

Variations of the surface ice motion of Gornergletscher during drainages of the ice-dammed lake Gornersee

Doctoral Thesis

Author(s):

Riesen, Patrick

Publication date:

2011

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006526655>

Rights / license:

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

Diss. ETH No. 19642

Variations of the surface ice motion of Gornergletscher during drainages of the ice-dammed lake Gornersee

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
PATRICK DANIEL RIESEN
dipl. Naturwissenschafter ETH

6 February, 1982

citizen of
Oberbalm (BE), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. M. Funk, examiner
Prof. Dr. A. Puzrin, co-examiner
Prof. Dr. K. Hutter, co-examiner
Prof. Dr. L. W. Morland, co-examiner

2011

Abstract

Gornergletscher is a large valley glacier formed by the confluence of two flow tributaries descending from the heights of the Monte-Rosa massif located in southern Switzerland. Gornergletscher is about 5 km long and up to 400 m thick at the center of flow convergence. Upstream of the confluence, where the two tributaries actually meet, the ice-marginal lake Gornersee exists. In most cases, Gornersee starts to fill by melt water retention in spring. Meanwhile, below the adjacent Gornergletscher, an extensive system of subglacial conduits and channels starts to form and transport melt water as well. A connection of the lake water with the basal discharge system eventually allows Gornersee to drain subglacially. This phenomenon is known to occur at other glaciers as well, but Gornersee provides an ideal study case due to the recurrence of the drainage every early summer. The filling and drainage of such an ice-dammed lake does not leave the adjacent glacier unaffected. Due to the drastic amounts of lake water passing through the subglacial hydrological system in short time, the basal conditions and intermittent water storage are strongly affected. The basal motion of the ice is very sensitive to such changes in the subglacial properties, and development of temporal and spatial variations of the ice motions, directly observable at the ice surface, are the immediate consequences. Vice versa, details on the lake drainage process can be inferred from the changes of the surface ice flow. In this thesis, temporal and spatial variations of the surface ice flow of Gornergletscher during several drainages of Gornersee are reported and analyzed. The ice flow changes are compared for different lake drainage events, as the diverse character of the drainages of Gornersee lead to variable impacts on the surface ice displacements and flow velocities of Gornergletscher. In one drainage event, a pronounced impact on the flow of Gornergletscher was apparently absent. Then, the discharge of lake water from Gornersee to the base of Gornergletscher was essentially limited by superficial outflow. Nevertheless, changes of the direction of ice movement and flow velocities solely caused by the pressure imposed on the ice due to the presence of the lake are identified in the course of this work. The application and release of such forces are then conjectured to be responsible for intriguing retrograde ice displacements observed in the vicinity of Gornersee. However, the glacier ice is commonly considered a purely viscous material, under which circumstances a reversal of the flow motion can not occur. A viscoelastic constitutive model of the ice rheology is thus developed. A constitutive equation for the ice in the form of a higher-order Rivlin-Ericksen material is proposed and tested. Finally, the possibility of recoverable displacements being solely caused by relaxation of the ice deformation is examined in the response of shearing flow subject to time-dependent loading/unloading. The model can not support the presumptions on the reversing displacements under expected stress conditions and for reasonable parameters of the viscoelastic ice rheology.

Zusammenfassung

Gornergletscher ist ein grosser Talgletscher, geformt vom Zusammenfluss zweier Gletscher am Fusse des Monta-Rosa Massivs in der südlichen Schweiz. Gornergletscher hat eine Länge von knapp 5 km und ist bis zu 400 m dick im Zentrum der Konfluenz der Eisflüsse. Oberhalb der Konfluenz, wo die beiden Gletscher zusammentreffen, existiert der eis-gestaute Gornersee. Üblicherweise füllt sich der Gornersee im Frühling durch Schmelzwasser. Zeitgleich dazu entwickelt der Gornergletscher ein subglaziales System aus Abflusskanälen welches auch Schmelzwasser transportiert. Eine Verbindung des Wassers vom Gornersee zu diesem subglazialen Abflusssystem ermöglicht dessen Entleerung. Dieses Phänomen beobachtet man auch an anderen Gletschern, jedoch zeichnet sich Gornersee speziell zur Untersuchung dieses Vorgangs aus, da die See-Entleerung sich jährlich wiederholt. Die Entstehung und Entleerung des eis-gestauten Sees hat einen spürbaren Einfluss auf den benachbarten Gletscher. Der Transport von grossen Mengen des Wasser aus dem See durch das subglaziale Kanalsystem in kurzer Zeit beeinflusst die Bedingungen und Zwischenspeicherung von Wasser am Gletscherbett beträchtlich. Die Bewegung des Gletschereises am Bett reagiert direkt auf die Veränderungen der subglazialen Eigenschaften und die Entstehung von zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Eisbewegung, erkennbar an der Gletscheroberfläche, ist die Folge. Andererseits, von den Veränderungen der Eisbewegung kann auch auf den Entleerungsprozess des Gletschersees rückgeschlossen werden. In dieser Abhandlung werden die räumlichen und zeitlichen Veränderungen der Fliessbewegung vom Gornergletscher während wiederholter Entleerungen des Gornersees erfasst und untersucht. Die Änderungen der Fliessbewegungen während verschiedener Seeausbrüche werden verglichen, da der Einfluss des Seeausbruchs auf die Bewegung des Gornergletschers sehr differenziert ausgefallen ist. Während einer besonderen Entleerung des Gornersees schien es, dass der Ausbruch des Sees keinen Einfluss auf die Eisbewegungen hatte. Dies war der Fall, als der Abfluss des Wassers in den Untergrund des Gletschers durch ein oberflächliches Abfliessen kontrolliert wurde. Trotzdem konnten Veränderungen in der Bewegung und Geschwindigkeit des Eisfliessens in dieser Arbeit erkannt werden. Es wird festgestellt dass diese Bewegungsänderungen durch den Druck, der vom gestauten Seewasser auf das umliegende Eis ausgeübt wird, verursacht wird. Diese Druckspannungen werden als Ursache von speziellen Fliessbewegungen nahe des Gornersees, welche sich durch eine ausgeprägte Wende der Fliessrichtung auszeichnen, angesehen. Jedoch wird Gletschereis im üblichen Sinne als viskoses Material behandelt. Unter solchem Materialverhalten kann keine umkehrbare Bewegung erzeugt werden. Deshalb wird ein viskoelastisches Materialgesetz für Gletschereis entwickelt. Das Gesetz wird formuliert als ein sogenanntes Rivlin-Ericksen Material höherer Ordnung. Letztlich wird die Möglichkeit, dass diese speziellen Fliessbewegungen aus der Erholung der Deformation des Eises nach einer aufgebrauchten Spannung entstehen, behandelt. Das Modell kann diese Annahme, unter Voraussetzung erwarteter Spannungsbedingungen und Werte der Parameter der viskoelastischen Rheologie des Eises nicht bekräftigen.