



Doctoral Thesis

Velocity fluctuations of an arctic valley glacier a study of the White Glacier, Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago

Author(s):

Iken, Almut

Publication Date:

1974

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000090485> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. Nr. 4959

**VELOCITY FLUCTUATIONS OF AN ARCTIC VALLEY GLACIER,
A STUDY OF THE WHITE GLACIER, AXEL HEIBERG ISLAND,
CANADIAN ARCTIC ARCHIPELAGO**

Abhandlung
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften
der

**EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZUERICH**

vorgelegt von
Almut Iken
geboren am 1. Oktober 1933
in Bremen
Deutsche Staatsangehörige

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Fritz Müller, Referent
PD Dr. Hans Röthlisberger, Korreferent

McGill University, Montreal, 1974

SUMMARY

As a continuation of movement measurements carried out by members of McGill University's expeditions to Axel Heiberg Island since 1960, variations of the surface velocity of the White Glacier, Axel Heiberg Island, were observed in relation to other phenomena during the summer months of the years 1968-71.

During the first summer the velocity was measured at four profiles in the ablation area at intervals of 2 to 14 days and it was obvious that there was a relation to the rate of melt at all profiles. After periods of snowfall the response of the glacier velocity to an increased rate of melt followed with a time lag of a few days. The velocity increases were largest, both absolutely and relatively, at the Anniversary Profile, approximately in the mid ablation area.

In the following summers the observation intervals were reduced to a few hours. The majority of the observations was made in the middle of the ablation area. A distinct diurnal cycle of the glacier velocity was found, similar to that of the discharge of glacial streams. The largest velocity increase was observed several hours after a heavy rainfall in August 1969: at a distance of 200 m from the margin the velocity rose to over 400 per cent of the velocity before the rainfall.

In a consideration of the possible mechanisms of the velocity fluctuations nearly in phase with the diurnal variations of discharge streams, changes in the surface layer of the glacier or in the whole ice body must be ruled out. The most promising hypothesis assumes changes of the velocity of sliding of the glacier over its bed caused by changes of water pressure in bottom conduits. (The extrapolation of an ice temperature profile and the observed seasonal variations of the direction of vectors of glacier surface velocity indicate that major parts of the White Glacier are not frozen to the bed but slide, in spite of a mean annual air temperature of approximately -20°C . The turbidity of englacial water and the depths of some investigated moulin channels suggest that water from the surface does indeed reach the glacier bed.) The ways in which the water pressure in bottom conduits might influence the sliding velocity should depend on the nature of the glacier bed: in the case of a permeable layer of sediments between ice and unpermeable bedrock, variations of pore pressure in this layer would cause variations in the rate of its shear deformation. In the case of clear ice sliding over solid rock, changes of water pressure in a system of cavities connected with the bottom conduit would give rise to changes of the forces exerted on the cavity walls and to changes of the cavity size. The possibility that the water pressure in bottom conduits reaches locally the ice overburden pressure in times of unusually large run-off cannot be excluded. The effectiveness of the water pressure in bottom conduits should depend on the extent of the zones communicating with the conduits.

In order to obtain indirectly information on water pressures in bottom conduits, water pressures in moulins were measured in 1970 and 1971. Diurnal fluctuations of water pressure up to 17 kp/cm^2 (16.7 bar) were observed at constant depths in the moulin pipes. Occasionally, a new moulin formed upstream from an investigated moulin thus reducing the discharge of the feeding stream drastically. Nevertheless, on the following days the water level rose in the abandoned moulin to nearly the same height as before. This suggests that the measured water pressure fluctuations reflected, in the first place, fluctuations of the accumulation of water in the glacier and only to a smaller degree variations of head loss along the individual moulin pipes.

Comparing the fluctuations of water pressure with fluctuations of glacier velocity measured in the vicinity of the moulins, a good agreement of the times of maximum water pressure and maximum velocity was found. The relation of the heights of the daily maxima of both variables, however, was poor. This finding seems to conflict with the hypothesis that velocity fluctuations are caused by fluctuations of water pressure in bottom conduits unless one assumes that the extent of subglacial zones communicating with bottom conduits changes frequently.

Combining a series of pressure data obtained by lowering a pressure gauge gradually into a moulin with the corresponding lengths of cable below the surface, an approximation of the

slope and depth of the moulin pipe may be obtained. Judging by this method, most of the investigated moulin pipes were nearly vertical. The greatest depth reached was approximately 180 m below the glacier surface.

During several days short-term velocity measurements were made at comparable sites of the larger Crusoe and Thompson glaciers. The observed velocity increases were smaller than at the White Glacier; the largest of the three glaciers, the Thompson Glacier, experienced the smallest variations in velocity. This behaviour is plausible on the basis of the hypothesis that the observed velocity fluctuations are those of the velocity of sliding over the bed: the sliding velocity should contribute a larger proportion of the total surface velocity in a thinner, steeper glacier than in a thick glacier, provided the basal shear stress is equal in both glaciers.

DIE SCHWANKUNGEN DER GESCHWINDIGKEIT EINES ARKTISCHEN TALGLETSCHERS
Untersuchungen am White Glacier, Axel Heiberg Island, Kanadischer Arktischer Archipel

ZUSAMMENFASSUNG

Bewegungsmessungen sind seit 1960 von Mitgliedern der Axel Heiberg Expedition am White Glacier, Axel Heiberg Island, durchgeführt worden. In Fortsetzung dieser Untersuchung wurden in den Sommermonaten der Jahre 1968-71 die Schwankungen der Oberflächengeschwindigkeit dieses Gletschers beobachtet und mit anderen Messungen in Beziehung gesetzt.

Während des ersten Sommers wurde die Geschwindigkeit an 4 Profilen im Ablationsgebiet in Zeitabständen von 2 bis 14 Tagen gemessen. Eine Beziehung zwischen Gletschergeschwindigkeit und Intensität der Abschmelzung war bei allen Profilen offensichtlich. Nach Schneefällen war die Reaktion der Gletschergeschwindigkeit auf eine verstärkte Schmelzrate um einige Tage verzögert. Die Zunahmen der Gletschergeschwindigkeit waren am grössten - sowohl absolut als auch relativ - beim Anniversary Profil, im mittleren Ablationsgebiet.

In den folgenden Sommern wurden die Beobachtungsabstände auf wenige Stunden reduziert. Die meisten Messungen wurden im mittleren Ablationsgebiet durchgeführt. Dort wies die Gletscheroberflächengeschwindigkeit einen ausgeprägten, täglichen Zyklus auf, ähnlich dem der Wasserführung von Gletscherbächen. Die grösste Geschwindigkeitszunahme wurde mehrere Stunden nach einem heftigen Regen im August 1969 beobachtet: In einer Entfernung von 200 m vom Rand stieg die Geschwindigkeit auf über 400% der vor dem Regen gemessenen Geschwindigkeit an.

Bei der Suche nach möglichen Mechanismen der Geschwindigkeitsschwankungen, die nahezu gleichzeitig mit den täglichen Schwankungen der Wasserführung von Bächen waren, scheiden Aenderungen in der Oberflächenschicht des Gletschers oder in der ganzen Eismasse aus. Am vielversprechendsten ist die Hypothese, dass Aenderungen des Wasserdruckes in Kanälen am Gletschergrund Aenderungen der Gleitgeschwindigkeit über den Untergrund verursachen. Extrapolation eines Eistemperaturprofiles und die beobachteten jahreszeitlichen Schwankungen der Richtungen von Vektoren der Oberflächengeschwindigkeit weisen darauf hin, dass grössere Teile des White Glacier nicht am Grund angefroren sind, sondern gleiten, obwohl die Lufttemperatur im Jahresmittel etwa -20°C beträgt. Die Trübheit des aus dem Gletscher strömenden Wassers und die Tiefe einiger erforschter Gletschermühlenkanäle legen nahe, dass tatsächlich Wasser von der Gletscheroberfläche den Gletschergrund erreicht.)

Die Weisen, in denen der Wasserdruck in Kanälen am Untergrund die Gleitgeschwindigkeit beeinflussen kann, hängt von der Beschaffenheit des Gletscherbettes ab: Wo eine durchlässige Schicht von lockeren Sedimenten dem undurchlässigen Untergrund aufliegt, führen Aenderungen des Porenwasserdruckes zu Aenderungen der Scherverformungsgeschwindigkeit dieser Schicht. Wo reines Eis über festen Fels gleitet, verursachen Aenderungen des Wasserdruckes in einem System von Höhlen, die mit dem Grundkanal verbunden sind, Aenderungen der auf die Höhlenwände ausgeübten Kräfte und Aenderungen der Grösse der Höhlen. Die Möglichkeit, dass der Wasserdruck in Grundkanälen örtlich die Höhe des Druckes des darüber lastenden Eises erreicht ist nicht ausgeschlossen. Die Wirksamkeit des Wasserdruckes in Grundkanälen hängt vermutlich ab von der Grösse der Gebiete, die mit den Grundkanälen in Verbindung stehen.

Mit dem Ziel, indirekte Informationen über Wasserdrucke in Grundkanälen zu erhalten, wurden in den Jahren 1970 und 1971 Wasserdrucke in Gletschermühlen gemessen. In unveränderten Tiefen der Gletschermühlenkanäle wurden tägliche Schwankungen des Wasserdruckes bis zu 17 kp/cm^2 (16,7 bar) beobachtet. Gelegentlich bildete sich eine neue Mühle stromaufwärts von einer untersuchten Mühle, wodurch der Zufluss in diese drastisch reduziert wurde. Trotzdem erreichte der Wasserstand an den folgenden Tagen in der aufgegebenen Mühle nahezu dieselbe Höhe wie zuvor. Daraus folgt, dass die gemessenen Wasserdruckschwankungen in erster Linie Schwankungen der Wasseransammlungen im Gletscher widerspiegeln und nur in geringerem Masse Aenderungen von Druckverlusten entlang der einzelnen Mühlenkanäle sind.

Wenn man die täglichen Schwankungen des Wasserdruckes mit Schwankungen der

Oberflächengeschwindigkeit des Gletschers in der Nähe der Mühlen vergleicht, stellt man eine gute Uebereinstimmung der Zeiten von maximalem Wasserdruck und maximaler Gletschergeschwindigkeit fest. Die Beziehung zwischen den Höhen der Maxima der beiden Veränderlichen war jedoch unterschiedlich. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der Hypothese, dass die Geschwindigkeitsschwankungen durch Schwankungen des Wasserdruckes in Grundkanälen verursacht werden, sofern man nicht zusätzlich annimmt, dass sich die Grösse der subglazialen Gebiete, die mit einem Grundkanal in Verbindung stehen, häufig ändert.

Wenn man die Druckwerte, die bei schrittweisem Herunterlassen eines Manometers in eine Mühle abgelesen wurden, in Beziehung setzt mit den heruntergelassenen Kabellängen, kann man das Gefälle und die Tiefe des Mühlenkanals abschätzen. Es ergab sich, dass die meisten untersuchten Mühlenkanäle nahezu senkrecht waren. Die grösste erreichte Tiefe war ungefähr 180 m unter der Oberfläche.

Während einiger Tage wurden kurzzeitige Geschwindigkeitsmessungen an vergleichbaren Stellen der grösseren Crusoe- und Thompson-Gletscher durchgeführt. Die beobachteten Geschwindigkeitszunahmen waren kleiner als beim White Glacier; der grösste der drei Gletscher, der Thompson Glacier, zeigte die kleinsten Geschwindigkeitsschwankungen. Dieses Verhalten ist einleuchtend im Hinblick auf die Hypothese, dass die beobachteten Geschwindigkeitsschwankungen Schwankungen der Gleitgeschwindigkeit sind: In einem dünneren, steileren Gletscher sollte die Gleitgeschwindigkeit einen grösseren Anteil zur Gesamtgeschwindigkeit beitragen als in einem dicken Gletscher, vorausgesetzt dass die Scherspannung am Grund in beiden Gletschern gleich ist.

ACKNOWLEDGEMENTS

I should like to express my gratitude to Dr. Fritz Müller, the scientific leader and organizer of the expedition, for making it possible in the first place for me to do this work, also for his valuable advice and encouragement during the preparation of this thesis. The study was based on extensive research on the movement of the White Glacier which Dr. Müller had done with the assistance of David Terroux and others in the years 1959 to 1968.

The work in the field could not have been carried out without the able assistance of Michèle Tallman in 1968, Judith Niemi in 1969 and 1971, and Susanne Pusback in 1970. I wish to extend my thanks to all members of the expedition who helped on countless occasions.

A scholarship of the Stiftung Volkswagen Werk covered the fees of my studies at McGill University.