

GEOSCHULE PAYERBACH

BARBARA-GESPRÄCHE  
Payerbach 1993

VAIONT-LONGARONE -  
30 JAHRE NACH DER KATASTROPHE

E. SEMENZA - M. GHIROTTI



Payerbach,  
27. November 1993

Mitteilungen für Baugeologie und Geomechanik	Band 3	Baugeologische Tage Payerbach 1991	Seite 7 - 99	Wien 1994
Barbara-Gespräche	Band 1	"Grenzen der Geotechnik" Payerbach 1993	Seite 101 - 216	Wien 1994

*Anschrift der Verfasser:*

*Prof.Dr.E.SEMENZA,  
Dr.M.GHIROTTI,  
Università degli studi di Ferrara,  
Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche,  
Corso Ercole 1° d'Este, 32,  
I - 44100 Ferrara, Italia*

## VAIONT-LONGARONE - 30 JAHRE NACH DER KATASTROPHE

E. SEMENZA - M. GHIROTTI

Um die Katastrophe im Vaionttal, die auf der ganzen Welt und insbesondere in Fachkreisen (Geologie und Zivilingenieurbereich) große Bestürzung hervorgerufen hat, noch einmal aufarbeiten zu können, ist es wichtig, die Geschichte der Untersuchungen und der Ereignisse vor und während des Baues der Stau-mauer und des Aufstauversuches zu kennen. Nicht zu vergessen sind auch die Versuche, die gemacht wurden, um den Bergsturz, der am Anfang der Katastrophe abging, zu erklären.

Der Zeitraum, in dem die Bauarbeiten begannen und keine aufsehenerregenden Ereignisse das spätere Geschehen ankündigten, wird hier nicht berücksichtigt. Daher soll die Beschreibung mit dem Erdbeben von Pontesei beginnen.

In diesem Bereich des Mae`tales (am rechten Nebenfluß des Piaveflusses, der bei Longarone in die Piave mündet) hat sich am 22. März 1959 bei der ersten Flutung des dort errichteten künstlichen Staubeckens ein großflächiger Bergsturz (ca. 22 Mio. m<sup>3</sup>) auf der linken Tal-seite gelöst und eine hohe Flutwelle erzeugt. Der Stauspiegel war zu diesem Zeitpunkt 30 m abgesenkt, die Welle hat die Mauerkrone gerade noch in einzelnen Positionen überspült. Ein Mann, der auf der rechten Seeseite unterwegs war wurde mitgerissen, sonst entstanden keine weiteren Schäden.

Zu diesem Zeitpunkt war der Bau der Stau-mauer von Vaiont bereits in einem fortgeschrittenen Stadium und es ergab sich die Dringlichkeit einer Untersuchung, ob die Hänge des zukünftigen Staubeckens die Gefahr von Erdbeben in sich trügen. Es ist dabei wichtig sich daran zu erinnern, daß zu diesem Zeitpunkt noch keine Voruntersuchungen über die Stabilität der Talhänge bei Staumauern

vorgesehen waren; es gab auch zu diesem Zeitpunkt noch keine derartigen Studien.

Das Problem der Stabilitätsbegutachtung der Hänge des Staubeckens von Vaiont wurde an Prof. Leopold MÜLLER herangetragen, der ein Programm für eine geologisch-technische Studie des gesamten Flutungsbereiches erstellte. Diese Arbeit wurde von Prof. E. SEMENZA im Juli 1959 begonnen, der zwei Monate später von Dr. F. GIUDICI zusätzlich unterstützt wurde. Als Unterlage diente eine eigens dafür erstellte topographische Karte, Maßstab 1:5000. Die Untersuchung brachte mehrere alte, bereits vernarbte Rutschungen zutage, von denen sich nur eine als wirklich gefährlich herausstellte: sie befand sich auf der linken Hangseite, nicht weit von der Stau-mauer entfernt, und umfaßte den Pian del Toc. Die Studie wurde im Frühling 1960 abgegeben, aber die wichtigsten Punkte waren den Planern bereits Ende des Sommers 1959 mitgeteilt worden.

Die wichtigsten Resultate waren folgende:

1. Die Zone des Pian del Toc und die benachbarte Zone des Massalezza-baches im Osten entsprechen einer großen alten Hangbewegung, die sich von der linken Flanke gelöst und die in der Würmeiszeit entstandene Tal-sohle des Flusses bedeckt hat.
2. Der nachfolgende Einschnitt der Vaiontschlucht hatte auf der rechten Flanke einen Teil dieser Masse zurückgelassen, "colle isolato" (=isolierter Hügel) genannt.
3. Die linke Flanke des Tales stellte eine Art Sesselform dar, die weiter westlich im steilen östlichen Hang des Piave-tales gegenüber von Longarone, gut sichtbar war; diese Struktur entsprach

dem tiefsten Teil der Nordflanke der Synklinale von Erto, und an einem Teil der Bruchzone war sie nahezu eben und stark nach Osten geneigt.

4. Man nahm damals daher an, daß die Rutschung auf einer mehr oder weniger zylindrischen Oberfläche stattgefunden hatte, die ein mylonitisches Band (in annähernd ca. 600 m Höhe) mit einer in EW-Richtung verlängerten Senkung im Gebiet des Pian del Toc verband.
5. Die abgeglittene Masse war, wie man an ihrer östlichen Ausrichtung gut sehen konnte, stark zerklüftet und in nahezu EW-Richtung gefaltet.
6. Der nördlich gerichtete Hang der Masse hingegen war weder nach Osten geneigt noch gefaltet und auch kaum zerklüftet. Diese Tatsache hat in der

Folge verhindert, daß das gesamte Ausmaß der alten Bewegung rechtzeitig erkannt wurde. Ursache dafür war die starke natürliche Zementation des Gebietes und schwere Zugänglichkeit des Geländes, die ein genaueres Untersuchen behinderte.

Man stellte daher die Hypothese auf, daß sich die gesamte Masse bei der Flutung des Staubeckens neuerlich in Bewegung setzen könnte. Daher wurden die von Prof. MÜLLER vorgeschlagenen Vorsichtsmaßnahmen (Messungen) getroffen, und zwar wurden die Seewasserspiegelhöhen stufenweise verändert und gleichzeitig die oberflächliche Verschiebung täglich gemessen. Der Wasserspiegel des Sees wurde dabei sowohl beim Fluten als auch beim Entleeren um jeweils 5 m verändert, anschließend für einige Tage konstant gehalten. Dieser Zyklus wurde mehrfach ausgeführt.

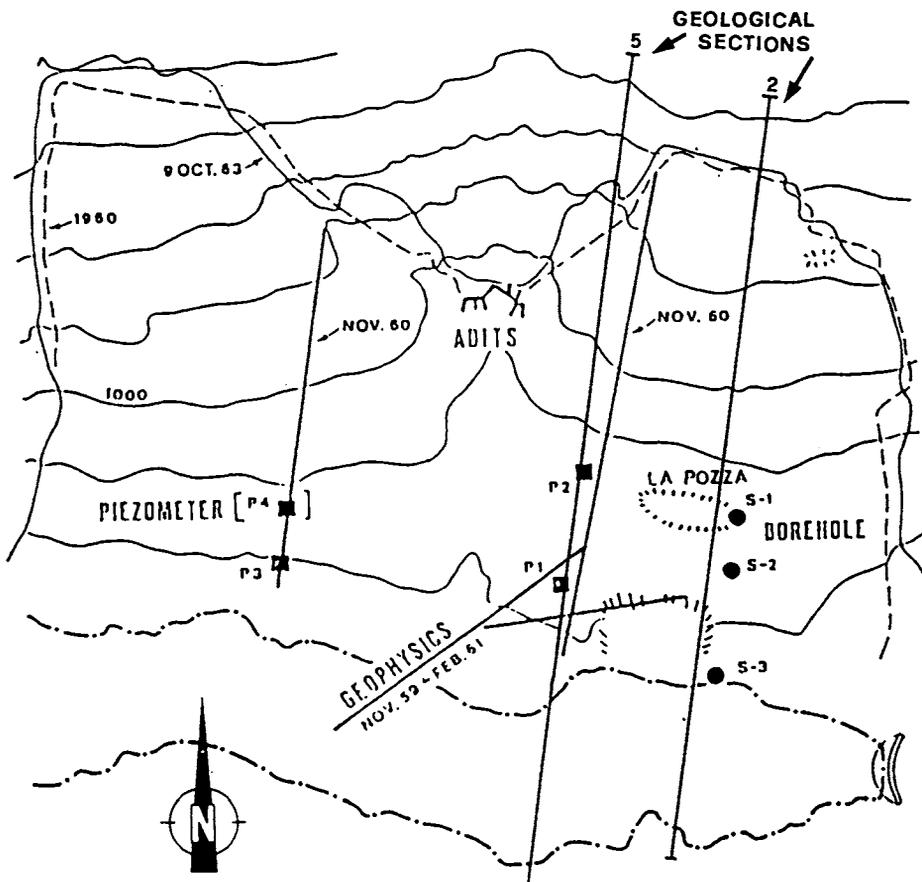


Abb. 1: The Vaiont Landslide. Location of the different investigations carried out between 1959 and 1961

Als im Juni 1960 die Wasserspiegelhöhe von 600 m überschritten worden war, begannen in der Nähe der Stauseeufer die ersten leichten Massenbewegungen. Um die ursprüngliche Gleitfläche zu überprüfen waren außerdem in der Zwischenzeit 3 Sondierungen durchgeführt worden (siehe Abb.1, S-1 bis S-3). Da diese Flächen jedoch in größerer Tiefe als erwartet vorgefunden wurden nahm man an, daß sie weiter bergwärts austreichen dürften. Um mögliche Gründe dafür zu ermitteln wurden deshalb die Untersuchungen in diese Zone ausgedehnt.

Man konnte beobachten, daß in den beiden Armen des Massalezabaches, die sich bergwärts verzweigen, Richtung Süden das gesunde Gestein auftritt und Richtung Norden in stark zerklüfteten Fels übergeht. Zusammen mit diesen Beobachtungen trat Ende Oktober, als die Bewegungen bereits 3 cm pro Tag erreichten, eine durchgehende Spalte (1m breit und 2.5 km lang) auf. Dies bestätigte sowohl die bisherigen Annahmen, als auch die

Abgrenzung der instabilen Zone, die mit der alten Rutschung übereinstimmte.

Am 4. November löste sich auf der westlichsten Seite der Masse eine Gleitung von aufgelockertem Material (ca. 400.000 m<sup>3</sup>) und stürzte unter Erzeugung einer 30 m hohen Flutwelle in den Stausee. Da die Annahme nun genau bestätigt worden war, wurde der See wieder auf 600 m Wasserspiegelhöhe gesenkt und auf der rechten Talseite ein Verbindungstollen vorgetrieben mit dem Ziel das Wasser des Sees, falls dieser durch eine Massenbewegung in zwei Teile geteilt würde, ableiten zu können. Nachher wäre ein Stollen nicht mehr ausführbar gewesen.

Die Absenkung des Wasserspiegels ermöglichte außerdem, die Sohle des "colle isolato" genauer zu beobachten, da das Wasser die Vegetationsoberfläche abgetragen hatte. Dieser Teil der alten Massenbewegung bestand aus zerklüftetem Fels und lag fluviatilem Schotter auf, der in diesem Bereich des alten Vaionttales abgelagert worden war (Abb. 2).



Abb.2: Photo



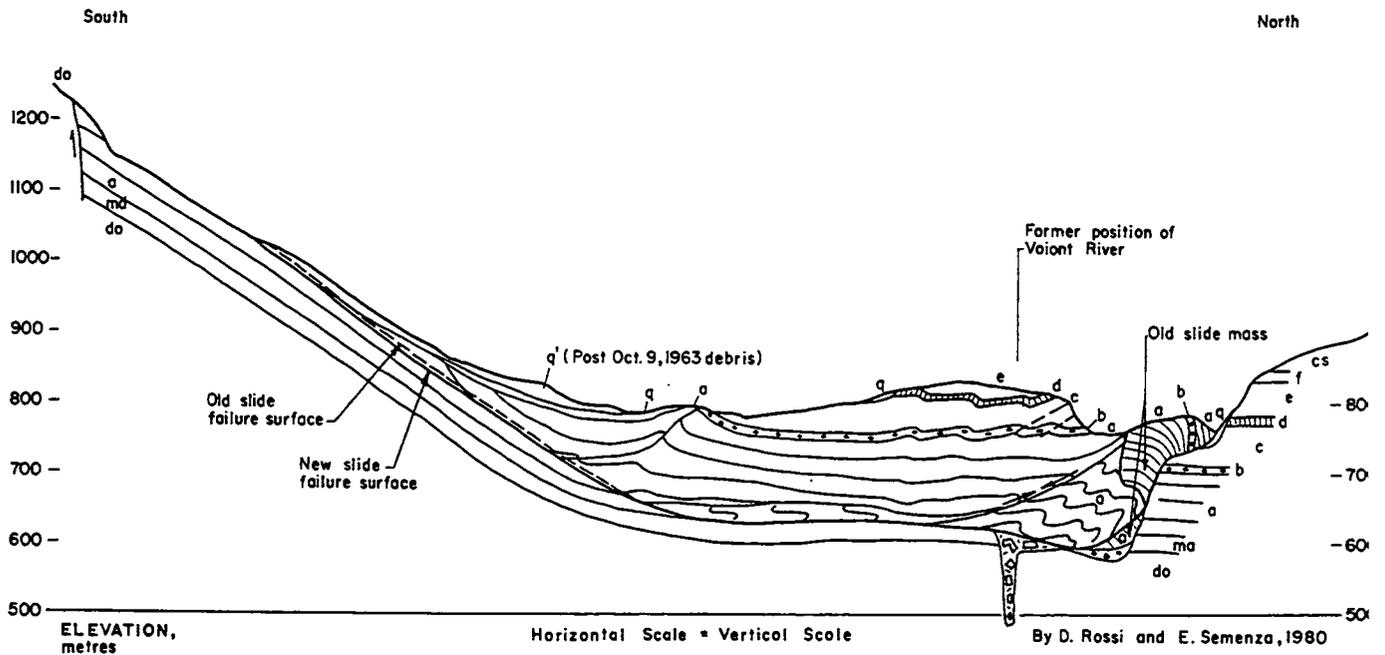


Abb.5: Geologic Section 2, Vaiont Slide, After Oktober 9, 1963

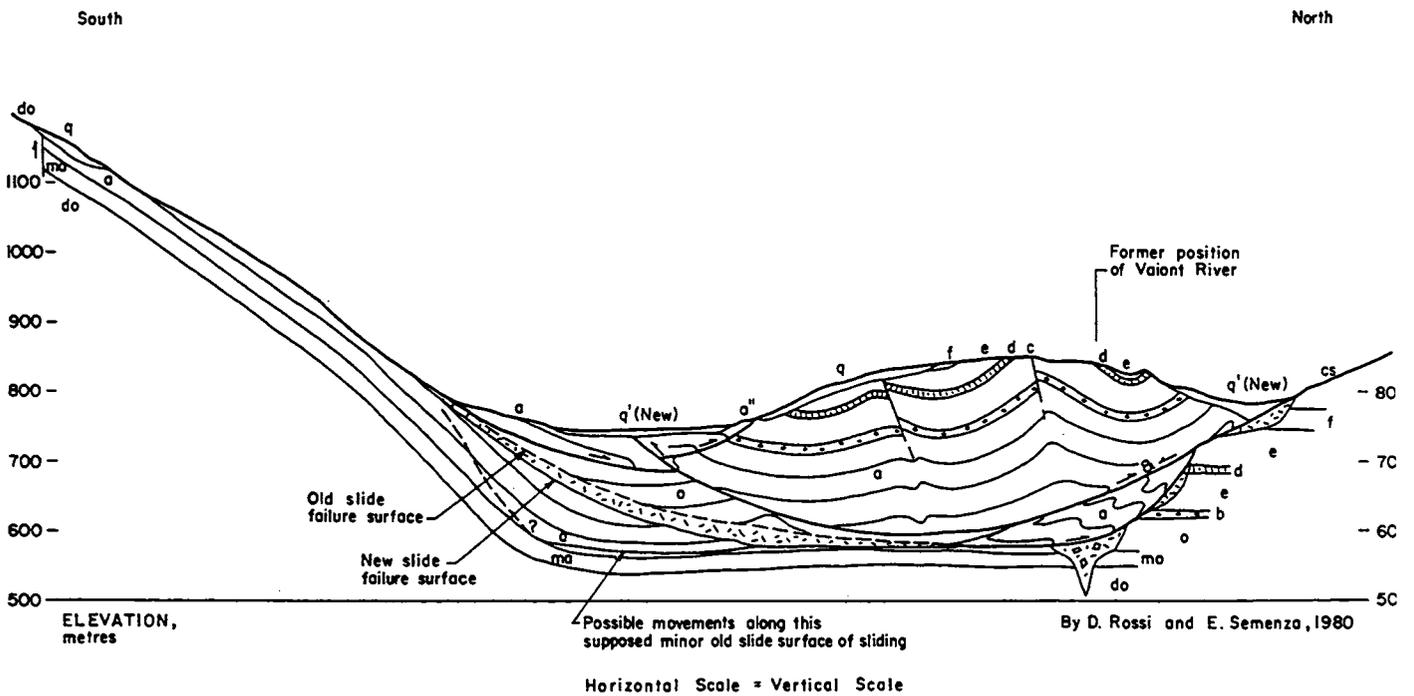


Abb.6: Geologic Section 5, Vaiont Slide, After Oktober 9, 1963

Im September-Oktober 1961 wurden nach Fertigstellung des Stollens auch 4 Piezometer in nicht zementierten Bohrungen installiert, die die Grundwasserspiegel in den Schichten bis Oktober 1963 registrierten (Abb.1, Piezometer P<sub>1</sub> - P<sub>4</sub>).

Als der Stollen im Oktober 1961 fertig gebaut war, begann man mit einer neuerlichen Hebung des Wasserspiegels bis auf 700 m. Zu diesem Zeitpunkt erreichten die Bewegungen bereits Geschwindigkeiten von über 1,5 cm pro Tag, was wesentlich niedriger war als beim vorigen Versuch. Beim erneuten Absenken des Wasserspiegels auf 650 m hörten die Bewegungen auf.

Die Wasserspiegelhöhe bei dieser zweiten Flutung, bei der die Bewegungen anfangen, war also um 100 m höher als bei der ersten Flutung. Dies führte zu der, bereits von MÜLLER ausgesprochenen Vermutung, daß die Ursache der Bewegungen in einer Sättigung der Gesteinshorizonte lag, die beim ersten Aufstau vom Wasser erreicht worden waren. In der Überzeugung, daß dies die einzige Ursache der Instabilität wäre, wurde beschlossen, den Wasserspiegel weiter zu heben, wobei die Vorsichtsmaßnahmen aber weiter eingehalten wurden.

Diese erneute Hebung startete im April 1963. In diesem Fall begannen die Bewegungen erst, nachdem eine Wasserspiegelhöhe von 700 m überschritten worden war, wobei die Geschwindigkeiten sehr klein waren. Dies schien die These zu bestätigen und man begann den Wasserspiegel langsam weiter anzuheben. Die Bewegungsraten blieben weiterhin klein, bis eine Höhe von 710 m erreicht worden war, beim weiteren Aufstau nahmen sie stark zu.

Es ist unverständlich, warum nicht sofort eine Absenkung vorgenommen, sondern bis zum Ende des Septembers gewartet wurde, als die Geschwindigkeiten bereits 2 cm/Tag erreichten; viel höhere Werte als sie im August gemessen wurden. Die Geschwindigkeiten nahmen schließlich weiter rasch zu - bis zur Felsgleitung am 9.10.1963.

Die fehlende oder verzögerte Reaktion auf diese Vorgänge ist unerklärbar. Man kann nur

annehmen, daß die Übergabe der Anlage von SADE an ENEL eine mögliche Ursache dafür war.

In aller Welt und insbesondere in technisch-wissenschaftlichen Fachkreisen hatte die Katastrophe alarmierend gewirkt aber auch großes Interesse hervorgerufen. Eine Vielzahl von Wissenschaftlern begann die Ursachen dieser Massenbewegung und vor allem deren große Geschwindigkeit zu analysieren. Sie war der Hauptgrund für die Höhe der Flutwelle und der von ihr verursachten weiteren Zerstörungen. Abb.3 bis 6 zeigen geologische N-S Schnitte jeweils vor und nach der Massenbewegung.

Wie bereits MÜLLER 1964 erkannte, war seine erste Vermutung nur auf nicht ausreichende Fundamente gestützt. Auch die anderen Wissenschaftler erkannten, daß man es hier mit einem Problem höchster Komplexität zu tun hatte und daß hier verschiedene Faktoren die Massenbewegung verursachten.

Unter diesen Faktoren war zuallererst die geologische Struktur des Nord-Hanges des Monte Toc und im speziellen das Vorhandensein einer alten Rutschmasse und daher einer vorgegebenen Bewegungslinie entlang welcher der Reibungswinkel möglicherweise extrem klein gewesen sein mußte. Die nach verschiedenen Gesichtspunkten bestimmten Reibungswinkel waren aber immer zu hoch, als daß sie eine Gleitung und noch dazu eine mit einer derart großen Geschwindigkeit, nicht zuließen.

Auch nach der eindeutigen Feststellung, daß sich eine Tonschicht im Inneren der Bruchzone befand, konnte die hohe Geschwindigkeit nicht erklärt werden. Daher stellte man von einigen Seiten die Vermutung auf, daß der Porendruck entlang der Bruchfläche durch die Bewegung größer und in der Folge die effektiven Spannungen kleiner wurden. Die durchgeführte Schätzung zeigte, daß tatsächlich dieser Mechanismus die berechneten Geschwindigkeiten verursacht haben könnte. Natürlich trat dieser Faktor erst nach Beginn der Rutschungen auf.

Die Frage nach den auslösenden Faktoren war Gegenstand vieler Vermutungen.

Die wichtigsten sind:

1. die Errichtung des Staubeckens und seine Wasserspiegelschwankungen,
2. das Vorhandensein von Tonlagen entlang der Gleitfläche (Trennfläche, ruptur surface),
3. die Existenz einer alten bewegten Masse,
4. die geologische Struktur,
5. die Seismizität dieses Gebietes,
6. das Vorhandensein einer unter hydrostatischem Druck stehenden Schicht im Zusammenhang mit der Trennfläche.

Obige Vermutungen sollen allerdings nicht weiter diskutiert werden, da sie nicht zur Lösung des Problems führten.

Ein gewaltiger Fortschritt hingegen war die Studie von HENDRON, A.J. und PATTON, F.D. 1985, deren wichtigste Resultate sind:

1. Bestätigung der bestehenden alten Massenbewegung.
2. Die Entdeckung von montmorillonitischen Tonzonen mit bis zu 10 cm Dicke entlang der Bruchfläche und auch außerhalb dieser Zone (Reibungswinkel 8-10°). Diese Schichten bilden unweigerlich eine durchgehend, wasserundurchlässige Zone.
3. Daraus folgt weiters die Existenz von zwei im Hang befindlichen Grundwasserleitern, getrennt durch den Stauer. Diese Tatsache wurde durch die Piezometermessungen bestätigt.

Dieser dritte Aspekt ist von besonderer Wichtigkeit und forderte eine Neubegutachtung des

hydrogeologischen Schemas der gesamten Zone durch die beiden Autoren. Präziserweise muß gesagt werden, daß die Piezometer einen Wasseraustausch aller Wasserspiegellhöhen erlaubten. Zwei von ihnen zeigten die Höhenlage des Seespiegels, Piezometer P<sub>2</sub> hingegen bis Mitte 1962 leicht höhere Werte. Dies wurde immer als Folge der darunterliegenden Schicht gehalten, ein Einfluß der nach der, durch den Erdbeben verursachten Unterbrechung der zwei Schichten, fehlte (siehe Abb. 7 und 8).

Der unterschiedliche Einfluß der beiden Schichten wurde wie folgt erklärt.

1. Das Bergwasserniveau des oberen Aquifers, das der alten Rutschung entsprach (stark zerklüftet und extrem durchlässig), wurde klarerweise vor allem vom Wasserspiegel des Sees beeinflusst, wie man auf Abb. 7 an den entsprechenden Werten sehen kann.
2. Der untere Aquifer hingegen (gelegen im "Vaiontkalk", kaum zerklüftet, aber durch die an der Vaiontschlucht klar sichtbaren, schwach ausgebildeten Karsterscheinungen leicht wasserdurchlässig) wurde sowohl durch den See als auch durch die Niederschläge alimentiert. Das Bergwasserniveau war von der Niederschlagsmenge und der eher langen Auffüllzeit des Aquifers abhängig.
3. Die Permeabilität, die Form der beiden Aquifere und ihre Auffüllzeiten waren also völlig verschieden, daher auch die Spiegel in den Piezometern. Genauer gesagt konnte im unteren Aquifer, als Folge von Schneeschmelze bzw. langen Regenzeiten, der Druck wesentlich höhere Werte erreichen als im darüberliegenden. Dadurch konnten solche Drücke entstehen, daß der Widerstand in der Bruchfläche kleiner wurde und so eine Instabilität der Masse begünstigte.

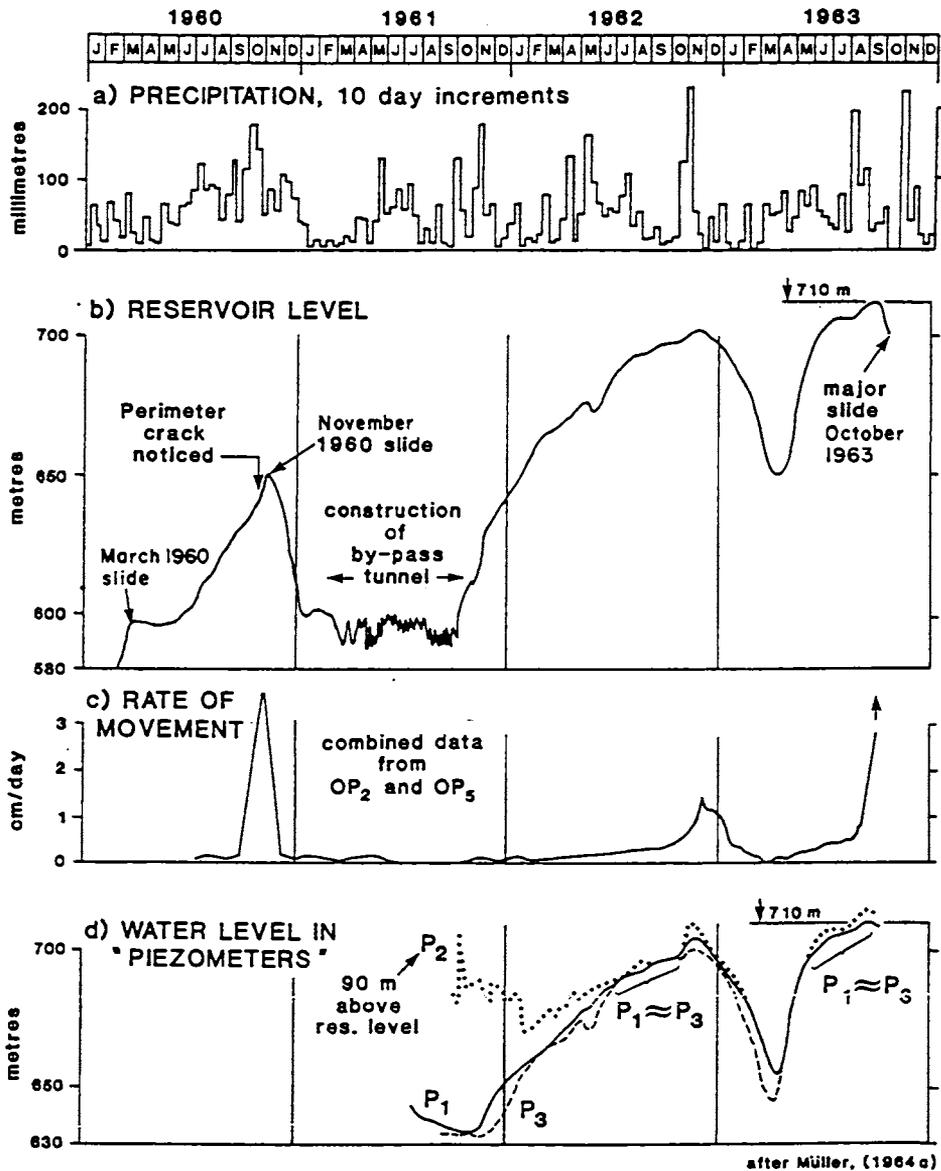


Abb. 7: Vaiont Slide, comparison of waterlevels, movements, and precipitation, 1960 through 1963

Die Abb. 9 zeigt den Zusammenhang zwischen Wasserspiegelhöhe (reservoir elevation) und der, in den jeweils letzten 30 Tagen gesammelten Niederschlagsmenge (precipitation). Man kann erkennen daß Wertepaare - deren Bewegungsrate durch unterschiedliche Punkt-signaturen dargestellt ist - deutlich in zwei Bereiche geteilt werden können: Einen Bereich mit auftretenden Massenbewegungen und einen mit gleichsam stabilem Zustand.

Dies lies die Formulierung einer möglichen Gesetzmäßigkeit zwischen drei Parametern zu:

- (1) der Stauhöhe,
- (2) der in 30 Tagen gesammelten Niederschlagsmenge, bzw. der davon abhängenden Druckvariation im untenliegenden Aquifer, und
- (3) der Bewegungsrate.

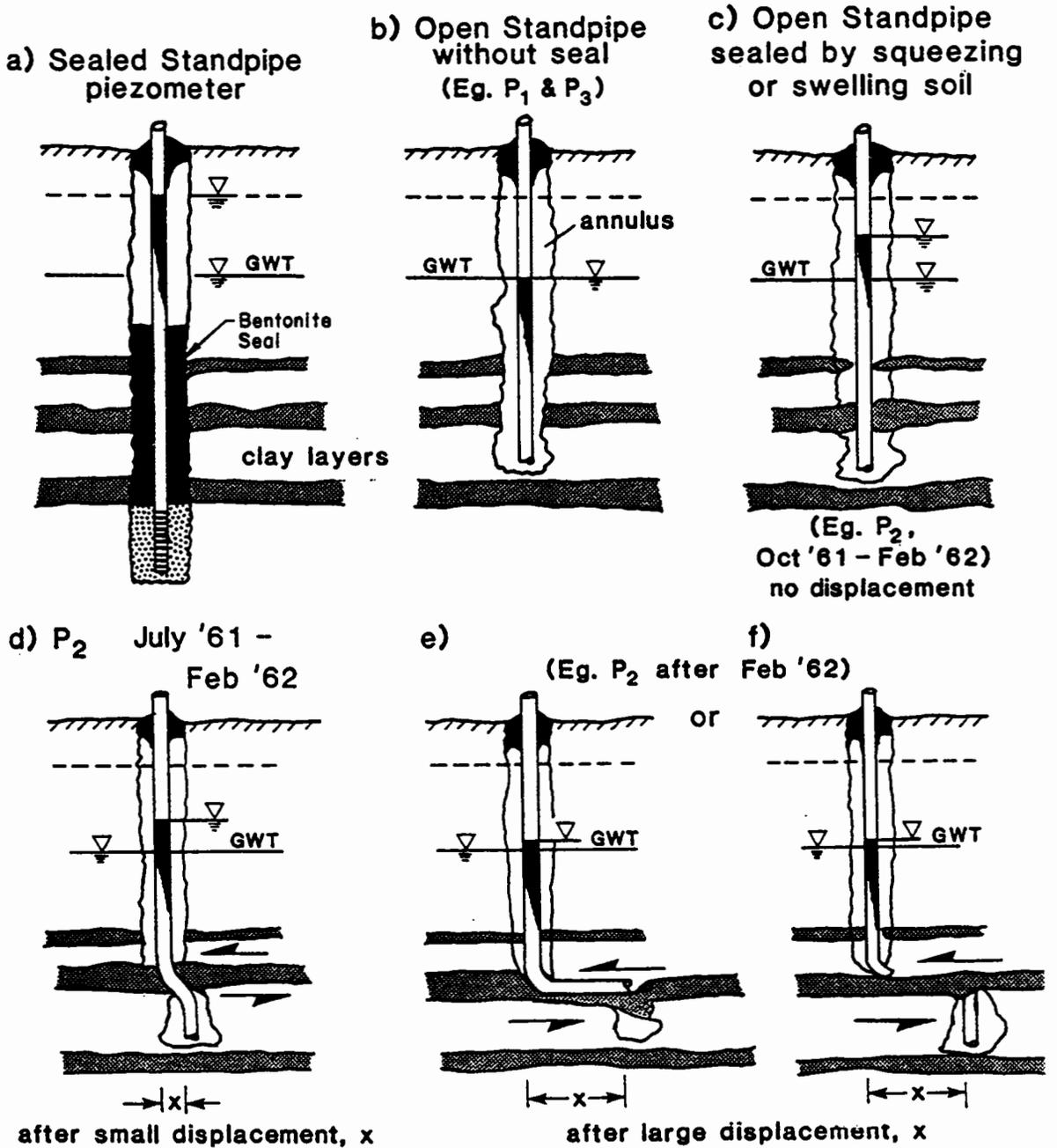


Abb.8: Sketches showing a possible explanation for water levels recorded in piezometer P<sub>2</sub>

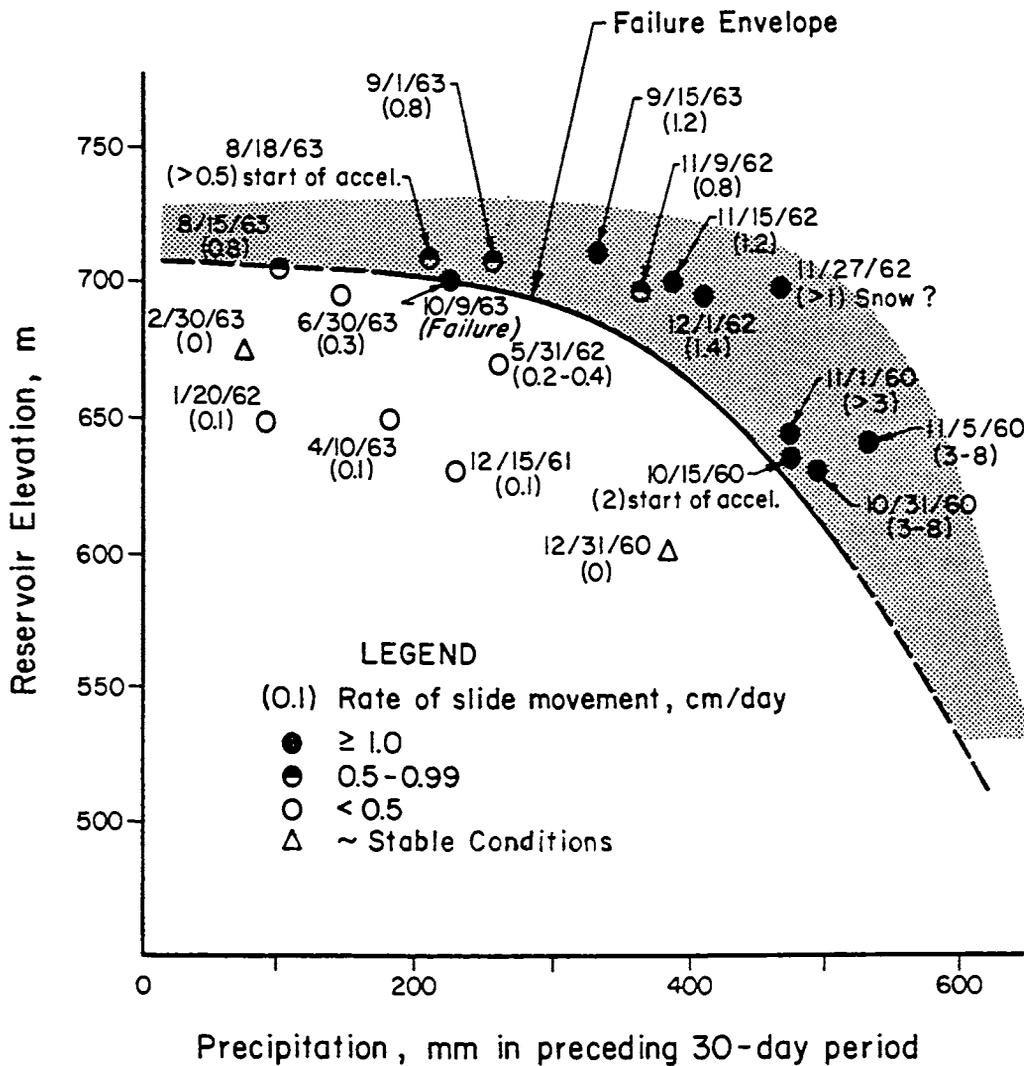


Abb.9: Stabilität der Vaiont-Rutschung in Abhängigkeit vom 30-Tage-Niederschlag und der Stauseehöhe

Die in dem Diagramm dargestellten Bewegungsgeschwindigkeiten der Rutschmasse (in cm/Tag) als Funktion der Niederschlagsmenge (x-Achse) und der Stauseehöhen (y-Achse) ergeben zwei gut unterscheidbare Gruppen von Wertepaaren ("inviluppo di rottura"). Die Trennungslinie beschreibt jene Kombination von Stauseehöhe und Niederschlagsmenge, welche eine derartige Druckverteilung in den Poren verursacht, ab der signifikante Massenbewegungen entstehen. Die Ergebnisse dieser Korrelation zeigen, warum die Rutschmasse bei bestimmten Wasserspiegeln stabil blieb und warum sie in der Folge, bei derselben Seespiegelhöhe, instabil wurde.

Aus der Verteilung der beiden Bereiche kann man folgendes ableiten:

a) Die Niederschläge hätten auch in Abwesenheit des Sees zu einem Bruch geführt.

Bei nicht vorhandenem Stausee beträgt die für einen Bruch nötige Gesamtniederschlagsmenge in 30 Tagen ca. 700 mm. Da in den 4 gemessenen Monaten immer eine monatliche Niederschlagsmenge von mindestens 500 mm registriert wurde, ist durchaus annehmbar, daß im postglazialen Zeitraum (dem der prähistorische Erdrutsch an der Nordseite des Monte Toc zuzuordnen ist) die Menge von 700 mm überschritten wurde. Daraus folgt, daß auch ohne den See in der Vergangenheit bereits Rutschungen stattfanden.

b) Der Wasserspiegel hätte auch mit geringen oder fehlenden Niederschlägen eine Rutschung verursacht.

Das, ohne Niederschlag, eine Massenbewegung auslösende Stauseeniveau, liegt bei ca. 710 - 720 m. Diese Höhenangaben entsprechen etwa der maximal erreichten Stauhöhe von 722,5 m: daraus folgt, daß sich die Rutschmasse nach Erreichen der kritischen Stauseehöhe auch in einem Zeitraum spärlichen Niederschlags gelöst hätte.

Der Erdrutsch von 1963 ist daher eine Folge der kombinierten Effekte der Stausee-erhöhung und der Zunahme des Porendrucks als Funktion der Niederschlagsmengen (siehe Piezometermessungen).

HENDRON und PATTON haben weiters nachträgliche Stabilitätsanalysen in ca. N-S - Richtung auf der Basis der drei geologischen Profile von ROSSI und SEMENZA für mehrere Wasserspiegelmengen und für hohe und geringe Niederschlagsmengen durchgeführt. Aber die Sicherheitsfaktoren, die bei der Verwendung eines Reibungswinkels von  $12^\circ$  an der Basis und von  $30-40^\circ$  zwischen den Schichten ermittelt wurden, waren immer zu nieder: die Masse war während des gesamten Aufstauversuches immer - im Gegensatz zur Realität - instabil.

Diese zweidimensionale Analyse brachte also kein gültiges Ergebnis. Die Autoren führten daher eine dreidimensionale Berechnung durch, wobei sie sowohl das Einfallen der Schichten gegen Osten hin als auch das Vorhandensein der Störung, die die Gleitmasse im E begrenzte, berücksichtigten. Die Analyse zeigte, daß ca. 40% des gesamten Widerstandes durch die Störung im E bei einem Reibungswinkel von  $36^\circ$  bewirkt wurde. Weiters zeigte sich, daß die hier bestimmten Sicherheitsfaktoren für diverse Bewegungen der Masse mit der Realität übereinstimmen.

Diesselben Autoren glaubten weiters, daß die hohe Geschwindigkeit der Masse am 9.10.1963 (Geschwindigkeit ca. 20-25 m/s) einer Verminderung des Reibungswiderstandes, durch die entstandene Reibungswärme entlang der Rutschfläche verursacht wurde, zuzuschreiben sei. Der Reibungswiderstandes wäre nach 19 m Bewegungsstrecke um 66% geringer.

## Literatur:

HENDRON, A.J. & PATTON, F.D., 1985  
*The Vaiont slide, a geotechnical analysis, based on new geological observations of the failure surface, Technical Report GL-85-5, Vol.1&2 U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg*

MÜLLER, L., 1964  
*The Rock Slide in the Vaiont Vally, in: Felsmechanik und Ingenieurgeologie, vol.II/3-4, Hrsg. L. Müller, Salzburg, Springer-Verlag / Wien New - York 1964*



## DISKUSSION: 1. TEIL Nach dem Vortrag

### VAIONT-LONGARONE - 30 JAHRE NACH DER KATASTROPHE

*Ann: Frau Dr. GHIROTTI hätte Vortrag und Diskussion bestreuen sollen; auf Grund eines Eisenbahnstreikes in Italien konnte sie nicht zur Tagung kommen; Herr Dr. UMILE hat sich dankenswerter Weise bereit erklärt, die Ausführungen von Prof. SEMENZA zu übersetzen.*

**TSCHADA:** Wie kann man Niederschlag verhindern ?

Im Kaunertal hat man ja auch beobachtet, daß ein Hang unter Auftriebskräften durchaus Hebungen haben kann und daß dieser Vorgang den Hang stabilisiert. Wenn es solche echte Gleitflächen gibt, noch dazu oberhalb und unterhalb dicht, und wenn man es vorher gewußt hätte, wäre es möglich gewesen etwas zu unternehmen. Doch dieses Wissen gab es nicht.

**SEMENZA:** Ja, das stimmt.

**RIEHL-H.:** Dr. TSCHADA hat jetzt zusammengefaßt, wie man sich das vorstellen kann: durch einen zweiten druckhaften Aquifer (Vaiont-Kalk), der vom Monte Toc angespeist wurde.

**SEMENZA:** Das stimmt.

**RIEHL-H.:** Ich glaube das wäre die Lösung des heute Gesagten. Dieser tiefere Aquifer hat wegen der großen Niederschläge durch die Karstwege des Monte Toc einen Druckanstieg erfahren, obwohl man sehr wohl - wie MÜLLER gesagt hat - in der Gleitmasse oberflächlich ein Absinken des Kluftwasserspiegels beobachtet hat. Und damit war man beruhigt, ohne zu wissen, daß sich der tiefere Horizont aufgespiegelt und einen Auftrieb für die Masse bewirkt hat. Das wäre die Interpretation der beiden Autoren HANDRON und PATTON.

Also der obere Kluftwasserspiegel, der mit dem See ausläuft und der tiefere, der von oben gespeist wird und den Auftrieb für die Masse bildet.

**TSCHADA:** Noch eine Teufelei: als man gesehen hat, daß die Bewegungen zunehmen,

**TSCHADA:** Ich kann mir nach dem heutigen Vortrag vorstellen, daß es durchaus möglich ist, daß sich in dieser Schichte durch die Karsterscheinungen oberhalb langsam das Wasser sammelt und daß so ein System war, bei dem unten durchaus etwas herausfließen kann, aber wenn mehr Wasser von oben kommt als unten herausrinnen kann, dann baut sich in dieser Kluft der Wasserdruck immer höher auf. Das ganze System kommt dann unter Auftrieb und das wird dann zum entlastenden Moment und Heber dieser ganzen Masse. Man kann sich durchaus erklären, daß in der vorher abgerutschten Zone durch die Klüftigkeit das Wasser ohne weiters ausrinnen konnte, nicht aber unbedingt aus dieser Schichte, die eigentlich oberhalb und unterhalb durch eine kleine Mylonitzone abgedichtet war. Das ist, so glaube ich, eine sehr einfache Erklärung, die man sich vorstellen kann.

Auch das Einzugsgebiet ist demnach etwas größer als das natürliche, das man kannte, dazu war dieser lang dauernde Niederschlag sehr groß, größer jedenfalls als bei uns in Tirol, wo so viel Niederschlag in einem Jahr gemessen wird.

**FRAGE:** Wie hätte man das verhindern können ?

hat man - was sehr verständlich ist - Wasser abgelassen. Vielleicht hätte man das nie gemacht, wenn man geahnt hätte, wie das funktioniert. Denn durch das Ablassen hat man das Gefälle nur noch größer gemacht. Wenn der Speicher voll geblieben wäre, wäre dieser Überdruck nicht so groß gewesen.

SEMENZA: Vollkommen richtig. Es war nicht zielführend, dieses Wasserniveau abzusinken.

SCHÖNTHALER: Nachdem ich kein Geologe bin, darf ich auch ganz laienhafte Fragen stellen:

*Frage 1:* Ich glaube es ist schon herausgekommen, wäre der Stausee nicht da gewesen, dann wäre die Masse nicht gerutscht. Ist das richtig ?

SEMENZA: Ihrer Behauptung muß ich widersprechen. Es hätte auch ohne Stausee eine Rutschung stattfinden können.

SCHÖNTHALER: Na gut, dann wäre die Masse gerutscht, aber es wäre nichts passiert, denn Longarone ist ja durch die Flutwelle zerstört worden. Und ohne Stausee auch keine Flutwelle !

*Frage 2:* Wie lange hätte es gedauert, um den Stausee weitgehend leer zu bekommen ? Von diesen 710 m auf etwa 600 m abzuspiegeln ?

RIEHL-H.: ca. ein Monat ? Das ist eine Frage der Dimensionierung des Grundablasses.

SEMENZA: Das Unglück kommt von der Geschwindigkeit der Absenkung. Prof. MÜLLER hat vorgeschlagen, die Absenkung müßte sehr langsam erfolgen; 5 m rasch, einige Tage warten und so weiter und tiefer. In den letzten Tagen scheint die Absenkung sehr rasch vorgenommen worden zu sein, mehr als diese 5 m.

SCHÖNTHALER: Die Frage geht dahin, wenn man den Stausee schnellstens entleeren hätte können - Anfang September war man auf 710 m, da hat man die großen Bewegungen festgestellt und bis Oktober hätte man immerhin mehr als einen Monat Zeit gehabt - wäre vielleicht die Masse schneller hineingeglitten, aber es wäre nicht genug Wasser im See

gewesen, um diese Flutwelle auszulösen. Und nur um das geht es ja.

RIEHL-H.: Da muß ich aber hinzufügen - bitte um Korrektur, Herr Dr. TSCHADA - es hat kein Mensch damals geahnt oder gewußt, daß eine Masse mit dieser Geschwindigkeit zu Tale gleiten kann. Es war das erste Beispiel dieser Art. Es hat diesen südamerikanischen Eissturz (Huascarán/Yungai) gegeben, der solche Geschwindigkeiten gehabt hat, aber alle Massenbewegungen sind ja abgefahren. Man hat diese Geschwindigkeiten und diese Schnelligkeit der Verdrängung nicht vorhersehen können. Im Urteil von Vajont bzw. im Prozeß war ein wesentlicher Punkt, zu dem man die Sachverständigen befragt hat: gibt es ein Beispiel, daß sich eine derartige Masse mit 90-100 km/h zu Tal bewegen kann. Es waren keine Parallelen bekannt.

UNBEKANNT: Immerhin, 3,5 cm pro Tag waren doch schon ganz schön. Natürlich kann das nicht so eine Katastrophe auslösen.

RIEHL-H.: Man hat vorher diesen Bypass unten gebaut, damit sich die Masse am Gegenhang anlehnen kann ohne den Speicher zu "trennen" wie in "Pontesei", dann wäre zwar der vordere Stauraum voll, aber man holt dadurch das Wasser von hinten nach vorne.

Man hat aber nicht an diese Hochgeschwindigkeit gedacht, die auch noch zusätzlich durch die Sesselstruktur verstärkt wurde. Die Klüfte gehen, wenn sie sich um diese "hintere Sesselkrümmung" bewegen, unten auf und saugen Wasser an, während sie sich, wenn sie um die vordere Sessselkante gleiten wieder zugehen, damit einen Überdruck erzeugen der dann unten einen zusätzlichen Auftrieb liefert. Auf einem Wasserpolster geht die ganze Masse ab.

Das war nicht vorhersehbar und ohne Beispiel.

UNBEKANNT: Man hat doch in Anbetracht der Gleitung im Speicher Pontesei schon gewußt, daß da schon beträchtliche Geschwindigkeiten zustande kommen können. Das war ja 3 Jahre vorher.

RIEHL-H.: Das war 3 m überflutet

**UNBEKANNT:** Nein 30 m !

**SEMENZA:** 30 m !

**UNBEKANNT:** Also das war sicher eine beträchtliche Geschwindigkeit, die da zustande kam.

**RIEHL-H.:** Entschuldigung, wir haben ein Original bekommen von Prof. SEMENZA und wir haben diskutiert; es kann unmöglich 30 m gewesen sein. Nur, wir haben uns nicht vorstellen können, daß in Pontesei eine 30 m Überflutung stattgefunden hat, weil keine Schäden da sind. Es muß weniger Wasser gewesen sein. Ich kann mir 30 m schwer vorstellen.

**UMILE:** Prof. Semenza hat immer 30 m geschrieben.

**RIEHL-H.:** Ich weiß es, aber wir haben immer geglaubt, daß ist ein Irrtum. Bei Pontesei sieht man keine Schäden.

**ANMERKUNG:** Bei der Exkursion 1994 wurde diese Frage geklärt: Die Flutwelle hat in der Tat 30 m betragen; durch vorherige Absenkung des Einstaues war die Mauer aber nur gering überspült worden.

**UNBEKANNT:** Könnten Sie ein Profil zeigen, wie tief die Piezometer gingen.

**RIEHL-H.:** Das wäre eine wichtige Frage.

**ERLÄUTERUNG:** Es folgt eine Frage und Antwortfolge über die Überflutungen von Pontesei und Vaiont. Diese Frage wurde durch die obenstehende "Anmerkung" nach der Exkursion im September 1994 geklärt.

**UNBEKANNT:** Gibt es denn kein Bild der Sperre mit dem Sperrenhaus vor der Katastrophe ?

**TSCHADA:** Die andere Frage war: Wo war jetzt das Piezometer ungefähr ?

**SEMENZA:** Die Frage ist noch unbeantwortet. Die piezometrischen Werte im Profil, ungefähr bei 720 m zeigt die Position (Abb.?), in diesem Punkte 930 m, aber ich glaube der Maximaldruck ist 200 m oberhalb der Krone, das ist der höchste Punkt. Der Wasserstand hatte ein Gefälle gegen Nord.

**RIEHL-H.:** Das ist schon klar.

**SEMENZA:** Das ist die Höhe der Flutwelle.

**UNBEKANNT:** Wieviele Kubikmeter Wasser waren damals im Speicher ?

**SEMENZA:** Mehr als 100 Millionen Kubikmeter.

**RIEHL-H.:** Eine wesentliche Frage ist noch, die der Kollege gestellt hat: wie tief waren die Piezometer die registriert wurden ?

**SEMENZA:** Diese piezometrischen Werte sind im Diagramm dargestellt.

**RANK:** Die Frage ist: haben die Piezometer in diesen zweiten Horizont (Aquifer) hineingereicht ?

**SEMENZA:** Diese Piezometer waren etwas primitiv. Ein Rohr mit mehreren Löchern d.h. wenn nur ein Piezometer bis zum zweiten Aquifer reicht ist natürlich das Wasserniveau im Piezometer abgesunken.

**UNBEKANNT:** Wie tief war das wirklich ?

**SEMENZA:** Sie sehen, P1, P3, und P4 haben exakt immer dieselben Diagramme. P2 ist verschieden, es hatte in den ersten Monaten ein höheres Niveau. Erst nachher zeigte es exakt denselben Verlauf.

**RIEHL-H.:** Ist Piezometer P2 später außer Betrieb gewesen oder hat es sich den anderen Werten angepaßt ?

**SEMENZA:** Nein, nein ..... dasselbe Alter. Die Hypothese von HENDRON und PATTON ist, daß dieses Piezometer in Folge der Bewegungen unterbrochen worden ist, sodaß in den ersten Monaten die Messungen die Summe der Einflüsse beider Wasserniveaus und nachher nur das des oberen darstellten.

**RIEHL-H.:** Also hier wäre es gebrochen, abgesichert worden.

**SEMENZA:** Die Messungen waren identisch mit denen der anderen.

**RIEHL-H.:** Weil unten der Zufluß gesperrt war. Durch die Massenbewegung wäre der Zufluß gesperrt und sie messen dann nur mehr die parallelen Werte von dem oberen Teil.

**TSCHADA:** Bitte, vielleicht darf ich dazu noch was sagen. Es gelingt einem sehr leicht etwas zu messen, was nicht stimmt. So ein

Piezometer funktioniert nur dann exakt, wenn es wirklich ein dichtes Rohr ist mit Abdichtung durch die einzelnen Schichten hindurch. Ist im Rohr ein Leck, dann kann sich der Wasserdruck zwischen den Schichten ausgleichen. Man mißt dann irgendeinen Wasserdruck

HALBMAYER: Dann ist es ja nicht gescheit gemacht, in der Regel hat man eine Filterstrecke und dort spiegelt sich das halt auf, aber das waren ja andere Zeiten und eine andere Fragestellung, das ist klar, aber heute wissen wir mehr darüber.

RIEHL-H.: Ich glaube, wir haben hier doch eine wesentliche Bereicherung und Information bekommen und wir danken sehr herzlich für das, das was Du uns hier geboten hast. Dank sind wir auch Herrn Dr. UMILE schuldig für seine Übersetzungsarbeit sowie den Diskussionsrednern, ganz besonders auch Herrn Dr. TSCHADA für seine wertvollen Beiträge und seine Hilfe bei der Zusammenfassung.

An Dich, lieber Prof. SEMENZA, dürfen wir noch eine Bitte richten: wir haben uns vorgestellt, daß wir im nächsten Sommer mit einem Bus nach Alpage und Vaiont fahren können und daß Du uns einen Tag Deiner Zeit zur Führung zur Verfügung stehst.

*Diskussionsbeiträge von:*

*HALBMAYER, Dr.H.,  
Verbundgesellschaft  
Am Hof 6A  
A-1010 Wien*

*RANK, Dr.D.,  
Geotechn. Inst., Abt. Geohydrologie,  
BFPZ-Arsenal,  
Arsenal - Obj. 214,  
A-1030 Wien*

*RIEHL-HERWIRSCH, Dr.G.,  
Institut f. Geologie  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13,  
A-1040 Wien*

*SCHÖNTHALER, Univ.Doz.Dipl.Ing.Dr.K.-E.  
Universität f. Bodenkultur  
Institut f. Freiraumgestaltung und  
Landschaftspflege  
Peter-Jordan-Straße 82  
A-1190 Wien*

*TSCHADA, Dipl.Ing.Dr.H.,  
Tiroler Wasserkraftwerke AG  
Landhausplatz 2,  
A-6020 Innsbruck*

*UMILE, Dr.A., (Übersetzer)  
Feuerwerksanstalt,  
Schneeberggasse 9,  
A-2752 Wöllersdorf*

## DISKUSSION: 2. TEIL Nach der Exkursion

### VAIONT-LONGARONE - 30 JAHRE NACH DER KATASTROPHE

*Anläßlich der Vaiontexkursion der Geoschule Payerbach im September 1994 wurde im Anschluß an die Besichtigung eine Fortsetzung der im Vorjahr begonnenen Diskussion angesetzt.*

---

**RIEHL-H.:** Die Tagung hat geheißen: "Die Grenzen der Geotechnik". Hätte man etwas machen können um die Katastrophe zu verhindern, bzw. was würde man heute, wo man im nachhinein alles kennt, für Maßnahmen getroffen haben. Hätte man das Abgleiten in irgendeiner Weise verhindern können?

**SEMENZA:** In meiner Arbeit steht, daß mit dem Absenken des Stausees zu lange gewartet wurde.

Es gibt mehrere Fragen in mehrere Richtungen. Wenn man die Geologie in der Genauigkeit gekannt hätte, wie man sie jetzt kennt, hätte man die Staumauer wahrscheinlich gar nicht gebaut, das Staubecken gar nicht errichtet. Es war ja davor nur eine Geol.Karte 1:100.000 zur Verfügung.

Zur Frage, was man bereits während des Baues der Staumauer hätte verhindern oder anders machen können: Zur Klärung soll die Abb.7, die auch die Niederschlagsmengen zeigt, auf Seite 174 dienen. Wenn man die Vorschläge von Prof.MÜLLER genauer verfolgt hätte, hätte man das Ganze leicht verhindern können.

Bei der dritten Flutung des Staubeckens, bei einer Stauhöhe von ca.710 m, die im August/September 1963 erreicht wurde, bei der also die Bewegungsgeschwindigkeiten

bereits so groß waren, hätte man den Stauspiegel schneller absenken sollen.

**TSCHADA:** Aus welchem Grund kann man das sagen? Wenn man die Verformungen der Jahre davor anschaut, dann ist eigentlich im Jahre 1963 mit Überschreiten der Kote 700 weniger Bewegung gewesen als im Jahr zuvor. Es ist sicher ein steiler Knick im September festzustellen, sodaß man vielleicht mit dem Einstau hätte zurückgehen können, aber es war eigentlich kein Anzeichen den Messungen zu entnehmen, daß es sich anders verhält als im Jahr davor. Der Niederschlag war auch etwa gleich. In allen drei Jahren war er hoch. Die Verteilung war im Jahr 1963 nicht so außerordentlich anders.

**SEMENZA:** Wie man aus der Arbeit von Prof. MÜLLER sehen kann, hätte man um den Sicherheitsvorkehrungen gerecht zu werden, bei dieser Höhe trotzdem im August absenken müssen und nicht bis zum September warten sollen.

**JACOBS:** Aber wenn man Abb.9 auf Seite 176 anschaut, der Tag mit der "Failure" ist ja genau an der Grenze zu dem Bereich, den HAMPTON und BATTON als kritisch ansehen. Es gab aber schon vorher viele Tage, die in dem kritischen Bereich lagen, bis es dann halt einfach gereicht hat. Das Absenken ein paar Tage früher hätte wahrscheinlich auch nichts mehr gebracht.

**SEMENZA:** Natürlich haben sie da recht, aber diese Abbildung wurde nachher erstellt und nicht vorher. Nachher läßt sich das dann leichter beurteilen. Sie haben aber schon recht.

**RIEHL-H.:** Ich möchte jetzt ganz kurz, ohne in Hybris verfallen zu wollen, folgendes anmerken: diese Zeichnung (Abb.7) von

MÜLLER stammt von vorher, und MÜLLER hat bereits im untersten Diagramm auf die relativ hohen Drücke von Piezometer 2 im Gegensatz zu den anderen Piezometern hingewiesen. Wir wissen natürlich heute: nach seiner Interpretation ist dieses P<sub>2</sub> in den Vaiont-Kalk gegangen und hat dort in dem verkarsteten Kalk die Überdrücke aus den Regenfällen vom Monte Toc aufgenommen. Aber was hat man sich über das "Aus-der-Reihe-Tanzen" von Piezometer 2 eigentlich damals gedacht, gibt es da Interpretationen oder hat man einfach gesagt, das ist abweichend.

SEMENZA: Eigentlich nicht, ich kann mich nicht daran erinnern daß über P<sub>2</sub> gesprochen worden ist, es kann natürlich sein, aber ich war nicht dabei.

RIEHL-H.: Gibt es hier aus unseren Reihen jemanden, der dazu etwas weiß ?

JACOBS: Eine Frage: Könnte der geologische Schnitt 5 (Abb.4 und Abb.6) nicht ganz korrekt dargestellt sein, denn P<sub>2</sub> reicht nur in die untere, alte Bewegungsmasse und nicht bis in den Vaiont-Kalk. Ist das vielleicht nur eine Ungenauigkeit in dieser Schnittdarstellung ?

SEMENZA: Das kann schon sein, daß das nicht ganz richtig eingetragen worden ist.

RIEHL-H.: Müßte die Darstellung des Piezometers P<sub>2</sub> verlängert werden ?

SEMENZA: Man müßte das Profil leicht ändern.

RIEHL: Ich glaube, wesentlich war ja, daß P<sub>2</sub> unter die strichliert dargestellte Bewegungszone reicht und damit in Verbindung mit dem verkarsteten Vaiont-Kalk war.

SEMENZA: Ja, man hat angenommen, daß es bis dahin gereicht hat. Diese Profile können sicher ein bißchen abweichen, es sind teilweise Informationen aus zweiter Hand, aus erster Hand waren diese Informationen nicht zu bekommen, sie waren wie eine Art Staatsgeheimnis, das man nicht so genau kennt.

JACOBS: Hat es vor Errichtung der Stau-mauer in der tief eingeschnittenen Klamm irgendwelche Bergwasseraustritte aus den

Schichtfugen gegeben. Unterhalb von Casso sieht man das sehr schön, dort treten aus den Schichtfugen feine Quellen aus.

SEMENZA: Das Wasser ist auch vorher so aus den Kavernen herausgekommen, wie Sie es heute gesehen haben. An die Menge kann ich mich nicht erinnern, aber es ist jedenfalls Wasser herausgekommen. Der ganze Niederschlag vom Monte Toc bleibt nicht an der Oberfläche sondern sinkt intern ab. Karstphänomene gibt es sowohl im Gipfelbereich als auch weiter unten im Vaiontkalk.

KROPF: Es sind doch schon 1960 und 1961 Teilbereiche abgegangen, die darauf aufmerksam machen mußten, daß das Gebiet instabil ist, und es wurde ja auch schon geologisch von Ihnen vorher beobachtet. Hat man nach Ihren Beobachtungen auch den oberen Abrissrand untersucht oder hat man nur den Rutschkuchen selbst und seine Front betrachtet ?

SEMENZA: 1960 hat man bereits die Bruchlinie gesehen und vorher hat man Material von dem früheren Abrutsch gesehen. (Tonbandprotokoll nicht verständlich)

KROPF: Stimmt es, daß es schon vorher bekannt war, welche Masse sozusagen labil ist ?

SEMENZA: Man hat bereits 1960 festgestellt welcher Bereich rutschen könnte, und auch in welche Richtung.

KROPF: Den Geologen war das gesamte Ausmaß der möglichen Rutschung dort durchaus schon vorher bewußt ?

SEMENZA: Nicht ganz genau, aber in etwa.

KROPF: Natürlich konnte niemand den Zeitpunkt vorausahnen, aber die Labilität dieser Gesamtmasse war durchaus schon vorher bekannt ?

RIEHL-H.: Darf ich dazu etwas feststellen: Ich glaube es war bis zuletzt für alle unbekannt, daß so eine Bewegung so rasch vor sich gehen kann. Man hatte immer noch auf ein Anstützen an den Gegenhang gehofft. Meines Wissens nach trifft das auch im Kautneral z.T. zu. Das erhoffte man sich auch in Vaiont. Man hat sogar einen Bypass errichtet,

damit man das Wasser von hinten nach vor bringt. Ich denke, ich gehe recht in der Annahme, daß man gesagt hat: "OK, lassen wir das jetzt am Gegenhang aufsitzen und leiten wir über den Bypass das Wasser aus dem Restsee nach vorne, damit wir nicht die Situation von Pontesei haben."

**KROPF:** Die eigentliche Katastrophe liegt in der Geschwindigkeit des Ereignisses.

**RIEHL-H.:** Das steht auch in den Prozeßakten.

**SEMENZA:** Wie Sie festgestellt haben: man hat nicht mit einer so großen Geschwindigkeit gerechnet, und hat damit auch daran gedacht, daß bei den gesetzten Vorkehrungen eine derartige Geschwindigkeit nicht erreicht werden würde. Bis zum Sommer waren auch nur sehr geringe Geschwindigkeiten gegeben. Man hat vermutet, daß sich die Masse nur langsam weiterbewegen würde, immer nur stückchenweise, aber nicht mit einer solchen Geschwindigkeit. Bis sie eben vom Gegenhang irgendwann einmal gestoppt wird.

**RIEHL-H.:** Zwei Überlegungen: Einerseits hat MÜLLER gesagt, daß mit dieser Annahme, daß der Piezometerspiegel parallel geht mit den Stauspiegelschwankungen, kein Überdruck in der Masse ist, also kein Überdruck, der tatsächlich dann vom Monte Toc entstanden ist.

Zweitens ist zuletzt - nach meiner Information von der ich nicht weiß woher sie kommt - die Sesselstruktur der Rutschmasse wesentlich. Die Sesselstruktur öffnet die Gesteinsklüfte unten, wenn sich die Masse über den Bereich der Biegung bewegt, wenn sie über den Sesselsitz weitergeht, machen sie wieder zu. Es kommt innen zu einem gewaltigen Überdruck. Durch eine starke Reduktion der inneren Reibung, ausgelöst durch diesen hohen Innendruck, können dann jene hohen Geschwindigkeiten der ganzen Masse entstehen. MÜLLER war ja insofern beruhigt, als der Piezometerstand parallel mit den Spiegelschwankungen verlief und damit eine Einflußnahme auf die Bewegungen möglich schien.

**TSCHADA:** In den nächsten Jahren (ab zweiter Hälfte 1962, Abb.7) hat das P<sub>2</sub> den gleichen Druck gebracht wie die anderen Piezometer. Man hat also nicht wissen können, daß das aus den dargestellten Gründen so war. Überall ist der gleiche Wasserdruck gemessen worden, den Kluftwasserüberdruck hat man nicht erkennen können.

**SEMENZA:** Die Piezometer waren auch nicht fachgerecht genug, ein Geologe würde sie so nie installieren und sie waren einfach irgendwo gesetzt worden. Man wußte eigentlich nicht ganz genau, was sie dort messen würden.

**KROPF:** Abgesehen von diesen ganzen stratigraphischen und geologischen Untersuchungen, die sicher schon einige Jahre vorher gelaufen sind, ist noch überhaupt nicht zur Sprache gekommen, daß ja auch ein ganz einfacher Modellversuch schon vorher gemacht wurde, der eigentlich dasselbe Ergebnis gebracht hatte wie die nachfolgende Katastrophe. Es wurde das Gebiet im Modell dargestellt und man hat diese Masse in den Stausee hineinrutschen lassen; es hat sich genau das Ergebnis gezeigt, das die Katastrophe nachher gebracht hat. Man hat nur nicht daran glauben wollen, daß es so schnell gehen kann. Das war das Problem. Die Höhe der Welle und die Menge des austretenden Wassers haben fast exakt übereingestimmt.

**SEMENZA:** Ich habe das Modell gesehen, aber ich glaube, daß das Modell nicht ganz genau mit der Wirklichkeit übereinstimmt, weil eben zum einen der Hang nicht in Sesselform sondern durch eine gleichgeneigte Holzplatte dargestellt war, und zum anderen die Rutschmasse als Schottermasse angenommen worden ist.

**KROPF:** Man hat wahrscheinlich nicht geglaubt, daß die Reibung wirklich so niedrige Werte annehmen könnte. Anders ist das nicht zu verstehen. Ich wollte nur kuriositätshalber daran erinnern, daß ja schon 1961 die bekannte Journalistin Pina Merlin genau diese Katastrophe so - ich will nicht sagen vorhergesagt - aber wahrscheinlich aus dem Modell abgeleitet

und publiziert hat. Und das waren exakt die Fakten, die 2 Jahre später eingetreten sind.

SEMENZA: Kaum jemand hat davon gewußt. Sie hat gesagt, daß sie alles weiß. Das war natürlich nicht sehr glaubwürdig. Dieses Modell war eben nur ein Prototyp mit vielen Fehlern und ungenau. Es hat z.B. auch nur eine Flutwelle von 30 m Höhe berechnet, in Wahrheit entstand eine Flutwelle von 190 m. Aber es war der erste Versuch im Modell eine Rutschung darzustellen.

Erst nach der Katastrophe hat man wieder Versuche gemacht und sie verbessert. Mit Plastikfolien konnte man eine derartige Reibung erzeugen, die eine gleichartige Flutwelle; in jenem Ausmaß auslöste, wie es dann wirklich eintraf - aber eben erst nachher.

TSCHADA: Zum damaligen Zeitpunkt hat man eben nur daran gedacht, wie die Reibungsverhältnisse Fels gegen Fels sind. Man hat also nur mit Reibungswinkel Berechnungen gemacht, wenn sich ein Fels, eine Felsplatte auf der anderen bewegt und diese Reibungswinkel sind ja nicht so klein. Sicher können sie bei gewissen Felsbeschaffenheiten, etwa bei 15° oder so liegen. Aber diese 15° reichen überhaupt nicht aus, um solche Geschwindigkeiten zu ermöglichen. Das sollte man wirklich beachten. Denn die Verschiebung - wir haben heute nachgerechnet, in 4 Sekunden war alles vorbei - ist praktisch ohne Reibung abgelaufen, anders ist diese große Geschwindigkeit nicht zu erklären.

Ich erinnere an einen Modellversuch, den die Japaner gemacht haben. Sie haben künstlich Muren erzeugt und haben auch eine Murenstopvorrichtung entwickelt, das ist ein Wehr, wo man unten das Wasser abzieht. Sie haben nachgewiesen, daß diese Muren mit großer Geschwindigkeit auf einem Wasserfilm abfahren; und daß, sobald man das Wasser unten wegnimmt, das ganze Murenmaterial stehen bleibt. Man verwendet das jetzt auch in der Schweiz, um einen Murenstop zu bauen, eine Murenbremse. Aber das ist Wissen von heute und nicht Wissen von 1961/62.

SEMENZA: Das wichtigste sind die Tonlagen, man hat damals nicht gewußt, daß es sie gibt.

KROPF: Prof.SEMENZA, halten sie es für möglich, daß durch dieses Abrutschen der riesig schweren Masse - die ja mit einem gewissen Auflagedruck auf ihrer Rutschfläche aufgelegt ist - das dazwischen befindliche Wasser zur Verdampfung gebracht wurde und es zum Aufbau eines Dampfdruckes zwischen diesen Flächen während des Rutschvorganges kam ?

Es entsteht ja eine enorme Energie, die da umgesetzt wird, sie bringt das Wasser sicher auch zur Verdampfung und es ist denkbar, daß richtige Dampfpolster entstehen.

Meine Frage ist also, ob bei dieser Energieumsetzung die in kurzer Zeit in einer beschränkten Fläche stattfindet, das vorhandene Wasser zur Verdampfung gebracht werden kann und durch diese Verdampfung eine weitere Verminderung der Reibung entsteht.

SEMENZA: Diese Tatsache ist durchaus möglich aber sie ist nicht für die Ursache der Bewegung verantwortlich.

KROPF: Es ist doch ein einfaches physikalisches Rechenbeispiel, sich jene Energie auszurechnen, die freigeworden ist, sie auf die Fläche umzulegen und mir sogar die anfallende Leistung pro m<sup>2</sup> auszurechnen. Das ist einfache Physik. Dann kann ich noch brutaler zurückrechnen, welche Temperatur dort entstanden sein müßte. Da müßte ich jetzt wieder einen definierten Körper dafür annehmen und eine gewisse Schichtstärke in der sich das ganze abspielt, die aber natürlich unbekannt ist. So ließe sich ausrechnen, ob die Temperaturen über den Siedepunkt gestiegen sind.

RIEHL-H.: Das wird meines Wissens auch von einer Gruppe in Köfels angenommen, wo sogar das Aufschmelzen der Gesteine in einen Bimsstein so interpretiert wird. Ich könnte mir durchaus vorstellen, daß diese Theorie in Vaiont mitspielt.

Aber Prof.SEMENZA hat den Wunsch geäußert, daß er Köfels gerne anschauen möchte. Ich weiß aber nicht, ob das jemand zeigen will und dann könnten wir in einer weiteren Exkursion Köfels anschauen.

SEMENZA: Es bestünde auch die Möglichkeit, diese Diskussion in Österreich fortzusetzen, auch mit Frau Dr. GHIROTTI.

RIEHL-H.: Das wesentliche, das man aus dieser Diskussion mitnehmen sollte, ist das Wissen um die Bedeutung auch noch so unwichtig erscheinender Kleinigkeiten, wie also z.B. ein nicht sofort erklärbarer Piezometerstand - ein Piezometer ist etwas, das es bei jeder Baustelle gibt - Interpretationslücken offen lassen, kann die auch mitverantwortlich sein können für eine ungenügende oder falsche Antwort auf drohende Kräfte der Natur.

Das, glaube ich, ist es, was als Lehre mitzunehmen ist oder als Erkenntnis. Wir wollen nicht kritisieren, sondern versuchen, daraus zu lernen. In diesem Sinn zeigen wir es auch unseren Bauingenieurstudenten und weisen sie darauf hin, daß es eben solche Rutschungen in dieser Größenordnung gibt, wir müssen auf so etwas aufpassen.

TSCHADA: Vor allen Dingen: wenn man Piezometer eindichtet, daß man sie präzise mit einer Kernbohrung herstellt und genau dokumentiert, was man erbohrt hat. Jede Schichte.

SEMENZA: Genau das ist die Frage, die ich an den Wissenschaftsförderungsfonds gestellt habe. Ein Piezometer könnte zur Verfügung gestellt werden. Aber eine Kernbohrung bis zum Kalk von Vaiont um das ganze genau zu untersuchen, kostet mehrere 10 Mio. Lire. Das wären alleine die Bohrkosten - und so passiert halt nichts.

JACOBS: So eine Bohrung kostet im Prozentsatz zu diesem Gesamtbauwerk nichts. Das ist einmal das erste.

SEMENZA: Für 200 m Tiefe ?

JACOBS: 1 m Bohrung kostet bei uns ca. ÖS 3.000,--

LIEGLER: Da muß ich natürlich noch was dazusagen: Ich kenn das gut aus Persien, dort wird 800 m gebohrt nur für Sondierungen. Nur um ein Projekt zu erstellen, gibt es 5 oder 6 Bohrungen zwischen 400 und 800 m Tiefe.

SEMENZA: Ich habe mir Voranschläge von italienischen Firmen machen lassen, vielleicht ist das in Italien teurer ?

LIEGLER: Damals hat es vielleicht mehr gekostet oder man war vielleicht nicht bereit gewesen, so viel wie heute auszugeben.

SEMENZA: Das war vor 5/6 Jahren.

LIEGLER: Das zweite war, diese Ablesungen aus den Piezometern haben meines Erachtens nach einschläfernd gewirkt auf die kritische Beurteilung. Man müßte sich eigentlich die Verformung ansehen: zunächst reagiert die Masse gar nicht so kritisch. Ab einem gewissen Punkt, sozusagen erst bei einer gewissen Schmerzgrenze, tritt dann plötzlich eine Vergrößerung und Beschleunigung ein und das war das kritische, auf das hätte man acht geben müssen. Ich glaube also, daß die Beobachtung der Verformungen, die kritische Beurteilung der Verformungen, wesentlich wichtiger gewesen wäre.

SEMENZA: Das wurde schon berücksichtigt. Als diese Geschwindigkeiten erreicht wurden, ist der See wieder abgesenkt worden.

KROPF: Die Volumensverdrängung des ins Wassers hinuntergleitenden Kuchens war größer als die Wassermenge, die man ableiten konnte. Der See ist gestiegen, obwohl der Abfluß offen war. Ab einem gewissen Punkt konnte man den Seespiegel praktisch nicht mehr beherrschen, er ist unwillkürlich immer mehr gestiegen und hat natürlich das Problem automatisch vergrößert. Es kam schließlich zu dieser rapiden Beschleunigung. Das war etwa ab August 1963.

SEMENZA: Es ist eigentlich nicht abgesenkt worden.

KROPF: Aber nach Beobachtungsberichten von damals schließe ich, daß es so war. Ja, knapp vor der Katastrophe konnte man den Stauspiegel nicht mehr beherrschen, er stieg schneller durch das Eindringen des Gleitkuchens als man absenken konnte.

SEMENZA: In den letzten 2/3 Tagen, aber da war es zu spät.

KROPF: Es gab sogar den Befehl zur Evakuierung, aber die Leute wollten es nicht wahrhaben. In dem Ort Casso sind angeblich nur 35 Familien dem Evakuierungsbefehl gefolgt.

UNBEKANNT: Auch die Stauspiegelanhebung im Jahr 1963 war viel zu rasch.

SEMENZA: Ja, wahrscheinlich.

KROPF: Ich glaube, aus dieser Erfahrung sind erst jene Aufstauprogramme entstanden, die dann später normalerweise vorgeschrieben wurden.

SEMENZA: Nachdem wir heute so gut wie nichts gelöst haben, würde ich sagen, daß wir das ganze fortsetzen und wenn möglich an einem oder zwei Tagen entweder in Österreich in größerer Zahl oder in Italien und vor allem in Anwesenheit von Frau Dr.GHIROTTI. Sie hat sich mit den Drücken im Untergrund beschäftigt und hat eine Dissertation über dieses Thema geschrieben.

RIEHL-H.: Ich danke Prof. SEMENZA und darf die Tiroler Gruppe (TIWAG) bitten, daß wir vielleicht im Frühjahr zu Euch kommen können um Köfels zu besichtigen und dort einen halben Diskussionstag anschließen. Dazu könnte man vielleicht noch den Tschirgant-Bergsturz ansehen.

UNBEKANNT: Es wäre natürlich sinnvoll, wenn dann auch Prof. PATZELT dabei wäre.

RIEHL-H.: Das wäre gut und da sollte dann auch Frau Dr.GHIROTTI dabei sein.

JACOBS: Noch eine Frage: sind die Verschiebungsmessungen geodätisch gemacht worden und vor allem: was haben diese Sondierstollen gebracht, die oben an der Oberkante, am Abriß, ausgebrochen wurden ?

SEMENZA: Man kam von einer stark zerklüfteten Zone in eine schlammartige Zone und dann zum Fels.

Man wollte eigentlich die Mächtigkeit dieser Zone feststellen, aber man hat bei einer Stelle begonnen, wo die Mächtigkeit sehr gering war. Also an der falschen Stelle.

JACOBS: Dann hat man also die Charakterisierung dieser Basisfläche schon gehabt ?

SEMENZA: Man hat sie gesehen, es waren tonhaltige sehr feine Schichtungen.

JACOBS: Hat man da auch die Bewegungen gemessen ?

SEMENZA: Nein, dort nicht.

*Diskussionsbeiträge von:*

*JACOBS Dr.S.,  
Büro f. Baugeologie,  
Bankmannring 43  
A-2100 Korneuburg*

*KROPF, Dipl.Ing.K.,  
Oberöstr. Kraftwerke AG, OKA,  
Böhmerwaldstraße 3  
A-4020 Linz*

*LIEGLER,Dr.K.,  
Tauernkraftwerke AG,  
Postfach 161,  
A-5020 Salzburg*

*RIEHL-HERWIRSCH, Dr.G.,  
Institut f. Geologie  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13,  
A-1040 Wien*

*TSCHADA, Dipl.Ing.Dr.H.,  
Tiroler Wasserkraftwerke AG  
Landhausplatz 2,  
A-6020 Innsbruck*