

Diss. ETH Nr. 8335

Parametrisierung der Gletscher-Klima-Beziehung für die Praxis: Grundlagen und Beispiele

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Peter Müller
Dipl. Natw. ETH
geboren am 1. April 1957
von Zürich und Märwil (TG)

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. D.Vischer, Referent
PD Dr. W.Haerberli, Korreferent

1987

Zusammenfassung

In der Schweiz werden seit 1860 von der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft regelmässig an mehreren Gletschern die Veränderungen beobachtet und aufgezeichnet. Seit den 50-er Jahren werden nebst den Aenderungen der Gletscherlängen auch Massenbilanzen gemessen. Mit Ausnahme des allgemeinen Gletschervorstosses von 1920 befanden sich die Gletscher seit Mitte des letzten Jahrhunderts in einer andauernden Schwundphase. In den späteren 60-er Jahren war erstmals in der Geschichte der Gletscherbeobachtung ein Vorstoss an einer Mehrzahl der Alpengletscher zu vermerken. Er wurde nicht nur in den Längenänderungen festgehalten, sondern auch in den Massenbilanzreihen und meteorologischen Datenzusammenstellungen registriert. Damit stehen nun wesentliche Datengrundlagen zur Verfügung, welche es erlauben, die Vorstossaktivität der Gletscher an verschiedensten Parametern zu untersuchen.

Die vorliegende Arbeit unternimmt dies auf drei unterschiedlichen Ebenen. In einem ersten Teil werden mittels der Auswertung eines Fragebogens visuelle Kriterien von Vorstosscharakteristiken an Gletscherzungen bewertet. Dabei wird festgestellt, dass sich durch ein Punktebewertungsschema der visuellen Merkmale in etwa dreiviertel aller Fälle die Aktivität einer Gletscherzunge beurteilen lässt. Allerdings entstehen bereits bei der Beobachtung durch unterschiedliche Beurteilung und Interpretation der Kriterien einige Unsicherheiten. Gletscher in Uebergangsstadien lassen sich ebenfalls schlecht beurteilen.

In einem zweiten Teil wird aus der eingemessenen Geometrie von Gletscherzungen mit einem einfachen Modell die künftige Entwicklung an einzelnen Längsprofilen ermittelt. Aus der Sequenz einzelner weniger Längsprofile lassen sich durch einen statistischen Ansatz mit einer eismechanisch begründeten Erhaltungstendenz die zu erwartenden neuen Längenänderungen berechnen. Die Prognosen sind jedoch nur für den Zeitbereich einiger Folgeprofile ausreichend genau.

In einem dritten, statistischen Kapitel werden geometrische Parameter, Längenänderungen, Massenbilanzreihen und meteorologische Datensätze zueinander in Beziehung gebracht. Von den insgesamt ungefähr 100 in der Schweiz regelmässig beobachteten Gletschern wurden 69 ausgewählt und intensiver untersucht. Durch den Vergleich geometrischer Parameter lassen sich einige interessante Eigenschaften alpiner Gletscher aufzeigen.

Mit den Längenänderungen von 1950–1985, den Sommertemperaturen des Säntis und berechneten mittleren Jahresniederschlägen wurde ein Modell konstruiert, welches für die Hälfte der untersuchten Gletscher statistisch befriedigende Reaktionszeiten lieferte. Sie liegen im Bereich von Jahren bis wenigen Jahrzehnten.

Mit den geometrischen Parametern wurde versucht eine Beziehung zu diesen Reaktionszeiten herzustellen. Dabei erwiesen sich die Gesamtlänge des Gletschers und die Neigung des Ablationsgebietes als signifikant zur Erklärung der Reaktionszeit. Aus diesen zwei Parametern konnten Reaktionszeiten für alle untersuchten Gletscher ermittelt werden. Die zum Teil erheblichen Differenzen zu den aus klimatischen Daten berechneten Reaktionszeiten liessen sich nur partiell erklären.

Aus den Reaktionszeiten und den Längen der Ablationsgebiete lassen sich mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeiten kinematischer Wellen berechnen. Diese Wellengeschwindigkeiten lagen allgemein etwas höher als erwartet. Sie erwiesen sich als abhängig von geschätzten mittleren Eisdicken und Neigungen der Ablationsgebiete, wie dies von der kinematischen Wellentheorie her zu erwarten war.

Die vorliegende Studie zeigt Möglichkeiten der Analyse von qualitativer Information, welche bei der visuellen Beurteilung von Gletscherzungen anfällt, sowie Varianten der Auswertung von quantitativem Material, das durch die Längenänderungsmessungen, die geometrischen Parameter der Gletscher und die meteorologischen Daten gegeben ist. Mit dem Aufbau der Datenbank des World Glacier Monitoring Services können in Zukunft an weltweiten Daten ähnliche Verfahren angewendet und überprüft werden.

Summary

Since 1860 in Switzerland, the variations of a number of glaciers have been regularly observed and recorded by the Glacier Commission of the Swiss Academy of Sciences. In the 1950's mass balance measurements joined those of glacier length variations. With the exception of the general glacier advance of 1920, the glaciers continued to be in the permanent state of retreat which had started in the middle of the last century. However, in the late 60's — for the first time in the history of glacier monitoring — an advance of the majority of Alpine glaciers occurred; this event was not only recorded by length variation measurements but can also be seen in the mass balance series and meteorological data summaries. Hence, essential data are now available which make it possible to study interrelationships between glacier advance and various other parameters.

This thesis approaches the study of these interrelationships on three levels. A first part evaluates the visual criteria for the advance characteristics of glacier fronts, which were collected via a questionnaire. It is shown by means of a "point evaluation scheme" for the visual characteristics that they allow the activity of the glacier tongue to be judged in about three quarters of all cases. However, as a result of the differing judgements and interpretations of the criteria involved, some uncertainties inevitably arise. Glaciers in transient stages of development are also difficult to judge.

In a second part, the future development of individual longitudinal profiles is evaluated by means of a simple model using the measured geometry of the glacier tongue. Based on the sequence of a few longitudinal profiles, the expected length variations can be calculated using a statistical approach in which the present activity of the glacier is incorporated (using ice mechanical considerations). The predictions, however, can only be considered to be sufficiently accurate for the first three or four profiles in the series.

In a statistical chapter geometrical parameters, length variations, mass balance series and meteorological data sets are correlated. 69 of the approximately 100 regularly observed glaciers in Switzerland were selected and studied more intensively.

A comparison of geometrical parameters allows some interesting characteristics of Alpine glaciers to be determined.

Using the length variations from 1950 to 1985, the summer tempe-

ratures of the Sântis and a calculated average annual precipitation, a model was designed which produced statistically satisfactory reaction times for half the glaciers studied; these reaction times range from years to a few tens of years.

A combination of reaction times with geometrical parameters showed that the total length of the glacier and the slope of the ablation area are significant in explaining the reaction time. Reaction times for all the studied glaciers were subsequently calculated using these two parameters. However the reaction times so calculated sometimes show considerable differences when compared to those calculated from the climatic data; these differences could only partially be explained.

A combination of reaction times and the lengths of the ablation areas enabled the average transmission velocities of kinematic waves to be calculated; these wave velocities are generally somewhat higher than expected. However, if estimated average ice thicknesses together with the slopes of the ablation areas are included in the calculation, then the relationships expected from the kinematic wave theory are obtained.

This study indicates the possibilities for analysing qualitatively and quantitatively varying information on glaciers and climate. Once the data bank of the World Glacier Monitoring Service is established, similar procedures can be applied to and tested on data collected on a world-wide scale.