

DISS. ETH Nr. 10757

**ÄNDERUNG DES GRUNDWASSERREGIMES UNTER DEM  
EINFLUSS VON GLETSCHERN UND PERMAFROST**

**ABHANDLUNG**  
Zur Erlangung des Titels

**DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN**  
der  
**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

**Christian Kurt Speck**

dipl. sc. nat., ETH Zürich

geboren am 09.05.1964  
von Oberkulm AG

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Dr. hc. D. Vischer, Referent  
Dr. J. Trösch, Korreferent  
PD Dr. W. Haeberli, Korreferent  
Prof. Dr. L. Rybach, Korreferent



## Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung eines Finiten-Element-Programms ermöglicht die Berechnung des hydrothermischen Regimes in Aquiferen unter Berücksichtigung der physikalischen Vorgänge beim Phasenwechsel am Gefrierpunkt. Dabei steht die Interaktion von Gletscherüberlagerung, Grundwasserströmung und Bodentemperatur, sowie die sich beim Gefriervorgang ändernden Bodenparameter im Vordergrund. Eine erste Anwendung und Ueberprüfung des entwickelten Programmes erfolgte an den Beispielen des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch, Engadin, und des Schweizer Mittellandes zur Würm-Eiszeit (77'000 a BP bis 13'000 a BP).

Die hydrothermischen Verhältnisse im **Blockgletscher Murtèl-Corvatsch** werden mit dem erstellten Modell recht genau nachgebildet. Am Bohrloch 2/1987 schwanken die errechneten Temperaturen in 52 - 56 m um wenige Zehntelgrad Celsius und liegen nahe dem Gefrierpunkt (0°C). Die Temperaturschwankungen werden durch seitlich zuströmendes Grundwasser saisonal unterschiedlicher Temperaturen verursacht. Dabei stimmen die errechneten Werte gut mit den gemessenen Datensätzen überein. Im Tiefenbereich zwischen 3 m und 51 m werden leicht steigende Temperaturen errechnet. Sie rühren von den vorgegebenen, hohen Randtemperaturen an der Blockgletscheroberfläche her, die auf Datensätzen basieren, die während der späten 80er Jahre gemessenen wurden. Bei anhaltend hohen Oberflächentemperaturen dürfte sich zwischen 3 m und 51 m Tiefe ein neues Temperaturgleichgewicht einstellen.

Die hydrothermischen Verhältnisse im **Schweizer Mittelland** während der letzten Eiszeit (Würm, 77'000 a BP bis 13'000 a BP) werden vollständig dominiert durch den überlagernden Rhône-gletscher, der in unserem Modell von Biel bis Wangen a.d.Aare reicht. Kaltes Oberflächenwasser wird dabei unter der Gletscherzunge in die Tiefe gedrückt und verursacht eine Depression der Isothermen. 27'000 a BP liegt die 0°C-Isotherme in 660 m Tiefe. Darüber ist der Boden gefroren: Es werden k-Werte nach Darcy von  $10^{-14} \text{ ms}^{-1}$  errechnet. Auswirkungen der letzten Glazialphase auf das hydrothermische Regime im Schweizer Mittelland sind auch heute noch auszumachen, obwohl das Abschmelzen des Rhône-gletschers schon 13'000 Jahre zurückliegt. Ein stabiles hydrothermisches Gleichgewicht dürfte sich erst im Laufe der nächsten 10'000 Jahren einstellen.

## Abstract

Starting with an existing finite element program, additional development allows some calculations of the hydrothermic regime of an aquifer considering the physical processes at the phase change of water. The interaction between the overlying glacier, groundwater flow and temperature are analyzed, modelling the hydrothermic regime of rockglacier Murtèl-Corvatsch, Engadin, and the Swiss Plateau during the last Ice Age period (Würm Ice Age, 77'000 y BP to 13'000 y BP).

The calculated results correspond fairly well with the field measurements on the rockglacier Murtèl-Corvatsch. Between 52 and 56 m depth in borehole 2/1987 the calculated temperatures are near 0°C, showing quite good agreement with seasonal fluctuations at the surface. Because of the input of high surface temperatures during the last few years, temperatures are rising between 3 m and 51 m depth. If the warming of future centuries is taken into account, this effect will become even more pronounced.

During the last period of glaciation the hydrothermic regime in the Swiss Plateau is predominated by the Rhône Glacier. Little behind the front of the glacier near Wangen a.d.Aare cold water migrates downward and causes the depression of the temperature isolines by several hundreds of meters. The melting isoline was situated at 660 m depth 27'000 y BP. The sediments above are frozen: Their hydraulic permeability (Darcy) is about  $10^{-14} \text{ ms}^{-1}$ . The effects of the last glaciation is still existing today, although the ice masses melted down 13'000 y ago. A steady state will probably appear during the next 10'000 years.