

Bergstürze in der Sicht des Geologen, mit besonderer Berücksichtigung der Katastrophe von Vajont

Autor(en): **Cadisch, Joos**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **36 (1969-1970)**

Heft 90

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-196639>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Bergstürze in der Sicht des Geologen, mit besonderer Berücksichtigung der Katastrophe von Vajont

Mit 8 Figuren im Text

von JOOS CADISCH*)

Vortrag, gehalten vor der Naturforschenden Gesellschaft Bern, vor der Sektion Bern des S.I.A. im Kolloquium des Geologischen Instituts der Universität Bern (21. Januar 1970).

Allgemeines

In der Nacht vom 9. auf den 10. Oktober 1963 erfolgte das grosse Unglück von Vajont. Militär und Zivil eilten zu Hilfe, Rettungsmannschaften aller Art begaben sich an Ort und Stelle. Die Behörden ergriffen Massnahmen zur Abklärung von Ursachen und Verantwortung.

Wir stellen nunmehr die Frage: Wie sieht es mit der Abklärung des Vorganges und seiner Folgen, und die Antwort lautet: Wir sind in verschiedener Beziehung nicht viel weiter gelangt als im Winter 1963.

Die gewaltige Bogenmauer von Vajont war vom grossen Ingenieur CARLO SEMENZA geplant und unter seiner Leitung von der Società Adriatica di Elettricità, der SADE gebaut worden. Sie hat den entfesselten Naturgewalten standgehalten.

Über die Vorgänge im einzelnen sind wir nur mangelhaft orientiert. Das Unglück geschah ja bei Nacht, und die zwei einzigen Augenzeugen, der Pfarrherr VON CASSO und ein Carabinieri, vermochten von ihren Standorten den Vorgang nicht zu übersehen.

Die Mehrzahl der Betroffenen – mehr als 2000 Personen – fiel im Haupttal in Longarone und Umgebung dem ungeheuren Wasserschwall zum Opfer. 30 Millionen m³ Wasser ergossen sich innert kürzester Zeit aus dem Stausee in die Schlucht unter der Bogenmauer und wurden ins Piavetal geworfen, während 22 Millionen m³ talaufwärts als Restsee und in kleinen Becken auf der Trümmermasse liegen blieben. Der Restsee von Erto liegt mit seinem Spiegel 42,8 m über dem zuletzt erreichten Seespiegel von Kote 700,42 m ü. M.

Noch während des Baues hatte der Staat eine Aufsichtskommission bestellt, die aus Ingenieuren und einem Geologen, Prof. PENTA (in Rom) bestand. Am 3. Dezember, d. h. zwei Monate nach dem Unglück, konsultierte der Staatsanwalt Professor Senator MICHELE GORTANI, den besten Kenner der Venetianer Alpen, über den Vorgang des Bergsturzes und damit auch über die in Bewegung gesetzten Wassermassen. In der Folge stellte der Procuratore dem Experten Prof. GORTANI die Geologen Prof. DESIO (Milano) und meine Wenigkeit zur Seite; ferner als Geophysiker Prof. MORELLI (Triest), einen namhaften Seismiker, später noch die Hydrauliker Prof. RAMPONI (Triest) und CITRINI (Milano). Schliesslich gesellte sich noch Prof. MARTINIS (Milano) als Mikropaläontologe zu diesem Komitee. Vom Gericht wurden den Experten zwölf Fragen zur ausführlichen Beantwortung vorgelegt, welche die ursprüngliche Beschaffenheit des Beckens, die

*) Gutenbergstrasse 26, 3000 Bern

seinerzeitige Beurteilung desselben, die Kontrollmassnahmen, die Modellversuche von Novi u. a. m. betrafen, Fragen, die zum Teil leicht, zum Teil schwierig oder gar nicht eindeutig zu beantworten waren.

Schliesslich verfügten wir über eine grössere Zahl von Berichten geophysikalischer und geologischer Art, und beim Gericht lagen mehrere tausend Aktenstücke, die zum Teil sequestriert worden waren. Der Giudice Procuratore della Repubblica (Staatsanwalt) fuhr, von Carabinieri begleitet, mit Helikopter in Oberitalien herum, um Akten zu beschlagnahmen.

Das gerichtlich berufene Expertenkollegium verlangte zur besseren Abklärung die Ausführung von 8 Bohrungen, deren Anzahl im Oktober 1964 auf 6 reduziert werden konnte. Mit diesen Sondierungen sollte die Beschaffenheit und Lage der Grenzfläche zwischen Bergsturzschutt und Felsunterlage untersucht werden. Die Bohrkerne wurden von Prof. MARTINIS mikroskopiert und mit Hilfe der Mikrofossilien genau horizontalisiert. An der Grenzfläche Schutt-Fels erwies sich das Gestein mylonitisiert, d. h. stark zerdrückt. 1964 erhielten Prof. Martinis und Dr. Francani den Auftrag, ein Relief mit geologischer Übermalung zu schaffen, das auch dem Laien einen guten Überblick gewähren sollte. Merkwürdigerweise hatte die den Kraftwerkbau beaufsichtigende Behörde etwa 50 Sondierbohrungen in Auftrag gegeben, über deren Zweckbestimmung weder das Gericht noch die Expertenkommission aufgeklärt war. Es wurde immerhin vereinbart, dass auch die Bohrkerne der staatlichen Bohrungen mikropaläontologisch zu kontrollieren seien. So herrschte 1964/65 eine emsige Tätigkeit von Fachleuten, die Abklärung der Katastrophenursache bezweckend. Wichtige Abhandlungen hatten Prof. L. MÜLLER in Salzburg und die Prof. TREVISAN (Pisa) sowie SELLI (Bologna) zu Verfassern. Innerhalb kurzer Zeit standen drei geologische Aufnahmen grösseren Maßstabes zur Verfügung.

Am 15. September 1965 lieferten die Gerichtsexperten ihr Exposé ab, das 140 Seiten umfasste. Seither wurde neuerdings ein kleineres Expertenkomitee mit einer Untersuchung betraut, über deren Ergebnisse wir nicht unterrichtet sind. Das schweizerische Mitglied dieses zweiten Gremiums, Herr Prof. Dr. A. STUCKY in Lausanne, ist leider vor einigen Monaten verstorben.

Die Anklage des Staatsanwaltes von 1963 wurde aufrechterhalten. Sie lautete auf Verursachung eines Bergsturzes, der vorauszusehen war, auf gemeinsame Verursachung einer Überschwemmung, auf Tötung und vielfache Verletzung. Angeklagt wurden: Ingenieure der ursprünglichen Bauherrschaft, Ingenieure des Staates und ein Geologieprofessor, der Mitglied einer staatlichen Behörde war.

Geographische Situation: Das Tal von Vajont ist ein östliches Seitental des Piavetals, gelegen an der Grenze zwischen den Provinzen Belluno und Udine in den Venezianer Alpen.

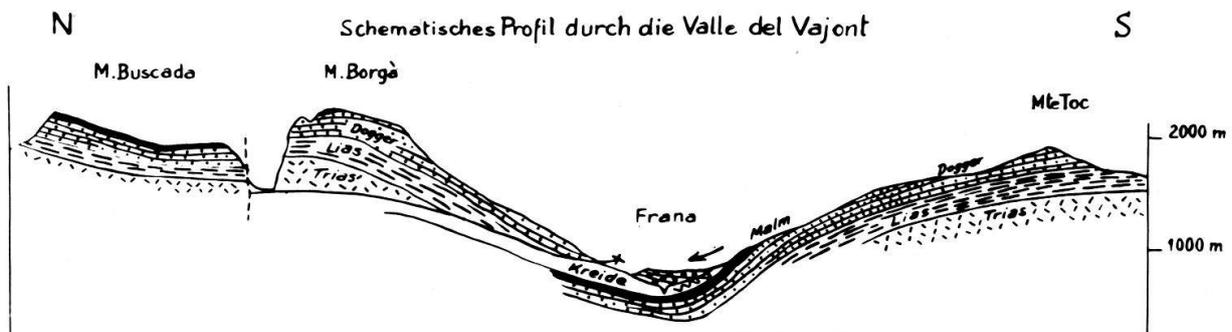


Fig. 1: Schematisches Profil durch die Valle del Vajont.

Geologie: Das steil eingeschnittene Tal von Vajont liegt in den Südalpen, und zwar in der Gebirgszone, die aus den Trentiner Alpen südlich der Dolomiten gegen Osten fortsetzt. Die Schichtreihe ist bei Longarone und Vajont folgende: Als Ältestes wird obere Trias durch Hauptdolomit (Norien) repräsentiert. Darüber liegen vorwiegend massige Lias- und Doggerkalke, die zu Karstbildung neigen. Die Grenze gegen den hangenden Malm ist nicht scharf. Die darüber liegende untere Kreide ist wie der obere Malm zum Teil mergelig ausgebildet. Tertiär ist als Mergel mit sandigen und kalkigen Zwischenlagen nur bei Erto, zuhinterst im Tal vorhanden. Die Gesteine sind wenig widerstandsfähig, weshalb sie zunächst als rutschverdächtig betrachtet wurden.

Die Grenze zwischen oberem Malm und unterer Kreide war für die Anlage der Gleitbahn prädestiniert. Unter dem westlichen Teil der Abrissbahn lag im generellen Streichen eine 340 m lange Doline, «la Pozza». Das als Sturzmasse abgefahrene Gesteinspaket besteht zur Hauptsache aus mergeligen Kreidebildungen.

Der Bau der Region kann in Kürze wie folgt charakterisiert werden. Nördlich des Tertiärbeckens von Belluno ziehen grosse Falten quer über den Piave, da und dort gegen Süden überliegend und überschoben. Die Vergenz, d. h. Überfaltungsrichtung der grösseren Falten, ist deutlich eine südliche, ähnlich wie bei uns in den Luganer Alpen. Auf der linken, d. h. südlichen Talseite von Vajont, ist im Nordschenkel der Antiklinale des Monte Toc nordvergente Kleinfaltung sichtbar. Die Mündung der Vajontschlucht liegt im Bereiche bedeutender südalpiner Querstörungen, die ungefähr parallel zum Haupttal verlaufen. Wer hier bei Longarone ostwärts über das Tal blickt, vermeint, eine verkehrte Schichtreihe zu sehen. Diese wird aber nur durch die Bruchtektonik des Gebirges vorgetäuscht. Zwischen Longarone und Pieve di Cadore ist der östliche Gebirgsteil gegenüber dem westlichen um mehrere hundert Meter abgesunken, weshalb

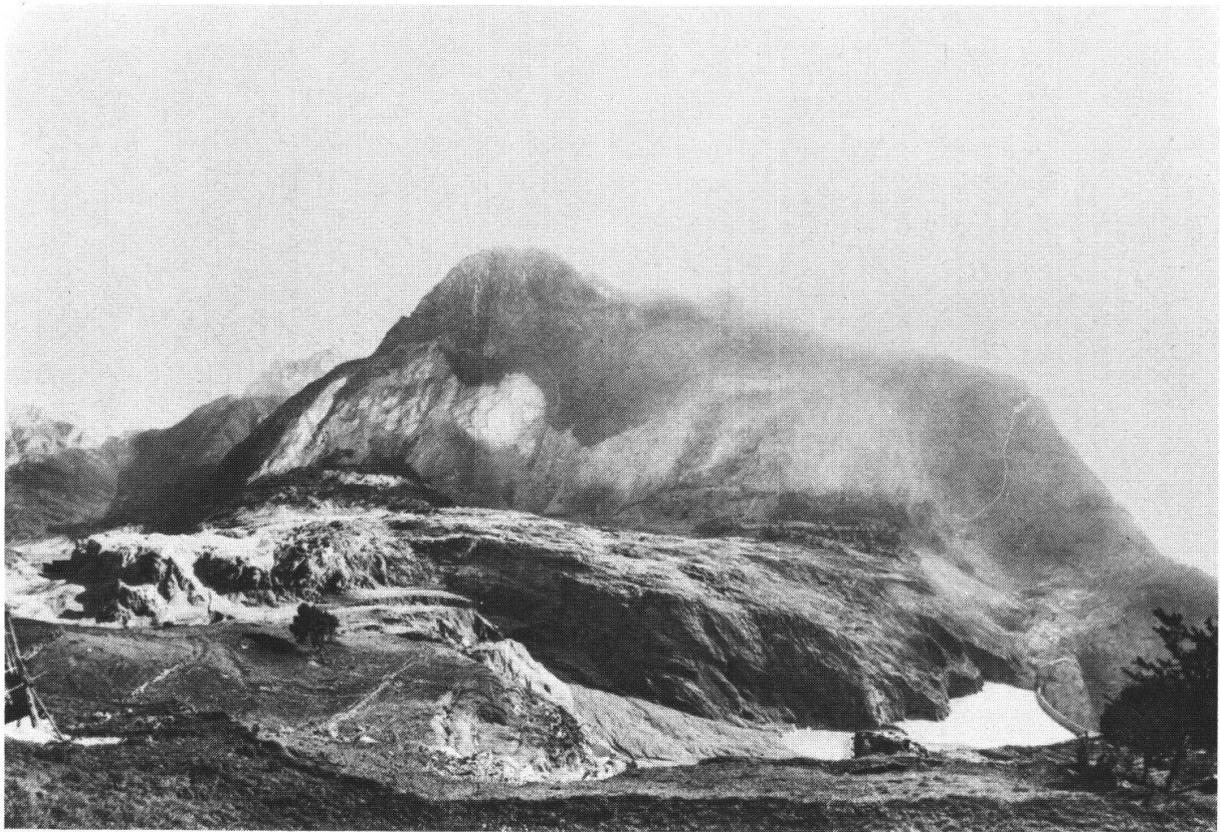


Fig. 2: Blick aus der Gegend von Casso gegen Monte Toc. Mitte Bergsturzmasse. Darüber Gleitfläche, hell. Rechts unten Mauer und Restsee.

auf eine grössere Strecke im Westen triasische Dolomite und jurassische Kalke, im Osten Kreide mit rotem Mergelkalk (Scaglia) ansteht.

Auf der südlichen Talseite von Vajont, am Monte Toc, zieht ein gegen Süden aufgeschobener Sattel durch, an den das weite Synklinalgebiet von Belluno anschliesst, in dem als Jüngstes oligocäne und miocäne Bildungen vorhanden sind. Auf der Nordseite von Vajont ist Jurakalk südwärts über Kreide geschoben. Die Bruchtektonik ist zweifellos jünger als die Faltung. Die Experten haben sich gefragt, ob die Gebirgsbildung bis in jüngere und jüngste Zeit andauerte und ob die in der Region festgestellte Erdbeben-tätigkeit auf die Auslösung noch vorhandener Spannungen zurückzuführen sei. Bergstürze, wie sie u. a. auch südlich Belluno bei S. Croce erfolgten, wären als Begleiterscheinungen der Gebirgsbildung zu deuten. Es ist dies eine ähnliche Auffassung, wie sie von O. AMPFERER und R. STAUB über den Bergsturz von Flims geäussert wurde.

Wir fassen zusammen und stellen fest: Der Bergsturz von Vajont ist aus nordfallenden Kreide- und Jurabildungen eines Faltenschenkels herausgebrochen. Über die Situation vor der Katastrophe orientieren die aus dem Jahre 1914 stammende Aufnahme des französischen Geologen R. BOYER und das 1941 erschienene Blatt «Belluno» der italienischen geologischen Landesaufnahme. Das Tal von Vajont war früher eine steil eingeschnittene Talfurche mit quartären Terrassen, die mit ihrer schwachen Schuttüberlagerung in der Sturzmasse zu Tal fuhren. Die Gleitbahn des Bergsturzes ist im oberen Teil sehr steil angelegt, sie flacht nach unten ziemlich abrupt aus, weshalb von einer «Sedia», d. h. einem Sessel, gesprochen wird.

Die am 9. Oktober 1963 abgerutschte Masse wird auf 300 Millionen m³ geschätzt. Es



Fig. 3: Vorn: Stirnpartie der Sturzmasse, mit erhaltener Schichtung. Mitte: Oberfläche der Sturzmasse. Bäume schief stehend. Hinten: Sturzbahn, hell.

Fig. 4: Partie der Sturzmasse, mit erhaltener Schichtung und Kleintektonik.

handelt sich um eine riesige Scholle, die gleichsam in die Talfurche hereingeschaukelt wurde und dabei in mehrere schuppenartige Gleitpakete zerfiel. Immerhin sind die Gesteinsmassen zum Teil im Verband geblieben und die Kleintektonik noch erhalten. Es fällt auf, dass in der Frontpartie der Bergsturzmasse die Schichtung noch deutlich vorhanden ist, obschon eine intensive Kleinklüftung die Masse durchsetzt. Im Gebiet der Staumauer hat die Flutwelle das anstehende massige Kalkgestein stark zusammengepresst und parallel zur Schichtung aufgeblättert.

Über die Schuttmasse als Ganzes sind verschiedene Berechnungen angestellt worden. Ihr Schwerpunkt wurde bestimmt. Dieses Barizentrum hat einen horizontalen Weg von nur 361 m und eine vertikale Strecke von ungefähr 100 m zurückgelegt. In zwei Teilgebieten der Sturzmassen-Oberfläche sind die Grasnarbe und die Bäume erhalten geblieben, die letzteren schiefgestellt. Die vor einigen Jahren erstellte linksseitige Talstrasse ist streckenweise auf der Sturzmasse sichtbar vorhanden. Fig. 5 Trotz den scheinbar überblickbaren Vorgängen ist der mechanische Ablauf der Katastrophe auch heute noch nicht völlig geklärt. Aufgrund von Feldbeobachtungen hatte Prof. L. MÜLLER (Salzburg) angenommen, die Abbruchmasse habe sich in Gestalt zweier Lappen, einem westlichen und einem östlichen, bewegt. Später angestellte Untersuchungen liessen vermuten, dass sich verschiedene Teile der Sturzmasse ungefähr gleichzeitig in Bewegung befanden. Die beim Abgleiten erfolgte Zerlegung der Sturzmasse erinnert an die Verhältnisse bei Klosters, wo sich Cotschna-Bergsturz und Totalp-Bergsturz scheinbar gleichzeitig nebeneinander bewegten. Ähnliche Zerlappungen sind auch in Gleitmassen zu er-



Fig. 5: Restsee von Erto. Mitte: Sturzmasse. Bäume schief gestellt.

kennen, die zwischen Salux und Mons (Graubünden) gegen die Julia abrutschten und sich beim Bau des Julia-Kraftwerkes der Stadt Zürich ungünstig auswirkten.

Die seitliche Begrenzung des Absturzgebietes von Vajont ist im Osten durch eine steilstehende Verwerfung gegeben. Die an diese Störung grenzende Gebirgsecke, die «Costa delle Ortiche», ist stehengeblieben. Fig. 6 Sie hat als «Diedro» zu Befürchtungen Anlass gegeben. Aufgrund eingehender tektonischer Untersuchungen wird angenommen, dass ein genügend fester Fuss des Gebirges vorhanden sei.

Als Geologe der Società Adriatica di Elettricità hatte von Anfang an Prof. G. DAL PIAZ fungiert, der beste Kenner der ganzen südalpinen Region. Wer die Begleitumstände der Katastrophe beurteilen will, sollte berücksichtigen, dass die vierzehn anderen Staubecken der Gesellschaft sich in gutem Zustand befinden. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass bis in die ersten Jahrzehnte unseres Jahrhunderts das Hauptinteresse der geologischen Experten mehr den Sperrstellen als den Staubecken galt. Bezüglich Stabilität der Beckenteile verfügte man über zu wenig Erfahrung. In einer vom Ministerium bestellten Kommission amtierte der unlängst verstorbene Prof. PENTA (Rom), der an die Möglichkeit einer Katastrophe nicht zu glauben vermochte. Kontrollmessungen vermittle Fixpunkten, Piezometerbeobachtungen, Beobachtungen des Effekts von Seespiegelschwankungen kamen zu spät. Wir können hier auf die Geschichte des werdenden Unheils nur einige Streiflichter werfen.

Im September 1960 war die 261 m hohe Bogenmauer fertig erstellt. Mit der Einstauung hatte man schon vorher begonnen. Ein Fixpunktnetz wurde errichtet. Am 4. November 1960 brach auf der linken Beckenseite unweit der Bogenmauer eine Masse von



Fig. 6: Östlicher Abrissrand, Blick gegen SSE. Felsrippe «Diedro».



Fig. 7: Staubecken, vor dem Bergsturz. Mitte: Kleinerer Sturz vom 4. XI. 60, 700000m³. Unten links: Staumauer.

ca. 700 000 m³ los. Fig. 7 Es handelte sich allem nach um Lockerschutt und nicht um Fels. Niemand betrachtete diesen Abbruch als Vorboten eines grösseren Ereignisses. Die mehrfachen Seespiegeländerungen, durch Aufstau und Absenkungen hervorgerufen, bewirkten dann Fixpunktbewegungen. Im Spätherbst 1960 öffnete sich erstmalig eine grosse Abrißspalte, die sich über zwei Kilometer weit erstreckte. Ungefähr gleichzeitig machten sich Mikroseismen bemerkbar, deren Aufzeichnungen im Wasserschwall verloren gingen. Auf Vorschlag von Prof. MÜLLER wurden Sondierstollen vorgetrieben. Piezometer sollten zur Beobachtung des Grundwasserspiegels dienen. Die Deutung der Ergebnisse liess zu wünschen übrig. Nach Auffassung der Gerichtsexperten hatte man nicht einen gleichmässigen Grundwasserspiegel, sondern einen unregelmässigen Felswasserspiegel angetroffen. Auch die seismischen Untersuchungen ergaben keine eindeutigen Resultate. Der Seismologe Prof. P. CALOI (Rom) stellte eine merkwürdig rasch erfolgte Änderung der Gesteinsbeschaffenheit fest. Die Geschwindigkeit der seismischen Wellen nahm von 5–6 km/sec auf 2,5–3 km/sec ab. Diesen Umstand, der an eine Zertümmernng des Gesteins denken liess, konnte man sich nicht erklären. Man kannte keinen Präzedenzfall und konnte nur aussagen, dass der Untergrund in unerklärlicher Weise «krank» war. Auch die Deutung des vorhandenen Boden- und Felsprofils bot Schwierigkeiten. Es konnte keine Grenzfläche zwischen lockerem und festem Material konstatiert werden. Merkwürdigerweise stellte sich während des Prozesses heraus, dass die Seismogramme schon einige Monate nach der Katastrophe in Rom nicht mehr gefunden werden konnten.

Aus der Fachliteratur ist ersichtlich, dass gewisse Feststellungen von Prof. G. DAL PIAZ zu wenig Beachtung fanden. Dieser erfahrene Geologe hatte 1952 konstatiert, dass grössere Kalk- und Dolomitkomplexe durch die alpine Gebirgsbildung weitgehend zertümmert und zerquetscht sind.

Es sei nebenher auch auf die 1961 durchgeführten Modellversuche 1:200 hingewiesen, die unter Leitung von Prof. GHETTI (Padova) in Nove stattfanden. Obschon zweckmässig vorgegangen wurde, waren die Ergebnisse nicht zutreffend, bzw. zu günstig, da verschiedene Faktoren nicht richtig gewählt werden konnten.

Was die unmittelbaren Ursachen des Bergsturzes von Vajont anbelangt, so haben die Experten darauf hingewiesen, dass während der dem Unglück vorausgehenden Monate erhebliche Niederschläge fielen. Die Niederschlagsmenge für August und September beliefen sich auf das Dreifache der durchschnittlichen Werte. Es gelangte eine erhebliche Wassermenge in Boden und Gestein, dazu kamen noch die vom Stausee zufließenden Wasserquanten. Es stellten sich nachträglich Probleme, die nicht lösbar sind, so z. B. die Frage: Wäre die Katastrophe ausgeblieben, wenn man von der dritten Probestauung abgesehen hätte?

Die tektonischen Verhältnisse begünstigten das Losbrechen der Massen, insbesondere das gegen den Torrente Vajont gerichtete Einfallen der Schichten. Gleiches gilt für die Kluftsysteme, die in der Hauptsache W–E und N–S streichen. Auf diese Klüfte hatte der Geologe G. DAL PIAZ aufmerksam gemacht. Um der dadurch bewirkten Schwächung der Widerlager entgegenzuwirken, wurden starke Eisenankerungen angebracht. Gewisse Fachleute stellten die Frage, ob ohne diese Massnahmen die Mauer dem Wasserdruck standgehalten hätte.

Das Unglück von Vajont hat sowohl in Italien als auch in andern Ländern zur Vorsicht gemahnt. Staubecken, deren Mauerabschluss schon vollendet war, wurden für die Unterwassersetzung nicht freigegeben, sei es unter Einfluss der ängstlich gewordenen Bevölkerung, sei es von den zuständigen Behörden. Wie die Experten des Ministeriums, die Prof. SELLI und TREVISAN, so versuchten auch die 1963–64 ernannten Gerichtsexperten Vergleiche mit bekannten Bergstürzen zu ziehen. Die Bergstürze der Südalpen hat

M. GORTANI beschrieben. Der Sturz, der den Lago d'Endine entstehen liess, fuhr im Jahre 833 zu Tal. In der Nähe der Südalpen liegen unter den Abstürzen des Dobratsch bei Villach mächtige Bergsturmassen im Gailtal, die anno 1368 losbrachen. Der Lago di Alleghe im Cordevole wurde 1781 (nach DAL PIAZ 1771) gestaut.

Von den im Falle Vajont konsultierten Geologen wurde weitgehend auf die Veröffentlichung ALB. HEIMS «Bergsturz und Menschenleben» (1932) abgestellt, die auch Prof. Müller eingehend berücksichtigte. Vor allem die von ALB. HEIM gegebene Tabelle «Zusammenstellung einiger Bergstürze nach ihren Massen» wurde weitgehend zu Rate gezogen. Dass dabei die von HEIM erwähnte, aber aus Versehen in seiner Aufstellung nicht aufgeführte zweitgrösste Sturzmasse unseres Landes, diejenige von Engelberg, mit 2,5–3 km³ Inhalt von allen Nachfolgern übersehen wurde, weil sie offenbar den zugehörigen Text nicht lasen, haben wir auf unserer Tabelle gutzumachen versucht. Wir erwähnen nur vergleichsweise, dass die Sturzmasse von Vajont doppelt so gross wie die am Ausgange des Bleniotals gelegene, 1513 abgefahrene «Buzza di Biasca» ist. Der Brenno wurde damals zu einem See gestaut, der 21 Monate später ausbrach. Bis zum Langensee ergoss sich die Sturzflut, wobei 600 Menschen ums Leben kamen und ungefähr 400 Häuser zerstört wurden.

Die Betrachtung der Tabelle von Bergstürzen der Schweizer Alpen zeigt, dass die drei grössten Sturzmassen gegen Ende der Eiszeit losbrachen, d. h. als die Talhänge von ihrer Eislast befreit wurden. Die genaue Altersdatierung der Sturzmassen bietet oft Schwierigkeiten. Es ist nicht mit Sicherheit festzustellen, welchem Stadium die Moräne angehört, welche die Sturzmasse überzieht. Dies gilt auch für den Flimser Bergsturz, der mancherorts von relativ wenig mächtiger Moräne überlagert ist. R. GSELL konstatierte in seiner Dissertation «Beiträge zur Kenntnis der Schuttmassen im Vorderrheintal», dass das Felsgefüge am Flimser Stein aufgelockert sei. Dafür spricht auch der Nachsturz vom 10. April 1939, unter dessen Schutt bei Fidaz ein Kinderheim mitsamt Bewohnern begraben liegt. Es steht zu wünschen, dass das ganze Flimser Berggebiet bald einmal geologisch kartiert wird, bevor die ganze Gegend unter dem Flimser Stein mit Ferienhäusern überbaut sein wird.

Der Bergsturz von Vajont lässt sich, abgesehen vom viel kleineren Volumen der Sturzmasse, am ehesten mit dem Flimser und dem Siderser Bergsturz vergleichen, die auch über schiefliegende Jura-Kalkplatten zu Tal gefahren sind. In Flims, Siders und Vajont weist der Bergsturzschtutt alle Korngrössen auf, vom Schlagpulver bis zu Riesenblöcken.

In der Schweiz berief das Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau schon am 8. November 1963 eine Konferenz ein, die sich unter Leitung von Herrn Direktor Dr. R. RUCKLI mit Sicherheitsmassnahmen befasste. Die Beantwortung des aufgestellten Fragebogens zeigte, dass zurzeit kein Anlass zu Befürchtungen besteht, da intensive Bodenbewegungen in den mehr als 60 Becken nicht erfolgen. In verschiedenen Speicherbecken sind Kontrollen im Gange, und zwar sowohl von erdbaumechanischer, felsmechanischer, glaziologischer und geologischer Art.

*Bergstürze in der Schweiz und in angrenzenden Gebieten,
geordnet nach dem heute noch vorhandenen Volumen der Sturzmassen
15000 Mio m³ bis 1 Mio m³*

Flims und Reichenau-Tamins, spätglazial	12000–15000 Mio m ³
Engelberg (Kt. Obwalden), postglazial	2500– 3000 » »
Siders (Sierre, Kt. Wallis), spätglazial	2000– 3000 » »
Glärnisch-Guppen, spätglazial («zwischen Bühl- und Gschnitz- Stadium»)	800 » »
Parpan (Lenzerheide, Kt. Graubünden), nach Alb. Heim 100–200 Mio m ³ , nach Th. Glaser	720 » »
Glärnisch-Gleiter, interglazial	600 » »
Blanken-Deyenstock, Klöntalersee (Kt. Glarus), postglazial	600 » »
Giornico, Leventina, Ct. Ticino, postglazial	500 » »
Bormio, Prov. Sondrio, Italia, nach Furrer 1962	ca. 500 » »
Totalp (Davos-Klosters), spätglazial	300 » »
(Vajont, Prov. Belluno–Prov. Udine)	300 » »
Buzza di Biasca, Ct. Ticino, anno 1513	150 » »
Motta di Meschino (Lago di Poschiavo), postglazial	150 » »
Kandertal, Kt. Bern, versch. Stürze, spät- bis postglazial	140 » »
Obersee, Rautispitz, Kt. Glarus, prähistorisch	ca. 150 » »
Saoseo (Lago di S.) bei Poschiavo, postglazial	ca. 80 » »
Diablerets (Ct. de Vaud), anno 1714 und 1749	50 » »
Rossberg, Goldau, Kt. Schwyz, anno 1806	30–40 » »
Motta d'Arbino, bei Bellinzona, 1928, 200 Mio m ³ in Bewegung	30–40 » »
Voralpsee, Säntis, Kt. St. Gallen, prähistorisch	30–40 » »
Dosdè, Val Viola, Prov. Sondrio, Italia, postglazial	20 » »
Platten, Haslensee bei Näfels, Kt. Glarus	ca. 20 » »
Disentis, Kt. Graubünden, 1683	10–20 » »
Elm (Kt. Glarus), 1881	10–11 » »
Ennetbühl, Toggenburg, Kt. St. Gallen, postglazial	5 » »
Altels, Eissturz (Gletschersturz), 1895	4,5 » »
Vitznau (Kt. Luzern), 1879	1 » »

nach ALB. HEIM, 1932, etwas ergänzt.

Es sei heute nur auf einige Fälle verwiesen, die unter besonderer Kontrolle stehen.

Das *Kraftwerk Malvaglia* der Officine idroelettriche di *Blenio* verfügt über einen Stausee von 4,1 Millionen m³ Inhalt. Die Staumauer ist 92 m hoch. Sie ruht auf Orthogneis, der sicher anstehend ist. An der nördlichen Beckenflanke fällt das Gestein schief gegen die Talfurche ein, was die Entstehung weitreichender Plattenrutschungen ermöglichte. Die Bewegung war in letzter Zeit eine abnehmende. Beruhigend ist die Tatsache, dass weder ein durchgehender Abriss noch eine basale Gleitfläche vorhanden sind.

Ähnlich liegen die Dinge im Becken von *Val di Lei* im Hinterrheingebiet. Das Felsbecken besteht aus meist stark schiefrigen kristallinen Gesteinen. Im oberen Seegebiet sind zwei stillstehende Rutschmassen vorhanden. Zuunterst im Becken, bis in Nähe des westlichen (linken) Staumauerendes ist der Hang der «Ganda nera», zu deutsch schwarze Schutthalde, mit einer Masse von ungefähr 500 000 m³ in langsamer Bewegung, die sich in letzter Zeit auf ca. 5 cm pro Halbjahr belief. Obschon am oberen Rand der Rutschung und im Anstehenden Abrißspalten sichtbar sind, scheint eine einheitliche basale Gleitfläche nicht vorhanden zu sein. Kontrollmessungen durch Herrn Ingenieur SCHNEIDER, Chur, und Herrn Geologen E. WEBER sind zurzeit im Gange. Sie werden zeigen, in welchem Masse die Bewegungen durch Spiegelschwankungen des Stausees beeinflusst werden.

Als weiteres Beispiel erwähnen wir eine Anlage in den Tiroler Alpen. Bei *Gepatsch* im Kaunertal, ungefähr 22 km von der Schweizer Grenze im Unterengadin entfernt, hat die «Tiroler Wasserkraftwerke A.G.» einen Felsschüttdamm von 7,1 Millionen m³ Inhalt mit einem Kern aus lehmigem Hangschutt erstellt. Der Damm liegt auf Gneis der Ötztalmasse. Er war schon beinahe fertig erstellt, als sich in ungefähr 200 m Entfernung von der Staumauer der Hang auf ungefähr 1000 m horizontale Erstreckung in Bewegung setzte. Die von der Dammkrone nach dem Gepatschhaus führende Strasse rutschte bis 1964 ungefähr 7–8 m bergab. Bergauf erstreckt sich das Rutschgebiet ungefähr 250 m bis zu einer Abrißspalte. Es wurden umfangreiche Beobachtungen angestellt. Bohrungen ergaben, dass die aus Gneis bestehende Rutschmasse örtlich auf Moräne ruht. Laut einer zu Beginn 1970 eingegangenen Mitteilung sind die Bewegungen so stark zurückgegangen, dass auf die Fortführung der Präzisionsmessungen verzichtet werden konnte.

Das Unterengadiner Erdbeben vom 14. August 1967

Am vorgenannten Tage ereignete sich in Mittel- und Ostbünden ein Erdbeben, das weitherum makroseismisch verspürt, aber auch auffällig weit entfernt in Mitteleuropa registriert wurde.

Herr Dr. R. FLORIN, Verwalter der eidg. Erdbebenwarte in Chur, nannte mir als stärkere, makroseismische Beobachtungen solche in Schuls (Scuol) und Umgebung, weniger starke in Sent, Martina und Val Müstair (Münstertal). Negative Meldungen erhielt ich aus Compatsch (Samnaun), aus dem oberen Münstertal, aus Bormio und Livigno (beides Prov. Sondrio, Italia).

Gemäss gütiger Auskunft von Herrn Prof. Dr. C. MORELLI, Direktor des Osservatorio geofisico sperimentale in Triest, wurden Erschütterungen des Unterengadiner Bebens u. a. an folgenden internationalen Stationen aufgezeichnet:

Name der Station	Geograph. Breite	Geograph. Länge	Höhe ü. M.
Basel			
Bensberg	50°57 N	7°10'	200 m
Budapest			
Cadarache (Frankreich)	43°40'	5°46'	
Collm (Leipzig)	51°18 N	13° E	230 m
Dourbes (Belgien)	50°06 N	4°35 E	224 m
Feldberg, Westdeutschland			
Feldberg, Taunus			
Fürstfeldbruck (W. München)			
Garchy, Frankreich	47°17 N	6°21 E	—
Haudompré, Frankreich	48°06 N	3°04 E	191 m
Heidelberg			
Isola, Frankreich	41°02 N	28°59 E	
Karlsruhe			
Kasperké Hory, Tschechoslowakei	49°07 N	13°35 E	65 m
Ljubljana, Jugoslawien			
Luxemburg			
Messtetten-Ebingen (Deutschland)	48°10 N	8°57 E	915 m
Monaco			
Moxa (Ostdeutschland)	50°36'	11°36 E	454 m
Neuchâtel			
Praha			
Pruhonice (Tschechoslowakei)	49°59 N	14°32 E	302 m
Strassburg			
Stuttgart			
Tübingen			
Wien-K.			
Zagreb			

Das Unterengadiner Beben war von Vorläufer- und Nachbeben begleitet. Am 21. August 1967, 4.30 Uhr, wurde in Tarasp nach Bericht von Herrn CHR. FANZUN sen. ein ziemlich starker, SW-NE gerichteter Stoss verspürt. Derselbe machte sich in den N des Inns bei Pradella gelegenen Baracken der EKW bemerkbar. Man befindet sich dort in der Randzone der Bündner Schiefer, im Innern des «Fensters».

Begleiterscheinungen

1. *Beobachtungen an Mineralquellen*

Wie zu erwarten war, machte sich die seismische Tätigkeit auch an den Mineralquellen durch Schüttungsschwankungen bemerkbar. Leider war eine genaue Registrierung nicht möglich.

2. *Beobachtungen im Druckstollen des Kraftwerks Pradella der Engadiner Kraftwerke AG*

Als intensive Bebenwirkung erfolgte von km 3,580 bis ca. 3,7 km von Fenster Bain Crotsch ein Einbruch. Die Gunitverkleidung wurde mit Ankereisen und Hauptdolomitwandung von den Paramenten in den Stollen geworfen, insgesamt ungefähr 80 m³ Schutt. Die hier befindlichen Arbeiter flüchteten stollenaufwärts in Richtung Scarltal;

sie nahmen ihre Arbeit erst zwei Tage später wieder auf. Die betroffene Stollenstrecke war einige Zeit vorher von unserem Mitarbeiter, Herrn Dr. G. TORRICELLI, geologisch aufgenommen worden. Sie liegt im Hauptdolomit der Unterengadiner Dolomiten-Schubmasse (S'charl-Decke = Silvretta-Decke). Die stärkste Wirkung war bei km 3,580 zu verspüren, sie klang gegen km 3,700 aus. Das Gestein ist bei km 3,6 ein ziemlich masiger Hauptdolomit. Bei km 3,7 führt er lehmige gelbliche Zwischenlagen und zeigt un-deutliche Schichtung. Das Gestein ist von Klüften durchsetzt. Bei km 3,770–80 machten sich Bergschläge unliebsam bemerkbar, sie lassen auf das Vorhandensein von Spannungen schliessen.

Die mikroskopische Untersuchung verschiedener Gesteinsproben aus der Trümmermasse ergab, dass eine mehr oder weniger brecciöse Quetschzone von Dolomit, Kalk und Mergel vorliegt. Das mergelige Gestein wird von Harnischen, das dolomitisch-kalkige von Calcitadern durchsetzt.

Der Felssturz im Val Sasstaglià (Piz S. Jon)

Gleichzeitig mit dem stärksten Erdstoss erfolgte ein grösserer Blocksturz und als-dann verschiedene Nachstürze am Südrand der steilen Runse von Sasstaglià, wo der Hauptdolomit des genannten Gipfels immer steiler und schliesslich senkrecht NNW ein-fällt. Meine Gewährsleute, die Herren CHR. und J. F. FANZUN, konnten als einzige Augenzeugen am 14. August 1967 um 11.15 Uhr den Abbruch der Blockmassen mit dem Fernrohr vom Lai Nair östlich Tarasp aus beobachten. Leute, die sich nördlich des Inns befanden, vermeinten, es mit einem Felssturz in das Val Lischana zu tun zu haben. Es ist nicht ausgeschlossen, dass Losbrüche auch von der Ostseite des Grates Piz S. Jon-Mot S. Jon erfolgten. Die Hauptmasse fuhr aber zweifellos ins Val Sasstaglià ab. Es ist wohl kein Zufall, dass sich an der Clemgia eine ältere und mächtigere Sturzmasse nachweisen liess (vgl. Bl. Scuol-Tarasp des geolog. Atlases). Die hauptsächliche Abbruch-stelle liegt merkwürdigerweise in ca. 2600 m ü. M., fast senkrecht über dem Stollenein-bruch (1543 m).

Wie bei früher in andern Gegenden erfolgten Beben, stellten Beobachter die Frage, ob der Felssturz das Beben oder letzteres den Bergsturz verursacht habe. Völlig klar lagen die Dinge bekanntlich in Vajont, wo der Aufprall der Sturzmasse und der dabei erzeugte Wasserschwall sich durch den ganzen alpinen Bau hindurch bemerkbar mach-ten. Im vorliegenden Fall war die Lage des Epizentrums nicht so leicht zu berechnen. Gemäss Auskunft der seismischen Station Strassburg lag der Herd bei $46,9^{\circ}\text{N}/10,3^{\circ}\text{E}$. Die Herddistanz wurde für Zürich mit 170 km, für Basel mit 290 km und für Neuchâtel mit 260 km angegeben. Damit könnte das Herdgebiet im Stilsferjoch-Ortlergebiet lie-gen.

Zunächst besteht aus guten Gründen die Tendenz, einen Epizentralpunkt und ein Hypozentrum anzunehmen. Da es sich in unserem Land um tektonische Beben handelt, müssen diese am ehesten durch Auslösung von Spannungen an Brüchen oder Gleitflä-chen (Überschiebungen) vor sich gehen. Man könnte versucht sein, die Bebenherde an grossen Schubflächen zu vermuten, die einerseits im Stelvio-Ortlergebiet, andererseits am Westrand der ostalpinen Decken bei Arosa und Davos ausstreichen. Die Situation ist auch eine ähnliche wie im Wallis, wo 1946 unter der basalen Schubfläche des Penni-nikums mehrere wenig tiefe Herde im Helvetikum festgestellt wurden, über deren einem der Felssturz vom Rawylhorn auf den Lac de Luchet und ins Becken von Zeu-zier niederprasselte.

Wir sind der Überzeugung, dass das Unterengadiner Bebengebiet noch genauer unter-sucht werden sollte, vorallem durch Installation registrierender Seismographen, was von zuständiger Stelle geplant ist.

Stellen wir zum Schluss die Frage nach den *Lehren*, die wir aus der Katastrophe von Vajont und andern Bergstürzen ziehen können.

Die für die Errichtung von Staubauten erforderlichen Vorarbeiten sind in den italienischen und amtlichen schweizerischen Verordnungen mit wünschenswerter Klarheit festgelegt.

Was nicht reglementiert werden kann, ist der zeitliche Ablauf der Dinge, der Moment des Unglücksfalles. Es hat dies zur Folge, dass die Wissenschaft mit ihren Feststellungen und Erklärungen oft hinter dem Unglück nachhinkt.

Reglemente und Verordnungen erfüllen ihren Zweck nur, wenn sie *schon vor Inangriffnahme der Bauten* zur Anwendung gelangen. Schon zu Beginn der Projektierung sollte eine eingehende geologische Prognose vorliegen. Dazu gehört vor allem eine grossmaßstäbige Aufnahme des Sperren- und des Speichergebietes. Die Gesteins- und Bodenbeschaffenheit ist in jeder Beziehung zu untersuchen.

Den lithologischen Verhältnissen, der gelegentlich weitgehenden Zertrümmerung des Gebirges durch die alpine Faltung ist genügend Rechnung zu tragen. Die Bergzerreissung, wie sie O. AMPFERER nannte, macht die Gesteinsmassen «bergsturzeif». Vor der Prognosestellung und vor Baubeginn ist abzuklären, ob Terrainbewegungen vor sich gehen und ob alte Bergsturz- oder Rutschmassen vorhanden sind. Die hydrologischen und glaziologischen Verhältnisse müssen bekannt sein. Desgleichen die Seismizität der Region.



Fig. 8: Mitte: Sturzmasse, teilweise mit Quartärüberdeckung (Versickerungstrichter). Darüber: Gleitfläche, hell. Mitte unten: Staumauer, mit Restsee.

Nur durch die Zusammenarbeit von Ingenieuren mit andern Wissenschaftern kann der Effekt von Katastrophen abgeschwächt oder sogar vermieden werden.

Anhang: Über die Rutschung von Reuchenette, Berner Jura, 17. Juni 1967.

Es interessiert vielleicht, einiges über den Bergrutsch von Reuchenette zu erfahren, der aus einer Klus abgefahren ist, den Verkehr unterbunden und den Betrieb der Zementwerke VIGIER behindert hat.

Die Klusen sind typische Quertäler des Faltenjuras, in denen es dann und wann zu Massenbewegungen kommt. Im Jahre 1937 überdeckte eine Rutschung in der Klus von Court die SBB-Linie und die Staatsstrasse, die beide über die Birs auf die andere Talseite verlegt werden mussten. Ähnlich lagen die Dinge 1967 in Reuchenette, wo Mergelkalke für die Zementfabrikation gewonnen werden. Aus einer Gewölbeflanke sind während einer Nacht mehrere 100 000 m³ Mergelkalk abgerutscht. Die neue Kantonsstrasse wurde auf einer mehrere 100 m langen Strecke seitlich deformiert. Der starke Betonbelag wurde längs und quer gefaltet und bis ca. 5 m gehoben. Auch das SBB-Geleise lag am nächsten Morgen zerrissen und ungefähr 5 m über dem normalen vorherigen Niveau. Glücklicherweise stand die alte Kantonsstrasse, die mitten durch das Fabrikareal führt, noch zur Verfügung. Die SBB mussten von Péry bis Biel einen Busverkehr einrichten. Anfänglich fuhren die Züge mit verminderter Geschwindigkeit (ca. 10 km), später normal.

Die im Rutschgebiet herrschenden Verhältnisse sind nichts weniger als einfach. Beim Abräumen des zerrissenen Betonbelages der Strasse machten sich Wasserzuflüsse unliebsam bemerkbar. Bei Regenwetter war das verknietete und verpappete Mergelmaterial als Rohstoff nur schwierig verwendbar.

Auch in Reuchenette werden die Juristen noch das letzte Wort haben.