

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 88 (1996)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Der Bergsturz "La Josefina"  
**Autor:** Studer, Jost A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940344>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.04.2025

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

#### Literatur

Geiger, H., Zeller, J., Röthlisberger, G. (1991): Starkniederschläge des Schweiz. Alpen- und Alpenrandgebietes. Grundlagen, Bd. 7. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

Haeberli, W., Rickenmann, D., Roesli, U., Zimmermann, M. (1991): Murgänge 1987: Dokumentation und Analyse. In: Mitt. Nr. 5 des Bundesamtes für Wasserwirtschaft sowie Mitt. Nr. 10 der Landeshydrologie und -geologie, Bern, p. 77–88.

Istituto Geologico Cantonale (1993): Comune di Caveragno, Zone di pericolo. Cantone Ticino, Istituto Geologico Cantonale, Cadenazzo, novembre 1993.

Spinedi, F., Kappenberger, G. (1992): Il nubifrago del 31 agosto 1992 nel Sopraceneri. Rapporto di studio, Istituto svizzero di meteorologia, Locarno-Monti, novembre 1992.

#### Dank

G. Valenti vom Geologischen Amt des Kantons Tessin sei für wertvolle Diskussionen und das Bereitstellen von Unterlagen bestens gedankt.

Adresse der Autoren: Dieter Rickenmann, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, Gerhard Röthlisberger, Techn. Beamter, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf.

## Der Bergsturz «La Josefina»

### Ecuador, 1993

Jost A. Studer

Am 28. März 1993, gegen Ende der Regenzeit, ereignete sich im südlichen Ecuador ein gigantischer Bergsturz, der zum Aufstau des Rio Paute führte. Im Wettkampf mit der Zeit wurde ein etwa 18 m tiefer Abflusskanal erstellt. Am 1. Mai lief das gestaute Wasser mit einem Spitzenabfluss von 10000 m<sup>3</sup>/s ab. Dabei wurden etwa 20 km Strassen, vier Brücken und mehrere hundert Häuser weggerissen. Dank den umsichtig getroffenen Evakuierungsmassnahmen mussten beim Abfliessen keine Menschenopfer beklagt werden.

Im Auftrag der DHA/UNDRO (Department of Humanitarian Affairs/United Nations Disaster Relief Coordinator) haben drei Spezialisten des Schweizerischen Katastrophenhilfekorps die ecuadorianischen Behörden bei der Katastrophenbewältigung und der Konzeption von Präventivmassnahmen als Berater unterstützt.

### Einleitung

Am Montag, 29. März 1993, etwa um 21 Uhr ereignete sich ein gigantischer Bergsturz auf der hinteren Talfläche des Pautetals im Süden von Ecuador in einem Abschnitt, wel-

cher als «La Josefina» bekannt ist. Infolgedessen waren 72 Tote und Vermisste zu beklagen.

Auf Anfrage der ecuadorianischen Behörden entsandte das Schweizerische Katastrophenhilfekorps im Namen von DHA/UNDRO zwei technisch-wissenschaftliche Berater (3. April bis 4. Mai 1993 Ph. Chamot, 4. Mai bis 20. Mai Dr. J. Studer) und einen Koordinator (F. Wirz). Das Team hatte folgende Aufgaben:

- Abschätzung aller möglichen Risiken für den Fall eines plötzlichen Dammbrechens oder unkontrollierten Wasserabflusses
- Definition von Massnahmen zur Verminderung zukünftiger Risiken
- Unterstützung der lokalen Behörden bei der Katastrophenbewältigung
- Orientierung der UNDP (United Nations Development Program) Quito über den Stand der Aktivitäten und allfällige nicht gedeckte Bedürfnisse im Bereich Vorsorge und Rettung.

Der Sektor «La Josefina» befindet sich etwa 25 km unterhalb der drittgrössten Stadt Ecuadors, Cuenca, und 6 km unterhalb des Zusammenflusses der Flüsse Tomebamba und Burgay, welche so den Pautefluss bilden. Die geographische Übersicht gibt Bild 1.

Der gigantische Bergsturz staute den Fluss Paute beim Zusammenfluss mit dem kleineren Nebenfluss Jadán. Das Volumen des abgerutschten Materials betrug zwischen 30 und 40 Mio m<sup>3</sup> und formte einen natürlichen Damm von einem Kilometer Breite in Flussrichtung und einer minimalen Höhe von etwa 85 m. Das abgestürzte Volumen ist mit der am 28. Juli 1987 im Veltlin abgestürzten Felsmasse vergleichbar. Allerdings war die Sturzhöhe im Veltlin grösser, nämlich 1300 m. Einen Überblick über das Absturzgebiet und den Schüttkegel gibt Bild 2.

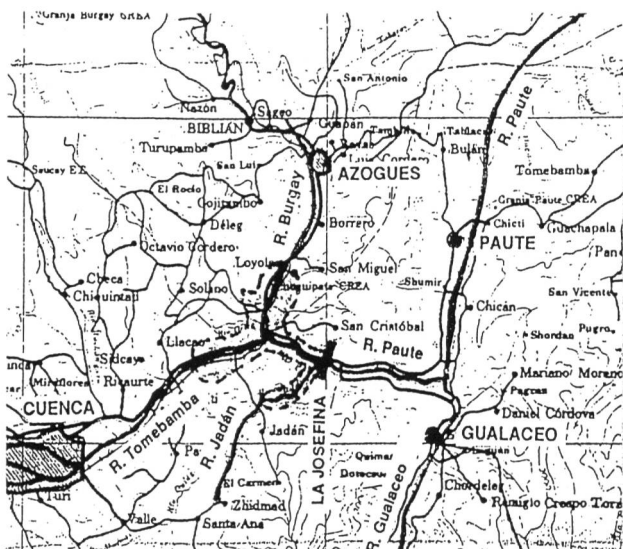


Bild 1. Lage des Bergsturzes «La Josefina» und Ausmass des dadurch gestauten Sees (Massstab 1:600 000, Norden oben).



Bild 2. Überblick über das Rutschgebiet. Links liegt der Lago Paute, rechts der Lago Jadán. Auf der rechten Seite des Schüttkegels ist der Bau des Abflusskanals sichtbar.

## Situation

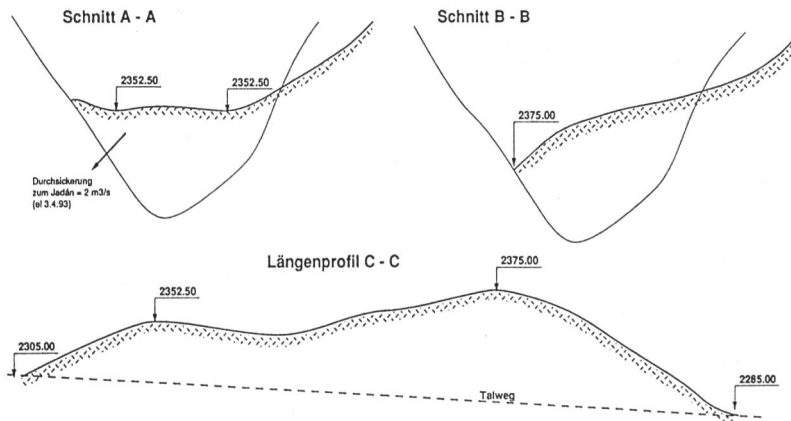
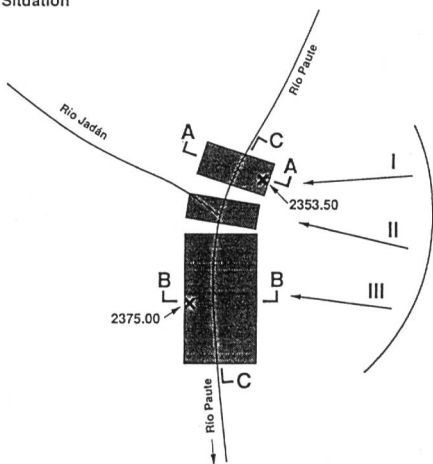


Bild 3. Die drei Phasen des Bergsturzes.

Am 2. Januar 1990 ereignete sich am Pisque-Fluss im nördlichen Ecuador ein Felssturz von 3,6 Mio m<sup>3</sup>, der ebenfalls zu einem Aufstau führte. Infolge der topographischen und geologischen Verhältnisse sind Bergstürze in Ecuador nicht selten.

Nach Berichten von Überlebenden und Augenzeugen ereignete sich der Bergsturz «La Josefina» in drei kurz aufeinanderfolgenden Phasen (Bild 3).

- Der erste Bergsturz staute den Pautefluss oberhalb des Zusammenflusses mit dem Jadán. Die tiefste Stelle in dessen Dammkrone lag auf etwa 2352,50 m ü. M.
- Ein zweiter Bergsturz verschüttete den Zusammenfluss der beiden Flüsse. Die Dammkrone lag ebenfalls auf etwa 2352 m ü. M.
- Der dritte und grösste Bergsturz versperrte das Tal unmittelbar unterhalb des Zusammenflusses von Paute und Jadán. Die minimale Dammkote lag auf etwa 2375 m ü. M.

Sofort nach dem Bergsturz begann sich das Wasser des Paute und des Jadáns zu stauen. Es formten sich zwei Seen, deren Wasserspiegel mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, abhängig von den sich ausbreitenden Überschwemmungsflächen, schnell anstiegen. Vier Tage nach dem Bergsturz erreichte das Wasser des Paute bereits die Kote von 2329 m ü. M. Die Monate April und Mai sind in den ecuadorianischen Anden Regenmonate. Der Zufluss des Rio Paute schwankte in dieser Zeit zwischen 40 und 175 m<sup>3</sup>/s. Daraus resultierten tägliche Wasserspiegelzunahmen zwischen 0,5m und 3 m (Bild 4). Bild 5 zeigt die Volumenkurve der beiden Seen in Abhängigkeit der Wasserstände. Sie kann aufgrund von Quervergleichen mit den abgeschätzten Zuflüssen als zuverlässig betrachtet werden.

## Bau eines Abflusskanales

In den ersten Tagen nach dem Bergsturz entschied das Ingenieurkorps der Armee Ecuadors, einen Kanal im obersten Bereich des dritten Bergsturzes auszuheben (Bild 6). Dies war in Anbetracht der starken Zuflüsse und der daraus resultierenden kurzen Zeit bis zum Überspülen des Dammes der einzig mögliche realistische Entscheid. Andere Lösungen, wie z.B. Abpumpen, kamen wegen der grossen Zuflüsse von 50 bis 150 m<sup>3</sup>/s mangels weltweit nicht erhältlicher Pumpen nicht in Frage.

Das Ausheben des Ausflusskanales hatte zwei Zielsetzungen:

- Die Überschwemmungsgebiete oberhalb des Dammes waren möglichst klein zu halten.

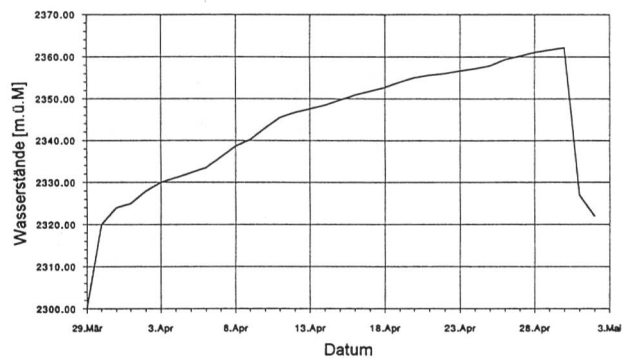


Bild 4. Wasserstände im «La Josefina»-Stausee während des Einstaus 1993.



Bild 5. Volumenkurve der beiden Seen «La Josefina» (nach Universität Cuenca).

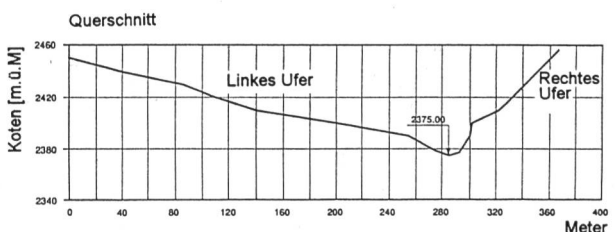
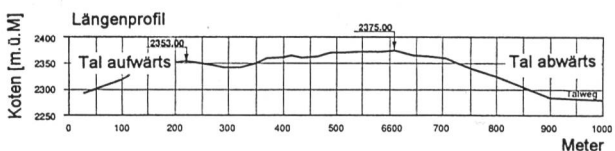


Bild 6. Längsprofil und Querschnitt durch den Dammkörper «La Josefina».

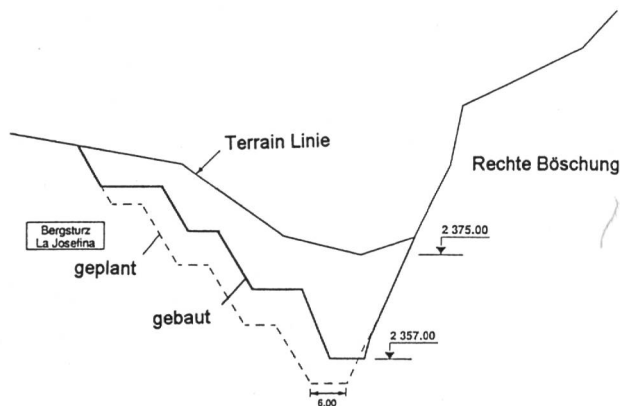


Bild 7. Geplanter und ausgeführter Überlaufkanal durch den Bergsturzdamms zur Ableitung des Sees.

– Das Ausmass der Katastrophe beim Überspülen des Damms und der daraus resultierenden Erosion mit starkem Wasserabfluss im Unterwasserbereich war durch ein möglichst kleines Volumen des gestauten Wassers in Grenzen zu halten.

Der tiefste Punkt des natürlichen Damms lag auf der rechten Talseite auf einer Kote von 2375 m ü. M. Der durch den ersten und zweiten Bergsturz geschüttete Damm hatte eine minimale Kote von 2353 m ü. M. Das Projekt bestand darin, einen Abflusskanal mit einer Sollbreite von 6 m und einer Kote von 2353 m ü. M. durch den dritten Bergsturz längs der rechten Talflanke zu graben. Die rechte Talseite besteht aus bergwärts einfallenden Schichten vulkanischen Gesteins, das nur mit einer dünnen Humusschicht überdeckt ist. Deshalb darf diese Kanalseite als weitgehend stabil betrachtet werden. Für die linke Kanalseite – im Bergsturzmaterial gelegen – waren terrassierte Böschungen 1:1 geplant (Bild 7).

Die schweren Baumaschinen der Armee und von Privaten erreichten den Ort in Rekordzeit. Bereits am 1. April, 1 1/2 Tage nach dem Rutsch, begann der Bau von Zufahrtspisten. Die eigentlichen Arbeiten am Damm begannen am 3. April. Vom 3. bis 8. April nahm die Anzahl der einsetzbaren Baumaschinen stets zu und erreichte schliesslich die stattliche Zahl 20. Die Mehrzahl davon waren schwere Geräte des Typ D8L und D9. 15 der Geräte arbeiteten am Kanal, die restlichen an Zufahrts- und Fluchtwegen. Zuerst wurde von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends in zwei Schichten, nach Einfliegen von Beleuchtungsmaterial ab dem 6. April in drei Schichten, 18 Stunden täglich, gearbeitet. Um das vorgesehene Projekt zu realisieren, musste man 225 000 m<sup>3</sup> Material ausheben.

Schon kurze Zeit nach Beginn der Bauarbeiten erkannten die Armeeingenieure, dass der vorgegebene Kanal in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht auszuheben war. Einerseits verstärkten sich die Regenfälle ab dem 9. April beträchtlich, andererseits konnte pro Tag weniger Aushub als geplant weggeschafft werden. Deshalb entschied man, das Aushubvolumen zu verkleinern und die Böschungsneigung auf der linken Talseite auf 2:1 zu vergrössern. Am Ziel, die Kote 2353 m ü. M. zu erreichen, wurde festgehalten.

In Wirklichkeit konnte aber nur die Kote 2357 m ü. M. erreicht werden, da es aus Sicherheitsgründen nicht möglich war, auf der rechten Kanalseite den Fels durch Sprengen abzutragen oder auf der linken senkrechte Wände zu erstellen. Eine für den weiteren Aushub neu zu erstellende Terrassierung hätte mehrere Tage in Anspruch genommen. Am 13. April, 10 Tage nach dem eigentlichen Baubeginn,

wurden die Arbeiten eingestellt. Der Entscheid begründete sich vornehmlich auf dem Drängen der Unternehmer, ihre – ohne Entschädigung zur Verfügung gestellten – Geräte vor dem Verlust zurückzuziehen und den Bulldozerfahrern, die sich wegen des ansteigenden Wasserspiegels weigerten, im engen Kanal weiterzuarbeiten. Das Profil des Kanals vor dem Abfliessen zeigt Bild 7.

### Vorsorgemassnahmen zur Minimalisierung der Schäden beim Ausfliessen

Von Anfang an stand fest, dass das Bergsturzmaterial beim Überspülen durch regressive Erosion teilweise weggeschwemmt würde. Die Möglichkeit eines Dammbrechens, bevor das gestaute Wasser die minimale Dammhöhe erreichen würde, konnte dank der grossen Dammbreite von über 900 m ausgeschlossen werden.

Um die zu erwartenden Abflussmengen und die Erosion beim Überspülen abschätzen zu können, wurden sowohl Simultanberechnungen wie auch Modellversuche durchgeführt. Damit war die Gefährdung des unterliegenden Biedlungsgebiets und des Kraftwerkes Amaluzza zu ermitteln.

Einer der massgebenden Parameter der zu erwartenden Erosion ist die granulometrische Korngrössenverteilung des Bergsturzmaterials. Diese konnte nur schwierig ermittelt werden. Betrachtete man die Oberfläche des Schuttkegels, so bestand diese weitgehend aus grobblockigem Material. Die Elektrizitätsgesellschaft INECEL erstellte zwei seismische Profile, eines parallel und eines senkrecht (quer) zum Aushubkanal. Sie wurden wie folgt interpretiert:

- Oberhalb Kote 2350 m ü. M.:  
Seismische Geschwindigkeit 600 bis 950 m/s; loses, wenig kompaktes Material; Gestein <2 m Durchmesser, Matrix bis 10 cm Durchmesser
- Unterhalb Kote 2350 m ü. M.:  
seismische Geschwindigkeiten 1230 bis 2300 m/s; kompaktes Material; vorwiegend grosse Blöcke
- Unterhalb Kote 2310 m ü. M.:  
seismische Geschwindigkeit 4000 m/s; anstehendes Gestein, ehemaliges Flussbett.

Daraus schloss man, dass sich das Gerinnebett die ersten Meter rasch absenken und dass sich anschliessend im grobblockigen Material die Erosion verlangsamen wird. Wie sich beim Ausfliessen am 1. Mai zeigte, war die Pro-

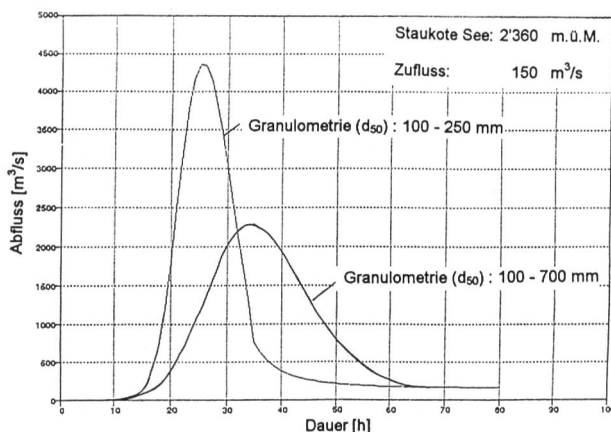


Bild 8. Beispiele von Ablaufberechnungen. Die Ausflussspitze durch eine Dammbresche hängt von der Kornverteilung des Dammkörpers ab. Feinkörniges Dammmaterial wird rascher erodiert als grobkörniges.



Bild 9. Abfluss am 1. Mai 1993 um 9.00 Uhr.

gnose falsch. Das Schüttmaterial war viel feinkörniger als angenommen, was zu einer wesentlich rascheren Erosion führte als prognostiziert. Der Verfasser dieses Berichtes ist der Auffassung, dass der Einfluss der bereits weitgehenden Wassersättigung des Schüttmaterials bei der Interpretation der Messresultate nicht richtig berücksichtigt wurde.

Der Einfluss der Korngrößen auf Abflussmenge und Abflussdauer wurde gemäss Bild 8 an der Universität Cuenca mit Unterstützung italienischer Ingenieure berechnet. Ebenfalls von der Universität Cuenca wurden Abflussberechnungen mit dem amerikanischen Programm «Dam-break» durchgeführt. Damit wurden Maximalabfluss und Wasserhöhen bis zur Staumauer Amaluza bestimmt.

Sowohl die Universität von Quito wie auch die Studienkommission zur Entwicklung des Einzugsgebietes des

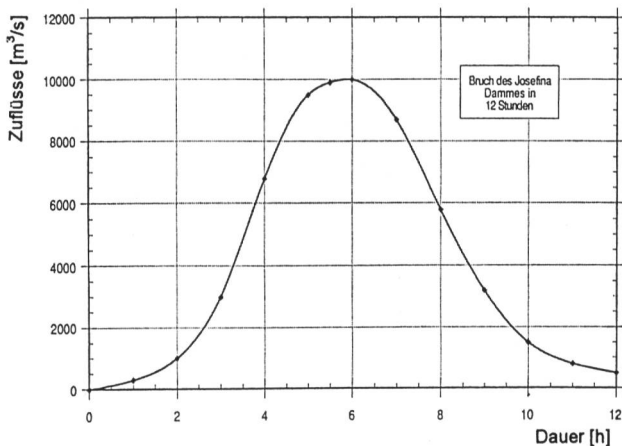


Bild 10. Reservoir von Amaluza, Wasserzuflüsse.

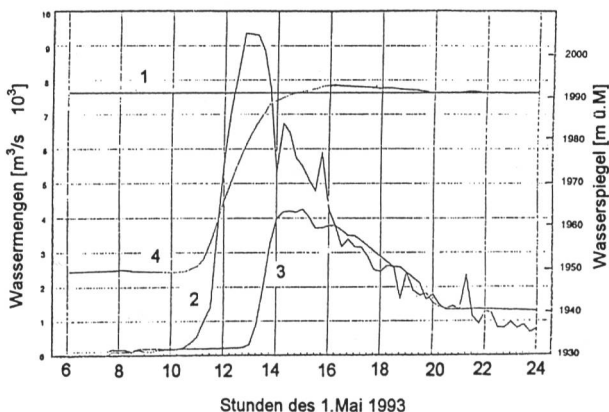


Bild 11. Hydrogramme und Wasserspiegel am Amaluzareservoir. 1 maximale Betriebskote (1991,00 m. ü. M.), 2 kumulierter Zufluss zum Amaluzareservoir, 3 Abfluss aus Amaluzareservoir, 4 Wasserspiegel im Amaluzareservoir.

Juayasflusses (CEDEGE) haben mittels Modellversuchen die Erosion und die Wasserstände beim Ausfliessen untersucht. Die Resultate waren teilweise widersprüchlich, haben aber trotzdem Hinweise auf den Ablauf des Ausfliessens geliefert.

Etwa 80 km unterhalb der Bergsturzes befindet sich die 1983 erstellte Bogengewichtsmauer von Amaluza. Der 20 km lange Stausee besitzt ein Nutzvolumen von 90 Mio m³. Das gleichnamige Kraftwerk ist mit einer Leistung von 1000 Megawatt das grösste Kraftwerk Ecuadors.

Die Hochwasserentlastung ist auf 7700 m³/s ausgelegt. Bis zum 1. Mai 1993 betrug die grösste über die Hochwasserentlastung abgegebene Wassermenge nur 1500 m³/s. Es wurde mit Schäden unterhalb der Staumauer bei vollem Betrieb der Hochwasserentlastung gerechnet. Eine Gefährdung der Mauer wurde ausgeschlossen. Als Schutzmassnahmen wurden verschiedene Vorkehrungen wie Abdichten des Zugangs- und Entlüftungstollens zum Maschinenhaus, Verschliessen aller Öffnungen bei den Turbinenschächten sowie Absenken des Stauspiegels auf die tiefstmögliche Kote getroffen.

### Ausfluss des Stausees durch den Abflusskanal

Am 24. April erreichte der Wasserspiegel des gestauten Rio Paute erstmals den höchsten Punkt im Abflusskanal bei einer Kote von 2357 m ü. M. Doch bereits am Vortage hatte ein kleiner Erdbeben den Kanal teilweise gesperrt. Vorerst konnten nur etwa 0,25 m³/s aus dem verschütteten Kanal sickern. Im folgenden stieg der Wasserspiegel erneut. Die abfliessende Wassermenge stieg und löste drei weitere kleinere Rutsche in den Kanal aus. Der Abfluss erreichte schliesslich 10 m³/s, und erstmals trat eine rückwärtsverlaufene Erosion auf. Am 28. April mittags ereignete sich der fünfte, grösste Erdbeben auf der inneren Kanalseite. Der Kanal wurde erneut verstopft. Am 29./30. April erreichte der Seespiegel eine Kote von 2362 m ü. M., etwa 5 m über der Kanalsohle. Erstmals stieg die Abflussmenge merklich an und erreichte etwa 40 m³/s. Die Erosion war aber, wegen einzelner grosser Blöcke im Kanal, vorerst gering. In der Nacht vom 30. April auf den 1. Mai erreichte die Erosion – wegen der Dunkelheit nicht beobachtet – den Eingang des Abflusskanals. Am 1. Mai, 6.00 Uhr wurde unterwasserseits ein starker Anstieg des Abflusses beobachtet. Dies war das Zeichen, dass die Erosion den oberen Kanaleingang erreicht hatte. Der Rhythmus der Ereignisse beschleunigte sich im folgenden merklich. Der Kanal wurde vertieft und die innere Kanalseite durch Erosion abgetragen (Bild 9). Flussabwärts riss die immense Wassermenge alles, was sich in den Weg stellte, mit: Strassen, Brücken, Häuser. Verschiedenerorts rutschten und sackten Talflanken infolge Unterspülung ab. Im Staubecken ereigneten sich infolge der raschen Absenkung des Wasserspiegels mehrere zum Teil grosse Rutschungen in den Talflanken. Die maximale Abflussmenge dürfte zwischen 10 und 11 Uhr vormittags erreicht worden sein. Sie ist schwer abzuschätzen, da die installierte limnische Messlatte von den Wassermassen weggerissen worden ist. Sie dürfte etwa 10 000 m³/s betragen haben. Abschätzungen aufgrund der Messungen am Amaluzastaubecken zeigen die Bilder 10 und 11. Erkennbar ist die gegenüber den Vorhersagen wesentlich grössere Abflussspitze und die daraus resultierende kürzere Dauer des maximalen Abflusses.

Am 1. Mai, 16.30 Uhr wurde die Abflussmenge auf unter 500 m³/s geschätzt; sie verringerte sich laufend.



Bild 12. Abgestorbene Vegetation und verschlammte Häuser nach dem Abfliessen.

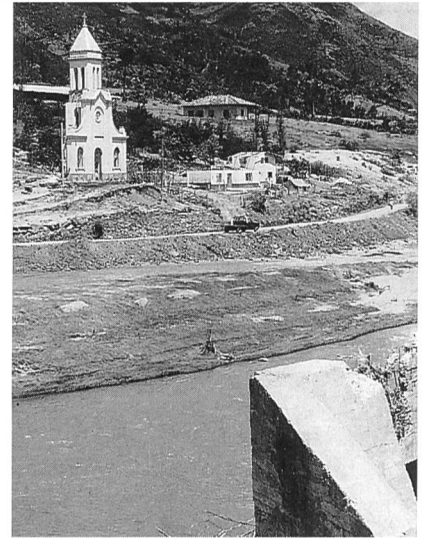


Bild 13. Weggerissene Brücke und Kirche am unteren Dorfrand von Paute.

### Lage nach dem Ausfliessen

Ab dem 4./5. Mai zeigten sich keine Veränderungen im verbleibenden Seespiegel mehr. Das neue Flussbett durch das Schüttmaterial weist, infolge der Erosion beim Abfliessen, eine grosse Breite und wenig Gefälle auf. Unterhalb des Bergsturzes wurde das Tal auf einer Länge von etwa 10 km aufgeschottert. Unmittelbar unterhalb des Bergsturzes beträgt die Aufschotterung etwa 15 m. Die dem Fluss-

bett angrenzende Seite des verbleibenden Schüttkegels ist sehr steil.

Aufgrund der Situation stellten sich folgende Fragen:

1. Soll und kann der verbleibende See (maximale Tiefe etwa 20 m) weiter abgesenkt werden?
2. Sind weitere Rutsche im Pautetal zu erwarten, insbesondere in den Hängen längs des Restsees?
3. Wie können Rutsche dieses Ausmasses in Zukunft rechtzeitig erkannt und deren Auswirkungen reduziert werden?



Bild 14. Schäden am Rande des Überschwemmungsgebietes. Teile von Paute zeigten nur Überschwemmungsschäden. Die Höhe der Wasserstände lässt sich am Sand auf den Hausdächern abschätzen.

### Schäden

#### Schäden infolge Überflutens beim Aufstau

Im «Josefina»-Stausee entstanden massive Schäden infolge der Überflutung, die je nach Kote mehrere Tage bis Wochen dauerte. Der Wasserspiegel stieg verhältnismässig langsam, so dass keine Schäden durch Erosion entstanden. Allerdings bewirkte die Wassersättigung und das rasche Absinken des Wasserspiegels beim Auslaufen des Sees eine Vielzahl von Erd- und Felsrutschungen. Durch Ausfliessen von Öl – namentlich beim thermischen Elektrizitätswerk El Desuno – kam es zu weiträumigen Verschmutzungen.

Ein penetranter Geruch von den ungereinigt in den See abgeflossenen Abwässern der 300 000 Einwohner von Cuenca und Azogues lag in der Luft. Die Schäden infolge der Überflutung sind nur als Verschlammung und Farbveränderung an Materialien und Vegetation optisch erkennbar, sie sind jedoch weitreichend. Die Vegetation (Bild 12) ist stellenweise verfault und abgestorben. Baumaterialien sind zum Teil durch Wassersättigung so stark beschädigt, dass sie ersetzt werden müssen.

#### Schäden im Unterlauf des Rio Paute

Im Gegensatz zu den Schäden im Bereich des gestauten «Josefina»-Sees treten im Unterlauf vor allem Erosions- und Verschlammungsschäden auf. Infolge der kurzen Überflutungszeit sind Schäden durch Wassersättigung kaum zu beobachten. Insgesamt sind etwa 20 km Strasse (davon etwa 10 km asphaltiert), 4 Brücken und etwa 200 Häuser weggerissen worden. Mehrere Quadratkilometer wertvolles Kulturland wurde aufgeschottert. Einen Eindruck von den Schäden zeigen die Bilder 13, 14 und 15.

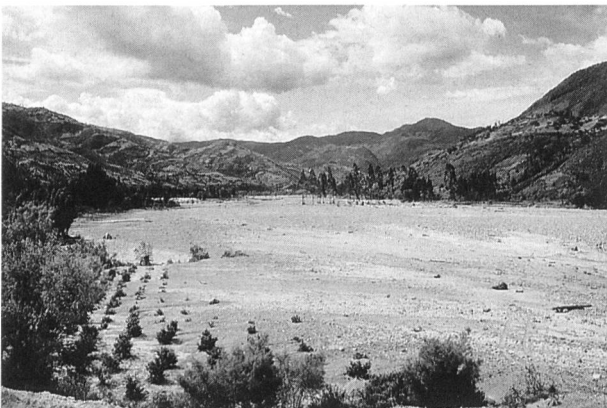


Bild 15. Aufschotterung des Kulturlandes oberhalb von Paute.

### Schäden im Bereich des Kraftwerkes Paute/Amaluza

Der abgesenkte Stausee füllte sich in weniger als 3 Stunden. Über die Hochwasserentlastung wurden maximal 4300 m<sup>3</sup>/s abgelassen. An der Staumauer und am Maschinenhaus wurden keine Schäden festgestellt. Allerdings führte die Erosion im Unterlauf zu grösseren – im Ausmass nicht vorhergesehenen – Schäden. Die Zufahrtsstrasse über mehrere hundert Meter und eine der Zugangsbrücken zum Maschinenhaus wurden weggerissen. Gegenüber dem Maschinenhaus geriet die rechte Talflanke grossräumig ins Rutschen. Ein Schaden, der, wenn der Hang nicht stabilisiert werden kann, den Betrieb des Kraftwerkes bedroht. Bild 16 zeigt die Verhältnisse im Bereich Maschinenhaus.

### Diskussion von Massnahmen nach dem Abfliessen

Die Verhältnisse sind nach dem 13. Mai 1993 weitgehend stabil. Ein weiteres natürliches Absinken des Reststauseespiegels ist mittelfristig nicht zu erwarten. Für das weitere Vorgehen wurden verschiedene Empfehlungen ausgearbeitet. Die wichtigsten davon sind:

#### Kurzfristig:

- Absenken des Sees um 5 bis 7 m. Dies scheint ohne allzu grossen Aufwand möglich zu sein. Damit würde das noch überschwemmte thermische Elektrizitätswerk freigelegt und das verbleibende Seevolumen um 30% reduziert.
- Das neue, mäandernde Flussbett unterhalb des Bergsturzes soll stabilisiert werden.
- Das überflutete, thermische Elektrizitätswerk soll an höherer Stelle wieder aufgebaut werden.
- Der längst geplante Bau von Kläranlagen in Cuenca und Azogues soll forciert werden.



Bild 16. Abgerutschte Zufahrtsstrasse am Gegenhang des Maschinenhauses Mollino. Der ganze Hang ist destabilisiert.

#### Mittelfristig:

- Als Planungsinstrumente für die Behörden sind Gefährdungs- und Risikokarten zu erstellen.
- Für die gefährdetsten Zonen sind Überwachungsmassnahmen zu evaluieren.
- Die bei der Katastrophenbewältigung gemachten technisch-wissenschaftlichen und organisatorischen Erfahrungen sind in einem Symposium auszutauschen und als Schulungsinstrument zu dokumentieren.

Die Schweiz besitzt Erfahrung im Erstellen praxisgerechter Gefährdungs- und Risikokarten sowie in der Konzeption und im Betrieb von Überwachungsnetzen. Das Schweizerische Katastrophenhilfekorps hat sich deshalb bereit erklärt, die ecuadorianischen Behörden im Sinne eines Know-how-Transfers zu unterstützen.

Adresse des Verfassers: Jost A. Studer, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, SIA, Studer Engineering, Thujastrasse 4, CH-8038 Zürich.

## Mesures de vibrations ambiantes au barrage de Mauvoisin

La section des grands barrages de l'Office fédéral de l'économie des eaux, OFEE, a entrepris des mesures de vibrations ambiantes au barrage de Mauvoisin en collaboration avec l'EMPA.

L'OFEE soutient financièrement des recherches destinées à obtenir une meilleure compréhension du comportement des barrages et des digues en cas de tremblements de terre depuis 1982. Elles sont complétées par des recherches dans le domaine des matériaux, fondations et crues extrêmes. Depuis quelques années, l'OFEE s'efforce de promouvoir un plus grand partenariat scientifique avec les groupes de recherche et effectue certaines activités de recherche elle-même. Elle a notamment poursuivi des études sur des méthodes d'analyse numérique de systèmes interactifs et a étudié et installé des réseaux d'accélérographes dans quatre grands barrages dans le cadre de sa participation à la création du nouveau réseau national d'accélérographes. Les mesures de vibrations ambiantes effectuées en partenariat avec l'EMPA s'inscrivent dans cette ligne de travail.

Les mesures de vibrations ambiantes au barrage de Mauvoisin ont débuté en juin 1995. Elles consistent à mesurer les vibrations naturelles du barrage (dues au vent et à

la microsismicité) en plusieurs points. Dans la mesure où l'excitation peut être admise aléatoire, les pointes dans les courbes de densités spectrales correspondent à un phénomène de résonance duquel les fréquences propres du barrage peuvent être déduites. Les formes modales sont obtenues en comparant les amplitudes et phases des vibrations en différents points aux fréquences propres. Les fréquences propres et les formes modales sont deux des trois plus importants paramètres caractérisant le comportement dynamique d'un ouvrage (le troisième étant l'amortissement).

Quatre séries de mesures ont été effectuées en suivant l'élévation du plan d'eau, dans le but de confirmer l'influence de ce dernier sur les fréquences propres du système. Les résultats obtenus devront être mis en relation avec les mêmes caractéristiques dérivées des accélérogrammes enregistrés par le réseau de douze accélérographes au barrage lors de tremblements de terre. Il sera alors possible d'étudier l'étendue de la dépendance de ces caractéristiques avec les amplitudes d'excitation (très faibles pour l'excitation ambiante, moyenne à grande pour les tremblements de terre). De manière idéale, elles devraient également être intégrées dans des études analytiques et numériques.

Pour tous renseignements complémentaires sur ce projet et sur les recherches dans le domaine des barrages, nous vous invitons à contacter Monsieur le Docteur G. R. Darbre à l'OFEE.