Wiederinstandsetzung der Staumauer Ferden

Autor(en): **Bremen, Roger / Como, Giovanni / Satzgeber, Hermann**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **91 (1999)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940092

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Wiederinstandsetzung der Staumauer Ferden

Roger Bremen, Giovanni Como, Hermann Salzgeber

Einleitung

Die Jahresexkursion des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren (SNGT) vom 3./4. September 1999, führte ins Lötschental zur Besichtigung der Talsperre Ferden sowie des sich im Bau befindenden Fensterstollens der neuen Lötschberg-Alpentransversale.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem ausserordentlichen Lawinenniedergang vom 23. Februar 1999 auf die Stauhaltung Ferden sowie mit den damit verbundenen Schäden, Wiederinstandstellungsarbeiten und Sicherheitsaspekten.

Nach einer Darstellung des Lawinenereignisses selber, welches jegliches vorhersehbare Ausmass übertraf, werden die getroffenen Sofortmassnahmen und die angewandte Notfallstrategie kurz erläutert. Weiter sind die zurzeit in Ausführung stehenden Wiederinstandstellungsarbeiten und der Neubau der beschädigten Bauten beschrieben. Schliesslich werden noch für die Beurteilung der Staumauersicherheit wesentliche Aspekte der Überwachung und Auswertung der Messdaten kurz erläutert. Lehren, welche aus diesem aussergewöhnlichen Vorfall zu ziehen sind, werden in den Schlussbemerkungen hervorgehoben.

Stauanlage Ferden

Das im Jahre 1975 in Betrieb gesetzte Kraftwerk Lötschen nützt die Gewässer der Lonza zwischen den Gemeinden Ferden und Gampel/Steg. Von der auf Kote 1311,0 m ü. M. liegenden Stauhaltung wird der Abfluss durch einen 6,85 km langen Druckstollen und einen 1,31 km langen Druckschacht geführt. Mit einem Bruttogefälle von 664 m und einer Ausbauwassermenge von 20 m^3/s werden im Kraftwerk Steg zwei vertikalachsige Peltonturbinen mit einer Gesamtleistung von 110 MW gespeist. Die Jahresproduktion der Anlage beträgt im Mittel etwa 324 GWh, wovon aber nur etwa 15% auf die Winterperiode entfallen.

Die Staumauer Ferden mit einer maximalen Höhe von 67 m und einer Kronenlänge von 106 m bildet eine zur Wochenregulierung vorgesehene Stauhaltung mit einem nutzbaren Stauinhalt von 1,72 Mio m^3. Die in Bild 1 dargestellte Bogenmauer weist wegen der am rechten Ufer herrschenden besonderen Fundationsbedingungen ein künstliches Widerlager auf. Zu bemerken sind noch die im Mauerkörper vorhandenen Öffnungen der Grundablässe sowie das sich auf der Luftseite befindende Treppenhaus und die Bedienungsgalerie, welche den Zugang zu den Grundablassschützen und der Triebwasserfassung erlauben.

Die zur Überwachung der Bogenmauer installierten Messinstrumente sind ebenfalls in Bild 1 dargestellt. Es ist zu bemerken, dass die Transformierungs- und Verteilanlage für den örtlichen Energiebedarf, die Wasserstandsmessung sowie sämtliche Messeinrichtungen in der Bedienungsgalerie untergebracht waren.

Ein Vertikalschnitt durch den mit der Hochwasserentlastung versehenen zentralen Block der Bogenstaumauer ist in Bild 2a dargestellt. Dieser ist mit einem Schwimmlot und einem Freilot sowie gesamthaft 18 Thermometer ausgerüstet. Der Block Nr. 5 mit den Öffnungen beider Grundablässe und der darüberliegenden Bedienungskammer ist in Bild 2b dargestellt.

Lawinenereignis vom 23. Februar 1999

Ab Mitte Februar fanden im Lötschental in Höhen ab 1500 m ü. M. aussergewöhnlich

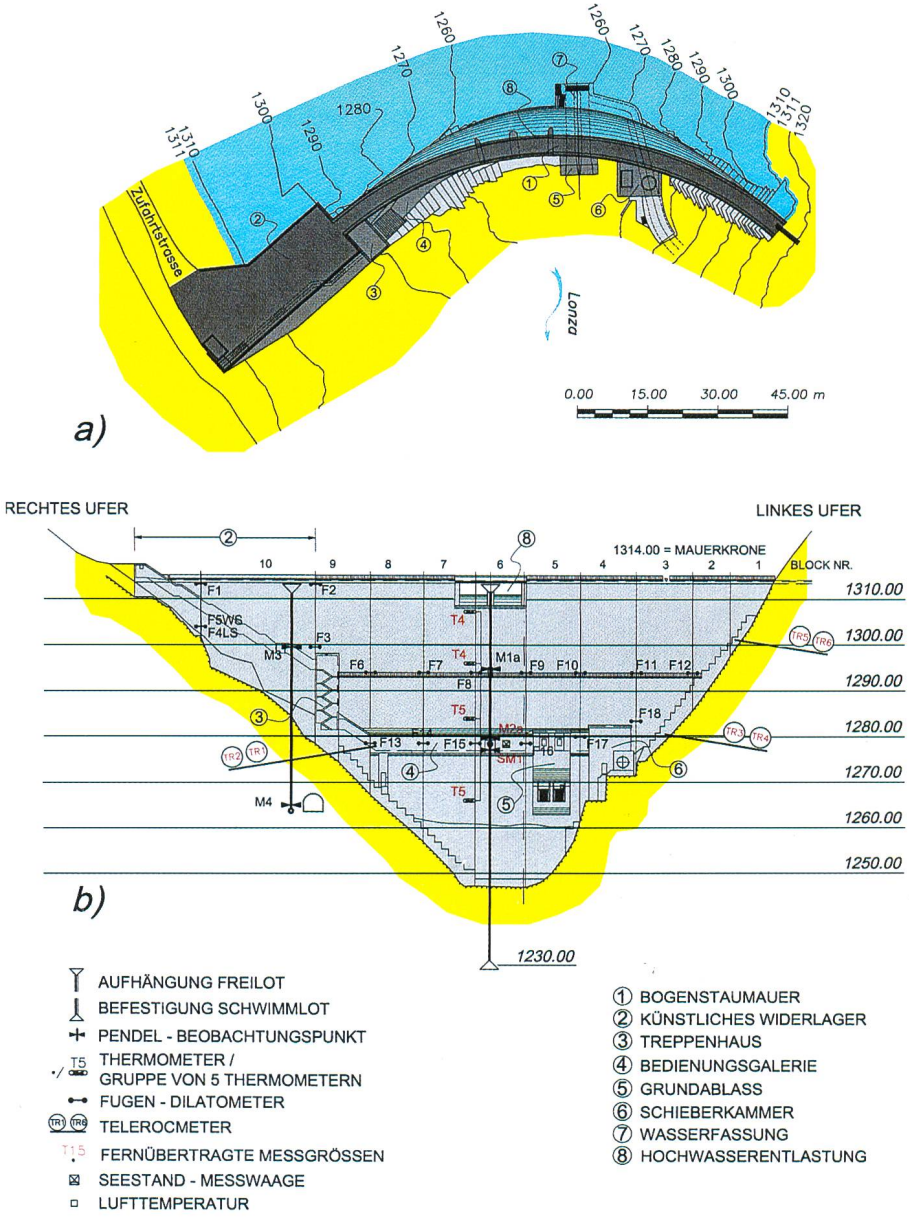

Bild 1. Situation (a) und luftseitige Abwicklung (b) der Bogenmauer Ferden mit Darstellung der Messeinrichtungen.

intensive Schneefälle statt, welche in neun Tagen auf einer Höhe von 2700 m ü.M. zu einer kumulierten Neuschneemenge von 3,83 m führten. Zahlreiche Lawinenniedergänge versperrten den Zugang zum Lötschental für mehr als eine Woche.

Am Nachmittag des 23. Februar 1999 ging eine aussergewöhnlich mächtige Lawine aus dem Seitental des Faldumbaches auf die Stauhaltung Ferden nieder. Spätere Ermittlungen ergaben eine geschätzte Schneemenge von gesamthaft 250000 bis 300000 m^3 mit einer mittleren Dichte von 0,75 t/m^3. Etwa ein Drittel der mit einer geschätzten Aufprallgeschwindigkeit von 28 m/s niedergegangenen Lawine gelangte in die Stauhaltung, während sich auf der Luftseite ein 300 m langer Lawinenkegel bildete.

Einen ersten Eindruck über das Ausmass und die Wucht der Lawine konnte man erst am 28. Februar nach dem Freilegen der Zufahrtstrasse bekommen. Wie aus Bild 3 zu entnehmen ist, erreichte die Schneehöhe auf der Luftseite der Sperre etwa 30 m, so dass nur noch etwa das oberste Drittel der Bogenmauer herausragte. Sämtliche Geländer, Zugangsstege und Messpfeiler im Bereich der Mauer waren stark beschädigt oder ganz zerstört. Nach dem Freilegen des völlig mit Schnee gefüllten Treppenhauses wurde festgestellt, dass die Bedienungsgalerie ebenfalls zerstört war. Weiter ergab sich, dass die Bedienungskammer der Grundablassschützen ganz mit vereistem Schnee gefüllt war. Die sich in der Galerie befindenden Anlagen und Messeinrichtungen standen alle wegen des Ausfalles der Energieversorgung ausser Betrieb und waren ebenfalls teilweise zerstört. Die gesamte Messeinrichtung inklusive Wasserstandsmessung war somit nicht mehr betriebsfähig.

Nachdem das Ausmass der Lawine und die damit verbundenen Schäden grob abgeschätzt werden konnten, wurden seitens der KW Lötschen AG eine ganze Anzahl von Massnahmen getroffen, um so schnell wie möglich die Sicherheit der Anlage zu überprüfen und den Betrieb wieder gewährleisten zu können. Zu diesen Massnahmen gehörten unter anderem ein Absenken der Stauhaltung bis auf Kote 1290 m ü.M., die Bereitstellung beider Maschinengruppen, um die maximale Ableitkapazität des Kraftwerkes ausnützen zu können, sowie natürlich die Benachrichtigung aller Behörden und Konzessionsgemeinden.

Unter ständiger Kontrolle der Lawinengefahr, wurden ausserdem die Schneeräumungsarbeiten im 2-Schicht-Betrieb sofort in Angriff genommen, um raschestmöglich eine Besichtigung und Funktionskontrolle der Grundablasseinrichtungen und der Drosselklappe zu ermöglichen.

Am 8. März fand eine Ortsschau mit den Aufsichtsbehörden statt, bei welcher die Lage beurteilt und das weitere Vorgehen festgelegt wurde. Ausser der Ausarbeitung einer Notfallstrategie wurde beschlossen, die Instandstellung der Messeinrichtung sowie die luftseitige Schneeräumung weiterhin mit Vorrang vorzunehmen. Weiter wurde von den Aufsichtsbehörden eine Überprüfung der

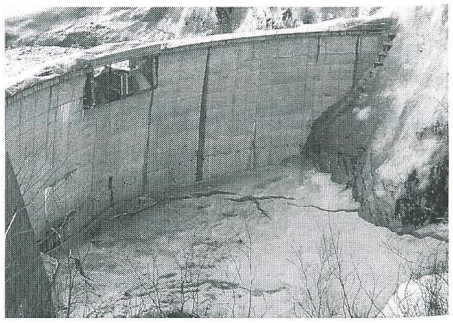

Bild 3. Situation der Bogenmauer Ferden nach dem Niedergang der Faldumlawine am 23. Februar 1999 (Lage am 28. Februar 1999).

Hochwassersicherheit der Anlage mit Berücksichtigung der ausserordentlichen Umstände (Grundablässe ausser Betrieb, mögliche Verklausung der Hochwasserentlastung durch Baumstämme und/oder Eisblöcke) gefordert.

Die stark beschädigte Bedienungsgalerie, so wie sie nach dem Freilegen der Schneeüberlagerung vorgefunden wurde, ist in Bild 4 ersichtlich.

Während eines Monats wurden im Tag-und-Nacht-Betrieb die Schneeräumungsarbeiten durchgeführt, um möglichst rasch einen Kanal im Lawinenkegel auszubilden, der beim Anspringen der Hochwasserentlastung oder bei der Öffnung der Grundablässe einen möglichst freien Ablauf der Wassermengen gewährleisten sollte. Die provisorische Instandstellung der Messeinrichtung sowie sämtliche Reparaturarbeiten wurden ebenfalls unter Zeitdruck vorangetrieben.

Nachdem am 13. und 14. Mai 1999, also etwa 2,5 Monate nach dem Lawinenniedergang, die Hochwasserentlastung ansprang und ein Abfluss von etwa 25 m^3/s problemlos im Lawinenkegel abgeleitet wurde, konnte wieder zum Normalbetrieb übergegangen werden.

Wiederinstandstellung und Neubau der beschädigten Bauten

Schon während der Schneeräumung wurde mit der Ausarbeitung eines Projektes zur Wiederinstandsetzung und dem Neubau der beschädigten Nebenbauten begonnen. Als Grundlage zur Projektierung galten folgende Nutzungs- und Sicherheitsanforderungen:

- der Zugang zur Bedienungsgalerie sowie zu allen Abschlussorganen ist auch im Falle der grösstmöglichen Lawine zu gewährleisten.
- Auch im Falle der grösstmöglichen Lawine soll die volle Sicherheit gewährleistet sein.

Um diese Sicherheitsanforderungen einzuhalten und die neuen Bauwerke dementsprechend bemessen zu können, muss-

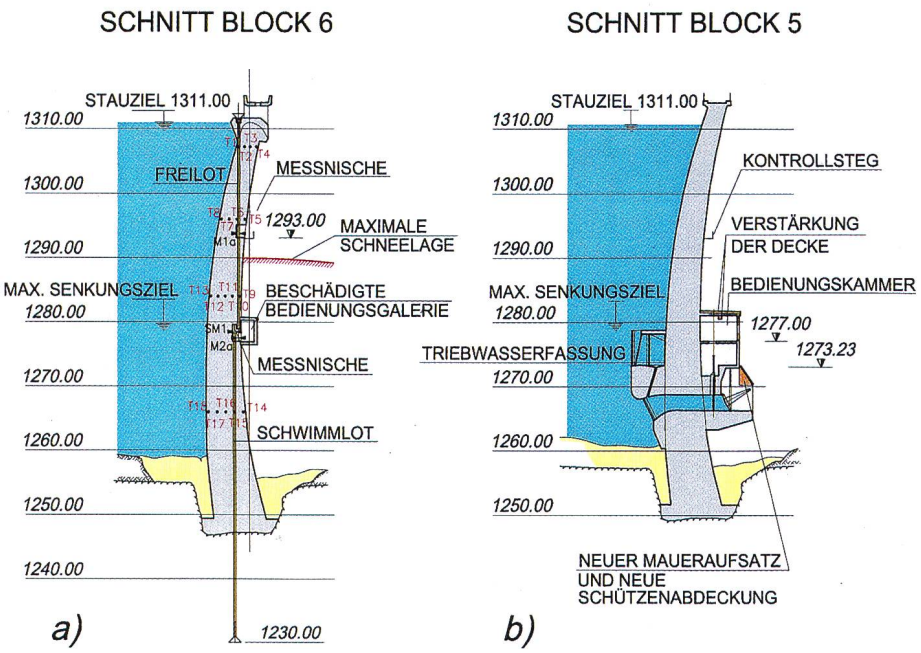

Bild 2. Vertikalschnitte der Bogenmauer: a) Zentraler Block mit vorhandenen Messeinrichtungen und b) Block Nr. 5 mit Grundablassöffnungen und Wiederinstandstellungsarbeiten.

Bild 4. Freigelegte und stark beschädigte Bedienungsgalerie. Die Bedienungsgebäude der Grundablassschützen und der Triebwasserfassung sind im oberen Teil des Bildes zu erkennen (Stand 12. März 1999).

ten in erster Linie die beim Niedergang der Lawine einwirkenden Lasten bestimmt werden. Mit Berücksichtigung der vorhandenen Armierung der Bedienungsgalerie sowie der Bedienungskammer der Grundablässe und der Triebwasserfassung konnten die theoretischen Bruchmomente dieser Bauwerke bestimmt werden. Dank einem statischen Modell der Bedienungsgalerie, welche als einziges Bauwerk einen Strukturzusammenbruch erlitt, konnte die Bruchreihenfolge bestimmt werden, die zur festgestellten Bruchgeometrie führte. Somit konnten, durch Einsetzen der bereits bestimmten Bruchmomente, die aufgetretenen Belastungen mit einer genügenden Zuverlässigkeit abgeleitet werden. Die ermittelten Lastbedingungen der zerstörten Bedienungsgalerie stellten somit eine untere Grenze der Last dar, während die Nachrechnungen für die nur leicht beschädigten Bedienungskammern eine im vorliegenden Fall nicht erreichte obere Grenze ergaben.

Auch wenn der durch dynamische Effekte beeinflusste Bruchmechanismus nicht in allen Details nachgebildet werden konnte, ergab sich aus den statischen Berechnungen beim Niedergang der Lawine vom 23. Februar eine hauptsächlich vertikale Belastung von ca. 100 bis 120 kN/m^2. Anhand dieser Erkenntnisse wurden für die Bemessung aller Nebenbauwerke eine vertikale Bemessungslast von 150 kN/m^2 und eine horizontale Bemessungslast von 30 kN/m^2 angenommen. Diese Belastungen wurden vom Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in einer separaten Studie und durch die Anwendung eines eigenen numerischen Simulationsmodells des Lawinenniederganges bestätigt.

Die neu zu erstellenden sowie die noch vorhandenen Nebenbauwerke wurden somit unter Berücksichtigung der obenerwähnten Lastbedingungen bemessen, respektive überprüft, woraus sich die Notwendigkeit ergab, praktisch alle Nebenbauwerke in verschiedenem Ausmass zu verstärken.

Was die praktisch vollständig zerstörte Bedienungsgalerie anbelangt, wurde das neue Bauwerk wesentlich massiver und kompakter gestaltet, wie aus Bild 5 zu entnehmen ist.

Die Bedienungskammern der Grundablässe und der Triebwasserfassung wurden durch eine Verstärkung der Decke den neuen Lastbedingungen angepasst. Für die Bedienungskammer der Grundablässe erwies sich eine zusätzliche Verstärkung im Innenraum als unumgänglich. Die vorhandenen Fenster wurden verkleinert und mit einer Panzerung versehen.

Schliesslich wurden noch eine ganze Anzahl von kleineren Bauwerken, wie der Übergang vom Treppenhaus zur Bedienungsgalerie oder die Überdeckung der Grundablassschützen, verstärkt oder neu erstellt.

Nach der Genehmigung des Bauprojektes seitens des BWW sowie der Erteilung der Baubewilligung, konnte mit den Bauarbeiten in der zweiten Augusthälfte begonnen werden. Die zurzeit nach dem Bauprogramm und termingerecht in Ausführung stehenden Arbeiten sehen eine Fertigstellung der Bauwerke für Ende November vor. Die gesamten Rohbaukosten belaufen sich auf etwa 800000 Franken, das gesamte Schadenpotential liegt hingegen bei ca. 2,5 Mio Franken.

In Bild 6 sind die Schalungs- und Betonierarbeiten der neuen Bedienungsgalerie ersichtlich.

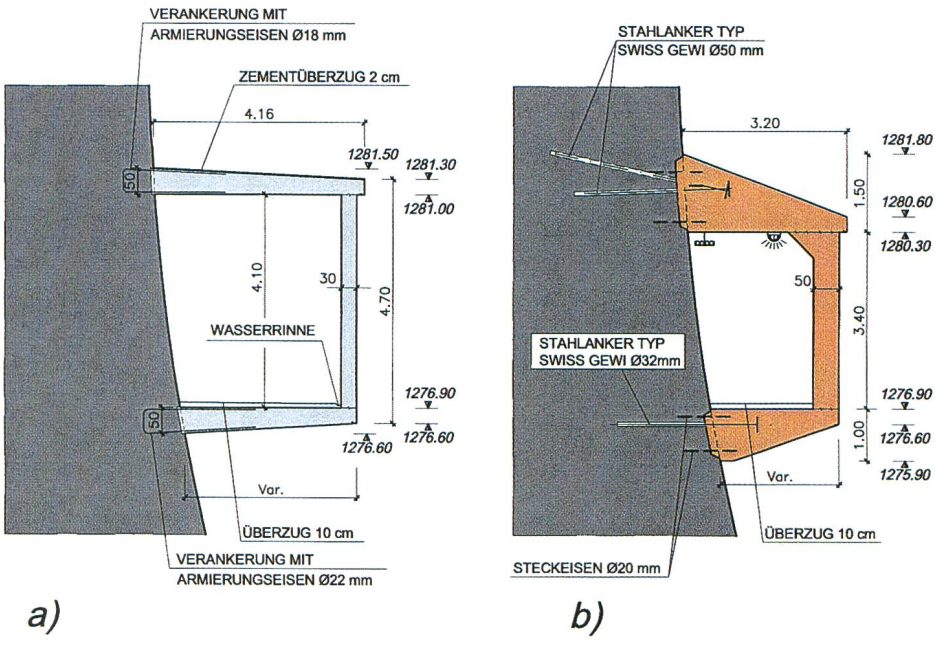

Bild 5. Typischer Querschnitt der zerstörten (a) sowie der neuen Bedienungsgalerie (b) auf der Luftseite der Bogenmauer.

Überwachung der Talsperre nach dem Lawinenereignis

Wie schon erwähnt, stand nach dem Lawinenniedergang die gesamte Messeinrichtung der Bogenstaumauer ausser Betrieb. Dies nicht nur wegen des Stromausfalls, sondern auch wegen der Beschädigung eines Teiles der Messinstrumente.

Auch wenn keine offensichtlichen Schäden an der Bogenmauer selbst festzustellen waren, konnte eine definitive Antwort zum Verhalten der Sperre während des aussergewöhnlichen Ereignisses nur nach der Wiederinstandstellung der Messinstrumente gegeben werden.

Mit Ausnahme von einzelnen partiellen Messungen wurden die automatischen

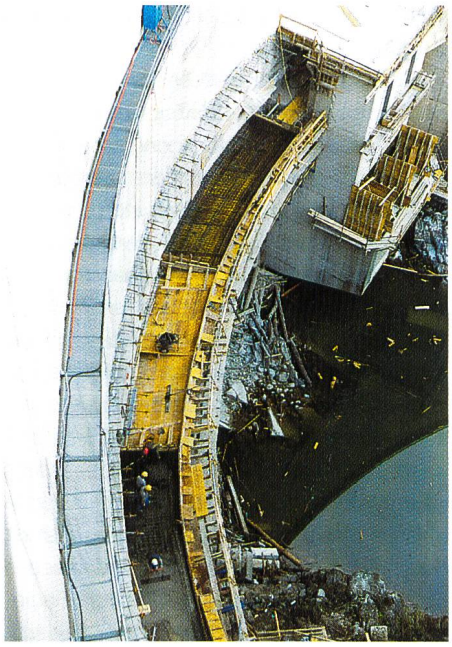

Bild 6. Erstellung der neuen Bedienungsgalerie. Schalung und Betonierarbeiten der Sohle (Stand am 14. Oktober 1999).

Verformungsmessungen erst Anfang April wieder aufgenommen, d.h. etwa fünf Wochen nach dem Lawinenniedergang.

In Bild 7 sind als Beispiel die Wasserstandsmessung und die radiale Verformung der Mauerkrone (P1a) vor und nach dem Lawinenereignis dargestellt.

Wie aus Bild 7 zu entnehmen ist, wurde zwischen der letzten Messung vor dem Lawinenniedergang und der ersten Messung Anfang April eine Verschiebung der Mauerkrone von etwa 11 mm festgestellt. Während der fünfwöchigen Zwischenzeit hatten sich natürlich auch der Wasserstand und die Temperaturverteilung im Mauerkörper geändert, so dass sich zur Auswertung der feststellbaren Kronenverschiebung die Ermittlung des tatsächlichen statischen Zustandes als unerlässlich erwies.

Die für die Talsperre Ferden installierte Überwachungssoftware MIC erlaubte durch das integrierte deterministische Modell diese Bewertung unmittelbar durchzuführen. Anhand des gemessenen Wasserstandes sowie der Temperaturverteilung im Mauerkörper berechnet das Überwachungsprogramm den Einfluss beider Faktoren auf die Verformung der Mauer. Dies geschieht, indem die gemessene Verformung so korrigiert wird, dass sie sich auf einen fixen Referenzbelastungsfall der Mauer bezieht. Im Falle der Bogenmauer Ferden wurde als Referenzbelastungsfall ein Seestand von 1300 m ü.M. und eine Betontemperatur von 0 °C gewählt. Die so ermittelte Vergleichsverformung sollte rein theoretisch im Laufe der Zeit konstant bleiben. Wegen unvermeidbarer Ungenauigkeiten in der Datenerfassung und -übertragung sowie nicht exakter Übereinstimmung des mathematischen Modells mit der Realität sind Abweichungen nicht zu vermeiden. Zur Interpretation des Mauerverhaltens müssen daher Toleranzgrenzen beigezogen werden.

Wie auf Bild 7 deutlich zu erkennen ist, ergibt sich vor und fünf Wochen nach dem Lawinenniedergang praktisch eine unveränderte Vergleichsverformung, was eindeutig ein den Erwartungen entsprechendes Verhalten der Bogenmauer bezeugt.

Ab Mitte Juni bis Ende Juli befindet sich die Vergleichsverformung aber zweifellos ausserhalb der üblichen Werte. Diesbezügliche Untersuchungen haben ergeben, dass im Rahmen der Wiederinstandstellung der Messinstrumente gewisse elektrische Verbindungen falsch angeschlossen wurden, was zu fehlerhaften Messungen geführt hat.

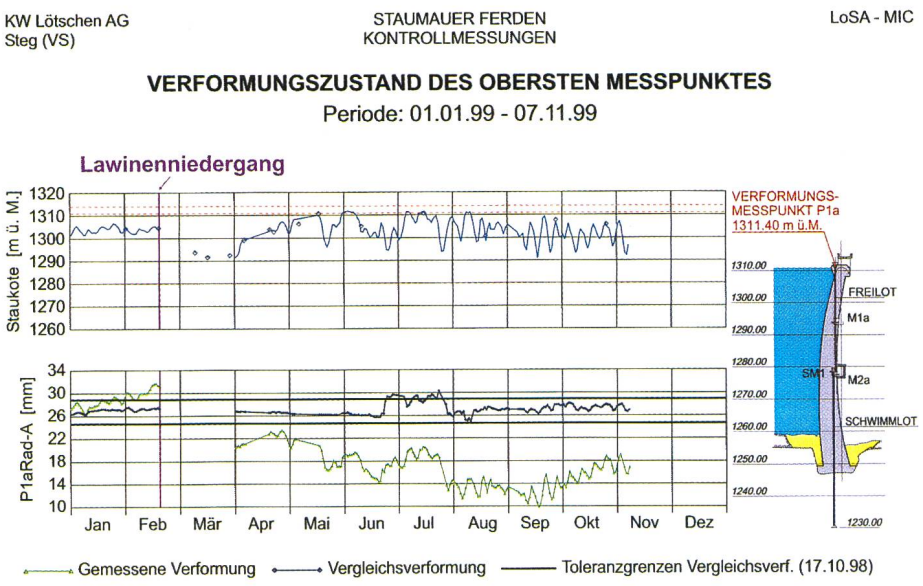

Bild 7. Wasserstandsmessung und radiale Verformung der Mauerkrone während der Periode vom 1. Januar bis zum 7. November 1999.

Es ist zu bemerken, dass allein anhand der gemessenen Verformungen diese Anomalie nicht zu erkennen gewesen wäre.

Die Berechnung der Vergleichsverformung aufgrund eines deterministischen Modells hat sich somit im vorliegenden Fall als ein sehr zuverlässiges Hilfsmittel zum raschen Erfahren des tatsächlichen Sperrenverhaltens erwiesen.

Schlussbemerkungen

Die aussergewöhnlichen Schneefälle vom Winter 1998/99 und die darauf zurückzuführenden Schäden an den Nebenanlagen und an der Messeinrichtung der Staumauer Ferden haben die Notwendigkeit der Bemessung dieser Bauwerke für extreme Einwirkungen bewiesen. Vor allem den Anlagen, welche für die allgemeine Sicherheit und Überwachung massgeblich sind, soll spezielle Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Unter diesem Gesichtspunkt wurde ein Projekt für den Neubau und die Wiederinstandstellung der beschädigten Bauwerke sowie ein Instrumentierungskonzept erstellt, das in Zukunft den Betrieb der Anlage bei ähnlichen Bedingungen ohne Einschränkungen erlaubt und die Sicherheit der Anlage voll gewährleistet.

Was die Bewertung des Verhaltens der Sperre selbst anbelangt, ist zu bemerken, dass besonders im Falle von aussergewöhnlichen Ereignissen die rasche und zuverlässige Analyse der Messdaten eine einschneidende Bedeutung erlangt. Unter diesen Bedingungen scheint ein deterministisches Modell der Sperre einer statistischen Auswertung überlegen zu sein, weil die letztere grundsätzlich nicht in der Lage ist, ausserordentliche Zustände zu deuten.

Schliesslich sei noch zu erwähnen, dass zur Bewältigung dieses ausserordentlichen Ereignisses und dessen Folgen eine konstruktive Zusammenarbeit aller beteiligten Parteien (Eigentümer, Behörde, Gemeinden, projektierende Ingenieure usw.) ausschlaggebend ist. Nur unter solchen Bedingungen konnten die Bauarbeiten an den Nebenanlagen der Staumauer Ferden in der kurzen Zeitspanne von nur drei Monaten plangemäss ausgeführt werden.

Adressen der Verfasser

R. Bremen und *G. Como,* Lombardi AG, Beratende Ingenieure, Via *R. Simen* 19, CH-6648 Minusio.

H. Salzgeber, KW Lötschen AG, c/o Alusuisse-Lonza Energie AG, CH-3930 Visp.