

Bergstürze: Vielfalt der Mechanismen

T. H. Erismann +

Ich übernehme hier die Darbietung des letzten Vortrags von Erismann, dessen Entwurf er Anfang Juli dieses Jahres in einer letzten großen Anstrengung niederschrieb und mit zwei neuen Zeichnungen ausstattete. Er hatte die Einladung des Geoforums Umhausen dazu als Todkranker nur unter der Bedingung angenommen, dass ich den Vortrag an seiner Stelle präsentieren solle, falls er sich physisch dazu nicht in der Lage fühle. Wir besprachen alles noch kurz miteinander. Am 8. August erlag Erismann seinem Krebsleiden, knapp vor dem 81. Geburtstag. Sein ungekürzter Textentwurf steht unter Anführungszeichen in Fettdruck. Die minimalen formalen Änderungen hätte Erismann mit Sicherheit selber gewünscht, wäre uns mehr gemeinsame Zeit geblieben.

H. Heuberger

„Wollte man das Thema dieses Vortrages nach charakteristischen Mechanismen ordnen, müsste man wohl eine dreiteilige Struktur wählen mit den Abschnitten:

- 5 Kilometer Bananenschalen,
- der kluge Bauarbeiter, und
- der Sprung von der Schaukel

Der Ernst von Ereignissen, die zum Teil Tausende von Menschenleben vernichtet haben, verbietet aber wohl solch einen spielerischen Umgang schon in der Überschrift. Trotzdem mag es nützlich sein, das Spielerische nicht links liegen zu lassen, da es wesentlich zum Verständnis beizutragen vermag.

Es handelt sich im Folgenden um drei Bergstürze“ (Erismann/Abele 2001, 12-25, 49-59, 80-101):

- „Pandemonium Creek in Kanada,
- Val Pola in Italien und
- Huascarán in Peru.

Auf den ersten Blick sind deutliche Ähnlichkeiten nicht zu übersehen:

- Alle drei Bergstürze führen mit hoher Geschwindigkeit aus steilen Ausbruchgebieten nieder,
- alle drei reichten weiter als der Durchschnitt anderer Bergstürze gleichen Kalibers, so dass eine gemeinsame Ursache dieser großen Reichweite auf der Hand zu liegen schien. Eine genauere Untersuchung der ursächlichen Zusammenhänge zeigt aber das eindeutige Gegenteil einer solchen Übereinstimmung, und jeder dieser Bergstürze entpuppt sich als eingefleischter Individualist.“

Zu Pandemonium-Creek:

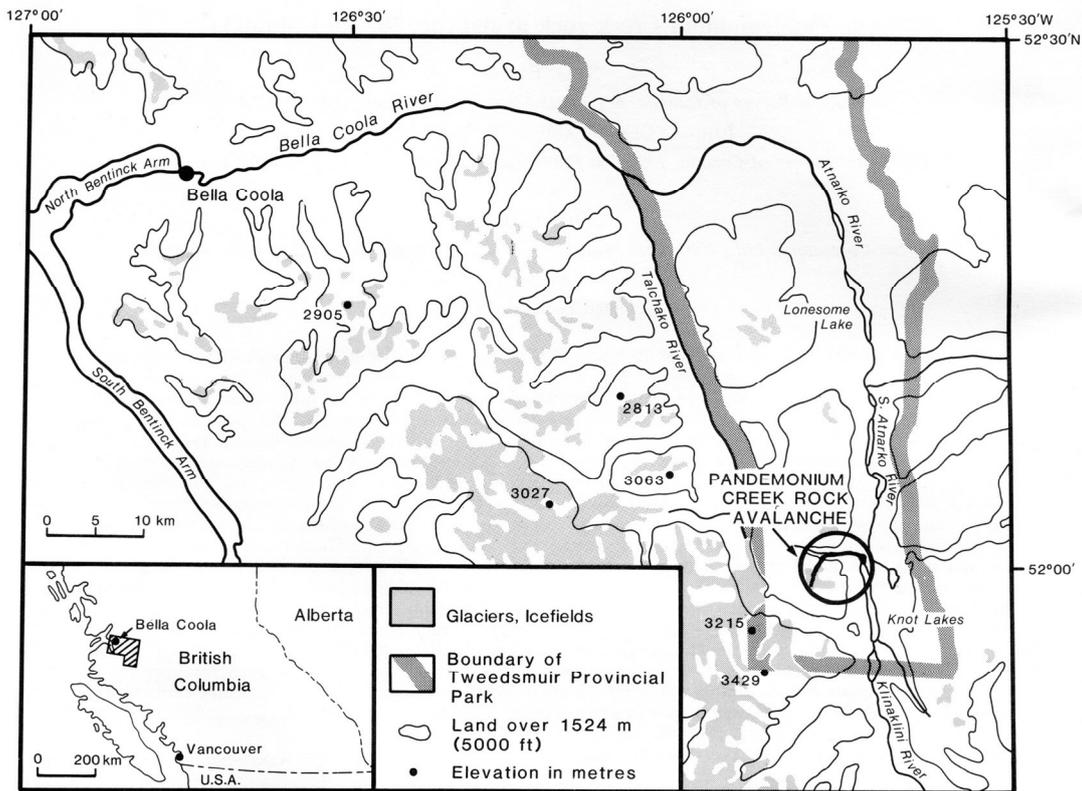
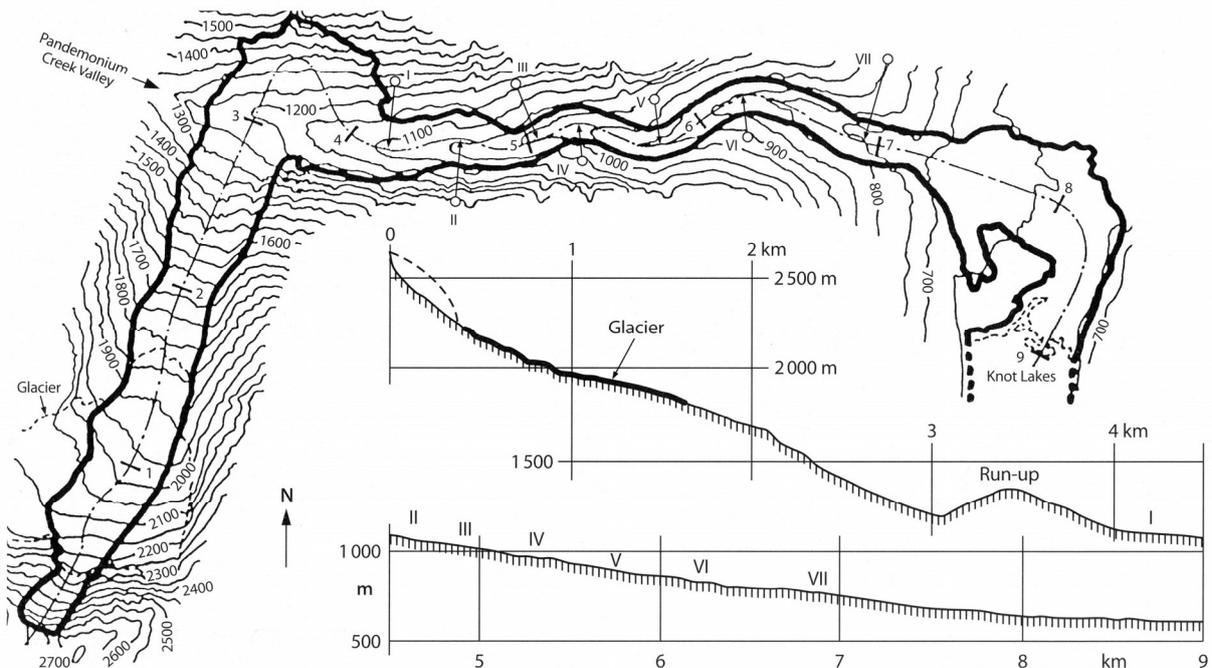


Abb. 1 Pandemonium-Creek-Bergsturz 1959, Lage (Evans 1989, 428).

Der Bergsturz ereignete sich 1959. Da das Gebiet unbesiedelt ist, wurde er nicht beobachtet. Aussagen von Leuten, die damals in diese Gegend kamen, ergaben als wahrscheinlichste Zeit des Ereignisses Juli 1959. Auslösende Ursachen wie Erdbeben oder Starkniederschläge konnten für diese Zeit nicht festgestellt werden. Genauere Untersuchungen (Evans et al. 1989;) ergaben folgende Rekonstruktion des Ereignisses:



Ab. 2: Pandemonium-Creek-Bergsturz: Karte, Profile (Erismann/Abele 2001, 17)

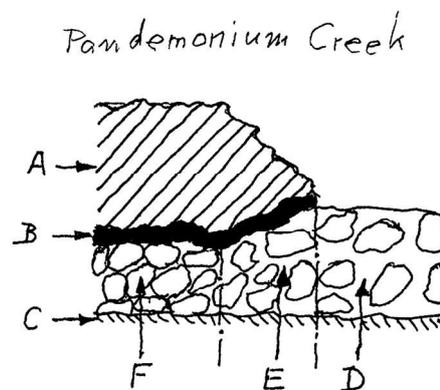
Von einem namenlosen, 2.709 m hohen vergletscherten Gipfel brach mit einer Obergrenze von 2.625 m eine Gneismasse von rund 5 Mio m³ ab, fuhr auf einen Gletscher nieder und nahm

dabei zweifellos Wasser auf. Die Trümmermasse erreichte 1.425m tiefer das Pandemonium-Tal, raste durch dieses weiter bis ins Haupttal, das Atnarko-Tal, und kam erst im größten der Knot-Seen zum Stehen.

Die Bergsturzmasse ist mit 5 Mio. m³ verhältnismäßig klein. Der Tschirgant-Bergsturz an der Öztalmündung hat gut das 40-fache Volumen, der Bergsturz von Köfels das 600-fache. Dass die Bergsturzmasse über die Hänge bis zum Pandemonium-Tal hinab mit einer Durchschnittsneigung von 24° ein Tempo von fast 140 km/h erreichte, ist nicht verwunderlich. Dass die Trümmermasse aber dann auf einer ziemlich flachen Talsohle noch weitere 5 km bis ins Haupttal hinausfuhr, war zunächst ein Rätsel. Nach einer bewährten Formel wäre bei dieser Masse die dreifache Neigung der Talsohle zur Überwindung einer solchen Strecke nötig gewesen. Wie war das möglich?

„Was einem passiert, der auf eine Bananenschale tritt, ist jedermann vertraut und kann von einem harmlosen Rutscher bis zu einem Sturz reichen. Der dabei wirksame Mechanismus ist weniger bekannt: Der Druck des Körpergewichtes auf die Schuhsohle setzt auch das unweigerlich vorhandene Wasser der Schale unter Druck, das in der Folge einerseits seitlich zu entweichen sucht, andererseits aber seinen Druck teilweise auf die Schuhsohle überträgt und damit die Reibung bis zum Rutschen reduzieren kann.

Etwas Ähnliches kann zwischen einer Sturzmasse und der wassergesättigten Kiesfüllung einer Talsohle geschehen. Durch die Bergsturzmasse wird auch hier Wasser unter Druck gesetzt und übt – sofern es nicht seitlich entweicht,“ (und das kann es in dem relativ engen Pandemoniumtal nicht) „eine mittragende und folglich reibungsvermindernde Kraft auf die Sturzmasse aus.



- A = Masse des Bergsturzes
- B = Unterste Schicht von A, meist impermeabel
- C = Unterlage (Gleitbahn)
- D = Locker liegende Füllung
- E = Füllung im Kompressionsvorgang
- F = Komprimierte Füllung (Raum für Wasser verengt; Druck erhöht, wirkt zum Teil mittragend und damit Reibung massiv reduzierend)

Abb. 3: Prozess der „Wasserschmierung“ eines Bergsturzes (Originalentwurf Erismann)

Die Bergsturstrümmermasse von Pandemonium Creek „reiste“ auf diese Weise 5 km weit auf einer Talsohlenneigung von knapp 7¹/₂° (siehe Abb. 2), die der Neigung eines

Murschwemmkegels entspricht. „Dabei behielt sie (wie Überhöhungsmessungen in weiten Kurven belegen) eine fast konstante Geschwindigkeit von knapp 100 km/h bei – ein Beweis für wenig veränderte Reibungsverhältnisse unterwegs. Die „Bananenschale“ leistete es sich, eine Länge von 5 km anzunehmen...“

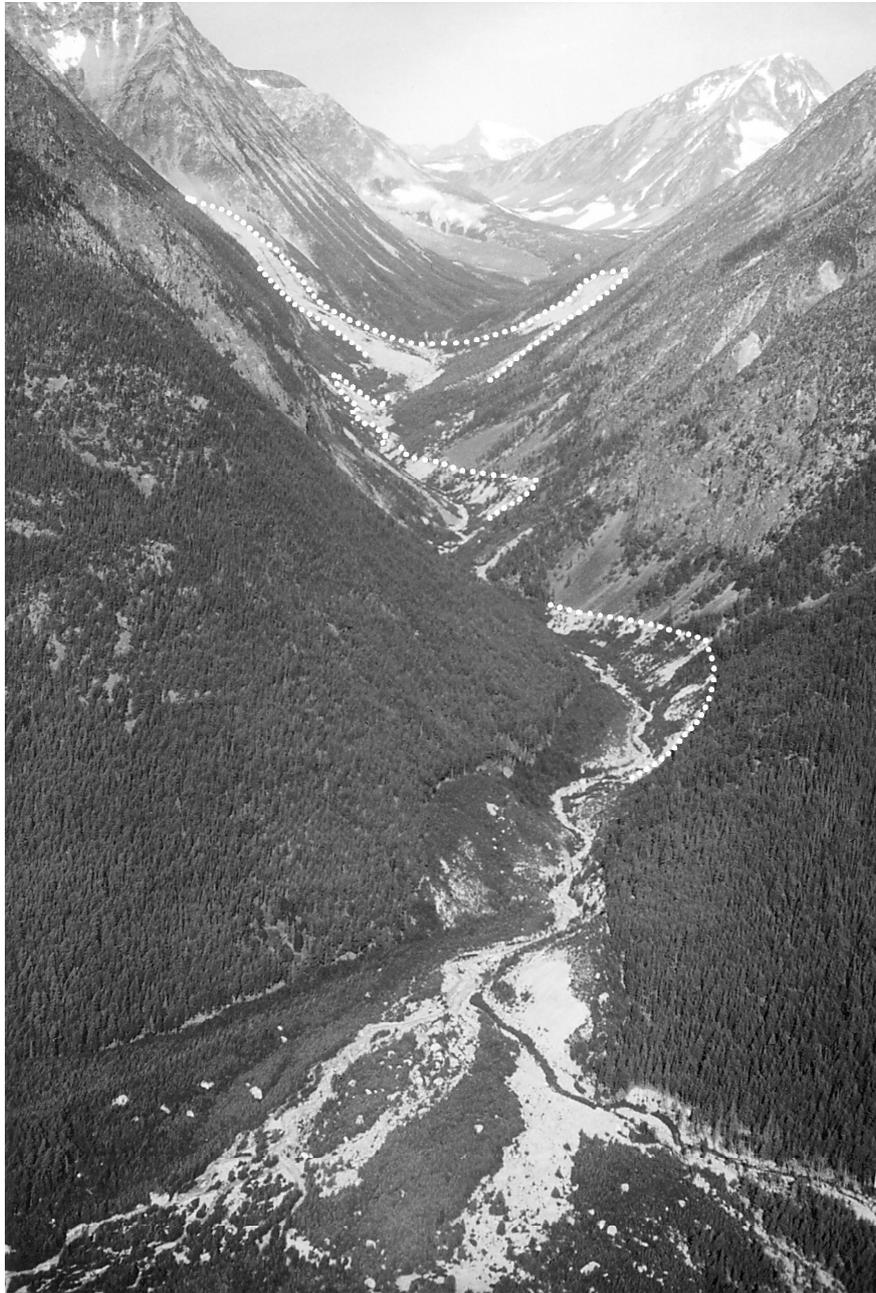


Abb. 4: Tal des Pandemonium Creek: Seitliche Schwingungen des Bergsturzes (Erismann/Abele 2001, 16, nach Foto Evans 1989, 437)

Zu Val-Pola:

Diesen Bergsturz studierte Erismann persönlich im Gelände gemeinsam mit italienischen Geologen. Über der Val Pola, einem kleinen rechten Seitengraben des Veltlin, also des Adda-Tales, erhebt sich der Monte Zandila 2.936 m hoch, von dem der Bergsturz 1987 niederbrach.

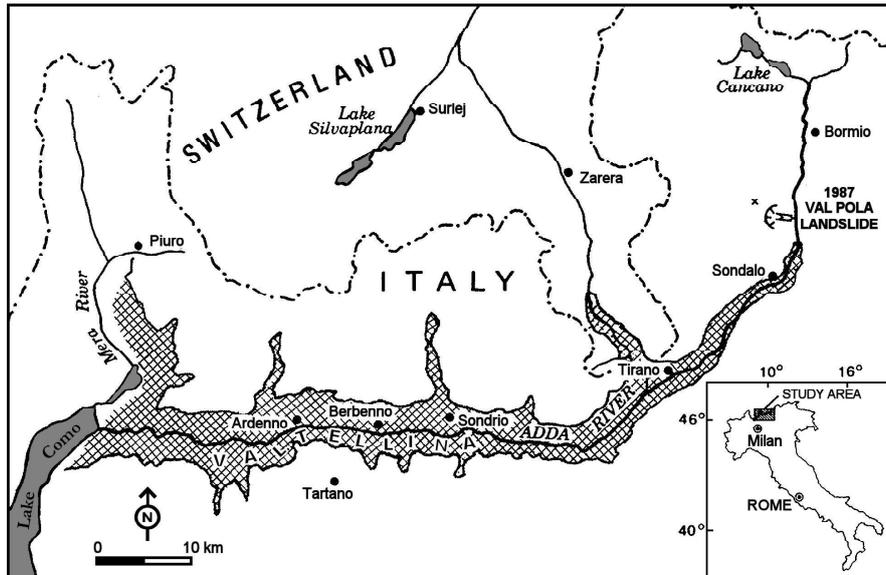


Abb. 5: Val-Pola-Bergsturz 1987, Lage (nach Costa 1991, 17)

In den zehn Tagen zuvor waren vier Tage lang außergewöhnliche Niederschläge gefallen, die im Einzugsgebiet der Adda über 500 Massenbewegungen ausgelöst hatten. Eine davon aus der Val Pola hatte als Murkegel begonnen, die Adda zu einem See aufzustauen. Drei Tage vor dem Bergsturz meldeten Geologen 700m unter dem Gipfel des M. Zandila eine 600 m lange Felsspalte, die sich wahrnehmbar vergrößerte. Steinschlag und kleine Felsstürze nahmen hier zu. In Erwartung des Bergsturzes wurden zum Schutz der Bevölkerung und der Kulturlandschaft vorbildliche Maßnahmen ergriffen.

Am Morgen des 28. Juli brach von der Ostflanke des M. Zandila der erwartete Bergsturz nieder.



Abb. 6: Der M. Zandila mit der Abbruchnische, Val Pola (Foto Erismann 1995 in Erismann/Abele 2001, 50)

Es stürzten rund 32-40 Mio. m³ Fels herab, also mit knapp dem achtfachen Volumen der Bergsturzmasse des Pandemonium Creek.

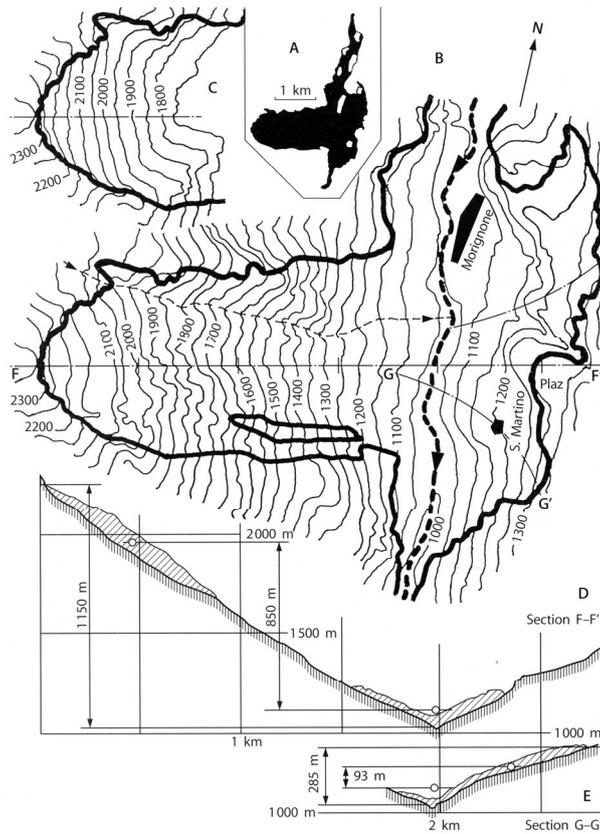


Abb. 7: Val-Pola-Bergsturz: Karten, Profile (Erismann/Abele 2001, 52)

„Hier handelt es sich um den kompliziertesten Fall, der mit Vorteil etwas näher beschrieben wird. Die Sturzmasse wurde nämlich durch einen sehr massiven Felsklotz“ („Plaz“) „im Gegenhang regelrecht entzwei geschnitten, so dass ein linker (nördlicher) und ein rechter (südlicher) Arm entstand.“



Abb. 8: Val-Pola-Bergsturz, Teilung der Trümmermasse durch den Felsporn Plaz; rechts der neue Adda-Stausee (Erismann/Abele 2001, 51: Schweizer Luftwaffe)

In der Folge wird nur vom linken Arm die Rede sein, der praktisch das ganze Schadenspotenzial in sich trug. Die Sturzmasse dieses Arms stieg auf der linken Haupttalseite etwa 300 m hoch, machte dann aber kehrt, überfuhr – gewissermaßen von hinten her - das evakuierte Dorf Morignone und tauchte in den See, der sich eben dort gebildet hatte. Die Folgen dieses Überfahrens waren katastrophal.

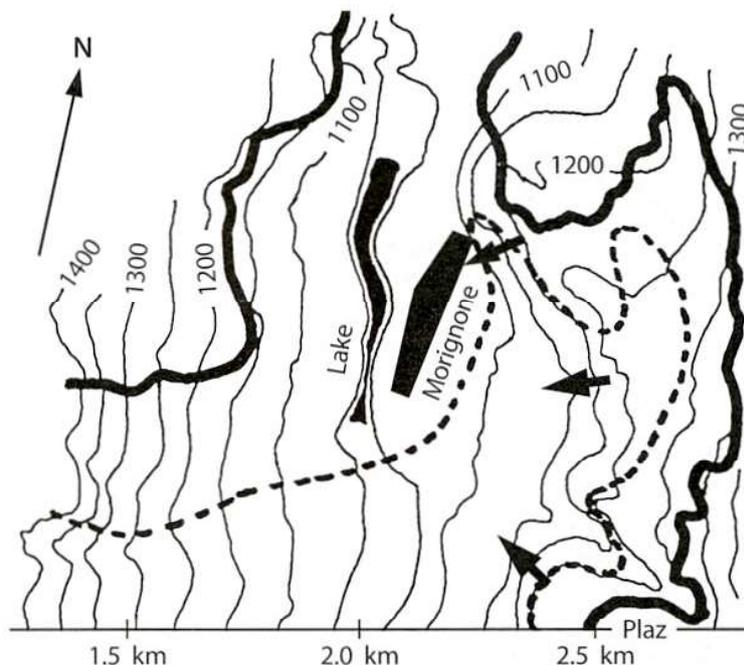


Abb. 9: Neuer Adda-Stausees bei Morignone, Karte (Erismann/Abele 2001, 54)

Wenn ein kluger Handwerker den Auftrag erhält, eine größere Menge Mörtel (oder anderes halbflüssiges Material) gleichmäßig auf eine horizontale Fläche zu verteilen, dann schaufelt er nicht wild drauf los, sondern wendet eine wesentlich rationellere Methode an: Er schiebt den Mörtel vor seiner Schaufel her und beschleunigt diese so, dass der Mörtel durch seine Trägheit ein hübsches Stück an der Schaufel empor klettert, bis ein abschließender (nicht einmal besonders energischer) Stoß der Schaufel der im Hochsteigen des Mörtels gespeicherten potentiellen Energie noch eine Portion von kinetischer Energie beifügt. So kann bei relativ geringem Kraftaufwand fast die doppelte Energie in das Medium gelangen, hier also in den Mörtel. Etwas ganz Ähnliches geschah mit dem Bergsturz von Val Pola: Indem die Sturzmasse in den angestauten See tauchte, hob sie dessen Wasser und vermittelte ihm damit potentielle Energie, die sich im Lauf der weiteren nieder gleitenden Bewegung in kinetische Energie wandelte. Anders wäre es nicht leicht zu erklären gewesen, dass die Vegetation bis gut über 150 m über der damaligen Talsohle (immer noch mehr als 100 m über der heutigen) die Vegetation vernichtet werden konnte.

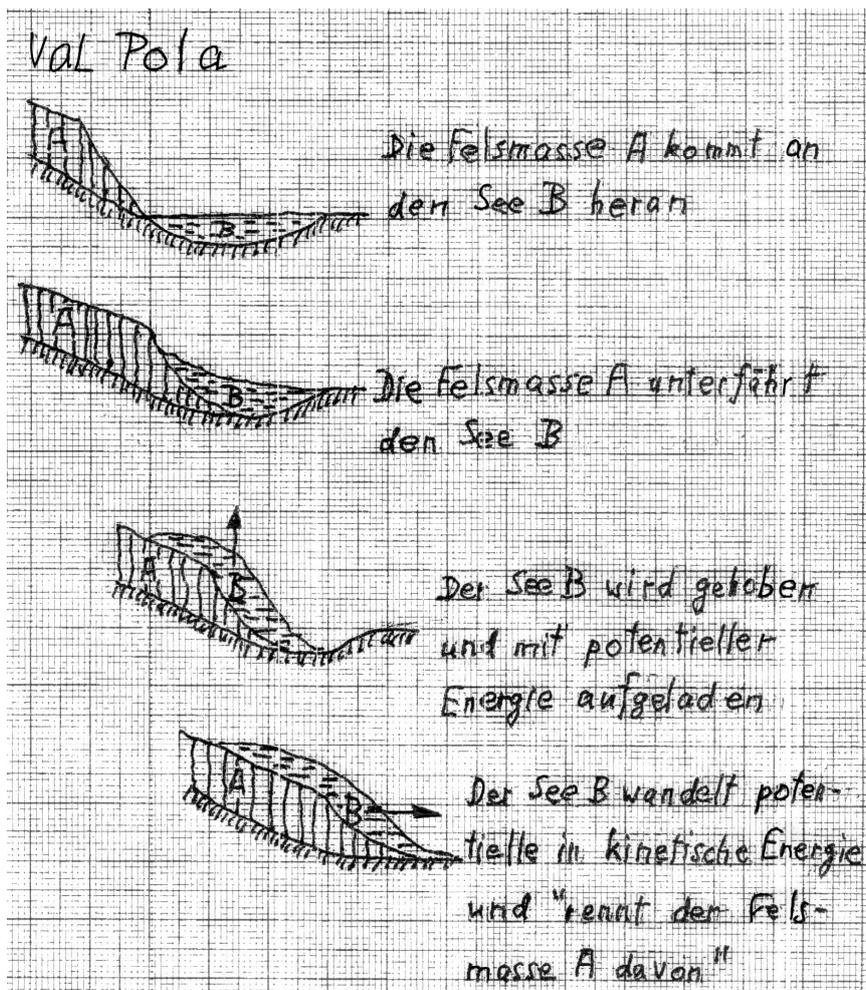


Abb. 10: Prozess der Verdrängung des Bergsturz-Stausees bei Morignone durch die Sturzmasse (Originalentwurf Erismann)



Abb. 11: Durch Wasserdruck vernichtete Vegetation über dem verdrängten Bergsturz-Stausee von Morignone (Foto Erismann in Erismann/Abele 2001, 57)

Wichtiger noch: dass eine Welle von etwa 150 m Höhe entstand, deren Ausläufer gut zwei Kilometer talaufwärts bis Aquilone liefen, wo dadurch 20 schwer vorhersehbare Todenopfer zu beklagen waren.

Es darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass insgesamt durch z. T. erzwungene Evakuierungen“ von 3.500 Personen „Hundertern von Menschen das Leben bewahrt werden konnte. Einzig sieben Arbeiter wurden direkt vom Bergsturz erfasst, als sie einen Entwässerungsgraben auszuheben versuchten. Diese tapferen Männer wussten um die Gefahr, die sie bedrohte, und gehen als Helden der Arbeit in die Geschichte der Bergstürze ein.“

Zum Huascarán:



Abb. 12: Übersichts-Aufnahme des Berg- und Gletschersturzes vom Huascarán 1970, Panoramafoto vom Hang der Cordillera Negra von W. Welsch

„Das Ereignis vom Huascarán 1970, mit über 18.000 Todesopfern das schrecklichste in der Geschichte der Bergsturzkatastrophen, setzt neue Maßstäbe in Höhendifferenz (4.000 m) und zurückgelegter Strecke (16.000 m).“

Der Doppelgipfel des Huascarán krönt in Peru die Cordillera Blanca. Eis- und Felsabbrüche vom etwas niedrigeren Nordgipfel (6.654 m) verursachten 1962 und 1970 gewaltige Katastrophen.

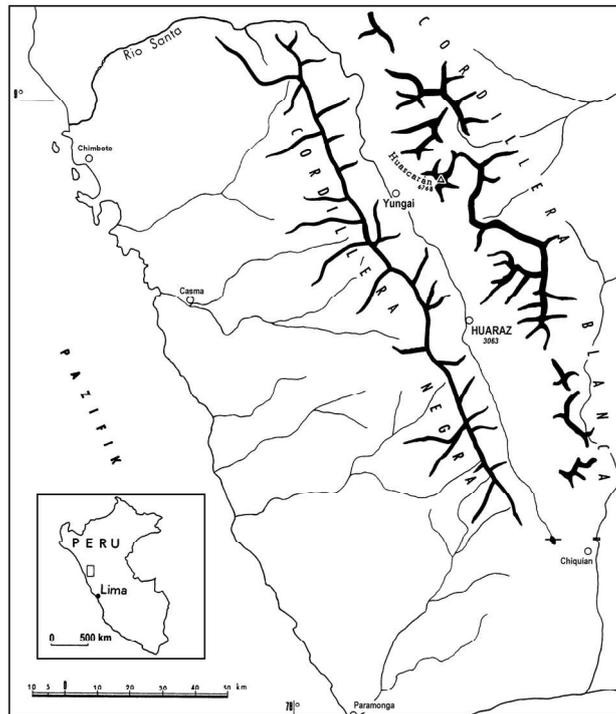


Abb. 1: Skizze der Cordillera Blanca und der Cordillera Negra, Peru. ——— Karte 1:200 000, - - - Karte 1:100 000 Nordblatt, - · - · - Karte 1:100 000 Südblatt, - - - - - Karte 1:25 000 der Huascarán-Gruppe.

12

Abb. 13: Lage des Huascarán (nach Hofmann 1983, 12)

Das breite Santa-Tal trennt die Weiße und die Schwarze Kordillere von einander .

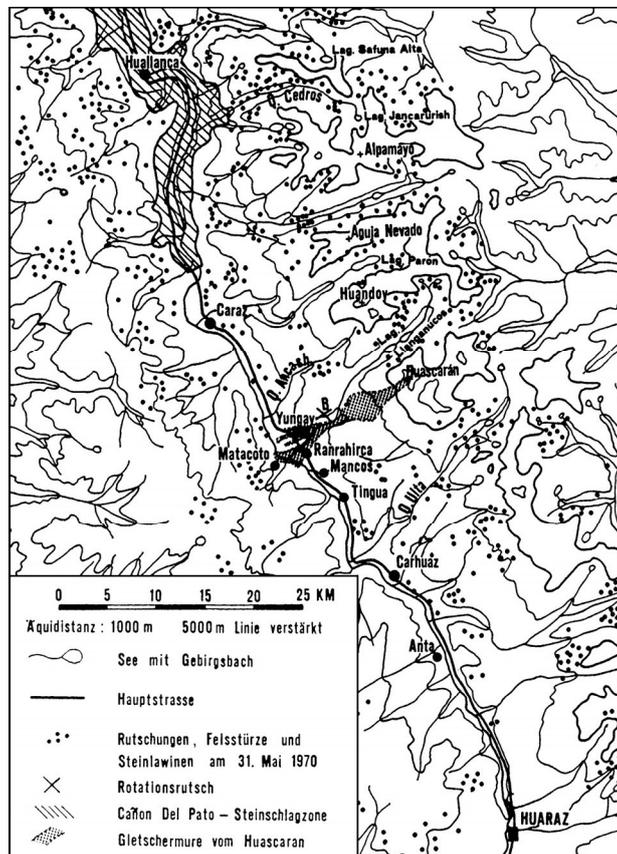


Abb. 14: Santa-Tal im Bereich des Huascarán (nach Stadelmann 1983, 55)

Wir betrachten das jüngere Massenbewegungs-Ereignis. Auf Abb. 14 erkennt man die Lage des Unglücksdorfes Ranrahirca, das durch die erste Katastrophe 1962 mit acht weiteren Dörfern und insgesamt 4.000 Bewohnern ausgelöscht wurde. Ein Bergrücken schützte damals die Stadt Yungay. Doch nach dem Ereignis von 1970 lag auch sie mit dem größten Teil der gesamten 18.000 Todesopfer der Katastrophe unter den Sturzmassen begraben. Abb. 14 zeigt am Gegenhang, dem Fuß der Cordillera Negra, auch das Dorf Matacoto. 1962 blieb es außer Gefahr (Abb. 16). Doch 1970 brandeten hier die Sturzmassen gut 80 mempor und raubten dem Ort 60 seiner Bewohner.

Für die Katastrophe von 1962 wurde keine auslösende Ursache bekannt. Den noch größeren Berg- und Gletschersturz von 1970 löste jedoch die größte bekannte Erbebenkatastrophe der westlichen Hemisphäre aus mit insgesamt 70.000 Todesopfern (Stadelmann 1983, 51f.).

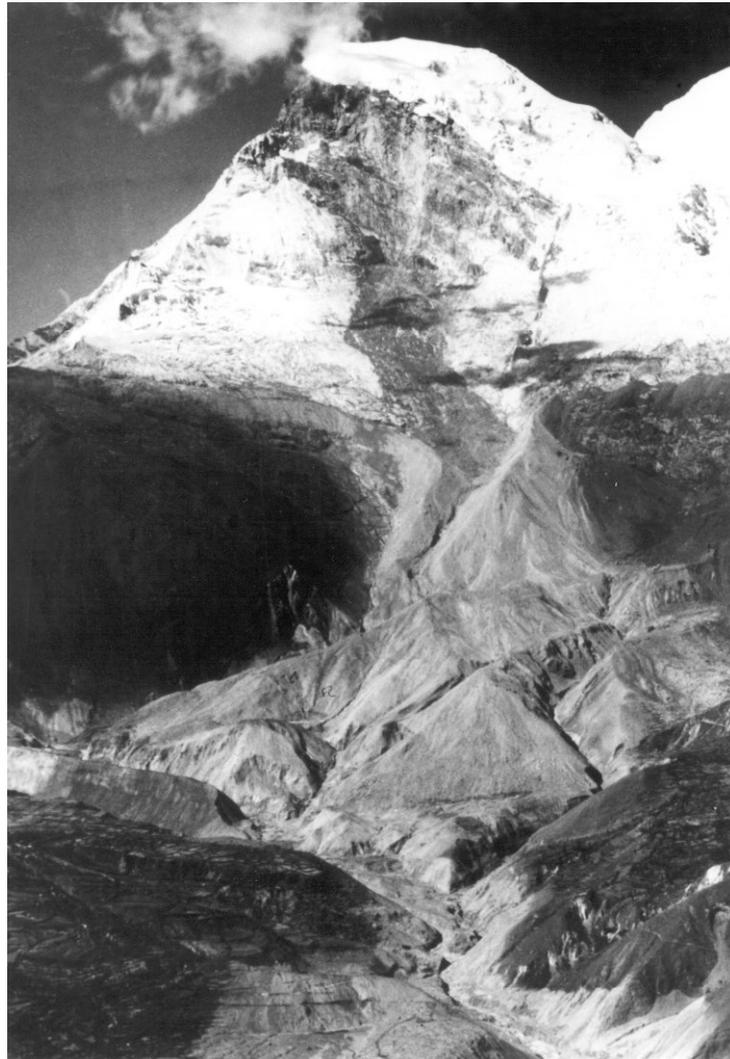


Abb. 15: Berg- und Gletschersturz vom Huascarán 1970. (Foto W. Welsch in Erismann/Abele 2001, 86)

Infolge dieses Erdbebens am 31. Mai 1970, 15.23 Uhr, brachen Felsteile vom Pico Norte des Huascaráns ab samt dem darauf liegenden Eis mit wesentlich geringerem Volumen. Die Gesamtmasse schätzte Erismann auf 50 Mio m³ – das ist gut die Größenordnung des Val-Pola-Bergsturzes. Nach fast 800m in nahezu freiem Fall prallte die Sturzmasse auf den Gletscher Nr. 511 und nahm durch dessen Eis und Firn zweifellos noch weitere Wassermengen auf. Das verminderte die innere Reibung, bedeutete also eine Schmierung. Auf dem Gletscher verwandelte sich die Sturzmasse in einen Schlammstrom, der in der Literatur als Gletschermure

bezeichnet wird. Abb. 15 zeigt ihren Weiterweg über die neuzeitlichen Moränenwälle des Gletschers hinweg bis zu dem Punkt, wo die kleinen Täler trichterförmig im Shacsha-Tal zusammenlaufen. Bis dahin hatte die Sturzmasse horizontal achteinhalb Kilometer zurückgelegt, zugleich aber auch die gewaltige Sturzhöhe von 3.600m. Sie schoss weiter durchs Shacsha-Tal, hinweg über das glücklicherweise noch kaum wiederbesiedelte Unglücksdorf Ranrahirca (Stadelmann 1983, 63).

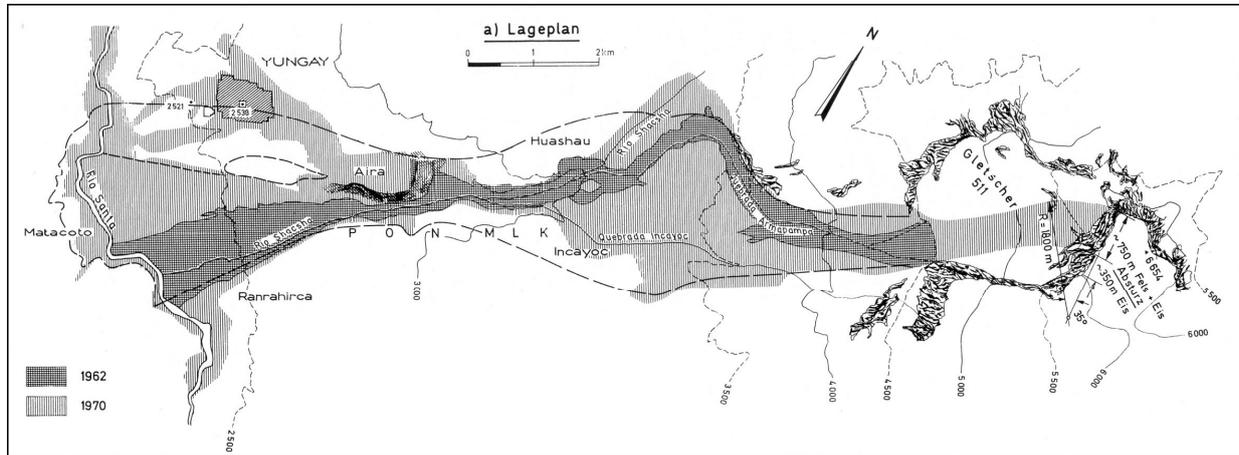


Abb. 16: Die Berg- und Gletscherstürze vom Huascarán 1962 und 1970 (nach Körner 1983, 74)

Sie stautete den Santa-Fluss zu einem 2 km langen See. Dieser durchbrach bereits nach einer halben Stunde den 20 m hohen Bergsturziiegel und raste mit einer in der folgenden Schlucht 20 m hohen Flutwelle talabwärts (Stadelmann 1983, 64) – ein bedrohliches Beispiel für die Beziehung Wasser / Massenbewegungen, das Tagungs-Kernthema. Zum Glück aber begriffen dort die Bewohner, durch das Erdbeben bereits aufgeschreckt, was das vorübergehende Austrocknen des Flussbettes bedeutete. Sofort flohen sie an den Talhängen empor. So gab es glücklicherweise im unteren Santatal durch diese Flutwelle nur wenige Tote.

Doch wie kam es zur Entstehung des zweiten Armes der Bergsturzmasse, der nach Überwindung eines fast 120 m hohen Berghanges das Dorf Aira und die Stadt Yungay vernichtete? Voraussetzung dafür sind die Geschwindigkeitsberechnungen für die Sturzmasse. Worauf gründen sie sich?

Das auslösende Erdbeben ist durch die Seismographen sekundengenau festgehalten. Außerdem liegen ziemlich präzise Zeitangaben von Augen- und Ohrenzeugen über den Ablauf der Katastrophe vor. Anhaltspunkte liefern auch die Aufstiegshöhen der Sturzmassen an den seitlichen Hängen und am Gegenhang. Daher gab es bereits umfangreiche Berechnungen und ein Modell für die Geschwindigkeit der Sturzmassen in den verschiedenen Phasen. Erismann überprüfte erneut dieses gesamte Material minutiös, rechnete als brillanter Mathematiker und Physiker jede Einzelheit nach (auch noch weiterhin nach Erscheinen seines Buchs) und kam zu abweichenden, besser gesicherten Werten. Sie lagen fast durchwegs unter den bis dahin veröffentlichten Geschwindigkeitsangaben. Hier die Ergebnisse:

- Die Sturzmasse kam beim Absturz über die Gipfelwand des Huascarán-Nordgipfels mit rund 335 km/h der freien Fallgeschwindigkeit von 382 km/h nahe.
- In der Verengung der Sturzbahn im Shacsha-Tal und dann weiterhin lag die Geschwindigkeit bei etwa 145 km/h.
- Beim Überfahren von Yungay betrug das Tempo der Sturzmasse weniger als 145 km/h.
- Bei Erreichen des Gegenhangs unterhalb von Matacoto lag die Geschwindigkeit unter 95 km/h.

Ein Beispiel für Zeugenberichte als Berechnungsgrundlagen betrifft in Yungay eine Stelle von besonderer Dramatik: Dort konnten sich 93 Menschen noch rechtzeitig auf den Friedhofshügel retten. Unter ihnen befanden sich zwei Geophysiker. Dem einen von ihnen verdanken wir genaue Zeitangaben.



Abb. 17: Der aus den Sturzmassen ragende Friedhofshügel von Yungay (Erismann/Abele 2001: Flugfoto Welsch 1983, 45)

Unmittelbar nach den letzten Erdbebenstößen vernahmen sie ein tiefes Grollen vom Huascarán her und sahen dort den Gipfel von einer grauen, rasch sich verdunkelnden Wolke verhüllt. Das tiefe Grollen kam vom Aufprall der Sturzmasse auf den Gletscher 511 – mit den 40 Sekunden Verzögerung, die der Schall von Gletscher 511 bis Yungay brauchte. Die Geophysiker – der eine mit seiner Frau - sprangen aus ihrem Pritschenwagen und rannten zum rund 150m entfernten Friedhofshügel. Bei Erreichen der untersten Friedhofsterrasse schaute der Berichtende nach oben: Er sah die Schlammflut über den Rücken von Aira schwappen und auf Yungay zurasen. Und als sie die 3. Terrasse erreicht hatten, brandete die Schlammlawine mit lautem Knall bis zu dieser 3. Terrasse empor – 5m von ihnen entfernt. Der Berichtende hat später seinen Lauf wiederholt und mit 100 Sekunden gestoppt. So ergibt sich eine Mindestzeit von 150 Sekunden für den Weg der Sturzmasse von der Aufprallstelle auf Gletscher 511 bis zur Überwindung des Rückens von Aira.

Nun aber kommen wir zum Kernstück: Die von Erismann berechneten rund 145 km/h der Sturzmasse unter dem Bergrücken von Aira lagen beträchtlich unter den Geschwindigkeitswerten früherer Berechnungen. Sie reichten allein nicht aus für die Überwindung des rund 120 m hohen Bergrückens von Aira durch die Sturzmasse. Wie konnte diese trotzdem über den Sattel von Aira hinwegrasen?

„Ist schon der Unterschied der Mechanismen zwischen den Ereignissen von Pandemonium Creek und Val Pola frappierend, so führte die Sturzmasse vom Huascarán 1970 ein regelrechtes Kabinettstück der Wegverlängerung vor. Und ausgerechnet dieses Kabinettstück bewirkte das unerhörte Ausmaß der Katastrophe.“

Wenn ein Kind die Absicht hat, nach einigen Schwüngen auf einer Schaukel in möglichst weitem Bogen abzuspringen, dann wird es natürlich dem „Schwung-Holen“ unmittelbar vor dem Abspringen besondere Aufmerksamkeit widmen und wird den letzten Schwung möglichst genau synchron mit dem bis dahin Erreichten an Schwung ausführen.

Nun gingen beim Huascarán-Ereignis dem alles entscheidenden Überfahren des Sattels von Aira mehrere hin- und her gehende Schwünge der Sturzmasse voraus. So lag es nahe, das“ nachträglich an den Talhängen noch erkennbare „Schwungsverhalten der Masse in diesem Bereich unter die Lupe zu nehmen.

In der Regel konnte keine Korrelation zwischen dem Gang der Hin- und Herbewegung und der Eigenfrequenz der als Pendel in ihrer „Bobbahn“ schwingenden Masse festgestellt werden. Aber siehe da: Ausgerechnet beim letzten Schwung bestand eine starke positive Korrelation, so dass die Masse – wie die oben erwähnte Kinderschaukel – eine besonders wirksame Beschleunigung erhielt, gerade genug, um einen kleinen Teil der Sturzmasse über den Sattel von Aira zu treiben; leider aber auch genug, um ein blühendes Städtchen dem Erdboden gleich zu machen..... Physikalisch betrachtet, handelte es sich dabei um ein Resonanzproblem.

Da stehen also die Drei:

- ein exotisches Druck-Wasser-Schmiersystem,
- eine vertrackte „Manipulation“ von potentieller und kinetischer Energie, und
- eine Resonanzwirkung, gleichsam Davids Schleuder im Großformat.

Wer wird behaupten wollen, es bestünden wesentliche physikalische Ähnlichkeiten zwischen den dreien, und wer wird vergleichbare Wegverlängerungen vermuten? Natürlich sind diese Fragen schon mit ihrer Stellung beantwortet.

Das hat mehr als nur akademische Bedeutung. Seit es GPS und ähnliche Systeme gibt, mit denen Punkte rasch und positionsgenau erfassbar sind, wird einfacher und schneller an Gefährdungskarten gearbeitet, bei denen freilich für Bergstürze als wichtigster Parameter nur die Neigung zwischen Abriss und Schadstelle verwendet wird. Die GPS-Gläubigen werden sich noch einiges Wesentliche einfallen lassen müssen, bis ein wirklich brauchbares System der Schadensvorhersage zur Verfügung stehen wird.“

Dank

Für die freundliche Bewilligung der Wiedergabe der Abbildungen sei bestens gedankt: den Herren Kollegen C. E. Costa (Abb. 5), S. G. Evans (Abb. 1, 3), H. J. Körner (Abb. 16), J. Stadelmann (Abb. 14), W. Welsch (Abb. 12, 15, 17), dem Kommando Fliegerbrigade der Schweizer Luftwaffe (Abb. 8); der Schweizerbartschen Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (<http://www.schweizerbart.de>) für die Zeitschrift für Geomorphologie (Abb.5) und dem Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, für die Reihe „Hochgebirgsforschung“ (Abb. 13, 14, 16, 17).

Erwähnte Literatur

- Costa C. E. 1991: Nature, mechanics, and mitigation of the Val Pola landslide, Valtellina, Italy, 1987-1988. Zeitschrift für Geomorphologie, NF, 35, 15- 38
- Erismann T. H. – Abele G., 2001: Dynamics of rockslides and rockfalls. Springer, Berlin, Heidelberg, New York etc. , 316 Seiten
- Evans S. G., Clague John J., Woodsworth G. J., and Hungr O., 1989: The Pandemonium Creek rock avalanche, British Columbia. Canadian Geotechnical Journal 26, No. 3, 427-446
- Hofmann W., 1983: Zur Aufnahme und Bearbeitung der Huascarán-Karte 1: 25 000, 11-16
- Körner H. J., 1983: Zur Mechanik der Bergsturzströme vom Huascarán, Perú. Hochgebirgsforschung 6, Innsbruck, 71-110
- Stadelmann J., 1983: Zur Dokumentation der Bergsturzereignisse vom Huascarán. Hochgebirgsforschung 6, Innsbruck, 51-70
- Welsch W., 1983: Begleitworte zum Höhenlinienplan 1:25 000 der Bergsturmure vom Huascarán am 31. Mai 1970. Hochgebirgsforschung 6, Innsbruck, 31-50