

# STUDIE ZUM SCHMELZWASSERABFLUSS AUS DEM AKKUMULATIONSGBIET EINES ALPENGLETSCHERS (HINTEREISFERNER, ÖTZTALER ALPEN)

## II. Mitteilung<sup>1</sup>

Von H. BEHRENS, München, U. LÖSCHHORN und W. AMBACH,  
Innsbruck, und H. MOSER, München

Mit 2 Abbildungen

### ZUSAMMENFASSUNG

Die im Jahr 1973 begonnenen Markierungsversuche im Akkumulationsgebiet des Hintereisferners (Öztaler Alpen) zur Messung der Durchflußzeiten des Schneeschmelzwassers im Firnkörper wurden fortgesetzt. Im Gegensatz zur Markierung 1973, die im unteren Teil des Akkumulationsgebietes nahe der Gleichgewichtslinie erfolgte, wurde diesmal die Schneeoberfläche im hochgelegenen Teil des Akkumulationsgebietes markiert. Eine kurz vor einer Schlechtwetterperiode im Juni 1974 durchgeführte Markierung konnte nicht im Gletscherabfluß nachgewiesen werden. Der Farbstoff einer zweiten Markierung, der vor einer Schönwetterperiode im Juli 1974 ausgelegt wurde, wurde während der Ablationsperiode 1974 zu 71% im Gletscherbach ausgebracht. Dieser Farbstoff wurde erstmals 10 Tage nach der Auslegung im Gletscherabfluß nachgewiesen, das Konzentrationsmaximum 17 Tage danach.

### STUDIES ON THE MELT WATER RUN-OFF FROM THE ACCUMULATION AREA OF AN ALPINE GLACIER (HINTEREISFERNER, ÖTZTALER ALPEN)

### SUMMARY

This paper reports on a continuation of studies begun in 1973 that were concerned with the determination of discharge times of melt water in the accumulation area. While in 1973 dye was laid out near the equilibrium line, this time snow was marked in the upper part of the accumulation area. Dye from one experiment shortly before the onset of bad weather was not detected in the run-off. 71 per cent of the dye laid out before a spell of fair weather in July 1974 were discharged during the ablation period 1974. It was first detected in the discharge 10 days after lay-out and yielded a peak concentration after 17 days.

### I. EINLEITUNG

Die bisher am Hintereisferner und auch anderenorts durchgeführten Markierungsversuche zur Bestimmung der Fließzeit im inneren Abflußsystem von Gletschern sind bei Ambach et al. 1974 referiert. Der im Jahr 1973 erstmalig durchgeführte Markierungsversuch durch eine Farbauslegung auf der Schneeoberfläche im unteren Bereich des Akkumulationsgebiets des Hintereisferners (Öztaler Alpen, Lageplan s. Abb. 1) erbrachte das Ergebnis, daß das Schmelzwasser unter den damals gegebenen Umständen bis zum Erreichen des kanalartigen inneren Abflußsystems des Ablationsgebiets 17,5 Stunden benötigt. Weitere Versuche waren angebracht, da anzunehmen ist, daß die Fließzeit vom Ort der Farbauslegung im Akkumulationsgebiet und vom Witterungsverlauf während der Ablationsperiode, insbesondere vom Schmelzwasseranfall, abhängt. Um die möglichen Fließzeiten einzugrenzen, wurde

<sup>1</sup> Erste Mitteilung siehe Ambach et al., 1974.

die Markierung im nachfolgend beschriebenen Versuch an einer im hochgelegenen Teil des Akkumulationsgebietes befindlichen Stelle mit möglichst großer jährlicher Firnrücklage und damit langem Fließweg bis zum Abflußsystem des Ablationsgebietes durchgeführt (Abb. 1). Außerdem wurden im Abstand von etwa einem Monat zwei durch verschiedene Farbstoffe unterscheidbare Farbauslegungen durchgeführt, die erste vor, die zweite während der hochsommerlichen Ablationsperiode.

## 2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Farbauslegungen erfolgten am 5. Juni und 27. Juli 1974 in der unterhalb des Hintereisjochs gelegenen Firnmulde des Hintereisferners (3330 m NN). Die mittlere Jahresrücklage (1964—1974) beträgt dort 170 cm Wasseräquivalent mit Extremwerten von 280 cm und 70 cm. Als Markierungsmittel wurden die Fluoreszenzfarbstoffe Rhodamin FB (5. Juni) und Sulforhodamin G extra (27. Juli) verwendet, die spektralfluorimetrisch getrennt nachgewiesen werden können. Beide etwa 50 m voneinander entfernte Farbauslegungen erfolgten auf einer Fläche von je etwa 100 m<sup>2</sup>, auf denen je 20 kg Farbstoff mit Wasser auf 100 l Lösung verdünnt aufgebracht wurden.

Die Probenahme zur Messung der Farbstoffkonzentrationen wurde während der gesamten Ablationsperiode durch Einzelprobenahme in 50 ml-Plastikflaschen sowohl im Abfluß des Hintereisferners als auch an der Rofenache an der Pegelmeßstelle Vent-Rofenache vorgenommen. Der Nachweis der Fluoreszenzfarbstoffe erfolgte wie bei der in der I. Mitteilung beschriebenen Untersuchung spektralfluorimetrisch (H. Behrens, 1973).

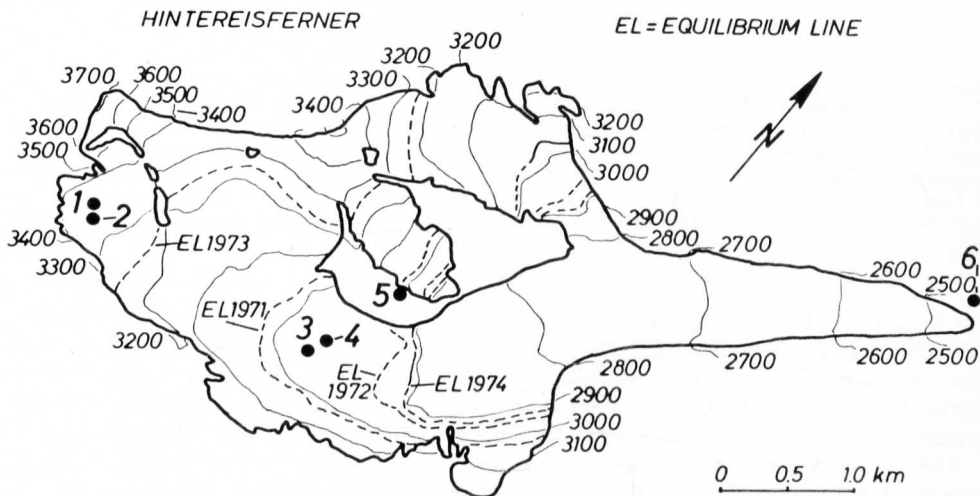


Abb. 1: Lageplan der Farbstoffauslegungen am Hintereisferner (Ötztaler Alpen)

- 1: Farbstoffauslegung 5. Juni 1974
- 2: Farbstoffauslegung 27. Juli 1974
- 3: Farbstoffauslegung 1973
- 4: Schneeschacht 1973
- 5: Station Hintereis
- 6: Station Hintereisferner-Zunge

### 3. MESSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

Alle Messungen der Farbstoffkonzentrationen von Rhodamin FB, also der Auslegung vom 5. Juni, ergaben keinen nachweisbaren Farbstoff. Dagegen konnte der Farbstoff Sulforhodamin G extra der Auslegung vom 27. Juli im Hintereisbach und in der Rofenache bei Vent nachgewiesen werden. Abb. 2 zeigt den Konzentrationsverlauf an beiden Entnahmestellen. Daneben sind die Wasserführung der Rofenache<sup>2</sup>, die daraus errechnete Ausbringung des Fluoreszenzfarbstoffs pro Zeit in der Rofenache sowie die Klimadaten<sup>3</sup> der Station Hintereis und der Station Hintereisfernerzunge im Einzugsgebiet der Rofenache in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Insgesamt wurden 14,2 kg, d. h. 71% der ausgelegten Farbstoffmenge im Abfluß nachgewiesen.

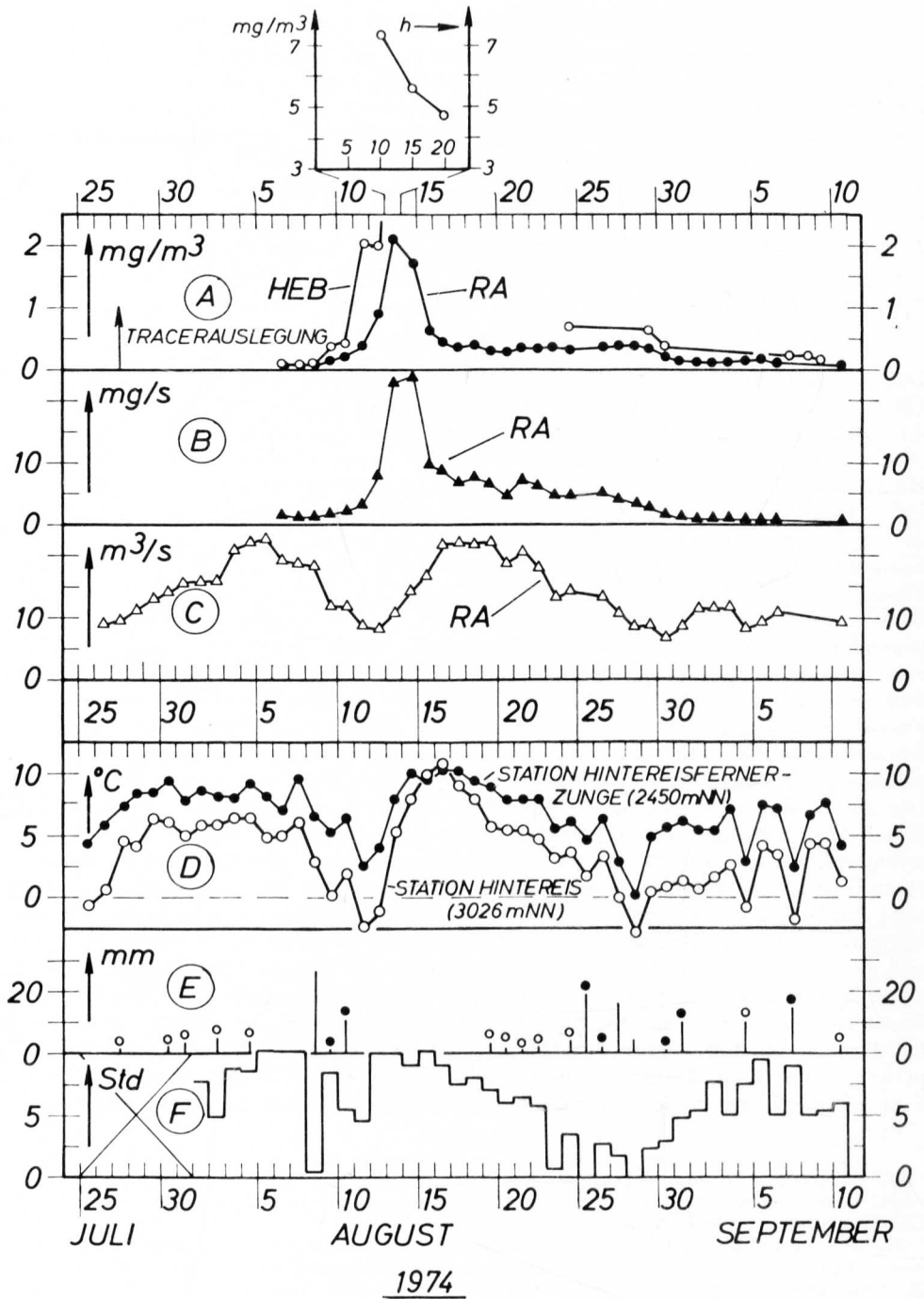
### 4. DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE

Das negative Ergebnis des Markierungsversuchs vom 5. Juni 1974 muß damit erklärt werden, daß während und unmittelbar nach der Farbauslegung Schneefälle die Auslegungsstelle abdeckten. Zudem bewirkten die stark fallende Temperatur in der Folgezeit (Tagesmitteltemperatur  $-8,2^{\circ}\text{C}$  am 11. Juni 1974 an der Station Hintereis, 3030m NN) und weitere Schneefälle (27mm zwischen 9. und 12. Juni 1974), daß die Farblösung einfror und weiter mit Schnee abgedeckt wurde. So konnten die nachfolgenden Schmelzperioden augenscheinlich keine nachweisbare Farbausbringung mehr verursachen. Dies wird durch eine am 27. Juli 1974 vorgenommene Profilgrabung bestätigt, bei der ein Einfrieren der Farblösung in der markierten Schicht mit scharfer Trennung der Oberfläche des Farbstoffflecks von den darüberliegenden Schichten in 60 cm Tiefe festgestellt wurde. Nach unten zu konnte nur eine geringe Auswaschung der Farblösung beobachtet werden. Es ist überraschend, daß auch bei dem starken Schmelzwasseranfall im Hochsommer keine meßbare Farbausbringung in das innere Abflußsystem mehr stattgefunden hat. Die eingefrorene Farbstofflösung scheint demnach eine wasserundurchlässige Schicht gebildet zu haben, die vom Schmelzwasser nicht durchsickert werden konnte.

Der am 27. Juli 1974 ausgelegte Fluoreszenzfarbstoff tritt erstmals zehn Tage nach seiner Auslegung und das Konzentrationsmaximum nach 17 Tagen an den Probenahmestellen auf. Die maximale Farbausbringungsrate erfolgt in der Rofenache einen Tag später, bedingt durch den steigenden Abfluß des Schmelzwassers. Diese zeitliche Differenz zwischen dem Maximum der Konzentration und jenem der Ausbringungsrate kann dadurch erklärt werden, daß angefärbtes Schmelzwasser, das sich bereits im inneren Abflußsystem des Gletschers befindet, bei geringer Ablation weniger verdünnt wird als bei starkem Schmelzwasseranfall. Das Maximum der Farbausbringungsrate am 14. August tritt augenscheinlich im Gefolge des Abflußmaximums vom 5./6. August auf, das durch die am 27. Juli beginnende Schönwetterperiode bedingt ist. Daraus kann auf eine Laufzeitdifferenz zwischen dem direkt, d. h. oberflächlich in das innere Abflußsystem des Ablationsgebiets abfließenden

<sup>2</sup> Die Eichkurve für die Pegelmeßstelle Vent-Rofenache, aus der die Wasserführungswerte bestimmt wurden, stammt vom Hydrographischen Dienst des Amtes der Tiroler Landesregierung, dem hierfür gebührend gedankt sei.

<sup>3</sup> Für die freundliche Überlassung der Klimadaten wird dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, insbesondere Herrn H. P. Wagner, gebührend gedankt. Die Lage der beiden Klimastationen ist in Abb. 1 eingetragen.



1974

Schmelzwasser und dem in dieses System von der Farbauslegungsstelle durch den Firn zusickernden Schmelzwasser von acht bis neun Tagen geschlossen werden. Dies entspricht in etwa auch der Zeit zwischen dem ersten durch die ansteigende Temperatur verursachten Schmelzwasseranfall und dem ersten Auftreten des Farbstoffs im Abfluß. Der steilere Abfall der Farbstoffausbringungsrate gegenüber der Abflußganglinie zeigt, daß der Farbstoff weitgehend während der ersten Schmelzwasserdurchsickerung ausgewaschen wurde. So konnte sich weder die durch den starken Temperaturrückgang (Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  am 9., 11. und 12. August 1974) bedingte Ablationsunterbrechung noch die weitere Schmelzwasserproduktion während der am 13. August 1974 beginnenden Schönwetterperiode wesentlich auf den Verlauf der Farbausbringungsrate im Abfluß auswirken. Man erkennt allerdings, daß die Reste des noch im Gletscher vorhandenen Farbstoffs mit entsprechender Verzögerung durch die zweite Schmelzwasserabflußwelle in das Abflußsystem des Gletschers transportiert wurden.

Nach diesen Überlegungen kann mit einer Fließzeit von etwa 200 Stunden vom Ort der Auslegung bis zur Probenahmestelle gerechnet werden, wogegen die aus früheren Versuchen ermittelte Fließzeit von ca. 4,5 Stunden im inneren Abflußsystem des Ablationsgebiets und im Gletscherbach vernachlässigt werden kann. Gegenüber dem Markierungsversuch vom Juli 1973 mit einer entsprechenden Fließzeit von 17,5 Stunden wirkt sich also der durch die größere Firnrücklage und die längere Distanz zum Abflußsystem des Ablationsgebiets bedingte längere Fließweg stark aus. Die von Fujino (1968) und Wakahama (1968) gemessenen vertikalen Sickergeschwindigkeiten von Wasser in Schneeschichten liegen in der Größenordnung von  $10^{-2}$  cm/s bis  $10^{-3}$  cm/s bei einem freien Wassergehalt von 10–15%. Setzt man eine Wanderungsgeschwindigkeit in dieser Größenordnung für den gesamten Weg des Schneeschmelzwassers — also einschließlich der horizontalen Komponenten der Sickerbewegung — an, so läßt sich daraus folgern, daß das den Firn durchsickernde Wasser nach einer relativ kurzen Strecke bereits auf eine hydraulisch gut leitende Verbindung stößt, die das Schmelzwasser dann in das röhrenartige innere Abflußsystem des Ablationsgebiets abführt. Hierüber liegen jedoch noch keine gesicherten experimentellen Befunde vor.

Die Arbeiten wurden teilweise mit der dankenswerten Unterstützung der Deutschen

---

Abb. 2: Farbauslegung 27. Juli 1974 im Akkumulationsgebiet des Hintereisferners. Konzentrationsverlauf im Abfluß des Hintereisferners und in der Rofenache (Pegel Vent), Abflußwerte (Pegelmessstelle Vent-Rofenache) sowie Klimadaten der Station Hintereis, Station Hintereisferner-Zunge und Station Vent.

A: Farbstoffkonzentration ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

- — ● Rofenache, Pegel Vent RA,
- — ○ Abfluß des Hintereisferners, HEB

B: Farbausbringung ( $\text{mg}/\text{s}$ ) in der Rofenache (Pegel Vent)

C: Abflußmenge (Rofenache, Pegel Vent) ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) zur Zeit der Probenahme

D: Tagesmitteltemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) (○ — ○ Station Hintereis, 3030 m NN, ● — ● Station Hintereisferner-Zunge 2440 m NN) [ $T(7\text{h}) + T(19\text{h}) + T_{\text{max}} + T_{\text{min}}/4$ ] berechnet aus [ $T(7\text{h}) + \dots + T_{\text{min}}/4$ ]

E: Niederschlag (mm), Station Hintereis; (| = Schnee, ● = Schneeregen, ○ = Regen)

F: Tägliche Sonnenscheindauer (Std), Station Vent.

Forschungsgemeinschaft (Sonderforschungsbereich 81 der TU München, Teilprojekt A 1), der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und des Österreichischen Bundesministeriums für Inneres durchgeführt. Besonderer Dank gebührt auch allen freiwilligen Helfern bei der Gelände- und Laborarbeit.

#### LITERATUR

Ambach, W., M. Elsässer, H. Behrens, H. Moser, 1974: Studie zum Schmelzwasserabfluß aus dem Akkumulationsgebiet eines Alpengletschers (Hintereisferner, Ötztaler Alpen). *Z. Gletscherkunde und Glazialgeol.*, 10: 181–187.

Behrens, H., 1973: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Feststellung von Fließwegen im Grundwasser. *Z. Deutsche Geol. Ges.*, 124: 535–541.

Fujino, K., 1968: Measurements of flow down speed of meltwater in snow cover. *Low Temperature Sciences Ser. A*, 26: 87–100.

Wakahama, G., 1968: Infiltration of meltwater into snow cover; Flowing down speed of meltwater in a snow cover. *Low Temperature Sciences, Ser. A*, 26: 77–86.

Manuskript eingelangt am 6. Oktober 1976.

---

Anschriften der Verfasser: Dipl.-Ing. Horst Behrens, Prof. Dr. Heribert Moser  
Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für Strahlen-  
und Umweltforschung mbH  
Ingolstädter Landstraße 1  
D-8042 Neuherberg

Univ.-Prof. Dr. Walter Ambach, Ulrich Löschhorn  
Physikalisches Institut der Universität Innsbruck  
Schöpfstraße 41  
A-6020 Innsbruck