E. Leys, Imst und O. Reinwarth, München

Auswirkungen der Gletscher und der Gletscherabflüsse auf die Wildbach- und Lawinengefahr und ihre Berücksichtigung in den Gefahrenzonenplänen

Répercussions des glaciers et des écoulements glaciaires sur les risques de crues et d'avalanches figurat dans les ‚plans des zones risques'

Ripercussioni dei deflussi dei ghiacciai sul pericolo d'acqua alta e di valanghe figuranti nei ‚piani delle zone di pericolo'

Résumé

Le présent rapport se propose de fixer, sous forme simplifiée et utilisable en pratique, des observations et des résultats scientifiques dans le domaine de l'écoulement glacial. On a, en outre, essayé de démontrer des dangers provoqués par les glaciers en ce qui concerne les avalanches de glace et les crues torrentielles qui sont à classer dans les plans de zones de risque et qui sont d'une certain importance pour la surveillance des glaciers en vue de reconnaitree et d'éviter ces dangers.

En outre ce rapport veut prouver que la glaciologie est en rapport étroit avec la pratique. Une grande partie des nouvelles connaissances sur le comportement des glaciers est immediatement appliquée en pratique. Il serait cependant sohaitable que le contact entre les glaciologues et les techniciens soit intensifié.

Riassunto

Il presente rapporto si propone il compito di fissare, in modo semplificato e realizzabile in pratica, osservazioni e risultati scientifici concernenti il deflusso d'acqua dei ghiacciai. Si è inoltre cercato di segnalare i pericoli provocati dai ghiacciai quali le valanghe di ghiaccio e le piene torrentizie che dovranno essere inseriti nei „piani di zone di pericolo" e che risultano importanti per la sorveglianza dei ghiacciai di modo de porter diagnosticare e prevenire tali pericoli.

Inoltre si è voluto dimostrare che la glaciologia è strettamente commessa alla realtà pratica. Una grande parte delle ultime nozioni sul comportamento dei ghiacciai è direttamente applicabile in pratica. Sarebbe quindi auspicabile intensificare il contatto fra i glaciologi e gli esperti pratici in materia.

Der Einfluß der Eiszeit auf die Besiedelung der Alpentäler

Die Spuren der Eiszeiten sind einerseits an den durch Erosionswirkung entstandenen Geländeformen (Trogtäler, Terrassen, Talstufen, Kare und Rundbuckel etc) abzulesen und zum anderen in den vielfältigen syn- und postglazialen Ablagerungen (Moränenwälle, Verlandung übertiefter Täler und Seenbecken, Schwemmkegel und Bergstürze) erkennbar. Es genügt, auf die zu diesem Thema reichliche Fachliteratur zu verweisen.

Viele dieser Glazialformen wurden in den Alpen zu bevorzugten Siedlungsgründen. Sie bieten relativen Schutz vor Naturgefahren, sind kleinklimatisch und auch von

den Bodenbildungen her für die land- und almwirtschaftliche Nutzung günstig. Hier wäre an die Wiederbewaldung im Gefolge des Rückzuges der Vereisung und an das mit der Besiedelung beginnende jahrtausendealte Wechselspiel zwischen dem Wald samt dem von ihm ausgehenden Schutz und dem Rodungswillen der Siedler zu erinnern.

Den Gletschern kommt im Wasserhaushalt der Landschaft sowohl langfristig, durch Bindung oder Abgabe von Wasser im Rhythmus des Gletscherregimes, als auch kurzfristig durch Beeinflussung des Abflusses in den Bergbächen große Bedeutung im Hinblick auf die dadurch bedrohten Siedlungen zu. Ausbrüche von Schmelzwasser in Verbindung mit extremer Abschmelzung, aber auch die mögliche Überlagerung von Gletscherabfluß mit lokalen Extremniederschlägen bilden Gefahren, die bei der Ausarbeitung von Gefahrenzonenplänen berücksichtigt werden müssen.

Beträge und zeitliche Verteilung der Abflüsse von Gletschern

Entstehung und Bestand von Gletschern ist bekanntlich daran gebunden, daß generell im Nährgebiet die Ansammlung fester Niederschläge größer ist, als die Ablation. Das setzt u. a. ausreichende Niederschläge und einen entsprechenden Gang der Lufttemperatur voraus.

Wir zitieren hierzu HOINKES 1972: „Heute kann beispielsweise in den Alpen oberhalb 2000 m Höhe zu jeder Jahreszeit Schnee fallen und einige Tage lang den Boden bedecken; ab 3.500 m Höhe fällt bereits der gesamte Niederschlag eines Jahres als Schnee". Als Faustregel mag gelten, daß in den Ostalpen über 3000 m Höhe etwa 1/3 der Niederschläge als Regen und 2/3 als Schnee fallen. Soweit der Schnee in die Firn- und Eisbildung einbezogen wird, bedeutet das eine langfristige Retension, soweit er wieder abschmilzt einen kurzfristigen Rückhalt, der aber für das Maß eines Katastrophenabflusses bedeutungsvoll sein kann wie noch ausgeführt wird.

Der Gletscherabfluß ist charakterisiert durch einen ausgeprägten Jahresgang mit Minimalbeträgen im Winter und Frühjahr, einer deutlichen Zunahme der Werte mit fortschreitender Ausaperung des Gletschers bis zum Abflußmaximum im Spätsommer und Frühherbst, sowie der nachfolgenden raschen Abnahme der Abflußmengen vom Herbst zum Winter.

Allgemein kann für teilweise vergletscherte Einzugsgebiete davon ausgegangen werden, daß bei einem Anteil der Gletscherfläche am Einzugsgebiet von mehr als 40 % das glaziale Abflußregime – gekennzeichnet durch einen starken Temperatureinfluß – deutlich überwiegt, während bei Anteilen kleiner als 30 % der Abflußvorgang im wesentlichen vom Niederschlagsgeschehen bestimmt wird. Größere Einzugsgebiete mit Gletscheranteilen zwischen 30 - 40 % weisen die geringste Streuung der Abflußbeträge und damit eine sehr ausgeglichene Wasserführung auf (Kasser 1960).

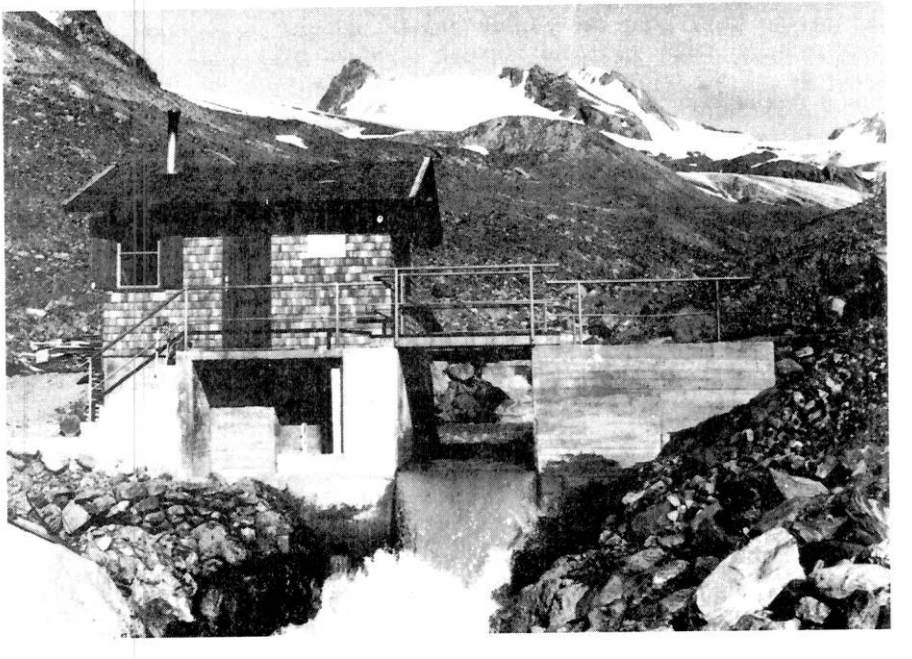
Insgesamt hat der seit der Jahrhundertwende anhaltende Gletscherschwund die Wasserführung in den Gletscherbächen über die aus dem Niederschlag zu erwartenden Werte angehoben. Mit der laufenden Verringerung des Gletscherareals macht sich jedoch nunmehr eine Minderung der Abflußwerte bemerkbar, die bereits zu

einer statistisch signifikanten Abnahme der Wasserführung von Alpenflüssen geführt hat (Kasser 1973).

Diese Hinweise zeigen deutlich die Wichtigkeit von Meßstellen zur kontinuierlichen Erfassung der Abflüsse vergletscherter Einzugsgebiete, möglichst mit gleichzeitiger Aufzeichnung der meteorologischen Elemente.

Als das am intensivsten kontrollierte vergletscherte Einzugsgebiet im Ostalpenbereich kann das Rofental in den Ötztaler Alpen gelten, in dem eine Vielzahl glazialmeteorologischer und glazialhydrologischer Untersuchungen in einer engen Zusammenarbeit der Universität Innsbruck und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, unterhalten werden. (Hoinkes 1970a). Die Abflußmeßstelle Rofenache mit einem Einzugsgebiet von 98 km2 bei einem vergletscherten Anteil von 44 % und die im Sommer 1973 durch die Gebietsbauleitung Imst der Wildbach- und Lawinenverbauung in 2.640 m Seehöhe errichtete Pegelstation Vernagtbach der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften mit einem 11,6 km2 großen Einzugsgebiet, das zu 85 % vergletschert ist, ermöglichen es sowohl für ein größeres Gebiet wie detailliert für den 9,6 km2 großen Vernagtferner, sorgfältig den Einfluß der Gletscher auf die Abflußvorgänge zu analysieren. Eine Ansicht der Pegelstation Vernagtbach mit dem Vernagtferner im Hintergrund zeigt Abb. 1.

Als Richtwert für die Abschmelzung auf dem aperen Teil des Gletschers (Zungenbereich) können an einem Sommertag ca. 50 mm Eisablation/Tag (= 45 mm



Wasser/Tag) angesetzt werden, Maximalbeträge liegen bei 100 mm Eisablation/Tag (= 90 mm Wasser/Tag). Diesen Ablationsbeträgen entsprechen Schmelzwasserproduktionen von 45.000 bzw. 90.000 m3/km2 Eisfläche und Tag.

Welche Wirkung und Größenordnung hat das Rückhaltevermögen von Schnee für Flüssigwasser?

Der Schmelzwasserbeitrag aus dem Firngebiet ist schwer angebbar, da ein erheblicher Teil des dort geschmolzenen Materials zeitweilig in den Porenräumen zurückgehalten wird und erst mit erheblicher Verzögerung in den Abfluß eingeht. Er bewirkt, daß zur Zeit ansteigender Abflußwerte die Abflußmengen geringer sind als die aus der effektiven Schmelzung zu erwartenden Beträge. Bei abnehmender Wasserführung gelangen durch Entleeren der Kapillarräume größere Beträge zum Abfluß, als sie der tatsächlichen Schmelzung entsprechen.

Dieser über die langsame Versickerung des Schmelzwassers im Firn- und Schneebereich des Gletschers gespeiste Abflußbetrag weist nur relativ geringe Schwankungen auf und bildet damit weitgehend den Grundstrom, d.h. die nach Abzug des tagesperiodischen Anteils verbleibende Wasserführung im Gletscherbach.

Über das Rückhaltevermögen von Schnee, aber auch von Firn für Flüssigwasser wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, wobei angenommen werden darf, daß an Schneedecken vorgenommene Untersuchungen auf die Schneeverhältnisse am Gletscher übertragbar sind.

Der Sättigungswassergehalt (= freier Wassergehalt, der vom Schnee gerade gehalten werden kann, ohne daß Abfluß eintritt), der sich im stationären Zustand stets einstellt, sofern genügend Schmelz- und/oder Regenwasser vorhanden ist, hängt ab von der Schneedichte, Korngröße und Kornform, die dabei in komplizierter Weise zusammenwirken.

Feinkörniger Schnee (z. B. Neuschnee) vermag mehr Wasser zurückzuhalten als grobkörniger Schnee (Altschnee, Firn).

Die Zahlenangaben zum Sättigungswassergehalt sind sehr unterschiedlich, sie variieren zwischen 1 - 55 %. Die folgenden Zahlen können jedoch als Orientierung dienen:

Schneeart	Raumgewicht	Freier Wassergehalt (Sättigungswassergehalt)
Neuschnee	300 - 400 kg/m3	20 - 30 %
Altschnee, feinkörnig	400 - 450 kg/m3	10 - 20 %
Altschnee, grobkörnig	450 - 500 kg/m3	5 - 10 %

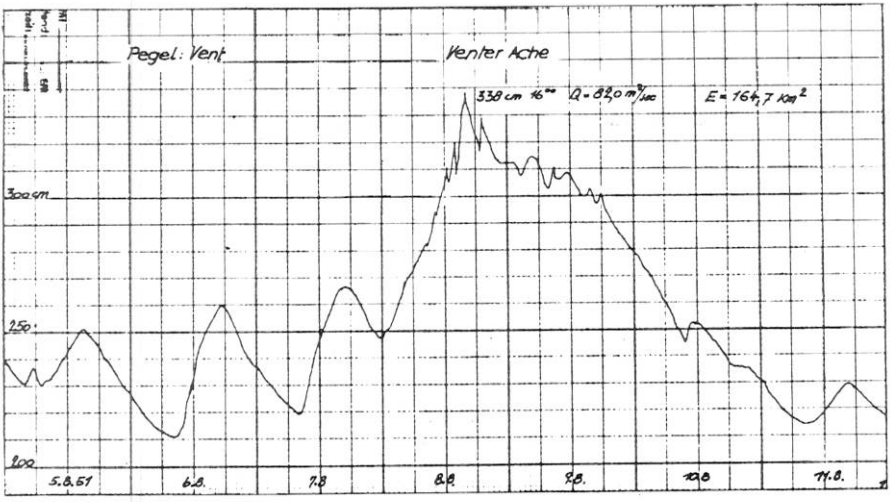
Der Sättigungswassergehalt stellt sich vor allem in einem, je nach Korngröße ca. 3 - 8 cm hohen Kapillarsaum über einer wasserundurchlässigen Schicht ein, z. B. über den im Frühjahr in der Schneedecke zahlreich vorhandenen Eishorizonten.

Wie wirken sich Niederschläge auf die Gletscherabflüsse aus?

Die Wasserführung im Gletscherbach reagiert sehr empfindlich auf die meteorologischen Bedingungen im Gletscherbereich und deren Veränderung. Zeigt der Abflußgang bei ungestörtem Strahlungswetter eine annähernd sinusförmige Schwankung, so bewirken starke Bewölkung und insbesonders Niederschlag eine wesentliche Modifizierung der Abflußganglinie mit allgemein verminderten und unperiodisch schwankenden Abflußmengen. Beispiele für gestörte und ungestörte Wasserstandsganglinien zeigen die nachfolgenden 3 Abbildungen. Sie geben Auswertungen des Pegels Vent/Venterache mit einem Einzugsgebiet von 167,7 km2 des Jahres 1951 (Abb. 2) und der Pegelstelle Vent/Rofanache mit einem Einzugsgebiet von 96,2 km2 der Jahre 1969 und 1970 (Abb. 3 u. 4) wieder. Die dazugehörigen Temperaturtagesmittel und die Tagesniederschläge ermöglichen eine Interpretation des Abflußgeschehens. Die Unterlagen wurden freundlicherweise von Herrn Oberbaurat Dipl.Ing. E. Zangerle vom Hydographischen Dienst der Tiroler Landesregierung zur Verfügung gestellt.

Bei Regenwetter wird oft eine rasche Schneeschmelze beobachtet.
Diese ist bedingt durch (Lang 1974),
Zufuhr von latenter Wärme als Folge der Kondensation von Wasserdampf an der schmelzenden Schneeoberfläche;
Verminderung der Albedo der Schneedecke durch Speicherung von Regenwasser im Schnee;
Zeitweilig positive langwellige Strahlungsbilanz der Schneeoberfläche und direkte Wärmezufuhr mit dem flüssigen Niederschlag.

Abbildung 2: Wasserstandsganglinie des Pegels Venterache für die Zeit vom 05. 08. - 11. 08. 1951.



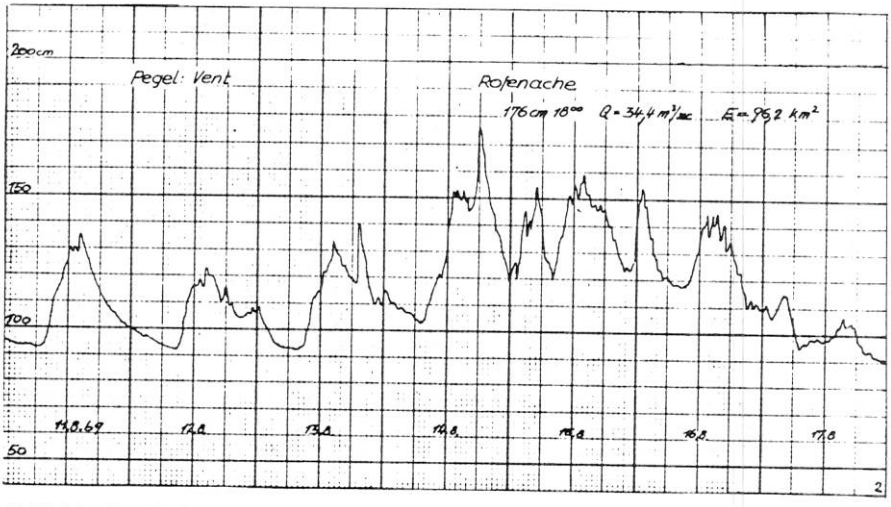
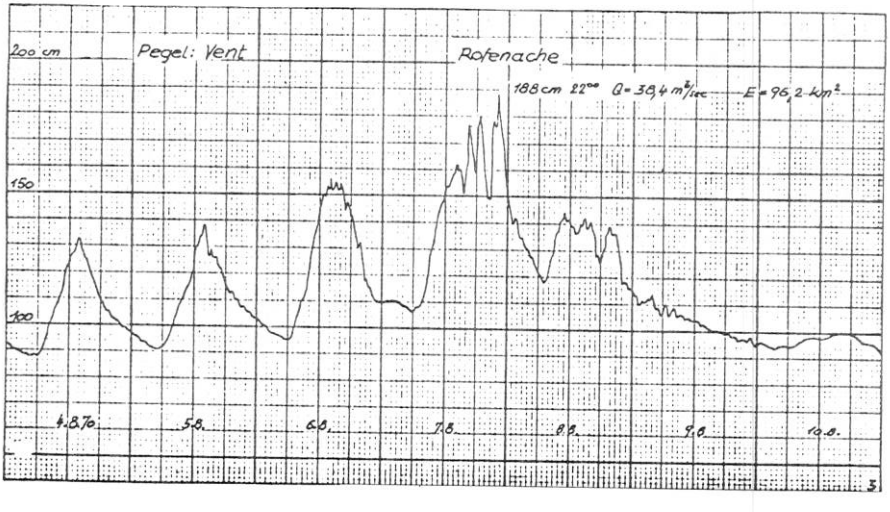


Abbildung 3: Wasserstandsganglinie des Pegels Rofanache für die Zeit vom 11. 08. - 17. 08. 1969.

Abbildung 4: Wasserstandsganglinie des Pegels Rofenache für die Zeit vom 04. 08. - 10. 08. 1970.



Nach anhaltenden Regenfällen treten manchmal Taufluten ein, die auf die sich verstärkende Wirkung mehrerer Effekte zurückzuführen sind und zwar auf intensiven Wasserabfluß nach Erreichen der Speicherkapazität, verstärkt durch Anteile aus der Schneeschmelze, auf das in der Schneedecke gespeicherte Wasser und den gerade fallenden Niederschlag.

Im Bereich von Gletschern, die sich über größere Höhenbereiche erstrecken, ist die Gefahr von Taufluten infolge des zeitlich stark differenzierten Schmelz- und Abflußprozesses erheblich reduziert.

Treten Starkniederschläge als Regen bis in große Höhen auf, so können jedoch die für die reinen Schmelzabflüsse genannten Maximalwerte überschritten werden (Lang 1974).

Folgende Grenzewerte gibt Lang H. an:
Für kleine Abflußflächen an der aperen Gletscherzunge:

Tageswert	100 mm/Tag	(1100 l/skm2)
Stundenwert	100 mm/Stunde	(2800 l/km2)

Für die gesamte Fläche eines mittelgroßen Talgletschers:

Tageswert	55 mm/Tag	(640 l/skm2)
2-Stundenwert	7 mm/2 Stunden	(950 l/km2)

Station Vent/Venterache:

Tag, Jahr	5.8.	6.8.	7.8.	8.8.	9.8.	10.8.	11.8.	1951
Niederschlag in mm	-	-	3,3	16,6	2,6	9,6	0,2	mm
Temp. Tagesmittel in °C	10,3	11,5	15,9	11,5	8,9	6,5	6,4	°C

Station Vent/Rofenache:

Tag, Jahr	11.8.	12.8.	13.8.	14.8.	15.8.	16.8.	17.8.	1969
Niederschlag in mm	0,2	2,0	3,1	15,3	8,9	1,7	4,9	mm
Temp. Tagesmittel in °C	9,6	11,3	13,0	12,4	12,7	8,1	6,5	°C

Tag, Jahr	4.8.	5.8.	6.8.	7.8.	8.8.	9.8.	10.8.	1970
Niederschlag in mm	-	0,5	-	12,5	26,3	12,4	2,8	mm
Temp. Tagesmittel in °C	12,5	13,4	14,9	14,1	8,8	4,5	7,3	°C

Wie können Einzugsgebiete mit vergletscherten Flächenanteilen in den Abflußformeln der Wildbachverbauung berücksichtigt werden?

Das Gletscherverhalten und speziell die Verhältnisse auf den Gletschern weisen eine ausgeprägte jahreszeitliche Variation auf. So müssen die verschiedenen Effekte und deren Rückwirkung auf den Wasserhaushalt wie Schmelzwasserproduktion, Abflußverzögerung, Niederschlagsspeicherung u. a. stets unter dem Gesichtspunkt dieser zeitlich stark wechselnden Bedingungen gesehen werden.

Diese Variation im einzelnen zu berücksichtigen ist sehr schwierig. Als Anwendung der bisherigen Ergebnisse von Abflußuntersuchungen am Gletscher im alpinen Bereich wird vorgeschlagen, als spezifische Höchstwasserabflußmenge für 1 km2 Gletscherfläche (Eis- und Firnfelder) 1 m3/sec anzunehmen.

Die übrige Abflußfläche des Einzugsgebietes ist mit den bestehenden Abflußformeln für das rechnerische Höchsthochwasser (z. B. nach Kürsteiner, nach Hoffmann usw.) zu behandeln.

Welche Auswirkungen haben die Gletscherabflüsse allgemein auf die Ausformung der Bäche?

Vom Gletscher werden auf, in und unter dem Eis erhebliche Mengen von Blöcken und Schutt als Moränenmaterial transportiert und randlich oder im Vorfeld abgelagert. Teile dieses Materials, besonders das an der Gletschersohle zerkleinerte und durch Erosion entstandene Feinmaterial werden vom Gletscherbach aufgenommen und abgeführt.

Wegen der hohen Schleppkraft vermag der Gletscherbach erhebliche Mengen an Geschiebe von grobblockigen Anteilen über Geröll bis zum feinkörnigen Sand und Schwebstoffen reichend, zu bewegen, wobei das Geschiebe selbst wiederum eine erhebliche Erosionswirkung ausübt. Absetzungen des Gerölls und Sands können hingegen an Flachstellen starke Auflandungen zur Folge haben.

Neben den starken Wasserstandsschwankungen bildet die hohe Geschiebefracht eines der charakteristischen Merkmale eines Gletscherbachs. Sie verursacht eine der hauptsächlichen Schwierigkeiten bei der Unterhaltung einer Abflußmeßstelle in einem Gletscherbach.

Der mit der Wasserführung schwankende, allgemein aber sehr hohe Schwebstoffanteil (Gletschermilch) ist für die Auflandung jedoch ohne Bedeutung.

Sofern sich die Gletscherbäche nicht bis in den anstehenden Fels eingeschnitten haben, was wegen der meist mächtigen Talfüllungen mit Moränenmaterial seltener der Fall ist, weisen sie an der Sohle häufig eine Deckschicht von Steinen auf, welche während der Zeit mit hoher Wasserführung entstanden ist und die Sohle hinlänglich befestigt. Daher fließen auch Hochwässer meist ohne Schaden ab. Allein Höchsthochwässer oder Verlegungen des Bachbettes durch große Felsblöcke können starke Erosionswirkungen an den Ufern verursachen und in der Folge zu Bachverwerfungen und bei niederen Ufern zu erheblichen Auflandungen führen.

Durch Gletscher verursachte Verheerungen in den Bezirken Imst und Landeck

Die folgende Zusammenstellung nennt die wichtigsten von Gletschern verursachten Verheerungen in den Bezirken Imst und Landeck in den letzten Jahrhunderten. Sie sind im wesentlichen auf die Ausbrüche der von vorstoßenden Gletschern aufgestauten Seen zurückzuführen. Besonders bekannt ist dabei die Situation beim Vernagtferner, der jeweils das innere Rofental durch einen Eisdamm abgeriegelt hat.

Verheerungen durch Ausbrüche des Rofener Eissees:

1599 Bildung des Rofener Eissees oberhalb Vent im Ötztal durch Vorstoß des Vernagtferners, dessen Zunge die Rofener Ache aufstaute.

1600 (25. Juli): Erster Ausbruch des Eissees; große Hochwasserschäden im Ötztal mit Verwüstung von Feldern und Straßen. Das Längenfelder Bekken wurde in einen See verwandelt. Sogar die Bewohner von Innsbruck wurden durch plötzlich steigenden Wasserstand in Schrecken versetzt.

1678 (17. Juli): Zweiter verheerender Ausbruch mit großen Verwüstungen im Östztal bis in das Inntal. Zur gleichen Zeit erfolgte wegen rascher Gletscherschneeschmelze im Sulztal ein Ausbruch des Fischbaches in Längenfeld mit großen Verheerungen in Oberlängenfeld.

1679 Ausbruch mit unbedeutenden Schäden.

1680 (15. Juni): Dritter verheerender Ausbruch mit neuerlichen Verwüstungen durch das ganze Ötztal; Eisblöcke sollen bis zur Donau geschwommen sein.

1771 Vierter Ausbruch ohne größeren Schaden im Ötztal.

1845 (14. Juni): Fünfter verheerender Ausbruch; infolge neuerlichen Vorstoßes des Vernagtferners Ausbruch mit furchtbaren Verheerungen im Ötztal (der Inhalt des Rofener Eissees wurde auf 1,320.000 m3 angeschätzt, der Abfluß erfolgte in einer Stunde, Flutwellenhöhe in Vent nach Augenzeugen ca. 10 m).

1846 (8. - 11. Februar, 7. Juli, 10. Oktober) Ausbrüche mit Schäden im Ötztal.

1847 (25. Mai) Ausbruch mit Schäden im inneren Ötztal.

1848 (13. Juni) neuerlicher Ausbruch.

1868 (27. Juli) Letzter verheerender Ausbruch mit Vernichtung des Weilers Huben bei Längenfeld. Dies war der letzte Ausbruch des Rofener Eissees. Durch den Rückzug des Vernagtgletschers bildete sich dieser See seit damals nicht mehr.

Ausbrüche des Gurgler Eissees:

1716 Der Gurgler Eissee bildete sich durch Vorstoß des Gurgler Gletschers mit Absperrung des Längentales (Länge 1700 Schritte, Breite 650 Schritte, Tiefe 100 Klafter, wobei 1 Klafter ca. 1,9 m beträgt).

1717 (30. Juni), 1718 (2. Juni), 1724 (10. Juni), 1770 Ausbrüche mit langsamen Entleerungen; dadurch geringe Schäden im Ötztal.

1817 Neubildung des Gurgler Eissees infolge Vorstoßes des Gurgler Ferners, langsame Entleerung ohne Schaden.

1834 Ausbruch mit großen Schäden im Ötztal.

1847 Aufstau des Sees mit Abfluß ohne Schäden.

1867 Ausbruch mit Schäden im inneren Ötztal. Durch den Rückzug des Gurgler Ferners bildete sich auch der See ab diesem Zeitpunkt nicht mehr.

Verschiedene Wasserverheerungen durch Gletscher:

1725 (18. Juni): Murgang im Wütenbach bei Sölden vermutlich infolge plötzlicher Entleerung eines kleinen Eissees. Die Ache wurde zu einem See gestaut, welcher nach Durchbruch große Verheerungen im Ötztal an-

richtete. Am gleichen Tag brach auch der Fischbach in Längenfeld infolge großer Wasserführung durch rasche Schneeschmelze (in den Gletschern) des Sulztales aus.
In Innsbruck wurden zufolge der starken Wasserführung der Ötztaler Ache Teile der Stadt unter Wasser gesetzt.

1862 (7. August): Murgang im Wazebach im Kaunertal infolge eines Gletscherbruches durch einen ausbrechenden Eissee am Wazeferner. Beim Weiler See im inneren Kaunertal wurden dadurch 19 ha der schönsten Grundstücke in Schotterwiesen verwandelt. Der Ort See mußte seither entsiedelt werden.

1874 (5. August): Murbruch aus dem Madatschbach bei Wolfskehr im Kaunertal mit Absperrung der Fagge und gleichzeitiger Bildung eines 7 ha großen Eissees nach Durchbruch einer Moräne im Einzugsgebiet.

1890 (8. August): Das Kalben des Gallruthgletschers im Kaunertal verursachte nach Einstürzen der Eismassen in einen kleinen Moränensee dessen Entleerung unter Bildung einer Hochwasserwelle.
Solche Wasserverdrängungen wirken sich besonders bei kleinen Seen katastrophal aus, wenn die zugeführten Eismassen im Verhältnis zum Inhalt des Sees sehr groß sind.

Die Gletscher in den Alpen waren allgemein seit dem Ende des letzten Jahrhunders im Rückzug begriffen. Seit einiger Zeit nimmt die Zahl der vorrückenden Gletscher wieder zu. Wenn auch Gefährdungen wie die zu Zeiten der Hochstände noch nicht abzusehen sind, so ist doch der Entwicklung des Gletscherverhaltens auch unter dem Gesichtspunkt möglicher Gefahren eine gewisse Beachtung zu schenken.

Inwieweit tragen Gletscher zu Eislawinen bei?

Von rasch vorstoßenden Gletschern (mit Geschwindigkeiten bis zu mehreren Metern/Tag) und speziell von Hanggletschern sind Eisstürze bekannt.

Im wesentlichen haben diese Eisstürze zwei Ursachen:
1. Abbruch des vorrückenden Gletschers über einen Steilrand oder glattes Gelände. Warnzeichen sind Spaltenbildung mit schnellen Erweiterungen als Folge rascher Geschwindigkeitszunahme.
2. Zungenrutschungen durch Gleiten des Eises auf der Unterlage mit Abbruch auf glattem, steilem Untergrund.

Die Folgen sind Eislawinen, die bis in die besiedelten Gebiete vordringen können, bzw. Eisdämme mit Absperrung eines Bachlaufes und damit verbunden Aufstauung des Wassers (Ausbruchgefahr).

Eislawinen ereignen sich selten in Gebieten, wo Menschen Dauersiedlungen haben, wo sie also Schaden an diesen anrichten könnten. Sie sind unverbaubar. Allein Vorbeugungen durch Warnungen, die auf sorgfältiger Beobachtung und wissenschaftlicher Analyse des Vorgangs beruhen müssen, sind möglich.

Inwieweit tragen Gletscher zu Wasserkatastrophen bei?

Durch Gletscher ausgelöste Wasserkatastrophen zählen mit zu den häufigsten, bekanntesten und schwersten Verheerungen. Es kommen dafür drei mögliche Ursachen in Betracht:

1. Stauung von Wasser durch eine das Tal verlegende Gletscherzunge mit Blockierung des Haupttales; z. B. der vom Vernagtferner gestaute Rofener Eissee im Rofental.
Blockierung eines Nebentales; z. B. der vom Gurgler Ferner gestaute Gurgler Eissee im Langtal.
Beide Situationen sind mit der Gefahr spontaner Seeausbrüche verbunden.

2. Stauung von Wasser innerhalb geschlossener Stirnmoränen nach einer Rückzugsphase des Gletschers. Diese Stirnmoränenwälle bilden wenig stabile Dämme, die besonders bei Starkregenfällen erheblich gefährdet sind und deren Bruch mehrfach große Katastrophen auslösten (besonders in den Anden und im Kaukasus).

3. Ausbrüche von „Wasserstuben" und Gletscherseen.
Gelegentlich kommen in Gletschern große, wassergefüllte Hohlräume vor, (z.B. vor Felsschwellen), die sich spontan entleeren und dabei Überflutungen verursachen. Auch hochgelegene Seebildungen auf Gletschern oder im Bereich der Vereinigung von Gletscherströmen waren wiederholt Anlaß von Wasserkatastrophen (z. B. Gletschersee im Wütenbach bei Sölden, Eissee im Wazebach im Kaunertal, Eissee im Madatschbach im Kaunertal).

Die Ausbrüche eines Eissees (Gletschersee, Gletscherrandsee) erfolgt oberirdisch oder unterirdisch. Unterirdisch bahnt sich das Wasser einen Weg, der unter großem Druck durchströmt wird. Dabei reißen die Wassermassen Eisstücke mit, wühlen den Untergrund auf, schleppen große Schutt- und Gesteinsmassen mit sich und entleeren sich sehr rasch. Es können dabei bis 10 m hohe Flutwellen entstehen, die sich auf große Strecken schadenbringend auswirken. Die Seeausbrüche sind auch deshalb gefährlich, weil zuverlässige Warnungen wesentlich schwieriger sind, so daß sie häufig die Menschen überraschend treffen.

Welche Möglichkeiten der Gletscherüberwachung und Beurteilung von Gletschergefahren gibt es?
In welche Zuständigkeit fallen die Gletscherüberwachungen?

Der Gletschersturz von ca. 1 Mio m3 Eis vom 30. August 1965 vom Allalinggletscher auf die Baustelle des Staudammes in der Mattmark im Wallis, Schweiz, der 88 Menschen tötete und schwere Schäden an den Bauanlagen hervorrief, war Anlaß zur Einrichtung eines Gletscherüberwachungsdienstes in der Schweiz, mit der Aufgabe der Warnung bzw. Vorbeugung vor Eislawinen oder von Gletschern ausgelösten Hochwassergefahren (Röthlisberger 1974).

Als Maßnahme kommen zunächst in Betracht: Erfassung aller für Menschen, Siedlungen, technische Objekte und Verkehrswege gefährlichen Gletscher. Zur Überwachung der als gefährlich erkannten Gletscher dienen neben der reinen Beobachtung vor allem die Analyse wiederholter photographischer Aufnahmen von festen Standpunkten oder von Luftbildern. In einem akuten Stadium sind spezielle Mes-

sungen zur Erfassung der Fließgeschwindigkeit des Eises unerläßlich. Je nach Gelände sind dazu verschiedene Methoden anwendbar. Sie reichen von der mechanischen Registrierung der Eisbewegung bis zur Ermittlung der Eisgeschwindigkeit mit Hilfe elektronischer Distanzmessung in unzugänglichen Eisbrüchen. Bei akuter Gefahr des Ausbruchs von Gletscherseen ist ein ständiger Beobachtungsdienst mit sofortiger Meldemöglichkeit einzurichten.

Zur wachsamen Beobachtung der Gletscher werden alle Menschen aufgerufen, die sich in der Bergwelt aufhalten (Bergsteiger und besonders Alppersonal, Bergführer, Alpine Vereine, Wissenschaftler, Flugdienste usw.). Sie sind aufgefordert, Beobachtungen die eine mögliche Gefahr durch Gletscher bedeuten könnten, zu melden.

Von Gletschern ausgehende Gefahren für den Siedlungsbereich im Zusammenhang mit Lawinen und Hochwasserereignissen gehören in den Kompetenzbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung. Sie sind in den Gefahrenzonenplänen, die im Rahmen der bestehenden Dienstorganisation und auf Grund der Verordnung vom 23. Dezember 1968 über die Errichtung und Führung eines Wasserwirtschaftskatasters, BGBl 1969/34, zu berücksichtigen. Demgemäß muß auch die Überwachung, soweit die Gletscher eine Gefährdung darstellen, in den Dienstbetrieb der Wildbach- und Lawinenverbauung aufgenommen werden. Die Verhinderung, bzw. die Vorbeugungsmaßnahmen sind wie die Projekte der Wildbach- und Lawinenverbauung zu behandeln.

Zusammenfassung
Die Gletscherforschung leistet einen angemessenen Beitrag für die Praxis

Der vorliegende Bericht stellt sich zur Aufgabe, Beobachtungen und wissenschaftliche Ergebnisse aus den Bereichen des Wasserabflusses von Gletschern in einer vereinfachten, für die Praxis brauchbaren Form festzuhalten. Auch wurde versucht, die von Gletschern ausgehenden Gefahren hinsichtlich Eislawinen und Wildwassergefahren aufzuzeigen, deren Einreihung in die Gefahrenzonenpläne vorzusehen ist, bzw. welche für die Überwachung der Gletscher zur Erkennung und Verhinderung dieser Gefahren wichtig erscheinen.

Dieser Bericht sollte außerdem zeigen, daß die Gletscherforschung einen engen Bezug zur Praxis hat. Ein großer Teil der neueren Erkenntnisse zum Verhalten der Gletscher findet in der Praxis unmittelbar Anwendung. Es wäre deshalb zu begrüßen, wenn der Kontakt zwischen den in der Gletscherforschung tätigen Wissenschaftlern und den mit dem behandelten Fragenkomplex befaßten Praktikern noch verbessert werden könnte.

VERWENDETE LITERATUR

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: „Richtlinien für den Schutzwasserbau" - Kapitel 4 über „Vorläufige Dienstanweisung für die Ausarbeitung von Gefahrenzonenplänen".

HOINKES H., 1970a: Ergebnisse des glazial-meteorologisch-hydrologischen IHD-Programmes im Rofantal bei Vent 1964 - 1968.
Österr. Wasserwirtschaft Jahrg. 22, H. 5/6, S. 101 - 113, 1970.

HOINKES H., 1970b: Methoden u. Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Ergebnisse der Meßreihe Hintereisferner (Ötztaler Alpen) 1953 - 1968. Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. VI, S. 37 - 90. Innsbruck 1970.

HOINKES H., 1972: Gletscher und Lawinen. In W. Gerlach (Herausgeber) Zeichen der Natur, Das große Buch der Naturvorgänge, Ehrenwirth-Verlag, München 1972, S. 165 - 177.

KASSER P., W. MÜLLER, 1960: Über die Gletscheränderungen seit 1900 in den Schweizer Alpen mit Hinweisen auf die Bedeutung für die Wasserwirtschaft. Wasser- und Energiewirtschaft, 1960, Nr. 8 - 10, Zürich, S. 224 - 233.

KASSER P., 1973: Influence of Changes in the Glacierized Area on Summer Run-Off in the Porte du Scex Drainage Basin of the Rhone. Simposium on the Hydrology of Glaciers, Cambridge 1969, Int. Ass. Scient, Hydrol., Publ. Nr. 95, p. 221 - 225.

LANG H., 1966: Hydrometeorologische Ergebnisse aus Abflußmessungen im Bereich des Hintereisferners (Ötztaler Alpen) in den Jahren 1957 - 1959, Archiv Meteor., Geophys., Bioklimat. Ser. B, 14, S. 280 - 302, 1966.

LANG H., 1974: Schnee und Eis als Faktoren im Wasserkreislauf. Fortbidlungskurs für angewandte Hydrologie Zürich 1974.

REINWARTH O. und STÄBLEIN G., 1972: Die Kryosphäre - das Eis der Erde und seine Untersuchung. Würzburger Geographische Arbeiten, Heft 36, 71 pp., Würzburg 1972.

RÖTHLISBERGER H., 1974: Möglichkeiten und Grenzen der Gletscherüberwachung. Neue Züricher Zeitung vom 29. April 1974, Nr. 196.

ADRESSEN DER AUTOREN

HR Dipl.-Ing. Dr. Emil LEYS
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Imst
Langgasse 64
A-6460 Imst
Tirol

Dipl.-Met. Oskar REINWARTH
Kommission für Glaziologie der
Bayrischen Akademie der Wissenschaften
Marstallplatz 8
D-8000 München 22