

Diss. ETH N^o 19969

**HYDROLOGICAL RESPONSE OF A GLACIER FOREFIELD
TO METEOROLOGICAL FORCING ON DIURNAL,
SEASONAL AND DECADEAL TIME SCALES**

DISSERTATION

Submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

by

JAN OLOF MAGNUSSON

M.Sc. Aquatic and Environmental Engineering

born February 1, 1980

Sweden

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. James Kirchner, examiner

Prof. Dr. Jan Seibert, co-examiner

Dr. Tobias Jonas, co-examiner

2011

Summary

In many mountain regions, large land areas have become ice-free with the ongoing glacier retreat. In these pristine landscapes, stream and groundwater flows influence biological, chemical and physical processes. Little is known about the hydrology of glacier forefields, typically characterized by large spatial and temporal variations in stream and groundwater flow. The large spatial variability arises due to the heterogeneous glacial till and complex topography. The strong diurnal and seasonal fluctuations in proglacial discharge are caused by variations in snow and ice melt rates in response to meteorological forcing. In the long-term, the local hydrological system on proglacial fields will adapt to a changing climate and variations in the glacier extent and snow cover on the watershed scale.

This thesis comprises four studies of separate hydrological aspects of the Damma glacier forefield (Switzerland). In a first study, the diurnal and seasonal variations in proglacial discharge were simulated using two different hydrological models. The simulations reproduced the observed discharges accurately, and provided estimates of the fractions of snow melt, ice melt and rainfall contributing to proglacial discharge. In a second study, the seasonal snow cover response to long-term variations in climate was investigated by simulations using an energy-balance snow cover model. The results suggest that the average snow water equivalent in the watershed will decrease by nearly one-third in future (2071-2100) compared to present conditions (1981-2007). In a third study, local stream-groundwater interactions were investigated by studying how stream stage fluctuations propagate into the riparian zone near the main stream channel. It was shown that a diffusion model forced by the stream stage variations could reproduce the groundwater level fluctuations in the riparian zone. In the final study, spatial patterns in stream temperature were used to draw inferences about the energy balance of the stream, the hydraulic geometry of the braided stream channels, and stream-groundwater interactions. The results illustrate that proglacial stream temperatures can yield spatially integrated information about thermal and hydrological processes.

Kurzzusammenfassung

Mit dem Rückgang der Gletscher sind in vielen Gebirgsregionen grosse, eisfreie Landflächen entstanden, auf denen sich ober- und unterirdische Gewässersysteme entwickeln. Die Gewässer haben einen entscheidenden Einfluss auf die Vegetationsentwicklung und die Verwitterung und Erosion der noch jungen Landschaft. Die Hydrologie von Gletschervorfeldern unterliegt einer grossen zeitlichen und räumlichen Dynamik, die im Detail aber noch wenig verstanden wird. Die räumliche Heterogenität der Gewässerläufe ist dem komplexen Substrataufbau der Moränen und der bewegten Topographie geschuldet. Die grossen zeitlichen Abflussschwankungen werden durch tageszeitliche und saisonale Unterschiede der Schnee- und Eisschmelzraten verursacht. Auf lange Sicht wird sich die Hydrologie von Gletschervorfeldern an wärmeres Klima, weiteren Gletscherrückgang und eine veränderte Schneedecke anpassen.

Die vorliegende Arbeit besteht aus vier Studien über unterschiedliche hydrologische Aspekte eines Gletschervorfeldes, am Beispiel des Dammagletschers in der Schweiz. In der ersten Studie wurden die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen des Abflusses mit zwei verschiedenen hydrologischen Modellen simuliert. Die Abflusssimulationen stimmten gut mit gemessenen Abflüssen überein und erlaubten eine Abschätzung der Schneeschmelz-, Eisschmelz- und Regenanteile am Gesamtabfluss. In der zweiten Studie wurden die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die saisonale Schneedecke mit Hilfe eines Schneedeckenmodells untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das durchschnittliche Schneewasseräquivalent für die Jahre 2071-2100 im Vergleich zu aktuellen Werten (1981-2007) um ein Drittel abnehmen wird. In der dritten Studie wurden lokale Wechselwirkungen zwischen Bach- und Grundwasser untersucht, etwa wie sich Schwankungen des Flusspegels auf das Grundwasser auswirken. Mittels eines Diffusionsmodells konnten die Fluktuationen im Grundwasserstand in der Uferzone simuliert werden. In der vierten Studie wurden Messungen der räumlichen Verteilung von Wassertemperaturen in den Bächen verwendet, um Rückschlüsse auf die Energiebilanz der Bäche zu ziehen. Die Ergebnisse zeigen, dass Variationen der Wassertemperaturen räumlich integrierte Informationen über thermische und hydrologische Prozesse in Gletschervorfeldern liefern können.