

DISS. ETH NO. 18184

FABIAN WALTER

SEISMIC ACTIVITY ON  
GORNERGLETSCHER DURING GORNERSEE  
OUTBURST FLOODS

DISS. ETH No. 18184

# **Seismic Activity on Gornergletscher During Gornersee Outburst Floods**

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

Fabian Walter

M. S. University of Colorado

B. S. Brigham Young University

born November 11, 1978

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. M. Funk, examiner

Dr. J. F. Clinton, co-examiner

Dr. N. Deichmann, co-examiner

Prof. Dr. D. S. Dreger, co-examiner

Prof. Dr. D. Giardini, co-examiner

2009

# Abstract

In the present work I investigate the seismic activity of Gornergletscher, Switzerland's second largest glacier, during the annual drainages of Gornersee, a nearby ice-marginal lake. During the summers 2004, 2005, 2006 and 2007, about 200,000 'icequakes' were recorded on Gornergletscher. Most events are consequences of crevasse opening near the surface. Moment tensor inversions of such events are consistent with a tensile dislocation, which is a highly isotropic seismic source. I also found about one dozen of near-surface icequakes whose moment tensors are double-couples. This is solid evidence for shear fracturing within alpine glacier ice. Icequakes near the glacier bed or at intermediate depths were identified, although they make up only a small fraction of the recorded events. I perform moment tensor inversions for one intermediate and one basal icequake cluster and find that the source mechanisms are tensile dislocations, like the typical near-surface icequake. However, the catalog of basal icequakes also contains events whose waveforms show significant differences to those that were used in the moment tensor inversion. This suggests that events with a variety of source mechanisms occur near the glacier bed.

During the warm day hours of the summer, large amounts of surface melting occurs on Gornergletscher. This meltwater accumulates at the glacier bed, where it can raise subglacial water pressures close to flotation level. Consequently, the water level inside boreholes can fluctuate by up to 100 m on a diurnal scale. The diurnal peak of near-surface seismic activity occurs during warm day times, as well. This is explained by increased surface deformation caused by melt-water enhanced basal sliding. On the other hand, basal seismic sources are active during night times, when basal water pressures are low or decreasing. This type of seismicity is therefore not likely a consequence of melt-water enhanced basal sliding or hydrofracturing. Instead I suggest that basal seismicity is caused by large deformation rates of the basal ice layer, which occur when the glacier couples to the bed after a period of melt-water enhanced sliding. These findings are consistent with seismic observations concurrent with the drainage of Gornersee. During the drainage event, large amounts of lake water are routed to the subglacial drainage system, thus maintaining the subglacial water pressure at a high level even during night. The resulting increase in ice deformation causes a surge in near-surface seismicity. On the other hand, the activity of basal icequakes near the lake decreases with the onset of the lake drainage.

# Zusammenfassung

In dieser Arbeit untersuche ich die seismische Aktivität auf dem Gornergletscher, dem zweitgrössten Gletscher in der Schweiz, während der jährlichen Entleerung des gletschergestauten Gornersees. Während der Sommer 2004, 2005, 2006 und 2007 wurden ca. 200,000 'Eisbeben' auf dem Gornergletscher aufgezeichnet. Die meisten Beben resultieren aus Spaltenöffnungen nahe der Gletscheroberfläche. Momententensorinversionen solcher Ereignisse deuten auf Spannungsbrüche hin, was eine seismische Quelle mit besonders hohem isotropen Anteil darstellt. Ausserdem fand ich etwa ein Dutzend Oberflächenereignisse mit 'double-couple' Momententensoren. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf Scherbrüche in alpinem Gletschereis. Eisbeben nahe des Gletscherbettes oder auf mittleren Tiefen stellen nur einen geringen Anteil der aufgezeichneten Ereignisse dar. Ich berechne Momententensoren für einen Eisbebencluster auf mittlerer Tiefe und einen Eisbebencluster nahe des Gletscherbettes. Die berechneten Quellmechanismen sind Spannungsbrüche wie die typischen seismischen Quellen nahe der Oberfläche. Der Katalog basaler Eisbeben enthält jedoch auch Ereignisse, deren Wellenformen sich stark von denen, die in der Momententensorinversion verwendet wurden, unterscheiden. Dies deutet darauf hin, dass verschiedene Quellmechanismen am Gletscherbett auftreten.

Während des Sommers tritt auf der Oberfläche des Gornergletschers zu warmen Tageszeiten eine starke Schmelze ein. Dieses Schmelzwasser sammelt sich am Gletscherbett an, wodurch der subglaziale Wasserdruck fast bis an das Schwimmgleichgewicht ansteigen kann. Dadurch können die Bohrlochwasserspiegel täglich um bis zu 100 m schwanken. Die täglichen Maxima der seismischen Aktivität nahe an der Gletscheroberfläche treten ebenfalls zu warmen Tageszeiten auf. Als Grund dafür kommen vor allem erhöhte Verformungsraten an der Gletscheroberfläche in Frage, weil der hohe subglaziale Wasserdruck die basale Gleitgeschwindigkeit verstärkt. Basale Eisbebenquellen sind jedoch aktiver während der Nacht, wenn der subglaziale Wasserdruck niedrig oder am Fallen ist. Diese Art von Seismizität wird deswegen wahrscheinlich nicht durch verstärktes basales Gleiten oder 'hydrofracturing' hervorgerufen. Stattdessen interpretiere ich diese Beben als Bruchvorgänge während starker Verformungen am Gletscherbett. Starke basale Eisdeformationen werden vor allem dann erwartet, wenn der Gletscher nach einer Phase mit grossen Gleitgeschwindigkeiten wieder an das Gletscherbett gekoppelt wird. Diese Ergebnisse decken sich mit seismischen Beobachtungen während der Entleerung des Gornersees. Dann werden grosse Mengen Seewasser dem subglazialen Abflusssystem zugeführt, wodurch der subglaziale Wasserdruck auch während der Nacht auf einem hohen Niveau bleibt. Die resultierende Eisverformung bewirkt einen Anstieg der oberflächennahen Seismizität. Auf der anderen Seite wird eine Abnahme von basalen Eisbeben verzeichnet.