

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1912. Heft I

Januar- bis März-sitzung

München 1912

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Beobachtungen über die Art der Gletscherbewegung.

Von **Sebastian Finsterwalder.**

Vorgetragen in der Sitzung am 13. Januar 1912.

Bei früheren Untersuchungen über die Gletscherbewegung, die ich gemeinsam mit Herrn Adolf Blümcke anstellte,¹⁾ handelte es sich um das Ausmaß dieser Bewegung und dessen Änderung nach Ort und Zeit. Hier sollen Beobachtungen mitgeteilt werden, die sich auf die Art der Gletscherbewegung beziehen und die ich zumeist bei meinem vorjährigen Besuch des Vernagtferners im Ötztal (Ende August 1911) anzustellen Gelegenheit hatte. Das vergangene Jahr war infolge seiner sommerlichen Wärme und Trockenheit für derartige Beobachtungen besonders günstig. Infolge der vermehrten Abschmelzung, die in 3000 m Höhe an 50 cm in der Woche erreichte, ist einesteils Gletschergrund, der vor kurzem noch mit einer ansehnlich dicken Eismasse bedeckt war, zum Vorschein gekommen, ohne daß er durch stärkere Regengüsse dabei ausgewaschen worden wäre, andernteils sind auch Teile der Gletscheroberfläche, die sonst stets verfirnt bleiben, schneefrei geworden und haben ihre Struktur, die im engen Zusammenhang mit der Bewegungsform steht, enthüllt. Es sind besonders zwei Stellen für derlei Beobachtungen sehr ergiebig gewesen, nämlich der untere ca. 2850 m hoch gelegene Rand des Klein-

¹⁾ A. Blümcke und S. Finsterwalder, Zeitliche Änderungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung. Diese Berichte, Bd. 35, 1905, S. 109; von denselben: Die Gletscherbewegung mit Berücksichtigung ihres senkrechten Anteils. Zeitschrift für Gletscherkunde, 1. Bd., 1906/07, S. 4.

guslarferners,¹⁾ welcher dem rechtsseitigen Zufluß des Vernagtferners, dem eigentlichen Guslarferner, unmittelbar benachbart ist, und in den letzten Jahren 5 ha eisfreien schuttbedeckten Geländes von schwacher Neigung geliefert hat; sodann eine Stelle im Vernagtfirn zwischen Hochvernagtwand und Hinterguslarspitze, wo zur selben Zeit mitten im nun weit hinauf ausgeaperten Gletscherbecken, an der Grenze der früheren Firnbedeckung eine Felsinsel (80 m lang, 20 m breit in 2980 m Höhe) auftauchte, die an einer steilen nach Süden gewandten Abdachung der Gletscherfläche eine Art Fenster im Eise darstellt, durch welches der felsige Gletschergrund zum Vorschein kommt. Die Beobachtungen beziehen sich einesteils auf das Verhalten des Gletschers zum Untergrund, andernteils auf die Rolle, welche die Gletscherstruktur bei der Bewegung spielt.

1. Verhalten des Gletschers gegenüber weichem Untergrund.

Unmittelbar nach der Ausaperung von moränenbedecktem Gletschergrund zeigt sich der Boden an solchen Stellen, die infolge ihrer geringen Neigung und der Abwesenheit von Schmelzwässern vor Abrutschung und Verschwemmung bewahrt sind, parallel gefurcht und zwar in der Richtung der Eisbewegung unabhängig von der zufälligen Bodenform. Die Furchung geht wie bei einem gepflügten Felde über Berg und Tal hinweg; sie erinnert auch in Bezug auf Tiefe und Breite der Furchen an einen abgerenteten, jahrelang brach gelegenen Acker. Sie unterscheidet sich jedoch von der Ackerfurchung dadurch, daß die Kämme und Furchen nicht durchlaufen, sondern häufig gegeneinander versetzt sind. Die Furchung steht im Zusammenhang mit größeren Blöcken der Grundmoräne aber auf zweierlei Art. Manchmal hat ein im Eise festsitzender Block den Schuttboden gepflügt und findet sich dann am unteren Ende der entstandenen Furche ausgeapert. Ein andermal ist ein Block

¹⁾ Vgl. hiezu meine Karte des Vernagtferners in 1:10 000 im 1. Bd., 1. Heft, 1897 der wissenschaftlichen Ergänzungshefte zur Zeitschr. des D. u. Ö. Alpenvereins.

im Boden stecken geblieben und hat das darüber hinwegziehende Eis geschrammt, wobei die hinter dem Block entstandene Höhlung zwischen Eis und Boden durch kleineres Geröll ausgefüllt wurde und nach dem Abschmelzen des Eises ein an die Leeseite des Blockes sich anschließender Rücken verblieb. Nicht selten findet man dann einen im Schuttboden feststehenden Block, von dem an der Stoßseite eine Furche an der Leeseite ein Schuttrücken ausgeht und der so den Beweis liefert, daß eine abwechselnde Schrammung von Gletscher und Boden stattgefunden hat. Diese Furchung habe ich schon im Jahre 1887 am Ende des Gepatschferners auf einer flachen Insel zwischen zwei Gletscherabflüssen bemerkt, aber wegen der Zwiespältigkeit der Erscheinung nicht recht zu erklären vermocht. In der Regel wird die Furchung noch besonders hervorgehoben und gewissermaßen unterstrichen durch Blockreihen und Steinrücken, die durch Ausschmelzung gescharter Innenmoränen des Gletschers entstanden sind und ebenfalls die Richtung der Eisbewegung einhalten. Daneben finden sich aber auch ausgeschmolzene Quermoränen, die früher die Gletscherstirn bandartig umsäumten und ihre Entstehung Verschiebungsklüften verdankten, längs welchen sich stärker bewegte Eismassen über darunter befindliche, am Boden festgekeilte Eislager hinwegschoben, wobei Untermoränenmaterial ins Innere des Gletschers verschleppt wurde.¹⁾ Nach dem Rückzug des Gletschers bilden diese früheren Innen- und Quermoränen ein gitterartiges Relief auf dem alten Gletscherboden.

2. Verhalten des Gletschers gegenüber Felsgrund.

Die neuerdings ausgeaperte Insel im Sammelbecken des Vernagtferners zeigt uns Felsgrund, der seit langem keinen anderen Wirkungen als jenen die von der Eisbedeckung herühren, ausgesetzt und insbesondere jeder davon unabhängigen Wasser- oder Verwitterungswirkung entzogen war. Dennoch

¹⁾ S. Finsterwalder, Der Vernagtferner. Wiss. Ergänzungshefte zur Zeitschr. des D. u. Ö. Alpenvereins, 1. Bd., 1. Heft. 1907, S. 57, Fig. 23.

fehlt dort eine glatte zusammenhängende Schlißfläche. Von unten gesehen macht die Insel eher den Eindruck einer steilen Blockhalde. An der linken gletscheraufwärts gelegenen Hälfte ist der bankförmig sich absondernde Schiefer treppenartig gestuft und mit großen Blöcken aus anstehendem Gestein bedeckt. An der rechten Seite herrscht weicher, dünnschiefriger Fels vor, dessen Schichtköpfe geknickt und verbogen sind. Betrachtet man aber die Felsinsel von oben, so erkennt man alsbald die Schlißwirkung des Eises auf der obersten Treppenstufe, die sich mit geringer Neigung unter den Gletscher hinein erstreckt. Man bemerkt auch, daß die den Treppenstufen aufgelagerten Blöcke meist auf der Oberseite geschliffen und sonst kantengerundet sind, sowie daß sie durch Frostwirkung aus ihrem einstigen Zusammenhang mit dem Mutterfels losgelöst und von dem Gletscher weitergeschoben wurden. Alle Stadien dieses Loslösungsvorganges sind vertreten, von kaum sichtbaren Klüftungsrissen bis zur Verschiebung von Blöcken von 0,5 cbm Größe, die durch Rückwärtsbewegung um einige Dezimeter glatt in ihr ursprüngliches Lager eingefügt werden könnten, wobei die Schrammen der Blockoberseite die genaue Fortsetzung jener der Schlißfläche des noch anstehenden Felsens bilden würden. Kein Zweifel, daß hier die splitternde Erosion des Gletschers die schleifende um vieles übertrifft.

Merkwürdige Erscheinungen fanden sich am oberen Eisrand der Insel. Während dieser an manchen Stellen mit schmutzdurchsetzten Schichten fest am Boden aufruhete, war an anderen ungefähr gleich ausgedehnten Teilen die Eisdecke etwa 0,5 m weit vom Boden getrennt und zeigte Furchen von mehreren Metern Länge, an deren oberen Ende Steine oder Felsköpfe, über die sich der Gletscher eben hinwegschob, ins Eis ragten. Der Felsboden unter der Eisdecke war mit klarem Wassereis bedeckt. Die Schichten, mit welchen der Gletscher auf dem Fels aufruhete, waren in der seltsamsten Weise geknetet. Sie bestanden in unmittelbarer Bodennähe aus ganz dünnen, 1 bis 5 mm starken Eisblättern, die durch feinste Lagen von Verwitterungsstaub, wie er durch Frostwirkung am Gestein erzeugt

wird, getrennt waren. Diese Eisblätter zeigten sich wiederholt gefaltet und gefältelt, gerollt und verdrückt, insbesondere in der Umgebung größerer im Eise eingebackener Steine. Der Querschnitt solcher Schichten, wie er bei sorgfältiger Bearbeitung mit dem Eispickel zutage trat, ergab eine Zeichnung von verwirrendem Formenreichtum. Es ist wohl nicht anzunehmen, daß diese dünnen gefalteten Eisblätter von der ursprünglichen Firnschichtung abzuleiten sind.¹⁾ Ihr Auftreten an dieser Stelle weist vielmehr darauf hin, daß Bewegungsvorgänge im Eise unabhängig von der Firnschichtung eine blättrige Struktur zu erzeugen vermögen. Die eben geschilderten Verhältnisse lehren, daß bei der Gletscherbewegung in der Nähe des Grundes sehr verschiedene Drucke vorkommen, was einesteils das Auftreten höherer Drucke, als sie der durchschnittlichen Eismächtigkeit entsprechen, begünstigt, andern-teils auch einen zeitlichen Wechsel des Druckes am gleichen Orte bedingt. Beides steigert die Frostwirkung²⁾ des Eises auf dem Gletscherboden und begünstigt die splinternde Glazial-erosion, deren Wirkung auf der Felsinsel des Vernagtferners klar zutage tritt.

1) Vgl. Hans Crammer, Zur Entstehung der Gletscherstruktur aus der Firnschichtung. Zeitschr. f. Gletscherkunde, 2. Bd., 1907/08, S. 198. Hier wird die mit der Tiefe zunehmende Faltung der Firnschichten sehr anschaulich dargelegt. Die oben im Text beschriebene Kleinfaltung ist meiner Meinung nach unabhängig von der Firnschichtung.

2) A. Blümcke und S. Finsterwalder, Zur Frage der Gletscher-erosion. Diese Berichte, 20. Bd., 1890, S. 435; ferner: Wilh. Salomon, Können Gletscher in anstehendem Fels, Kare, Seebecken und Täler erodieren. Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., Jahrgang 1900, Bd. 2, S. 117, sowie A. Penck, Gletscherstudien im Sonnblickgebiete. Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins, 28. Bd., 1897, S. 68, worin die Verschleppung einseitig geschliffener Platten durch den kleinen Fleißgletscher in der Goldberggruppe erwähnt wird. Herr A. Penck hat mir 1903 ähnliche Verhältnisse am Hochjochferner im Ötztal gezeigt. D. Verf.

3. Zusammenhang der Bänderung mit der Gletscherbewegung.

Die als Bänderung (Blätterung) bezeichnete Gletscherstruktur nimmt an solchen Stellen, an denen erfahrungsgemäß starke örtliche Geschwindigkeitsänderungen der Gletscherbewegung vorkommen, also an den Rändern der Zunge oder hinter dem Zusammenfluß zweier Eisströme die sogenannte Wagengeleisform an. Die Oberfläche des Eises ist mit langgezogenen, zur Gletscherachse parallelen Linien bedeckt, die abwechselnd blaue und weiße Bänder von 1—10 cm Breite begrenzen. Diese Linien sind bekanntlich das Ausgehende von annähernd senkrecht gestellten Schichtflächen, welche den Eiskörper in Blätter zerteilen, innerhalb deren die Gletscherkörner regellos verteilt, aber eng aneinandergefügt liegen, ohne daß je ein Korn durch die Schichtfläche hindurch in das Nachbarblatt hinüberreicht. Diese Art der Bänderung war am Vernagtferner in der Nähe und besonders unterhalb des neuauftauchten Felsenfensters wohl entwickelt, ganz in Übereinstimmung mit dem Umstande, daß die Böschung der Eisfläche, in welcher jenes Auftauchen erfolgte, gewissermaßen das linke allerdings noch mit zuströmenden Eis bedeckte Ufer der am Fuße jener Böschung hinziehenden Gletscherzunge darstellt. Die Oberfläche des Eises war infolge der starken Sonnenstrahlung sehr zerfressen und rauh zu begehen. In der einspringenden Kante unterhalb der Felsinsel findet nun eine ungewöhnliche Anhäufung von Winterschnee statt, die auch in den wärmsten Sommern nicht aufgezehrt wird, und somit einen abgesonderten Firnleck innerhalb des sonst schneefreien Gletscherteiles darstellt. Dieser Firnleck wird durch die Gletscherbewegung nach abwärts gezogen, erneuert sich aber am Fuße des Fensters infolge der orographischen Begünstigung an dieser Stelle immer wieder und gibt dadurch Veranlassung zu einer Art Schmarotzergletscher mit einem kleinen Nährgebiet in unmittelbarer Nähe des Fensters und daran anschließendem Zehrgebiet, das in der Richtung der Gletscherbewegung so weit in die Länge gezogen wird, bis es zur Vernichtung der im Nährgebiet aufgehäuften

Schneemassen ausreicht. Eigene Bewegung hat dieser Schmarotzergletscher infolge seiner geringen Mächtigkeit von einigen Metern nicht; er wird vielmehr vom Hauptgletscher mitgeschleppt. Er zeigt, da er überhaupt nur wenige Jahre altes Material enthält, keine eigentliche Eisstruktur, sondern nur Schichten verschiedenaltigen Schnees, von denen sich die unteren firnartigen durch ihre graue Färbung von den oberen weißen Schichten abheben. Die unteren Schichten haben ganz kleines Korn und keinerlei Bänderung; sie sind um die Mittagszeit von sammetartiger Weiche der Oberfläche und weit bequemer zu begehen als das rauhe Gletschereis. Eine Besonderheit hat dieser Schmarotzergletscher mit einem wirklichen Gletscher gemeinsam, nämlich deutliche Seitenmoränen aus einzelnen reihenartig angeordneten Steinen bestehend, die zumeist aus der Untermoräne stammen, welche zu beiden Seiten des Fensters auf die Gletscherfläche austritt, wo sie aber vom Schneefleck alsbald eingefirnt wird.

Beim Hinabwandern über den grauen Teil des Schmarotzergletschers fiel mir alsbald auf, daß dessen Oberfläche von feinen, schwarzen, parallelen Linien durchzogen war, welche auf das genaueste die Zeichnung der Bänderung auf dem darunterliegenden Gletscher zu wiederholen schienen. Diese Linien erwiesen sich bei näherem Zusehen als feine lotrechte Sprünge in der strukturlosen Firnschicht. Auch Querspalten des Gletschers waren durch ähnliche zu den anderen unter rechtem Winkel verlaufende Linien abgebildet und man konnte deutlich die Verwerfung der parallelen Linien an den Bildern der Querspalten verfolgen, wie man es von der wirklichen Bänderung an den Querspalten selbst gewohnt ist. Die Erscheinung war auf einem Streifen von etwa 100 m Länge und bis zu 10 m Breite zu verfolgen. Nach unten wurde sie in dem Maße undeutlicher, als die Dicke der Firnschicht abnahm und glich schließlich jener verwandten Erscheinung, die sich in einer in Auflösung begriffenen Neuschneedecke einstellt, auf welcher die Sonnenstrahlung die rohen Umrisse der darunterliegenden Eisstruktur abzeichnet.

Man kann die beschriebene Scheinstruktur wohl kaum anders erklären, als daß man annimmt, sie sei durch Gleitbewegung des darunterliegenden Gletschers längs der Blattgrenzen der Wagengeleisbänderung entstanden, wobei die festaufgelagerte Firnschicht durchrissen beziehungsweise abgeschert wurde. Sicherlich ist die Erscheinung sehr vergänglich, denn als am übernächsten Tage Herr Otto Gruber, der sich damals mit Triangulationsarbeiten am Vernagtferner beschäftigte, auf meine Veranlassung die Stelle wieder aufsuchte, um photographische Aufnahmen zu machen, war alles bis auf undeutliche Spuren von Spaltennarben verschwunden. Dieser Umstand macht es auch wahrscheinlich, daß die zahlreichen, parallelen Gleitrisse gleichzeitig und in Verbindung mit den Spaltenrissen entstanden sind, woraus wieder zu schließen ist, daß die dabei ausgelöste Gletscherbewegung ruckweise vor sich ging. Man darf hiernach annehmen, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil der Gletscherbewegung und insbesondere der Differentialbewegung an den Gletscherrändern ruckweise im Verein mit dem Reißen der Spalten erfolgt. Diese Ansicht ist gewiß nicht neu; sie wird durch die erdbebenartigen Bewegungen der Gletscheroberfläche beim Springen von Spalten nahegelegt. Es sind denn auch Gleitbewegungen längs der Strukturflächen aus theoretischen Gründen wiederholt angenommen worden, so zuletzt von Herrn Axel Hamberg.¹⁾ Es erscheint aber von Bedeutung, solche Gleitbewegungen durch unmittelbare Beobachtungen sicher zu stellen.

Die Ergebnisse der im vorhergehenden niedergelegten Beobachtungen und Folgerungen lassen sich kurz folgendermaßen zusammenfassen:

Die Bewegung der bodennahen Gletscherschichten erfolgt ruckweise, wobei das Eis vor Hindernissen stark gestaucht wird und hohen Druck erfährt, während es hinter denselben entlastet wird und Hohl-

¹⁾ Axel Hamberg, Über die Parallelstruktur des Gletschereises. 9. Congrès intern. de Géographie. Genève 1908. Comptes rendus, t. II.

räume bildet. Beim Weichen der Hindernisse entstehen zeitliche Druckschwankungen, die starke Frostwirkungen erzeugen und insbesondere die splitternde Erosion begünstigen. Große örtliche Geschwindigkeitsunterschiede des Eises verraten sich durch ausgeprägte blättrige Struktur und werden durch ruckweises Gleiten längs der Blattgrenzen und Spaltflächen aufrecht erhalten.