilt. Sie richten an uns die dringende Aufforderung, auch für die Ostalpen ähnliche Untersuchungen und Rechnungen anzustellen, damit das Bild seinen Abschluss von dorthier finde, wo nach Ansicht des Verfassers die größten Ueberraschungen zu holen sind.

\*

Obzwar nun die zahlreichen Gletschervermessungen, die der Alpenverein veranlasst und unterstützt hat, zunächst der genauen Feststellung der Gletscherschwankungen dienen sollten, so haben sie in der Hand kundiger und für die glacialen Forschungen interessierter Personen doch auch die Gletscherkunde an sich mannigfach bereichert. Ich will nur die Messungen der Ablation durch Finsterwalder und Schunck auf dem Suldenferner, von Blümcke und Hess auf dem Hintereisferner, dann die Tiefenbohrungen und Firnzuwachs-Messungen derselben Herren erwähnen; ebenso die Untersuchungen von Prof. Penck und seinen Schülern auf dem Goldberggletscher über dessen einstige Stände, über Moränen und anderes. Mit einigen Worten muß ich aber bei den Studien über die Eisbewegung im Inneren des Gletschers von Finsterwalder verweilen, die in seinem Buche über den Vernagtgletscher enthalten sind, und die ein kompetenter Kritiker als einen Markstein in der Gletscherliteratur bezeichnet hat. Es ist kaum möglich, mit wenigen Worten und ohne Formeln die Sache selbst wiederzugeben. Finsterwalder hat versucht, die Bewegung im Gletscher geometrisch abzuleiten. Es liegen schon zwei Versuche vor, dem Phänomen des Gletscherprocesses mathematisch beizukommen, von Odin und De Marchi. Doch ist Finsterwalder diesen beiden Forschern weit überlegen durch die genauere Kenntnis der Wirklichkeit und die ausgedehntere Verwendung positiver Daten. Ein Beispiel möge das erläutern. Finsterwalder hat die leeren Betten des Vernagt und des Suldengletschers selbst vermessen, jene Thalstrecken, die die beiden Gletscher in den Fünfzigerjahren erfüllt und jetzt verlassen haben, in denen aber die Eishöhe ganz deutlich zu erkennen ist. Damit wusste man etwas, dessen Kenntnis sonst fast immer fehlt, die Dicke des Gletschers. In dieses Schema, in diese leere Hülle eines Gletschers hat nun Finsterwalder mit Verwerthung der an demselben Gletscher gewonnenen Abschmelzungszahlen und sonst bekannten Bewegungsgeschwindigkeiten nach einer überaus sinnreichen Methode den Gletscherprocess:

Zufuhr, Bewegung und Abtragung hineinconstruiert. Ich kann hier nur eine Vorstellung von den Zielen dieser Betrachtung geben, nicht von der vorsichtigen und umsichtigen Methode, mit der sie angestellt ist, und die sie unbedingt zwingend macht. Das Ergebnis ist ein durchaus verständliches und einleuchtendes Bild der Bewegungsgeschwindigkeiten und Richtungen in den einzelnen Theilen einer Eiszunge.

Vielleicht kann ein anderes Beispiel eine bessere Vorstellung von der einfachen und zwingenden Art der Finsterwalder'schen Beobachtungs- und Schlussweise darbieten. Mit folgender einfacher Erwägung ist die vielumstrittene Frage nach der Moränenbewegung auf dem Grund und im Inneren des Gletschers gelöst.

Wenn man sich eine kleine Fläche des Firnfeldes unmittelbar oberhalb der Schneegrenze vorstellt, so wird diese Fläche bei der Gletscherbewegung sofort die Schneegrenze passieren, und der dort im letzten Jahre gefallene Schnee wird sofort nach Passierung der Schneegrenze geschmolzen werden. Eine zweite, oberhalb dieser ersten Fläche gelegene, gleich große Fläche wird bei ihrem Wege durch die Schneegrenze zuerst den Schnee auf sich nehmen müssen, der auf die erstgenannte Fläche gefallen ist, und die ursprüngliche Oberfläche des zweiten Abschnittes wird erst dann zur Schmelzung kommen, wenn der Schnee des ersten Abschnittes weggeschmolzen ist. So wird ein dritter, wieder weiter rückwärts gelegener Abschnitt zuerst die Jahresschichte des zweiten und ersten Abschnittes auf sich nehmen müssen und erst dann zur Schmelzung kommen, wenn diese beiden weggeschmolzen sind. So wird jeder weiter aufwärts im Firnfeld gelegene Abschnitt immer weiter unten auf der Zunge zur Abschmelzung kommen, und die auf dem Hinterrande des Firnfeldes gefallenen Schneepartien werden folglich ganz unten am Ende der Zunge abschmelzen, nachdem sie den ganzen Weg am Grunde des Gletschers zurückgelegt haben. So entspricht jedem Abschnitt des Firnfeldes ein ganz bestimmter Abschnitt der Zunge, wo der dort aufgehäufte Schneeüberschuss zur Schmelzung gelangt.

Daraus ergibt sich, dass die auf dem Hinterrande des Firnfeldes gefallenen Steine am Grunde hingeschleift und der Grundmoräne einverleibt werden, wodurch einerseits die Erosionsfähigkeit des Gletschers erklärt, andererseits aber auch die gewaltigen Massen zerriebenen Materials, die der Gletscher ausstößt, begreiflicher werden. Scharfkantige Blöcke können sich nur dann in der Moräne erhalten, wenn sie näher der Schneegrenze in den Firn gerathen, somit nicht auf dem Grunde transportiert werden.

Durch dieselbe Ableitung erklärt sich auch die Entstehung der Innenmoränen, die sich an jene Stellen des Gletschers knüpfen, wo Felssporne oder Felsinseln das Firnfeld theilen. Die Innenmoränen schmelzen als Mittelmoränen aus, und ihre starke Mischung mit Grundmoränen-Material wird begreiflich, wenn man überlegt, dass ein Theil ihres Bestandes an den Seiten des Gletscherbettes hingeschleift worden ist.

Endlich ist auch die Verlangsamung der Eisbewegung gegen das Ende der Gletscherzunge verständlich, wenn man sieht, dass zahlreiche Stromlinien des Eises schon vor dem Gletscherrande an den Seiten des Gletschers austreten, da die Abschmelzung nicht bloß an der Oberfläche und am Ende, sondern auch an den aufgewölbten Seitenwänden der Zunge wirksam ist.

Eine weitere Gruppe von Untersuchungen knüpft ebenfalls an Forel an. Das sind die Untersuchungen über das Gletscherkorn, die innere Structur des Gletschereises, Schmelzung, Temperatur des Eises und den Zusammenhang aller dieser Erscheinungen; also rein physikalische Fragen. An diesen Studien hat auch Hagenbach-Bischoff in Basel rühmlichen Antheil. Forel's ursprüngliche Anschauung über das Wachsthum der Körner konnte nicht aufrecht erhalten werden. Wichtige Errungenschaften verdanken wir in dieser Beziehung auch Robert Emden, der durch eine Preisaufgabe der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zu eingehenden Untersuchungen veranlasst wurde. Doch sind diese noch keineswegs abgeschlossen, sondern es ist eigentlich damit nur der ganze Complex der Fragen über Gletscherphysik neuerdings in Bewegung gekommen. Besonders das letzte Jahr brachte hier interessante Anregungen.

Seit 30 bis 40 Jahren herrschte in der Frage über die Flüssigkeit des Eises die Regelationstheorie von Faraday-Thomson, das heißt die Annahme, das Eis werde dadurch beweglich, dass sein Schmelzpunkt durch Druck herabgesetzt werde. Im Inneren des Gletschers, wo die Temperatur  $0^{\circ}$  herrscht, wird durch den Eigendruck der Schmelzpunkt herabgesetzt, das Eis von  $0^{\circ}$  schmilzt an der Oberfläche der Körner, diese werden dadurch an einander verschiebbar und können dem Druck und Zug der Schwere nachgeben.

Gegen diese Theorie haben sich Emden und einige andere Forscher ausgesprochen, nachdem sie entdeckt hatten, dass die Gletscherkörner nach gewissen Richtungen streckbar und biegsam sind. Sie glauben die ganze Gletscherbewegung mit dieser «Kornverbiegung» erklären zu können, was ich für unmöglich halte.

Im Gegensatz hiezu sind in allerletzter Zeit zwei Versuche aufgetreten, die Regelationstheorie noch weiter in ihre äußeren Consequenzen auszubauen. Der eine rührt von Erich v. Drygalski her, der andere von dem Wiener-Neustädter Realschulprofessor Hans Crammer. Der Gedankengang beider ist folgender: Wenn nur ein gewisser Druck das Eis bewegungsfähig machen kann, so muß die Beweglichkeit, oder Bewegungsfähigkeit, oder Plasticität des Eises nicht nur mit der Tiefe zu, sondern auch gegen oben abnehmen, d. h. die Gletscheroberfläche bis zu einer unbekanntenen Tiefe hinab muß auf der bewegungsfähigen, unteren Masse passiv und starr schwimmen. Dass sie das thut, dafür seien der Beweis die Spalten und eine Anzahl anderer Erscheinungen.

Da stehen wir gegenwärtig. Eine ganze Wolke von neuen und alten Problemen strömt uns entgegen. Sie werden in Angriff genommen werden. Die Zahl derer, die sich für diese Fragen interessieren, ist zwar nicht groß, aber es fehlt nicht an leistungsfähigem und opferbereitem Nachwuchs, der die rauhe und frostige Arbeit der Gletscheruntersuchung nicht scheut.

Die Fragen sind ziemlich präcisirt. Ich halte für die wichtigsten:

1. Die Feststellung des Verhältnisses zwischen dem Ablauf eines Gletschervorstoßes und der Bewegungsgeschwindigkeit des Eises.

2. Das neuerliche Aufgreifen der eigentlich physikalisch-thermischen Fragen. Diesem muß aber noch etwas vorangehen. Nämlich eine Verständigung über Sinn und Wesen einer Anzahl Termini: Schichtung und Bänderung, Schmutzbänder, Weiße und Blaue Bänder, Ogiven u. s. w. und deren Zusammenhang und Eigenschaften. Diese Ausdrücke werden bei Beschreibung von Gletschern häufig angewendet, aller-

dings in früheren Stadien der Forschung mehr als jetzt. Es ist aber sehr zweifelhaft, ob die verschiedenen Autoren sie im gleichen Sinne verstehen und gebrauchen. Das Eis großer Gletscher trägt nahe dem Ende die Spuren ungemein complicierter Vorgänge an sich. Alle möglichen Bänderungen und Schichtungen durchkreuzen sich; reines und blasiges Eis, großkörniges und feiner gegliedertes wechseln ab. Die heute geläufigen Erklärungen stammen zum Theil aus längst überholten Forschungsperioden. Unsere Kenntnisse haben sich aber mannigfaltig vertieft und räumlich erweitert; hauptsächlich durch Beobachtungen in Grönland und anderen arktischen Gebieten durch dänische, amerikanische und schwedische Forscher, sowie durch die Expedition der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Auch aus Asien und Alaska haben wir Kundschaft erhalten, die unsere Anschauung wesentlich erweitert. Es wird sonach angezeigt sein, auch die Physik der Alpengletscher nach all diesen Errungenschaften neuerlich zu revidieren. Dazu wird die Klarstellung der Terminologie eine nothwendige Vorarbeit sein.

Vor nunmehr 16 Jahren bezeichnete Heim's «Gletscherkunde» eine glänzende Zusammenfassung des damaligen Standes unserer Kenntnisse, anziehend gemacht durch die Originalität und den freien Standpunkt ihres Verfassers. Sie zeigte die Fortschritte, die in den 29 Jahren gemacht worden waren, seit Mousson's oben erwähntes Buch erschienen war. Bei systematischer Verwerthung der vorhandenen materiellen Mittel und zielbewusstem Zusammenwirken der Forscher wird es vielleicht möglich sein, bei einer abermaligen Zusammenfassung wieder einen bemerkenswerthen Fortschritt festzustellen.



TESCHEN

K. u. K. HOFBUCHDRUCKEREI KARL PROCHASKA

---