Der Val Pola Bergsturz im oberen Veltlin vom 28. Juni 1987

Autor(en): **Huber, Andreas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **85 (1992)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-167008

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv. 85/2: 307–325 (1992)

0012-9402/92/020307-19 $ 1.50 + 0.20/0
Birkhäuser Verlag, Basel

Der Val Pola Bergsturz im oberen Veltlin vom 28. Juli 1987

Von ANDREAS HUBER[1])

ZUSAMMENFASSUNG

Der Val Pola Bergsturz bei Morignone vom 28. Juli 1987 hat als markantes geologisches Ereignis einen Talabschnitt des oberen Veltlins (Italien) nachhaltig verändert. Beschrieben werden der Ablauf des Sturzes mit seiner Vor- und Nachgeschichte und die getroffenen baulichen und organisatorischen Massnahmen zur Abwendung möglicher Folgekatastrophen. Schliesslich wird versucht auf grundsätzliche Fragen zu den Ursachen und Häufigkeiten solcher Naturkatastrophen eine Antwort zu finden.

ABSTRACT

The Val Pola rockslide, a prominent geological event, has drastically changed a section of the upper Valtellina Valley (Italy). The rockslide itself as well as the pre- and the posthistory of the slide area are described. Structural and organizational measures for preventing secondary disasters are discussed. Finally the frequency and possible causes of such rock slides are investigated.

1. Einleitung

Am 28. Juli 1987 um 7 Uhr 23 morgens stürzte im oberen Veltlin im Gemeindegebiet von Valdisotto eine Gesteinsmasse von rund 40 Mio m^3 über eine Fallhöhe von etwa 1300 m zu Tal (Fig. 1). Bei diesem Ereignis, das 2 Minuten dauerte, verloren 27 Menschen das Leben. Die Dörfer Morignone (1060 m ü.M.) und San Antonio Morignone (1070 m ü.M.), sowie die Weiler Poz und Tirindre wurden vollständig zerstört und durch den Trümmerstrom zugedeckt. Einige Häuser von Aquilone, etwa 2 Kilometer talaufwärts des Bergsturzgebietes liegend, wurden stark beschädigt. Das Katastrophengebiet befindet sich 9 km unterhalb Bormio (1220 m ü.M.), im obersten, nach Süden gerichteten Abschnitt des Tales (Fig. 2).

Das Veltlin bildet die Grenze zwischen dem Berninamassiv und den Bergamasker Alpen. Der noch wenig verbaute, mehr als 100 km lange Lauf des Hauptflusses Adda durchströmt von seinem Ursprung oberhalb der Stauseen von S. Giacomo di Fraele (1945 m ü.M.) und Cancano (1884 m ü.M.) bis zur Mündung in den Comersee (198 m ü.M.) mehrere Steil- und Flachstrecken des glazial geformten südalpinen Tales. An beiden Rändern des meist breiten, alluvionalen Talbodens reihen sich die Schuttkegel der zahlreichen Wildbäche aneinander und bestimmen den Verlauf des hin und her pendeln-

[1]) Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) ETH-Zentrum, CH 8092 Zürich.

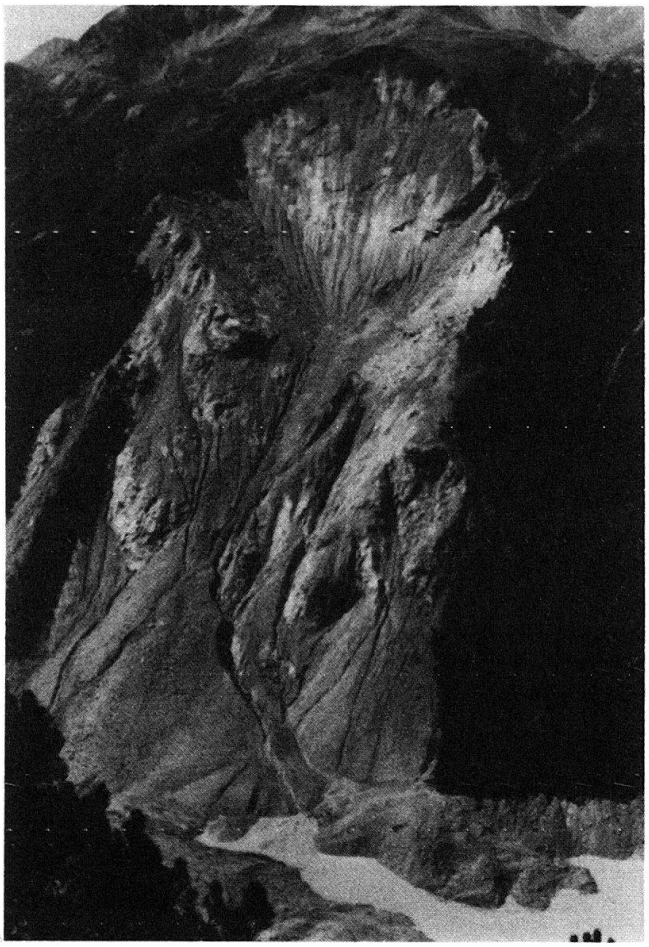

Fig. 1. Ansicht des Bergsturzes. Rechts unten das Ende des Lago Val Pola. Aufnahme: September 1987

den Addagerinnes. Die älteren Siedlungen liegen an erhöhten Stellen des Talrandes oder auf den breiten Terrassen der Talhänge, Standorte, die darauf hin deuten, dass in früheren Zeiten die Inanspruchnahme der Talebene den wiederkehrenden Hochwasserfluten vorbehalten war.

Im 2,5 km langen Abschnitt zwischen dem zerstörten Dorf Morignone (1060 m ü.M.) und Le Prese (954 m ü.M.) verengt sich das Tal und durchläuft eine Steilstrecke mit ausgeprägtem V-Profil. In diesem Gebiet liegen die Ablagerungen des Bergsturzes. Der Abriss befindet sich auf 2360 m ü.M. (Ref.: Ortofotocarta 1 : 5000) an der rechten Talflanke unterhalb des 2936 m hohen Monte Zandila. Dort wo die gewaltigen Gesteinsmassen nach dem Absturz blanken Fels und weiter talwärts eine Trümmerhalde (Fig. 1) hinterlassen haben, lag ehemals das Seitentälchen Val Pola, nach welchem der Bergsturz benannt wird.

2. Geologie

Der Bergsturz liegt im Bereich des Campo-Kristallins, welches zu den ostalpinen Überschiebungsdecken gehört. Südlich davon verläuft von W nach NE abbiegend die

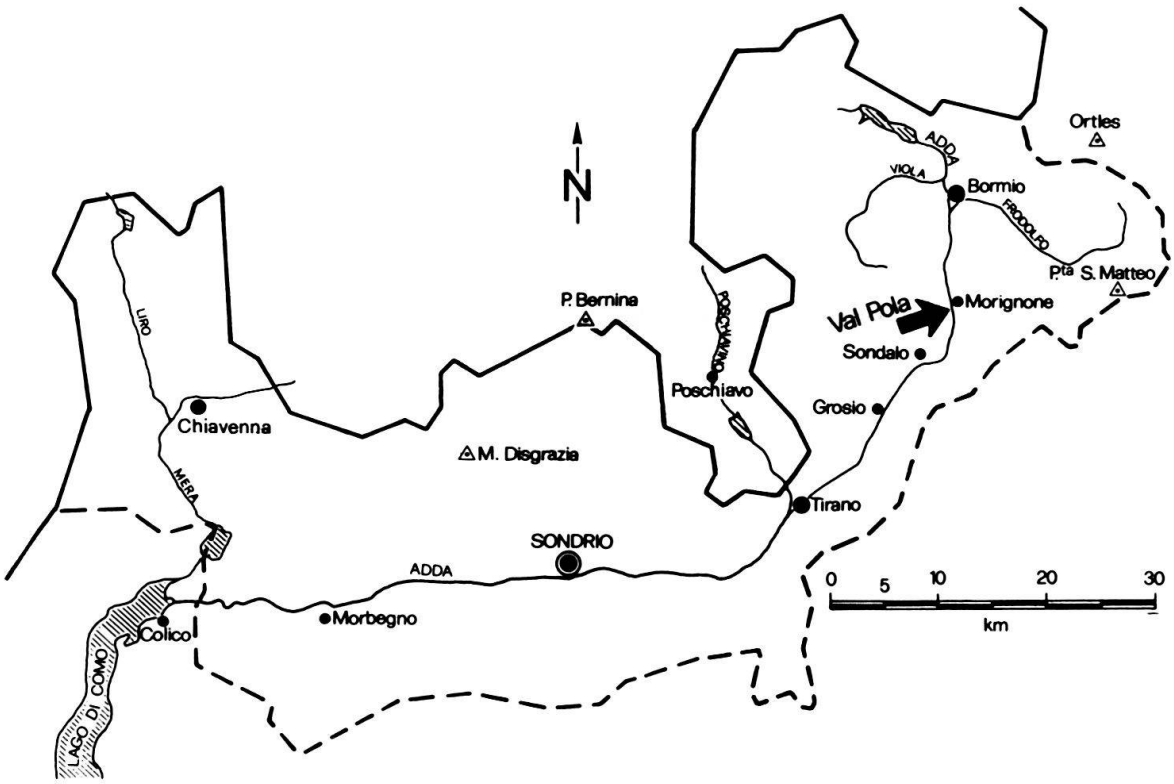

Fig. 2. Geographische Übersicht und Lage des Bergsturzgebietes

Tonalelinie und im Norden schliessen die Sedimente der Ortler-Decke an (Tekt. Karte der Schweiz 1980).

Ein geologisches Merkmal des oberen Veltlins ist der Pluton von San Antonio Morignone (Koenig 1964), ein aufgeschlossener Intrusivkomplex von etwa 30 km^2 Oberfläche, in den sich die Adda bis zu 1500 m tief eingeschnitten hat. Entlang der Talachse reicht diese intrusive Zone über eine 10 km lange Strecke von Cepina bis Mondadizza, quer zum Tal beträgt ihre Breite 3 bis 8 km (Geol. Karte der Schweiz 1980). An beiden Talhängen ist das intrusive Gestein bis auf Höhen von 2300 m ü.M. anzutreffen. Die Hauptmasse des Stockes bildet der Gabbro von Le Prese. Nördlich des Val Pola schliesst der Diorit von San Antonio Morignone an. Die den Pluton umgebende altkristalline Decke besteht aus hochmetamorphen Gneissen und Glimmerschiefern. Sie bildet die umgebenden Gipfel (Cime Redasco, Pizzo Copetto, Monte Zandila, Monte Sobretta) und die Gräte.

Bereits 1964 befasste sich Koenig mit der örtlichen Geologie und Petrographie und erkannte die tektonischen Störungen am Rande der Intrusion. Typisch sind die ausgedehnten Mylonitzonen, welche der Geologe Staub als Gleitbretter bezeichnet habe. Im Laufe der Erdgeschichte haben starke Beanspruchungen des Gesteins vor allem in den Kontaktzonen zwischen den verschiedenen tektonischen Einheiten Verwerfungen, Klüfte und Schieferungen hinterlassen, Bedingungen, die den Niedergang grosser Gesteinsmassen begünstigen. Der Bergsturz bei Morignone ist ein Zeichen der nie zur Ruhe kommenden Erdkrustenbewegung. Die Vorbereitungsphasen zu diesem Ereignis haben geologische Zeiten beansprucht.

Fig. 3. Der Flachsee im Talboden von San Antonio Morignone (Links unten) nach dem Unwetter vom 18. Juli 1991. Blick talabwärts. Der Murgang aus dem Val Pola (rechts oben) hat die Adda aufgestaut. Aufnahme: kurz vor dem Bergsturz.

3. Vorgeschichte

Ein Bergsturz kommt nicht wie der Blitz aus heiterem Himmel, er hat eine Vorgeschichte und er kann für gefahrenträchtige Folgeereignisse sorgen. Langzeitige geologische Veränderungen haben die Bedingungen zum Bergsturz von Val Pola geschaffen und ein aussergewöhnliches meteorologisches Ereignis hat schliesslich die Bewegung ausgelöst:

Das Unwetter vom 18./19. Juli 1987 suchte vor allem Gebiete auf der Alpensüdseite heim, insbesondere das Veltlin und das Puschlav. Am 16. Juli setzten Niederschläge ein und eine Folge zahlreicher Starkregen dauerte bis in die Nacht des 19. Juli. Innert 2 Tagen fielen gebietsweise über 200 mm Regen, so im Berninamassiv und beim Pizzo Coppetto. Die Schneefallgrenze lag über den höchsten Gipfeln. Unzählige Murgänge und Ausuferungen verwüsteten die Täler (Govi 1988).

Auch der Wildbach aus dem rechtseitigen Val Pola transportierte riesige Geschiebefrachten ins Tal der Adda und staute diese mit einem Schuttkegel zu einem seichten und

Fig. 4. An der Felswand unterhalb der Wallfahrtskirche San Bartolomeo lief die Schwallwelle gegen 50 m hoch. Aufnahme: 16.9.87.

2 Kilometer langen See auf, der die Dörfer Morignone, San Antonio Morignone sowie die Weiler Poz und Tirindre der Gemeinde Valdisotto teilweise unter Wasser setzte (Fig. 3).

Eine Woche nach diesem Unwetter, am 25. Juli, wurde an der rechten Talflanke beim Val Pola ein Steingeriesel beobachtet, das zeitweise in starke, schubartige Steinschläge überging. Diese warnenden Vorstürze dauerten 4 Tage und gaben Anlass zur Evakuation des Dorfes Morignone. Im Gelände entstanden Risse, die auch aus der Ferne sichtbar waren. Der Polabach floss nicht mehr zu Tal, er verschwand in 2200 m Meereshöhe in einer neu aufgeklafften, 600 m langen Spalte. Die Wildtiere mieden plötzlich die Gefahrenzone (Schweiz. Katastrophenhilfekorps 1987).

4. Der Verlauf des Bergsturzes

Das Ausmass des Sturzes war aussergewöhnlich und betrug annähernd 40 Mio m^3. Die Ablagerungen überdeckten das Dorf Morignone bis zu 50 m. Durch den Impulsaustausch zwischen den fliessenden Gesteinsmassen und dem Wasserkörper des bereits bestehenden seichten Sees, als auch durch die Depression in der Wasserfläche als Folge der Druckwelle entstand ein gewaltiger Schwall, der an den betroffenen Siedlungen sekundäre Schäden anrichtete und die Talhänge am Fuss erodierte. An der Südwestflanke des Felskopfes, auf dessen Anhöhe die unversehrt gebliebene Wallfahrtskirche San Bartolomeo steht, hat die Schwallwelle deutliche Spuren hinterlassen: Sie lief gegen 50 m an der Felswand hoch und hat die angesiedelte Vegetation weggespült (Fig. 4). Auch am

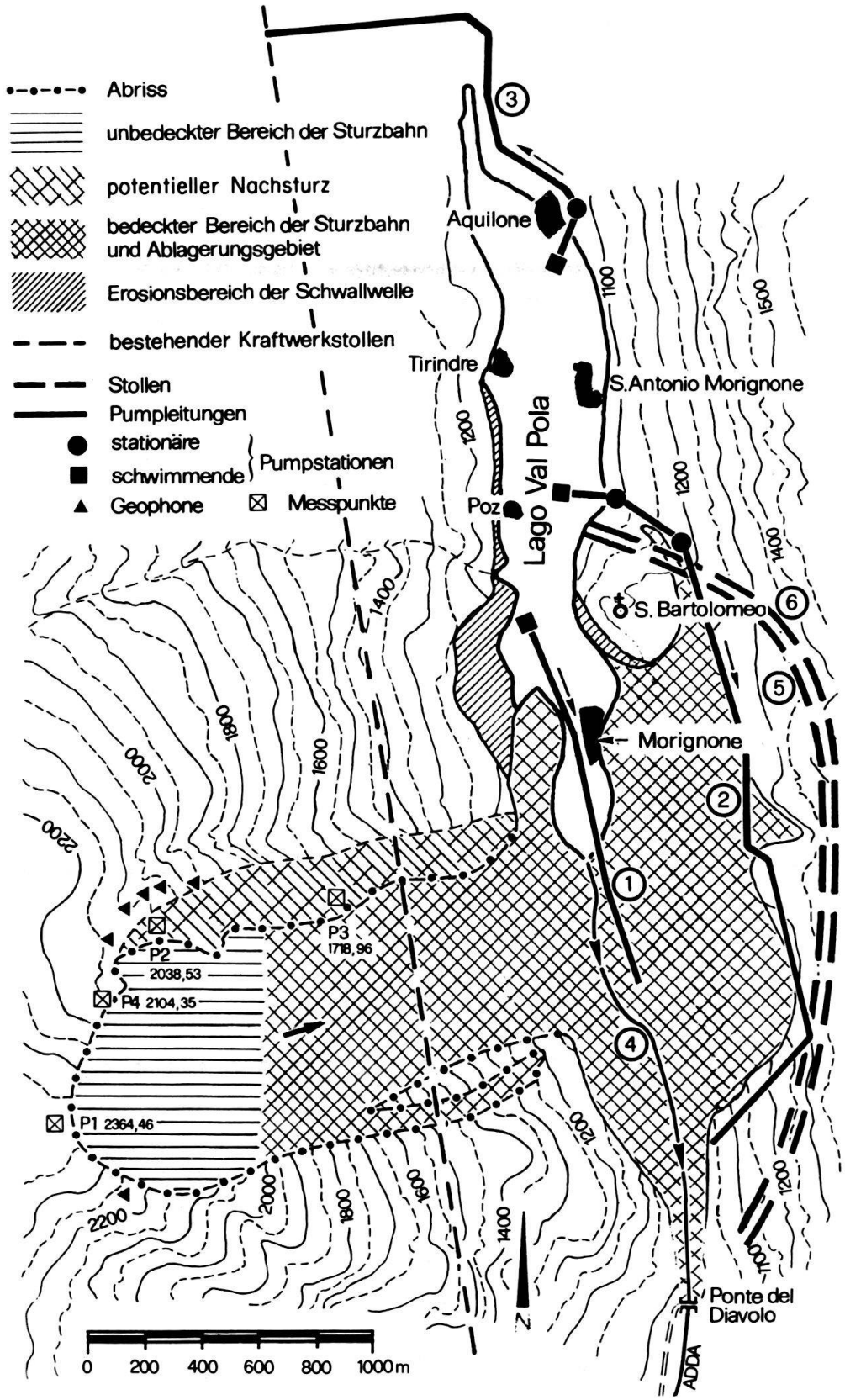

Fig. 5. Situation des Bergsturzgebietes mit Bergsturzsee, Stadium im September 1987. Das Dorf Morignone liegt unter den Schuttmassen, die übrigen Siedlungen wurden durch die Schwallwelle verwüstet und zerstört. 1: Pumpanlage 1; 2: Pumpanlage 2; 3: Pumpanlage 3; 4: Überlaufgerinne, 5: Umleitstollen 1 (Projekt), 6: Umleitstollen 2 (Projekt).

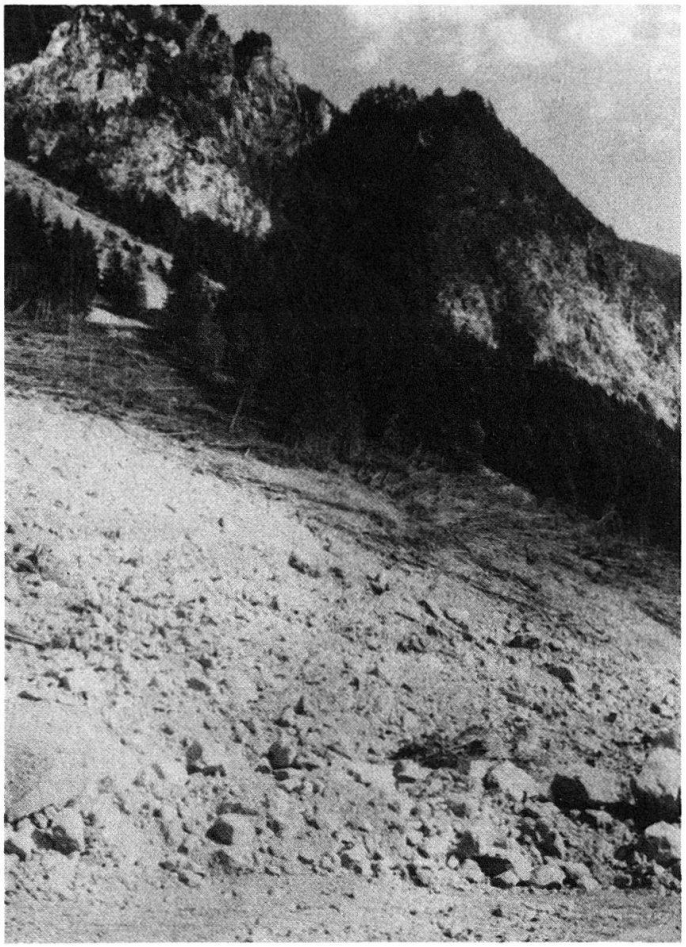

Fig. 6. Am linken Talhang wurden die Nadelbäume zu hunderten durch den Winddruck talwärts umgeknickt. Aufnahme 16.9.87.

rechten Talhang spülte die Welle die Vegetation bis auf ähnliche Höhen weg (Ortofotocarta 1 : 5000).

Der Trümmerstrom prallte nach dem Ueberqueren des Talbodens auf den linken Talhang, brandete an diesem bis auf eine Höhe von 250 m empor und teilte sich in zwei Arme. Der eine nahm einen 1 km langen Weg talabwärts, der andere reichte bis 1,2 km talaufwärts (Fig. 5) (Völk 1989).

Im Talgrund betrug die Geschwindigkeit der abstürzenden Gesteinsmassen gegen 400 km/h. Entsprechend war der Winddruck. Der talabwärts abgelenkte Teil des Trümmerstromes erzeugte orkanartige Luftbewegungen, welche am Gegenhang die Nadelbäume einer beachtlichen Waldfläche abknickten (Fig. 6). Talaufwärts legten die Windkräfte den Kirchturm von San. Antonio Morignone um.

Das Bergsturzmaterial ist inhomogen und wurde während des Niederganges mechanisch und vermutlich an der Gleitfläche auch thermisch verändert. Vom feinsten Staub bis zum 100-Tonnenblock ist im Ablagerungsgebiet alles zu finden (Fig. 7, 8). Die Ablagerungen bildeten einen flachen Bergsturzdamm mit Böschungen, die berg- und talseitig etwa 10 % geneigt sind (Fig. 9). Die tiefste Stelle der Krete liegt mit 1107,5 m ü.M. rund 60 m über der ursprünglichen Talsohle.

Fig. 7. Diese eher feinkörnigen Ablagerungen auf der rechten Talseite sind stark erosionsgefährdet. Die Rinnen entstanden während des Unwetters vom 23./24. August 1987. Aufnahme: 16.9.87.

Fig. 8. Einen Eindruck der Grösse dieses Felsblockes gibt der davor aufgestellte Doppelmeter. Standort: Gegenhang, linke Talseite ca. auf Kote 1120 m ü.M.. Aufnahme: 16.9.87.

Fig. 9. Blick talabwärts. Die Topographie der Krone der Sturzablagerung ist verhältnismässig flach. Ersichtlich ist die in Ausbaggerung begriffene Überlaufrinne und die noch nicht eingedeckte Pumpleitung 1. Aufnahme: 16.9.87.

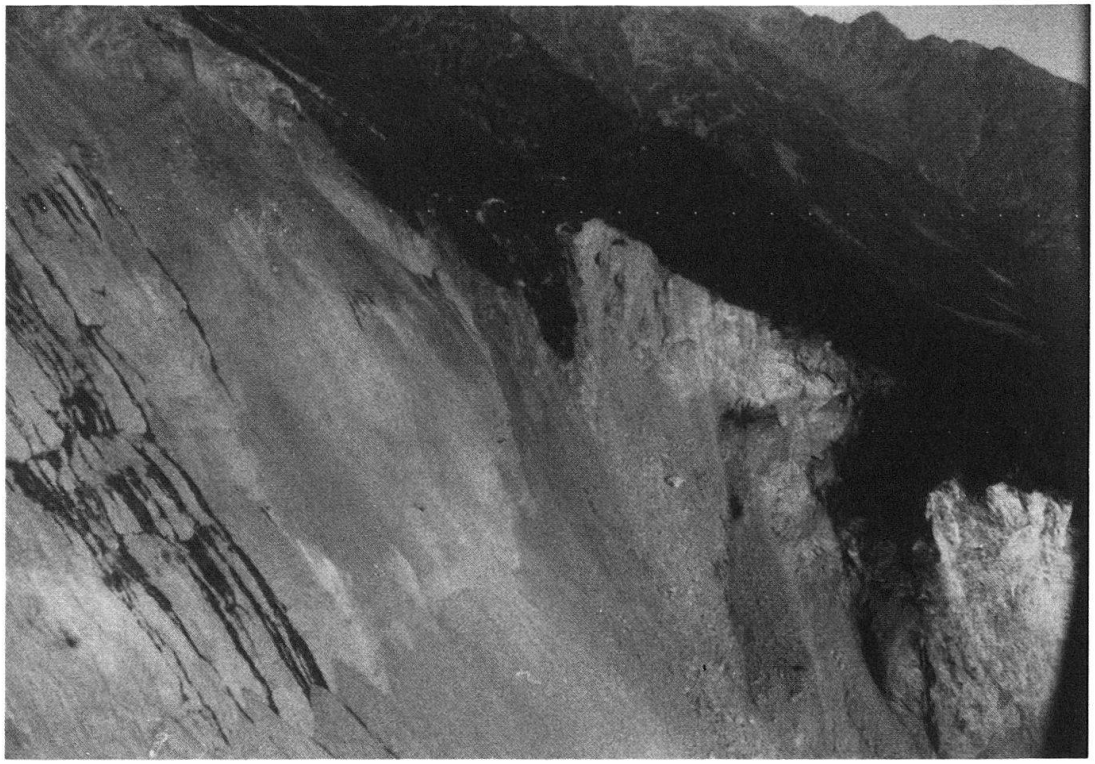

Fig. 10. Auf der linken Seite des Abrissgebietes befindet sich noch eine unstabile Felsmasse, die auf 2 Mio m^3 geschätzt wird und in den See abstürzen könnte. Aufnahme: 17.9.87.

Mit diesem Bergsturz sind weitere Gefahren entstanden: Einmal weisen Klüfte im Abrissgebiet auf einen möglichen Nachsturz hin (Fig. 10). Zudem staute sich die Adda hinter und über den dammartigen Sturzablagerungen zu einem See auf. Bei voller Füllung im Stadium des Überlaufens hätte der Seeinhalt 25 Mio m^3 betragen (Fig. 11).

5. Behördliche Verfügungen nach dem Ereignis

Wohlberechtigte Befürchtungen veranlassten die verantwortlichen Behörden sofort zum Handeln, denn viele Bergsturzseen haben keinen längeren Bestand. Innere und äussere Erosion am Bergsturzdamm können zu einem Bruch mit anschliessender Flutwellenkatastrophe im untenliegenden Tal führen. Untersuchungen, die an 63 geborstenen Bergsturzdämmen aus Asien, Nord- und Südamerika durchgeführt worden sind, zeigten, dass 59% dieser Dämme innerhalb eines Monats und 91% innerhalb eines Jahres brachen und katastrophale Flutwellen auslösten (Schuster 1986).

Auch in der Schweiz ist ein derartiger Fall bekannt: der Bergsturz bei Biasca mit der Seebildung im Bleniotal vom September 1512. Der aufgestaute Brennofluss bildete einen See von 200 Mio m^3 Inhalt. 21 Monate nach dem Sturz durchbrachen die Wassermassen den Riegel. Die Flut tötete 600 Menschen und zerstörte auf dem Weg zum Langensee 400 Häuser (Heim 1932).

Einen Monat nach dem Bergsturz – das Addahochwasser vom 23./24. August eines zweiten Unwetters hatte inzwischen den See aufgefüllt (Fig. 11) – wurden 20000 Talbewohner aus der Gefahrenzone einer möglichen Flutwelle evakuiert. Der Seespiegel war

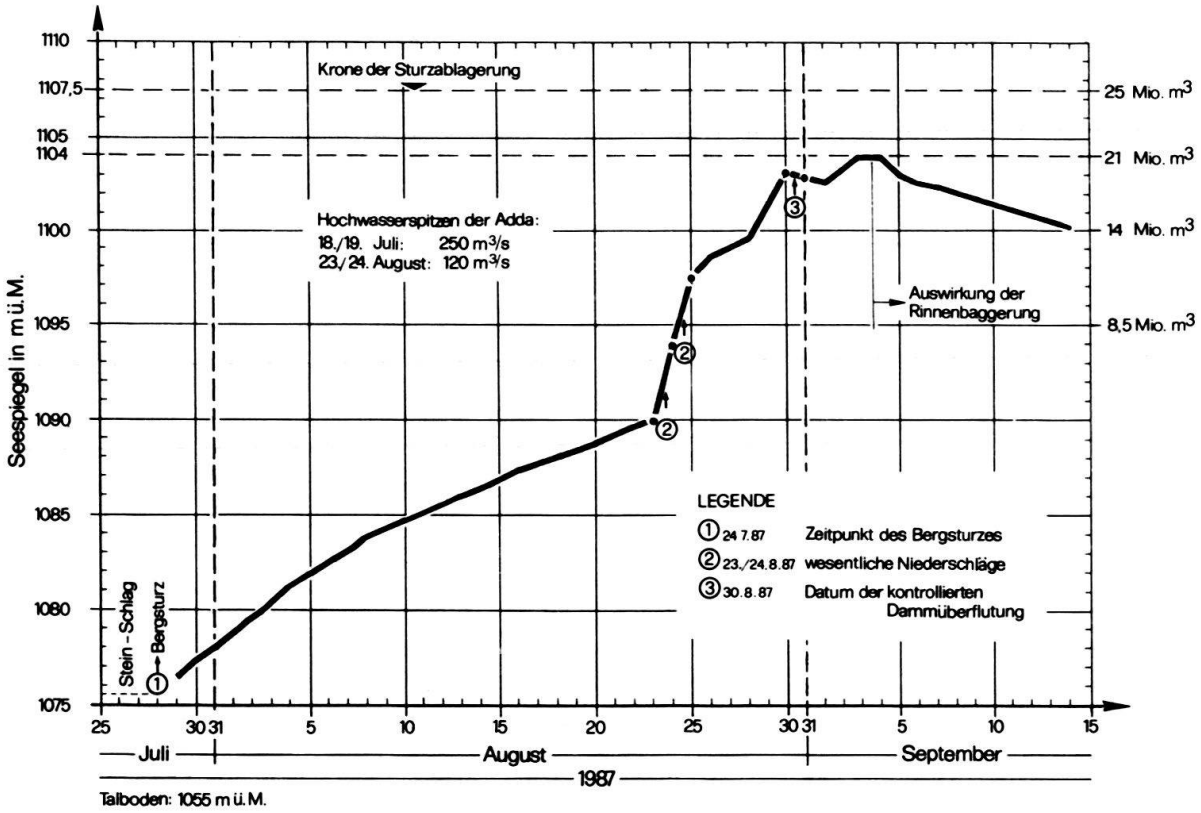

Fig. 11. Ganglinie der Seestände im Lago Val Pola.

innerhalb von zwei Tagen um 15 m angestiegen. Den Höchststand erreichte der verlangsamt immer noch ansteigende Pegel am 4. September. Die Überlaufkote war durch Baggerungen bereits auf ein Niveau erniedrigt worden, das einem Seeinhalt von 21 Mio m^3 entsprach.

Technische Vorkehrungen zur Absenkung und Verhinderung des unerwünschten Bergsturzsees wurden in die Wege geleitet. Einerseits bildet ein solcher See eine unberechenbare Gefahr. Andererseits beabsichtigten die geschädigten Bewohner der zerstörten, im Seebereich gelegenen Dörfer diese wieder aufzubauen.

Zur besseren Abschätzung des Potentials sekundärer Gefahren, welche vom entstehenden Bergsturzsee ausgehen können, wurden verschiedene Vorgänge simuliert, nämlich:

Im mathematischen Modell (Bertacchi et al. 1988):
- Sickerströmung im stark inhomogenen Damm,
- Schwallwellen im See als Folge eines allfälligen Nachsturzes,
- Flutwellenausbreitung im unterliegenden Tal bei einem Dammbruch.

Im physikalischen Modell (Maione 1990):
- Überströmen und Erosion des Dammes infolge der Hochwasser,
- Überprüfung möglicher baulicher Massnahmen zur Abminderung des Risikos einer unkontrollierbaren Dammerosion.

6. Bauliche Massnahmen

Kurze Zeit später hatte sich das Ablagerungsgebiet in eine Grossbaustelle verwandelt. Rasch realisierbare provisorische und in einer späteren Bauetappe mehr Sicherheit bietende, aber aufwendigere definitive bauliche Massnahmen wurden getroffen, um den aufgestauten See, den Lago Val Pola, möglichst rasch kontrollieren und absenken zu können (Tabelle 1).

Die Abflusskapazitäten der Entlastungsbauwerke sind im Zusammenhang mit dem Abflussregime der Adda zu betrachten, das durch folgende Zahlen charakterisiert werden kann:

1000-jährliches Hochwasser:	400 m^3/s
Hochwasser vom 18./19. Juli 1987:	250 m^3/s
Hochwasser vom 24. August 1987:	120 m^3/s
Mittelwasser Sommer:	2–6 m^3/s [2])
Mittelwasser Winter:	1 m^3/s [2])
Einzugsgebiet der Adda bis Premadio:	473 km^2
bis Morignone:	540 km^2
Zwischeneinzugsgebiet	67 km^2

Die Provisorien sind niemals ausreichend für eine genügende Hochwassersicherheit und schliessen deshalb eine gefährliche Überflutung des Dammes nicht aus. Sie wurden in der kurzen Zeit von ein bis zwei Monaten erstellt und dienten dazu, das Risiko bedrohlicher Seespiegelanstiege so gut als möglich abzumindern. Mit den drei Pumpan-

[2]) Ein grosser Teil des Wasserdargebotes wird in den Zentralen Premadio und Grosio durch die Stadt Mailand zur Stromproduktion genutzt, so dass nur geringe Restwasserabflüsse in der Adda verbleiben.

Tabelle 1: Bauliche Massnahmen zur Absenkung des Lago Val Pola

Entlastungs-Organ, Einsatz	Kapazität in m^3/s	Kurzbeschreibung
Überlauf, provisorisch	40	Baggerung einer Rinne über die Dammkrone zur Abtiefung des Höchststaues und zur Verringerung des Stauvolumens, (Fig. 12). Kapazität ohne unzulässige Erosion aufgrund von Modellversuchen: 100 m^3/s (Maione 1990). Aus Sicherheitsgründen ist dieser Wert auf 40 m^3/s reduziert worden.
Überlauf, definitiv		Abtrag der Sturzablagerungen bis annähernd auf den ursprünglichen Talboden, Sperrentreppe (Fig. 14).
Pumpanlage 1, provisorisch	2	Schwimmende Pumpanlage auf Floss (Tauchpumpen) (Fig. 15), Leitung von der Seemitte bis über den Damm, Rohrstrecke im See schwimmend, über dem Damm gegen Steinschlag eingedeckt, belüfteter Scheitelpunkt der Leitung
Pumpanlage 2, provisorisch	5	3-stufige Pumpanlage, Trasse auf linker Talseite oberhalb der Bergsturzbrandung, Förderhöhe 250 m, Gesamtleistung 22 MW, 44 Tauchpumpen auf Floss, je 12 Kreiselpumpen in 2 weiteren Pumpstationen.
Pumpanlage 3, provisorisch	5	2-stufige Pumpanlage, eine schwimmende und eine stationäre. Förderung des Wassers vom oberen See-Ende in den Stollen im rechten Talhang der Kraftwerkstufe Premadio Grosio des EW Mailand.
Stollen1, definitiv	340	Ausbruch mit Tunnelfräse im linken Talhang, verkleidetes Profil, Stollendurchmesser 6,0 m Länge ca. 2,5 km, Gefälle ca. 2%.
Stollen 2, definitiv	150	Ausbruch mit Tunnelfräse im linken Talhang, unverkleidetes Profil, Stollendurchmesser 4,2 m, Verlauf parallel zu Stollen 1.

lagen konnte der See immerhin abgesenkt und ein beachtlicher Rückhalteraum für die nächsten Hochwasser bereitgestellt werden.

Die provisorische Überlaufrinne wurde durch den Einsatz zahlreicher Baumaschinen stetig abgetieft (Fig. 12). Im Gleichschritt fiel der Seestand ab und die Gefahr eines Seeausbruches verringerte sich. Die Wasserführung der Adda wurde gedrosselt, indem ein Teil des Abflusses im Stausee Cancano oberhalb Bormio zurückgehalten wurde. Die gebaggerte Überlaufrinne pflästerte sich mit den groben Komponenten des Sturzmaterials nach Ausspülung der feinen Kornfraktionen von selbst ab und widerstand so der Schleppkraft des Überlaufwassers. Teilweise wurden die Rinnenböschungen künstlich mit Blocksätzen belegt (Fig. 13).

Das endgültige Konzept zur Schaffung ausreichender Hochwassersicherheit besteht aus den beiden parallelen Umleitstollen (Tabelle 1) und aus einer gross angelegten Sperrentreppe im Bereich des vorgängig abgetragenen Bergsturzdammes (Fig. 14, 15).

Kurz nach dem Einlaufportal (Fig. 16) durchfahren die Stollen je einen Vertikalschacht mit rundem Querschnitt. Letztere sind für den Einsatz von Dammbalkenverschlüssen im Hinblick auf Reparaturarbeiten vorgesehen. Beide Stollen münden unterhalb des talseitigen Ausläufers der Bergsturzablagerungen in ein gemeinsames Auslaufbauwerk zur Energieumwandlung und zur anschliessenden Wasserrückgabe in das korrigierte Bett der Adda (Fig. 17). Normalerweise genügt einer dieser Stollen zur Aufnahme des Addaabflusses.

Fig. 12. Baggerung einer provisorischen Überlaufrinne. Blick talaufwärts. Aufnahme: 16.9.87.

Fig. 13. Das Überlaufgerinne hat ein Gefälle von ca. 10%. Zur Sicherheit wird die natürliche Abpflästerung künstlich mit groben Blöcken verstärkt. Aufnahme: 16.9.87.

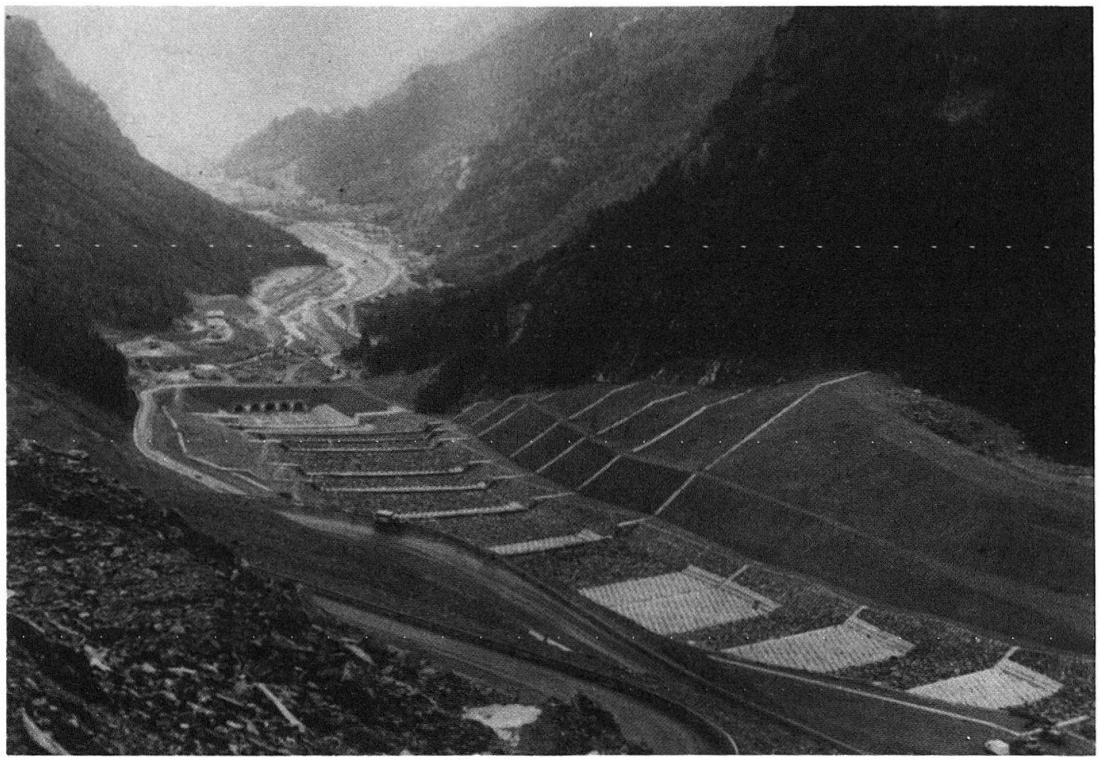

Fig. 14. Blick talabwärts. Der Bergsturzdamm (Fig. 9) wurde teilweise abgetragen und umgelagert. An seiner Stelle befindet sich eine grossangelegte Sperrentreppe. Der rechtseitige Damm ist zugleich Schutzwall gegen allfällige Nachstürze. Aufnahme: Juli 1990.

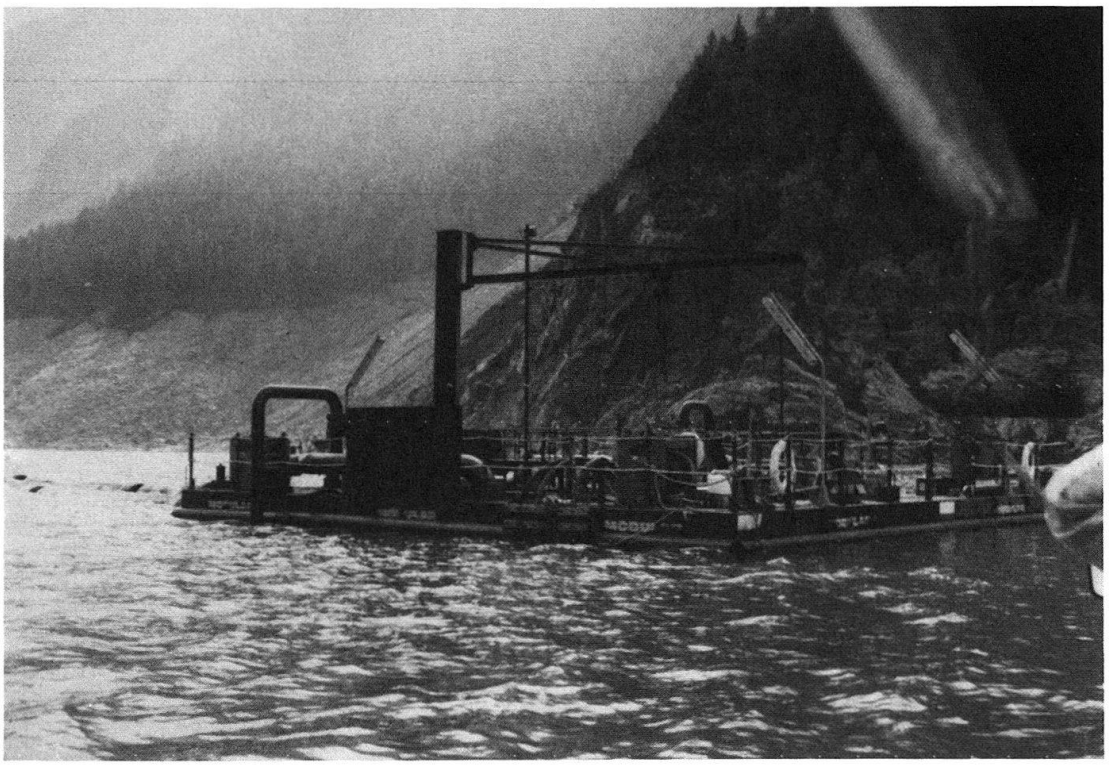

Fig. 15. Provisorische schwimmende Pumpanlage 1. Aufnahme: 17.9.87.

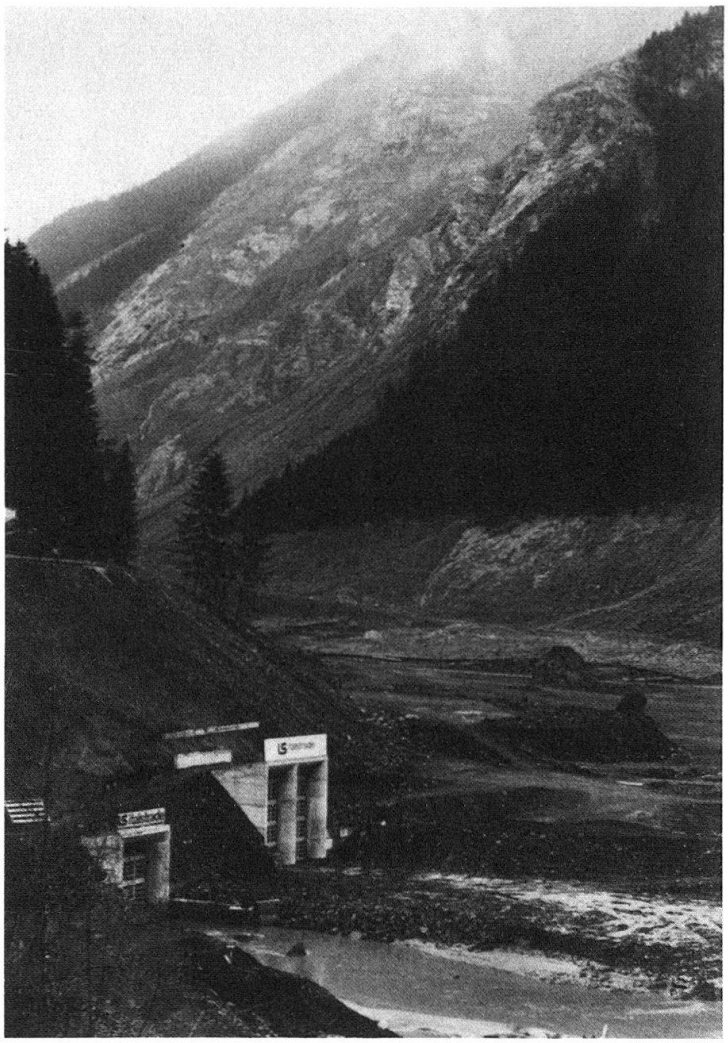

Fig. 16. Einlaufportale beider Umleitstollen. Im Hintergrund die Sturzbahn und der von der Schwallwelle abgetragene rechte Hangfuss. Der Talboden davor war früher der Grund des Bergsturzsees. Aufnahme: Juli 1990.

Die Topographie der Bergsturzablagerungen wurde durch künstliche Materialverschiebungen gewaltigen Ausmasses völlig umgestaltet. Am Fusse der auslaufenden Sturzbahn entstand ein hoher Schutzwall mit Bermen. Immer noch musste mit Nachstürzen gerechnet werden. Aus den urtümlichen Ablagerungen ist innert 2 bis 3 Jahren eine geometrisch geformte Landschaft, durchsetzt mit massiven Verbauungen, geworden (Fig. 14).

7. Überwachung

Während der gesamten Bauzeit und darüber hinaus wurde das Gebiet mehrfach überwacht, nämlich durch:

- Geophone mit Funkübertragung nach Bormio zur Wahrnehmung weiterer Felsbewegungen, (Fig. 5),

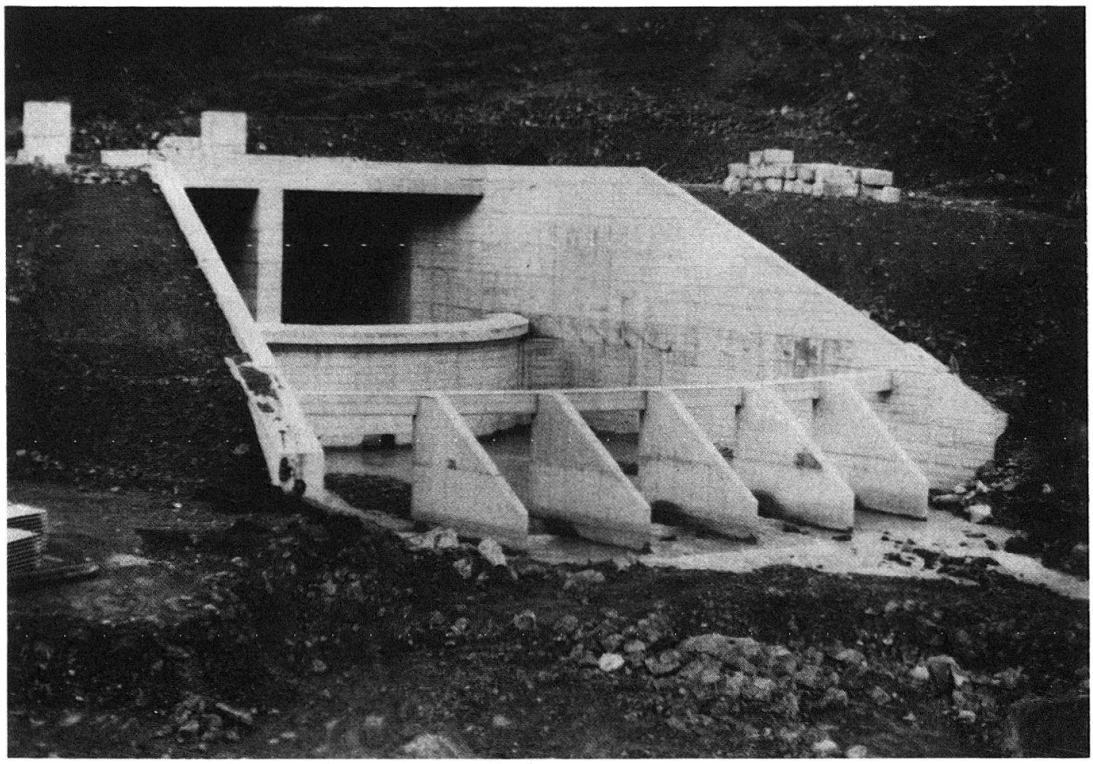

Fig. 17. Das gemeinsame Auslaufbauwerk der beiden Umleitstollen mit Energieumwandler. Aufnahme: Juli 1990.

- Wiederholte Einmessung von 4 Beobachtungspunkten (Fig. 5) im Bereich des potentiellen Nachsturzes mittels Rückwärtseinschnitt vom linken Talhang aus,
- Abtiefung von Piezometern zur Überwachung der Sickerströmung im Damm,
- Beobachtungsposten bei der Kirche San Bartolomeo mit Funkverbindung,

8. Grundsätzliche Gedanken zu dieser Naturkatastrophe

Zu einem Ereignis wie dem geschilderten stellen sich folgende Fragen:

- Hätte das Unglück verhindert werden können?
- Mit welcher Häufigkeit treten Bergstürze in der Grösse desjenigen von Val Pola auf?
- Handelt es sich um ein reines Naturereignis oder waren auch menschliche Aktivitäten direkt oder indirekt mit im Spiel?

Die erste Frage kann entschieden verneint werden. Bergsturzmassen dieses Ausmasses entziehen sich jeder bautechnischen Kontrolle. Nur ein passiver Schutz ist möglich: Beobachtung und Wachsamkeit, Evakuation der Bevölkerung. Die Behörden haben in diesem Sinn gehandelt. Die meisten der 27 Todesopfer kehrten entgegen den Verfügungen wieder in ihre Häuser zurück und verloren dadurch ihr Leben.

Die Häufigkeit von Bergstürzen dieser Grösse lässt sich höchstens grob abschätzen. Zu spärlich ist das statistische Material, zu gross sind die geologischen Zeiträume und unbekannt sind die meisten Zeitpunkte. Einige grössere historische Stürze aus dem Alpenraum sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, in Tabelle 2 zusammengestellt. In

Örtlichkeit	Datum	Volumen in Mio m³
Biasca	1512	> 150
Plurs *	1618	> 3
Disentis	1683	10–20
Diablerets	1714	
	1749	50
Goldau	1806	30–40
Elm *	1881	10–11
Vajont *	1963	250
Val Pola	1987	40
Randa	1991	30

*anthropogene Einflüsse

Tabelle 2: Historische Bergstürze der letzten 500 Jahre im Alpenraum (Heim 1932, ergänzt mit jüngsten Ereignissen)

einem halben Jahrtausend waren es rund 10 Bergstürze. Es darf gefolgert werden, dass eine Gesteinsmasse von der Grösse der vorliegenden durchschnittlich alle 100 Jahre oder nach etwa 3 bis 4 Generationen irgendwo im Alpenraum abstürzt.

Zur dritten Frage: Der Bergsturz war ein reines Naturereignis. Vorbereitet wurde er, wie viele andere Bergstürze, im Laufe der Jahrtausende durch tektonische Einwirkungen,

Tabelle 3: Grössere Bergstürze im Veltlin (Heim 1932)

Oertlichkeit	Volumen	Zeitpunkt
Poschiavo	150 Mio m^3	prähistorisch
Cima di Dasde	20 Mio m^3	prähistorisch
Bormio	180 Mio m^3	prähistorisch
Cima di Saoseo	80 Mio m^3	prähistorisch
Tirano		1808
Santa Maria		1858

ständige Erosion und Gesteinszersetzung. Allein im Veltlin sind einige grössere Bergstürze bekannt (Tabelle 3), davon zwei historische aus dem letzten Jahrhundert.

Der Sturz lässt sich mit menschlichen Aktivitäten nicht in Zusammenhang bringen. Weder bauliche Eingriffe, noch das Waldsterben kommen als Ursache in Frage. Im oberen Veltlin ist der Wald noch weitgehend intakt.

Der Bergsturz im Val Pola hat sich abgespielt, wie es in Albert Heims «Bergsturz und Menschenleben» (1932) dargestellt wurde: Vorstürze kündigten den Sturz an. Der Trümmerstrom vollzog sich in weniger als 2 Minuten. Gewaltig war die Mehl- und Staubbildung. Die Konturen zwischen der Sturzbahn und dem verbliebenen Wald sind messerscharf (Fig. 1). Die Brandungshöhe am Gegenhang beträgt etwa 1/5 der Sturzhöhe. Bedingt durch den senkrechten Aufprall teilte sich der Trümmerstrom in zwei etwa gleiche, seitwärts abgehende Arme.

Abschliessend sei Heims treffende Formulierung über die Erscheinung der Bergstürze zitiert (1932, S. 10):

«Unser Leben ist kurz. Das Gedächtnis der Menschheit als Ganzes ist schwach. Die wenigen Bergstürze, die wir miterlebten, haben den Eindruck hinterlassen, die Bergstürze seien ganz ungewöhnliche, ausserordentliche Erscheinungen. Allein, es ist nicht so. Im Gebirge, besonders im Hochgebirge, haben sie ihr Heimatrecht. Hier müssen sie helfen am Modellieren und am endlichen Schleifen der Gebirge, welche Formungsvorgänge unabänderlich, rücksichtslos und stetig fortarbeiten. Im Gebirge haben wir von Zeit zu Zeit, von Ort zu Ort Bergstürze zu erwarten!»

LITERATUR

BERTACCHI P., FANELLI M. & MAIONE U. 1988: An Overall Approach to the Emergency Hydraulic Problems from the Natural Dam and Lake Formed by the Val Pola Rockslide. Intern. comm. on Large Dams, 16th Congr. S. Francisco 1988, Vol.III, C. 32, 1439–1456.

GOVI MARIO 1988: Hochwasser und Bergstürze im Veltlin im Juli 1987, Oesterr. Wasserwirtsch., 5/6, 149–152.

HEIM ALBERT 1932: Bergsturz und Menschenleben, Vjschr. natf. Ges. Zürich. Jg. 77, Beibl. Nr. 20.

KOENIG MARTIN ADOLF 1964: Geologisch-petrographische Untersuchungen im oberen Veltlin. Diss. phil. Fak. II Univ. Zürich.

MAIONE U. 1990: The Val Pola (Italy) Rockslide: Management Problems of Hydraulic Emergency. Int. Conf. on River Flood Hydraulics, pap. N3, 501–510.

SCHUSTER ROBERT L. 1986: Landslide Dams. Geotech. Spec. Publ. No. 3. Proc. of a sess. sponsored by the Amer. Soc. of Civ. Eng., New York.

Schweiz. Katastrophenhilfekorps 1987. Unpubl. Ber. über die SKH-Mission im Veltlin (14. – 19. 9. 1987).

VÖLK HELLMUT 1989: Die Bergsturzkatastrophe im Veltlin 1987. Die Geowissenschaften 7, 1–9.

KARTEN

Geol. Karte der Schweiz, 1 : 500000 1980. Bearb.: A. Spicher, hrsg. Schweiz. Geol. Komm. 1980.
Ortofotocarta frana di Val Pola 1 : 5000, equidistanza 10 m/2 m, ripresa del 7 settembre 1987, Compagnia Generale Ripresearee – Parma. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezzione Civile, 1988.
Tekt. Karte der Schweiz, 1 : 500000 1980. Bearb.: A. Spicher, hrsg. Schweiz. Geol. Komm.

Manuskript erhalten 10. 1. 89
Revidierte Version akzeptiert 12. 3. 92