

DIE PEGELSTATION VERNAGTBACH (ÖTZTALER ALPEN). PLANUNG, BAU UND MESSERGEBNISSE

Von H. BERGMANN, Graz, und O. REINWARTH, München

Mit 9 Abbildungen und 2 Tabellen

ZUSAMMENFASSUNG

Die besonderen Schwierigkeiten, denen Abflußmessungen in Gletscherbächen begegnen, werden kurz aufgezeigt und als Folgerungen daraus die Kriterien genannt, die für eine einwandfreie Bestimmung des Gletscherabflusses erfüllt sein müssen. Die hydraulischen Bedingungen und deren Grundlagen mit den prinzipiellen Möglichkeiten der Abflußbestimmung durch Wasserstandsmessung bei strömendem oder schießendem Fließzustand werden dabei in allgemeiner Form behandelt. Die Diskussion der Vor- und Nachteile beider Möglichkeiten ergibt, daß für die Abflußerfassung in Gletscherbächen die Messung im schießenden Zustand vorzuziehen ist.

Das hydraulische Konzept des Vernagtpegels, die Ausgangssituation der Bachstelle, Dimensionierungsbetrachtungen und Konstruktionsmerkmale der Meßrinne sowie deren bauliche Ausführung werden anschließend näher beschrieben. Ergänzend sind die dem Bau vorausgegangenen Anträge auf Genehmigung und Finanzierung der Anlage sowie die zeitliche Bauabwicklung selbst in einem Abschnitt zur Baugeschichte erwähnt. Die Aufzeichnung des Wasserstandes erfolgt an der Pegelstation mit zwei Schwimmerpegeln und einem Pneumatikpegel. Diese Instrumentierung gewährleistet weitgehend eine lückenlose und störungsfreie Registrierung. Die Wasserstands-Abfluß-Beziehung wurde durch Flüßmessungen ermittelt. Die Abflußkurve zeigt eine eindeutige Zuordnung der beiden Größen mit einer nur geringen Streuung der Eichwerte. Zeitweilige Veränderungen der Zuflußbedingungen oberhalb der Meßrinne bleiben ohne erfaßbaren Einfluß auf den Wasserstand im Meßprofil.

Als wichtigste Ergebnisse der Auswertungen werden die sommerlichen Abflußverhältnisse der Jahre 1974—1976 vorgestellt und diskutiert. Das höchste Abflußmittel weist der Sommer 1975 (Juni bis Sept.) mit $1,33 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, das höchste Monatsmittel jedoch der Juli 1976 mit $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$, das höchste Tagesmittel wird mit $4,76 \text{ m}^3/\text{s}$ und das höchste Stundenmittel mit $7,23 \text{ m}^3/\text{s}$ am 18. dieses Monats bestimmt. Die Sommer 1974 und 1975 sind bezüglich der Abflußverhältnisse sehr ähnlich, 1975 und 1976 unterscheiden sie sich dagegen grundlegend. Auf die Monate Juni/Juli entfallen 1975 42% der Abflußmenge der vier Monate, 1976 sind es dagegen 76%. Ebenso deutlich unterscheiden sich die mittleren Tagesgänge der einzelnen Monate beider Sommer. Insgesamt ermöglicht die Analyse des Abflußganges einen weitreichenden Aufschluß über die Massen- und Energieumsätze des Gletschers.

THE GAUGING STATION VERNAGTBACH (ÖTZTALER ALPEN) PLANNING, CONSTRUCTION AND RESULTS

SUMMARY

This paper describes the extraordinary difficulties met in gauging glacier streams and establishes criteria that have to be fulfilled for a correct determination of glacier run off. Discussion of the hydraulic principles of gauging in tranquil and rapid flow shows why the latter is to be favored for glacier streams.

The concept of the station at Vernagtbach, the original stream bed, considerations of proper dimensioning and characteristics of the construction of the gauging channel are described in detail. A brief history is given of planning, organization and technology involved.

The water level is recorded by two floats and one pneumatic gauge which together provide uninterrupted and trouble-free records. The rating curve was determined with current meters and shows an unambiguous relation between water level and discharge with little scattering of calibration values. Temporary changes of flow conditions up-

stream of the station do not have any noticeable effect on the water level in the channel. The discharge records of the summers 1974–1976 are presented and discussed. The maximum mean summer discharge was $1.33 \text{ m}^3/\text{s}$ in June–September 1975; extreme mean monthly discharge was found in July 1976 with $2.51 \text{ m}^3/\text{s}$, the highest daily mean was $4.76 \text{ m}^3/\text{s}$ and the maximum hourly mean was found at $7.23 \text{ m}^3/\text{s}$. The discharge conditions of the summers of 1974 and 1975 are very similar, while in the summer of 1976 they differed completely as far as seasonal and mean daily hydrographs are concerned: in 1975, 42% of summer discharge was recorded in June and July compared to 76% in 1976. The analysis of the hydrographs gives valuable clues to the mass and heat balances of the glacier.

1. ABFLUSSMESSUNG IN GLETSCHERBÄCHEN

In natürlichen Gewässern erfolgt die kontinuierliche Erfassung des Abflusses in der Regel nach mechanischen Verfahren durch Aufzeichnung der Wasserstände in einem für die Messung geeigneten Querprofil und anschließende Ermittlung der zugehörigen Abflußbeträge mit Hilfe einer geeichten Wasserstands-Abfluß-Beziehung.

Die einwandfreie Bestimmung des Abflusses, die in allen natürlichen Gewässern an gewisse Voraussetzungen gebunden ist, trifft in Gletscherbächen aus mannigfaltigen Gründen auf besondere Erschwernisse (Rudolph, 1962, Walsler, 1971). Die im Geröll des Vorfeldes gebetteten Gletscherbäche weisen einen hohen Grad an Ungleichförmigkeit und Regellosigkeit auf. Vielerlei Hindernisse, wie etwa Gesteinsblöcke, Sohlstufen und Ufernischen, lassen eine geschlossene Gerinneströmung kaum aufkommen. Nur selten tritt in der mit Moränenmaterial gefüllten Talfurche vor dem Gletscher der Fels zutage, an dem das Bachbett eine dauerhafte Gestalt finden könnte. Dazu kommt, daß die fließenden Gewässer der Gebirgsregion ganz allgemein ein außerordentlich großes Gefälle aufweisen, demzufolge der Gerinneströmung sehr viel Bewegungsenergie anhaftet. Der Geschiebetransport in den Gletscherbächen ist erheblich und großen tages- wie jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Der Moränenboden, auf dem die Wasserläufe ihren Weg suchen und in dem auch ein unterirdischer Abfluß nicht auszuschließen ist, muß geradezu als hydrologisches Muster einer beweglichen Sohle angesprochen werden. Innerhalb kurzer Zeit kann eine völlige Umgestaltung des Bachbottes erfolgen, verbunden mit einer ständigen Veränderung der natürlichen Gerinneprofile und weithin wechselhaften Fließbedingungen im gesamten Bachlauf.

Für die technische und organisatorische Durchführung von Abflußmessungen in Gletscherbächen ist ferner zu bedenken, daß die Dauer der direkten Beobachtung im Rahmen von geplanten Feldarbeiten zumeist auf wenige Sommerwochen beschränkt bleiben muß, daß auch in der Übergangszeit stets mit Frosteinbrüchen zu rechnen ist, daß der Transport, die Wartung und die Versorgung der Meßeinrichtungen eines verhältnismäßig hohen Aufwandes bedürfen, und daß eine außerordentliche Abhängigkeit aller Geländetätigkeiten von der örtlichen Gesamtsituation besteht.

2. KONZEPT DER ABFLUSSMESSUNG

Die Konzeption einer kontinuierlichen Erfassung des Gletscherabflusses hat nun von den oben beschriebenen Umständen auszugehen.

Das bedeutet zunächst, daß im Bachlauf eine künstliche Meßstrecke geschaffen werden muß, in der ein Querprofil für die Wasserstandsmessung so festgelegt werden kann, daß in ihm auf Grund der hydraulischen Eigenschaften der Anlage eine eindeutige Abflußkurve mit hinreichendem Auflösungsvermögen besteht.

Das bedeutet weiters, daß der störende Einfluß der im natürlichen Gerinne vor-

handenen Bewegungsenergie von der Meßstrecke fernzuhalten ist und für einen möglichst widerstandslosen Abtransport des Geschiebes durch die Anlage Sorge getragen werden muß.

Das bedeutet ferner, daß die der Wasserstandsmessung dienenden technischen Einrichtungen eine von Sekundäreinflüssen freie Druckgröße erfassen müssen und die Wege der Druckübertragung vor Eisbildungen und Feststoffablagerungen vorsorglich zu schützen sind.

Das bedeutet schließlich, daß die wesentlichen Teile der Meßanlage für Prüf-, Wartungs- und Reparaturarbeiten leicht zugänglich und Flügelmessungen zur Erstellung der Abflußkurve ohne besonderen Aufwand durchführbar sein müssen.

2.1. HYDRAULISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ABFLUSSMESSUNG

Der komplexe Bewegungsablauf in einem Gerinne bedarf hinsichtlich seiner wesentlichen Einflüsse auf die Abflußmessung zunächst einer grundsätzlichen Betrachtung. Jeder natürliche Abflußvorgang in einem Gerinne mit freier Oberfläche verläuft als eine der Zeit nach veränderliche — instationäre — Bewegung. In Gletscherbächen wird der instationäre Bewegungsablauf vorwiegend durch die von der Tages- und Jahreszeit abhängige Schmelzrate am Gletscher verursacht. Die dadurch entstandene Schmelzwasserwelle durchläuft den Bach mit einer von den Fließbedingungen abhängigen Geschwindigkeit, sodaß dem Beobachter in einem bestimmten Querprofil der Abfluß als eine zeitlich veränderliche Größe erscheint. Zu einem bestimmten Zeitpunkt treten in zwei aufeinanderfolgenden Querprofilen des Baches unterschiedliche Abflußbeträge auf, deren Differenz umso kleiner ist, je geringer der Abstand der Querprofile und je größer die dazwischen auftretende Fließgeschwindigkeit ist. Soll der Einfluß des instationären Bewegungsablaufes auf die Abflußmessung vernachlässigbar klein werden, so muß die Meßstrecke hinreichend kurz und die darin auftretende Geschwindigkeit genügend hoch sein. Innerhalb einer solchen Meßstrecke darf der Abflußvorgang als gleichsam zeitunabhängig — quasistationär — betrachtet werden.

Der Zustand der stationären Bewegung auf einer bestimmten Gerinnestrecke, insbesondere der Verlauf der Wasserspiegellinie im Längenprofil hängt ab von einer gegebenen Ausgangsspiegellage an einem Ende der Strecke und von den Fließbedingungen des Gerinnes, nämlich von dessen Gestalt, Neigung und Beschaffenheit. Ändern sich auf der Gerinnestrecke die Fließbedingungen oder die Ausgangsspiegellage, so ändert sich für ein und denselben Abfluß auch der Verlauf der Wasserspiegellinie. In diesem Fall ist in keinem Querprofil der betrachteten Strecke eine eindeutige Zuordnung von Wasserstand und Abfluß möglich. Daraus folgt, daß für eine einwandfreie Erfassung des Abflusses durch Wasserstandsmessungen eine Meßstrecke mit gleichbleibenden Fließbedingungen und einem hydraulisch definierten Ausgangszustand an einem Ende der Strecke erforderlich ist.

Eine solche hydraulisch definierte Ausgangsbedingung wird erreicht, wenn in dem betreffenden Profil auf Grund der geometrischen Bedingungen der sogenannte Grenzzustand erzwungen wird (Böss, 1927), das ist jener Fließzustand, bei dem ein bestimmter Abfluß mit dem Mindestaufwand an mechanischer Energie (Summe aus potentieller und kinetischer Energie) durch das Querprofil gefördert wird. Die dem Grenzzustand entsprechende Abflußtiefe bezeichnet man als Grenztiefe, die entsprechende Fließgeschwindigkeit als Grenzzustandsgeschwindigkeit. Der Grenzzustand besitzt für das Abflußgeschehen in einem Gerinne die Eigenschaft einer festen

Randbedingung, und zwar sowohl in als auch gegen die Fließrichtung. Er wirkt stabilisierend auf die Bewegungsvorgänge in seiner Umgebung, trennt die Gerinneströmung in einen flußaufwärts und einen flußabwärts verlaufenden Teil und verhindert das Übergreifen von Störeinflüssen von einem in den anderen Teil der Strömung.

Die statische Druckverteilung im Meßprofil, bei der der Druck linear mit der Wassertiefe zunimmt, ist eine wichtige Voraussetzung für die einwandfreie Wasserstandsmessung. Die Verteilung des Druckes in einem Gerinnequerschnitt hängt ihrerseits eng mit dem Verlauf der Stromlinien zusammen und kommt der statischen Verteilung umso näher, je weniger die Stromlinien gekrümmt sind. Ausgehend vom Querprofil, in welchem der Grenzzustand auftritt, verläuft der Wasserspiegel der stationären Bewegung in einem Gerinne auch bei gleichbleibenden Fließbedingungen als eine Stromlinie, deren Krümmung mit zunehmendem Abstand kleiner wird. Das bedeutet, daß im Nahbereich des Grenzzustandes wegen der vergleichsweise größeren Stromlinienkrümmung für die Wasserstandmessung eine gewisse Unsicherheit besteht und daher das Meßprofil in einem genügend großen Abstand vom hydraulisch definierten Ausgangsprofil liegen muß. Aus diesem Grunde ist eine hinreichende Länge für die Meßstrecke vorzusehen, eine Bedingung, die mit der früher erhobenen Forderung nach einer möglichst kurzen Meßstrecke in einem gewissen Widerspruch steht. Diese Diskrepanz bereitet jedoch bei der Dimensionierung der Anlage keine nennenswerte Schwierigkeit.

2.2. PRINZIP DER ABFLUSSMESSUNG

Für die Abflußmessung in einer mit unveränderlichen Fließeigenschaften ausgestatteten Meßstrecke ist die Festlegung des hydraulisch definierten Ausgangsprofils, in welchem der Grenzzustand auftritt, von wesentlicher Bedeutung. Hiefür stehen zwei Möglichkeiten offen (vgl. Abb. 1).

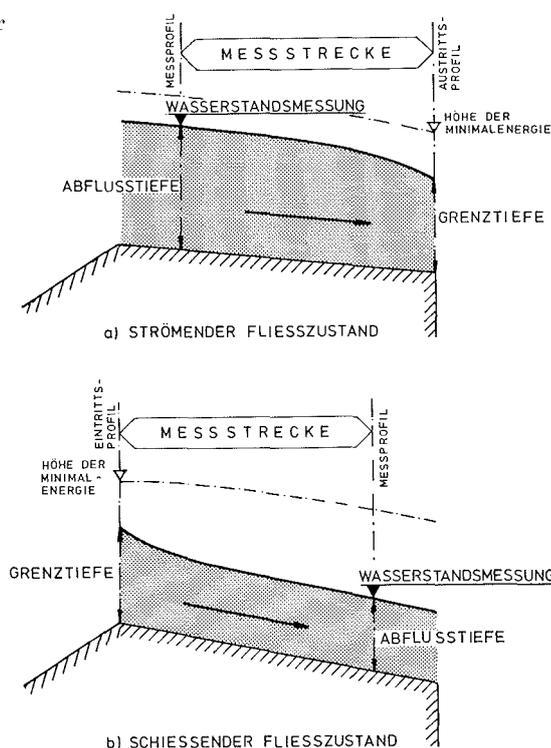
Zum ersten ist es möglich, den Grenzzustand in dem am unterseitigen Ende der Meßstrecke gelegenen Austrittsprofil vorzusehen. In diesem Fall treten in der Meßstrecke Abflußtiefen auf, die größer sind als die Grenztiefe und Fließgeschwindigkeiten, die kleiner sind als die Grenzgeschwindigkeit. In der Energieverteilung überwiegt der potentielle Anteil. Der in der Meßstrecke auftretende Fließzustand wird als Strömen bezeichnet (vgl. Abb. 1 a).

Zum zweiten besteht die Möglichkeit, den Grenzzustand in dem am oberseitigen Ende der Meßstrecke gelegenen Eintrittsprofil festzulegen. In diesem Fall sind die Abflußtiefen in der Meßstrecke kleiner als die Grenztiefe und die Fließgeschwindigkeiten größer als die Grenzgeschwindigkeit. Nunmehr überwiegt der kinetische gegenüber dem potentiellen Energieanteil. Der entsprechende Fließzustand heißt Schießen (Abb. 1 b).

Eine eindeutige Abflußbestimmung durch Wasserstandsmessungen in einem Querprofil einer mit unveränderlichen Fließeigenschaften ausgestatteten Meßstrecke ist grundsätzlich sowohl bei Strömen als auch bei Schießen möglich. Entscheidend dafür, welcher der beiden Möglichkeiten der Vorzug zu geben ist, sind im wesentlichen die folgenden Kriterien.

1. Die Abflußkurve des Meßprofils muß ein ausreichend gutes Auflösungsvermögen haben, damit die Abflußermittlung gegen Ungenauigkeiten der Wasserstandsmessung möglichst unempfindlich ist.
2. Die störenden Einflüsse der im natürlichen Bachbett stark wechselnden Fließ-

Abb. 1: Schematische Darstellung der Fließzustände auf der Meßstrecke
a) bei Strömen, b) bei Schießen.



zustände auf die Wasserstandsmessung, hervorgerufen durch die ständige Umgestaltung des Bachlaufes, müssen weitgehend ausgeschaltet werden.

3. Das Geschiebe muß möglichst unbehindert, rasch und ohne sich abzulagern durch die Meßstrecke transportiert werden.

Die Forderung nach einem ausreichenden Auflösungsvermögen der Abflußkurve wird bei Strömen besser erfüllt als bei Schießen, da für ein und denselben Abfluß im Fall des Strömens die Abflußtiefe größer und damit die Abflußbestimmung weniger empfindlich gegen Ungenauigkeiten der Wasserstandsmessung ist als im Fall des Schießens. Allerdings ist der Unterschied im Auflösungsvermögen der Abflußkurve zwischen Strömen und Schießen umso geringer, je kürzer und glatter die Meßstrecke ist, und verschwindet bei Gerinneneigungen im Bereich des Grenzabflusses nahezu gänzlich.

Die Art der störenden Einflüsse von seiten des natürlichen Bachlaufes hängt wesentlich von dem dort herrschenden Fließzustand ab. Obwohl es die schwer faßbare Gestalt des Bachbettes nicht erlaubt, einen bestimmten Fließzustand eindeutig zu definieren, ist wegen der bereits früher erwähnten hohen Bewegungsenergie davon auszugehen, daß im Gletscherbach Schießen herrscht. Das bedeutet, daß sich störende Einflüsse ausschließlich in Strömungsrichtung auswirken und daher die Meßstrecke gegen die Strömungsrichtung vor diesen Einflüssen zu schützen ist. Die wirksamste Maßnahme zum Schutz der Meßstrecke ist deren Abtrennung gegen den übrigen Bachlauf

durch Erzwingen des Grenzzustandes im Eintrittsprofil. Die Wasserstandmessung in der Meßstrecke erfolgt dann bei schießendem Fließzustand.

Die Forderung nach einem raschen und ablagerungsfreien Geschiebetransport durch die Meßstrecke führt zwangsläufig zur Forderung nach möglichst hohen Fließgeschwindigkeiten und einer großen Sohlneigung auf der Meßstrecke. Diese Bedingungen sind zweifellos bei Schießen besser erfüllt als bei Strömen.

Bei Abwägung aller wesentlichen Gesichtspunkte muß erkannt werden, daß der Festlegung des Eintrittsquerschnittes als hydraulisch definiertes Ausgangsprofil und somit einer Wasserstandsmessung bei schießendem Fließzustand der Vorzug zu geben ist, womit das hydraulische Konzept der Abflußmessung für die an Gletscherbächen bestehenden Verhältnisse vorliegt.

3. DIMENSIONIERUNG UND KONSTRUKTION DER MESSANLAGE AN DER PEGELSTATION VERNAGTBACH

Die für die Errichtung der Pegelstation vorgesehene Bachstelle liegt etwa 800 m von der Gletscherzunge entfernt (Abb. 2). Hier tritt der Felsuntergrund zu Tage und bildet auf einer Strecke von etwa 60 m das Bachbett. Etwa in der Mitte dieser Strecke liegt ein Felsabsturz. Oberhalb des Absturzes ist die Bachsohle etwas flacher geneigt als im übrigen Bachbett. Unterhalb des Absturzes folgt ein ausgekolktes Becken. Darin bildete sich bei niedrigen Abflüssen eine sehr ruhige Strömung aus.



Abb. 2: Ursprünglicher Zustand des Bachbettes im Bereich der Pegelstation, entgegen der Fließrichtung gesehen. Die teilweise erkennbare Verbreiterung des Bachbettes im Mittelgrund ist als Vorbecken für die Beruhigung der Strömung und als Absatzbecken für Geschiebe gleichermaßen wirksam. Der Einlaufteil der Meßrinne schließt unmittelbar an die Verengung des Baches im Vordergrund an.

(Aufnahme O. Reinwarth, am 10. Oktober 1969)

Bei mittleren Abflüssen wurde die Bewegung lebhafter: das herabstürzende Wasser durchzog in einem langen Tauchstrahl das gesamte Kolkbecken und brachte eine starke Wellenbewegung in den flußabwärts gelegenen Teil des felsigen Bachbettes.

Da durch das Kolkbecken unterhalb des Absturzes von Natur aus bereits eine mit gleichbleibenden Eigenschaften ausgestattete Strecke vorgebildet war, wurde diese Stelle zunächst als Bauplatz für die Meßanlage in Erwägung gezogen. Allein die hohen Energiebeträge, die vor allem bei großen Abflüssen nur durch zusätzliche bauliche Maßnahmen beherrschbar gewesen wären, zwangen von diesem Vorhaben abzulassen und die Anlage oberhalb des Absturzes anzuordnen. Dieser Platz kam auch einigen wesentlichen Belangen der Bauausführung sehr entgegen.

Als Maximalabfluß wurde ein Betrag von $9,00 \text{ m}^3/\text{s}$, entsprechend einer Schmelzwasserspense von ca. $1000 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ (Lang, 1966) festgesetzt. Der Minimalabfluß wurde aus einem angenommenen Abflußverhältnis zwischen Maximum und Minimum von 500:1 zu ca. $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt. Außerdem wurden Abflußbeträge, die nach der Farbstoffverdünnungsmethode im Vernagtbach gemessen wurden, in die Dimensionierung der Anlage einbezogen (Jochum, 1973).

Auf der Grundlage des oben entwickelten Meßkonzeptes erfolgte nun für die angegebenen Abflüsse und die beschriebenen örtlichen Verhältnisse die Dimensionierung und die Konstruktion der Meßanlage (IfR-Jahresbericht 1973). Dabei waren die Wartungs- und Betreiberfordernisse sowie die durch die Möglichkeiten der Bauorganisation und die Vertretbarkeit des finanziellen Aufwandes gesetzten Grenzen gleichermaßen zu beachten (Abb. 3).

Das Querprofil der Meßrinne ist rechteckig geformt mit einer Breite von 2,00 m und zur Erfassung der kleinen Winterabflüsse mit einer Niederwasserrinne ausgestattet, deren Sohlbreite 0,50 m beträgt und deren Böschungen im Verhältnis 1:3 geneigt sind. Das Querprofil ist insgesamt 2,00 m hoch, die Niederwasserrinne 0,25 m tief. Das so gestaltete Querprofil erlaubt es, die Eichung der Anlage mit dem Meßflügel ohne besonderen Aufwand vornehmen zu können.

Die Länge der prismatischen Rinne wurde aus konstruktiven Gründen mit 5,00 m festgesetzt. Als Abstand des Meßprofils vom Eintrittsprofil genügen 3,80 m, um dem Einfluß der Stromlinienkrümmung zu entgehen und damit eine statische Druckverteilung im Meßprofil mit guter Näherung zu erreichen. Die prismatische Gestalt der Meßrinne und deren durchlaufend ebene Innenwände gewährleisten außerdem einen raschen und ablagerungsfreien Geschiebetransport.

Die Sohle der Meßrinne wurde zur Erzeugung des schießenden Fließzustandes entsprechend der ermittelten Querschnittsgeometrie und der gewählten Gerinneauskleidung mit einer Neigung von 1‰ versehen. Um das Eintreten des Grenzzustandes für alle zu erwartenden Abflüsse mit Sicherheit zu erreichen, mußte der Sohlpunkt des Eintrittsprofils ca. 0,70 m über die ursprüngliche Bachsohle angehoben werden. Die Meßrinne wurde im Längenprofil des Baches so angeordnet, daß unterhalb des Austrittsprofils ein Absturz von ca. 2,50 m Höhe entstand, der gewährleistet, daß der Abfluß aus der Meßrinne in einem freien, allseits belüfteten Überfallstrahl erfolgt und weder durch einen Rückstau, noch durch Geschiebeablagerungen im Unterwasser behindert wird.

Oberhalb des Eintrittsprofils schließen zylindrische Flügelmauern, die tangentiell in die Seitenwände der Meßrinne übergehen und auf diese Weise für eine ablösungsfreie Kontraktion der Strömung sorgen, dicht an den anstehenden Fels der beiden Bachufer an. Dadurch entsteht oberhalb der über die Bachsohle angehobenen Meß-

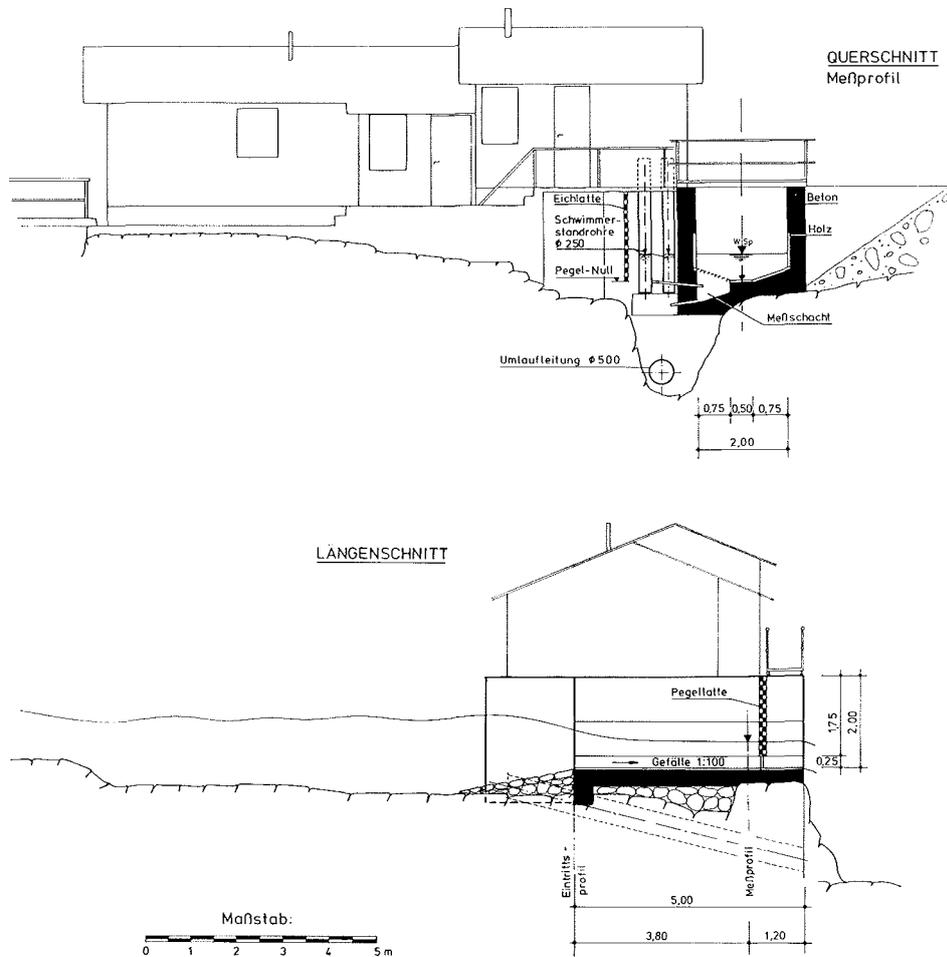


Abb. 3: Pegelstation Vernagtbach.

Im Querschnitt (Bild oben) rechts die rechteckförmige Meßrinne mit der trapezförmigen Niederwasserrinne, links davon der Armaturenschacht mit den Schwimmerstandrohren. Im Längsschnitt (Bild unten) links das Eintrittsprofil, rechts das Meßprofil mit der Pegellatte.

rinne ein Vorbecken von etwa 10 m Länge, das einen ausreichend großen Dissipationsraum zum Abbau der hohen Bewegungsenergie des Gletscherbaches bildet. Geschiebeablagerungen und Erosionen im Vorbecken verändern zwar dort die Strömungsverhältnisse, nehmen aber wegen des im Eintrittsprofil auftretenden Grenzzustandes keinen störenden Einfluß auf die Wasserstandsmessung in der Meßrinne.

Die Übertragung des nahezu statisch verteilten Druckes im Meßprofil erfolgt über ein in die rechtsufrige Böschung der Niederwasserrinne bündig eingelassenes Gitter, dessen Öffnungen aus 0,30 m langen und 0,002 m breiten, parallel zur Strömung

verlaufenden Schlitzten bestehen. Diese Gitterkonstruktion gewährleistet eine sichere Druckübertragung auch bei Minimalabflüssen, gleicht die geringfügigen Abweichungen von der statischen Druckverteilung aus und dämpft die zeitlichen Druckschwankungen, die insbesondere als Folge der bei schießendem Abfluß erscheinenden Diagonallwellen auftreten. Die schmalen Gitterschlitzte verhindern zudem das Eindringen von Kornfraktionen ab Kiesgröße, das heißt ab ca. 2 mm Durchmesser, so daß nur ein geringer Anteil der Geschiebefracht in die Meßeinrichtungen gelangen kann.

Das Gitter deckt einen darunterliegenden 0,30 m breiten Schacht, der die gesamte Böschung einnimmt. Darin herrscht als wesentliche Voraussetzung für eine von Nebeneinflüssen freie Wasserstandsmessung eine vollkommen ausgeglichene, statische Druckverteilung. Der Schacht dient gleichzeitig als Fangraum für die eindringenden Sedimente, die von dort über zwei Spüleleitungen zeitweise oder dauernd abgezogen werden. Zudem eignet sich der Schacht auch für den nachträglichen Einbau von Meßvorrichtungen, was sich seit Inbetriebnahme der Pegelstation bereits mehrmals als sehr vorteilhaft erwiesen hat.

Zur Druckübertragung sind eine hydraulische und eine pneumatische Leitung vorgesehen. Hydraulisch wird der Druck über eine 2''-Rohrleitung in zwei kommunizierende Standrohre mit 250 mm Durchmesser übertragen, in welchen der Wasserstand mit Schwimmerpegeln gemessen wird. Die pneumatische Leitung führt aus dem Schacht direkt zu einem Druckpegel.

Die Schwimmerstandrohre sind mit Frostschutzleitungen ausgestattet, die durch ständig laufendes Wasser für den notwendigen Wärmenachschub sorgen und auf diese Weise ein vorzeitiges Einfrieren der Schwimmer in den Standrohren weitgehend verhindern. Sämtliche erforderlichen Bedienungsorgane, sowie die beiden Standrohre sind in einem seitlich der Meßrinne angebauten, frei zugänglichen Armaturenschacht untergebracht.

Die Messung und Registrierung der Wasserstände geschieht in einem über dem Armaturenschacht angeordneten Instrumentenraum, wo auch Geräte zur Erfassung der aus der angeschlossenen Wetterstation übertragenen Daten untergebracht sind. Zur Pegelstation gehört außerdem ein im Zuge eines erforderlichen Ausbaues geschaffener Arbeitsraum, der neben der Unterbringung von Geländegerät und alpiner Ausrüstung vor allem der Durchführung von notwendigen Auswertungsarbeiten an Ort und Stelle, sowie als Unterkunft bei wissenschaftlichen Unternehmungen dient.

Die Meßrinne, die Flügelmauern, sowie der Unterbau der Stationshütte wurden größtenteils in Stahlbeton und Natursteinmauerwerk gefertigt. Als Belag für die Sohle, die schrägen Böschungflächen und einen Teil der lotrechten Innenwände der Meßrinne wurde Lärchenholz gewählt, zum ersten, weil das organische Material wegen seiner Elastizität und seiner Struktur gegen die hohe Beanspruchung durch das Geschiebe sehr widerstandsfähig ist, zum zweiten, weil die gleichbleibend glatte Oberfläche des Holzes stets dieselben hydraulischen Eigenschaften gewährleistet, und zum dritten, weil es ohne großen Aufwand und längere Betriebsunterbrechung möglich ist, den allenfalls verschlissenen Sohlenbelag teilweise oder zur Gänze zu erneuern.

Für die Druckübertragungsleitungen wurden verzinkte Stahlrohre verwendet. Die vom Armaturenschacht in den Instrumentenraum reichenden Schwimmerstandrohre sind aus Gußeisen.

Entlang der rechtsufrigen Außenseite der Meßrinne wurde eine Betonrohrleitung

mit 500 mm Durchmesser verlegt, um Restwassermengen, die nach der Bachumleitung während der Bauzeit noch im Bachbett verblieben sind, ableiten zu können und gegebenenfalls eine spätere Umleitung des Wassers zur Durchführung von Reparaturarbeiten zu ermöglichen.

Die Stationshütte wurde aus Holzfertigteilen hergestellt und zum Schutz gegen Witterungseinflüsse mit einem Schindelbelag versehen.

4. BAUGESCHICHTE

Neben der wissenschaftlichen und technischen Planung gingen der Errichtung der Pegelstation noch zwei weitere wichtige Verfahren voraus, das behördliche Genehmigungsverfahren und das Antragsverfahren zur Bereitstellung der erforderlichen finanziellen Mittel. Begegnete das wasserrechtliche Bewilligungsverfahren wegen des allgemeinen Interesses und Wohlwollens seitens der verschiedenen Instanzen aller beteiligten Dienststellen keinerlei Schwierigkeiten, so zeigte sich die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Bad Godesberg, einsichtig und großzügig genug, das immerhin mit gewissen Risiken behaftete Vorhaben durch zwei Sachbeiträge finanziell zu ermöglichen.

Daß die ersten Planungen bereits auf das Jahr 1968 zurückgehen, die Genehmigung des ersten Sachbeitrages schon im Februar 1970 erfolgte, und die wasserrechtliche Bewilligung als Vorbedingung für die Errichtung der Anlage gleichfalls schon 1971 vorlag, die bauliche Ausführung aber erst im Sommer 1973 realisiert werden konnte, zeigt nachdrücklich, welche Schwierigkeiten letztlich dem eigentlichen Bau der Meßstelle entgegenstanden. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Errichtung der Anlage nur während der wenigen Wochen des Hoch- und Spätsommers überhaupt möglich ist und eine Verzögerung des Baubeginns — aus welchen Gründen auch immer — in jedem Fall eine Verschiebung des Vorhabens um ein weiteres Jahr zur Folge hatte.

Die hauptsächlichsten Schwierigkeiten, die den Bau der Anlage immer wieder verschoben, resultierten vornehmlich aus dem Transportproblem. Als ebenso einfache wie günstige Lösung schien sich dafür die Benützung eines provisorischen Fahrweges anzubieten, der für den Transport von Baumaterial und -gerät für den Erweiterungsbau der nahegelegenen Vernagthütte der Sektion Würzburg des Deutschen Alpenvereins geplant war und dessen Trasse den Vernagtbach nahe der Pegelstelle queren sollte. Die Fertigstellung dieses im Herbst 1970 begonnenen Weges wurde 1971 aufgegeben, nachdem die Sektion Würzburg wegen der hohen Kosten gezwungen war, eine andere Lösung für die Erweiterung der Vernagthütte zu suchen. Die Absicht, den Wegebau 1972 ausschließlich für die Zwecke der Errichtung der Pegelstation fortzuführen, mußte gleichfalls aus Kostengründen aufgegeben werden. Durch den im Sommer 1973 möglichen Einsatz eines leistungsfähigen Hubschraubers konnten schließlich die bestehenden Transportschwierigkeiten in technisch wie wirtschaftlich befriedigender Weise behoben werden.

Die Bauausführung konnte dank ministerieller Genehmigung der in der Abwicklung von Baumaßnahmen im Hochgebirge besonders erfahrenen Gebietsbauleitung Imst der Wildbach- und Lawinerverbauung der Forsttechnischen Sektion Innsbruck übertragen werden. Die Bereitschaft für die Übernahme des Projektes durch den Leiter der Dienststelle HR Dipl.-Ing. Dr. E. Leys bildete dabei die weitere wesentliche Voraussetzung für die Verwirklichung des Vorhabens.

Die bauliche Erstellung der Meßanlage erfolgte nach sorgfältiger Vorbereitung im Sommer 1973 in elfwöchiger Bauzeit. Für die wichtigsten Abschnitte ergab sich dabei folgender Zeitplan:

- 10. 7. bis 12. 7. Antransport von Material und Baugerät, Errichtung der Bauhütten, Baustellenwege und des Materialdepots; Einmessen der genauen Situation des Meßgerinnes;
- 14. 7. bis 26. 7. Bohren, Sprengen und Ausheben eines Ersatzbettes für den Vernagtbach, Bachausleitung und Trockenlegen der Baustelle durch eine Umlaufleitung;
- 27. 7. bis 7. 9. Schalen und Betonieren des Meßgerinnes einschließlich der Flügelmauern und des Schachtes für die Standrohre;
- 30. 8. bis 5. 9. Montage einer Materialseilbahn Pegelstation — Vernagthütte;
- 10. 9. bis 20. 9. Einbau der Standrohre, Errichtung der Stationshütte, Montage der restlichen Außenanlagen (Brücke usw.);

20. 9. bis 21. 9. Übergabe der Station, Abbau der Baustelle und Abtransport des Gerätes. Um die erforderliche Flugzeit des Hubschraubers für den Transport von ca. 90 t Last minimal zu halten, wurde das gesamte Material bis zum Ende des fahrbaren Weges an der Rofenalm (2080 m) transportiert und dort gelagert. Am 10. und 11. Juli 1973 brachte der Hubschrauber die einzelnen Ladungen an die vorgesehene Baustelle in 2640 m Höhe. Aus Gewichtsgründen mußte auf den Einsatz schweren Baugerätes verzichtet werden. Den ersten Abschnitt der Arbeiten bildete die Ausleitung des Baches. Dazu war es erforderlich, ein ausreichend dimensioniertes Ersatzbett von ca. 60 m Länge in den Fels zu sprengen und auszuheben und schließlich nach dem Durchstich das alte Bachbett abzudämmen. Sickerwasser und seitlich eindringendes Hangwasser bedingten jedoch immer noch eine Restwassermenge im Baustellenbereich, die durch die bereits erwähnte seitlich unter dem Meßgerinne durchlaufende Umlaufleitung aus Betonrohren abgeführt wurde (Abb. 4).

Waren die Witterungsbedingungen anfangs wenig angenehm und behinderten zusätzlich die sehr schwere Arbeit der Bachausleitung, so herrschte später allgemein gutes Wetter vor, was den Fortgang der Arbeiten, vor allem das Betonieren zwar begünstigte, jedoch durch die außerordentlich hohe Schmelzwasserführung des Baches eine ständige Gefährdung der Baustelle bedingte. Mehrfach mußten alle Kräfte darauf verwendet werden ein Durchbrechen des Dammes an der Ausleitungsstelle zu verhindern.

Aus den vorhandenen Bauteilen eines nahegelegenen, nicht mehr benötigten Materialaufzuges für den Sandtransport zur Vernagthütte wurde eine Seilbahnverbindung zwischen der mit einer Materialseilbahn vom Tal her erreichbaren Vernagthütte (2774 m) und der Pegelstation (2640 m) geschaffen, mit der erforderliche Zwischentransporte bewältigt werden konnten. Für die weitere Versorgung der Station bildet diese Materialseilbahn eine außerordentliche Erleichterung.



Abb. 4: Die Baustelle am Vernagt-bach im Sommer 1973: Die Fundierung der Meßrinne ist betoniert. Der Ableitung des Restwassers dient die Umlaufleitung, welche nach der Fertigstellung ein Trockenlegen der Rinne ermöglicht. In der Meßrinne ist die Schalung für den Meßschacht sichtbar.

(Aufnahme O. Reinwarth)



Abb. 5: Ansicht der Pegelstation Vernagtbach nach deren endgültiger Fertigstellung. Der im Bild links erkennbare Anbau mit Aufenthaltsraum und Materialdepot wurde im Sommer 1975 erstellt. (Aufnahme O. Reinwarth)

Am 20. September 1973 wurde die Anlage von der bauausführenden Dienststelle im Rahmen einer angemessenen Feier übergeben. Mit dem Abtransport der Baustelleneinrichtung, wiederum per Hubschrauber, wurden die Bauarbeiten, unmittelbar vor dem Einsetzen hochwinterlicher Verhältnisse am 22. September 1973 abgeschlossen. Die Stationshütte war primär zur Aufstellung der Pegelschreiber und sonstiger Meßgeräte vorgesehen. Sie wurde zwar etwas größer dimensioniert, um auch in beschränktem Umfang als Unterkunft und vor allem als Depot für die verschiedenen Gerätschaften dienen zu können, vermochte aber diesen Anforderungen sehr bald nicht mehr zu genügen, insbesondere als die hydrologischen Arbeiten durch deren Einbeziehung in den Sonderforschungsbereich 81 an der Technischen Universität München im Rahmen des Teilprojektes A 1 *Abfluß in und von Gletschern* eine wesentliche Erweiterung und Intensivierung erfuhren. So wurde im Juli 1975 eine weitere Hütte an die bestehende angebaut, die ausschließlich dem Aufenthalt und der Unterkunft der im Gelände tätigen Mitarbeiter dient, während die erste Hütte ausschließlich als Arbeitsraum, zusätzlich versehen mit Werkstatteinrichtungen, zur Verfügung steht. Außerdem wurde weiterer Raum zum Abstellen von Geräten, Materialien und alpiner Ausrüstung geschaffen. Die Abb. 5 zeigt die Ansicht der Pegelstation in ihrer heutigen Form.

5. INSTRUMENTELLE AUSTRÜSTUNG DER PEGELSTATION

Dem Ziel einer kontinuierlichen Erfassung des Gletscherabflusses folgend liegt der Schwerpunkt der instrumentellen Ausrüstung an der Pegelstation Vernagtbach bei jenen Einrichtungen, die der Messung und Aufzeichnung des Wasserstandes dienen.

Die Präsenz der Meßgröße „Wasserstand“ ist dem jeweiligen Beobachtungszweck entsprechend in unterschiedlicher Weise erforderlich. Je nachdem, ob eine Wasserstandsbeobachtung zur approximativen Kontrolle des Abflusses, zur Eichung der Meßanlage, zur genauen Auflösung der Ganglinie oder zur direkten Datenverarbeitung erfolgt, muß jeweils eine andere, dem Zweck dienliche Einrichtung zur Verfügung stehen. Dazu kommt, daß die zeitlichen Wartungsintervalle, bedingt durch die Lage der Pegelstation

im Hochgebirge, mitunter so lange dauern können, daß die Wahrscheinlichkeit, mit der Funktionsstörungen oder Ausfälle an einem einzelnen Instrument auftreten können, nicht mehr in Kauf genommen werden kann und daher eine Mehrfachbestückung zur Sicherung einer auf Dauer angestrebten Abflußbestimmung notwendig ist.

Als Pegelnullpunkt wurde die Höhe des Sohlpunktes im Meßprofil gewählt. Mit dieser Festlegung sollte erreicht werden, daß die gemessene Wasserstandshöhe mit der Abflußtiefe in der Meßrinne übereinstimmt.

Zur raschen Orientierung an Ort und Stelle wurde in der Meßrinne ein Lattenpegel mit 2 cm E-Teilung installiert. Als Referenzmaßstab für die genaue Messung des Wasserstandes dient eine Millimeterskala an einem transparenten Beobachtungsrohr, das kommunizierend zu den Schwimmerstandrohren im Armaturenschacht untergebracht ist. Die an dieser Skala abzulesende Wasserstandshöhe gilt als Eichwert für alle angeschlossenen Meßeinrichtungen.

An einem von zwei Schwimmerpegeln werden die Wasserstände analog aufgezeichnet. Der registrierende Bandschreiber wird im allgemeinen mit einer Höhenübersetzung von 1:5 und einem Papiervorschub von 2 mm/h betrieben. Seine theoretische Gangdauer beträgt ca. sechs Monate.

Der andere der beiden Schwimmerpegel registriert die Wasserstände digital auf Lochstreifen zur direkten EDV-Auswertung. Aufgezeichnet werden die gerundeten Zentimeterbeträge des Wasserstandes in Abständen von 15 Minuten bei einer maximalen Gangdauer von sechs Monaten.

Als eine von der Schwimmerübertragung unabhängige Einrichtung wurde schließlich noch ein mit Stickstoff betriebener Druckpegel installiert. Die Meßwertaufzeichnung erfolgt wiederum analog, im Dauerbetrieb mit einer Höhenübersetzung von 1:5 und einem Papiervorschub von 2 mm/h. Die maximale Betriebsdauer beträgt ca. fünf Monate. Durch die gleichzeitige Aufzeichnung des Druckpegels und des Bandschreiberpegels ist auf Grund der unterschiedlichen physikalischen Meßprinzipien eine direkte Kontrolle über die Zuverlässigkeit der gemessenen Wasserstände gegeben.

Außer den Wasserstandsregistriergeräten sind an der Pegelstation noch Schreibgeräte für die Aufzeichnung der im Schacht der Meßrinne erfaßten Temperatur und elektrischen Leitfähigkeit des Wassers, sowie einer Anzahl von Meßwerten der angeschlossenen Wetterstation vorhanden.

6. EICHUNG UND BETRIEB DER MESSANLAGE

Die wichtigsten Aufgaben nach Inbetriebnahme der Pegelstation bestanden in der Ermittlung der Wasserstands-Abfluß-Beziehung, sowie in der Überprüfung der Meßanlage in bezug auf die erwarteten Eigenschaften (IfR-Jahresbericht 1974).

Zur Erstellung einer geeichten Abflußkurve wurde, wie geplant, der Abfluß durch Flügelmessungen ermittelt. Von Anbeginn wurde der Meßflügel mit stehendem Gestänge, später mit einer an einer beweglichen Vorrichtung montierten hängenden Stange verwendet.

Die Flügelmessungen werden von einem über dem Meßprofil verlegten Bediensteten in sieben festmarkierten Meßlotrechten durchgeführt. Je nach Abflußtiefe wird die Fließgeschwindigkeit an zwei bis fünf Punkten der Lotrechten gemessen. Im Höchstfall sind für eine Abflußbestimmung 35 Einzelmessungen notwendig, für die eine Meßdauer von 25 bis 30 Minuten in Anspruch genommen wird. Die protokollierten Meßdaten werden, von Einzelfällen abgesehen, zu gegebener Zeit an einer EDV-Anlage ausgewertet.

Der Wasserstand wird für die Eichung der Anlage grundsätzlich nur an der oben beschriebenen Eichskala gemessen. Dazu ist jedoch zu bemerken, daß der im Dauerbetrieb gemessene Wasserstand wegen des zum Zwecke der Sedimentspülung und des Frostschutzes durch die Druckübertragungseinrichtungen fließenden Wassers um den Betrag der Strömungswiderstände niedriger liegt als der zugehörige Wasserspiegel im Meßprofil. Dieser Umstand macht zweierlei Maßnahmen erforderlich. Zum

einen müssen während der Eichmessungen die Spül- und Frostschutzleitungen geschlossen werden, damit der gemessene Abfluß stets auf einen von betrieblichen Einflüssen freien Wasserstand bezogen werden kann. Zum anderen müssen die im Dauerbetrieb an den Instrumenten zu niedrig aufgezeichneten Wasserstände korrigiert werden, bevor mit Hilfe der Eichkurve die Abflüsse ermittelt werden.

In den Korrekturwerten wird der den jahreszeitlich unterschiedlichen Erfordernissen angepaßte Betrieb der Anlage mit den dabei auftretenden Varianten berücksichtigt. Im einzelnen ergeben sich die Korrekturwerte aus den Strömungswiderständen der durchflossenen Gitterschlitze, der Rohrleitungen und der Armaturen und hängen ihrem Betrag nach zum Teil von der Abflußtiefe in der Meßrinne ab. Ihre Berücksichtigung finden die Korrekturen bei der Auswertung von Wasserstandsdaten innerhalb des EDV-Programmes.

Die automatische Wasserstandaufzeichnung erfolgt an der Pegelstation Vernagtbach grundsätzlich das ganze Jahr über. Wenn es die Klimaverhältnisse erforderlich machen, werden die dem Frost stärker ausgelieferten Schwimmerpegel vor dem Wintereinbruch stillgelegt und vor Beginn der folgenden Schmelzperiode wieder in Betrieb genommen. Bei Geländebegehungen während der Winterzeit werden in regelmäßigen Abständen Einzelabflüsse und Wasserstände gemessen, sodaß eine punktuelle Direktkontrolle der Niederwasserabflüsse für die mitunter gestörten Druckpegelaufzeichnungen besteht.

Während der Sommermonate werden im Rahmen von mehrwöchigen Geländeuntersuchungen neben Einzelabflüssen Tagesgänge des Abflusses in mehr als 24stündigen Versuchsreihen gemessen. Die für bestimmte Vorhaben geplanten Messungen sind so angelegt, daß sie als ständige Funktionskontrolle für die gesamte Anlage dienen können. Als Ergebnis der Eichmessungen ist in Abb. 6 die gemittelte Abflußkurve mit den bis zum Herbst 1976 erfaßten Einzelwerten dargestellt. Die Streuung der Meßwerte hält sich im Rahmen der Meßgenauigkeit. Eine Schleifenbildung ist nicht zu erkennen. Daraus ist zu schließen, daß nach den bisherigen Messungen die wichtige Forderung nach einer eindeutigen Wasserstands-Abfluß-Beziehung erfüllt ist.

Weiters ist aus Abb. 6 zu entnehmen, daß die geeichte Abflußkurve deutlich unter der für den Grenzzustand berechneten Kurve liegt. Das bedeutet, daß das der Abflußbestimmung zugrundeliegende Prinzip, die Wasserstände im schießenden Fließzustand zu messen, mit Sicherheit gewährleistet ist.

Seit Inbetriebnahme der Pegelstation mußte mehrfach eine Veränderung der Zuflußbedingungen oberhalb der Meßrinne beobachtet werden. So fanden im Vorbecken abhängig von der Größe des Abflusses erhebliche Geschiebeverlagerungen statt. Der Bach konnte bei kleinen Abflüssen nach dem rechten Ufer hin ausmäandrieren und dadurch asymmetrische Anströmungsverhältnisse zur Meßrinne schaffen. Dennoch waren keine erfaßbaren Beeinflussungen der Wasserstandsmessung zu beobachten. Daraus folgt, daß der im Eintrittsprofil erzwungene Grenzzustand die Wasserstandsmessung vor den im Oberwasser auftretenden Störeinflüssen hinreichend wirksam zu schützen vermag.

Schließlich hat eine Untersuchung der Materialeigenschaften ergeben, daß die Verschleißfestigkeit der Gerinnesohle durchaus den Erwartungen entspricht. Nach den Erfahrungen aus der Beobachtungszeit seit Herbst 1973 muß mit einer Verschleißrate von ca. 4 mm/a gerechnet werden. Dieser geringe Betrag wird bei der Abflußbestimmung durch eine Korrektur der Pegelbezugshöhe berücksichtigt.

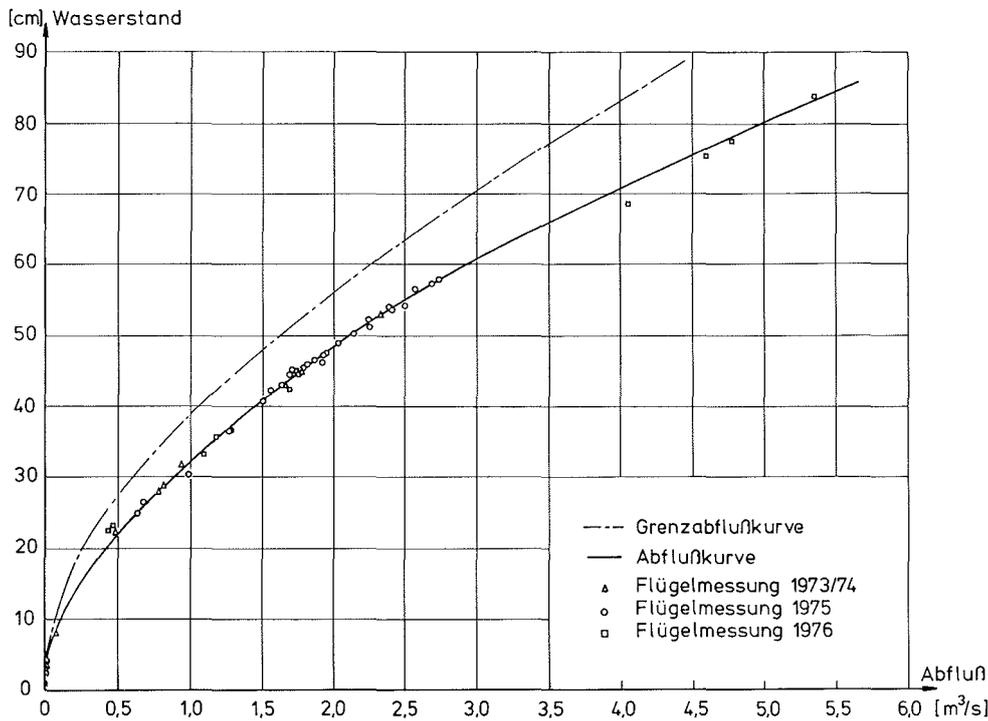


Abb. 6: Abflußkurve an der Pegelstation Vernagtbach mit Einzelmessungen von 1973 bis 1976.

7. ERGEBNISSE

Mit der Errichtung der Pegelstation Vernagtbach war primär beabsichtigt worden die Voraussetzungen dafür zu schaffen, die nach der geodätischen und glaziologischen Methode am Vernagtferner durchgeführten Ermittlungen der Massenbilanz des Gletschers durch Anwendung der hydrologischen Methode zu ergänzen. Diese Bestrebungen erschienen insofern aussichtsreich, als das durch die Pegelstation erfaßte Einzugsgebiet mit 11,441 km² relativ klein und damit hinreichend gut kontrollierbar ist. Andererseits nimmt der Vernagtferner mit 9,301 km² aktueller Gletscherfläche 81% dieses Gebietes ein und läßt damit die Einflüsse der unvergletscherten Anteile des Einzugsgebietes eher unbedeutend werden. Dies gilt umsomehr als an den verbleibenden 2,14 km² unvergletscherten Gebietes das Gletschervorfeld und die den Gletscher durchziehende Felsinsel 56% Anteil hat, während der Rest auf die Gipfelfur entfällt und damit bezüglich der Beeinflussung der Abflußprozesse sicher eher dem Gletscher zuzurechnen ist als dem eisfreien Gebiet. Aber auch ohne diese Differenzierung dürfte das Vernagtgebiet mit die höchste Vergletscherung der in analogen Untersuchungen kontrollierten hydrologischen Testgebiete aufweisen.

7.1. MITTELWERTE UND VERTEILUNGEN

Hier sollen in einer ersten Übersicht die wichtigsten Ergebnisse der bisherigen sommerlichen Abflußmessungen im Vernagtbach zusammengestellt werden, ohne daß allerdings auf deren Zusammenhänge mit den Massenbilanzuntersuchungen näher ein-

Tab. 1: Abflußwerte der Pegelstation Vernagtbach
 Einzugsgebiet (Eg): 11,441 km²
 Gletscherfläche (Gl): 9,301 km²

	Mittl. Abfluß m ³ /s	Abfluß- menge 10 ³ m ³	Abflußhöhe Eg Gl mm mm		Abflußspende Eg Gl l/s km ² l/s km ²		Bemerkungen
1974							
Mai	0,072	136,8	12	15	6,3	7,7	ab 10. 5.
Juni	0,284	735,6	64	79	24,8	30,5	
Juli	1,051	2813,6	246	302	91,9	113,0	
August	2,037	5455,1	477	587	178,0	219,0	
September	0,973	2522,6	221	271	85,0	104,6	
Oktober	—	—	—	—	—	—	
Mittel	1,086	—	—	—	94,9	116,8	
Summe	—	11526,9	1008	1239	—	—	
1975							
Mai	0,115	307,4	27	33	10,1	12,4	ab 1. 5.
Juni	0,443	1147,8	100	123	38,7	47,6	
Juli	1,789	4790,5	419	515	156,4	192,3	
August	2,006	5371,5	469	576	175,3	215,7	
September	1,066	2761,4	241	297	93,2	114,6	
Oktober	0,902	779,5	68	83	78,8	97,0	bis 10. 10.
Mittel	1,326	—	—	—	115,9	142,5	
Summe	—	14071,2	1229	1511	—	—	
1976							
Mai	0,206	285,4	25	31	18,0	22,1	ab 16. 5.
Juni	0,916	2375,5	208	255	80,1	98,5	
Juli	2,514	6734,8	589	724	219,7	270,3	
August	0,743	1991,3	174	214	64,9	79,9	
September	0,321	817,6	71	88	28,1	34,5	
Oktober	0,215	278,1	24	29	18,8	23,1	bis 15. 10.
Mittel	1,123	—	—	—	98,2	120,8	
Summe	—	11919,2	1042	1281	—	—	

gegangen wird. In Tabelle 1 sind die Monatsmittelwerte des Abflusses für die jeweils vollständig durch ungestörte Registrierungen des Wasserstandes erfaßten Monate Juni bis September wiedergegeben. Dazu werden die Mittelwerte weiterer Registrierabschnitte im Mai und Oktober angegeben, soweit diese gleichfalls noch ungestörte Registrierungen aufweisen. Die Mittelwertbildung basiert dabei für die Sommer 1974 und 1975 auf Stundenwerten der Wasserführung, wie sie durch die Auswertung der Bandschreiberregistrierung erhalten wurden. Die Angaben für 1976 sind mit Hilfe von viertelstündlich auf Lochstreifen gestanzten Werten des Wasserstandes berechnet worden, wobei die Umrechnung in Abflußwerte auf Grund der in Abb. 6 wiedergegebenen Abflußkurve, jeweils unter Berücksichtigung der für den Spülvorgang anzubringenden Korrektur erfolgte. Zwar ist die Wasserführung in der übrigen Zeit gleichfalls weitgehend durch Aufzeichnungen belegt, doch bedürfen diese wegen der durch den Eisansatz in der Meßrinne gegebenen Querschnittseinengungen zum Teil größerer Korrekturen, so daß es für diese Zeit einfacher und wegen

des völligen Fehlens von Schwankungen der Wasserführung auch zulässig ist, die zahlreich und zu den verschiedensten Zeiten während des Winters und Frühjahrs durchgeführten Einzelmessungen für die Ermittlung der Abflußbeträge heranzuziehen. Da die Abflüsse in dieser Zeit weder mengenmäßig noch im Zusammenhang mit Gletscher- oder Witterungsvorgängen von Bedeutung sind, sollen sie in dieser Zusammenstellung außerachtgelassen werden. Für die vollständigen Monate Juni bis September sind in Tab. 1 auch noch die Abflußsummen in 10^3m^3 sowie die Abflußhöhen in mm und die Abflußspenden in $1/\text{s km}^2$ angegeben. Die beiden letzteren Größen sind dabei für die Fläche des Einzugsgebietes (Eg) sowie die des Gletschers (Gl) berechnet worden, womit der Umstand berücksichtigt werden soll, daß zu dieser Jahreszeit der Abfluß im wesentlichen aus dem vom Gletscher kommenden Schmelzwasser gespeist wird.

In den Abflußmitteln über diese vier Monate und damit auch in den Summenwerten unterscheiden sich die drei erfaßten Sommer nur geringfügig. Die höchsten Werte weist der Sommer 1975 auf, bedingt durch eine in allen Monaten vergleichsweise hohe mittlere Wasserführung, ohne jedoch zu irgendeiner Zeit Extremwerte zu erreichen. Der in den Monatsmitteln erkennbare Gang zeigt in den ersten beiden Sommern einen recht ähnlichen Verlauf mit den kleinsten Werten jeweils im Juni, einem raschen Anstieg zu hohen Werten im Juli, während die höchsten Monatsmittel jeweils im August auftreten. Die Verhältnisse des Sommers 1976 unterscheiden sich von dieser für Gletscherbäche als normal anzusehenden Situation (Lanser, 1959) grundsätzlich, indem die höchsten Mittelwerte auf die ersten beiden der betrachteten Monate entfallen. Der Juniwert 1976 ist dabei mehr als doppelt so hoch wie der Vergleichswert des Vorjahres und auch noch größer als der Augustwert des gleichen Sommers. Der Juli 1976 weist mit $2,514 \text{ m}^3/\text{s}$ das bisher höchste Monatsmittel auf. Am 18. dieses Monats wird mit $4,760 \text{ m}^3/\text{s}$ auch das höchste Tagesmittel und mit $7,232 \text{ m}^3/\text{a}$ an diesem Tag gleichfalls das höchste Stundenmittel erhalten, der Maximalwert des Abflusses betrug am gleichen Tag $7,616 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Vergleich der vorliegenden mittleren Abflußwerte vom Vernagtbach mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen begegnet erheblichen Schwierigkeiten. Diese resultieren vornehmlich daraus, daß die für Vergleichszwecke gedachten spezifischen Größen wie Abflußhöhe oder Abflußspende wesentlich vom Vergletscherungsverhältnis des Einzugsgebietes abhängen. Als die wichtigste zu einem Vergleich geeignete Untersuchung ist die überaus sorgfältige und umfassende Analyse der Abflußmessungen für das $26,62 \text{ km}^2$ große und zu 58% vergletscherte Einzugsgebiet von Hintereis- und Kesselwandferner für die Jahre 1958 und 1959 von H. Lang (1966) anzusehen, deren Meßwerte, verglichen mit den Daten der Pegelstation Vernagtbach, unter ungleich schwierigeren und mühsameren Bedingungen gewonnen wurden, wegen der häufig und zum Teil erheblich veränderten Abflußkurven für die Pegelstelle Steg-Hospiz (S-H) aber nicht das gleiche Maß an Sicherheit und Genauigkeit aufzuweisen vermögen.

Die für den Pegel S-H wesentlich höheren Mittelwerte des Abflusses in den Vergleichsmonaten Juni bis September können nicht nur mit der größeren Gletscherfläche ($15,45 \text{ km}^2$) dieses Einzugsgebietes erklärt werden. Mittelt man über den vergleichbaren Zeitraum aller vorliegenden Jahre für beide Stationen, so steht einem Abflußwert von $3,824 \text{ m}^3/\text{s}$ für den Pegel S-H ein Wert von nur $1,178 \text{ m}^3/\text{s}$ für den Vernagtpegel gegenüber, d. h. die auf die Gletscherfläche bezogene Abflußspende ist für das Hintereisgebiet mit 247 l/s km^2 etwas mehr als doppelt so groß wie für das Vernagt-

gebiet, für das der entsprechende Wert 127 l/s km^2 beträgt. Selbst bei der Reduktion der Abflüsse auf die Flächen der Einzugsgebiete, die, wie bereits erwähnt, sicher problematisch ist, resultiert für das Hintereisgebiet eine um rund 50% höhere mittlere Abflußspende. Ein Teil dieser größeren Abflußbeträge ist durch die negativen Massenbilanzen der Gletscher des Einzugsgebietes S-H in den beiden erfaßten Jahren 1958 und 1959 bedingt. Daß aber das Vernagtgebiet insgesamt geringere Abflußspenden aufweist, legen auch andere Vergleiche nahe. So wird als höchstes Tagesmittel der Meßreihe am Pegel S-H für den 10. Juli 1959 ein Wert von $15,20 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, als höchstes Zweistundenmittel am gleichen Tag $10,24 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben. Die entsprechenden Abflußspenden betragen 640 l/s km^2 bzw. 950 l/s km^2 , bezogen auf die Gletscherfläche, was in dem Fall zulässig ist, da es sich ausschließlich um Schmelzwasserabfluß handelt. Die höchsten Abflüsse am Vernagtpegel, die gleichfalls ausschließlich vom Schmelzwasser gespeist werden, wurden bereits genannt. Die vergleichbaren Abflußspenden betragen hier nur 512 l/s km^3 bzw. 778 l/s km^3 , wobei dieser letztere Wert als Einstundenmittel noch höher anzusetzen ist.

Diese wenigen Angaben können indessen nur als ein Hinweis betrachtet werden. Ein genauerer Vergleich der Abflußdaten muß vor allem die unterschiedliche mittlere Höhe der beiden Einzugsgebiete (S-H: 2915 m, Vernagt: 3125 m) und deren ebenso unterschiedliche Flächen-Höhen-Verteilung berücksichtigen. Die überaus wichtige Frage der tatsächlichen Minderung der Abflußspenden, in dem Fall der Gletscherspenden, als Folge der noch immer anhaltenden Schrumpfung der Zungenbereiche und des seit 1964 festzustellenden Trends zu positiven Massenbilanzen der Gletscher bedarf einer weiteren eingehenden Untersuchung.

7.2. ABFLUSSGANG UND WITTERUNG

Die bereits in den Mittelwerten sich abzeichnende Ausnahmesituation des Sommers 1976 wird verursacht durch die ausgeprägte, langanhaltende Hitze- und Trockenperiode in der ersten Sommerhälfte dieses Jahres, deren regionaler Schwerpunkt zwar nicht im Alpengebiet lag, sich dort aber noch hinreichend auswirkte. Die niedrigen Abflußwerte der zweiten Sommerhälfte sind bedingt durch ebenso anhaltendes Schlechtwetter mit niedrigen Temperaturen und wiederholten, zum Teil ergebigen sommerlichen Neuschneefällen, die schließlich dazu führten, daß der Beitrag der sommerlichen Schneefälle zur Akkumulation den der Rücklage aus dem Winter 1975/76 übertraf.

Wesentlich klarer erkennbar noch wird der Einfluß dieser markanten Witterungsphasen auf das Abflußgeschehen in der Ganglinie der Tagesmittelwerte des Abflusses, wie sie Abb. 7 und Abb. 8 für die Sommer 1975 und 1976 zeigen. Aber auch alle übrigen Witterungsabschnitte können über deren Einfluß auf die Ablation und damit auf den Abfluß identifiziert werden. Dies gilt gleichermaßen für deren Intensivierung durch strahlungsreiche Schönwetterabschnitte als auch deren Reduzierung durch Schlechtwetterphasen mit Niederschlägen, speziell bei Neuschneefällen, was durch den abrupten Übergang von der Hitzeperiode zum nachfolgenden Schlechtwetter am 22./23. Juli 1976 besonders drastisch demonstriert wird. Ebenso eindrucksvoll wird durch diese Verhältnisse das dem normalen nahezu inverse glaziale Abflußregime und sein kompensierender Effekt auf die Wasserführung der Vorfluter gezeigt. Die kontinuierliche Abflußerfassung ermöglicht damit außerdem eine dem Witterungsablauf angemessene zeitliche Auflösung der ablativen Vorgänge auf dem Gletscher und in der Folge davon eine witterungsmäßige Interpretation der lediglich als Summen-

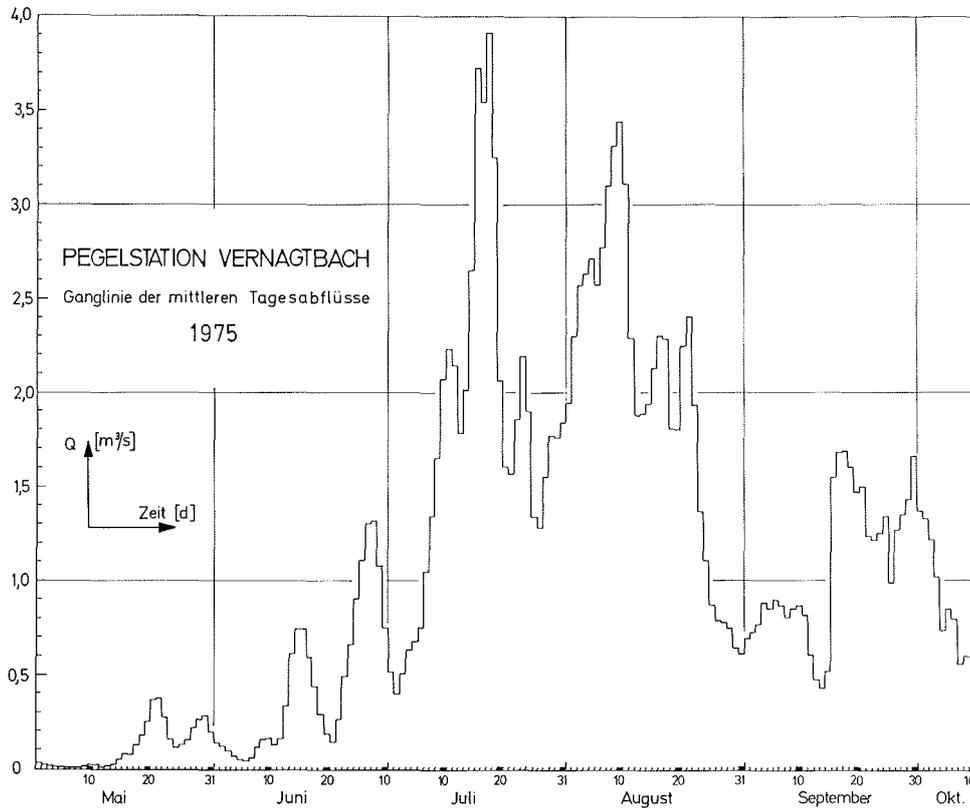


Abb. 7: Ganglinie der mittleren Tagesabflüsse für den Sommer 1975.

wert erhaltenen, glaziologisch bestimmten Massenbilanz des Gletschers. Der Vergleich der beiden Haushaltsjahre 1974/75 und 1975/76 bietet dafür ein hervorragendes Beispiel: Beide Jahre schließen mit einer leicht positiven Massenbilanz ab, Ablationsbeträge und Abflußmengen weichen gleichfalls nur geringfügig voneinander ab, die meteorologischen Bedingungen aber, die zu diesem Ergebnis führten, unterscheiden sich in den beiden Jahren grundlegend.

7.3. DER TAGESGANG IM GLETSCHERABFLUSS

Geben die Monats- und Tagesmittelwerte bereits wertvolle Aufschlüsse über die Ablationsvorgänge in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen, so lassen die tagesperiodischen Schwankungen zusätzlich auf den Gletscherzustand schließen und ergänzen damit wesentlich die über den Gletscherabfluß möglichen Aussagen zur Gesamtsituation des Gletschers. Als Phänomen ist die Tagesperiodik in der Wasserführung seit langem bekannt (Hess, 1904), in ihren Ursachen als Folge des Tagesganges des meteorologischen Wärmehaushalts an der Gletscheroberfläche durch sorgfältige Untersuchungen hinreichend gesichert (Lang, 1967).

Im Rahmen der glazialhydrologischen Arbeiten am Vernagtferner gilt der Analyse der Tagesschwankungen vor allem als Indikator für die Fließ- und Verweilzeiten des

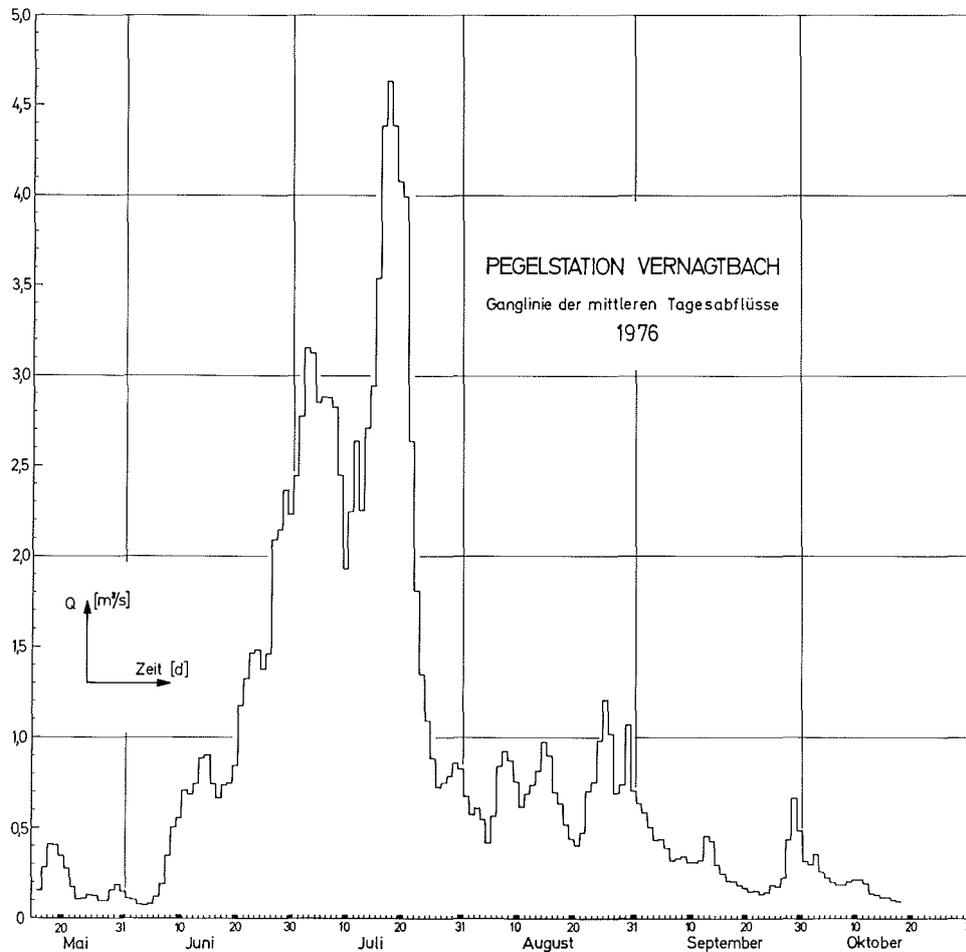


Abb. 8: Ganglinie der mittleren Tagesabflüsse für den Sommer 1976.

Schmelzwassers, d. h. für den Zustand des temporären glazialen Abflußsystems besondere Aufmerksamkeit. Abb. 9 zeigt die mittleren Tagesgänge für die Sommermonate 1975 und 1976, Tab. 2 enthält dazu einige Zahlenwerte, nämlich das kleinste und größte monatliche Stundenmittel und deren Differenzwert sowie die zugehörige Stundenangabe. Für 1975 ergibt sich, ebenso wie für die analogen Werte von 1974, eine stetige Zunahme des Schwankungsbetrages sowie eine zeitliche Vorverschiebung des maximalen Stundenwertes. Ein ganz ähnliches Bild zeigen die Vergleichswerte von 1958 für das Einzugsgebiet Steg-Hospiz, wenn auch mit keiner so deutlichen Verschiebung der Eintrittszeit des Maximums (Lang, 1966). Im Sommer 1976 fällt die maximale Schwankung bereits auf den Juli und stellt zugleich, wie der mittlere

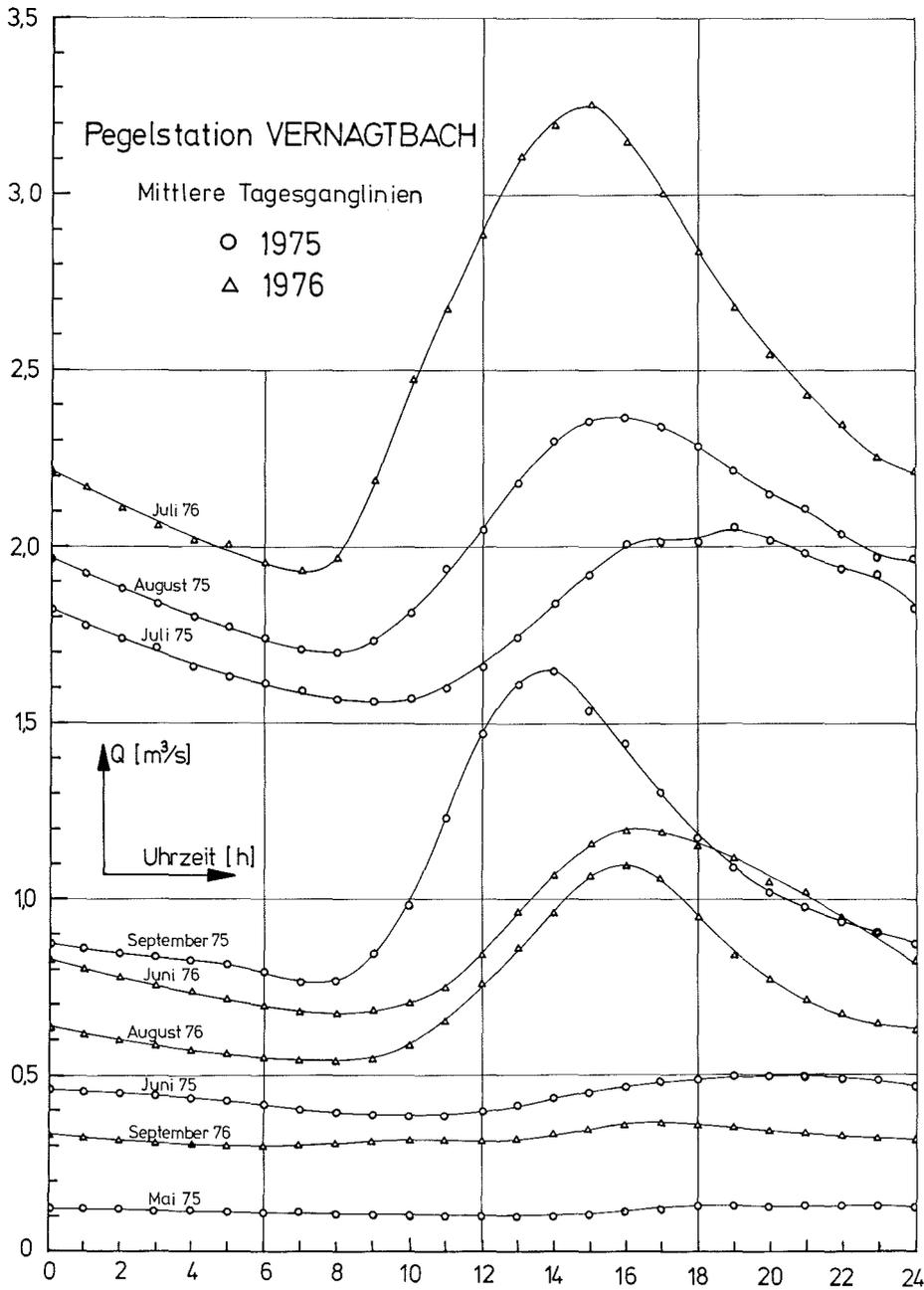


Abb. 9: Mittlerer Tagesgang des Abflusses an der Pegelstation Vernagtbach für einzelne Monate der Sommer 1975 und 1976.

Tab. 2: Tagesschwankung im Abfluß
Extrema der mittleren Stundenwerte

	M i n i m u m		M a x i m u m		mittl. Schwankung m ³ /s
	Betrag m ³ /s	Uhrzeit	Betrag m ³ /s	Uhrzeit	
1975					
Juni	0,384	10.00	0,495	20.00	0,111
Juli	1,560	9.00	2,058	19.00	0,490
August	1,700	8.00	2,366	16.00	0,666
September	0,780	7.00	1,645	14.00	0,865
1976					
Juni	0,676	8.00	1,199	16.00	0,523
Juli	1,928	7.00	3,255	15.00	1,327
August	0,541	8.00	1,100	16.00	0,559
September	0,300	6.30	0,367	17.00	0,067

Abfluß selbst, den maximalen Wert der bisherigen Reihe dar. Ein ebenso früher Eintrittstermin für das Maximum wie im September 1975 wird jedoch nicht erreicht. Im August 1976 nimmt die mittlere Tagesschwankung wieder ab und gleichzeitig tritt eine Verschiebung der Extremwerte zu späteren Terminen ein. Die fast winterlichen Verhältnisse vom September 1976 unterdrücken bereits die Tagesschwankung weitgehend. Die auch in dieser Beziehung sehr unterschiedlichen Verhältnisse der beiden Sommer 1975 und 1976 lassen besonders deutlich den Einfluß des Ausaperungsvorganges des Gletschers und die sich damit verschiebende flächenmäßig anteilige Wirksamkeit von Versickerungs- und Gerinnefließvorgängen am Schmelzwassertransport erkennen. So wurde 1975 die maximale Ausaperung erst Anfang Oktober erreicht, während 1976 bereits das Ende der frühsommerlichen Hitzeperiode die Maximalausdehnung des Aperbereichs markiert.

Die Amplituden- und Phasenbeziehung ist jedoch nicht nur eine einfache Funktion des Flächenverhältnisses von aperen zu schnee- bzw. firnbedeckten Bereichen des Gletschers, sondern hängt noch wesentlich von der Leistungsfähigkeit der Gerinnesysteme auf und im Gletscher ab, die sich im Laufe des Sommers als Folge des zunehmenden Schmelzwasseranfalls entwickeln. So vermag im September 1975 bei bereits wieder abnehmenden Ablationsraten ein gut ausgebildetes Abflußsystem das anfallende Schmelzwasser mit einer nur von den Gerinnefließzeiten abhängigen Verzögerung in den Gletscherbach einzuspeisen, was bei den relativ kurzen Fließstrecken im Vernagtgebiet dazu führt, daß der Maximalwert im Mittel bereits um 14 Uhr erreicht wird. Trotz der mit erheblich größerer Wasserführung im Juli 1976 gegebenen höheren Fließgeschwindigkeit wird hier das Maximum erst später erreicht, offensichtlich weil noch kein ausreichend leistungsfähiges Abflußsystem im Gletscherbereich vorhanden war.

Die weitere Untersuchung des Tagesgangs des Abflusses, speziell in Verbindung mit zusätzlichen Analysen der Wasserqualität etwa mit Hilfe der Anteile der natürlich im Wasser vorkommenden Isotope oder der elektrolytischen Leitfähigkeit des Bachwassers, lassen eine weitgehende Differenzierung der die Grundlast und den überlagerten periodisch schwankenden Anteil speisenden Wassermengen bezüglich ihrer Herkunft aus Schnee-, Firn- oder Eisablation und der entsprechenden charakteristischen Fließzeiten erwarten (Behrens et al., 1975). Die Anwendung von Tracer-Methoden, in dem Falle von Fluoreszenzfarbstoffen für Versuche von begrenzter Dauer

bietet ein weiteres, wichtiges Hilfsmittel in diesem Zusammenhang (Ambach et al., 1972, 1975). Durch ergänzende meteorologische Messungen und Untersuchungen zum Wasserdruck im Gletscher sollte es möglich werden, den komplexen Wasserhaushalt eines temperierten Gletschers und dessen Wechselwirkungen mit den meteorologischen und glaziologischen Gegebenheiten einigermaßen vollständig beschreiben zu können. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge bildet indessen nicht nur eine Voraussetzung für das Verständnis und die weitere Behandlung zahlreicher anderer Phänomene und Vorgänge im glazialen Bereich, sondern ist wegen ihrer wasserwirtschaftlichen Bedeutung und anderer anwendungsbezogener Aspekte (Leys und Reinwarth, 1975) von erheblichem praktischen Wert.

8. SCHLUSSBEMERKUNG

Im 4. Abschnitt über die Baugeschichte wurden bereits die meisten der Institutionen genannt, von deren Zustimmung, Förderung oder aktiver Mitarbeit die Realisation des Projektes Pegelstation Vernagtbach abhängig war, und deren stets wohlwollende Unterstützung hier nochmals dankbar vermerkt wird. Besonders hervorgehoben seien jedoch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die in großzügiger Weise die Mittel für das Vorhaben bereitstellte, und die Gebietsbauleitung Imst der Wildbach- und Lawinerverbauung, deren Leiter HR Dipl.-Ing. Dr. Leys sich zur Bauausführung im Gelände ebenso wie zur Übernahme der umfangreichen Vorarbeiten für die eigentliche Baumaßnahme durch seine Dienststelle bereit erklärte. Die von den beiden Bautrupps unter Herrn Ruetz und Herrn Rettenbacher bei zeitweilig härtesten Bedingungen geleistete Arbeit verdient dabei größten Respekt und Anerkennung. Die Lösung des schwierigen Transportproblems ist dem perfekten Einsatz der Hubschrauberpiloten der Unternehmen Aircraft-Innsbruck und Heli-Austria, Salzburg, zu danken, aber auch der Hüttenwirt der Vernagthütte, Herr Scheiber, war mit zahlreichen Zwischentransporten behilflich.

Vielfältige sonstige Hilfen erleichterten die Arbeit im Planungsstadium ebenso wie bei den späteren Installationen und Ergänzungen. Dies gilt besonders für die Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg, dem Physikalischen Institut der Universität Innsbruck und der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. Herrn Dipl.-Ing. Bisatz vom Wasserbaulabor dieser Anstalt ist für wertvolle technische Hinweise und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Kasser, Direktor der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, für die Unterstützung bei der Antragstellung zu danken. Herr Dipl.-Ing. Rentsch führte die geodätischen Arbeiten im Gelände durch.

Nicht minder wichtig sind jedoch die Hilfen bei den seit der Fertigstellung der Station anfallenden Arbeiten zur Wartung, Erhaltung und Ergänzung der Anlage. Die dabei gezeigte Bereitschaft, vor allem aber die bewährte Zusammenarbeit mit den Herren Ing. Heucke, Dipl.-Ing. Oerter und Stadler sei besonders dankbar vermerkt.

Alle Bemühungen um die Errichtung eines Pegels im Vernagtbach hätten sich indessen erübrigt, wenn nicht günstige geländemäßige Voraussetzungen durch eine für den Einbau speziell geeignete begrenzte Bachstelle gegeben gewesen wären. Den Hinweis auf diese Stelle verdanken wir Herrn Prof. Hoinkes und dessen subtiler Geländekenntnis. Sein lebhaftes Interesse an dieser Einrichtung, in der er eine wesentliche Bereicherung des gesamten glazialhydrologischen Forschungsprogramms im Rofental sah, begleitete den Werdegang der Anlage von der ersten Geländebeobachtung am 15. November 1968 bis zu deren Inbetriebnahme am 20. September 1973, die er selbst in einer kleinen Feier vollzog, die allen Teilnehmern in lebhafter Erinnerung bleiben wird. Aber auch die spätere Vorstellung der Station in einem größeren Kreis von Gästen aus dem wissenschaftlichen Bereich, ebenso wie auch von anderen Institutionen und Behörden, blieb nicht ohne nachhaltigen Eindruck.

LITERATUR

Ambach, W., H. Behrens, H. Bergmann und H. Moser, 1972: Markierungsversuche am inneren Abflußsystem des Hintereisferners (Ötztaler Alpen). Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie 8, 1-2, 1972: 137-145.

- Ambach, W., M. Elsässer, H. Behrens und H. Moser, 1975: Studie zum Schmelzwasserabfluß aus dem Akkumulationsgebiet eines Alpengletschers (Hintereisferner, Öztaler Alpen). *Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie* 10, 1–2, 1974: 181–187.
- Behrens, H., H. Bergmann, H. Moser, W. Rauert, W. Stichler, W. Ambach, H. Eisner, K. Pessel, 1971: Study of the discharge of Alpine glacier by means of environmental isotopes and dye tracers. *Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie* 8, 1–2, 1972: 79–102.
- Böss, P., 1927: Berechnung der Wasserspiegellage. Berlin 1927.
- Brunner, K. und H. Rentsch, 1972: Die Änderung von Fläche, Höhe und Volumen am Vernagt- und Guslarferner von 1889 – 1912 – 1938 – 1969. Mit drei Kartenbeilagen 1:10.000. *Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie* 8, 1–2, 1972: 11–25.
- Hess, H., 1904: Die Gletscher. F. Vieweg Verlag, Braunschweig, 426 S.
- Institut für Radiohydrometrie (IfR), 1973: Jahresbericht 1973, GSF-Bericht R 97 München 1974.
- Institut für Radiohydrometrie (IfR), 1974: Jahresbericht 1974, GSF-Bericht R 111 München 1975.
- Jochum, O., 1973: Glazialhydrologische Untersuchungen mit der Farbverdünnungsmethode. Dissertation Universität Innsbruck 1973, 272 S.
- Lang, H., 1966: Hydrometeorologische Ergebnisse aus Abflußmessungen im Bereich des Hintereisferners (Öztaler Alpen) in den Jahren 1957 bis 1959. *Archiv f. Meteorologie, Geophysik u. Bioklimatol. Ser. B* 14: 280–302.
- Lang, H., 1967: Über den Tagesgang im Gletscherabfluß. *Veröffentlichungen d. Schweizer Meteorolog. Zentralanstalt* 4: 32–38.
- Lanser, O., 1959: Beiträge zur Hydrologie der Gletschergewässer. *Schriftreihe Österr. Wasserw. Verb.* 38.
- Leys, E. und O. Reinwarth, 1975: Auswirkung der Gletscher und der Gletscherabflüsse auf die Wildbach- und Lawinengefahr und ihre Berücksichtigung in den Gefahrenzonenplänen. *Internationales Symposium Interpraevent 1975, Innsbruck* 1: 345–357.
- Reinwarth, O., 1972: Untersuchungen zum Massenhaushalt des Vernagtferners (Öztaler Alpen) 1965–1968. *Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie* 8, 1–2, 1972: 43–63.
- Rudolph, R., 1962: Abflußstudien an Gletscherbächen, Methoden und Ergebnisse hydrologischer Untersuchungen in den zentralen Öztaler Alpen in den Jahren 1953–1955. Dissertation Universität Innsbruck 1961. *Veröff. Museum Ferdinandeum Innsbruck* 41: 117.
- Walser, E., 1971: Wassermessstationen an geschiefbeführenden Gebirgsflüssen. *IHD-Symposium Hydrometrie Koblenz 1970. Bes. Mitteilungen z. Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch* 35: 225–232.

Manuskript eingelangt am 21. März 1977, ergänzt am 12. Mai 1977.

Anschrift der Verfasser: o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heinz Bergmann
 Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie
 Technische Universität Graz
 Dietrichsteinplatz 15/7, A-8010 Graz
 Dipl.-Met. Oskar Reinwarth
 Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der
 Wissenschaften,
 Marstallplatz 8, D-8000 München 22