

# Glaciers and climate change

## a numerical model study

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Schneeberger, Christian

**Publication date:**

2003

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004618198>

**Rights / license:**

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

Diss. ETH No. 14743

# Glaciers And Climate Change: A Numerical Model Study

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
**Doctor of Natural Sciences**

presented by  
Christian Schneeberger  
Dipl. Naturwissenschaftler, ETH Zürich  
born 24. Dezember 1972  
citizen of Ochlenberg (BE), Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. A. Ohmura, examiner  
Prof. Dr. H. Blatter, co-examiner  
Prof. Dr. J. Oerlemans, co-examiner

2003

# Zusammenfassung

Die Absicht der vorliegenden Arbeit ist eine Verbesserung der Prognose der zukünftigen Entwicklung der Gletscher und ihres möglichen Beitrages zu Meeresspiegeländerungen. Eine Kombination von Klimavorhersagen aus Globalen Klimamodellen (GCM), einem Gletscherbilanzmodell und einem Gletscherfliessmodells wird auf eine Auswahl von 11 Gletschern angewendet. Diese Auswahl wird verglichen mit einer anderen Auswahl von sechs Gletschern und sechs grossen, stark vergletscherten Gebieten in der Arktis. Diese zweite Auswahl wird mit einem einfacheren Ansatz modelliert, bei dem nur die Klimavorhersage zusammen mit dem Gletscherbilanzmodell zum tragen kommt.

Die Klimavorhersagen stammen von zwei verschiedenen Klimamodellen. Beide wurden für dieses Experiment jedoch auf dieselbe Weise unter gleichen Voraussetzungen gerechnet. Es ist ein sogenanntes “time-slice” Experiment mit einer Auflösung von  $100 \times 100 \text{ km}^2$  (T106). Das Emissionsszenario beinhaltet einen sukzessiven Anstieg von  $\text{CO}_2$  und anderen Treibhausgasen, bis eine Verdoppelung des aktuellen Wertes erreicht ist. Dies entspricht dem IPCC Szenario IS92a. Insgesamt ist der Unterschied zwischen den beiden GCM-Simulationen klein. Allerdings gibt es auf lokaler Ebene Unterschiede die sich nachhaltig auf die zukünftige Entwicklung grosser, vergletschelter Gebiete, wie z.B. Spitzbergen auswirken.

Die Klimavorhersagen wurden zusammen mit langjährigen Messwerten benutzt um die zukünftige Gletschermassenbilanz für alle 17 Gletscher und 6 Gebiete zu berechnen. Dies geschieht mit einem Temperatur-Index-Modell, das zusätzlich noch berechnete direkte Himmelsstrahlung verwendet um eine bessere räumliche Auflösung zu erhalten. Die statistischen Massenbilanz-Sensitivitäten bewegen sich zwischen  $-0.2$  und  $-1.5 \text{ m w.ä. a}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , mit einem Mittelwert von  $-0.6 \text{ m w.ä. a}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Höhere Sensitivitäten zeigen Gletscher in eher maritimen Zonen, wohingegen Gletscher unter kontinentalen Bedingungen eher kleinere aufweisen. Alle so modellierten Gletscher zeigen eine starke Reduktion ihrer Massenbilanz. Entsprechend ihrer Sensitivität reagieren dabei Gletscher in maritimen Zonen stärker als solche in kontinentalen. Mögliche Temperaturänderungen sind dabei wichtiger als Niederschlagsänderungen. Aussergewöhnliche Niederschlagszunahmen sind nötig um erwartete Temperaturerhöhungen auszugleichen. Eine Temperaturerhöhung ist meist auch gleichbedeutend wie eine Verlängerung der Schmelzperiode.

Die Massenbilanzprojektionen für 11 Gletscher dienen dazu mit dem Gletscherfliessmodell die dynamische Anpassung dieser Gletscher an veränderte klimatische Bedingungen zu modellieren. Ein spezieller Iterationsprozess soll die Reduktion der Gletscherfläche sowie die Verringerung der Eisdicke und damit der Oberflächenhöhe mitberücksichtigen. Diese 11 Gletscher weisen einen durchschnittlichen Volumenverlust von ca. 60 % über

den Zeitraum von heute bis ins Jahr 2050 auf. Ein Vergleich mit weitverbreiteten einfacheren Methoden zeigt, dass wenn man annimmt die Gletscherfläche ändere sich nicht, eine Überschätzung des Volumenverlustes von ca. 20 % auftritt. Dies bestätigt die Resultate anderer Autoren. Eine erweiterte Methode (die eine statistische Beziehung zwischen Gletscherfläche und Volumen verwendet) liefert einen Volumenverlust der dem modellierten beinahe entspricht. Dies bekräftigt zwar neuere Publikationen zum globalen Beitrag der Gletscher zum Meeresspiegelanstieg, die genau dieses Verfahren anwenden, allerdings zeigen die Resultate der einzelnen Gletscher grosse Abweichungen in beide Richtungen. Es braucht deshalb eine grössere Anzahl an modellierten Gletschern um sagen zu können, ob diese Übereinstimmung zufällig ist oder nicht.

Der Einfluss der Klimamodellvorhersage auf die Volumenentwicklung ist erstaunlich klein. Für vier Gletscher wurde die Volumenentwicklung aufgrund beider Vorhersagen berechnet. Die Unterschiede sind nur ungefähr 10 %, trotz der unterschiedlichen Massenbilanzen.

# Abstract

This work is aimed at improving the prediction of the future evolution of glaciers and their possible contribution to sea level changes. A combination of a climate forecast provided by a General Circulation Model (GCM), a glacier mass balance model and a glacier flow model is applied to a sample of eleven “small” glaciers. This sample is compared to another sample of six glaciers and six larger, heavily glacierized Arctic areas that were modelled with a simpler approach, using only the climate forecast and the glacier mass balance model.

The climate forecast of two different GCMs with an identical experimental setup is used. The GCM experiment is a “time-slice” experiment with a resolution of about  $100 \times 100 \text{ km}^2$  (T106). The scenario takes into account a gradual increase in  $\text{CO}_2$  and other greenhouse gases from present day concentration to a doubled  $\text{CO}_2$  equivalent according to the IPCC Scenario IS92a. The overall difference between the two GCM simulations is small. Yet, there are discrepancies on the local scale that are very crucial for the future development of larger glacierized areas such as Svalbard.

The GCM climate forecast together with measured climatologies is used to calculate the future mass balances of the whole set of 17 glaciers and six areas. The glacier mass balance model is a temperature index model that uses potential direct clear sky radiation to get a better spatial resolution. Static mass balance sensitivities are in the order of  $-0.2$  to  $-1.5 \text{ m w.e. a}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , with a mean of  $-0.6 \text{ m w.e. a}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Higher sensitivities are for glaciers in a more maritime climatic setting and the lower ones for glaciers in a more continental environment. All of the modelled glaciers and area show a strong decrease of the net mass balance. As expected from the sensitivities, the mass balance of glaciers and areas in a more continental climatic setting react less pronounced than glaciers in more maritime conditions. The importance of a possible temperature change is higher than a change in precipitation, exceptional precipitation increases are necessary to offset expected temperature increases. A temperature increase stands in most cases also for a prolongation of the melting season.

The mass balance projections for the sample of 11 glaciers is then used in a glacier flow model to simulate the dynamic adjustment of the glacier to the changed climatic conditions. An iteration procedure is proposed to account both for the possible reduction of glacier area and the reduction of ice thickness and thus surface elevation. With this iteration it is possible to account for the dynamic feedback of glacier mass balance. For this sample of glaciers an average volume loss of 60 % from now to the year 2050 can be expected. A comparison with commonly used simpler methods of estimation shows that assuming a constant glacier area leads to volume loss overestimation in the order of 20 %.

This supports the findings of other authors. A more advanced estimate (using a statistical relation between glacier size and volume) yields a volume loss almost identical to the one obtained by flow modelling. While this confirms recent publications of global contributions of glaciers to sea level rise, the results show that there are considerable differences between the estimates for single glaciers. To gain certainty whether this coincidence is accidental or not, a larger sample of glaciers is needed.

A comparison with the forecast of the two different GCMs shows only a small difference in the mass loss obtained by flow modelling for four glaciers. The difference of the mass loss between the two GCM models is only about 10 %, despite the differences in mass balance.