

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 21 (1980)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Morphodynamische Aspekte aktueller Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen  
**Autor:** Haeberli, Wilfried  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088886>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Morphodynamische Aspekte aktueller Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen

WILFRIED HAEBERLI

## 1 Einleitung

Die Gletscherregion der Schweizer Alpen weist eine bewegte Geschichte nicht direkt niederschlagsbedingter Hochwasser auf. Üblicherweise wird zwischen Ausbrüchen von Gletscherseen und solchen von Wassertaschen unterschieden. Unter den Verlegenheitsbegriff «Wassertasche» fallen alle grösseren Wasseransammlungen im Gletscher, die der visuellen Beobachtung entzogen sind und auf deren Existenz normalerweise aus Abflussereignissen im Gletscherbach rückgeschlossen wird. Im Rahmen der Tätigkeit der 1973 vom Eidgenössischen Departement des Innern eingesetzten «Arbeitsgruppe für gefährliche Gletscher»<sup>1</sup> wird zurzeit eine Dokumentation über Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen zusammengestellt. Es liegt auf der Hand, dass diese weit in historische Zeit zurückreichende Dokumentation nicht vollständig sein kann und dass das darin enthaltene Datenmaterial zwangsläufig heterogenen und zufälligen Charakter haben muss.

Seit dem Beginn der «Kleinen Eiszeit» in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts sind etwas über hundert «aussergewöhnliche», d.h. sich nicht alljährlich wiederholende und im Ausmass bemerkenswerte Ereignisse bekannt. Das entspricht einer Eintretenswahrscheinlichkeit von einem Ereignis in rund vier Jahren. In einzelnen Fällen ist es zu häufiger Wiederholung desselben Vorgangs mit z.T. katastrophalen Folgen für die Talbevölkerung gekommen. So sind der vom Allalngletscher gestaute, natürliche Mattmarksee und der vom Aletschgletscher gestaute Märjelsee beide mehr als zwanzig Mal ausgebrochen. Die Ausbrüche des durch einen Eisschuttkegel des vorstossenden Giétrogletschers gestauten Sees von Mauvoisin forderten 1595 und 1818 rund 200 Menschenleben und richteten im Haupttal grosse Verwüstungen an. Gerade in diesen klassischen Fällen ist die Situation durch den Gletscherschwund und die Errichtung von als Retentionsbecken wirkenden Stauseen im 20. Jahrhundert weitgehend entschärft worden. Trotzdem ist die Häufigkeit der Ereignisse seit 1950 (Tab. 1) angestiegen. Diese Entwicklung ist einerseits auf die verbesserte Beobachtung zurückzu-

<sup>1</sup> Herrn PD Dr. H. Röthlisberger, dem Leiter der Geschäftsstelle der «Arbeitsgruppe für gefährliche Gletscher» an der VAW/ETHZ und M. Aellen sei für manch wertvolle Information sowie kritische Durchsicht des Manuskripts herzlich gedankt. Die photogrammetrischen Auswertungen am Blockgletschersee beim Grubengletscher wurden durch die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft finanziert.

Tabelle 1: Aussergewöhnliche Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen seit 1950

Jahr	Gletscher	Kanton	Ereignis	Bemerkung
1951	Unt. Grindelwaldgletscher	BE	Wassertaschenausbruch	
1952	Glacier de Ferpècle	VS	Seeausbruch	
1953	Rottalgletscher	VS	Seeausbruch	
1954	Roseggletscher	GR	Seeausbruch	
1956	Steingletscher	BE	Seeausbruch	
1957	Bächifirn	UR	Wassertaschenausbruch	
1958	Grubengletscher	VS	Seeausbruch	wenig Schaden
1960	Glacier de Trient	VS	Wassertaschenausbruch	wenig Schaden
1961	Glacier de Trient	VS	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1966	Hohberggletscher	VS	?	
1967	Festigletscher	VS	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1967	Glacier de Trient	VS	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1967 (?)	Rottalgletscher	BE	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1968	Grubengletscher	VS	Seeausbruch	
1969	Glacier de Saleina	VS	Wassertaschenausbruch	wenig Schaden
1970	Grubengletscher	VS	Seeausbruch	
1971	Rottalgletscher	VS	Seeausbruch?	wenig Schaden
1971	Glacier de Trient	VS	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1974	Glacier Bas d'Arolla	VS	Wassertaschenausbruch	kein Schaden
1976	Äusserer Stambachgletscher	VS	Wassertaschenausbruch	
1978	Kingletscher	VS	Wassertaschenausbruch	
1980	Gletscher im Rhonetal	VS	extreme Ablation	

Die alljährlichen Ausbrüche des Gonersees (Abb. 1) und andere, weitgehend regelmässig erfolgende Ereignisse wie die Entleerungen des Märjelen- und Mittelaletschsees am Aletschgletscher sind in dieser Liste nicht berücksichtigt.

führen, hat sich doch der Anteil der Ereignisse ohne Schadenfolgen verdoppelt, andererseits bringt die beschleunigte Erschliessung hochalpiner Regionen eine vermehrte potentielle Gefährdung fester Installationen mit sich. Die Eintretenswahrscheinlichkeit von Schadenereignissen ist heute etwa doppelt so gross (ein Schadenereignis in rund 2–3 Jahren) wie vor 1950.

Im Folgenden werden einige morphodynamische Aspekte von Gletscherhochwassern in den Schweizer Alpen seit 1950 kurz beschrieben und in ihrer praktischen Bedeutung diskutiert.

## 2 Prozesse im Einzugsgebiet der Gletscherbäche

Glazial- und periglazialmorphologische Prozesse können im Einzugsgebiet von Gletscherbächen im Zusammenhang mit den ständigen, klimatisch bedingten Gletscherveränderungen in Zeiträumen von Jahren und Jahrzehnten zur Bildung einer «gefährlichen Situation», d.h. zur Bildung eines ausbruchsfähigen Gletschersees führen. Das Verständnis dieser Prozesse ist Voraussetzung für eine langfristige Risikoabschätzung. Da ein direkter Zusammenhang zwischen morphologischer Situation und Wassertaschenausbrüchen nicht augenfällig ist, ist hier nur die Vorgeschichte aktueller Seeausbrüche von Interesse.



Abb. 1 Der sich alljährlich entleerende Gornersee von Süden. Der unmittelbar bevorstehende Ausbruch kündigt sich durch isostatisches Aufschwimmen grosser Eispartien an, wobei sich an den Bruchflächen (Pfeile) Sprunghöhen bis gegen 10 m einstellen. Aufnahme: W. H. 26. 6. 79

Ein Grenzfall zwischen Seeausbruch und Wassertaschenausbruch ist das von den vereinigten *Glacier de Ferpècle* und *Glacier de Mont Miné* bei Evolène stammende Hochwasser vom 4. August 1952. Es handelt sich praktisch um die Wiederholung eines Ereignisses von 1943 (*Hagen* 1944). Beschreibungen geben *Walser* (1952) und *Martin* (1953). Seit dem Hochstand in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte sich die gemeinsame Zunge der beiden Gletscher um rund 1,5 Kilometer zurückgezogen. 1942 wurde dabei auf der orographisch rechten, der «Ferpècle»-Seite, ein Felsriegel freigelegt, an dem sich der Gletscher aufschob und der den Abfluss der Borgne hemmte. Das Hochwasser von 1943 wurde durch die plötzliche Verlegung des Gletscherabflusses von einer Stelle oberhalb des Felsriegels in eine Depression innerhalb des Felsriegels ausgelöst, nachdem sich vorher unter dem Eis der noch immer zusammenfliessenden Gletscher ein grosser subglazialer See gebildet hatte. In den folgenden Jahren kam es immer wieder zu Einbrüchen des Gewölbes am Gletschertor, Aufstau des Sees und Durchbruch mit Hochwasser. Versuche mit Felssprengungen verliefen erfolglos und da die Intensität der Ereignisse mit der Zeit abnahm, wurden die zerstörten Brücken und Stege wieder aufgebaut. Beim weiteren Rückzug des Gletschers verlegte sich der Abfluss an das untere Ende des Riegels, dahinter bildeten sich jedoch



vorwiegend subglazial drei Seen, die durch eingestürzte Eismassen unterteilt und wohl auch gestaut wurden. Am 3. August 1952 wurde in der Borgne niedriger Wasserstand beobachtet und am Vormittag des folgenden Tages brachen die 100 m oberhalb des Gletschertors aufgestauten Wassermassen aus. An der damaligen Konfluenzstelle befindet sich heute noch ein See. Die Gletscherzungen haben sich beim weiteren Rückzug voneinander getrennt, stossen jedoch zurzeit wieder vor (Kasser und Aellen 1979).

Ein Extremfall im Hinblick auf die Menge der beteiligten Wassermassen ist der Ausbruch eines Sees im Vorfeld des *Rottalgletschers* bei Saas-Almagell am 21. Juli 1953 (Renaud 1954). Der Rottalgletscher ist ein kleiner Kargletscher am Fuss der Weissmies-Südwand. Bei seinen historischen Vorstössen überdeckte er die Wurzelregion einer grossen, aktiven Blockgletschermasse, die unmittelbar hinter der Oberkante der frontalen Steilstirn seit Jahrzehnten einen länglichen See (2980 m ü.M.) trägt (Abb. 4). 100 m höher als dieser periglaziale Thermokarstsee und 400 m gletscherwärts brach 1953 im Vorfeld des Gletschers ein sehr kleines Seelein aus. Die bescheidenen Wassermassen versickerten offenbar plötzlich am Grund einer Depression (Toteisloch), ergossen sich teilweise unterirdisch und ohne stark zu erodieren über den Permafrostspiegel des Blockgletschers in den unterliegenden Thermokarstsee, hoben dessen Spiegel um 0,5 bis 1 m an, worauf die Schwelle dieses unteren Sees an der Oberkante der Blockgletscherstirn nachgab und erodiert wurde. Aufgrund der Existenz von perennierenden Schneeflecken muss in den Lockersedimenten zwischen Blockgletscherstirn und Gletscherende mit der Existenz von Permafrost gerechnet werden (Haeberli 1975). In diesem eisreichen Permafrost haben sich seit dem Hochwasser von 1953 immer wieder kleine Thermokarstseelein gebildet; 1971 ist es sogar zu einem erneuten, allerdings relativ schwachen Hochwasser gekommen (Kasser und Aellen 1974). Schon vorher hatte sich der Überlauf des Sees an der Blockgletscherstirn weiter abgesenkt, sodass der See heute zweigeteilt ist, die Stabilität dieses Überlaufs hat sich aber nicht grundsätzlich geändert. In seinem Kurzbericht schreibt Renaud (1954): «... les circonstances fortuites qui ont permis la formation du lac supérieur pourraient se renouveler et conduire à la répétition de cet accident. Une surveillance de ce glacier ne serait donc pas superflue.»

Eine sorgfältige Überwachung der Situation am *Roseggletscher* wurde bereits 1947 empfohlen (Mercanton 1947). 1944 hatten sich die vormals vereinten Gletscherzungen des Vadret da Roseg und des Vadret da Tschierva bei Pontresina im Zuge des allgemeinen Gletscherrückganges getrennt. Hinter der toteisführenden und das Tal des Roseggletschers teilweise abdämmenden, orographisch linken Seitenmoräne des Tschiervagletschers bildete sich darauf ein See. Im Verlauf des grossen Oberengadiner Schadenhochwassers vom 21./22. August 1954 wurde infolge Schneeschmelze und starker Regenfälle der Spiegel dieses Sees gegenüber dem Stand des vorangegangenen Herbstes um 0,85 m angehoben (Töndury 1954, nach einem Originalbericht von O. Bisaz). Am Seeauslauf kam es darauf zu starker Erosion im Bachbett, die aufgestauten Wassermengen flossen rasch ab, und der Seespiegel senkte sich wieder auf die ursprüngliche Kote. Aufgrund des

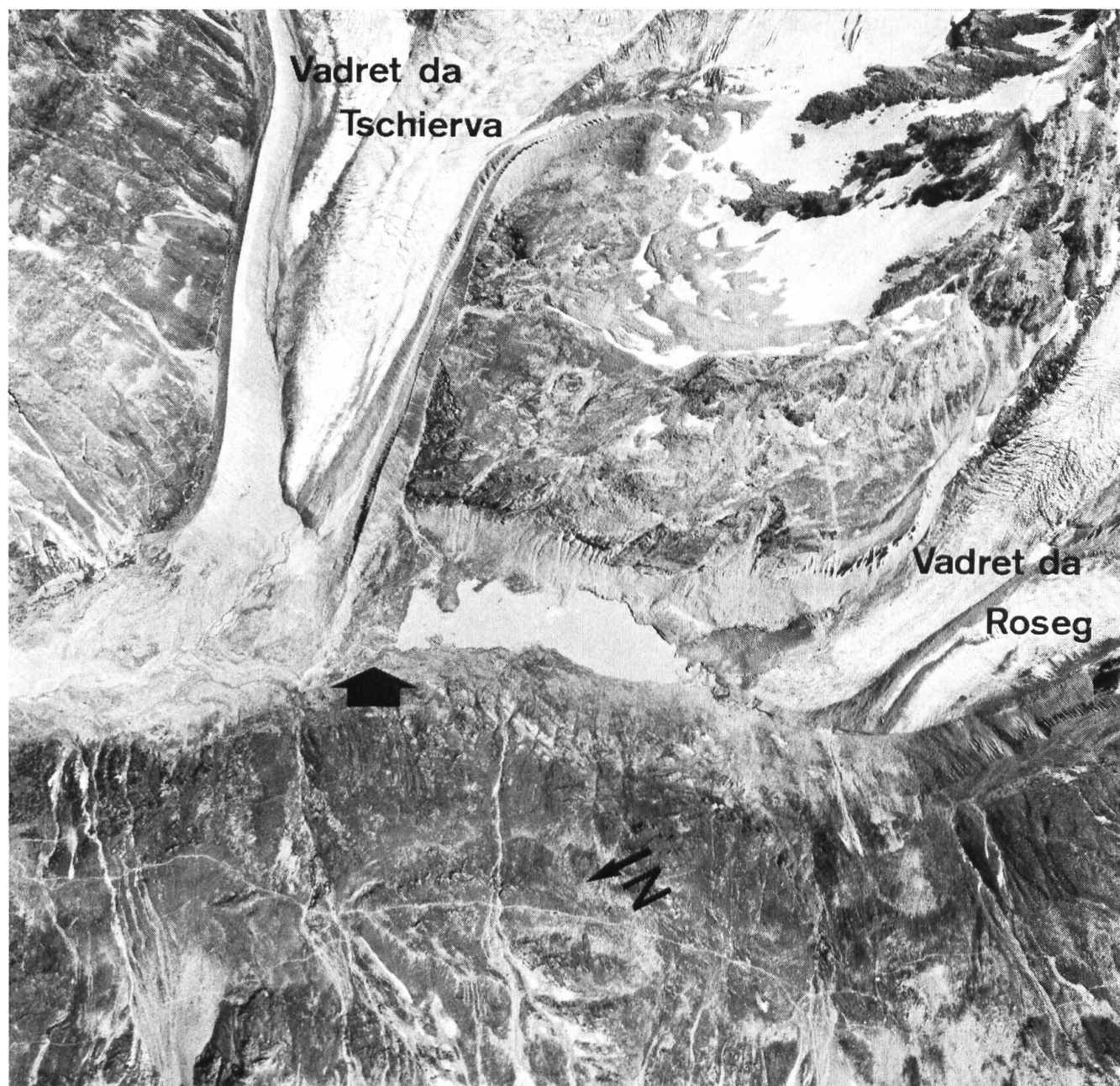


Abb. 2 Tschierva- und Roseggletscher: Senkrechtaufnahme. Die Fläche des Sees im Vorfeld des Roseggletschers hat nach dem Ausbruch von 1954 mit dem Rückzug des Gletschers ständig zugenommen. Der Tschiervagletscher hat in den letzten Jahren vorzustossen begonnen. Luftaufnahmen der Eidg. Landestopographie Nr. 1460, 4. 9. 78

andauernden und durch die Existenz des proglazialen Sees wohl beschleunigten Rückzugs der Zunge des Roseggletschers ist die Seefläche seither ständig gewachsen. (Abb. 2). Der Tschiervagletscher jedoch hat in den letzten Jahren vorzustossen begonnen (Kasser und Aellen 1979).

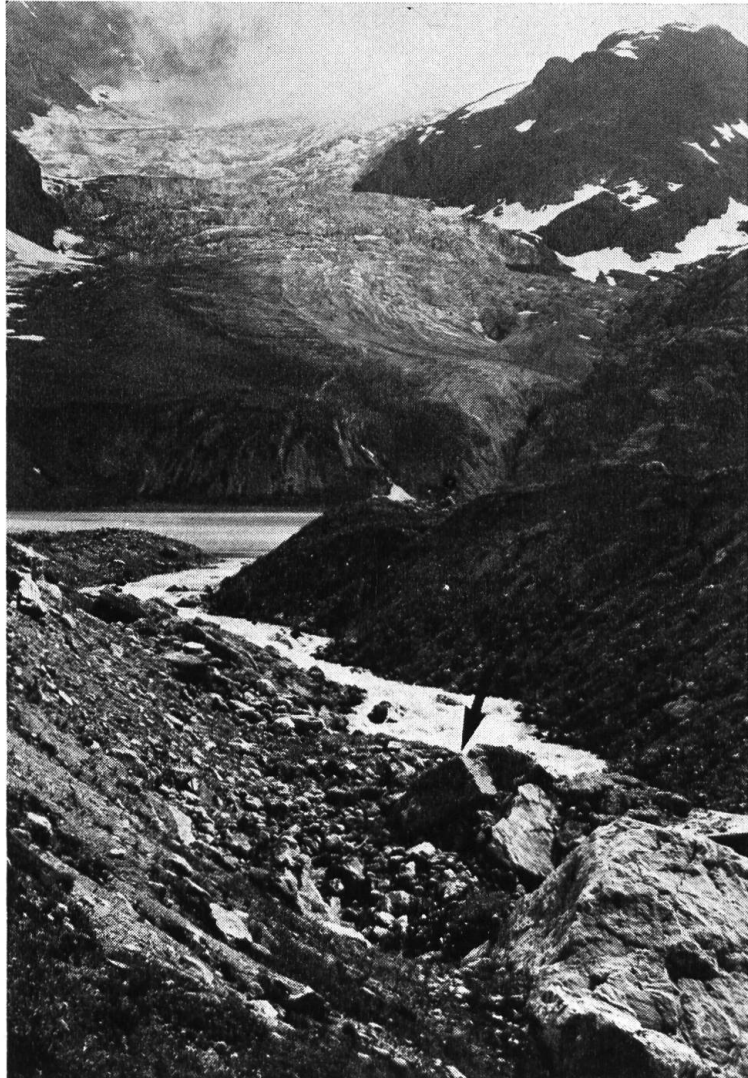


Abb. 3 Steingletscher und Steinsee von Norden. Durch den Seeausbruch von 1956 wurde der Seeüberlauf innerhalb weniger Stunden um 57 m zurückverlegt und das Bachbett im Gebiet des angefangenen Abschlussbauwerks (Pfeil) um 6–8 m vertieft. Aufnahme: W. H. 30. 8. 80

Ähnliche Züge weist die Geschichte des Seeausbruchs am *Steingletscher* beim Sustenpass auf (Abb. 3). Seit dem Hochstand des letzten Jahrhunderts, als die Gletscherzunge noch bis unmittelbar vor das heutige Hotel Steingletscher reichte, war auch hier ein markanter Gletscherrückgang zu beobachten (King 1974). Nach kurzen Rückzugshalten um 1890 und 1920 begann sich 1940 hinter den Moränen von 1920 ein See zu bilden, dessen Abfluss vorerst nach Westen in den Steinlimmibach erfolgte. 1941–1945 folgte dann der Wechsel der Abflussverhältnisse, indem der nördliche und von Toteis unterlagerte Moränengürtel allmählich einsank, erodiert wurde und damit den Abfluss nach Norden freigab (Haefeli und Müller 1957). Trotz der damit verbundenen Absenkung des See-

spiegels vergrösserte sich die Seefläche in den darauffolgenden Jahren sehr rasch, der Breitenzuwachs wurde auf 15 bis 20 m pro Jahr und die Absenkung des Seegrundes durch Abschmelzen von Toteis auf 1,5 m pro Jahr geschätzt. Der Zufluss des Gletscherbachs in den See erfolgte intraglazial. 1950 erhielten die Kraftwerke Oberhasli die Bewilligung, den Steinlimmibach in den Steingletschersee zu leiten und beim Auslauf des Sees ein Abschlussbauwerk zu errichten, um eine Wassermenge von ca. 120 000 m<sup>3</sup> zu speichern und die Wasserführung des Steinwassers tagsüber zu verbessern. Auf die Zuleitung des Steinlimmibaches wurde verzichtet, die Bauarbeiten am Seeauslauf jedoch, die für die Niederwasserperiode im Herbst 1955 geplant gewesen waren, verzögerten sich aus verschiedenen Gründen und mussten anfangs November unbeendet eingestellt werden. Infolge der ungenügenden Dimensionierung des für den darauffolgenden Sommer vergrösserten Umleitungskanals kam es in der Nacht vom 29./30. Juli 1956 im Verlaufe eines Starkniederschlages zur Überflutung der offenen Baugrube. Ähnliche oder sogar grössere Hochwasser hatten vorher den Seeauslauf ohne schwerwiegende Folgen passiert. Durch die Überflutung der Baugrube kam es zu rascher Rückwärtserosion in den toteisdurchsetzten Moränenmassen am Seeauslauf und zu einer Absenkung des Seespiegels um 5,5 m. Der Gletscher hat sich seither weiter zurückgezogen und zwischen Gletscherzunge und See hat sich ein Delta gebildet. Seit einigen Jahren stösst der Gletscher auf diesem Delta wieder seewärts vor (Kasser und Aellen 1979).

Die Ausbrüche des sog. See 3 am *Grubengletscher* bei Saas Balen sind ausführlich untersucht und dokumentiert worden<sup>2</sup>. Im tief mit feinkörnigen, quartären Lockersedimenten aufgefüllten Kar des Grubengletschers liegen nebeneinander eine in den Randpartien am Untergrund angefrorene Gletscherzunge und ein aktiver Blockgletscher. Der noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts vergletscherte Karhintergrund ist permafrostfrei. Während der Schneeschmelze steigt das Grundwasser in den ungefrorenen Sedimenten unter dem Gletschereis und unter dem Blockgletscherpermafrost an und tritt an mehreren Stellen (topographische Depressionen) in Form von Seen an die Oberfläche. An der Vereinigungsstelle zwischen kaltem Gletschereis und Permafrost wird das Wasser des Sees 3 bei ungehindertem Aufstau durch das Eis des Gletschers abgedämmt. Dies führte am 9., 10. und 11. August 1958 zum Überlaufen des Sees über die abdämmende Eispartie sowie am 2. Juli 1968 und am 8. Juli 1970 zu subglazialen Ausbrüchen des Sees. Umfassende Sanierungsarbeiten wurden nötig. Im Zusammenhang mit dem fortdauernden Gletscherrückgang musste anfangs der siebziger Jahre vorerst eine drastische Vergrösserung der Seefläche befürchtet werden (Haeberli und Röthlisberger 1975), in letzter Zeit scheint nun aber eher der eindeutig zu beobachtende Gletschervorstoss die Wirksamkeit der Installationen am Seeausfluss zu gefährden (Röthlisberger 1979).

---

<sup>2</sup> Literaturangaben finden sich bei Röthlisberger 1979. Die komplexen geomorphologischen Verhältnisse sind bei Haeberli et al. (1979) skizziert.



### 3 Prozesse im Bachlauf

Im Zusammenhang mit Wasserausbrüchen aus vergletscherten Gebieten spielen sich Erosions- und Sedimentationsprozesse im Gebiet des Bachlaufs ab, die man als «geomorphologische Kleinkatastrophen» bezeichnen kann (Leser 1980). Ihr Ausmass steht in direktem Bezug zur Grösse des Schadens und ist damit für die Praxis von zentraler Bedeutung.

Beim Wassertaschenausbruch am *Unteren Grindelwaldgletscher* 1951 (1./2. Juli) und beim Seeausbruch von *Ferpècle* 1952 handelte es sich um Hochwasser nach plötzlichem Bruch einer Eisbarriere. Solche Zusammenbrüche von Eisbarrieren im mechanischen Sinn erfolgen dann, wenn schon die Eisbarriere selbst aus Eistrümmern aufgebaut ist. Die Abflussereignisse sind kurz (Grössenordnung eine Stunde) und die Abflussspitzen im Vergleich zum Ausbruchsvolumen extrem hoch, wobei der Spitzenabfluss sofort, in Form einer Frontwelle eintritt. Nach einem sechsständigen Rückstau der Lutschine flossen am Unteren Grindelwaldgletscher innerhalb einer Stunde rund 135 000 m<sup>3</sup> Wasser aus (Mercanton und Renaud 1952). Eine Flutwelle von 5 m Höhe riss grosse Blöcke und Eisstücke bis in die Ebene mit und richtete grossen Flurschaden an. Nach einer bildlichen Darstellung von Georg Barnard (um 1842, Zumbühl 1975) hatten schon früher derartige Ausbrüche stattgefunden. Bei Ferpècle entleerten sich rund 255 000 m<sup>3</sup> Wasser mit einem Spitzenabfluss zwischen Haudères und Evolène von ca. 230 m<sup>3</sup>/sec. Die Frontwelle riss eine Brücke fort, die nach dem Hochwasser von 1943 1,5 m höher als vorher, nämlich mehr als 12 m (!) über dem Bach angebracht worden war (Martin 1953) und breitete sich mit Geschwindigkeiten zwischen 10 und 20 km/h aus (Walser 1952). Um einen ähnlichen Fall handelt es sich beim Wassertaschenausbruch am *Glacier Bas d'Arolla* (10. 6. 74), der durch die Grande Dixence SA beobachtet wurde. Infolge der geringen Wassermassen traten keine Schäden auf.

Spektakuläre Massenverlagerungen spielten sich trotz geringer Wassermassen beim Seeausbruch des *Rottalgletschers* 1953 ab. In den extrem steil geböschten Lockersedimenten der Blockgletscherstirn (um 30°) kam es zu rascher Erosion und Rückwärtsverlegung der Schwelle des «Unteren Sees» und zu ausgeprägter Tiefenerosion (Feilenanbruch) in der Schutthalde (Abb. 5, 6). Die Blocklage der Permaforst-Auftauschicht am Seeüberlauf, entstanden wohl durch Ausspülung von Feinmaterial über dem Permafrostspiegel (Filterspülung), erwies sich als unwirksamer Erosionsschutz. Weiter unten legte der Murgang die nahezu hangparallel einfallenden Schichten des Orthogneises der Bernhard-Decke frei und überführte dann den flachen Boden der Almagelleralp mit Schutt. Dabei bildeten sich am Schwemmkegelhals zwei seitliche Murwälle von mehreren Metern Höhe. Im Tal erreichte der Schutt auf dem Schwemmkegel des Almagellerbachs die ersten Häuser von Saas Almagell und die Saaser Vispa. Der Flurschaden war beträchtlich und die Räumungsarbeiten dauerten mehr als einen Monat. Das Ereignis von 1971 am selben Gletscher führte nur zur Verstopfung der Wasserfassung der Kraftwerke Mattmark AG.



Abb. 4 Der «Untere See» im Rottal (Saas-Almagell) von Nordosten. Der See befindet sich unmittelbar hinter der Steilstirn eines Blockgletschers. Nach dem Ausbruch von 1953 erschien infolge einer Spiegelsenkung zwischen 1959 und 1967 eine den See unterteilende Schwelle (Pfeil). Aufnahme: W. H. 19. 9. 80

Erosionsprozesse am Auslauf von proglazialen Seen spielten bei den beiden mit lokalen Starkniederschlägen im Zusammenhang stehenden Hochwassern am *Roseggletscher* 1954 und am *Steingletscher* 1956 eine zentrale Rolle. Beim Roseggletscher flossen rund 100 000–120 000 m<sup>3</sup> Wasser ab und entfernten am Seeauslauf mindestens 30 000 m<sup>3</sup> Material. Größere Gerölle wurden im flachen Talboden bis Alp Misaun geschleppt, das etwa 40–50% der Gesamt-Schuttmasse ausmachende Feinmaterial hingegen erreichte die Oberengadiner Tal Ebene (*Töndury* 1954). Die Schäden in der Val Roseg waren beträchtlich, vor allem mussten am stark anerodierten Bergsturz-Hügel Muot da Crasta Nachrutschungen in die Ova da Roseg erwartet werden. Die Überlaufschwelle des Steinsees wurde durch den Ausbruch von rund 750 000 m<sup>3</sup> Wasser innerhalb weniger Stunden um 57 m zurückverlegt, die Tiefenerosion im flachen Moränenvorfeld führte dabei im Gebiet des angefangenen Abschlussbauwerkes zu einer Vertiefung des Bachbettes um 6–8 m (*Haefeli* 1961, Abb. 3). Die durchschnittliche Tiefe der etwa 250 m langen Erosionsrinne (Kerbtal) im Vorfeld des Steingletschers betrug 10 m bei einem Gefälle des Bachlaufs von rund 5°. Als interessantes morphologisches Detail sei vermerkt, dass infolge des Auftriebsverlustes bei der Absenkung des Seespiegels um 5,5 m in den Uferpartien viele





Abb. 5 Erodierter Überlauf des «Unterem Sees» im Rottal (Saas-Almagell) an der Steilstirn des Blockgletschers (Pfeil). Die durch Filterspülung über dem Permafrostspiegel an Feinmaterial verarmte Blocklage an der Blockgletscheroberfläche ist kaum 1 m dick. Aufnahme: W. H. 19. 9. 80

Rutschungen erfolgten, deren Kartierung die nachträgliche Rekonstruktion der höchsten Seespiegelhöhe unmittelbar vor dem Ausbruch ermöglichte (*Haefeli und Müller 1957*). Beim Roseg- wie beim Steingletscher wurden in den die proglazialen Seen abdämmenden Moränenpartien ausgedehnte Toteisvorkommen beobachtet.

Einen Begriff von der Wucht der beteiligten Prozesse vermitteln die Bilder und Beschreibungen der Ausbrüche des «Sees 3» am Grubengletscher (*Lichtenhahn 1979, Röthlisberger 1979*). Nachdem 1958 rund 150 000 m<sup>3</sup> Wasser während vier Tagen ohne grosse Schadenfolgen abgeflossen waren, erodierten beim Ausbruch von 1968 etwa 170 000 m<sup>3</sup> Wasser bei einer Abflussspitze um 10 m<sup>3</sup>/sec im Bett des Fällbaches innert weniger Stunden rund 400 000 m<sup>3</sup> Moränenmaterial und verursachten in Saas Balen grossen Schaden. Beim erneuten Ausbruch von 1970 wurden bei gleichem Ausbruchvolumen und einer Abflussspitze um 15 m<sup>3</sup>/sec nochmals 100 000–150 000 m<sup>3</sup> Material erodiert. Ein Ausbruch des hinter Stirnmoränen von 1890/1920 liegenden Sees 1 infolge rückschreitender Erosion stand unmittelbar bevor, als sich See 3 entleert hatte. Eine photogram-



Abb. 6 Kerbtal (Feilenanbruch) in der Blockgletscherstirn unterhalb des «Unteren Sees» im Rottal (Saas-Almagell). Man beachte den parabelförmigen Querschnitt der beim Seeausbruch von 1953 entstandenen Erosionsform und die Ansammlung von Blockmaterial im Bachbett (Pfeil). Dieses erosionshemmende Blockmaterial ist wahrscheinlich dafür verantwortlich, dass die Tiefenerosion in vergleichbarem Material auch bei grösseren Ausbruchsvolumina und höheren Abflussspitzen Werte von 10–15 m kaum übersteigt. Aufnahme: W. H. 19. 9. 80

metrische Auswertung von Luftbildern des Bachlaufs nach dem Ausbruch von 1970 zeigt, dass die Erosionskerbe im neuzeitlichen Moränenhang unterhalb See 1 bei einer mittleren Hangneigung von rund  $25^\circ$  durchschnittlich 50 m breit und 10–15 m tief ist. Im flacheren Teilstück von Distel oberhalb Hoferälpji wurde viel Material abgelagert, doch kam es im darauffolgenden Steilstück erneut zu starker Tiefenerosion im Seitenwall des eiszeitlichen Talgletschers. Beim zweiten Ausbruch scheint Bodenfrost die Erosion unterhalb See 1 verzögert zu haben (Röthlisberger 1979).

Keine grossen Schäden richten im allgemeinen die seit langem bekannten, sich oft aber unregelmässig wiederholenden Wassertaschenausbrüche am *Glacier de Trient* im schweizerischen Mont Blanc-Gebiet an. Bei den in Tabelle 1 aufgeführten Ereignissen flossen jeweils gegen 1 Million  $m^3$  Wasser ab. Infolge der während des Hochwassers eingetretenen Sohlenhebung im Bachbett müssen die «gemessenen» Abflusswerte allerdings als «Schätzungen» eingestuft werden. 1960 dauerte das Hochwasser nach dem Ausbruch vom 5. August um 16 Uhr

36 Stunden, wobei unterhalb der Lokalität «Trient» Brücken mitgerissen wurden (*Renaud* 1961). Grösseren Schaden hatte noch der Wassertaschenausbruch von 1942 verursacht (*Mercanton* 1943).

Schadlos verlief der durch die Grande Dixence SA beobachtete Ausbruch einer Wassertasche am *Festigletscher* bei Randa im Mattertal im Februar (!) 1967, da beim langsamen Auslaufen der Wassermassen trotz dem sehr beträchtlichen Ausbruchsvolumen während drei Tagen Abflussspitzen von nur 2–3 m<sup>3</sup>/sec auftraten.

Eher noch kleinere Abflussspitzen führten allerdings in wiederum sehr steilem Gelände 1976 am *Ausseren Stammbachgletscher* im Lötschental zu starker linienhafter Erosion im rund 30° geneigten, schuttbedeckten Gletschervorfeld und den darunter liegenden Schutthalden oberhalb der Einmündung des Stammbachs in die Lonza. Eisblöcke aus einem Lawinenkegel am Schwemmkegelhals verstopften wahrscheinlich das enge Durchlassrohr unter der neuerstellten Strasse zwischen Blatten und Gletscherstafel, worauf der Gletscherbach die Strasse selbst benützte und direkt ins Dorf Blatten hinunterlief. Zehn Tage vor Eintritt des Schadenereignisses war schon starke Sedimentführung im Stammbach beobachtet worden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass über dem Hauptgerinne am Felsbett plötzlich ein neuer Wasseraustritt mitten in der steilen Gletscherfront einen «pulsierenden Wasserfall» in die steilen Schutthalden des Gletschervor-



Abb. 7 Verschüttete Strasse und Bahnlinie im Mattertal nach einem Wassertaschenausbruch am Kingletscher/Wildibach 1978. Aufnahme Keystone Press



feldes stürzen liess, wo rasch ein neues Bett erodiert wurde. Vorher war es wahrscheinlich zu einem zeitweisen Rückstau von Wasser im Gletscher gekommen. Ähnliche, z.T. beträchtlich stärkere Ereignisse hatten sich nach Auskunft der einheimischen Bevölkerung am gleichen Gletscher schon in den dreissiger und vierziger Jahren abgespielt.

Kaum abgeklärt sind die Vorgänge, die am 28. August 1978 zur Verschüttung von Bahnlinie und Strasse zwischen Täsch und Randa im Mattertal geführt hatten (Abb. 7). Nach Luftbildern vom September desselben Jahres beurteilt, war eine Wassertasche zwischen den beiden Zungen des *Kingletschers* ausgebrochen. Das Wasser lief in mehreren, z.T. neu entstehenden Gerinnen durch das Gletschervorfeld ab, legte dabei in der bis zu 20 m dicken, toteis- und permafrostfreien Schuttdecke (*Fisch et al. 1977*) eine Wasserfassung der Grande Dixence SA trocken, erodierte vor allem in der Steilstrecke beim Durchbruch des Gletscherbachs durch die Moränen von 1850, überführte den Schwemmkegel des Wildibaches mit Murschutt und staute die Mattervispa, was zur Folge hatte, dass in der Ebene zwischen Randa und Täsch Kulturland überschwemmt wurde.

#### 4 Praktische Aspekte

Sind auch die Schäden der hier diskutierten Gletscherhochwasser nicht mit den Schäden anderer Natur- und Zivilisationskatastrophen zu vergleichen, so ist doch der Wunsch nach einer Verhütung weiterer Verwüstungen naheliegend. Idealerweise stellt man sich für die Praxis folgende Abfolge von Aktivitäten vor:

Früherkennung → Beobachtung und Prognose → Schutzmassnahmen

Erfahrung und Fachwissen nehmen in dieser Reihenfolge zu, sodass in der Praxis den Schutzmassnahmen meist die grösste Aufmerksamkeit geschenkt wird.

*Passive Schutzmassnahmen* (Vermeidung der Gefahrenzone) stellten in historischer Zeit oft den einzig gangbaren Weg dar. Ausserhalb der Gefahrenzone regionaler Hochwasser des Mattmarksees haben sich z.B. einige Dörfer des Saastales auf die Schwemmkegel der Seitenbäche zurückgezogen. Damit sind sie vermehrt in die Gefahrenzone der Seitenbach-Hochwasser geraten (*Röthlisberger*, im Druck); denn diese Schwemmkegel sind offensichtlich aktive Wildbachschwemmkegel, auch wenn sie ausserhalb der traditionellen Wildbachschadengebiete der Schweizer Alpen liegen (vgl. *Zeller 1972 a*). Mit der rasch fortschreitenden Entwicklung der bewohnten Zone hochalpiner Täler wird die Möglichkeit, unverbaubare Gefahrenzonen auszuscheiden, immer mehr eingeschränkt (*Lichtenhahn 1979*).

Oft bleibt daher nur die Möglichkeit *aktiver baulicher Massnahmen*. Zur Sicherung vor Überflutung und Sedimentdeposition auf dem Schwemmkegel wurden

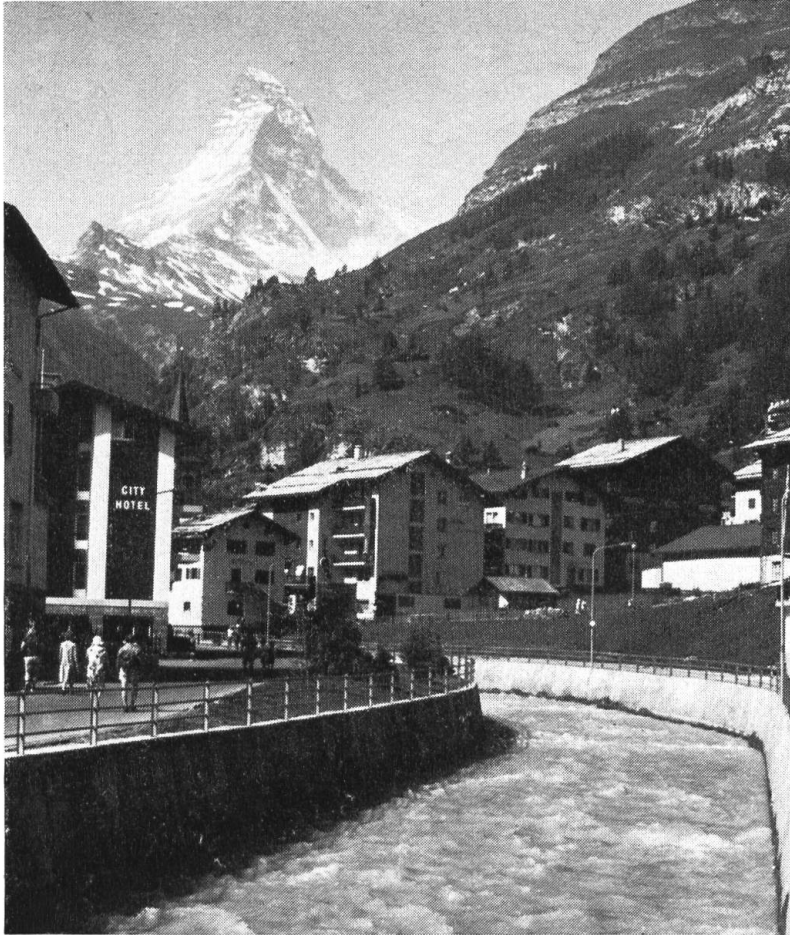


Abb. 8 Die Mattervispa in Zermatt. Das verschalte Gerinne ist für die schadlose Abführung der durch die alljährlichen Ausbrüche des Gornersees verursachten Abflussspitzen (um  $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) dimensioniert.  
Aufnahme: W. H. 3. 8. 80

der Almagellerbach (Rottalgletscher) und der Fällbach (Grubengletscher) als schmale Ablaufrinnen ausgebaut. Das verschalte Gerinne der Mattervispa in Zermatt ist für die schadlose Abführung der Abflussspitzen der Gornensee-Ausbrüche dimensioniert (Abb. 8). Auf dem Schwemmkegel des Wildibaches (Kingletscher) wurde ein grosser Geschiebesammler angelegt und das Bachbett zwischen den mehrere Meter hohen Wällen des Murgangs von 1978 beim Schwemmkegelhals zur Sohlensicherung stellenweise ausbetoniert. Auch das Gerinne des Stamm-baches im Lötschental wurde beidseits der den Schwemmkegel querenden Strasse ausgebaggert und das Durchlassrohr mit einem Geschieberechen geschützt (Abb. 9). Durch das Grubengletscher-Hochwasser von 1968 wurde der nach dem Hochwasser von 1958 für rund eine Million Franken fertiggestellte Fällbach-Kanal aufgerollt und die Vispa aus ihrem Bett geworfen (*Lichtenhahn* 1979). Darauf mussten nebst der Korrektur der verschobenen Vispa und der Wiederherstellung des Fällbachgerinnes bauliche Massnahmen zur Stabilisierung des Bachlaufs oberhalb des Schwemmkegels ergriffen werden. Es kam zum Bau der «Niagarafallsperre» im erodierten Bachtal bei der Grubenalp und zur Errichtung von drei Sperren oberhalb Heimischgarten. In ähnlicher Weise mussten zum Schutz der Gebäude beim Hotel Steingletscher die Ufer des Steinwassers

durch verschiedene Einbauten gesichert werden. Die Sanierung des Sellenerbachs beim Bächifirn im Kanton Uri (*Oechslin 1959*) wird zurzeit vorbereitet. Beim Grubengletscher wurde es sogar nötig, am Gletscher selbst einzugreifen: am See



Abb. 9 Schwemmkegel des Stammbachs mit ausgebaggertem Bachbett nach dem Wassertaschenausbruch von 1976. Das Durchlassrohr unter der Strasse Blatten-Gletscherstafel ist mit einem Pfeil markiert.

Aufnahme W. H. 23. 9. 76

1 wurde der anerodierte Moränenwall von 1890/1920 durch Blockwurf ergänzt und der Seeüberlauf betoniert (Abb. 10), am See 3 wurde der Seespiegel durch einen Überlaufstollen in der abdämmenden Gletscherpartie und ein in die Grundmoräne verlegtes Stahlblechrohr reguliert. Die Eigendynamik dieser Gletscherandsituation macht eine ständige Beobachtung unerlässlich. Der Rohreinlauf musste zum Schutz vor Schneeverwehungen weit vom Gletscherrand weggezogen und zum Schutz vor der durch Kalbungsflutwellen verursachten Auftriebswirkung beschwert werden (*Haeberli und Röthlisberger 1975*), der Rohrauslauf hingegen wird vom erneut vorstossenden Gletscher deformiert, sodass schon zweimal Rohrstücke entfernt werden mussten, um einen Rückstau zu vermeiden.





Abb. 10 Blockwurf und betonierter Überlauf am See 1 beim Grubengletscher. Durch die bauliche Massnahme wurde die Überlaufschwelle des proglazialen Sees vor rückschreitender Erosion geschützt und zugleich ein Retentionsbecken für kleinere Wasserausbrüche im Gebiet des Grubengletschers geschaffen. Helikopteraufnahme W. Schmid, 26. 8. 80

Die Möglichkeit *kurzfristiger Hochwasserprognosen* bei Wasserausbrüchen infolge «mechanischen» Bruchs einer Eisbarriere ist dadurch gegeben, dass einige Stunden vorher oft eine markante Abflussreduktion im Gletscherbach beobachtet werden kann. Ein Rückstau, der mehr als zwei bis drei Stunden dauert, dürfte in vielen Fällen ein Schadenhochwasser nach sich ziehen. Am Rhonegletscher wurden nach einem entsprechenden Ereignis, das am 17. Juli 1934 zwei Todesopfer forderte, Warntafeln angebracht. Bei einem weiteren Ausbruch am 9. August 1947 konnten Überschwemmungen in Gletsch dank rechtzeitigem Telefonalarm vom Hotel Belvédère aus verhindert werden (*Mercanton* 1935, 1948). Bei «hydraulischem» Bruch von Eisbarrieren, z.B. durch Absinken des Piezometer-niveaus im intra- und subglazialen Kanalsystem unter das Spiegelniveau eines gestauten Sees (*Röthlisberger* 1972) und isostatisches Aufschwimmen abdäm-mender Eispartien (*Nye* 1976) kommt es zu einer progressiven Erweiterung von Eiskanälen. Die dabei entstehende Abflussganglinie konnte im Fall des Grubengletschers durch eine Exponentialfunktion angenähert werden (*Röthlisberger* 1979). Da es sich hierbei um Ereignisse handelt, die in Zeiträumen von mindestens mehreren Stunden ablaufen, bieten sich Extrapolationen aufgrund von (nötigenfalls einfachsten) Abflussmessungen an. Die Prozesse sind auch der nu-



Abb. 11 Thermokarstsee auf dem Blockgletscher beim Grubengletscher von Norden. Der See ist am Ende der sechziger Jahre in massivem Grundeis (verschütteter Lawinenkegel im Permafrost) entstanden und vergrößert sich ständig. Aufnahme: W. H. 16. 7. 79

merischen Simulation nicht entzogen (*Spring* 1979). Voraussetzung für eine erfolgreiche Prognose jedoch ist in jedem Fall, dass die Gefahr rechtzeitig erkannt und an Ort die nötigen Messungen durchgeführt werden. Dem kommt entgegen, dass sich – zumindest im Fall der Seeausbrüche – Gefahrensituationen oft im Laufe von mehreren Jahren herausbilden. Die Ausführungen im Abschnitt über die Prozesse im Einzugsgebiet der Gletscherbäche zeigt, dass es hier nur wenige «typische Situationen» gibt – jeder Fall ist ein Spezialfall! Die Beurteilung der hydraulischen Situation tritt hier gegenüber der Beurteilung der glaziologisch-morphodynamischen Entwicklung in den Hintergrund.

Ein Beispiel für die Möglichkeiten derartiger *langfristiger Beobachtungen* ist in Abb. 11–13 dargestellt. Nahe beim See 3 am Grubengletscher entwickelt sich seit dem Ende der sechziger Jahre auf dem Rücken des grossen Blockgletschers (*Haeberli et al.* 1979) ein Thermokarstsee, dessen photogrammetrisch bestimmte Fläche nach einem Exponentialgesetz zuzunehmen scheint. Nach dem bisher beobachteten Trend dürfte der See in den achtziger Jahren ein Volumen erreichen, das bei einem plötzlichem Ausbruch im See 1 nicht mehr ohne Schadenfolgen aufgefangen werden könnte. Ein Ausbruch auf die orographisch rechte Seite des Blockgletschers könnte nach den Erfahrungen vom Rottalgletscher, wo

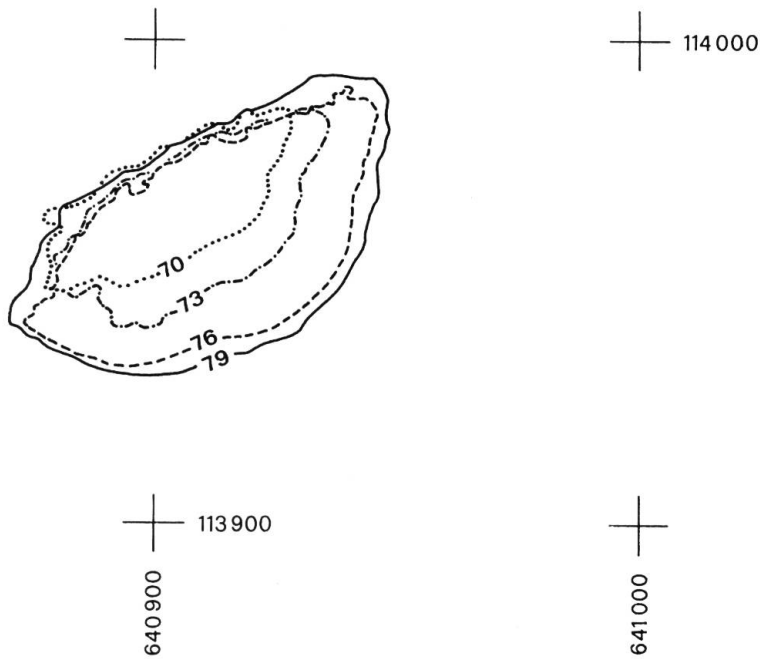


Abb. 12 Flächenveränderung am Thermokarstsee auf dem Blockgletscher beim Grubengletscher nach photogrammetrischen Auswertungen in den Jahren 1970, 1973 und 1976 und einer geodätischen Vermessung im Jahr 1979

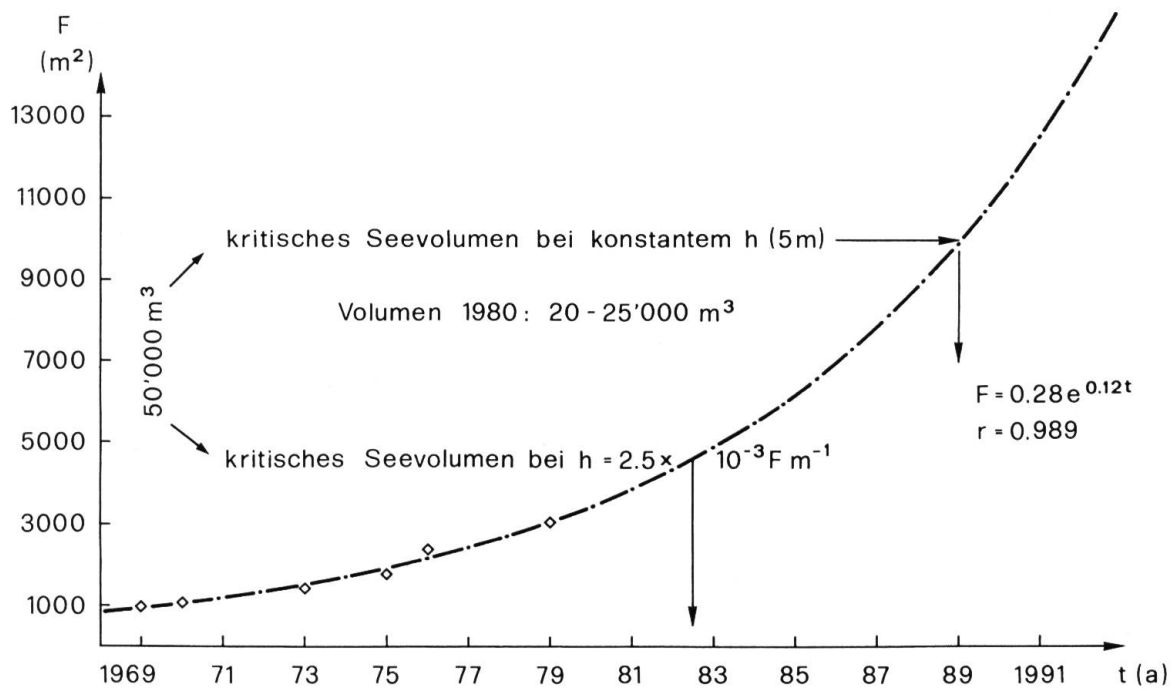


Abb. 13 Flächenveränderung am Thermokarstsee auf dem Blockgletscher beim Grubengletscher als Funktion der Zeit.  $h$  = durchschnittliche Tiefe des Sees

10 000 m<sup>3</sup> ausgebrochen waren, bereits heute Schadenfolgen haben, ist aber nicht wahrscheinlich, da die entsprechende Uferpartie stabil zu sein scheint. Als Grundlage für langfristige Beobachtungen können die in einem sechsjährigen Zyklus aufgenommenen Luftbilder zur Nachführung der Landeskarten benützt werden; einzelne Gletscher werden heute schon alljährlich befliegen (Rottal, Gruben, Hohberg, Festi, Kin). Für eine frühzeitige Erkennung von intra- und subglazialen Wasseransammlungen und potentiellen Wassertaschenausbrüchen fehlt allerdings zurzeit eine brauchbare wissenschaftliche Grundlage.

Alljährlich brechen in den Schweizer Alpen viele Gletscherseen und Wassertaschen aus, die meisten davon ohne Schadenfolgen, da sie im Ausmass zu unbedeutend sind oder in ungefährlicher Situation (z.B. in einen leeren Stausee hinein!) erfolgen. Am Anfang jeder Sicherheitsmassnahme – bei der *Früherkennung* des Gefahrenpotentials – steht deshalb eine Risikoabschätzung. Für diese ist allein der potentielle Schaden ausschlaggebend und dieser wird durch die hydrologisch-morphodynamischen Prozesse im Bachlauf verursacht. Für die Abschätzung der Ausbreitung von Flutwellen im Wasser können physikalische oder mathematische Modelle beigezogen werden (z.B. VAW 1965, Chervet und Dallèves 1970), bei den z.T. beobachteten Erosionsleistungen (Schuttanteil über 80 Gewichtsprozente der Gesamtmasse) kann man aber nicht mehr von Flüssigkeitsverhalten sprechen. Es handelt sich hier um Massenselbstbewegung mit hochplastischem Verhalten (Zeller 1972 b). Das Ausmass der Materialumlagerung und damit des Schadens ist zudem weder proportional zum Ausbruchsvolumen noch zur Abflussspitze, sondern hängt auch stark von der Neigung und dem lithologischen Charakter des Gletschervorgeländes ab. Die Kriterien für eine Risikoabschätzung wird man am ehesten aus der Betrachtung von kritischen Faktorenkombinationen herzuleiten versuchen. Die Tatsache, dass das Datenmaterial aus den historischen Beobachtungen nicht in idealer Weise für eine derartige Betrachtung geeignet ist, ändert nichts an der Notwendigkeit, soweit möglich durchschaubare, quantitative «Erfahrungswerte» für die möglicherweise auftretenden Hochwasserspitzen und Erosionsleistungen herauszuarbeiten. Solche Erfahrungswerte könnten ähnlich wie bei der Klassifikation von Wildbachschwemmkegeln nach Aulitzky (1973) für die Bewertung unterschiedlicher Gefahrenpotentiale beigezogen werden. Aufgrund derartiger «Grobbewertungen» könnten dann Beobachtungen auf unterschiedlicher, dem jeweiligen Fall angepasster Intensitätsstufe erfolgen (z.B. Befliegung in mehrjährigen Perioden, alljährliche Befliegung, photogrammetrische Auswertungen und Feldmessungen, Detailuntersuchungen und Überwachung). Dass damit nicht gelöste Problem der Wassertaschenausbrüche zeigt allerdings, dass die wissenschaftliche Erforschung des Wasserabflusses im Gletscher (Röthliberger 1980) noch vor schwierigen Aufgaben steht.

## ASPECTS MORPHODYNAMIQUES DES DÉBACLES GLACIAIRES RÉCENTES DANS LES ALPES SUISSES (RÉSUMÉ)

Malgré la décrue prononcée des glaciers durant le 20<sup>ème</sup> siècle et malgré la construction d'un grand nombre de barrages, les vidanges de lacs glaciaires et les ruptures de poches d'eau sont aujourd'hui encore une cause fréquente des crues d'eau dans les régions englacées des Alpes suisses. Dans la moyenne des trente dernières années, des dommages se sont produits environ tous les deux ou trois ans. Les dommages survenus sont en relation directe avec les processus qui se déroulent le long du torrent glaciaire, tels que l'écoulement des eaux, l'érosion et l'accumulation de sédiments. C'est d'ici qu'il faut partir pour établir une estimation des risques dans le sens d'une appréciation des dangers éventuels.

Partant d'une telle appréciation il devrait être possible de prévoir et d'observer des situations critiques en ce qui concerne les lacs glaciaires. Actuellement, une base propre à détecter d'avance des ruptures potentielles de poches d'eau fait défaut.

## MORPHODYNAMIC ASPECTS OF RECENT JÖKULHLAUPS IN THE SWISS ALPS (ABSTRACT)

Despite the pronounced retreat of glaciers during the 20th century and the installation of many water reservoirs, outbursts of glacial lakes and water-pockets often cause floods in glacierized regions of the Swiss Alps today. On the average, events causing damage occurred about every two to three years during the last thirty years. A direct relation exists between the resulting damage and the processes within the reach of the glacier stream such as the mode of water runoff and the extent of erosion and sedimentation. Safety considerations in the sense of assessing different hazard potentials will have to start from this point. Based on such a valuation critical situations could be recognized and monitored in the case of glacial lakes. No useful basis exists at present for an early detection of potential water-pocket ruptures.

## LITERATUR

- Aulitzky, H.* (1973): Vorläufige Wildbach-Gefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur in Wien, Fachveranstaltungen Band IV, Teil 2, S. 114–117
- Chervet, A. et Dallèves, P.* (1970): Calcul de l'onde de submersion consécutive à la rupture d'un barrage. Première partie: la méthode de calcul. Schweizerische Bauzeitung, 88. Jahrgang, Heft 19, S. 420–431
- Fisch, W. sen., Fisch, W. jun. and Haeberli, W.* (1977): Electrical D. C. resistivity soundings with long profiles on rock glaciers and moraines in the Alps of Switzerland. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie Band 13, Heft 1/2, S. 239–260
- Haeberli, W.* (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ Nr. 17, 221 S.
- Haeberli, W. und Rötliberger, H.* (1975): Beobachtungen zum Mechanismus und zu den Auswirkungen von Kalbungen am Grubengletscher (Saastal, Schweiz). Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie Band XI, Heft 2, S. 221–228
- Haeberli, W., King, L. and Flotron, A.* (1979): Surface movement and lichen-cover studies at the active rock glacier near the Grubengletscher Wallis, Swiss Alps. Arctic and Alpine Research Vol. 11, No. 4, S. 421–441
- Haefeli, R. und Müller, F.* (1957): Gutachten über die Ursachen des in der Nacht vom 29./30. Juli 1956 erfolgten Ausbruchs des Steingletschersees. Unveröffentlicht. Baudirektion des Kantons Bern
- Haefeli, R.* (1961): Gutachten betreffend Massnahmen zum Schutze der Unterlieger vor katastrophalen Ausbrüchen des Steingletschersees. Unveröffentlicht. Baudirektion des Kantons Bern
- Hagen, T.* (1944): Der Gletscherausbruch von Ferpècle. Die Alpen (SAC) XX, S. 269–274
- Kasser, P. und Aellen, M.* (1974): Die Gletscher der Schweizer Alpen 1970–1971, 92. Bericht. Publikation der Gletscherkommission der SNG, 96 S.
- Kasser, P. und Aellen, M.* (1979): Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1977/78. Die Alpen (SAC), 55. Jahrgang, 4. Quartal, S. 197–212
- King, L.* (1974): Studien zur postglazialen Gletscher- und Vegetationsgeschichte des Susten-



passgebietes. Basler Beiträge zur Geographie Heft 18, 123 S.

*Leser, H.* (1980): Die Geomorphologie und die Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft. Vortrag gehalten am 21. Juni 1980 zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft in Basel. Hektographiert, 17 S. Veröffentlichung im Geographischen Taschenbuch 1981/1982

*Lichtenhahn, C.* (1979): Die Verbauung des Fällbaches in der Gemeinde Saas-Balen. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ Nr. 41, Festschrift Peter Kasser, S. 169–176

*Martin, J.* (1953): Les débâcles au vallon de Ferpècle. Die Alpen (SAC) XXIX, S. 26–29

*Mercanton, P. L.* (1935): Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Cinquante-cinquième rapport – 1934. Les Alpes (CAS) XI, S. 227–236

*Mercanton, P. L.* (1943): Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Soixante-troisième rapport – 1942. Les Alpes (CAS) XIX, S. 161–168

*Mercanton, P. L.* (1947): Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Soixante-septième rapport – 1946. Les Alpes (CAS) XXIII, S. 313–320

*Mercanton, P. L.* (1948): Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Soixante-huitième rapport – 1947. Les Alpes (CAS) XXIV, S. 387–394

*Mercanton, P. L. et Renaud, A.* (1952): Les variations des glaciers des Alpes suisses. Soixante-douzième rapport – 1951. Les Alpes (CAS) XXVIII, S. 215–220

*Nye, J. F.* (1976): Water flow in glaciers: jökulhlaups, tunnels and veins. Journal of Glaciology Vol. 17, No. 76, S. 181–207

*Oechslin, M.* (1959): Der Ausbruch des Etzli- und Sellenerbaches in Bristen. Der Gotthard 7. Folge, Heft 11, S. 114–116

*Renaud, A.* (1954): La débâcle glaciaire d'Almagell. In: *Mercanton, P. L. et Renaud, A.* (1954): Les variations des glaciers des Alpes suisses. Soixante-quatorzième rapport – 1953. Les Alpes (CAS) XXX, S. 190–195

*Renaud, A.* (1961): Les variations des glaciers suisses 1959–1960. 81e rapport. Les Alpes 1961, S. 213–224

*Röthlisberger, H.* (1972): Water pressure in intra- and subglacial channels. Journal of Glaciology Vol. 11, No. 62, S. 177–203

*Röthlisberger, H.* (1979): Glaziologische Arbeiten im Zusammenhang mit den Seeausbrüchen am Grubengletscher, Gemeinde Saas Balen (Wallis). Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ Nr. 41, Festschrift Peter Kasser, S. 233–256

*Röthlisberger, H.* (1980): Gletscherbewegung und Wasserabfluss. Wasser, Energie, Luft, 72 Jahrgang, Heft 9, S. 290–294

*Röthlisberger, H.* (im Druck): Eislawinen und Ausbrüche von Gletscherseen. Gletscher und Klima. Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1978

*Spring, U.* (1979): Wasserabfluss durch intraglaziale Kanäle. In: Mitteilung der Versuchsanstalten für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ Nr. 37, Vorträge über Eis- und Gletschermechanik, S. 127–143

*Töndury, G. A.* (1954): Ursachen und Bekämpfungsmöglichkeiten der zunehmenden Hochwassergefahr im Engadin. Wasser- und Energiewirtschaft 46. Jahrgang, Nr. 12, S. 308–323

*VAVE* (1965): Bericht über eine Untersuchung der Überflutungszone im Fall momentaner und totaler Zerstörung der Staumauer Lucendro bei halb gefülltem Stausee. Unveröffentlicht, 7 S.

*Walser, M. E.* (1952): La crue de la Borgne le 4 août 1952. Cours d'Eau et d'Énergie An. 44, No. 9, S. 179–183

*Zeller, J.* (1972 a): Beitrag zur Wildbachgeographie der Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen Nr. 11, November 1972, S. 767–774

*Zeller, J.* (1972 b): Die Schwierigkeit einer technisch korrekten Festlegung der Wildbachgefahrenzonen. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur in Wien, Fachveranstaltungen Band IV, Teil 2, S. 169–186

*Zumbühl, H. J.* (1975): Die Schwankungen des Unteren Grindelwaldgletschers in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie Band XI, Heft 1, S. 12–50