

Washburn, A. L. (1973): Periglacial processes and environments. Edward Arnold Ltd., London. 320 pp.

Whalley, W. B. (1974): Rock glaciers and their formation as part of a glacier debris — transport system. Geographical papers, Department of Geography, University Readings No 24.

White, S. E. (1976): Rock glaciers and block fields, review and new data. Quaternary Research 6 (1976), p. 77—97.

Manuscript received 10 October 1977

Authors' addresses: Dr. Werner Fisch jun.
Im Wiesengrund 13
CH-8907 Wettswil, Zürich

Dr. Wilfried Haeberli
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie
und Glaziologie an der ETH Zürich
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich

Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie Bd. 13, H. 1/2 (1977), S. 261—265

MESSUNGEN VON EIS- UND FIRNTEMPERATUREN AM HINTEREISFERNER (ÖTZTALER ALPEN)

Von G. MARKL und H. P. WAGNER, Innsbruck

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

ZUSAMMENFASSUNG

Am Hintereisferner, Ötztal, Tirol, wird seit Sommer 1972 in 2800 m Seehöhe an einem 15 m tiefen Profil die Temperatur des Gletschereises mit Thermoelementen gemessen. Seit Herbst 1975 erfolgen die Messungen zusätzlich in einem Längsprofil mit 5 Meßstellen zwischen 3150 und 2550 m Seehöhe mittels Thermistoren in Tiefen bis zu 16 m. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind gekennzeichnet durch a) das Eindringen der Winterkälte und b) durch die sommerliche Erwärmung in Verbindung mit dem Abschmelzen der Winterschneedecke. In 10 m Tiefe trifft bei Station 28 die Winterkälte sehr verspätet ein und trägt die Jahresschwankung der Eistemperatur nur wenige zehntel Grad Celsius. Insgesamt stieg die 10 m-Temperatur von $-1,5^{\circ}\text{C}$ (1972) auf $-0,5^{\circ}\text{C}$ (1976) an. Im Längsprofil zeigte sich 1976 mit Einsetzen der Schneeschmelze die rasche Erwärmung des Firns auf 0°C , während im Ablationsgebiet die Eistemperaturen ab 2 m Tiefe leicht negativ blieben.

MEASUREMENTS OF ICE AND FIRN TEMPERATURES ON HINTEREISFERNER SUMMARY

Ice temperatures have been measured at 2800 m a. s. l. on Hintereisferner, Ötztal Alps, since the summer of 1972 with thermocouples in a 15 m deep profile. In 1975 six thermistor profiles were installed between 2550 and 3150 m altitude. The seasonal variations are characterized by the downward progression of winter minima and by a supply of heat after the melting of the snow cover in summer.

At 2800 m elevation the yearly temperature range was less than $0,5^{\circ}\text{C}$ at a depth of 10 m. A general trend from $-1,5^{\circ}\text{C}$ in 1972 to $-0,5^{\circ}\text{C}$ in 1976 was observed in the 10 m temperatures. A longitudinal profile in 1976 showed fast warming of the firn to 0°C after the onset of snowmelt, whereas ice temperatures stayed slightly negative in the ablation area below 2 m depth.

Nachdem seit Beginn der Gletscherforschung und der Temperaturmessungen von Gletschereis die Meinung vorherrschte, die Temperatur des Eises der Alpengletscher entspreche jeweils dem Druckschmelzpunkt, ergaben Messungen in den letzten Jahren, daß zumindest in einigen Zonen auch in den Alpen Eistemperaturen unter 0°C vorkommen (Hess 1904, Fisher 1953, 1954, 1955, 1963; Paterson 1972; Lliboutry 1976; Haeberli 1976). Im Rahmen der Wärmehaushaltsstudien wurde am Hintereisferner, Ötztaler Alpen, im Herbst 1971 an der Station 28 (St 28), in 2800 m Seehöhe, eine Cu-Konstantan Thermoelementenkette mit 17 Meßstellen bis 15 m Tiefe eing bohrt. Die Spannungsmessung erfolgte mittels eines Spiegelgalvanometers. In den Sommermonaten der Jahre 1972—74 wurden an 49 Tagen Temperaturmessungen vorgenommen (800 Einzelwerte). Die Meßstelle liegt ungefähr 1,6 km unter der mittleren Gleichgewichtslinie der letzten 10 Jahre (2950 m) und bewegte sich in den drei Jahren ca. 100 m. Weitere Daten siehe Tabelle 1.

Auf der Karte des Hintereisfernens (Abb. 1) markieren die großen Kreise die Lage der Temperaturmeßstellen St 28 und M 1—M 5. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 2 dargestellt.

Mäßige Schneelage sowie niedrigere Temperaturen im Herbst 1971 ermöglichten eine starke Abkühlung der obersten Eisschichten. Mitte März 1972 betrug die Temperatur

Tab. 1: Glaziologische Daten der Jahre 1972–1974 an der Station 28

Jahr	1972	1973	1974
Ablation in cm Wasserwert	40	210	40
Beginn der Eisablation	14. 8.	6. 7.	22. 8.
Max. Schneehöhe cm	220	210	320
Massenhaushalt HEF \bar{b} cm	- 7	- 123	5
Höhe der Gleichgewichtslinie	2935	3250	2910

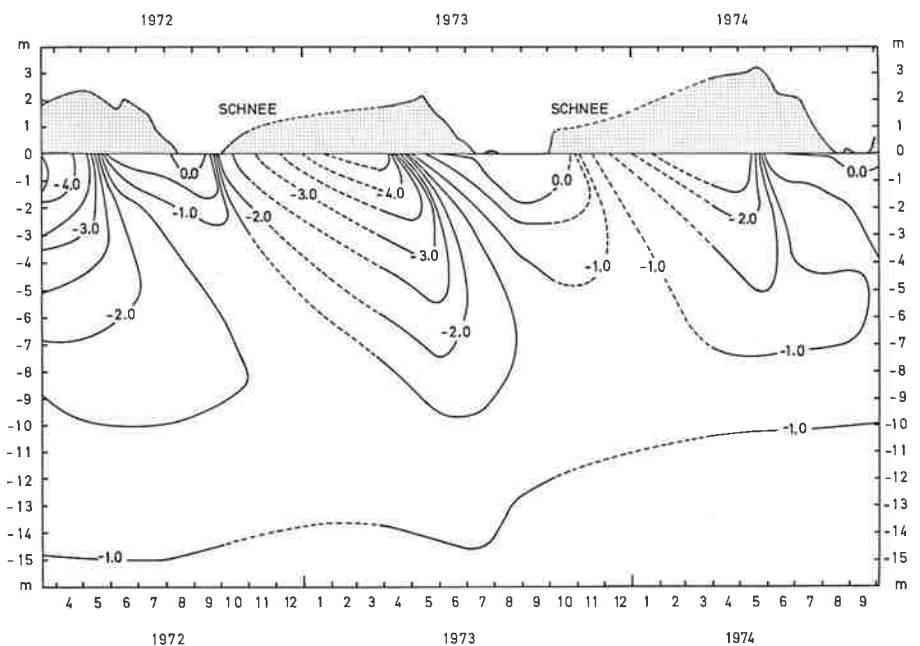


Abb. 2: Eistemperaturen am Hintereisferner in 2800 m Höhe (Station 28) in den Jahren 1972–1974.

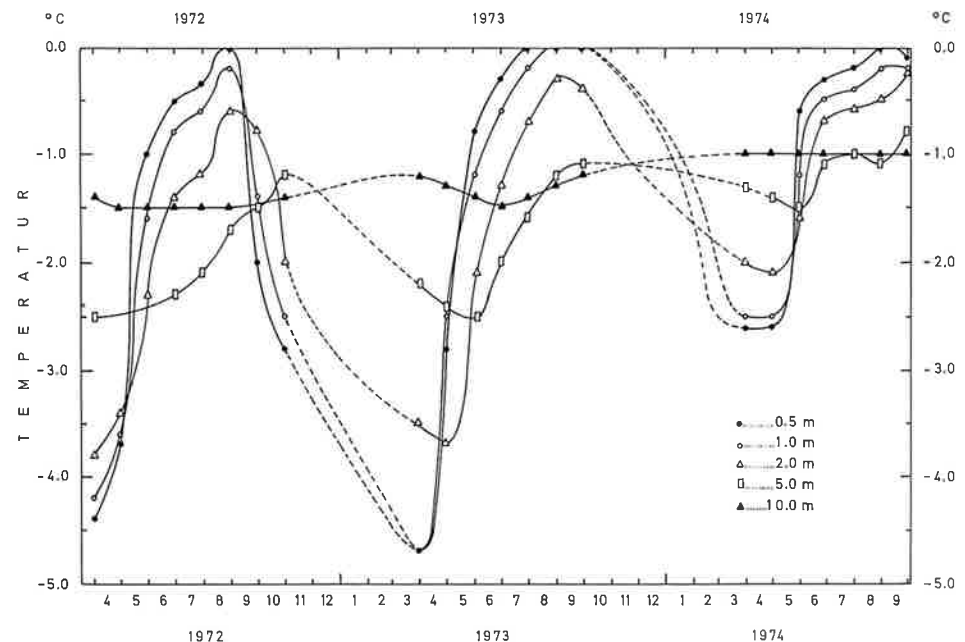


Abb. 3: Temperaturverlauf in 0,5, 1,0, 2,0, 5,0 und 10,0 m Tiefe am Hintereisferner bei der Station 28 in den Jahren 1972–1974.

HINTEREISFERNER 1971

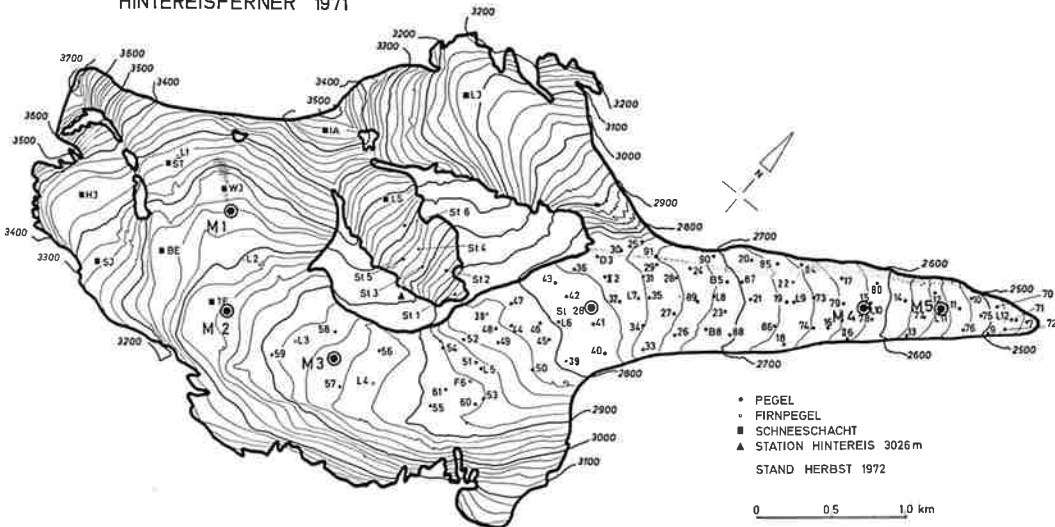


Abb. 1: Karte des Hintereisferners mit Lage der Temperaturmeßstellen (St 28, M 1–5).

in 1 m Tiefe $-4,5^{\circ}\text{C}$. Mit dem Durchsickern des Schmelzwassers durch die 2 m dicke Schneedecke beginnt die rasche Erwärmung, die Bildung von Aufeis, und erst vor Abschmelzen der Schneedecke wird die 0° -Grenze erreicht. 1973 zeigt sich anfänglich dasselbe Bild, die Erwärmung im Frühjahr ist aber beträchtlich stärker, die Ablationsperiode dauert länger, und es schmilzt 5 mal soviel Eis als im Vorjahr, somit ergibt sich eine starke Erwärmung des Eises. Ein milder Herbst 1973 und viel Winterschnee bewirken 1974 eine geringere Abkühlung und ein vermindertes Vordringen der Kälte in die Tiefe, ein schlechter Sommer 1974 bringt nur eine kurze Ablationsperiode und eine geringe Erwärmung.

Das Firngebiet des Hintereisferners, das auf der Weißkugel mit 3739 m seinen höchsten Punkt erreicht, dürfte zur Gänze in der „temperierten Infiltrationszone“ (Shumskii 1964) liegen. Das heißt: Das kalte Eis am Hintereisferner ist nicht aus höher gelegenen Gebieten herantransportiert worden, sondern ist das Ergebnis des Wärmehaushalts an der betreffenden Stelle. Die Erwärmung der obersten Schichten durch Wärmeleitung während der kurzen Eisablationsperiode im oberen Teil des Ablationsgebietes vermag nicht völlig den Kälteverrat zu beseitigen, eine Eisschicht von einigen Dekametern wird kälter als 0°C bleiben (Paterson 1972).

Abbildung 3 zeigt den Temperaturverlauf in verschiedenen Tiefen. Betrachtet man

die Temperatur in 10 m Tiefe, so sieht man zwischen Frühjahr 1972 und Herbst 1974 einen Anstieg von $0,5^{\circ}\text{C}$. 1975 und 1976 wurden noch sieben Messungen vorgenommen. Die beiden milden Winter dieser Jahre, wobei der von 1975 zudem noch schneereich war, ließen die Erwärmung von der Tiefe her weiter wirken. 1975 betrug die 10 m-Temperatur ca. $-0,7^{\circ}\text{C}$ und 1976 $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Um die Frage beantworten zu können, wie weit die Zunge des Hintereisferners eine Zone kalten Eises aufweist, wurden im Herbst 1975 und Frühjahr 1976 in der Längsachse des Gletschers zwischen 3150 m Höhe und 2550 m Höhe weitere Meßprofile angelegt (Abb. 4). Meßstelle 1 (3150 m) im Firngebiet zeigt das Bild eines temperierten Gletschers. Anfang März ist die Temperatur unter 10 m Tiefe 0°C , und die bis ca. 8 m eingedrungene Winterkälte wird mit Beginn der Erwärmung und Einsickern von Schmelzwasser rasch abgebaut. Meßstelle 2 (3060 m), ebenfalls noch im Firngebiet liegend, zeigt einen ähnlichen Temperaturverlauf. Die Temperaturen in 14 m Tiefe bleiben aber das ganze Jahr hindurch leicht negativ, vielleicht deshalb, weil diese Gegend sehr spaltenreich ist und die tiefste Meßstelle sich in der Nähe einer mit kälterer Luft gefüllten Spalte befindet. Meßstelle 3 (2950 m), zur Zeit im Firngebiet, hat über den ganzen Sommer in einer Tiefe unter 6 m leicht negative Temperaturen. Diese Meßstelle liegt je nach Jahr einmal im Ablationsgebiet und einmal im Akkumulationsgebiet. Die Grenze zwischen Firn und Eis ist nicht bekannt, 1964 war diese Gegend das letzte Mal schneefrei. Die beiden tiefsten Meßstellen (2610 m u. 2550 m) zeigen im Sommer eine Erwärmung des Eises auf 0°C bis 2 m Tiefe, darunter bleiben die Temperaturen schwach unter 0°C .

1976 scheint am Hintereisferner selbst an der Zunge noch eine dünne Schichte nicht temperierten Eises übrig geblieben zu sein.

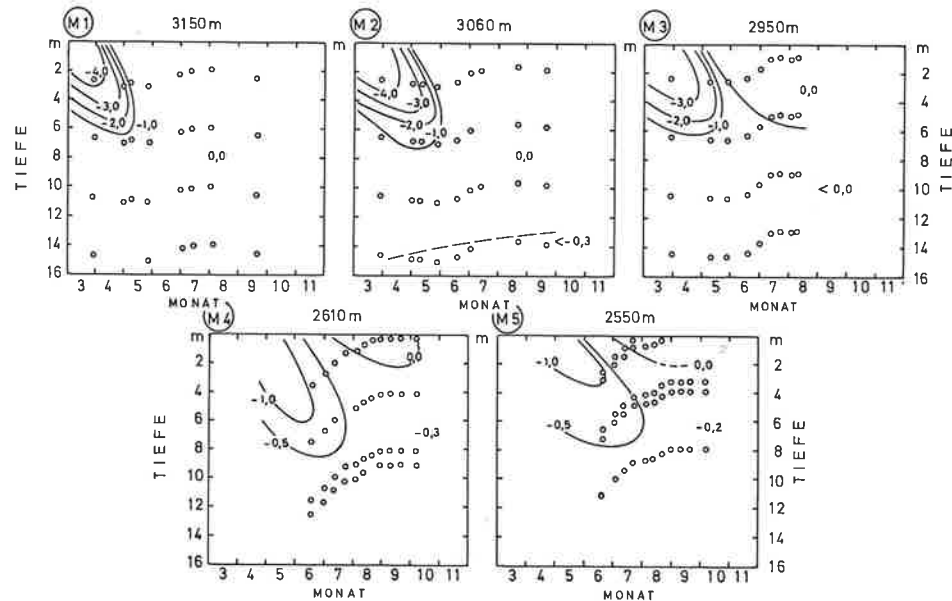


Abb. 4: Schnee- und Eistemperaturen im Längsprofil des Hintereisferners im Jahre 1976.

LITERATUR

- Fisher, J. E., 1953: The cold ice tunnel on the Silbersattel, Monte Rosa. Preliminary Report, *Journal of Glaciology* 2, 13: 195–196.
- Fisher, J. E., 1954: The cold ice tunnel on the Silbersattel, Monte Rosa, 1953 Progress. *Journal of Glaciology* 2, 15: 341.
- Fisher, J. E., 1955: Internal temperatures of a cold glacier and conclusions therefrom. *Journal of Glaciology* 2, 18: 583–591.
- Fisher, J. E., 1963: Two tunnels in cold ice at 4000 m on the Breithorn. *Journal of Glaciology* 4, 35: 513–520.
- Haerberli, W., 1976: Eistemperaturen in den Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* XI (1975), 2: 203–220.
- Hess, H., 1904: *Die Gletscher*. Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 426 S.
- Lliboutry, L., M. Briat, M. Creseveur and M. Pourchet, 1976: 15 m deep temperatures in the glaciers of Mont Blanc (French Alps). *Journal of Glaciology* 16, 74: 197–203.
- Paterson, W. S. B., 1972: Temperature distribution in the upper layers of the ablation area of Athabasca Glacier, Alberta, Canada. *Journal of Glaciology* 11, 61: 31–41.
- Shumskii, P. A., 1964: *Principles of structural glaciology*. Dover, New York (Transl. D. Kraus), 497 S.

Manuskript eingelangt am 24. Oktober 1977.

Anschriften der Verfasser: Gerhard Markl und H. Peter Wagner
 Institut für Meteorologie und Geophysik
 Universität Innsbruck
 Schöpfstraße 41
 A-6020 Innsbruck