



Doctoral Thesis

Permafrost und Gletscher im Oberengadin Grundlagen und Anwendungsbeispiele für automatisierte Schätzverfahren

Author(s):

Hoelzle, Martin

Publication Date:

1994

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000943725> →

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](#).

Permafrost und Gletscher im Oberengadin

Grundlagen und Anwendungsbeispiele
für automatisierte Schätzverfahren



ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

Vorgelegt von

MARTIN HÖLZLE
dipl. sc. nat. ETH-Zürich
geboren am 27. Februar 1963
von Winterthur

Angenommen durch
Prof. Dr. Dr. h.c. D. Vischer, Referent
PD Dr. W. Haeberli, Korreferent
PD Dr. M. Maisch, Korreferent

1994

ZUSAMMENFASSUNG

Die Prozesse in der Kryosphäre sind vielschichtig und äusserst komplex. Trotz den nach wie vor beschränkten Prozesskenntnissen, vor allem bei den Interaktionen zwischen Atmosphäre und Gebirgspermafrost, ist der Bedarf nach räumlicher Modellierung im Zusammenhang mit der Aktivität des Menschen im sensiblen Bereich des Hochgebirges heute grösser denn je. In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die Permafrostverbreitung und die Gletschercharakteristiken im Hochgebirge zu modellieren. Die dabei verwendete Parametrisierung baut auf einer Kombination von Erfahrungswerten und physikalischen Überlegungen auf. Das Oberengadin wurde als Testregion ausgewählt.

Als erstes wurden für den Permafrostbereich die nötigen Datengrundlagen zusammengetragen. Diese beinhalten vor allem eine umfangreiche Stichprobe von Basis-Temperaturen der hochwinterlichen Schneedecke (BTS), welche als räumliche Indikatoren für die Permafrostverbreitung verwendet werden können. Für die Gletscher wurde auf bereits bestehende Gletscherinventar-Daten zurückgegriffen.

Die Parametrisierungen stützen sich vorwiegend auf die bisherigen Kenntnisse der Permafrost-Klima-Beziehungen und auf einfache Kontinuitätsüberlegungen des Gletscherverhaltens. Die Modellierungen basieren alle auf der Annahme, dass Gleichgewichtszustände vorgegeben sind, d.h., man betrachtet keine instationären Übergänge. Als Grundannahme wird eine fiktive Störung eines Parameters, in diesem Fall die Lufttemperatur, eingeführt. Die Auswirkungen einer solchen Störung können nach einer gewissen Anpassungszeit angegeben werden. Man berücksichtigt dabei aber keine Rückkoppelungsprozesse und alle weiteren Parameter des untersuchten Systems bleiben gleich. Diese Annahme dürfte in der Natur nicht oft zutreffen. Trotzdem sagen die entsprechenden Modelle etwas über die Sensibilität des Systems aus.

Zusätzlich wurden die einzelnen Energieflüsse anhand von Messungen in der Arktis untersucht. Dabei sind die zeitlichen und räumlichen Variabilitäten der einzelnen Komponenten in der Energiebilanz betrachtet worden. Aufgrund dieser Kenntnisse wurde mit Hilfe von zwei wichtigen Klimaparametern, nämlich der Lufttemperatur und der potentiellen direkten Strahlung, eine Beziehung zu den die Permafrostverbreitung widerspiegelnden BTS-Messungen hergestellt. Mit dieser Relation wurde es möglich, die Permafrostverbreitung zu modellieren. Zudem konnten neu tiefgelegene sporadische Permafrostvorkommen bestimmt und mit geeigneten Feldmethoden (BTS- und Bodentemperatur-Messungen, Refraktionsseismik, Gleichstromelektrik) verifiziert werden. Die seit 20 Jahren bestehenden empirischen Faustregeln wurden mit über 700 BTS-Messungen getestet und teilweise bestätigt.

Anhand eines speziell ausgewählten Testgebietes (Corvatsch-Furtschellas) werden verschiedene Modellstudien vorgenommen und diskutiert. Dabei wurde die potentielle direkte Strahlung auf der Basis von Geländemodellen mit verschiedener Rasterauflösung berechnet und der Einfluss der Rastergrösse auf die Resultate untersucht. Zudem konnte mit Hilfe von Luftbildern und Karten die Albedo für die Sommermonate Juli bis Oktober und zuzüglich meteorologischer Parameter die

kurzwellige Strahlungsbilanz berechnet werden. Wie ein Vergleich zu den BTS-Messungen zeigt, erweist sich die Berechnung der kurzwelligen Strahlungsbilanz als speziell erfolgversprechend zur Modellierung der Permafrostverbreitung.

Bei der Parametrisierung der Inventargletscher konnte bereits auf bedeutend besseren Grundkenntnissen aufgebaut werden als sie für den Gebirgspermafrost existieren. Die Resultate, vor allem die Abschätzung von einzelnen Fließparametern - wie Deformations- und Oberflächengeschwindigkeit, 'velocity ratio', Reaktions- und Anpassungszeit - zeigen, dass die verwendeten Voraussetzungen hinsichtlich der Dynamik bei kleineren Gletschern nur zum Teil gegeben sind. Die 'velocity ratio' z.B. liegt durchwegs zwischen 0.7 und 0.9, das heisst, die Gleitbewegung dominiert in der Gesamtbewegung. Eine einfache Parametrisierung ist aber durchaus zu realisieren und für grössere Datenmengen, wie sie in den Inventaren vorhanden sind, mit gewissen Einschränkungen auch anzuwenden.

Auch der Volumenverlust seit '1850' wurde abgeschätzt. Für die Gesamtmenge aller 62 untersuchten Gletscher im Raum des Oberengadins wurde eine mittlere Massenbilanz zwischen -0.16 m w.e./a und -0.23 m w.e./a seit '1850' berechnet. Die grösseren Gletscher haben Werte die deutlich höher sind als diejenige für die Gesamtmenge; sie liegen zwischen -0.25 m w.e./a und -0.47 m w.e./a. Der Volumenverlust liegt zwischen ca. 50% und 60% seit '1850'.

Mit einfachen Simulationen wurde versucht, nach dem IPCC-Szenario A allfällige zukünftige Änderungen der Kryosphäre im Untersuchungsgebiet abzuschätzen, wenn nur ein einziger Parameter, nämlich die Lufttemperatur, verändert wird. Wie diese Simulationen zeigen, wäre mit grossflächigen Änderungen in der Kryosphäre zu rechnen. Eine quantitative Abschätzung einer simulierten Permafrostveränderung von '1990' bis ins Jahr '2100' nach dem IPCC-Szenario für den gesamten Raum des Oberengadins zeigt eine Beeinflussung der oberflächennahen Permafrostgebiete von ca. 64% der gesamten heutigen Permafrostfläche. Für dasselbe Szenario würden für den Raum des Oberengadins von gesamthaft 62 Gletschern gerade noch deren drei weiter existieren. Die Grundlagen zu solchen Simulationen sollten aber noch bedeutend verbessert werden. Vor allem müssen die Kenntnisse über die Beziehungen Atmosphäre-Permafrost im Hochgebirge verbessert werden. Dies kann nur durch ein intensives Messprogramm erreicht werden, welches sämtliche Komponenten der Energiebilanz erfasst.

ABSTRACT

The processes in the cryosphere are rather complex. In spite of the lack of knowledge about the involved processes, especially concerning the interactions between the atmosphere and mountain permafrost, a need exists for spatial modelling in connection with human impacts on sensitive alpine environments. An attempt was therefore made to model the permafrost distribution and glacier characteristics in high mountain areas. The applied simple parametrisation is built on a combination of empirical knowledge and physical considerations. The Upper Engadin (Eastern Swiss Alps) was chosen as test region.

In a first step, the basis of data for the permafrost areas was compiled. This basis contains a large sample of bottom temperatures of the winter snow cover (BTS), which can be used as a good indicator of the permafrost distribution. Inventory data was used with respect to the investigated glaciers.

The parametrisations are based on available knowledge about the relation between climate and permafrost and on simple continuity considerations for glaciers. Equilibrium conditions are assumed throughout, i.e. instationary transitions were disregarded, and an imaginary perturbation of one parameter only, in this case the mean annual air temperature, was introduced. The consequences of such a perturbation can be assessed after a certain response time. The models do not take into account any feed back mechanisms and all parameters of the investigated system other than air temperature are kept unchanged. In nature, such assumptions are quite unrealistic. The corresponding model calculations nevertheless furnish important information about the sensitivity of the system.

In addition, the energy balance components were investigated on the basis of measurements from the Arctic. Therefore, temporal and spatial variabilities of each component were considered with respect to the area under study. On the basis of this knowledge, a relation was found between BTS-measurements which reflect the permafrost distribution and two important climatic factors (air temperature, potential direct solar radiation). With the help of this relation it was possible to model the permafrost distribution using digital terrain information. Furthermore, new low-altitude sites of sporadic permafrost could be predicted and subsequently verified with field methods (BTS- and ground temperature measurements, refraction seismics, D.C. resistivity). The 'rules of thumb' for estimating permafrost distribution in the Alps, existing for about 20 years by now, could be tested and partly confirmed with more than 700 BTS-measurements. In the specially chosen test region Corvatsch-Furtschellas, different model studies were carried out and their results discussed. Moreover, potential direct solar radiation was calculated on the basis of digital terrain models with different spatial resolutions and the influence of the mesh-width on the results was investigated. With the help of infrared air photography and topographic maps, the Albedo was estimated for the summer months July to October. Net short wave radiation could then be calculated in combination with continuously measured radiation data from Davos. The pattern of permafrost distri-

bution as derived from BTS-measurements appears to agree quite well with results from calculations of the net short wave radiation.

The parametrisation of the inventory glaciers is based on a better knowledge than it exists with regard to the mountain permafrost. The results, especially the estimation of different flow parameters such as deformation and surface velocity, velocity ratio, reaction and response time, show that the applied assumptions are only partly valid for small glaciers. The velocity ratio, for example, ranges between 0.7 and 0.9, i.e. sliding dominates glacier movement. A simple parametrisation can be realized for large glacier inventory data sets with some restrictions. An estimate was made concerning the volume decrease since '1850'. For all 62 investigated glaciers in the area of the Upper Engadin, a mean annual mass balance between -0.16 m w.e./a and -0.23 m w.e./a was calculated. The larger glaciers show values which are higher, ranging between -0.25 m w.e./a and -0.47 m w.e./a. The overall loss in glacier volume since '1850' is estimated at 50% to 60%.

With simple simulations potential future changes in the cryosphere were assessed by applying IPCC-scenario A for the investigated area for the mean annual air temperature. The simulations show that important local-scale changes could occur in the cryosphere. A quantitative estimation of a simulated change in the permafrost distribution from '1990' to '2100' following the IPCC-scenario indicates that 64% of the permafrost area could be affected. Only three of 62 presently existing glaciers would possibly survive the same warming scenario. The basis of such simulations needs considerable improvement. Especially the knowledge about the relation between the atmosphere and permafrost in mountain areas should be better understood. This can only be reached with an intensive measurement program concerning all energy balance components.