

Über die Methoden der Bestimmung der Gletscherenden und die Schwankungen der Sareker Gletscher in Schwedisch-Lappland.

Von Axel Hamberg in Upsala.

Im elften Bericht (1905) der internationalen Gletscherkommission erwähnt der Berichterstatter für Schweden, Dr. F. W. Svenonius, einige von mir ausgeführte Messungen mit folgenden Worten: „Dr. A. Hamberg, welcher seine Arbeiten in den Hochgebirgen der Kvikkjokks-Gemeinde¹⁾ jetzt so gut wie beendigt hat, meldet, daß der Mikkagletscher — einer der größten in dem Sarjekmassive — vom 23. Juli 1904 bis zum 16. August 1905 sich 3 bis 4 Meter zurückgezogen hat. Die totale Veränderung in den 8 bis 10 Jahren, während deren diese Arbeiten ausgeführt wurden, ist doch gering und kaum sicher bestimmt worden.“

Dieses Urteil, daß die totalen Veränderungen des Mikkagletschers kaum sicher bestimmt worden seien, hat mich überrascht, weil Dr. Svenonius die von mir benutzte Methode nicht kennen kann, da ich sie weder veröffentlicht, noch jemandem darüber Bericht erstattet habe. Zwar habe ich in der Sitzung des Stockholmer Geologischen Vereins am 3. Dezember 1896 die damals von mir ausgeführten wenigen Bestimmungen der Gletscherenden erwähnt; ich ging dabei aber kaum auf Einzelheiten der Methode ein, die zu jener Zeit noch keine bestimmte Form angenommen hatte. Obgleich die Äußerung von Dr. Svenonius deshalb nur als eine Vermutung anzusehen ist, sehe ich mich doch veranlaßt, nach dem er in dieser Weise sein Urteil über meine Messungen ausgesprochen, ihm fernere Mitteilungen über meine Bestimmungen der Gletscherenden nicht mehr zur Verfügung zu stellen, sondern dieselben selbständig zu publizieren. Um die Grundlosigkeit seiner Aussage darzutun, bitte ich hier meine Bestimmungsmethode

¹⁾ Wohl infolge eines Druckfehlers heißt es im Bericht Hokkjökks.

näher auseinandersetzen zu dürfen. Das dürfte auch aus dem Gesichtspunkte angezeigt sein, weil seit dem ersten Anfang der Arbeiten der internationalen Gletscherkommission das methodische Verfahren der fraglichen Untersuchungen wenig diskutiert worden ist, obgleich nunmehr eine unvergleichlich größere Erfahrung vorliegt. Anhangsweise will ich einige Bemerkungen über die von mir ausgeführten Bestimmungen und ihre Ergebnisse hinzufügen.

Vielleicht ist Dr. Svenonius auf seine Idee von der Ungenauigkeit meiner Messungen dadurch gekommen, daß dieselben bis jetzt keine bestimmten Andeutungen von einem Zuwachs oder von einem Abnehmen der lappländischen Gletscher, sondern nur unbedeutende Schwankungen ergeben haben. In dieser Hinsicht möchte ich bemerken, daß Messungen, die ungenau sind, im allgemeinen nicht übereinstimmen, und daß ein stationärer Zustand eines Gletschers während einer kürzeren Periode nichts Unwahrscheinliches darbietet.

Die Bestimmung der Lage eines Gletscherendes ist vom geodätischen Gesichtspunkt überhaupt keine schwierige Aufgabe, denn zur Ermittlung der Gletscherschwankungen verlohnen sich sehr feine Messungen überhaupt nicht. Der Gletscherrand gibt nämlich für die Schwankungen keinen ganz feinen Ausschlag, insofern als derselbe im Detail eine Menge Unregelmäßigkeiten zeigt, die nicht von der Größe des Gletschers, sondern von den Moränenanhäufungen, den Wasserläufen der Eisoberfläche und anderen Verhältnissen abhängen, die häufig in keiner Beziehung zur Größe des Gletschers stehen. An einem Punkte des Randes kann eine Einbuchtung entstehen, an einem andern ein Vorsprung sich bilden, und diese von dem Vorrücken oder Abnehmen der Gletscher unabhängigen Unregelmäßigkeiten können mehrere Meter betragen. Auch scheint die Bewegung des Eises bisweilen Schwankungen zu unterliegen, die ein Vorrücken an einem Teile des Randes, ein Zurückweichen an einem andern verursachen können. Ein drastisches Beispiel dieser Art bildet der Suphellebræ, dessen Mitte — nach Rekstad — in den Jahren 1899—1903 sich um 32 m zurückzog, während an der einen Seite der Rand stationär war, an der andern um 42 m vorrückte.

Eine peinliche Genauigkeit der einzelnen Messungen ist deshalb weniger nötig als eine Ausdehnung derselben auf mehrere Punkte oder auf die ganze Strecke des Randes. Die mit dem Wetter stark wechselnde Abschmelzung hat jedoch zur Folge, daß auch solche über den ganzen Gletscherrand ausgedehnte Messungen keinen hohen Genauigkeitsgrad erreichen können, wenn sie nicht dem Mittel

während einer passenden Zeitperiode wiederholter Beobachtungen entsprechen.

Zur Bestimmung der Gletscherenden sind verschiedene Methoden in Anwendung gebracht worden, die sich nach den Verhältnissen des Ortes und des Beobachters richten. Eine einheitliche Methode für alle Bestimmungen dieser Art ist nicht einmal angeregt worden.

Prinz Roland Bonaparte¹⁾ ließ bei den von ihm geleiteten Untersuchungen über die Schwankungen der französischen Gletscher folgende Methoden anwenden:

1. Marken an den Felsen;
2. Aufnahmen des Gletscherrandes;
3. Aufnahmen einer Karte des Gletschers sowie eines Längsprofils und von vier Querprofilen desselben.

Professor Forel sagt in seinem „Discours préliminaire“, mit dem die Arbeiten der internationalen Gletscherkommission eingeleitet wurden, daß für die Bestimmungen der Gletscherenden allgemeine Regeln noch nicht aufzustellen seien. Vorschlagsweise führt er einige Methoden an, die früher angewandt wurden und in diesem Zusammenhang erwähnt werden können.

1. Methode am Rhonegletscher. Jedes Jahr Anfang September macht man eine Aufnahme der Gletscherzunge und bestimmt dabei die Bodenoberfläche, die der Gletscher frei gelassen, bzw. okkupiert hat. Außerdem werden gewisse Profillinien nivelliert und die Lage der an denselben ausgelegten Marken bestimmt. Durch letztere Arbeiten können die Dickenveränderungen und die Bewegungsgeschwindigkeit des Gletschers bestimmt werden.

2. Methode der schweizerischen Forstleute. Vor dem Gletscherende werden an beiden Seiten des Tales zwei feste Marken angebracht, von denen die Abstände zu gewissen wichtigen Punkten des Gletscherrandes alljährlich Anfang September gemessen werden. Eine Skizze in passendem Maßstab wird dem Bericht beigefügt.

3. Photographische Methode, zuerst von Herrn Joseph Tairras in Chamonix angewandt. Eine photographische Aufnahme des Gletscherrandes wird alljährlich zu derselben Jahreszeit von demselben Punkte mit demselben Apparat gemacht und die Aufnahmen verglichen. Zwei konsekutive Aufnahmen zeigen häufig keine merklichen Veränderungen, aber eine längere Reihe solcher Photographien ist immer sehr lehrreich.

¹⁾ Congrès géol. internat., VI. Session, en Suisse 1894. Comptes Rendus, p. 76. Lausanne 1897.

Photographische Profilaufnahmen des Gletscherendes zeigen die Längenveränderungen besser als eine Vorderansicht; am besten sind Kombinationen beider.

Da so verschiedenartige Methoden der Bestimmung der Gletscherenden von den leitenden Persönlichkeiten der internationalen Gletscherkommission empfohlen wurden, fühlte ich mich, als ich im Sommer 1895 meine Gletscheruntersuchungen in Schwedisch-Lappland anfang, hinsichtlich der Wahl der Methode ungebunden, und ich konnte also eine für die örtlichen und meine persönlichen Verhältnisse am besten passende wählen.

Da die photographische Methode mir eine zu geringe Genauigkeit zu bieten schien und die genaue Bestimmung einiger weniger Punkte mittels Meßband vielleicht Resultate illusorischer Genauigkeit ergeben hätte, entschloß ich mich die zu bestimmenden Gletscherenden nebst einem oder mehreren Fixpunkten zu kartieren. Hier in Schweden ist die mit distanzmessendem Fernrohr versehene Kippregel ein für topographische Zwecke vielbenutztes und bequemes Instrument, das in Verbindung mit Meßtisch und Latte angewandt wird und, wenn richtig benutzt, gute und schnelle Resultate gibt.

Mit einer solchen Kippregel und Latte wurden nun verschiedene Punkte eines Gletscherendes von einem vor demselben errichteten Signal aus eingemessen und im Maßstabe 1:5000 aufgenommen. Dieser Maßstab schien mir groß genug, da er eine Länge von 1 m mit 0,2 mm wiedergibt und also noch 0,5 m bestimmt werden können. In demselben Maßstabe werden auch die klassischen Aufnahmen des Rhonegletschers ausgeführt und genauere Bestimmungen dürften kaum für den fraglichen Zweck, die Kenntnisse der Gletscherschwankungen, nötig sein.

Als Fixpunkt war zunächst nur ein vor dem Rand errichtetes Signal nötig; bei einem ziemlich ausgedehnten Ende wurden jedoch zwei errichtet. Bei Kenntnis des Nordstriches konnten nun zwei aufeinander folgende Messungen verglichen und die Veränderungen graphisch bestimmt werden. Der Vergleich läßt sich aber noch besser ausführen, wenn zwei ziemlich weit voneinander entfernte Fixpunkte vorhanden sind. Die zwei Fixpunkte gestatten außerdem eine gute Kontrolle der unveränderten Justierung des Instrumentes; denn offenbar muß bei beiden Aufnahmen der Abstand dieser Punkte gleich sein, wenn der Maßstab derselbe ist. Das zweite Signal hat aber noch einen anderen Zweck, wenn es talabwärts in weiterem Abstand vom Gletscher errichtet wird. Da das erste Signal, von dem die Messungen

ausgeführt werden, ziemlich nahe dem Gletscherrand errichtet werden muß, damit die Ablesungen genau werden, so kann dasselbe beim Vorrücken des Gletschers zerstört werden. Das zweite Signal kann man dann als Reservestation benutzen, von welcher aus man neue Messungen ausführt, die mit älteren leicht zu vergleichen sind, wenn nur der Nordstrich bestimmt wird. Noch besser erfolgt der Vergleich, ohne den Nordstrich zu kennen, wenn man die Lage eines dritten Signals bestimmt. Ich errichte deshalb nunmehr gern, wenn die Zeit es gestattet, vor den Gletscherenden drei Signale, unter denen zwei zur Orientierung der Meßtischblätter und als Reservestationen dienen sollen, wenn das Dritte etwa durch einen Gletschervorstoß zerstört wird. Diese entfernteren Signale sind in wenig besuchten Gegenden sehr wichtig, wo die Gletscherenden nicht alljährlich aufgenommen werden können. Sollte der Gletscher sich zurückziehen, so müssen selbstverständlich zwischen dem Eisrand und dem Signal Nr. 1 in passenden Abständen ein oder mehrere Signale errichtet werden.

In wenigen Worten angegeben, ist meine Methode der Bestimmung der Gletscherenden folgende:

Auf einem guten Aussichtspunkt in der Entfernung von etwa 50—100 m vom Gletscherrand wird ein Signal Nr. 1 gebaut.

Auf guten Aussichtspunkten 50—200 m weiter unterhalb (oder auch seitwärts) wird ein Signal Nr. 2 und etwa in derselben Entfernung von diesem ein Signal Nr. 3 gebaut.

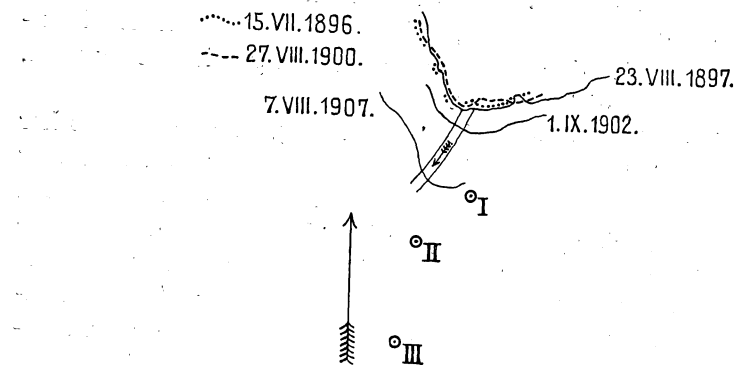
Vom Signal Nr. 1 — oder wenn dieses zerstört ist, vom Signal Nr. 2, bzw. Nr. 3 aus — wird mit Hilfe von Meßtisch, Distanzkipregel und Meßlatte der Gletscherrand im Maßstab 1:5000 kartiert und die Lage wenigstens eines andren Signals ebenfalls bestimmt.

Nach der Heimkehr wird die Aufnahme auf Pauspapier oder Pausleinwand übertragen und ein Vergleich mit den älteren Messungen gemacht. Wenn die Messungen richtig sind, müssen die Signale zur Übereinstimmung gebracht werden können, und dann fallen die Aufnahmen des Gletscherrandes mehr oder weniger gut zusammen oder trennen sich um Beträge, die mittels des Zirkels bestimmt werden.

Die beigelegte Figur dürfte die Methode noch besser als Worte erläutern. In derselben sind fünf verschiedene Aufnahmen des unteren Randes der kleinen, aber steilen Soltaglacierenzunge übereinander gezeichnet. Für die erste Aufnahme sind nur die mittels der Latte bestimmten Punkte ausgesetzt, für die anderen sind dieselben durch eine gestrichelte oder ganz ausgezogene Linie verbunden.

Die drei ersten Aufnahmen von 1896—1900 stimmen beinahe vollkommen überein, während dieser Jahre dürfte der Gletscherrand stationär gewesen sein. Zwischen dem 27. August 1900 und dem 1. Sept. 1902 ist der Gletscherrand etwa 20 m vorgerückt. Am 7. August 1907 fand ich denselben noch um etwa 40 m weiter vorwärtsgerückt. Dies scheint jedoch nicht dem in der Zwischenzeit stattgefundenen Maximalstand zu entsprechen; denn bei der letzten Gelegenheit (August 1907) konnte ich das Signal Nr. 1, von dem die früheren Messungen ausgeführt wurden, nicht wiederfinden; es war offenbar vom Gletscher zerstört worden.

Da das erste Signal zerstört war, so wäre die Messungsreihe abgebrochen worden, wenn nicht schon früher noch andere Signale



errichtet worden wären. Obgleich nun eine solche Reihe von mitten im Talboden längs der Bewegungsrichtung des Gletschers gebauten Signalen genügende Sicherheit für die Verbindung von älteren und neueren Messungen darbietet, auch wenn die Gletscher in Zwischenzeiten von mehreren Jahren besucht werden, so muß doch eingeräumt werden, daß für Talgletscher noch zweckmäßigere Systeme von Fixpunkten möglich sind. Ein solches würde eines sein, das nicht nur aus einer Reihe von Signalen mitten im Tale, sondern auch aus hoch an der Talseite errichteten bestände, so daß der Gletscher selbst bei einem maximalen Stand sie nicht zerstören könnte. Die Messungen sollten stets von der mittleren Reihe ausgeführt werden, um möglichst genau zu werden, und für jede Messung müßten stets wenigstens zwei Signale bestimmt werden. Mit Hilfe der seitlichen Signalreihen wäre jedoch stets die Verknüpfung von älteren und jüngeren Be-

stimmungen der Gletscherenden während abwechselnder Perioden von Zuwachs und Abnahme auszuführen. Bei sehr selten — einmal im Jahrzehnt oder seltener — besuchten Gletschern würde diese Methode sich besonders empfehlen.

Ich pflege die Signale mit gemalten Nummern zu versehen; dieses ist jedoch nicht nötig, wenn wenigstens zwei Signale beibehalten werden und die Abstände der Signale verschieden sind. Dann ergibt sich aus den Messungen, welche Signale gemeint sind. Eine Numerierung der Signale ist jedoch immer vorteilhaft, da sonst dieselben vielleicht mit anderen Marken, die eventuell andere Besucher hinterlassen, verwechselt werden können. Für lange Zeiträume ist indessen die Markierung mit Ölfarbe keineswegs zulässig, sondern es müssen dafür dauerhaftere Mittel, z. B. Kupferblechbüchsen mit eingeschlossenen Zetteln usw., gewählt werden. Selbstverständlich können einige Fixpunkte etwa in derselben Weise, wie es bei feineren Dreiecksvermessungen und Nivellierungen üblich ist, ausgezeichnet werden, wenn man die Kosten nicht scheut.

Als ich meine Arbeiten im Sarekgebirge anfang, waren die Gletscher daselbst beinahe unbekannt. Die Karten gaben etwa fünfzig Gletscher an, ich fand etwa hundert. Die meisten dieser Gletscher eigneten sich nicht zu Untersuchungen der Gletscherschwankungen, weil ihre Ränder von Schutt oder Schneeflecken bedeckt waren. Sämtliche Gletscherenden sind jedoch durch orientierte photographische Aufnahmen approximativ bestimmt worden. Etwa ein Dutzend Gletscherenden, deren Ränder deutlich zu sehen waren, bestimmte ich genauer durch Kartierung. In den ersten Jahren (1896—1900) meiner Untersuchungen im Sarekgebiet wiederholte ich die Bestimmungen der Enden mehrerer dieser Gletscher. Ich fand aber weder deutliche Anzeichen eines Anwachsens noch solche eines Rückschreitens. Da meine Zeit kostbar war und viele andere wissenschaftliche Aufgaben, die mir wichtiger schienen, sie in Anspruch nahmen, beschränkte ich mich später auf die Bestimmung nur eines Gletscherendes in jedem Sommer, wenn ich nicht während meiner Reisen auch anderen nahe kam. Als jährlich zu bestimmendes Gletscherende wählte ich dasjenige des Mikkaglacieren, und wenn dieses deutliche Anzeichen des Anwachsens oder des Rückschrittes zeigte, wollte ich auch andere Gletscherenden untersuchen.

Im Sommer 1906 besuchte ich den Mikkaglacieren nicht, weil ich damals nur einen sehr kurzen Besuch im Hochgebirge machte. Im verflorbenen Sommer 1907, am 4. August, fand ich aber, daß

dieser Gletscher seit dem 16. August 1905 um 10—15 m vorgerückt war. Da ich außerdem bei einer Nivellierung beobachtete, daß die Zunge angeschwollen war, besuchte ich auch den Soltaglacieren, der, wie oben schon erwähnt, einen noch größeren Zuwachs zeigte.

Diese Messungen deuten auf ein beginnendes Vorrücken der Sareker Gletscher. Jedoch kann man selbstverständlich aus dem Verhalten zweier Gletscher keine sicheren Schlußfolgerungen für das ganze Gebiet ziehen. Ich hoffe aber im Sommer 1909 eine vollständige Nachmessung sämtlicher früher bestimmten Gletscherenden ausführen zu können.

Der Stillstandsperiode der Sareker Gletscher von etwa 1895 bis 1900 scheint eine Rückgangsperiode vorangegangen zu sein. Dieser Vermutung liegt allerdings nur eine einzige Bestimmung zugrunde, nämlich am Luottoglacieren. Bei einem Besuche dieses Gletschers am 31. August 1883 hatte Svenonius den Abstand zwischen dem Ende dieses Gletschers und einem leicht kenntlichen Felsen gemessen, und am 29. August 1896 machte ich eine Messung an derselben Stelle. Der Vergleich der beiden Messungen ergab einen Rückzug um 119 m.

Wenn man aus dem sehr kleinen Material der Sareker Gletscher eine Schlußfolgerung hinsichtlich ihrer Schwankungen in den letzten Dezennien ziehen darf, so würde sich folgendes ergeben:

Rückzug	etwa 1883—1895
Stillstand	„ 1895—1900
Vorstoß	„ 1900—1907

Ich betone aber nochmals, daß diese Zusammenstellung sehr unsicher ist.