



Doctoral Thesis

Energy-water-mass balance and hydrological discharge modelling of a glacierized basin in the Chinese Tianshans

Author(s):

Kang, Ersi

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000647813> →

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](#).

Diss. ETH No. 9755

**ENERGY - WATER - MASS BALANCE AND HYDROLOGICAL
DISCHARGE MODELLING OF A GLACIERIZED BASIN IN THE
CHINESE TIANSHANS**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
ERSI KANG
B. Sci. (Lanzhou University, China)
M. Sci. (Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology,
Academia Sinica)
born October 23d 1942
citizen of China

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. A. Ohmura, examiner
Prof. Dr. H. Lang, co-examiner

1992



CatE

ABSTRACT

Based on the experiments and measurements of energy balance, water balance and mass balance, and on the meteorological elements at a standard meteorological station in a glacierized basin of the Chinese Tianshans, a hydrological discharge model, the Tianshan glacier melt and discharge simulation model, is developed. The model links the climatological variables to the processes in a mountain glacierized basin, then links the processes to the runoff formation. The model consists mainly of a glacier melt model, a snow model and a runoff transformation model. Taking the standard meteorological elements as the foremost inputs to the model, through the simulation of the basin response, the daily discharge from the outlet of the basin is simulated.

The glacierized basin which is chosen in the present study is situated in an extremely continental arid climatic environment where the mountain glaciers play an important role in the formation of water resources. The basin is located at 43°06'N and 86°50'E. Its catchment area is 28.9 km² with seven glaciers covering 5.74 km². The altitude of the basin ranges from 3408 m to 4479 m.

Although the surroundings of the Chinese Tianshans are arid, the energy and water conditions at the high mountains are favourable to the existence of glaciers and to the formation of runoff and water resources. The glacierized basin is taken as an open system. The inputs to the system are energy and precipitation, and the output runoff. The response of the basin to the inputs are energy balance, water balance and mass balance. From the energy balance, the heat gain consists mainly of net radiation, then of sensible heat, which are consumed by the melt of glacial ice and snow cover and by evaporation. The runoff is produced by the glacial icemelt, the melt part of snow cover and the effective liquid precipitation. The unmelted part of the snow cover contributes to the glacial mass gain and evaporation. The relationship is formulated and taken as the physical basis for the discharge modelling.

The altitude dependency of precipitation, air temperature, humidity and wind velocity is analyzed and formulated. Therefore, the standard meteorological elements can be interpolated for the different altitudes. The error correction for precipitation measurements are determined by field experiments. The evaporation from the non-glacierized area is formulated by vapour pressure and wind velocity based on the experimental study of evaporation from the alpine tundra and the water balance calculation. During the hydrological years from 1983 to 1989, the mean annual water balance of the glacierized basin consists of precipitation 546 mm, glacier net balance -56 mm, evaporation 170 mm and runoff 432 mm W. E..

The relationship between the components of energy balance and the standard meteorological elements is analyzed and formulated. Based on the energy balance equation for a melting glacier surface, a glacier melt model is developed by means of the parameterized energy flux expressions and the standard meteorological elements. It can be used for different latitude, slope and azimuth, as well as for seasonal snow cover. The daily energy balance at the

equilibrium line of Glacier No. 1 in the basin is simulated during the ablation season of the years 1986 to 1990. During June to August of these years, the energy balance at 3910 m a.s.l. on the glacier surface consists of 224 W/m² global radiation, -121 W/m² short-wave reflected radiation, 278 W/m² long-wave incoming radiation, -308 W/m² long-wave outgoing radiation, 13 W/m² sensible heat flux, -5 W/m² latent heat flux, and -80 W/m² melt heat. The results accord very well with the measured values of energy balance components during 1986 and 1987.

A snow model is formulated by the separation of precipitation form using air temperature criteria, daily mean, maximum and minimum air temperature. The snow-water equivalent is then simulated by means of the solid precipitation. The ratio of daily solid precipitation to the total precipitation during the period from May to September is calculated. During the periods of the years 1986 to 1990, the mean solid precipitation ratio is 0.67 at 3539 m a.s.l., 0.86 at 3900 m a.s.l. of the non-glacierized area, and 0.93 at 4010 m a.s.l. on the glacierized area.

The glacierized basin is divided into a glacierized part and a non-glacierized part. On the glacierized part, it is shown by the ten-year mass balance measurements that the mean altitude of the glacier surface, mean melt line and the equilibrium line are close to each other, around 4000 m a.s.l.. The equilibrium line is taken as the standard position to represent the mean conditions of the glacial energy - water - mass balance. The daily heat input is calculated at the equilibrium line during the ablation season, and the glacier daily melt is obtained. The daily melt on the whole glacier is approximated from the melt at the equilibrium line, making adjustments for melt area and melt conditions.

Net water inputs to the basin are computed at the representative positions. For glaciers, the representative position is at the equilibrium line. For the non-glacierized area of the basin, it is around the centre of the area. The ablation season is divided into a weak melt period and an intense melt period, in order to deal with the different conditions for runoff production.

Runoff transformation is dealt with by the application of the tank model, and is divided into glacierized transformation and non-glacierized transformation. The former simulates the runoff processes on the glacial surface and in the intra- and subglacial drainage system, while the latter simulates those on the ground surface and in the active layer. Through the salt tracer experiment on Glacier No. 1, it is found that meltwater from the ablation area can run along the surface, and along the englacial and subglacial water channels to arrive at the gauge station near the terminus within about 1 to 2 hours during the most intense melt period.

The preliminary inputs to the Tianshan glacier melt and discharge simulation model are daily mean, maximum and minimum air temperature, vapour pressure, precipitation, wind velocity, sunshine duration hours and cloud cover at a standard meteorological station. It is used to simulate the discharge at the three hydrometric stations of the basin during 1986 to 1990. The simulated and the observed discharge accord well, and the results are presented and discussed.

ZUSAMMENFASSUNG

Energie-, Wasser- und Massenbilanz sowie Modellierung des Abflusses eines vergletscherten hydrologischen Einzugsgebietes in den Chinesischen Tianshans.

Basierend auf Experimenten und Messungen zur Energie-, Wasser- und Massenbilanz sowie auf meteorologischen Grössen einer meteorologischen Standard-Station in einem vergletscherten Gebiet der Chinesischen Tianshans wird ein hydrologisches Abflussmodell entwickelt, das die Abschmelzmenge der Tianshan Gletscher und ein Abfluss-Simulationsmodell verwendet. Das Modell verbindet die klimatologischen Variablen mit den in einem vergletscherten Gebirge ablaufenden Prozessen, welche zur Abflussbildung führen. Das Modell besteht aus einer Gletscherschmelz-, einer Schnee- und einer Abflusstransformationskomponente. Mit den meteorologischen Standardgrössen als wichtigsten Input-Elementen wird mittels Simulation die Reaktion des Gebietes in den täglichen Abflüssen nachgebildet.

Das in der vorliegenden Studie ausgewählte vergletscherte Gebiet befindet sich in einer klimatisch extrem kontinentalen, ariden Umgebung, in welcher die Gebirgsgletscher eine wichtige Rolle als Wasserreserven spielen. Das Gebiet befindet sich bei 43°06' N und 86°50' E. Die Fläche des Einzugsgebietes beträgt 28.9 km², davon bedecken sieben Gletscher eine Fläche von 5.74 km². Die Höhe reicht von 3408 m bis 4479 m ü. M..

Obwohl die Umgebung der Chinesischen Tianshans trocken ist, fördern die Energiebilanz- und Niederschlagsverhältnisse der hohen Berge die Existenz von Gletschern und die Bildung von Abfluss und Wasserreserven. Das vergletscherte Einzugsgebiet wird als offenes System betrachtet mit den Wärmeflüssen und dem Niederschlag als Eingangs-, dem Abfluss als Ausgangsgrösse. Die Reaktion des Beckens auf den Input sind die Energie-, Wasser- und Massenbilanzen. Betrachtet man die Energiebilanz, so kommt der Gewinn an Wärme hauptsächlich aus der Strahlungsbilanz sowie der fühlbaren Wärme, welche das Schmelzen und Verdunsten von Gletschereis und Schnee bewirken. Dadurch ist die Energiebilanz mit der Wasser- und Massenbilanz verbunden. Der Abfluss setzt sich aus der Gletscherschmelze, dem schmelzenden Teil der Schneedecke und den flüssigen Niederschlägen zusammen. Der nichtschmelzende Teil der Schneedecke trägt zum Zuwachs an Gletschermasse bei. Im schnee- und eisfreien Teil des Gebietes wird ein Teil der verfügbaren Energie für die Evaporation verbraucht. Somit ist die Energie-, Wasser- und Massenbilanz mit der Abflussproduktion verbunden. Diese Beziehungen werden formuliert und als physikalische Basis für das Abflussmodell verwendet.

Die Höhenabhängigkeit von Niederschlag, Lufttemperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit wird analysiert und formuliert. Dadurch können die meteorologischen Standardgrössen für verschiedene Höhen interpoliert werden. Die Fehlerkorrektur der Niederschlagsmessungen wurde durch Feldexperimente bestimmt. Die Evaporation der nichtvergletscherten Fläche wird, basierend auf der experimentellen Studie der Evaporation der alpinen Tundra, durch Dampfdruck, Windgeschwindigkeit und die Wasserbilanzrechnung

parametrisiert. Während der hydrologischen Jahre von 1983 bis 1989 setzt sich die mittlere jährliche Wasserbilanz des vergletscherten Gebietes aus 546 mm Niederschlag, - 56 mm Gletschermassenbilanz, 170 mm Evaporation und 432 mm Abfluss zusammen.

Die Beziehung zwischen den Komponenten der Energiebilanz und den meteorologischen Standardgrößen wird analysiert und formuliert. Basierend auf der Energiebilanzgleichung für eine schmelzende Gletscheroberfläche wird mit Mittelwerten der parametrisierten Energieflüsse und den meteorologischen Standardgrößen ein Gletscherschmelzmodell entwickelt. Es kann für verschiedene Breiten, Neigungen und Azimute, wie auch für Schneeoberflächen verwendet werden. Die tägliche Energiebilanz an der Gleichgewichtslinie von Gletscher Nr. 1 wird während der Ablationsphase der Jahre 1986 bis 1990 simuliert. Von Juni bis August dieser Jahre setzt sich die Energiebilanz an der Gletscheroberfläche auf 3910 m ü. M. zusammen aus: 224 W/m² Globalstrahlung, -121 W/m² kurzwelliger reflektierter Strahlung, 278 W/m² langwelliger Einstrahlung, -308 W/m² langwelliger Ausstrahlung, 13 W/m² fühlbarer Wärmefluss, -5 W/m² latenter Wärmefluss und -80 W/m² Schmelzwärme. Die Resultate stimmen sehr gut mit den gemessenen Werten von 1986 und 1987 überein.

Es wird ein Schneemodell durch die Trennung der Niederschlagsformen mittels Lufttemperaturkriterien (Tagesmittel, minimale und maximale Lufttemperatur) entwickelt. Das Wasseräquivalent der Schneedecke wird dann durch Mittelwerte der festen Niederschläge simuliert. Der Anteil Niederschlag am totalen Niederschlag während der Periode von Mai bis September wird berechnet. Während der Jahre 1986 bis 1990 beträgt dieses mittlere Festniederschlagsverhältnis für die nichtvergletscherten Gebiete 0.67 auf 3539 m ü. M., 0.86 auf 3900 m ü. M. und für die vergletscherten Gebiete 0.93 auf 4010 m ü. M..

Für den vergletscherten Teil des Gebietes wird durch die 10-jährigen Massenbilanzmessungen gezeigt, dass die mittlere Höhe der Gletscheroberfläche, die mittlere Schmelz- und die Gleichgewichtslinie um 4000 m ü. M. nahe beieinander liegen. Die Gleichgewichtslinie wird als die Standardposition für die mittleren Bedingungen der gletscherbezogenen Energie-, Wasser- und Massenbilanz angenommen. Der tägliche Wärme-Input wird an der Gleichgewichtslinie während der Ablationsphase berechnet, woraus man die tägliche Gletscherschmelze erhält. Die tägliche Schmelze für den ganzen Gletscher ist aus der Schmelze an der Gleichgewichtslinie mit Berücksichtigung der Flächenanteile und der Schmelzbedingungen berechnet.

Der Netto-Wasser-Input ins Gebiet wird an den repräsentativen Positionen berechnet. Bei Gletschern ist dies die Gleichgewichtslinie, bei gletscherfreien Beckenzonen das Zonenzentrum. Die Ablationsphase wird in eine schwache und eine intensive Schmelzperiode geteilt, um die verschiedenen Bedingungen für die Abflussproduktion berücksichtigen zu können.

Die Abfluss-Transformation wird mittels des Tank-Modells behandelt und in glaziale und nicht-glaziale Transformation unterteilt. Die erstere simuliert den Abflussprozess an der Gletscheroberfläche sowie im intra- und subglazialen Abflusssystem. Die zweite Simulation berücksichtigt den Prozess an der Bodenfläche und in der aktiven Schicht. Bei einem Salz-

Tracerexperiment auf Gletscher Nr. 1 zeigte sich, dass die Entwicklung der intraglazialen und subglazialen Wasserkanäle in diesen Gletschern des kontinentalen Typs rasch voranschreitet.

Die Eingangsgrößen für das Schmelz- und Abfluss-Simulationsmodell des Tianshan Gletschers sind Tagesmittel, Maximum und Minimum der Lufttemperatur, Dampfdruck, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer und Wolkenbedeckung einer meteorologischen Standard-Station. Sie werden zur Simulation des Abflusses der drei hydro-metrischen Stationen des Beckens von 1986 bis 1990 verwendet. Der simulierte und beobachtete Abfluss stimmen gut überein und werden in dieser Arbeit präsentiert und diskutiert.