

Diss. ETH No. 17945

Monitoring and Modeling Snow Accumulation Processes in Glacierized Alpine Basins

A dissertation submitted to the
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
RUŽICA DADIĆ
Dipl. Natw. ETH
born October 27, 1977
citizen of Heiligenschwendi BE, Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. P. Burlando, examiner
Dr. M. Lehning, co-examiner
Prof. Dr. M. Kuhn, co-examiner

2008

Abstract

Assessing the impact of future climate scenarios on water availability in mountain basins requires accurate estimation of water stored within the snow and ice cover and thus knowledge of the distributed snow and ice mass balance throughout the year. While many observations and models are available to describe the ablation season, the evolution of the winter snow distribution is relatively unknown, especially in complex terrain. The inhomogeneous snow distribution in Alpine terrain is the result of wind and precipitation interacting with the (snow) surface over steep topography. Physically-based, spatially distributed models of snow redistribution have been developed for flat to gently rolling terrain, but extensions of these findings to steep terrain as found in the Alps or the Himalayas have been limited by the complexity of wind fields in such areas. Reduced wind velocity leeward of ridges results in increased precipitation and additional snow deposition. Furthermore, considerable volumes of snow may be moved by avalanches in a watershed, and snow tends to repeatedly slough from slopes that are sufficiently steep.

In order to understand and quantify the redistribution of snow due to these mechanisms in Alpine terrain, we implemented a combination of models, which describe the wind and topography influence on snow accumulation. Existing models of energy balance, gravitational mass transport, wind fields and wind induced snow transport were linked together to describe and understand processes that govern the mass accumulation and ablation in glacierized mountain regions. The observed correlation between modeled local wind fields, measured snow depth and glacierization suggests that accurate description of wind fields over glacierized areas in steep terrain is a key factor for understanding the mass balance of glaciers. The correlation between snow accumulation and wind velocities was used for the parameterization of preferential deposition, which was based on wind speed only. It was further found that gravitational mass transport (avalanches) has a large effect on snow melt, because it can significantly reduce the snow extent area, and therefore reduce surface melt. Both processes lead to an increase in snow depth over flat glacierized areas, leading to a later exposure of ice and to reduced ice melt. The combination of models that we used lead to a better understanding of the processes that govern the snow accumulation in complex terrain, and showed that including snow accumulation processes can significantly improve glacier mass balance models.

Zusammenfassung

Um den Einfluss der Klimaänderung auf Wasserverfügbarkeit in Berggebieten abzuschätzen, ist eine detaillierte Kenntnis von der räumlichen und zeitlichen Verteilung des im Schnee und Eis gespeicherten Wassers notwendig. Während es zur Beschreibung von Ablationsprozessen viele Beobachtungen und Modelle gibt, sind die Prozesse, die zur räumlichen Verteilung der Schneedecke führen weniger bekannt, vor allem in steilem Gelände. Die inhomogene Schneeverteilung in alpinem Gelände ist das Resultat von Wind und Niederschlag, die mit der Schneeoberfläche und der Topografie wechselwirken. Für flache bis hügelige Landschaften wurden schon physikalische Schneeverteilungsmodelle, die eine räumliche Komponente beinhalten, entwickelt. Deren Anwendung auf steile Gebiete, wie sie in den Alpen oder im Himalaya vorzufinden sind, war jedoch von der Komplexität der Windfelder in solchen Gebieten eingeschränkt. Reduzierte Windgeschwindigkeiten im Lee von Gebirgskämmen führen zu erhöhtem Niederschlag und zusätzlicher Schneeablagerung. Ausserdem werden in steilem Gelände auch beträchtliche Mengen Schnee durch Lawinen umverteilt.

Um die Schneeverteilung aufgrund von diesen Mechanismen zu quantifizieren, haben wir eine Kombination von Modellen angewendet, welche den Einfluss von Wind und Gelände auf die Schneeverteilung beschreiben. Vorhandene Modelle von der Energiebilanz, Lawinen, Windfeldern und Schneeverteilung durch Wind wurden gekoppelt, um Prozesse zu verstehen, die zur Akkumulation und Ablation in vergletscherten Berggebieten führen. Der beobachtete Zusammenhang zwischen modellierten lokalen Windfeldern, gemessenen Schneetiefen und Vergletscherung weist darauf hin, dass eine sorgfältige Darstellung von Windfeldern über vergletscherten Gebieten ein entscheidender Faktor für die Massenbilanz von Gletschern ist, welche wiederum die Wasserverfügbarkeit in Berggebieten bestimmt. Weiter haben Lawinen einen erheblichen Einfluss auf Schneeschmelze, da sie die total Schneebedeckte Fläche verringern und damit zu weniger Oberflächenschmelze führen. Beide Prozesse führen zu höheren Schneetiefen über flachen vergletscherten Gebieten, da diese in der Regel kleinere Windgeschwindigkeiten (mehr Ablagerung von Niederschlag), wie auch kleinere Steigungen (Lawinenablagerungsgebiete) aufweisen. Höhere Schneetiefen führen zur verzögerten Ausaperung des Gletschers und weniger Eisschmelze. Die Kombination der verwendeten Modelle ermöglichte ein besseres Verständnis der Prozesse, die die Schneeakkumulation in komplexer Topografie beeinflussen, und zeigten dass der Einbezug von räumlich verteilter Schneeakkumulation die Gletschermassenbilanzmodelle erheblich verbessern kann.