

NEUE ERGEBNISSE ZUR BEWEGUNG DES SCHMELZWASSERS IM FIRNKÖRPER DES AKKUMULATIONSGBIETES EINES ALPENGLETSCHERS (KESSELWANDFERNER – ÖTZTALER ALPEN)

Von H. BEHRENS, H. MOSER, H. OERTER, München,
H. BERGMANN, Graz, und W. AMBACH, H. EISNER,
P. KIRCHLECHNER, H. SCHNEIDER, Innsbruck

Mit 5 Abbildungen

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Untersuchung des Fließverhaltens von Schmelzwässern in der gesättigten Firnschicht (Wassertafel) eines Alpengletschers wurden im Akkumulationsgebiet des Kesselwandfeners (Öztaleralpen) Wasserspiegelmessungen in einem 30 m tiefen Firnschacht und in Bohrungen sowie Fluoreszenztracerversuche durchgeführt. Aus der Konzentrationsabnahme des Fluoreszenztracers im Schachtwasser wurde bei ungestörtem Zustand (ohne Absenkung) der Schmelzwasserdurchfluß in der gesättigten Firnschicht bestimmt. Bei abgesenktem Schachtwasserspiegel (gestörter Zustand) wurde der Schmelzwasserzufluß in den Schacht gemessen, dessen zeitlicher Verlauf eine signifikante Witterungsabhängigkeit zeigt. Das Schmelzwasser tritt im Schacht mit einer Verzögerung von etwa 2 bis 4 Tagen gegenüber der Schmelzwasserproduktion an der Gletscheroberfläche auf. Das entspricht der Sickerzeit des Schmelzwassers durch die ungesättigte Firnschicht.

NEW RESULTS OF THE MOVEMENT OF MELT WATER THROUGH THE FIRN
IN THE ACCUMULATION AREA OF AN ALPINE GLACIER
(KESSELWANDFERNER, OETZTAL ALPS)

SUMMARY

Studies on the flow dynamics of melt water in the water saturated firn layer (water table) of an Alpine glacier were continued in the accumulation area of Kesselwandfener (Oetzal Alps). Measurements of the fluctuation of the water level in a 30 m deep firn pit and in bore holes as well as dye tracing experiments were carried out. The discharge of melt water through the water table was determined from the decrease of the dye concentration of the water in the pit, when the water level in the pit was not lowered (undisturbed situation). The inflow of melt water into the pit was measured when the water level was lowered (disturbed situation). The variations of the inflow depend on weather conditions. The melt water appears in the pit 2–4 days after melting on the glacier surface. This delay corresponds with the time of percolation of the melt water through the unsaturated firn.

I. EINLEITUNG

Untersuchungen über das Fließverhalten von Schmelzwässern im Firnkörper eines Gletschers sind für die Erstellung von Abflußmodellen für vergletscherte Einzugsgebiete von Bedeutung. Die Beschreibung des Sickervorganges in homogenem Schnee wurde von Colbeck und Davidson (1973) und von Denoth et al. (1978) theoretisch behandelt und anhand von Modellversuchen überprüft. Neuere Untersuchungen über das Sickerverhalten von Schmelzwässern in Gletschern wurden von verschiedenen Autoren durchgeführt, u. a. von Krimmel et al. (1972), Shreve (1972), Lang et al. (1977), Schommer (1977), Ambach et al. (1978) und M. Blumthaler (1978). Außerdem wurde die Ausbildung einer wassergesättigten Firnschicht (water table) über dem wasserundurchlässigen Eiskörper auch von Vallon et al. (1976) und Oerter (1977) festgestellt.

Die im Jahre 1974 begonnenen Untersuchungen über das Fließverhalten des Schmelzwassers im Akkumulationsgebiet des Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) an einem ca. 30 m tiefen Firnschacht und an Bohrungen wurden bis 1978 fortgesetzt. Folgende Ergebnisse wurden von Ambach et al. (1978) bereits publiziert:

- Die jahreszeitliche Ganglinie der Wasserstände im Schacht, gemessen mit einem selbstregistrierenden Schwimmerpegel;
- die witterungsbedingten Schwankungen des Schmelzwasserzufflusses in den Schacht, wobei eine zeitliche Verschiebung von etwa 3 Tagen zwischen dem Maximum der Schmelzwasserbildung an der Gletscheroberfläche und dem Maximum des Zufflusses in den Schacht festgestellt wurde;
- die tageszeitlichen Schwankungen des Schmelzwasserzufflusses in den Schacht, ermittelt anhand der Pegelregistrierung;
- die Fließgeschwindigkeit des Schmelzwassers in der gesättigten Firnschicht, abgeschätzt mittels Eingabe eines Farbtracers in eine oberstromig vom Schacht gelegene Bohrung.

2. SCHMELZWASSERBEWEGUNG BEIM SCHACHT

Das Schmelzwasser versickert von der Gletscheroberfläche der Schwerkraft folgend in den Firn. Durch eingelagerte Eisschichten wird es abgelenkt und gelangt somit auf einem stufenförmigen Sickerweg durch den wasserungesättigten Firn bis in die Tiefe des Firnkörpers, in der das wasserundurchlässige Gletschereis als Stauhorizont wirkt. Über diesem Stauhorizont bildet sich eine wassergesättigte Firnschicht (Wassertafel) aus. Für die weitere Betrachtung wird vorausgesetzt, daß die wesentliche Einspeisung von Schmelzwasser in den Firnschacht über diese wassergesättigte Schicht erfolgt. Die Schachtsohle lag im Jahre 1976 ca. 5 m unterhalb des Übergangs vom wasserundurchlässigen Firn zum wasserundurchlässigen Eis. Der in das Eis eintauchende Teil des Schachtes, aus dem kein Wasser austreten kann, wird im folgenden als Totvolumen bezeichnet.

Hydraulisch wird der Firnschicht mit einem vollkommenen Schachtbrunnen verglichen und die im Porengrundwasserleiter gültigen Begriffe und Fließgesetze auf ihn übertragen.

Den in Abschnitt 3.1 und 3.2 dargestellten Untersuchungen liegen folgende Strömungsverhältnisse zugrunde.

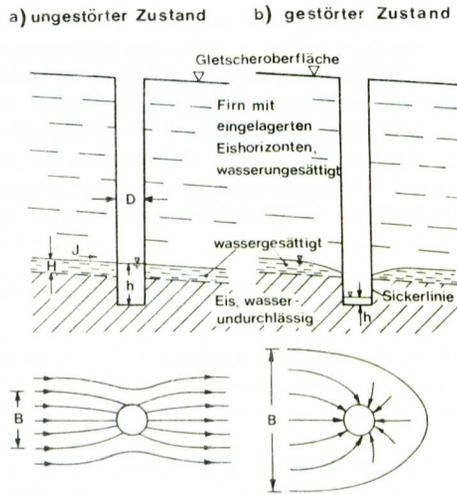
A. UNGESTÖRTER ZUSTAND

Die Wasserspiegellage im Schacht korrespondiert mit dem Wasserspiegel der gesättigten Firnschicht (Abb. 1a). Die Durchströmung des Schachtes erfolgt überwiegend im Bereich dieser gesättigten Schicht, während das darunterliegende Volumen (Totvolumen) von der Strömung weitgehend unbeeinflusst bleibt. Den Stromlinienverlauf zeigt der Grundriß der Abb. 1a. Der parallele Verlauf der Stromlinien wird durch den Schacht unterbrochen, die Einzugsbreite B ist größer als der Schachtdurchmesser D . Im stationären Fall ist die in den Schacht eintretende Wassermenge gleich der austretenden Wassermenge und wir sprechen deshalb im folgenden von der Durchflußmenge bzw. dem Durchfluß.

B. GESTÖRTER ZUSTAND: SCHACHT MIT ABGESENKTEM WASSERSPIEGEL

Der durch Abpumpen abgesenkte Wasserspiegel im Schacht liegt innerhalb des Totvolumens (Abb. 1b). Dadurch wird das parallele Strömungsfeld erheblich beeinflusst. Um den Schacht bildet sich ein Absenktrichter aus, in dessen Bereich eine radiale Strömung zum Schacht herrscht. Der Grundriß in Abb. 1b zeigt den durch

Abb. 1: Schematischer Querschnitt (oben) und Grundriß (unten) des Firnschachtes mit Wasserspiegel- bzw. Stromlinienverlauf in der gesättigten Firnschicht für den ungestörten (a) und gestörten Zustand (abgesenkter Schachtwasserspiegel) (b). Es bedeuten: h = Wasserstand im Schacht; H = Mächtigkeit der gesättigten Schicht; D = Schachtdurchmesser; B = Einzugsbreite des Schachtes.



eine Parabel begrenzten Einzugsbereich des Schachtes. Die aus der gesättigten Schicht zuströmende Wassermenge bleibt im Schacht und wir sprechen deshalb im folgenden von der Zuflußmenge bzw. dem Zufluß. Nach Auffüllen des Totvolumens geht der gestörte Zustand in den ungestörten Zustand über.

3. DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN

Ähnlich wie in der vorangegangenen Arbeitsperiode (Ambach et al. 1978) wurden in den Jahren 1976 bis 1978 folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Im Umkreis von 15 m um den Schacht wurden 9 Bohrungen bis ca. 35 m Tiefe niedergebracht (Abb. 2). Eine Serie dieser Bohrungen (1, 5, 2, 6, 9, 8) wurde in Bewegungsrichtung des Gletschers angeordnet. Quer dazu wurde eine zweite

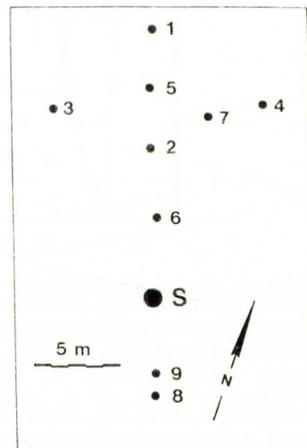


Abb. 2: Lage der Bohrlöcher 1–9 im Bereich des Schachtes S im Sommer 1977, ausgerichtet in Fließrichtung des Gletschers.

Serie (3, 7, 4) orientiert. In den Bohrungen wurden auch während der Wintermonate einzelne Wasserstandsmessungen mit einem Lichtlot durchgeführt.

- Die automatische Registrierung des Wasserstandes im 30 m tiefen Schacht wurde ohne Unterbrechung fortgeführt. Außerdem wurde die Fließgeschwindigkeit (Filtergeschwindigkeit) des Schmelzwassers in der gesättigten Firnschicht mit Fluoreszenztracern (Verdünnungsversuch) näherungsweise bestimmt.

In den Untersuchungsperioden der Sommermonate 1976 und 1977 traten sehr unterschiedliche Ablationsbedingungen auf. Im Sommer 1976 herrschte kurzzeitig (etwa

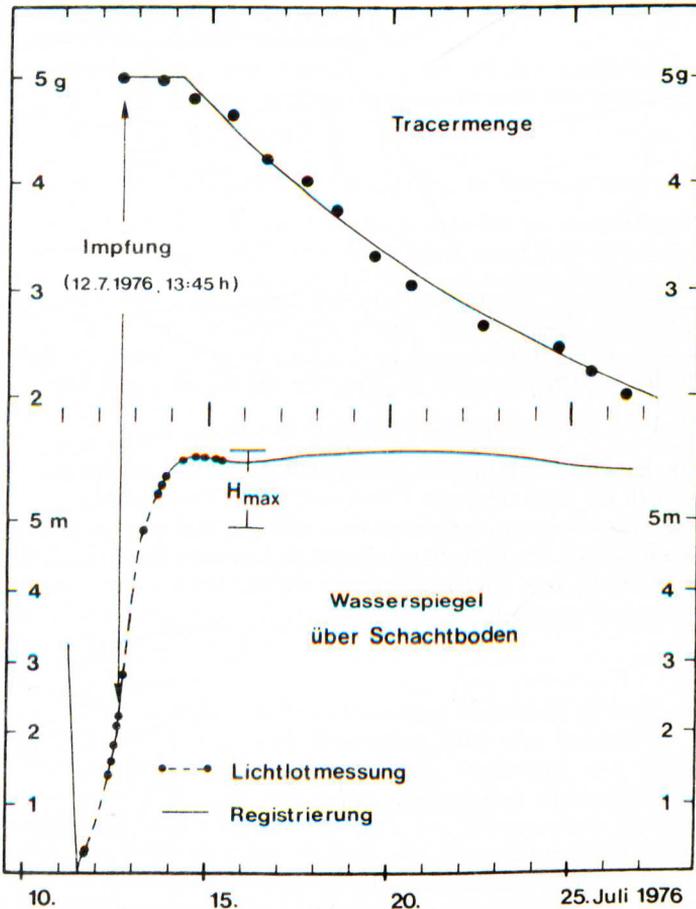


Abb. 3: oben: Tracermenge (Fluoreszenzfarbstoff Uranin) im Schachtwasser: Die dargestellten Meßpunkte wurden aus der gemessenen Tracerkonzentration und dem Wasservolumen im Schacht bestimmt. Die durchgezogene Linie ist die exponentielle Ausgleichskurve nach Gl. (1).

unten: Wasserspiegel im Schacht: In der Wiederanstiegsphase nach Abpumpen des Wassers bis zum 15. 6. 76 wurde der Wasserstand mit einem Kabellichtlot gemessen (Punkte) und anschließend mit einem Schwimmerpegel kontinuierlich registriert. H_{\max} zeigt die größte erreichte Mächtigkeit der gesättigten Firnschicht.

vom 10. 7. bis 20. 7. 1976) eine sehr starke Ablation. Im Gegensatz dazu blieb eine derart ausgeprägte Periode mit Starkablation im Sommer 1977 aus. Die Auswirkung dieser unterschiedlichen Ablationsbedingungen ist beispielsweise daran zu erkennen, daß das Totvolumen des Schachtes (ca. 7 m³) im Sommer 1976 innerhalb von nur 2 bis 3 Tagen aufgefüllt wurde, im Sommer 1977 jedoch zur Auffüllung etwa 60 Tage erforderlich waren.

3.1 FLUORESZENZTRACERVERSUCHE ZUR BESTIMMUNG DES SCHMELZWASSER-DURCHFLUSSES IN DER GESÄTTIGTEN FIRNSCHICHT (SOMMER 1976)

Vom 8.—11. 7. 1976 wurde der Schacht im Verlauf von jährlichen Deformationsmessungen leergepumpt. Während der anschließenden, durch den Schmelzwasserzufluß bedingten Auffüllung, wurden am 12. 7. 1976 5 g Uranin in das Schachtwasser eingegeben. In der Folge wurden tagsüber nach kräftiger Durchmischung mit Hilfe einer Umwälzpumpe stündlich Proben entnommen. Da der Tracergehalt des Schachtwassers durch das ein- und austretende Schmelzwasser fortlaufend verdünnt wird, ist es möglich, aus der Konzentrationsabnahme des Fluoreszenztracers im Schacht den Schmelzwasserdurchfluß zu bestimmen.

Bei der Auswertung der Messungen ist jedoch zu beachten, daß eine gute Durchmischung nur kurzfristig während der Umwälzdauer gewährleistet ist, im übrigen aber das zufließende Schmelzwasser nahezu unvermischt bleibt. Im Anschluß an den Durchmischungsvorgang fließt zunächst Wasser mit einer Tracerkonzentration, die höher ist als die mittlere Konzentration im Schacht, ab; in späterer Folge wird Wasser mit einer Tracerkonzentration, kleiner als die mittlere Konzentration aus dem Schacht, abfließen. Da eine kontinuierliche Durchmischung versuchstechnisch nicht möglich ist, ergeben sich aus der Auswertung der Tracermessungen anfangs zu große und später zu geringe Durchflußwerte.

In Abb. 3 sind die Tracermengen im Schacht in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Die Abnahme der Tracermenge ist ein Maß für den Schmelzwasserdurchfluß. Bei den ersten zwei Meßpunkten bleibt die Tracermenge konstant, weil während dieser Zeit das Totvolumen des Schachtes aufgefüllt wird und daher kein Tracer aus dem Schacht abtransportiert werden kann. Die weiteren Meßpunkte zeigen eine Abnahme der Tracermenge mit der Zeit, die auf den nunmehr einsetzenden Schmelzwasserabfluß zurückzuführen ist. Bei gleichbleibendem Schachtwasservolumen und stetiger Durchmischung müßte ein konstanter Schmelzwasserdurchfluß eine exponentielle Abnahme der Tracermenge der folgenden Form ergeben:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{Q t}{V}} \quad (1)$$

In Gl. (1) bedeuten:	A (g)	Tracermenge zur Zeit t
	A ₀ (g)	Tracermenge zur Zeit t = 0
	t (h)	Zeit
	Q (l/h)	Durchfluß
	V (l)	Wasservolumen im Schacht

Die Streuung der Meßpunkte um die exakte Exponentialkurve ist im wesentlichen durch witterungsbedingte Schwankungen des Durchflusses zu erklären. Als Mittelwert über die Zeit vom 14. bis 26. 7. 1976 ergibt sich nach Gl. (1) ein Durchfluß von Q = 23 l/h.

Für die Bestimmung der Filtergeschwindigkeit ist die Angabe der vom ermittelten Durchfluß durchströmten Querschnittsfläche in der wassergesättigten Firnschicht

erforderlich. Die Höhe der Durchflußfläche entspricht der Mächtigkeit der gesättigten Firnschicht. Eine Abschätzung nach der in Abb. 3 dargestellten Wasserstandsganglinie ergibt hierfür einen Betrag zwischen 0,5 und 1,0 m. Dabei wurde vorausgesetzt, daß die Abnahme der Tracermenge nach Auffüllung des Totvolumens einsetzt. Außerdem endet der lineare Anstieg des Wasserspiegels, wenn dieser die gesättigte Firnschicht erreicht. Die Breite der Durchflußfläche entspricht der sogenannten Einzugsbreite des Schachtes (vgl. Abb. 1). Unter einfachen Voraussetzungen ist die Einzugsbreite doppelt so groß wie der Schachtdurchmesser. Bei einem mittleren Schachtdurchmesser von 1,3 m beträgt die Einzugsbreite 2,60 m. Damit liegt die durchströmte Querschnittsfläche zwischen 1,30 m² und 2,60 m², im Mittel etwa bei $F = 2,0 \text{ m}^2$. Daher beträgt die Filtergeschwindigkeit

$$v_f = \frac{Q}{F} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \quad (2)$$

Aus früheren Untersuchungen (Löschhorn, 1976) geht hervor, daß das durchschnittliche Wasserspiegelgefälle ca. $J = 0,1$ beträgt, woraus für die Durchlässigkeit ein angenäherter Betrag von

$$k_f = \frac{v_f}{J} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad (3)$$

folgt.

3.2 ZEITVERSCHIEBUNG ZWISCHEN SCHMELZWASSERZUFLUSS IN DEN SCHACHT UND ABSCHMELZUNG AN DER GLETSCHEROBERFLÄCHE (SOMMER 1977)

In der Zeit vom 24. 7. bis 12. 9. 1977 wurde bei abgesenktem Schachtwasserspiegel der Zufluß aus den Schwimmerpegelaufzeichnungen ermittelt (Abb. 4). Aus der Auswertung der Messungen sind witterungsbedingte Schwankungen des Zuflusses zu erkennen, so daß sich die Frage erhebt, mit welcher zeitlichen Verzögerung der Zufluß in den Schacht gegenüber der Schmelzwasserproduktion an der Gletscheroberfläche auftritt.

Da für den genannten Zeitraum keine geeigneten meteorologischen Daten zur Verfügung standen, wurde als Parameter der Abschmelzung an der Gletscheroberfläche der Abfluß des benachbarten Vernagtferners, welcher an der Pegelstation Vernagtbach kontinuierlich erfaßt wird (Bergmann und Reinwarth, 1976), herangezogen. Dabei bleibt die wenige Stunden dauernde, zeitliche Verzögerung des Abflusses an der Pegelstation Vernagtbach gegenüber den meteorologischen Verhältnissen im Akkumulationsgebiet des Gletschers (Höhenlage des Schachtes) außer Betracht (W. Ambach et al., 1972).

Abb. 4 zeigt eine Gegenüberstellung der Ganglinien des Zuflusses in den Schacht und der Tagesmittelwerte des Abflusses an der Pegelstation Vernagtbach. Aus der Darstellung ist eine signifikante zeitliche Verschiebung zwischen den Extremwerten des Abflusses im Vernagtbach und den Extremwerten des Zuflusses zum Schacht in der Größenordnung von 2 bis 4 Tagen deutlich zu erkennen. Damit wird ein schon früher gefundenes Ergebnis bestätigt (Ambach et al., 1978), wonach eine zeitliche Verschiebung zwischen den Extremwerten der mittleren Tagestemperatur und dem Schachtzufluß von ähnlicher Größenordnung festgestellt wird. Der Maximalwert des Zuflusses beträgt 12,7 l/h und liegt damit deutlich unter den im Jahre 1975 gefundenen Zuflußmengen von ca. 25 bis 40 l/h. Dieser Unterschied ist infolge der geringen Ablation im Sommer 1977 erklärbar.

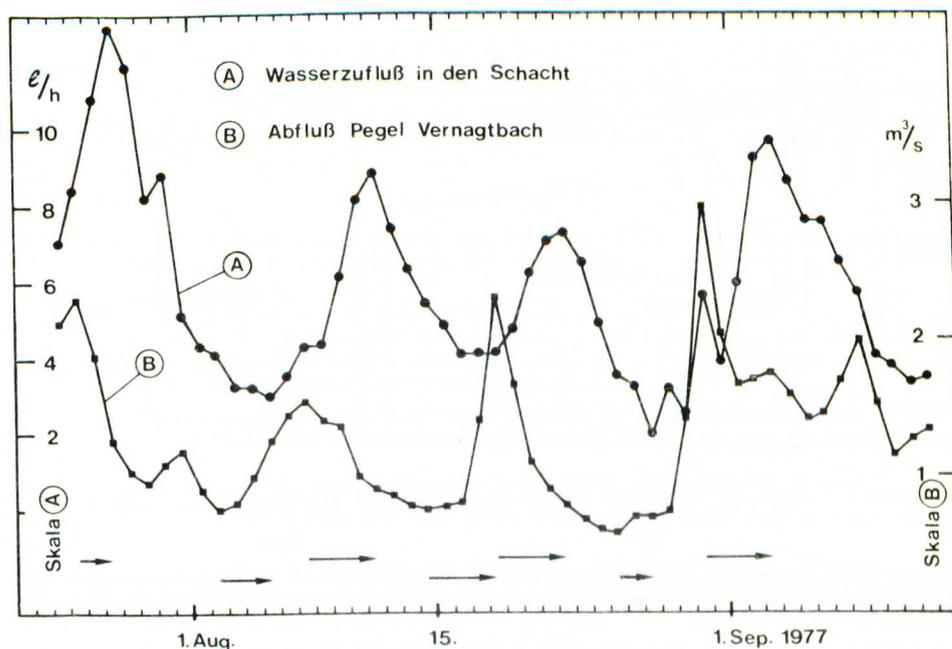


Abb. 4: Kurve A: Ganglinie der Tagesmittel des Schmelzwasserzuflusses in den abgesenkten Schacht vom 24. 7. bis 12. 9. 1977. Kurve B: Ganglinie des Abflusses an der Pegelstation Vernagtbach.

Die Pfeile zeigen die Phasenverschiebung zwischen den Extremwerten der Schmelzwasserproduktion an der Gletscheroberfläche (repräsentiert durch den Abfluß an der Pegelstation Vernagtbach) und dem verzögerten Schmelzwasserzufluß in den Schacht.

3.3 WASSERSPIEGELSCHWANKUNGEN IN DEN BOHRUNGEN (1977/78)

Im Juli 1977 wurde der Wasserspiegel im Schacht aus arbeitstechnischen Gründen um ca. 6,5 m abgesenkt. Dabei konnte festgestellt werden, daß sich diese Absenkung in den unmittelbar oberhalb des Schachtes gelegenen Bohrungen (Abb. 2) mit geringen Absenkungsbeträgen auswirkt. Hingegen zeigen die Bohrungen unterhalb des Schachtes keine meßbare Reaktion. Aus Abb. 5 ist ersichtlich, daß die Absoluthöhen der Wasserstände in den Bohrungen und im Schacht während des Winters absinken. Dieser Effekt ist in der Hauptsache auf die Fließbewegung des Gletschers zurückzuführen.

Weiters ist ersichtlich, daß die Wasserstandsganglinien der Bohrungen 1, 3, 8 und 9 wesentlich niedriger liegen als jene der übrigen Bohrungen. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die genannten Bohrungen im Nahbereich von Gletscherspalten liegen. Tatsächlich treten in der Nähe der genannten Bohrungen Spalten auf, die etwa in Richtung der Bohrpunkte 1–3 verlaufen (Abb. 2). Es muß auch angenommen werden, daß die im Spaltenbereich tief abgesenkten Wasserstände Rückwirkungen auf das Wasserstandsniveau der gesättigten Firnschicht haben. Dieser Umstand wird beispielsweise deutlich am Verlauf der Wasserstände der Bohrungen 5 und 7 (vgl. Abb. 5), welche im Jahre 1977 unter dem Niveau des Schachtwasserstandes, jedoch über jenem der Bohrungen 1 und 3 liegen.

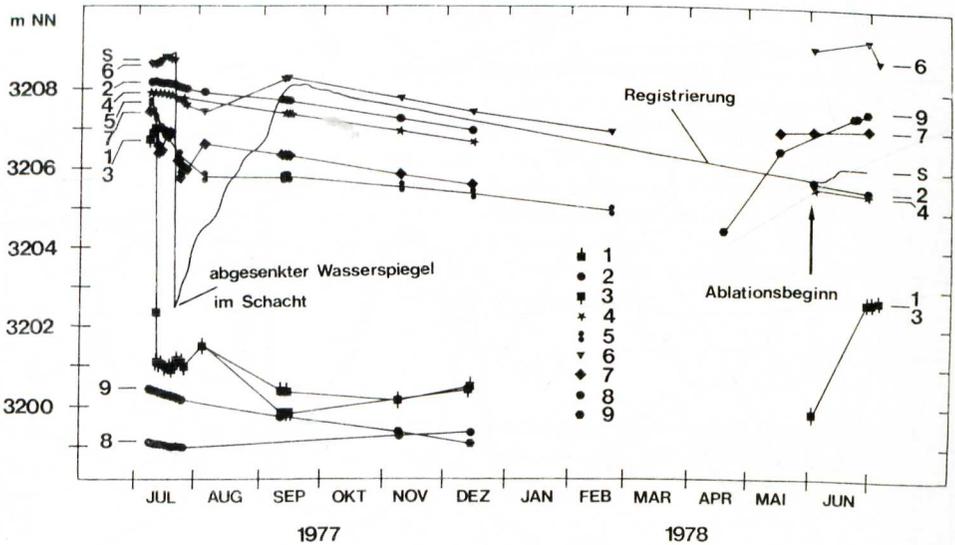


Abb. 5: Ganglinien der Wasserstände in den Bohrlöchern 1–9 (Einzelmessungen mit Kabellichtlot) und im Schacht S (kontinuierliche Registrierung mit Schwimmerpegel) in Absoluthöhen m üNN.

Hingegen scheinen die Wasserstände der Bohrungen 2 und 4, deren Verbindungslinie etwa parallel zur Linie 1–3 verläuft (Abb. 2), vom Wasserstands-niveau der Spalten nur noch geringfügig beeinflusst zu sein. Allerdings ist auch keine Beeinflussung durch die Absenkung im Schacht zu erkennen (Abb. 5). Das bedeutet, daß die Reichweite der Schachtabsenkung offensichtlich geringer ist als der Abstand der Linie 2–4 vom Schacht (ca. 10 m). Da die Ganglinien der Wasserstände in den Bohrungen 2 und 4 weder durch Spalten noch durch den Schacht wesentlich beeinflusst sind, können sie für den gesamten Beobachtungszeitraum vom Juli 1977 bis Juli 1978 als Referenzlinien für den Wasserspiegel der gesättigten Firnschicht betrachtet werden, deren Verlauf wohl ausschließlich durch die Gletscherbewegung bestimmt wird.

Demgegenüber zeigt die Wasserstandsganglinie der Bohrung 6 (Abstand vom Schacht ca. 5 m) einen deutlichen Zusammenhang mit dem Absenkungszustand im Schacht (Abb. 5). Die Bohrung liegt daher innerhalb der Reichweite der Schachtabsenkung. Nach Wiederauffüllung des Schachtes im September 1977 repräsentiert offensichtlich der Wasserstand der Bohrung 6 das ungestörte Niveau der gesättigten Firnschicht, zumal er parallel zu jenem der Bohrungen 2 und 4 verläuft. Da der Wasserspiegel der Bohrung 6 infolge der Schachtwasserabsenkung im Höchstfall bis zur undurchlässigen Eisschicht absinken kann, folgt aus der Wasserstandsganglinie der Bohrung 6 ein wichtiger Hinweis auf die Mächtigkeit der gesättigten Firnschicht für 1977: diese beträgt nach Abb. 5 etwa 1,0 bis 1,2 m und steht damit auch in Übereinstimmung mit dem bereits aus Abb. 3 für 1976 abgeleiteten Maß.

Abhängigkeiten des zeitlichen Verlaufes der gemessenen Wasserstände von Inhomogenitäten und Anisotropien des Firnkörpers lassen sich nach den durchgeführten Untersuchungen nicht bestimmen.

DANK

Der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Teilprojekt A1 im Sonderforschungsbereich 81, Technische Universität München) werden für die finanzielle Unterstützung der Feldarbeiten, dem Österreichischen Bundesministerium für Inneres für die Materialtransporte mit einem Hubschrauber und allen freiwilligen Helfern für die Mitarbeit bei den Feldarbeiten an dieser Stelle gebührend gedankt.

LITERATUR

- Ambach, W., H. Behrens, H. Bergmann und H. Moser, 1972: Markierungsversuche am inneren Abflußsystem des Hintereisferners (Ötztaler Alpen). — *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 8, H. 1/2, 137—145.
- Ambach, W., M. Blumthaler, H. Eisner, P. Kirchlechner, H. Schneider, H. Behrens, H. Moser, H. Oerter, W. Rauert und H. Bergmann, 1978: Untersuchungen der Wasser- tafel am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) an einem 30 m tiefen Firnschacht. — *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 14, H. 1, 61—71.
- Bergmann, H. und O. Reinwarth, 1976: Die Pegelstation Vernagtbach (Ötztaler Alpen). Planung, Bau und Meßergebnisse. — *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 12, H. 2, 157—180.
- Blumthaler, M., 1978: Schnee als poröses Medium: experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Fließdynamik des Schmelzwassers. — Dissertation Universität Innsbruck.
- Colbeck, S. and G. Davidson, 1973: Water percolation through homogeneous snow. — The role of snow and ice in hydrology. — (Proceedings of Banff Symposia, 1972) UNESCO-WMO-IAHS, Vol. 1, 242—257.
- Denoth, A., W. Seidenbusch, M. Blumthaler, P. Kirchlechner, W. Ambach and S. Colbeck, 1979: Study of water drainage from columns of snow. — CRREL Research Report 79—1.
- Krimmel, R. M., W. V. Tangborn and M. F. Meier, 1972: Water flow through a temperate glacier. — The role of snow and ice in hydrology. — (Proceedings of the Banff Symposia, 1972) UNESCO-WMO-IAHS, Vol. 1, 401—416.
- Lang, H., B. Schädler and G. Davidson, 1977: Hydroglaciological investigations on the Ewigschneefeld — Gr. Aletschgletscher. — *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 12, H. 2, 109—124.
- Löschhorn, U., 1976: Neue Abflußmodelle für ein vergletschertes Einzugsgebiet aus Deuterium-, Tritium- und Farbttraceranalysen. — Dissertation Universität Innsbruck.
- Oerter, H., 1977: Wasserbewegung in einem Gletscher, dargestellt an den Feldarbeiten auf dem Vernagtferner. — Sonderforschungsbericht 81 der Technischen Universität München, Vortragsveranstaltung am 9. 2. 1977, München, 67—92.
- Schommer, P., 1977: Wasserspiegelmessung im Firn des Ewigschneefeldes (Schweizer Alpen) 1976. — *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 12, H. 2, 125—141.
- Shreve, R. L., 1972: Movement of water in glaciers. — *Journal of Glaciology*, 11, No. 62, 205—214.
- Vallon, M., J. R. Petit and B. Fabre, 1976: Study of an ice core to the bedrock in the accumulation zone of an alpine glacier. — *Journal of Glaciology*, 17, No. 75, 13—28.

Manuskript eingelangt am 26. 5. 1979.

Adressen der Autoren: Dipl.-Ing. Horst Behrens, Prof. Dr. Heribert Moser,
Dipl.-Ing. Hans Oerter
Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für
Strahlen- und Umweltforschung (GSF)
Ingolstädter Landstraße 1, D-8042 Neuherberg

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heinz Bergmann
Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für
Strahlen- und Umweltforschung (GSF), jetzt
Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie
der Technischen Universität Graz
Dietrichsteinplatz 15/7, A-8010 Graz

Univ.-Prof. Dr. Walter Ambach,
Dr. Heinrich Eisner und Paul Kirchlechner
Physikalisches Institut der Universität Innsbruck
Schöpfstraße 41, A-6020 Innsbruck

Dr. Heralt Schneider
Institut für Mathematik der Universität Innsbruck
Innrain 52, A-6020 Innsbruck