



Doctoral Thesis

## Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost eine Grundlagenstudie im Oberengadin

**Author(s):**

Keller, Felix Urs

**Publication Date:**

1993

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000918795> →

**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. ETH

DISS. ETH Nr. 10356

**Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost**  
**Eine Grundlagenstudie im Oberengadin**

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Felix Urs Keller

dipl. Geograph Phil. II

geboren am 15. April 1962

von Samedan und Aarau

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Dr. D. Vischer, Referent

PD Dr. W. Haerberli, Korreferent

Dr. H. Gubler, Korreferent

Zürich 1993



CatE

## Zusammenfassung

Über die Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost in den Alpen ist nur wenig bekannt. Lawinenschutz in Permafrostgebieten setzt Kenntnisse über die dort vorherrschenden Schneeverhältnisse und deren Wechselbeziehungen zum Untergrund sowie auch über die speziellen Eigenschaften von eisreichem, gefrorenem Untergrund voraus. Diese Studie beschreibt diese Verhältnisse erstmals systematisch an einem Beispiel im Oberengadin (GR) und liefert somit Grundlagen für die Wahl von Lawinenschutzmassnahmen, sowie auch Ansätze für weitere Forschungsarbeiten.

Der Kenntnisstand über die Verbreitung und Charakteristik von Permafrost in den Lawinenanrisszonen sowie den zugehörigen Prospektionsmethoden wurde aus der Literatur für praktische Arbeiten zusammengefasst und mit dem Einsatz eines geografischen Informationssystems leichter zugänglich gemacht. Im Untersuchungsgebiet Blockgletscher Murtèl am Piz Corvatsch (GR) wurden an je zwei Standorten innerhalb und ausserhalb des Permafrostgebietes insgesamt 90 Schneeprofile aufgenommen und analysiert. Gleichzeitig erfasste ein automatisches Datenerfassungssystem im Intervall von 3 Stunden Schnee- und Untergrundtemperaturen. Innerhalb des hierzu aufgebauten Schneeeinformationssystems *Snowkryo* konnten aus diesen Daten die signifikant unterschiedlichen Temperaturverhältnisse, Kornformverteilungen und Rammwiderstände dargestellt werden. Weiter wurde der thermische Widerstand der Schneedecke und der bodennahe Wärmefluss durch die Schneedecke berechnet. Innerhalb der Datenstruktur des Schnee-Informationssystems konnten die Felddaten mit dem Wachstumsmodell zur aufbauenden Metamorphose von Marbouty (1980) verknüpft werden. Die Sichtung von dokumentierten Lawinenunfällen im mutmasslichen Permafrostgebiet unter Berücksichtigung der neu erarbeiteten Grundlagen ermöglichte die Diskussion über Zusammenhänge zwischen Permafrost, Lawinen und Lawinenverbau.

Mit dem Aufbau des glaziologischen Informationssystem *Kryo* steht nun ein Mittel zur Verfügung, um Felddaten standardmässig auszuwerten, mit Computersimulationen zu verknüpfen und kartografisch darzustellen. Insbesondere kann das Programm *Permakart* auf der Basis des landesweiten Geländemodells *Rimini* die Permafrostverbreitung abschätzen. Damit können nun für jedes Gebiet der Schweiz Permafrostkarten erstellt werden.

Die Schneeuntersuchungen lieferten erste Grundlagen über die Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost. Der bodennahe Temperaturgradient in der Schneedecke im Permafrost ist deutlich kleiner als ausserhalb der Permafrostzonen. Hingegen wird die Isolationsfähigkeit der Schneedecke mit thermischen Widerständen bis  $6 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$  von Permafrost nur schwach beeinflusst. Die bodennahen Wärmeflüsse erreichen Werte bis  $4 \text{ W/m}^2$ . Die Wärmemengen, welche in einem Winter durch die Schneedecke bei mittleren Schneehöhen transportiert werden, liegen im Permafrost in der Grössenordnung von  $10 \text{ MJ/m}^2$ , ausserhalb je nach Schneehöhe bis  $25 \text{ MJ/m}^2$ . Die Durchnässung der Schneedecke erfolgt in den Permafrostgebieten einen halben bis ganzen Monat später als ausserhalb.

Die Untersuchungen zeigen neue Aspekte zur BTS-Methode (BTS = Basis Temperatur der Schneedecke). Neben der Bestätigung der Methode konnten zwei neue Effekte postuliert werden: 1.) Erstmals beobachtete thermische Kopplungen der Atmosphäre mit der Auftauschicht in Permafrost durch Schlote bei einer weniger als 60 cm mächtigen Schneedecke könnten die Untergrundtemperaturen im Winter senken. 2.) Mehrere Hinweise deuten auf einen möglicherweise permafrostinduzierenden Herbstschneeeffekt, welcher im Herbst den Untergrund stark auskühlen würde. Über die Berechnung der Energieflüsse zur Oberfläche konnte dieser Effekt simuliert und dessen Auswirkungen abgeschätzt werden.

Aufgrund der Analyse der Schneeprofile entstanden Faustregeln über den permafrosttypischen Schneedeckenaufbau. Die aufbauende Metamorphose ist in den basalen Schneesichten in Permafrost verglichen mit permafrostfreiem Gelände reduziert. Im Frühling sind die Rammwiderstände im Permafrostgebiet um eine Größenordnung höher als ausserhalb.

## Abstract

Very few investigations have been carried out to date on the influence of the snow cover in high mountain permafrost areas on the thermal regime of permafrost bodies and the consequences of reduced heat flow on snow characteristic. Improved knowledge of the interactions between snow cover and high mountain permafrost is required in order to develop a sound avalanche protection concept for steep slopes with creeping mountain permafrost. The present study describes these circumstances using an example in the Upper Engadin, eastern Swiss Alps and furnishes a basis for the choice of avalanche protection measures and new approaches for conducting further investigations.

The knowledge base on the distribution and characteristics of high mountain permafrost in avalanche release zones as well as related investigation methods were summarized from the literature. In addition, computer programs within a geographic information system (GIS) facilitate the access to this knowledge. In the rock glacier area of Murtèl at Piz Corvatsch, eastern Swiss Alps, 90 snow profiles at two locations with and two locations without permafrost were selected. A datalogger was used to measure snow and ground temperatures every 3 hours. For the analysis and interpretation of the data the snow information system *Snowkryo* was developed and used to graphically present the temperature conditions, statistics of grain shapes and snow hardness. Further, the thermal resistance of the snow cover and the near-ground heat flux through the snow were calculated. Within the snow information system a model of temperature-gradient metamorphism was applied. The review of documented avalanche accidents in presumed permafrost regions permitted discussion about aspects of permafrost/avalanche/avalanche-control, taking into account this new knowledge.

The development of the glaciological information system *Kryo* has supplied a new means to analyze standardized field data, to establish a link with computer simulations and to provide cartographic representations of the results. In particular, the *Permakart* application automatically maps the estimated permafrost distribution on the basis of an empirical model and a digital terrain model (DTM). Because the DTM *Rimini* is available for all of Switzerland, this new tool makes possible the estimation of permafrost patterns over vast mountain areas.

The snow investigations yield initial basic information about the interactions between snow and permafrost. The temperature gradients are much smaller in basal snow layers above permafrost than outside of the permafrost zone. However, the thermal resistance of the snow cover up to  $6 \text{ }^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$  does not differ notably between permafrost and permafrost-free locations. In basal snow layers heat fluxes range up to  $4 \text{ W/m}^2$ . The amount of heat which flows through the snow cover during one winter is in the order of  $10 \text{ MJ/m}^2$  in the permafrost area, whereas outside of this area it is more dependent on snow depth and attains values up to  $25 \text{ MJ/m}^2$ . Meltwater runoff from the snow cover starts significantly later in permafrost areas (roughly one month) than in permafrost-free areas.

Measurement of the Bottom Temperature of Snow cover (BTS) is a method for mapping the existence of permafrost. The knowledge concerning the influence of the build-up of the snow cover on the BTS has been improved by the investigations. Besides confirming the validity of the method, two new effects have been postulated: 1.) Effects of direct coupling between the atmosphere and the active layer over permafrost through funnels in a less than 60 cm thick snow cover could be responsible for cold ground temperatures in December. 2.) Reinforced ground cooling processes due to thin snow cover in autumn could have an important influence on the existence of permafrost near the permafrost limit. Calculating energy fluxes to the surface this *fall-snow effect* was simulated and estimated.

Guidelines for determining snow cover characteristics in the permafrost zone have been developed based on snow profile analysis. In contrast to permafrost-free sites with abundant formation of depth hoar in basal snow layers, snow over permafrost sites contains a high proportion of rounded grains, thus providing clear evidence of reduced temperature metamorphism. In spring the snow hardness is one order of magnitude greater in the permafrost area than outside.