

MITTEILUNGEN

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

Von W. AMBACH und M. ELSÄSSER, Innsbruck
H. BEHRENS und H. MOSER, München

Mit 5 Abbildungen

ZUSAMMENFASSUNG

Durch Markierung der Schneeoberfläche im Akkumulationsgebiet des Hintereisferners (Öztaler Alpen) mit dem Fluoreszenzfarbstofftracer Rhodamin FB wurden Abflußzeiten des Schmelzwassers durch das Gesamtabflußsystem, vom unteren Teil des Akkumulationsgebietes bis zum Gletschertor, von ca. 20 Stunden bestimmt. Nach Abzug der bereits bekannten Fließzeit im inneren Abflußsystem des Ablationsgebietes von ca. 3 Stunden ergibt sich eine Fließzeit von ca. 17 Stunden für den Weg von der Impfstelle bis zum Erreichen des inneren Abflußsystems des Ablationsgebietes.

STUDIES ON THE MELT WATER RUN-OFF FROM THE ACCUMULATION AREA OF AN ALPINE
GLACIER (HINTEREISFERNER, ÖTZTAL ALPS)

SUMMARY

Times of melt water discharge through the entire system of run-off channels from the lower part of the accumulation area to the glacier snout were found to be about 20 hours by marking the snow surface of the accumulation area of the Hintereisferner (Öztal Alps) with Rhodamin FB, a fluorescent dye. Deducting the known discharge time of about 3 hours in the interior run-off system through the ablation area, we obtain a discharge time of about 17 hours for the distance from the marking point to the point where the internal discharge system is reached.

ETUDE SE REFERANT À L'ÉCOULEMENT DE L'EAU DE FONTE DE LA RÉGION D'ACCUMULATION
D'UN GLACIER ALPIN (HINTEREISFERNER, LES ALPES D'ÖTZTAL)

RÉSUMÉ

Les temps d'écoulement pour l'eau de fonte à travers le système total d'écoulement s'élevait à environ 20 heures de la partie inférieure de la région d'accumulation jusqu'à la bouche du glacier. Le temps d'écoulement fut déterminé en marquant la surface de neige dans la région d'accumulation de Hintereisferner (Les Alpes d'Öztal) à l'aide de Rhodamin FB, un tracer de couleur fluorescente. Après avoir déduit environ 3 heures pour le temps d'écoulement à l'intérieur du système d'écoulement de la région d'ablation on arrive à un temps d'écoulement d'environ 17 heures pour la distance entre l'endroit marqué et l'endroit du système d'écoulement à l'intérieur de la région d'ablation.

EINLEITUNG

Versuche über den Abfluß des Schmelzwassers aus dem Ablationsgebiet des Hintereisferners ergaben kurze Fließzeiten für das Schmelzwasser von der Oberfläche bis zum Gletschertor (W. Ambach et al., 1972, Tab. 1). Die Fließgeschwindigkeiten erreichten Werte bis zu 0,7 m/s in Übereinstimmung mit Ergebnissen, die H. Lang (1966) in einem Vorversuch ebenfalls am Hintereisferner gefunden hat. Das

hydraulische Verhalten des Abflußsystems entspricht dabei jenem eines offenen Gerinnes. Ein ähnliches Ergebnis erhielt auch Th. Stenborg, der das innere Abflußsystem des Ablationsgebietes zweier Gletscher in Nordschweden (Mikkaglaciären, Storglaciären), durch Salzmarkierungen untersucht hat. (Th. Stenborg, 1973). Während im Ablationsgebiet das innere Abflußsystem relativ einfach aufgebaut ist, sind die Verhältnisse im Akkumulationsgebiet eines Alpengletschers wegen der stark wechselnden Porosität des Firnkörpers wesentlich komplizierter. Die einzigen bisher bekannt gewordenen Ergebnisse über das aus dem Akkumulationsgebiet abfließende Schmelzwasser stammen vom South Cascade Glacier, Washington, die von R. M. Krimmel et al. (1972) veröffentlicht worden sind. Für das Ablationsgebiet wurden hier wiederum Fließgeschwindigkeiten bis zu 0,7 m/s gefunden (Mittelwert 0,3 m/s). Die Fließgeschwindigkeiten aus dem Akkumulationsgebiet waren hingegen um zwei Größenordnungen kleiner, nämlich 0,0017 m/s bis 0,0076 m/s. Eine Abschätzung lieferte für die Fließzeiten des Schmelzwassers durch den Schnee- und Firnkörper bis zum Abflußsystem des Ablationsgebietes ca. 50 Stunden.

FARBAUSLEGUNG

Zur Untersuchung des Schmelzwasserabflusses aus dem Akkumulationsgebiet des Hintereisferners wurde im Sommer 1973 ein fluoreszierender Farbstoff an der Oberfläche ausgelegt.

Die Lage der markierten Fläche ist aus Abb. 1 ersichtlich. Sie liegt etwa 2960 m ü. NN in Höhe der mittleren Gleichgewichtslinie (mean equilibrium line) der Jahre 1964/65 bis 1972/73 (H. Hoinkes et al., 1974). Auf Grund von Massenhaushaltsmessungen von H. Hoinkes¹ beträgt die über den Zeitraum von 1964/65 bis 1972/73

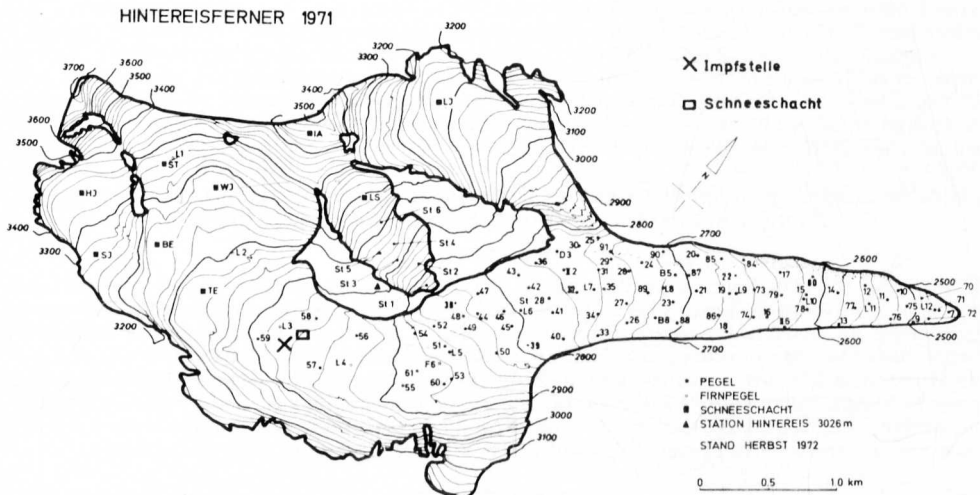


Abb. 1: Lageplan der Impfstelle am Hintereisferner

- × Impfstelle
- Schneeschacht (Profil vgl. Abb. 2)

¹ Die bisher unveröffentlichten Daten wurden freundlicherweise von Prof. Dr. H. Hoinkes, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, zur Verfügung gestellt.

(9 Jahre) gemittelte Jahresrücklage an der Stelle der Farbmarkierung + 25 g/cm² Wasserwert. Die Extremwerte für die spezifische Massenbilanz betragen für denselben Zeitraum - 105 g/cm² und + 130 g/cm² Wasserwert, wobei in der Gesamtzeit insgesamt 6 Jahre mit positiver und 3 Jahre mit negativer spezifischer Massenbilanz auftreten.

Auf dieser Fläche wurden am 12. Juli 1973 um 11.30 Uhr 100 Liter einer 20%igen Lösung des Fluoreszenzfarbstoffes Rhodamin FB auf ca. 100 m² verteilt. Vorher, am 31. Mai 1973, wurde die Stratigraphie der Schneeschichten durch eine Schachtgrabung ermittelt (H. P. Wagner, 1974). Das Schneeprofil in diesem Schacht ist in Abb. 2 dargestellt.

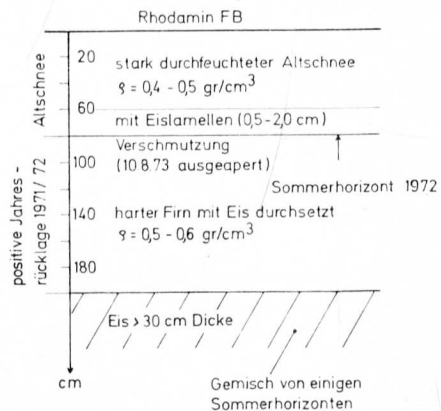


Abb. 2: Schneeprofil des Schneeschachtes am 31. Mai 1973 (vgl. Lageplan Abb. 1).

PROBENAHEME UND MESSUNG

Die Probenahme zur Messung der Rhodamin FB-Konzentration erfolgte an der Pegelmeßstelle Vent-Rofenache. Die Fließdistanz beträgt 15 km Luftlinie. Der Nachweis des Fluoreszenzfarbstoffes erfolgte in Einzelproben (50-ml-Plastikflaschen). Die orientierenden Messungen am Probenahmeort wurden mit dem Fluorimeter „Turner 111“ vorgenommen. Durch optimale Anpassung des Geräts an die schwierigen Meßbedingungen (Schwebstoffgehalt des Wassers, niedrige Tracerkonzentration) konnte die notwendige Nachweisempfindlichkeit erzielt werden (H. Behrens, 1971). Die Proben wurden später nochmals quantitativ mit den notwendigen Eichmessungen mit dem Spektralfluorimeter „Perkin-Elmer-203“ gemessen. Die Erfassung der z. T. sehr niedrigen Tracerkonzentrationen wurde durch ein Nachweisverfahren mit hoher Nachweisempfindlichkeit und Selektivität ermöglicht (H. Behrens, 1973). Die gemessenen Konzentrationen sind für den wesentlichen Teil des Untersuchungszeitraumes graphisch dargestellt (Abb. 3).

AUSWERTUNG UND MESSUNGEN

In Abb. 3 ist die Wasserführung, der Konzentrationsverlauf des Farbstoffes in der Rofenache (Pegel Vent) sowie die ausgebrachte Farbstoffmenge dargestellt. Grundsätzlich kann die ausgebrachte Farbstoffmenge aus der gemessenen Konzentration

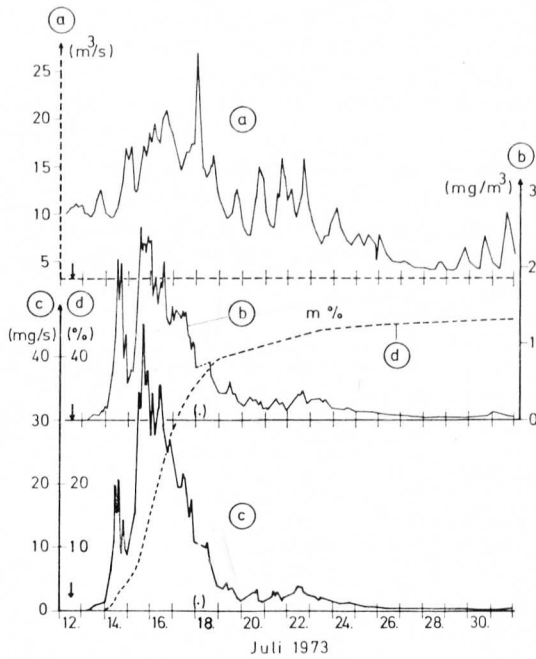


Abb. 3: Wasserführung (m^3/s) (a), Konzentration-Zeitkurve (mg/m^3) (b), Farbdurchfluß (mg/s) (c), ausgebrachte Farbstoffmenge (%) (d) (Pegel Vent-Rofenache). Der Zeitpunkt der Impfung ist durch einen Pfeil gekennzeichnet.

und der Wasserführung ermittelt werden. Auf Grund einer Störung im Pegelbett stand eine verlässliche Eichkurve (Wasserführung m^3/s gegen Wasserstand cm) für den registrierenden Pegel Vent-Rofenache nur für Wasserstände über 103 cm zur Verfügung. Aus diesem Grunde wurde die Wasserführung der Rofenache durch Korrelationsrechnung aus der Wasserführung der Venterache (Pegel Vent-Venter-

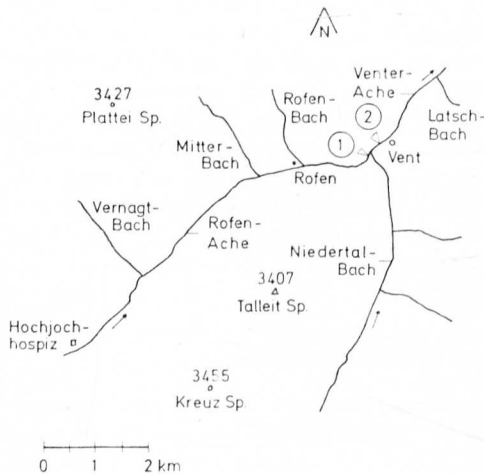


Abb. 4: Lage der Abflußpegel Vent

- ① Pegel Vent-Rofenache (seit 1963, Einzugsgebiet = $96,2 \text{ km}^2$)
- ② Pegel Vent-Venterache (seit 1902, Einzugsgebiet = $164,7 \text{ km}^2$)

ache) bestimmt². Abb. 4 zeigt die Lage der beiden Abflußpegel. Zur Erstellung der Korrelationsbeziehung wurden ca. 40 Einzelwerte, die zwischen 1968 und 1973 gewonnen wurden, herangezogen. Zur Kontrolle der so ermittelten Abflußwerte wurde für Wasserstände über 103 cm (Pegel Vent-Rofenache) die gültige Eichkurve des Pegels benützt. Beide Ergebnisse stimmen im Mittel innerhalb 10% überein.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Aus Abb. 3 ist ersichtlich, daß der ausgelegte Fluoreszenzfarbstoff 21,5 Stunden nach seiner Auslegung in der Rofenache nachgewiesen werden konnte. Der zeitliche Verlauf des Farbstoffdurchflusses ist in Tab. 1 charakterisiert.

Tab. 1: Angaben zum zeitlichen Verlauf des Farbstoffdurchflusses an der Meßstelle Rofenache (Pegel Vent-Rofenache)

		Zeit	Stunden nach Farbauslegung
Auslegung des Farbstoffes	12. 7. 1973	11.30	
Beginn der Probenahme Rofenache (Pegel Vent-Rofenache)	12. 7. 1973	9.30	
1. sicherer Farbnachweis in der Rofenache (Pegel Vent-Rofenache)	13. 7. 1973	9.00	21,5
1. Maximum (mg/s)	14. 7. 1973	13.00	46,5
2. Maximum (mg/s)	15. 7. 1973	16.00	76,5
3. Maximum (mg/s)	16. 7. 1973	10.00	94,5

Die Konzentrationsmaxima können im Zusammenhang mit den Klimadaten³ interpretiert werden. Ganz allgemein ergibt sich eine klare Korrelation zwischen Ablation und Farbaustritt. Unmittelbar nach der Auslegung des Farbstoffs war es niederschlagsfrei. Bei einer Maximaltemperatur von 3,2°C kann trotz starker Bewölkung eine, wenn auch geringe Ablation angenommen werden, so daß damit der erste sichere Farbnachweis in der Rofenache nach ca. 22 Stunden erklärbar ist. Das erste Maximum des Farbstoffdurchgangs (4. Juli, 13 Uhr) kann durch starke Ablation zufolge hoher Lufttemperaturen (14.00: 4,6°C; 19.00: 4,2°C; Maximum: 5,3°C) des Vortages erklärt werden. Hingegen ist das zweite und dritte Maximum des Farbstoffdurchgangs durch einen sehr starken Niederschlag in den Abendstunden des 14. Juli (28,5 mm) und in den Abendstunden des 15. Juli (30,5 mm) bedingt. Die genaueren Angaben hierzu sind aus Abb. 5 zu entnehmen. Die folgenden Maxima im abfallenden Ast der Farbstoffdurchflußkurve sind der Ablation des jeweiligen Vortages zuzuordnen. Aus der Gesamtinterpretation resultiert eine durchschnittliche Abflußzeit des Schmelzwassers von der Impfstelle bis zur Stelle der Probenahme

² Die Eichkurve (Rofenache) und die Korrelationsbeziehung zwischen der Wasserführung der Rofenache und der Venterache, beide Pegel Vent, stammen vom Hydrographischen Dienst des Amtes der Tiroler Landesregierung, dem hierfür gebührend gedankt wird.

³ Die Klimadaten der Klimastation Hintereisferner wurden vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck freundlicherweise zur Verfügung gestellt, wofür an dieser Stelle gebührend gedankt wird. Die Lage der Station ist in Abb. 1 angegeben.

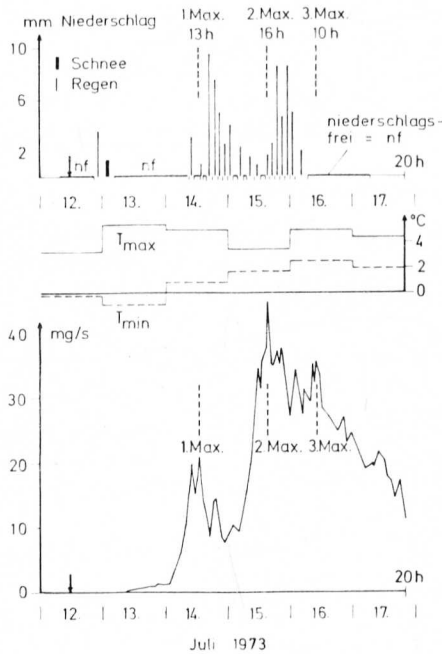


Abb. 5: Klimadaten (Klimastation, 3026 m NN., vgl. Abb. 1) und Farbdurchfluß (mg/s). Der Zeitpunkt der Impfung ist durch einen Pfeil gekennzeichnet.

(15 km Luftlinie) von 22 Stunden. Die Gesamtfließzeit gliedert sich demnach in folgende Teile auf:

Fließzeit zwischen Impfstelle und Stelle der Probenahme	22 Stunden
Fließzeit im Abflußsystem des Ablationsgebietes (Abfluß im Eiskörper) bis zum Gletschertor (Ambach et al., 1972, Tab. 1)	ca. 2,5 Stunden
Fließzeit vom Gletschertor bis zur Stelle der Probenahme (Behrens et al., 1971, Seite 83)	ca. 2,5 Stunden
Fließzeit im Abflußsystem des Akkumulationsgebietes (von der Impfstelle bis zum Abflußsystem im Eiskörper)	ca. 17 Stunden

Die Entscheidung, ob das Abflußsystem im Akkumulationsgebiet an der Impfstelle hydraulisch grundsätzlich anders aufgebaut ist als das Abflußsystem im Ablationsgebiet, ist allerdings damit noch nicht sicher gegeben. Es könnte durchaus sein, daß im vorliegenden Fall das Schmelzwasser nach Durchdringen einer relativ dünnen Altschnee- und Firnschicht auf ein röhren- bzw. gerinneförmiges Abflußsystem trifft, ähnlich jenem im Ablationsgebiet. Die im Verhältnis zur Fließzeit im Abflußsystem des Ablationsgebiets langen Fließzeiten wären in diesem Fall auf die geringe Wasserführung im System und auf seine Verzweigungen zurückzuführen. Gegen diese Annahme spricht jedoch die gute Ausprägung der einzelnen Maxima.

Die insgesamt ausgebrachte Farbstoffmenge beträgt etwa 50%. Eine Interpretation des Verlustes, der teilweise durch Adsorption am Fließweg und durch Rückstände an der Impfstelle bedingt sein kann, ist beim gegenwärtigen Stand der Untersuchungen noch nicht möglich.

Es ist anzunehmen, daß die hier gewonnenen Ergebnisse nicht für das gesamte Akkumulationsgebiet typisch sind. Zur Klärung dieser Frage werden weitere Versuche unternommen.

Der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Bundesministerium für Inneres, Wien, sowie allen freiwilligen Helfern wird für die Unterstützung bestens gedankt.

LITERATUR

- Ambach, W., H. Behrens, H. Bergmann, H. Moser, 1972: Markierungsversuche am inneren Abflußsystem des Hintereisferners (Öztaler Alpen). — *Z. Gletscherkunde u. Glaz.geol.*, Bd. VIII, Heft 1—2, S. 137—145.
- Behrens, H., 1971: Untersuchungen zum quantitativen Nachweis von Fluoreszenzfarbstoffen bei ihrer Anwendung als hydrologische Markierungsstoffe. — *Geologica Bavarica*, Bd. 64, S. 120—131.
- Behrens, H., 1973: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Feststellung von Fließwegen im Grundwasser. — *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Bd. 124, S. 535—541.
- Behrens, H., H. Bergmann, H. Moser, W. Rauert, W. Stichler, W. Ambach, H. Eisner, K. Pessl, 1971: Study of the discharge of Alpine glaciers by means of environmental isotopes and dye tracers. — *Z. Gletscherkunde u. Glaz.geol.*, Bd. VII, Heft 1—2, S. 79—102.
- Hoinkes, H., E. Dreiseitl, H. P. Wagner, 1974: Mass balance of Hintereisferner and Kesselwandferner 1963/64 to 1972/73 in relation to the climatic environment. — Reports to the International Conference on the Results of the IHD, Paris-Wien, Sept. 1974, S. 42—53.
- Krimmel, R. M., W. V. Tangborn, M. F. Meier, 1972: Water flow through a temperate glacier. — The role of snow and ice in hydrology. Proceedings of the Banff-Symposia, Sept. 1972, Unesco-WMO-IAHS, Vol. 1, S. 401—416.
- Lang, H., 1966: Hydrometeorologische Ergebnisse aus Abflußmessungen im Bereich des Hintereisferners (Öztaler Alpen) in den Jahren 1957—1959. — *Arch. Meteorologie, Geophysik, Bioklimatologie*, Ser. B, 14, S. 280—302.
- Stenborg, Th., 1973: Some viewpoints on the internal drainage of glaciers: — *IASH Publ. No. 95*, S. 117—139.
- Wagner, H. P., 1974: Persönliche Mitteilungen.

Manuskript eingegangen am 25. September 1974.

Anschriften der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Walter Ambach, Manfred Elsässer
 Physikalisches Institut der Universität Innsbruck
 Schöpfstraße 41, A-6020 Innsbruck
 Dipl.-Ing. Horst Behrens, Prof. Dr. Heribert Moser
 Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für
 Strahlen- und Umweltforschung mbH
 Ingolstädter Landstraße 1, D-8042 Neuherberg