# Murgänge im Hochgebirge

## Ereignisse 1987 im Puschlav und Obergoms

Wilfried Haeberli und Felix Naef,
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ)

### Einleitung

Die katastrophalen Schadenhochwasser vom Sommer 1987 wurden durch Starkniederschläge in den Hochregionen der Alpen ausgelöst (*Zeller/Röthlisberger* 1988). Dabei waren hauptsächlich zwei Prozesse beteiligt (*Naef* et al. 1988):

1. Unterhalb der Waldgrenze veränderten sich Bach- und Flussläufe in oft markanter Weise durch Erosion, Geschiebetrieb, Dammbruch, Überflutung usw. Am schwersten betroffen waren das Veltlin und das Urner Reusstal.
2. Weit oberhalb der Wald- und Mattenzonen, d. h. im Gebiet der praktisch unbewachsenen Schutthalden, der Moränen in den Gletschervorfeldern und der sommerlichen Firnflecken bildeten sich in klar definierbaren Anrisszonen Murgänge. Bekannt geworden sind vor allem die Ereignisse von Poschiavo und Münster/Obergoms.

Der vorliegende Aufsatz berichtet kurz über die Rekognoszierungsarbeiten, die unmittelbar nach den Ereignissen in den Murganggebieten des Puschlav und des Obergoms durchgeführt wurden. Bilder von der Verwüstung in den Ablagerungszonen waren in der Tagespresse reichlich zu sehen. Das hier ausgewählte Bildmaterial konzentriert sich deshalb auf die Prozesse im Entstehungsgebiet.

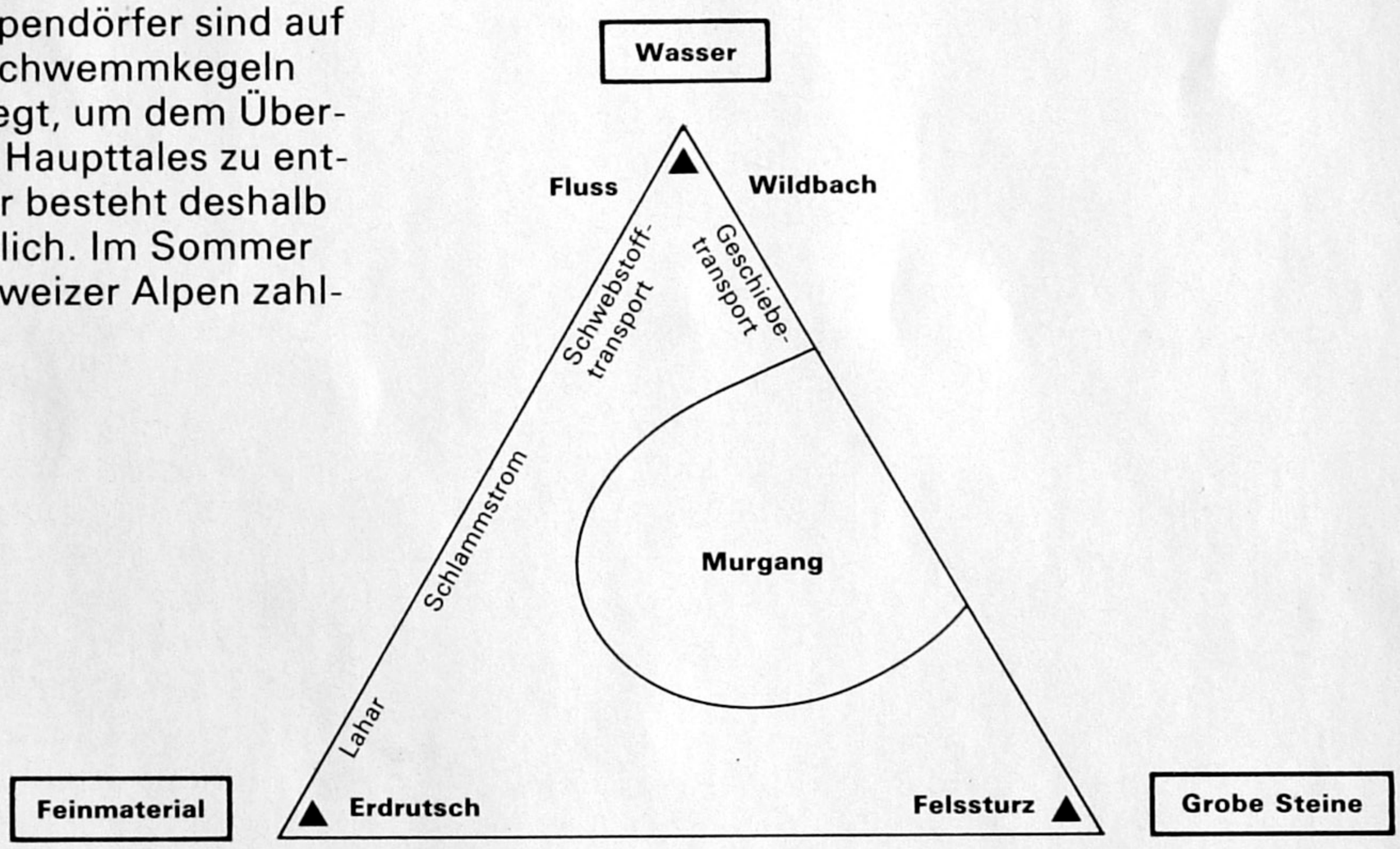
Schadenhochwasser aus den höchsten Regionen der Alpen sind normalerweise auf Ausbrüche von gletschergestauten Seen oder Wassertaschen zurückzuführen (*Haeberli* 1980, 1983). Bei sommerlichen Starkniederschlägen werden die Abflussspitzen im Gletscher- und Gletscherrandbereich meistens gedämpft, da wasserdurchlässige Firngebiete, spaltenreiche Gletscherzungen, unverfestigte Moränen und grobblockige Schutthalden vorübergehend beträchtliche Wassermengen schlucken können. Intensive Niederschläge sind oft auch mit einem Temperatursturz verbunden; der Regen geht dann in der Höhe in Schneefall über, und der Schmelzprozess an Eis- und Schneeoberflächen wird gebremst oder gar vollständig unterbunden.

Wenn ungünstige Umstände zusammentreffen, können allerdings katastrophale Ereignisse auftreten. Da auf den steilen Hängen reichlich labiler Lockerschutt zum Abtransport

bereitliegt, bilden sich bei extremen Abflussereignissen vorwiegend Murgänge oder ‹Rüfen›. Im Gegensatz zum Wildbach überwiegt beim Murgang eindeutig der Geschiebeanteil; der Wasseranteil ist aber immer noch wesentlich höher als beim Erdrutsch oder Bergsturz (siehe untenstehendes Diagramm). Die Übergänge zwischen den Phänomenen Hochwasser, Murgang und Erdrutsch sind allerdings fliessend. Murgänge gehen oft mit erheblicher Geschwindigkeit in einem einzigen Zug oder pulsierend in mehreren sich folgenden Murstössen über eine weitgehend linienförmige Auslaufstrecke nieder. Die grössten Blöcke bilden die Front oder den Murenkopf, feineres, schlammartiges Material folgt hintennach (*Davies* 1988). Das Geschiebe wird schliesslich in flacherem Gelände in der Form eines Murkegels abgelagert. Abflusshöhe, Massentransport und Erosionsleistung sind gegenüber Wildbach-Hochwassern oft beträchtlich erhöht. Spuren von kleinen Murgängen findet man auf den meisten aktiven Schutthalden des Hochgebirges. Viele Alpendörfer sind auf leicht erhöhten Mur- und Schwemmkegeln von Seitentalbächen angelegt, um dem Überschwemmungsbereich des Haupttales zu entgehen. Eine Murganggefahr besteht deshalb in solchen Fällen grundsätzlich. Im Sommer 1987 haben sich in den Schweizer Alpen zahlreiche kleinere und grössere Murgänge abgespielt. In Poschiavo und Münster waren die Folgen am gravierendsten.

## Puschlav

Am 18. Juli 1987, nach heftigen Niederschlägen, wälzte sich aus dem Val Varuna bei Poschiavo ein Murgang ins Tal und staute den hochwasserführenden Poschiavino. Dieser ergoss sich über den Murkegel, schleppte viel Murschutt mit, erhöhte dementsprechend seine Sohle und verliess bald sein Bett, um sich durch die Strassen des Dorfes einen




**Dreiecksdiagramm, das die Zusammensetzung von rasch bewegten Wasser/Gestein-Gemischen hinsichtlich Wasser, Feinmaterial und groben Blöcken zeigt. Murgänge (engl. ‹debris flows›) sind Übergangsformen zwischen Hochwassern in Wildbächen mit überwiegendem Wasseranteil und Felsstürzen oder Erdrutschen mit überwiegendem Gesteinsanteil. Das Schutt/Wasser-Gemisch verhält sich in einem Murgang wie eine Flüssigkeit, die dabei auftretenden Vorgänge werden zurzeit erforscht. Wenn das grobe Material fehlt, bezeichnet man das Phänomen eher als Schlammstrom (engl. ‹mudflow›, bei vulkanischem Material auch ‹Lahar›)**

neuen Abfluss zu suchen. Das letzte vergleichbare Ereignis hatte sich 1834 zugetragen. Auch in den darauffolgenden Jahrzehnten richteten damals Murgangereignisse aus diesem Tal Schäden an. Es überrascht deshalb nicht, dass Professor Culmann in seinem ‹Bericht an den hohen Bundesrath› von 1864 die Varuna als einen der schlimmsten Wildbäche der Schweiz bezeichnet. In jüngerer Zeit zeigte die Varuna allerdings ein völlig anderes Bild. Auch auf starke Niederschläge reagierte der Bach kaum. Die grösste gemessene Hochwasserspitze betrug nach den Aufzeichnungen der Abflussmess-Station der Landeshydrologie auf der Höhe von Vederscion in der Periode von 1970 bis 1983 nur 2,5 $m^3$/Sekunde. Für die vorhandene Fläche des Einzugsgebietes wäre theoretisch ein fünf- bis zehnmal grösserer Wert zu erwarten. Eine Helikopterbefliegung mit anschliessender Begehung am 28. Juli ergab folgendes Bild (Aktennotiz VAW vom 30. Juli 1987):

Weder die Gletscherreste in der Ostflanke des Piz Varuna (3453 m ü. M.) noch die darunterliegende Felsstufe mit Wasserfall zeigten Spuren aussergewöhnlicher Ereignisse. Am Ansatzpunkt der grossen Schutthalde, am Fuss des Wasserfalls hingegen (P. 2712, Lokalität Bressa), befand sich ein aus Lawinenresten gebildeter Firnfleck mit auffälligen Erosionsspuren: eingestürztes Firngewölbe über dem Bach, ausgeworfener Schutt, losgelöste Firnblöcke (Abb. 1). Offenbar hatte abgerutschter Schutt vom Fuss des Wasserfalls den Bachlauf unter dem Firnfleck zeitweise verstopft, worauf sich wassergetränkter Schutt über die Firnoberfläche zu ergiessen begann und das darunterliegende Bachgewölbe streckenweise zum Einsturz brachte. Durch den Ausbruch aus dem Firnfleck wurde ein Murgang ausgelöst, der das Bachbett bis ins Tal des Poschiavino hinunter tief erodierte. Im unteren Talabschnitt wurde die Gerinnesohle auf eine Länge von rund 1600 m über 10 m tiefer gelegt (Abb. 2 und 3). Dabei wurden die steilen Seitenhänge des engen, fluvia-

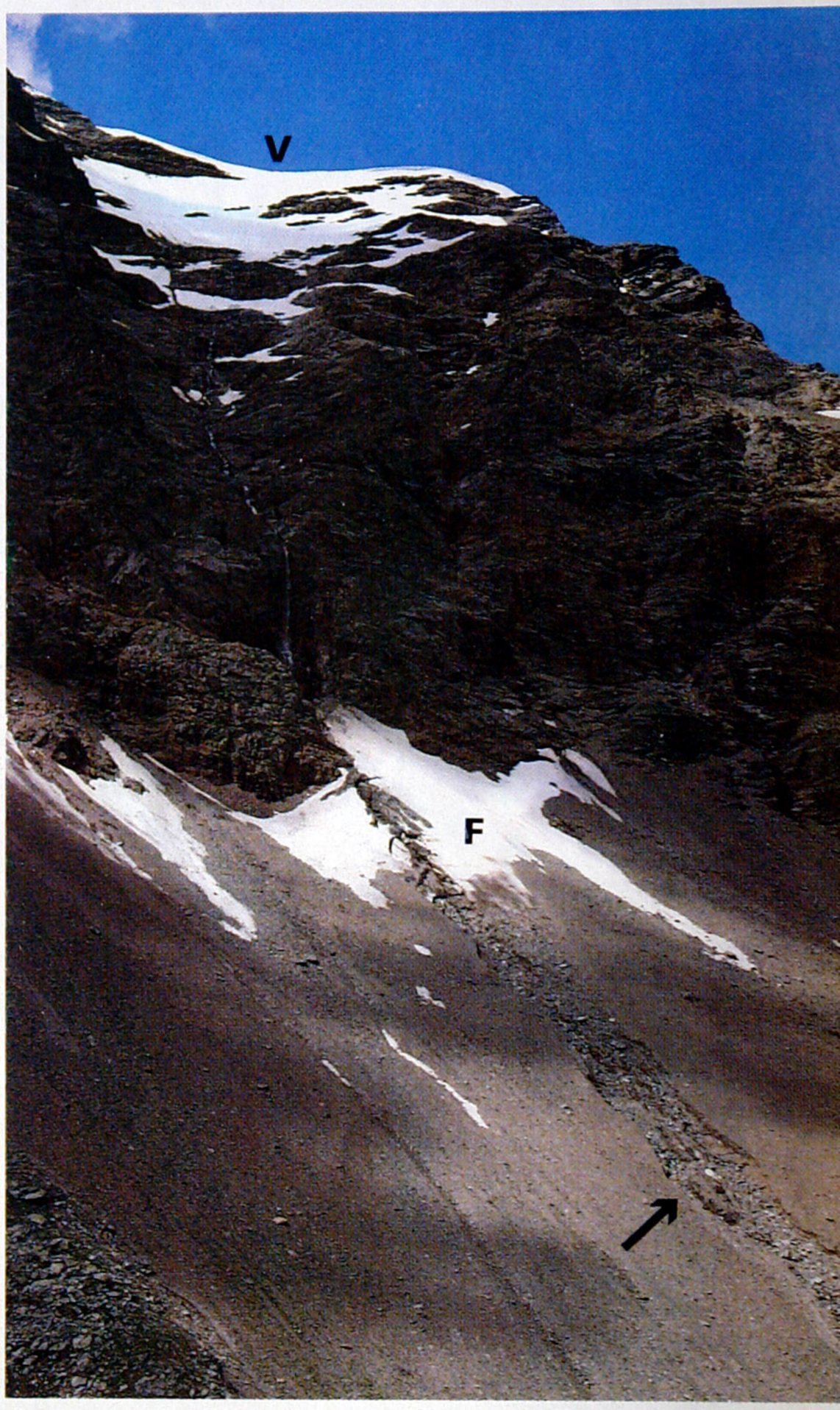



Photo: Wilfried Haeberli

**1**
**Ostflanke des Piz Varuna, 3453 m ü. M., mit intakten Resten einer Flankenvergletscherung (V). Unter dem Wasserfall in der Felsstufe erkennt man den Anriss des grössten Murgangs im Val Varuna am zerrissenen und teilweise schuttüberführten Firnfleck (F) sowie die markante Tiefenerosion in der darunterliegenden Schutthalde (Pfeil). (Aufnahme: 28. Juli 1987)**

len Kerbtales stark unterschnitten und destabilisiert (Abb. 4). Ausser um das betroffene Gerinne herum waren jedoch kaum Spuren von übermässigen Abflüssen festzustellen. Auch die Seitenbäche scheinen nicht überfordert gewesen zu sein. Hingegen konnten in den obersten Abschnitten des Val Varuna und der angrenzenden Täler auch an zahlreichen anderen Firnflecken Spuren von kleineren und grösseren Murgangereignissen beobachtet werden (Abb. 5). Die Gefahr von Nachrutschungen im destabilisierten Unterlauf war offensichtlich. Schon am 24. August stürzte wieder ein Murgang ins Tal. Eine erneute Überschwemmung von Poschiavo konnte diesmal mit Einsatz aller Kräfte verhindert werden.



Photo: Felix Naef

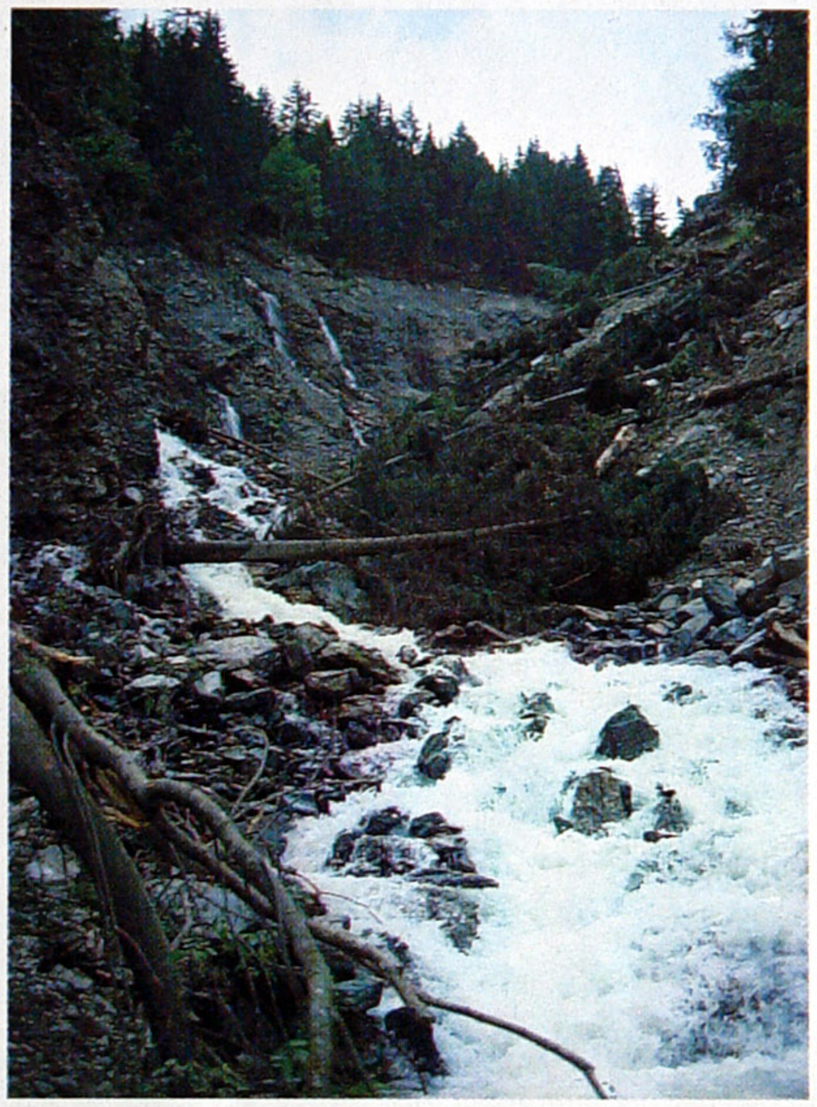


Photo: Felix Naef

**3**
**Ungefähr die gleiche Stelle wie Abbildung 2 nach den Ereignissen vom Juli 1987. Die Abfluss-Messstation ist weggerissen, die Tiefenerosion beträgt stellenweise über 10 m. (Aufnahme: 27. Juli 1987)**

**2**
**Abfluss-Messstation der Landeshydrologie und -geologie im Val Varuna vor den Murgängen von 1987. (Aufnahme: September 1986)**



Photo: Wilfried Haeberli

**4**
**Zerstörte Brücke und Strasse im unteren Teil des Val Varuna. Die steilen Seitenhänge des engen Kerbtales sind massiv unterschnitten und destabilisiert. (Aufnahme: 28. Juli 1987)**




Photo: Eidg. Vermessungsdirektion

**5**
**Murgang im Val Varuna (V) bei Poschiavo (P). Gletscher (Zunge des Palügletschers PG), aktive (aB) und fossile Blockgletscher (fB) zeigen keine auffälligen Spuren.**

**Auch die Mattenzone (rot) und die bewaldeten Gebiete (dunkel) scheinen weitgehend unversehrt geblieben zu sein. Im dazwischenliegenden Bereich der unbewachsenen Schutthalden jedoch sind zahlreiche und meist frische Murgangspuren auszumachen (Pfeile).**
**IR-Aufnahme der Eidg. Vermessungsdirektion, 21. September 1987 (Reprobewilligung vom 5. Mai 1988)**

## Obergoms

Nachdem bereits die Beobachtungen im Val Varuna bei Poschiavo Hinweise auf die Lage von Murgang-Anrisszonen im Firnflecken- und Gletscherrandbereich gegeben hatten, wurden die wichtigsten Einzugsgebiete der darauf folgenden schweren Schadenhochwasser vom 24. August 1987 im Obergoms im Rahmen der Tätigkeit der vom Bundesrat 1973 eingesetzten Arbeitsgruppe für gefährliche Gletscher und mit Unterstützung durch die Fliegertruppen der Armee (Helikoptereinsatz) am 27. August rekognosziert. Dabei ging es darum, einen Überblick zu erhalten, was sich in den Entstehungsgebieten der Murgänge abgespielt hatte. Auch sollte die Lage grob beurteilt und dringend notwendige Schritte für weitere Untersuchungen eingeleitet werden. Die Aktion konzentrierte sich vor allem auf die am stärksten betroffenen Gebiete des Minstiger- und Gerentales, doch wurden – bei zunehmend schlechter werdender Sicht – auch ausgewählte Gebiete im Bereich der Vispertäler besichtigt.

Auch im Obergoms zeigten die Gletscher keine auffälligen Spuren von aussergewöhnlichen Ereignissen wie Bewegungs-Instabilitäten, Eislawinen oder Ausbrüche von Wassertaschen und eisgestauten Seen. Hingegen waren steile und vegetationslose Schutthalden im Bereich der Firnflecken und Gletschervorfelder an vielen Stellen destabilisiert worden. Die grössten Ereignisse hatten unmittelbar unterhalb des Minstiger- und Saasgletschers angesetzt. Im Minstigertal dürfte ein Murgang ausgehend von der steilen, moränengefüllten und wahrscheinlich erst in den letzten Jahrzehnten eisfrei gewordenen Schlucht unterhalb der Gletscherzunge (Abb. 6) in einem Zug, d. h. ohne wesentliche Zwischenablagerungen, bis ins Haupttal gelangt sein. Im ersten Drittel der Laufstrecke bis zum ‹Brichboden› (ca. P. 1960 m ü. M.) endeten mehrere kleinere Murgänge, die sich am Rand von Firnflecken in den steilen Felscouloirs der Seitenhänge gelöst hatten. Wie der Hauptmurgang in der Talachse zeigten auch sie kastenförmige Erosionsquerschnitte und stellenweise charakteristische Murwälle, vor allem auf den Aussenseiten von Kurven (Abb. 7 und 8). Im




Photo: Wilfried Haeberli

**6**
**Anrisszone des Murgangs von Münster. Das Moränenmaterial in der steilen Schlucht unterhalb der blanken und aufgewölbten Zunge des Minstigergletschers (G) ist stellenweise bis auf den anstehenden Fels ausgeräumt. Die Erosionskanten (X) im unteren Teil der Schlucht vermitteln einen Eindruck von der erfolgten Tiefenerosion. Ein Gerinne hat allerdings sicher schon vor dem Ereignis bestanden. Es fällt auf, dass der Gletscherbach den Gletscher seitlich verlässt und sich in einem Wasserfall (Pfeil) in die Felsschlucht hinunterstürzt. Vor dem Ereignis soll der Bachaustritt noch an der tiefsten Stelle, d. h. am Grund der Schlucht gelegen haben. Erfahrungsgemäss kann schon die Verlegung des Gletscherbaches genügen, um einen Murgang auszulösen. (Aufnahme: 27. August 1987)**




Photo: Wilfried Haeberli

7
Spuren des Murgangs von Münster unterhalb des Minstigergletschers (Lokalität Brichboden). Für das Murgangphänomen charakteristisch sind die seitlichen Wälle (Levés) aus frischem (hellem) Geschiebe (L). Die Gerinnesohle ist nur wenig eingetieft und kaum mit grobblockigem Material gepflästert. Links des Hauptmurgangs erkennt man einen markanten Murkegel (M) mit aktuellen Erosionsspuren im Vordergrund und zahlreichen meist alten (bewachsenen) Murgangspuren. (Aufnahme: 27. August 1987)



Photo: Wilfried Haeberli

8
Murgänge im Minstigertal (Lokalität Brichboden). Von der linken Talflanke ist ein kleinerer Murgang niedergegangen und hat die seitlichen Murwälle des Hauptmurgangs durchbrochen (Pfeile). Der seitliche Murgang hat sich offensichtlich nach dem Hauptmurgang ereignet und das Dorf Münster nicht erreicht. (Aufnahme: 27. August 1987)

unteren Abschnitt des Minstigertales markierten Feinmaterialablagerungen das höchste Abflussniveau (Abb. 9). Der relativ breite Querschnitt des klassischen glazialen Trogtales erlaubte zwar eine beträchtliche Seitenerosion im Gerinne, doch wurden die steilen Hangpartien nicht wesentlich unterschnitten. In Münster selbst soll die Front des Murgangs ohne jegliche Voranzeichen als ‹viele Meter hohe, dunkle Wand von Geröll und Bäumen, mit der Geschwindigkeit eines normal fahrenden Autos, bei starker Bodenerschütterung, donnernd› durchs Dorf gefahren sein (Abb. 10 und 11). Dieses Ereignis füllte das Bachbett im Dorf mit grobem Geschiebe hoch auf, so dass das niederschlagsbedingte Hochwasser der nachfolgenden Stunden durch Teile des Dorfes abfliessen musste.

Spuren von dramatischen Ereignissen waren auch im Gerental bei Oberwald zu sehen. Zahlreiche Murgänge hatten sich in steilen Moränenpartien und am Ansatz von Schutthalden am Rande von Firnflecken gebildet (Abb. 12). Die Lokalität ‹Schweif› bei P. 1778 m ü. M. wurde durch einen spektakulären Murgang aus dem Saastal vollständig mit Geschiebe überführt. Das Ereignis hatte seinen Anfang im moränenreichen Vorfeld des kleinen Saasgletschers genommen und im Lockergesteinsmaterial massive Tiefenerosion verursacht. Der grösste Ausbruch befand sich orographisch links der Gletscherzunge am Rande eines Firnflecks auf ca. 2540 m ü. M. in west- bis nordwestexponierter Lage. Am Anriss selber konnte eine stark vereiste, d. h. tiefgründig gefrorene, stellenweise überhängende und wasserüberronnene Moränenwand beobachtet werden (Abb. 13). Während der Befliegung lösten sich dauernd Schutt und Schlamm aus dieser Zone und der Saasbach



Photos: Wilfried Haeberli




**9**
**Unterer Teil des Minstigerbaches. Die Tiefenerosion ist beschränkt, die Uferpartien sind nur lokal angeschnitten (U), und das höchste Abflussniveau wird durch Spuren des (dem Murenkopf folgenden) feinen Schlamms im Gras markiert (Pfeil). (Aufnahme: 27. August 1987)**



**10**
**Murgangspuren und Schlammablagerungen im Dorf Münster. (Aufnahme: 27. August 1987)**

war im Gegensatz zu den meisten anderen Bächen immer noch deutlich getrübt. Das Ereignis am Saasgletscher ist mit demjenigen im Val Varuna vom Massenumsatz her etwa vergleichbar. Günstig hat sich jedoch ausgewirkt, dass ein wesentlicher Teil des groben Geschiebes im Gerental abgelagert wurde und deshalb das Haupttal nicht erreichte. Die Stabilität der überhängenden Permafrost-Moräne im Murganganriss am Saasgletscher war schwer zu beurteilen, und das Risiko eines grossen Nachsturzes mit anschliessendem Murgang im Gerental konnte nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Da Sanierungsarbeiten im labilen und schwer zugänglichen Anrissgebiet kaum sinnvoll möglich waren, musste vorerst die natürliche Entwicklung abgewartet und der (unbewohnte) Talboden des Gerentals bis auf weiteres als potentielle Gefahrenzone betrachtet werden. Dem Krisenstab im Katastrophengebiet wurde noch gleichentags empfohlen, während der Aufräumearbeiten in den schuttüberführten Gebieten die betroffenen Bäche ständig zu beobachten und den Talboden des Gerentales bis auf weiteres für Touristen zu sperren. Unverzüglich wurde auch ein Infrarot-Vermessungsflug über dem Katastrophengebiet geplant. Dieser Flug konnte am darauffolgenden Wochenende bei idealen Sichtverhältnissen durch die Eidgenössische Vermessungsdirektion ausgeführt werden.

## Interpretationsansätze

Aufgrund der Rekognoszierungsarbeiten unmittelbar nach den Schadenereignissen und einer qualitativen Grobauswertung der Infrarot-Bildflüge vom Obergoms und Puschlav können einige naturgemäss noch stark hypothetische Schlüsse gezogen werden. Die Anrisszonen der meisten Murgang-Ereignisse befinden sich in den Schutthalden und Moränen des Randbereichs von Gletschern,



Photo: Wilfried Haeberli




**11**
**Murgang im Minstigertal (M). Die hellen Spuren zeigen klar die Ablagerungen in Münster und die Herkunft des Murgangs vom Minstigergletscher (MG). Die praktisch unversehrte Mattenzone erscheint rot, der Wald dunkel. Auch hier sind viele frische Murgangspuren in den unbewachsenen Schutthalden und Moränen zu beobachten (Pfeile), wobei sich die Anrisszonen oft in Gratnähe befinden (kleines hydrologisches Einzugsgebiet). In den Nachbartälern sind nur spärliche Erosionsansätze und Wildbachereignisse (Geschinen), jedoch kaum ausgeprägte Murgangspuren festzustellen.**
**IR-Aufnahme der Eidg. Vermessungsdirektion, 29. August 1987 (Reprobewilligung vom 5. Mai 1988)**

Schneeflecken und Permafrost. Die Gletscher selber wie auch die Matten- und Waldzone erscheinen weitgehend unversehrt. Die grossflächige Verteilung der frischen Murgangspuren deutet auf ein extremes Ereignis hin. Der Begriff ‹extrem› bezieht sich dabei nicht allein auf die Niederschlagsmenge oder die Niederschlagsintensität, sondern auf eine Kombination verschiedener beteiligter Faktoren. So war

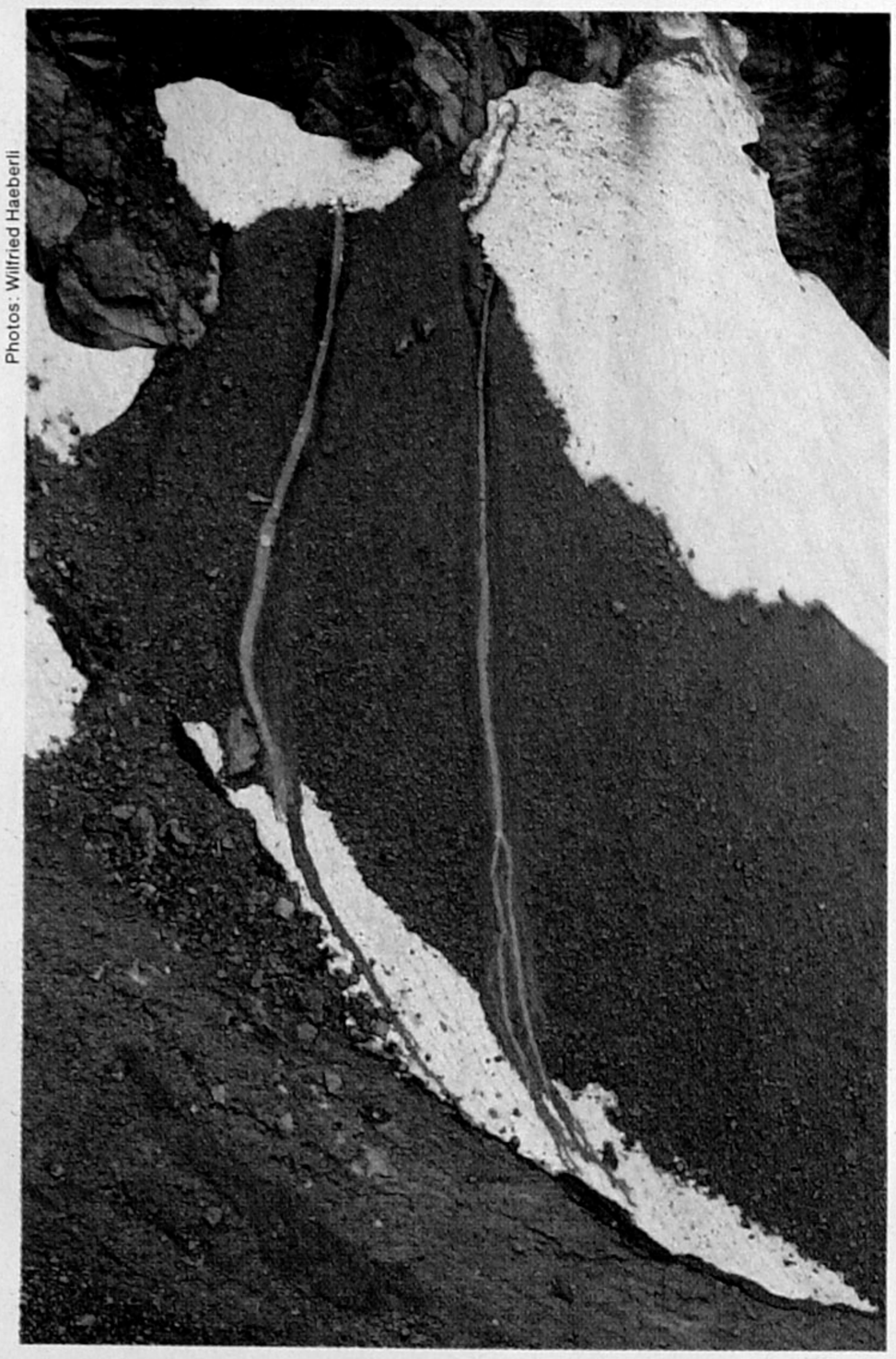
a) infolge der Rückbildung von Gletschern, Firnflecken und Permafrost im 20. Jahrhundert Lockerschutt in Couloirs, Schutthalden und Gletschervorfeldern freigelegt,

b) durch das verzögerte Ausapern im Frühsommer 1987 nach späten Schneefällen ein grosses Schmelzwasserpotential bereitgestellt,

c) durch die den Starkniederschlägen vorangegangene intensive Schmelze viel Lockermaterial mit Wasser gesättigt und die Gerinnekapazität bereits ausgelastet und

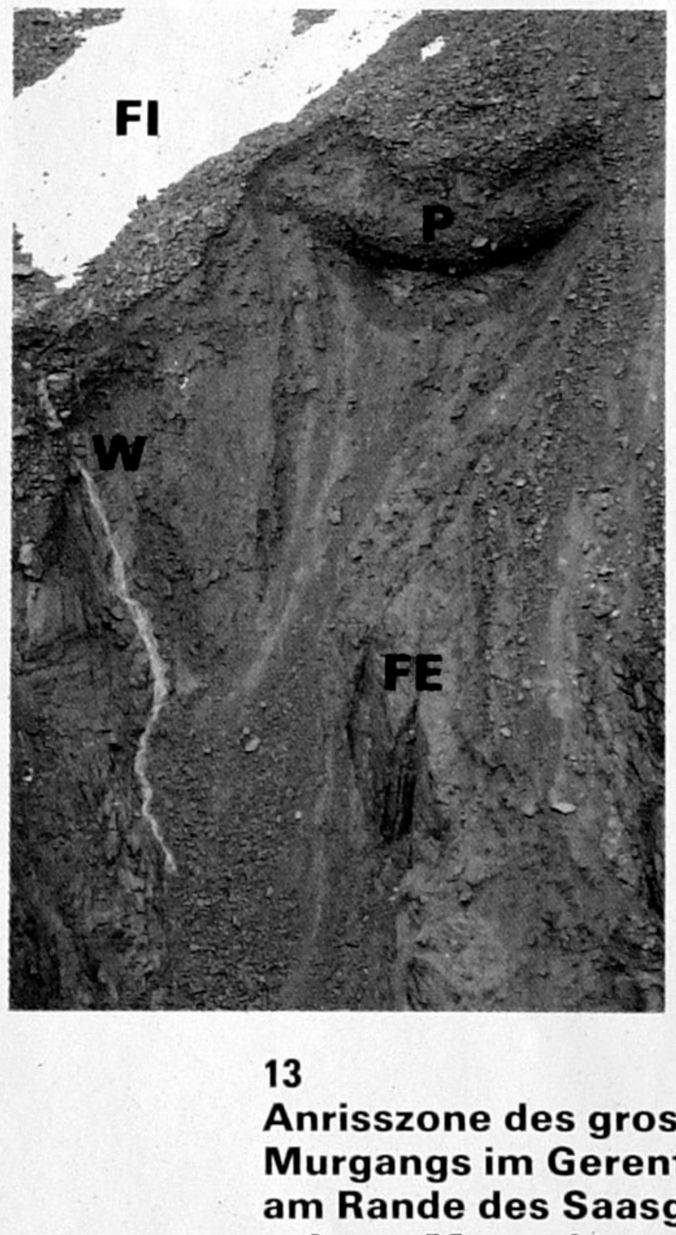
d) die Nullgradgrenze sehr hoch, so dass die grossen Niederschlagsmengen bis in die Gletscherregion hinauf vorwiegend in flüssiger Form fielen.

Auch für die einzelnen Murganganrisse scheint eine spezifische Faktorenkombination ausschlaggebend gewesen zu sein. Offensichtlich beteiligt waren dabei die Neigung der Schuttoberfläche, die Präsenz eines Schmelzwasserflusses am Rand von Gletschern und perennierenden Schneeflecken und die Existenz eines oberflächennahen Grundwasserstauers (Fels und/oder Permafrost). Die Situationen in Münster und Poschiavo unterscheiden sich nach den Ereignissen vom Sommer 1987 grundsätzlich: Im Minstigertal ist der entscheidende Geschiebeherd (Schlucht im Gletschervorfeld) weitgehend ausgeräumt, die Talflanken sind kaum verletzt; eine Wiederholung des gleichen Ereignisses erscheint in unmittelbarer Zukunft wenig wahrscheinlich. Im Val Varuna bei Poschiavo ist im Anrissgebiet



Photos: Wilfried Haeberli

**12**
**Kleine Murgänge im Tal des Saasbaches (Gerental). Wie bei den grossen Ereignissen liegen auch hier die Anrisszonen am Rande von Firnflecken und am Ansatzpunkt von steilen Schutthalden. (Aufnahme: 27. August 1987)**




**13**
**Anrisszone des grossen Murgangs im Gerental, am Rande des Saasgletschers. Man erkennt eine stehengebliebene gefrorene Moräne/ Schutthalde (Permafrost P), einen Firnfleck (FI) mit oberflächennahem Wasserabfluss (W) und steil abfallenden anstehenden Fels (FE). (Aufnahme: 27. August 1987)**

das Potential für weitere gleichartige Ereignisse vorhanden, zudem sind die Talflanken destabilisiert. Die historische Wiederkehrdauer der Ereignisse unterscheidet sich dementsprechend: in Münster dürfte das letzte vergleichbare Vorkommnis Jahrhunderte zurückliegen (vor der ‹Kleinen Eiszeit›?), wie die Chroniken und die Bodenbildung auf dem Murschwemmkegel andeuten.

## Ausblick

Die Ursachen der Hochwasser 1987 in den Schweizer Alpen werden zurzeit in einem Sonderprogramm des Bundes unter der Leitung der Landeshydrologie und -geologie sowie des Bundesamtes für Wasserwirtschaft untersucht. Im Rahmen dieses Programmes wird auch die Murgangproblematik speziell untersucht. In erster Linie geht es darum, die Ereignisse vom Sommer 1987 anhand von qualitativen und quantitativen Luftbildauswertungen, Feldbegehungen und gezielten geophysikalischen Sondierungen zu dokumentieren und die beteiligten Faktoren zu analysieren. Anhand des gesammelten Materials sollen bereits bestehende Faustregeln überprüft und wenn nötig modifiziert werden. Für Gletscherhochwasser in den Alpen gilt zum Beispiel der Erfahrungswert, dass die Erosion im Lockergestein pro Laufmeter 500 $m^2$ nicht übersteigt, da grobe Blöcke aus den Flanken des erodierten Gerinnes vorher die Sohle auf natürliche Art pflästern und damit gegen weitere Erosion schützen. Bei den Murgangereignissen vom Sommer 1987 scheint dieser Grenzwert nicht oft erreicht worden zu sein, und der Pflästerungseffekt war wenig ausgeprägt. Es ist demnach möglich, dass die Ereignisse auch noch folgenschwerer hätten ablaufen können. Es wird auch zu überprüfen sein, ob neue Grundlagen für die Planung des Hochwasserschutzes oder die Abgrenzung von Gefahrenbereichen erarbeitet werden müssen. Darüber hinaus wird man versuchen, grobe Szenarien für die langfristige Entwicklung zu entwerfen. Immerhin kann man sich vorstellen, dass sich die Häufigkeit von Murgang-Ereignissen im Hochgebirge, wie sie sich im Sommer 1987 abgespielt haben, in Zukunft steigern könnte, falls die Temperatur weiter ansteigt und sich das Abschmelzen von Gletscher- und Permafrosteis fortsetzt oder gar beschleunigt.

## Literatur

*Culman, C.* (1864): Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrat über die Untersuchungen der schweizerischen Wildbäche vorgenommen in den Jahren 1858, 1859, 1860 und 1863. Zürcher & Furrer, Zürich, 1864.

*Davies, T. R. H.* (1988): Debris flow surges – a laboratory investigation. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, Nr. 96, 120 S.

*Haeberli, W.* (1980): Morphodynamische Aspekte aktueller Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen. Regio Basiliensis XXI/3, S. 58–78.

*Haeberli, W.* (1983): Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. Annals of Glaciology *4*, S. 85–90.

*Naef, F./Haeberli, W./Jäggi, M./Rickenmann, D.* (1988): Morphologische Veränderungen in den Schweizer Alpen als Folge der Unwetter vom Sommer 1987. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 40, Heft 5/6, S. 134–138.

*Zeller, J./Röthlisberger, G.* (1988): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahr 1987. Wasser, Energie, Luft 80, ½, S. 29–42.