

Zur Theorie des instationären Wasserabflusses durch intraglaziale Kanäle

Doctoral Thesis

Author(s):

Spring, Ulrich

Publication date:

1979

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000164314>

Rights / license:

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

Diss. ETH 6394

ZUR THEORIE DES INSTATIONÄREN WASSERABFLUSSES
DURCH INTRAGLAZIALE KANÄLE

Abhandlung zur Erlangung des Titels eines Doktors der
Technischen Wissenschaften der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

ULRICH SPRING

dipl. Bauing. ETH

geboren am 25. Aug. 1951

von Steffisburg, BE

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. D. Vischer, Referent

Prof. Dr. Th. Dracos, Korreferent

1979

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit untersucht den instationären Abfluss durch intraglaziäle Kanäle. Dabei handelt es sich um eine Rohrhydraulik mit zeitlich und örtlich veränderlichen Querschnitten. Diese Querschnittsänderungen werden durch abschmelzendes Eis, infolge Reibungswärme des turbulent abfliessenden Wassers, und durch viskose Verformung unter dem Eisüberlagerungsdruck hervorgerufen. In der Natur treten solche Kanäle vor allem als Entwässerungskanäle in Gletschern auf. Sie sind einer steten Veränderung unterworfen, weil sich auch die Randbedingungen wie Zufluss infolge Regen, Schnee- und Eisschmelze an der Gletscheroberfläche ständig verändern. Weiter können eisgestaute Seen durch intraglaziäle Kanäle ausfliessen und grosse Flutwellen verursachen. In der Schweiz sind vor allem die periodischen Ausbrüche des Gornersees und, aus früheren Zeiten, des Märjelensees am grossen Aletschgletscher bekannt. Weltweit gefährden die Ausbrüche von Gletscherseen oder intra- und subglazialen Wassertaschen Menschen und technische Einrichtungen, wie etwa die Oelpipelines in Alaska und Kanada oder die Strassenverbindung entlang der isländischen Ostküste.

In einem ersten Kapitel werden die erwähnten glaziologischen Probleme näher beschrieben und erläutert. Anschliessend folgt eine Diskussion der bestehenden Arbeiten über den Wasserabfluss innerhalb eines Gletschers von Röthlisberger [29], Shreve [31], Nye [25] und Weertman [32].

Im zweiten Kapitel wird ausgehend von den allgemeingültigen dreidimensionalen Bilanzaussagen der Masse, des Impulses, des Dralls und der Energie durch Integration über den Kanalquerschnitt eine eindimensionale Theorie abgeleitet. Dabei liegt das Hauptgewicht auf einer korrekten Behandlung der Energiebilanz und dem Wärmeübergang an der Phasengrenzfläche Eis/Wasser. Diese Theorie vermag das instationäre Fliessen einer Flüssigkeit durch ihre feste Phase zu beschreiben. Ergänzt durch phänomenologische Annahmen folgt daraus eine Theorie des instationären Abflusses durch intraglaziäle Kanäle, die sich für gerade kreisförmige Kanäle im wesentlichen auf die bekannten Gleichungen von Nye [25] und für den instatio-

nären Fall auf die Differentialgleichung von Röthlisberger [29] zurückführen lässt.

Im dritten Kapitel werden numerische Simulationen von Gletscherausbrüchen, Jökulhlaups, durchgeführt. Dabei liegen den numerischen Auswertungen nicht die allgemeingültigen Feldgleichungen, wie sie im II. Kapitel vorgestellt wurden, zugrunde, sondern die für den Abfluss durch gerade, kreisförmige intraglaziäle Kanäle vereinfachten Grundgleichungen. Diese werden durch finite Differenzen approximiert und in ein Programm integriert, das bei bekannten Rand- und Anfangswerten das Gleichungssystem zu lösen vermag. Hier wurde vor allem der periodische Ausbruch des subglazialen Grimsvöten-sees im Gebiet des Skeidararjökulls an der Südostküste Islands untersucht und simuliert. Als wichtigstes Resultat aus diesen Rechnungen folgt, dass sowohl die Wassertemperatur als Randwert als auch ihre Änderungen im Kanal einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung eines intraglaziälen Kanals ausüben.

Unsteady water flow through intraglacial channels

ABSTRACT

The aim of the presented work is, to closely examine the physics of water flow through intraglacial channels. Based on the general balance laws in threedimensional space, one dimensional balance laws of mass, momentum, angular momentum and energy are derived. These equations are valid for the flow through curved and torded tube like channels. Complemented by phenomenological assumptions a complete theory of unsteady flow through intraglacial channels is presented. It is shown that for straight conduits with circular cross sections it nearly coincides with the equations presented by Nye, and for steady flow Röthlisberger's theory is confirmed. In a further part the theory is specialized for straight conduits and is numerically analyzed. The governing partial differential equations can be solved with a computer program based on finite differences, if appropriate initial and boundary conditions are known. For the Grimsvötn Jökulhlaup, an outburst of a subglacial icedamed lake in Island, a parameter variation demonstrates the significance of various coefficients occurring in the governing equations e.g. roughness of the channel or flow law of ice. In particular it is shown that the lake temperature plays an important role for the time evolution of the lake-run-off hydrograph. Moreover the numerical simulations of the Jökulhlaups show that the complete energy equation has to be considered. The work closes with numerical simulations of pressure fluctuations caused by run-off variations in intraglacial channels; they are compared with measured water pressure changes in drilled holes of various alpine glaciers.