

# Zum winterlichen Kälteverrat in einem temperierten Alpengletscher

Von W. Ambach, H. Eisner, E. Meyer und H. Schneider\*

**Zusammenfassung:** Der winterliche Kälteverrat des Firns eines Alpengletschers wird in seiner Bedeutung für den Energiehaushalt, für die Firnverdichtung und im Zusammenhang mit den Lebensbedingungen des Gletscherfloh diskutiert. Der Kälteverrat wird am Beginn der Ablationsperiode innerhalb weniger Tage abgebaut. Die Firnverdichtung durch Wiederfrieren von Schmelzwasser wird zu 30% geschätzt.

**Summary:** The decrease of temperatures of the firn of an Alpine glacier during the winter season is discussed in connection with the involved amount of energy, the densification of the firn, and in relation to the environment of *Isotoma* sp., *Collembola*. The cooling of the firn is compensated within a few days at the beginning of the ablation season. The densification of the firn by refreezing of the meltwater is estimated at being about 30% of the total rate of densification.

## 1. EINLEITUNG

Der winterliche Kälteverrat im Firn eines temperierten Alpengletschers hängt von der Höhenlage der Meßstelle und von verschiedenen klimatischen und glaziologischen Bedingungen ab (HAEBERLI & ALEAN 1985, WAGNER & MARKL 1977). Als Beispiel werden hier Temperaturmessungen im Tiefenprofil am Kesselwandferner (3250 m NN, Ötztaler Alpen) herangezogen, die mit Pt-100-Widerstandsthermometern im Winter 1984/85 durchgeführt wurden. Die Bedeutung des winterlichen Kälteverrats wird dann von 3 Gesichtspunkten aus diskutiert; örtliche Unterschiede stehen dabei nicht zur Debatte.

## 2. DISKUSSION

### 2.1 Energiebetrag des winterlichen Kälteverrates

Abb. 1 zeigt als Beispiel gemessene Temperaturprofile am 6. 12. 1984 und am 10. 3. 1985. Bezugsniveau für die Tiefenangaben der Meßfühler ist die Oberfläche des Vorjahres (14. 9. 84). Die winterliche Temperaturwelle dringt bis etwa 7 m Tiefe ein, die Temperatur im Bezugsniveau beträgt am 10. 3. 85 rund  $-6$  °C. Der Kälteinhalt der Abkühlung ergibt sich zu etwa  $17$  MJ/m<sup>2</sup>. In der gesamten Energiebilanz der Ablationsperiode spielt dieser Betrag keine wesentliche Rolle. Es ist bemerkenswert, daß dieser Energiebetrag in etwa 3 sommerlichen Ablationstagen durch die zugeführte Wärme verbraucht werden kann (WAGNER 1979).

### 2.2 Firnverdichtung durch Wiederfrieren von Schmelzwasser

Die Firnverdichtung erfolgt in temperierten Gletschern durch Kompression im Spannungsfeld und durch Wiederfrieren von Schmelzwasser in den abgekühlten Firnschichten. Beim Wiederfrieren des Schmelzwassers wird ein großer Teil des Kälteverrates verbraucht. Sind die Firnschichten isotherm  $0$  °C, dann ist eine weitere Eisbildung durch Schmelzwasser nicht mehr möglich. Bei fehlendem Schmelzwasser wird der Kälteverrat ausschließlich durch Wärmeleitung abgebaut. Der gesamte Kälteverrat von  $17$  MJ/m<sup>2</sup> ermöglicht eine Eisbildung von  $50$  kg/m<sup>2</sup>.

\* Prof. Dr. Walter Ambach, Institut für Medizinische Physik der Universität, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck.

Dr. Heinrich Eisner, Institut für Experimentalphysik der Universität, Technikerstr. 25, A-6020 Innsbruck.

Dr. Ernst Meyer, Institut für Zoologie der Universität, Technikerstr. 15, A-6020 Innsbruck.

Dr. Harald Schneider, Institut für Mathematik der Universität, Technikerstr. 15, A-6020 Innsbruck.

Für die finanzielle Unterstützung der Feldarbeiten wird der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Wien) gebührend gedankt.

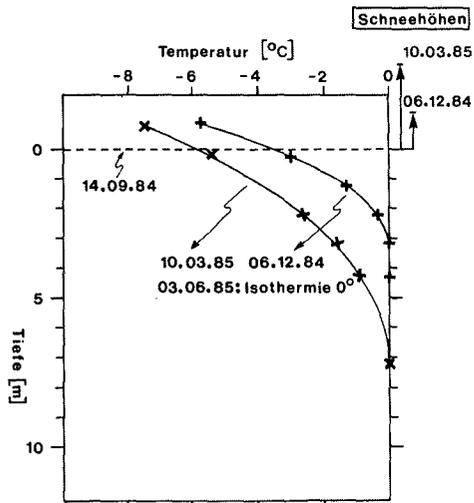


Abb. 1: Temperaturprofile am Kesselwandferner, 3250 m NN. Die gestrichelte Linie entspricht der Oberfläche im Herbst des Vorjahres und gilt als Bezug für die Meßtiefen und Schneehöhen.

Fig. 1: Temperature profiles on the Kesselwandferner, 3250 m a. s. l. The dashed line corresponds to the surface of the fall of the previous year and serves as a reference level for the depth of the measurements.

Zur Berechnung der Firnverdichtung, die durch Wiederfrieren von Schmelzwasser entsteht, wurde eine Jahresschicht mit  $1300 \text{ kg/m}^2$  Wasseräquivalent und einer Anfangsdichte von  $600 \text{ kg/m}^3$  angenommen. Die jährliche Dichtezunahme einer Jahresrücklage beträgt dann im 1. Jahr  $15 \text{ kg/m}^3$ , im 2. Jahr  $6 \text{ kg/m}^3$  und im 3. Jahr  $2 \text{ kg/m}^3$ . Über die 3 Jahre summiert erhält man somit  $23 \text{ kg/m}^3$ . Eine Abschätzung ergibt, daß in den ersten 7 m Tiefe die relative Firnverdichtungsrate, ausgedrückt durch  $\hat{\rho}/\rho$ , durch Wiederfrieren von Schmelzwasser 30% beträgt und der Rest der Verdichtung durch Kompression erfolgt.

Abb. 2 zeigt ein geglättetes Dichteprofil, das aus 3 Meßserien ermittelt wurde, und jenes Dichteprofil, welches ohne Wiederfrieren von Schmelzwasser auftreten könnte. In tieferen Schichten müssen sich beide Profile nähern, weil in beiden Profilen die Dichte für inkompressibles Eis erreicht wird. Die Annäherung beider Profile ergibt sich, weil die Schicht mit geringer Dichte bei gleicher Schneelast sich stärker verdichtet als die Vergleichsschicht großer Dichte.

### 2.3 Temperierter Firn als Lebensraum für den Gletscherfloh

Ein weiterer Aspekt der winterlichen Abkühlung des Gletscherrfins ist im Zusammenhang mit den Lebensbedingungen für den Gletscherfloh (*Isotoma* sp., *Collembola*) von Interesse. Bekanntlich überwintern die Gletscherflöhe im aktiven Zustand unter der winterlichen Schneedecke im Lückensystem der Altschneeoberfläche (AN DER LAN 1961). In diesen Tiefen treten während des Winters Temperaturen bis zu etwa  $-6 \text{ }^\circ\text{C}$  auf (Abb. 1). Nach Untersuchungen von SCHALLER & ZINKLER (1963) und ZETTEL (1984) scheint der Gletscherfloh sowohl atmungsphysiologisch als auch hinsichtlich seiner Kältetoleranz

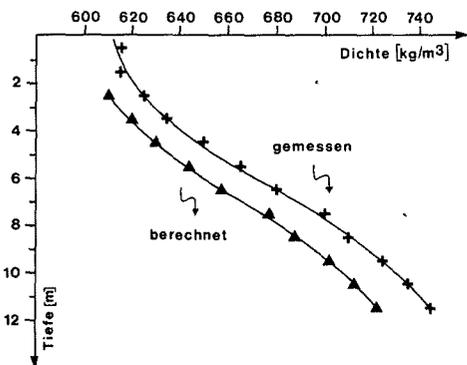


Abb. 2: Dichteprofile im Firn am Kesselwandferner, 3250 m NN. Gemessenes Profil: gemittelt aus 3 Meßreihen. Berechnetes Profil: Vom gemessenen Profil wurde der Anteil der Firnverdichtung durch Wiederfrieren von Schmelzwasser abgezogen.

Fig. 2: Profiles of firn densities on Kesselwandferner, 3250 m a. s. l. Measured profil: averaged over 3 sets of measurements. Calculated profile: measured values reduced by the densification of the firn by refreezing of meltwater.

sehr gut an seinen kaltstenohermen Lebensraum angepaßt zu sein. Nach Auffassung von AN DER LAN (1963) werden die Gletscherflöhe im Frühjahr durch das Eintreten von Schmelzwasser in diesen Bereich zu einer Vertikalwanderung an die Schneeoberfläche angeregt. Möglicherweise ist jedoch der rasche Temperaturwechsel für die Tiere das entscheidende Signal zum Verlassen ihrer Winterquartiere.

#### L i t e r a t u r

- A n d e r L a n , H. (1961): Zur Winter-Ökologie des Gletscherfloh. — Die Pyramide 1: 33—34.
- A n d e r L a n , H. (1963): Tiere im Ewigschneegebiet. — Umschau 2: 49—52.
- H a e b e r l i , W. & J. A l e a n (1985): Temperature and accumulation of high altitude firn in the Alps. — Ann. Glaciol. 6: 161—163.
- S c h a l l e r , F. & D. Z i n k l e r (1963): Atmungsphysiologische Untersuchungen am Gletscherfloh. — Naturwissenschaften 50 (10): 385.
- W a g n e r , H. P. & G. M a r k l (1977): Messungen von Eis- und Firntemperaturen am Hintereisferner (Ötztaler Alpen). — Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeol. 13: 261—265.
- W a g n e r , H. P. (1979): Strahlungshaushaltsuntersuchungen auf einem Ostalpengletscher während der Hauptablationsperiode (Teil I: kurzweilige Strahlung). — Arch. Met. Geoph. Bioklim. Ser. B, 27: 297—324.
- Z e t t e l , J. (1984): Cold hardiness strategies and thermal hysteresis in Collembola. — Rev. Ecol. Biol. Sol 21 (2), 189—203.