

# Verformungsmessungen in der Felsunterlage der Staumauer Albigna

Autor(en): **Zingg, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83 (1965)**

Heft 42: **Prof. G. Schnitter zum 65. Geburtstag, 1. Heft**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68290>

## **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.

Äusserung in einem Artikel, den Nationalrat Dr. O. Reverdin unter dem Titel «Répit et non satisfecit» unmittelbar nach der Volksabstimmung vom 28. Februar 1965 im «Journal de Genève» veröffentlichte: «Marier le libéralisme et la programmation n'est pas chose facile; mais le libéralisme est en bien plus grand danger encore quand il fait de l'anarchie sa compagne, et l'on en peut dire autant du fédéralisme: la Suisse ne rétablira une situation compromise que si, au prix d'un effort d'imagination comparable à celui qu'elle a fait en 1848, elle adapte courageusement ses méthodes et ses institutions aux exigences de l'époque.»

Der Bericht des Bundesrates über seine Geschäftsführung im Jahre 1964 enthält in folgender Erklärung eine ähnliche Feststellung: «Die ungeahnt stürmische Entwicklung der Technik in allen Bereichen und die Schwierigkeiten, die damit für ein Schritthalten des Bundes in seinem heutigen Aufbau und mit den zur Verfügung stehenden Mitteln verbunden sind, zwingen zu einer Überprüfung der Leistungsfähigkeit unserer staatlichen Einrichtungen».

Vielleicht wird sich der eine oder andere Leser fragen, weshalb im Rahmen dieser, Professor Schnitter gewidmeten Sondernummer

vom engeren beruflichen Gegenstand des vorliegenden Artikels abschliessend auf dieses viel allgemeinere Thema hingewiesen wird.

Der Schreibende hat sich zu diesem Ausblick von der beruflichen Ebene auf dieses generelle Problem nicht nur in der Überzeugung verleiten lassen, dass dessen Lösung für die Zukunft der schweizerischen Wirtschaft von grösster Bedeutung ist, sondern vor allem im Bewusstsein, dass auch Professor Schnitter seine Besorgnis darüber teilt. Während einer bereits 24-jährigen Zusammenarbeit hatte er Gelegenheit, die hervorragende und vielseitige Begabung, sowie das weitblickende und sichere Urteilsvermögen von Professor Schnitter in ganz besonderer Weise zu schätzen. Wir können uns alle freuen, in der Schweiz so eminente Persönlichkeiten zu finden. Soll aber unser Land wirklich, im Sinne der vorerwähnten Äusserung von Nationalrat Reverdin, mit Mut («courageusement») und Vorstellungskraft («effort d'imagination») seine Methoden und Institutionen den Anforderungen unserer Zeit anpassen, so muss es sich auf solche Persönlichkeiten nicht nur zur Lösung von beruflichen Spezialaufgaben stützen, sondern auch auf ihre Ratschläge, wenn, wie heute, Probleme höherer Ordnung im Spiele sind.

## Verformungsmessungen in der Felsunterlage der Staumauer Albigna

DK 627.824.7:624.131.25

Von **Walter Zingg**, dipl. Ing. ETH, Zürich

Die Stadt Zürich baute in den Jahren 1955 bis 1960 die Bergeller Kraftwerke mit dem hoch gelegenen Stausee Albigna südlich von Vicosoprano, nahe dem schweizerisch-italienischen Grenzkamm. Das Projekt wurde vom Büro für Wasserkraftanlagen der Stadt Zürich ausgearbeitet, welches auch die Bauleitung ausübte und die Überwachung der Anlagen besorgte.

Die *Staumauer Albigna*, eine Gewichtsmauer von 115 m grösster Höhe und 760 m Kronenlänge, weist eine Betonkubatur von 940 000 m<sup>3</sup> auf; die Dicke ihres höchsten Mauerblockes misst am Fuss 83,5 m, an der Krone 7 m (Bild 1). Die Trennfugen zwischen den 20 m langen Mauerblöcken sind zu Hohlräumen von 5 m lichter Breite erweitert. Die Mauerkrone liegt auf 2165 m ü. M. Der Wasserspiegel des Stausees schwankt jahreszeitlich zwischen den Koten 2065 und 2162,6 m ü. M., entsprechend einem energiewirtschaftlich nutzbaren Inhalt von 67 Mio m<sup>3</sup>, welchem ein Hochwasser-Rückhalteraum von 2,5 Mio m<sup>3</sup> überlagert ist.

Die Mauer wurde in den Jahren 1957/59 erstellt. Im Sommer 1959 erfolgte ein Teilstau bis Kote 2112, im Jahre 1960 erstmals der Vollstau.

Die Talsperre ruht auf einem quer zum Tal liegenden markanten Riegel aus gesundem, meist grobkörnigem Granit, den frühere Vorstösse des Albignagletschers auf grossen Flächen glatt gescheuert

haben. Der Bergeller Granit ist das frischeste und unversehrteste Gestein der schweizerischen Alpen. Der Fundamentaushub beschränkte sich zur Hauptsache auf die Beseitigung der vereinzelt Schuttüberlagerungen und auf das Aussprengen je eines 2 ÷ 3 m tiefen Sporns am seeseitigen und am talseitigen Mauerfuss. Der Granit ist vorwiegend massig, aber von vielen, ganz regellos verlaufenden, feinen Klüften und feinsten Rissen durchzogen. Seeseits und talseits der Sperrstelle fällt die Oberfläche des Felsriegels steil ab. Das mit Gesschiebe und Sand ausgefüllte alte Seebecken reicht bis 120 m tief unter den Talboden. Die Klüfte und feinen Risse im Felsuntergrund wurden in der heute bei grossen Talsperren gebräuchlichen Weise mit Zementinjektionen abgedichtet. Die Menge eingepressten Zementes betrug 3600 t, im Mittel 50 kg je m<sup>2</sup> Abdichtungsschirm, oder 110 kg je m<sup>2</sup> Fundament-Grundfläche.

Die *Verformungskontrollen an der Mauer* umfassen die heute bei den meisten grossen Talsperren üblichen Pendel- und Klinometermessungen, Präzisionsnivelemente über die ganze Länge des Bauwerkes und geodätisch-trigonometrische Kontrollen der Krone und des talseitigen Mauerfusses. An sechs Mauerblöcken sind in den Fugenhohlräumen Pendel angebracht, die vom obersten Kontrollgang (12 m unter der Mauerkrone) bis zur Felsoberfläche reichen und in Höhenabständen von je 18 m Ablesestellen aufweisen. Die interes-

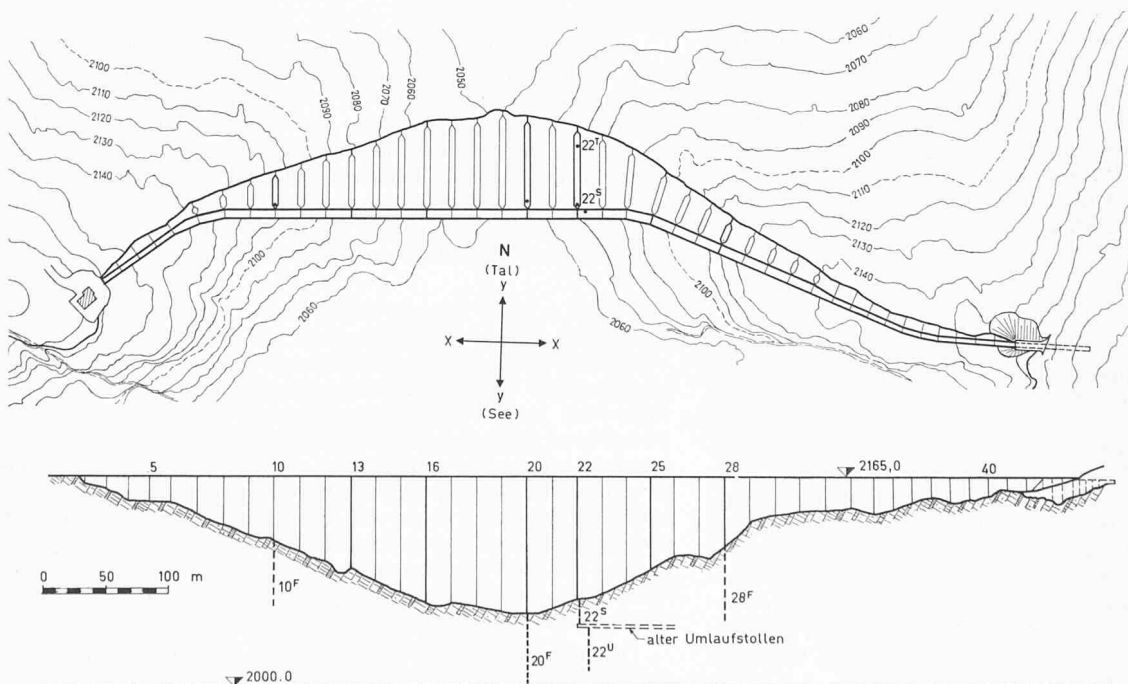


Bild 1. Ansicht und Grundriss der Staumauer Albigna, Massstab 1:6000

santen Ergebnisse der Messungen aus den Jahren 1960–1963 sind dargestellt in dem Buch<sup>1)</sup> «Comportement des Grands Barrages Suisses», welches das Schweizerische Nationalkomitee für grosse Talsperren kürzlich herausgegeben hat. In Ergänzung zu jener Veröffentlichung beschränkt sich der vorliegende Aufsatz auf die Beobachtung der

### Verformungen in der Felsunterlage

Es war zu erwarten, dass der den Sockel der Staumauer bildende schlanke und hohe Felsriegel mit der Stauhöhe wechselnde, ziemlich grosse Verformungen erleiden werde. Interessant und für die Überwachung der Talsperre von Bedeutung ist es, das Mass dieser Verformungen bis in möglichst grosse Tiefen kennen zu lernen.

Der Elastizitätsmodul der Granitformation wurde nicht direkt gemessen. Die Auswertung der Ergebnisse der unter verschiedenen Stauhöhen durchgeführten Verformungsmessungen lassen indirekt auf eine Grössenordnung von  $E = 300\,000 \text{ kg/cm}^2$  schliessen.

Über die Staumauer Albigna und deren Umgebung wurde ein Netz von Vermessungspunkten gelegt, welche von weiter entfernten Stationen, die als unverschieblich vorausgesetzt sind, trigonometrisch beobachtet werden. Ein Nachteil dieser *geodätischen Kontrolle* besteht aber bei Talsperren in alpinen Gebieten darin, dass im Frühjahr, bei üblicherweise entleertem Stausee, die Punkte am talseitigen Mauerfuss und in dessen Umgebung unter tiefen Schneemassen begraben sind und jeweils nur mit sehr grossem Aufwand freigelegt werden können. Deshalb wurden auf der Albigna die trigonometrischen Kontrollen bei leerem See auf die beiden Frühjahrs-Messungen 1960 und 1961 beschränkt, die Herbstmessungen bei vollem See jedoch bis 1962 jährlich und seither in Intervallen von zwei Jahren durchgeführt.

Für die Ermittlung des Masses der Felsverformung in Abhängigkeit von der Stauhöhe im Albignasee dienen nun in erster Linie die *tiefreichenden Pendeleinrichtungen*. Die Pendelmessungen haben den Vorzug, dass sie unabhängig von der Jahreszeit und der Witterung jederzeit möglich sind, und dass ihre einfache Durchführung und sofortige Auswertung nur wenig Aufwand erfordert. Ihnen fällt die Aufgabe der laufenden Überwachung des Verhaltens der Felsunterlage zu, so dass die Intervalle der geodätischen Kontrollen der Felsoberfläche auf mehrere Jahre verlängert werden können.

In den Fugenhohlräumen Nr. 10, 20, 22 und 28 wurden nahe der seeseitigen Mauerflucht Bohrungen abgeteuft, die 54 m, 50 m, 60 m und 70 m tief in den Fels reichen. Die Bohrung 20 befindet sich in Talmitte, also unter dem höchsten Mauerblock, während die Bohrungen 10 und 28 je in den beidseitigen Flanken des Talriegels angeordnet sind. Von begehbaren Pendelschächten sah man wegen der hohen Erstellungskosten und der für die Durchführung der Messungen erforderlichen Wasserhaltung ab. Für die vom Büro für Wasserkraftanlagen entwickelte und in den Bohrungen 10, 20 und

<sup>1)</sup> 320 Seiten, zahlreiche Abbildungen, zu beziehen beim Sekretariat des Schweiz. Nationalkomitees für grosse Talsperren, Bahnhofquai 5, 8023 Zürich; Preis 50 Fr.

28 eingebaute Messeinrichtung, die nachstehend beschrieben wird, waren folgende Überlegungen und Bedingungen massgebend:

- In ein und demselben Bohrloch müssen Verschiebungsmessungen in mehreren Horizonten möglich sein;
- aus wirtschaftlichen Erwägungen soll der Bohrloch-Durchmesser verhältnismässig klein gehalten werden;
- die Messungen sollen auch in Bohrlöchern möglich sein, bei denen es bohrtechnisch nicht gelingt, eine lotrechte Axe einzuhalten;
- die Pfeilhöhe einer bohrtechnisch allenfalls unvermeidlichen Krümmung der Bohrlochaxe darf das Mass des lichten Lochdurchmessers nicht überschreiten;
- der Messvorgang soll instrumental möglichst einfach und vom Wasserstand im Bohrloch unbeeinflusst sein.

Sogenannte Umkehr- oder Schwimmpendel, bei denen der Pendeldraht am untern Bohrlochende fixiert und durch einen am obern Ende in einer Wanne schwimmenden Hohlkörper gestreckt und in lotrechter Lage gehalten wird, können die Bedingung (a) nur mit erheblichen konstruktiven Schwierigkeiten und die Bedingung (c) gar nicht erfüllen. Die Bedingung (e) schliesst die Anwendung optischer Lote aus.

Bild 2 veranschaulicht die von der Bauleitung für die tiefen Bohrungen 10, 20 und 28 entwickelte Lösung mit «Referenzpendeln», und aus Bild 3 sind die geometrischen Voraussetzungen und die rechnerische Auswertung der Messungen ersichtlich. Es ist zu beachten, dass der Quotient  $H/h = m$  ( $H =$  Messtiefe im Fels,  $h =$  Länge des Referenzpendels) von erheblicher Bedeutung ist. Mit wachsendem  $m$  wächst der Einfluss von Ablesefehlern auf die Ergebnisse der Auswertung. Es ist deshalb ein möglichst grosses  $h$ , d. h. ein möglichst hoher Aufhängepunkt für das Referenzpendel anzustreben. Die hohen Fugenhohlräume in der Staumauer Albigna entsprechen diesem Erfordernis in bester Weise. In jedem der drei Bohrlöcher 10, 20 und 28 werden die Verschiebungen der Felsoberfläche und der Drittelspunkte relativ zum Fusspunkt der Bohrung ermittelt, und zwar in der  $x$ -Richtung (Ost-West, quer zum Tal) und in der  $y$ -Richtung (Nord-Süd; parallel zum Tal). Die Ablesungen werden auf einer horizontalen Messplatte in etwa 1,2 m Höhe über der Felsoberfläche mit einer einfachen Lehre mit Noniuseinrichtung rein optisch durchgeführt (Koinzidenz von «Visier», «Korn» und Messdraht). Zu jedem Bohrloch gehört ein Referenzpendel, dessen Gewicht unterhalb der Messplatte frei am Referenzdraht hängt und, zur Dämpfung von Schwingungen, in ein Wasserbad taucht. Die drei Bohrloch-Messdrähte (rostfreier Stahl) sind an ihrem obern Ende mit Stahlfedern gespannt. Der geometrischen Voraussetzung der Methode entsprechend befinden sich die Aufhängungen des Referenzpendels und der drei Messdrähte in festem Abstand zueinander an ein und derselben Stahlplatte, die ihrerseits mit einer einfachen Eisenkonstruktion am Mauerbeton befestigt ist. Wie die Berechnung zeigt, hat das unbekannte Mass von Verschiebungen der Aufhängeeinrichtung für die Auswertung der Messungen keine Bedeutung, da es mathematisch eliminiert wird.

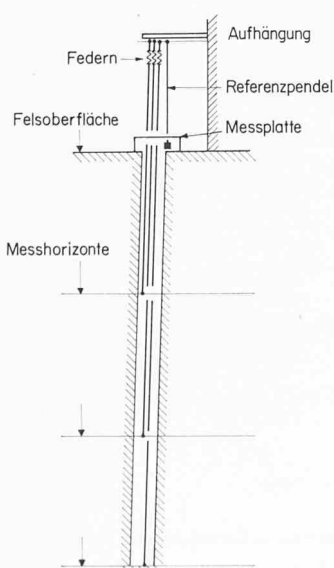
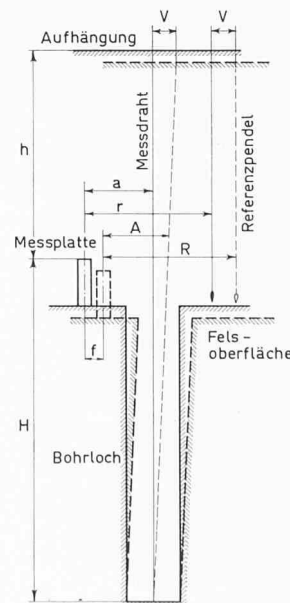


Bild 2 (links). Schematische Darstellung der Messanordnung in den Felsbohrungen



$a, r$  ——— Zeitpunkt 1  
 $A, R$  ——— Zeitpunkt 2  
 $f =$  Verschiebung der Felsoberfläche (genauer der Messplatte) relativ zum untern Befestigungspunkt des Drahtes im Zeitraum 1  $\rightarrow$  2.  
 $V =$  Verschiebung der Aufhängung im Zeitraum 1  $\rightarrow$  2; unbekannte Grösse.

$$\frac{H}{h} = m$$

$$(1) \quad r + v = f + R$$

$$(2) \quad \frac{f + A - a}{H} = \frac{v}{H + h}$$

$$(2') \quad v = \frac{H + h}{H} \cdot (f + A - a) - (1 + \frac{1}{m}) \cdot (f + A - a)$$

$$(1') \quad v = f + R - r$$

$$(3) \quad (1 + \frac{1}{m}) \cdot (f + A - a) = f + R - r$$

$$(3') \quad f \cdot \frac{1}{m} = R - r - (A - a) \cdot (1 + \frac{1}{m})$$

$$f = (R - r) \cdot m - (A - a) \cdot (m + 1)$$

Bild 3 (rechts). Geometrische und rechnerische Grundlagen für die Auswertung der Messungen

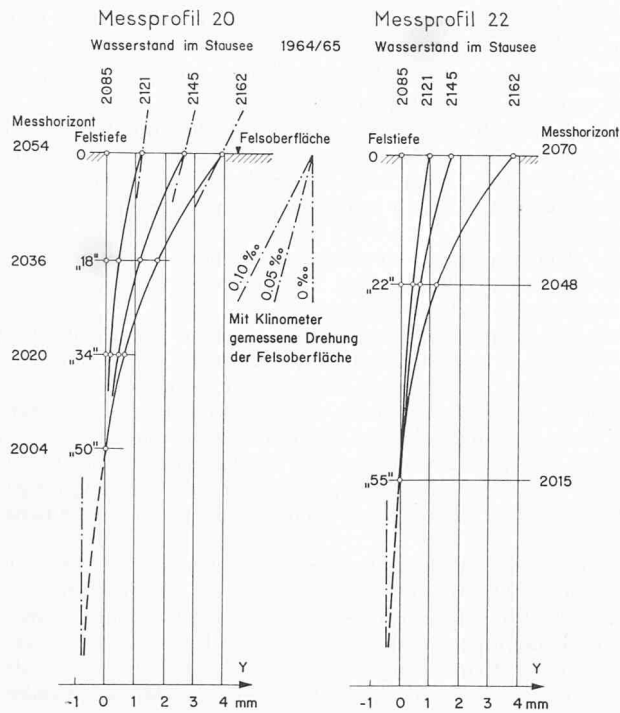


Bild 4. Verformung des Felsuntergrundes in Abhängigkeit vom Wasserstand im Stausee, Messprofile 20 und 22

Die von der Firma Stump Bohr AG, Zürich, abgeteufte Bohrungen  $\varnothing$  146 mm (Nr. 20) und  $\varnothing$  245 mm (Nrn. 10 und 28) erhielten eine Auskleidung mit dünnwandigen Futterrohren; zwischen Rohr und Fels wurde Zement eingepresst. Die Bohrlöcher weichen etwas vom Lot ab; ausserdem ist ihre Axe leicht gekrümmt. Die drei Messdrähte sind an ihrem untern Ende mit Traversen im Futterrohr so befestigt, dass sie nirgends mit der Rohrwand in Berührung kommen können.

Der extrem mögliche Fehlerbereich der Messungen lässt sich für die tiefsten und deshalb am ungünstigsten gelegenen Fusspunkte der Bohrungen 10, 20 und 28 wie folgt abschätzen: Ablesefehler höchstens  $\pm 0,03$  mm

$$\Delta R = +0,03 \text{ mm}, \Delta r = -0,03 \text{ mm}, \Delta (R-r) = +0,06 \text{ mm}$$

$$\Delta A = -0,03 \text{ mm}, \Delta a = +0,03 \text{ mm}, \Delta (A-a) = -0,06 \text{ mm}$$

$$\Delta f = \Delta (R-r) \cdot m - \Delta (A-a) \cdot (m+1)$$

$$\text{Bohrung 10} \quad : \quad m = 2,57 \quad \Delta f = 0,35 \text{ mm}$$

$$\text{Bohrungen 20 und 28} \quad : \quad m = 3,75 \quad \Delta f = 0,5 \text{ mm}$$

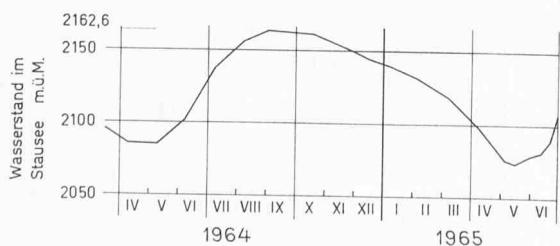
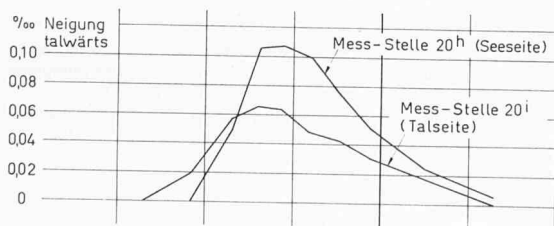


Bild 5. Mit Klinometer gemessene Verformung (Drehung) in Richtung See — Tal, Messprofil 20

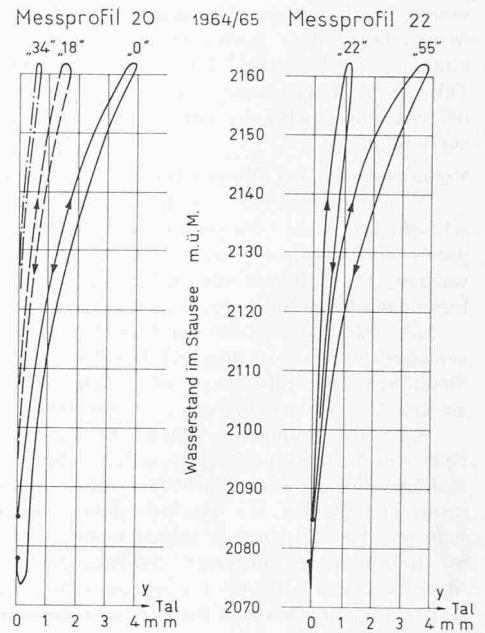


Bild 6. Horizontale Verschiebungen in den Messpunkten der Bohrungen gegenüber deren Fusspunkten bei verschiedenen Wasserständen im Stausee, Messprofile 20 und 22

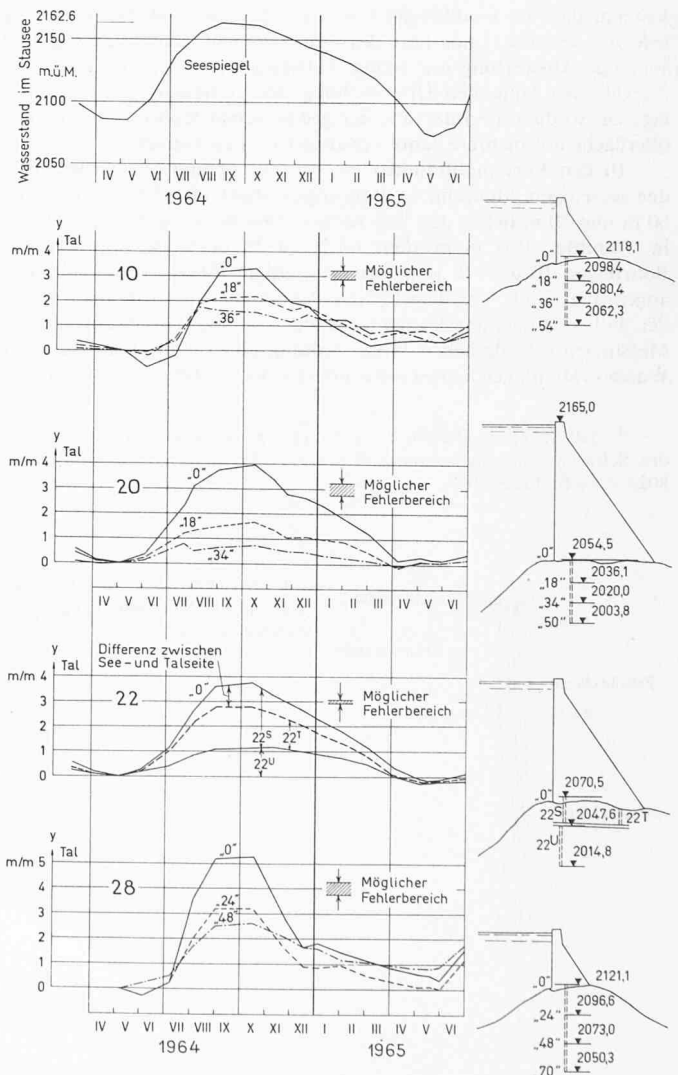


Bild 7. Horizontale Verschiebungen im Fels in verschiedenen Tiefen, Messprofile 10, 20, 22 und 28



Die Pendelanlage 22 besteht aus zwei Stufen: einem in einem Bohrloch freihängenden 23 m langen Pendel 22<sup>S</sup>, von der Felsoberfläche im Hohlraum Nr. 22 bis in einen ehemaligen, zugänglich gebliebenen Umleitungsstollen hinunter reichend, und einem Umkehr- oder Schwimmpendel 22<sup>U</sup>, dessen Draht im Fuss eines 32 m unter den Stollen reichenden Bohrloches befestigt ist. Während 22<sup>S</sup> und 22<sup>U</sup> übereinander, nahe der seeseitigen Mauerflucht angeordnet sind, befindet sich in einer Bohrung nahe dem talseitigen Mauerfuss das frei hängende Pendel 22<sup>T</sup>, ebenfalls vom Fugenhohlraum bis in den 21 m tiefer gelegenen Stollen reichend. Der Vergleich der Messergebnisse von 22<sup>S</sup> und 22<sup>T</sup> zeigt den Unterschied zwischen den horizontalen Felsdeformationen unter dem seeseitigen bzw. dem talseitigen Mauerfuss.

In den Fugenhohlräumen Nrn. 11, 20, 25 und 29 sind nahe dem Mauerfundament Bolzen eingelassen, an denen mit dem Präzisions-Klinometer «Huggenberger» die Drehungen der Felsoberfläche unter wechselnder Stauhöhe gemessen werden. In Bild 4 sind die im Hohlraum Nr. 20 mit der Pendelanlage einerseits und dem Klinometer andererseits ermittelten Verformungen einander gegenübergestellt. Es fällt auf, dass das Mass der Drehungen der Felsoberfläche kleiner ist als die Neigung der Verformungslinien. Der Unterschied rührt davon her, dass mit dem Klinometer nur reine Drehungen, mit den Pendeleinrichtungen jedoch die Summe der aus Drehungen und Translationen im Fels resultierenden Horizontalverschiebungen gemessen werden.

#### Kommentar zu den Messergebnissen

In den Bildern 4 bis 7 sind die Messergebnisse der Aufstau- und Absenkerperiode 1964/65 dargestellt. Die Verschiebungen in der Felsunterlage der Messprofile 20 und 22 waren in diesem Zeitabschnitt vollständig elastisch. Die beiden Bohrungen in den Flanken, Nrn. 10 und 28 lassen hingegen noch eine leichte Tendenz zu bleibender Verformung vermuten, allerdings kaum stärker als die Grössenordnung der Messgenauigkeit. Auch der Vergleich der Ergebnisse der geodätischen Kontrollen von 1960 bis 1964 zeigt für die Felspunkte nahe dem talseitigen Mauerfuss an den Flanken bleibende Verschiebungen

von insgesamt  $3 \pm 1$  mm für die Summe der vier Jahre, aber mit deutlichem Abklingen von Jahr zu Jahr.

Die «Schleifen» im Diagramm Nr. 6 lassen auf eine gewisse zeitliche Verzögerung zwischen Stauspiegeländerung und Felsverformung schliessen.

Die Tangenten der Verformungslinien stehen an den unteren Bohrloch-Enden nicht lotrecht. Das bedeutet, dass der Fels unter dem Einfluss der Stauspiegel-Schwankungen elastische Verformungen bis in grössere Tiefen als die erbohrten 60 bis 70 m erfährt, vermutlich bis weiter als 100 m. Dabei ist allerdings die eingangs erwähnte Besonderheit des schmalen Felssockels, auf den die Staumauer Albigna aufgesetzt ist, zu berücksichtigen.

Die dargestellten Diagramme zeigen die horizontalen Verschiebungen in der  $y$ -Richtung, also quer zur Mauer-Längsaxe. Viel kleiner und nicht gesetzmässig von der Stauhöhe abhängig sind die an den gleichen Messpunkten in der  $x$ -Richtung ermittelten Verschiebungen. Auf ihre Wiedergabe wird hier verzichtet.

Aus den bei leerem See und bei Vollstau durchgeführten Nivellements lassen sich die Höhenänderungen der Felsoberfläche unter der Mauer in Abhängigkeit von der Stauhöhe ermitteln. Mit steigendem Seespiegel erfährt das Mauerfundament in Talmitte auf der Seeseite eine Hebung von etwa 3 mm, auf der Talseite eine Senkung von etwa 2 mm. An beiden Flanken hebt sich bei Vollstau das ganze Mauerfundament um  $0,5 \div 1$  mm. Diese Höhenänderungen waren in den vier Messperioden 1960–1964 vollständig elastisch.

Die Messanordnung mit den in mehreren Horizonten der Bohrlöcher befestigten und mit Federn gespannten Drähten böte die Möglichkeit, nicht nur waagrechte Verschiebungen, sondern grundsätzlich auch das Mass senkrechter Fels-Zusammendrückungen in verschiedenen Tiefen zu ermitteln. Bei der Staumauer Albigna wird erwogen, von dieser Möglichkeit Gebrauch zu machen, wobei die praktisch unveränderliche Temperatur des die Messdrähte umgebenden Wassers eine günstige Voraussetzung bildet.

Adresse des Verfassers: W. Zingg, Obergeringieur, Industrielle Betriebe der Stadt Zürich, Bahnhofquai 5, 8023 Zürich.

## Le barrage couple des Toules

### Sa conception et son comportement

Par Henri Gicot, Dr h. c., ing. conseil, Fribourg

DK 627.825.7

#### Avant-propos

Le barrage des Toules est le premier barrage couple construit en Suisse. La forte cambrure de sa partie centrale, les proportions et la forme de la vallée, qui présente sur chaque rive des dépressions épigénétiques, les épaisseurs relativement faibles de l'ouvrage, enfin l'obligation de le construire en deux étapes, en font un sujet d'observations particulièrement intéressant, d'autant plus qu'il a été possible ici d'effectuer les mesures initiales avant la première mise en eau de la seconde étape – c'est-à-dire pratiquement à lac vide – alors que trop souvent le début des observations se place après un remplissage partiel ou même total de la retenue, qui exclut ou du moins réduit la possibilité de constater les phénomènes élasto-plastiques du début.

La première étape a été réalisée en 1958. La seconde étape a été bétonnée durant les campagnes de 1961 et 1962, à l'exception du couronnement et de l'évacuateur de crues, achevés en 1963.

#### Conditions générales

Sur l'ancienne route du Grand-St-Bernard, au lieu dit «Pont des Toules», s'ouvre une large cuvette qui permettait de créer un bassin d'accumulation de 20 millions de m<sup>3</sup>, la retenue maximum étant à la cote 1810,0. Ce bassin fait partie de l'aménagement de la Dranse d'Entremont supérieure dont les eaux sont utilisées dans la centrale de Palla-

zuit, près de Liddes, pour être ensuite successivement à disposition des usines d'Orsières, de Sembrancher et de Martigny-Bourg.

La position du barrage était commandée par la présence d'un verrou rocheux dont la surface plonge rapidement tant à l'amont qu'à l'aval. La vallée est large, avec un fond qui s'étire sur les deux rives et présente, sur chacune d'elles, une dépression épigénétique. Il en résulte un profil en travers de la vallée assez sinueux, dont les irrégularités ont été partiellement corrigées, mais n'auraient pu être supprimées qu'à un prix incompatible avec l'économie du projet.

La roche de fondation fait partie des schistes de Casanna. Les fractures y sont assez nombreuses: failles et diaclases, ainsi que zones laminées. Une zone de ce genre, située sur la rive gauche, avait même fait supposer, lors des forages d'exploration, la présence d'un canyon rempli de débris rocheux. Ce n'était pas le cas, mais c'est dans cette région que se sont produites les déformations plastiques les plus importantes.

Etant donné la faible capacité de l'accumulation, l'économie du projet exigeait impérieusement un ouvrage de retenue de coût minimum dont le volume, dans le cas d'un barrage en béton, ne devait pas excéder 240 000 à 250 000 m<sup>3</sup>. A cette condition s'est ajoutée la nécessité de construire l'ouvrage en deux étapes. La première devait créer une

petite accumulation à la cote 1750,0 pour permettre l'exploitation au fil de l'eau de la centrale de Pallazuit, en attendant la construction de la nouvelle route du Gd-St-Bernard sans laquelle il n'était pas possible de créer l'accumulation définitive. Encore n'est-ce pas sans peine que l'exécution de la seconde étape du barrage a été synchronisée avec celle de la route, et il a fallu, au cours de la campagne 1962, ménager dans le barrage une vaste ouverture provisoire pour permettre au trafic d'emprunter l'ancienne route, en attendant que la nouvelle soit utilisable.

Bien que les conditions géologiques et géotechniques fussent satisfaisantes, la topographie du site ne favorisait guère, à première vue, la réalisation d'une voûte suffisamment mince. Le rapport entre la longueur de 450 m au couronnement et la hauteur maximum de 86 m appelait plutôt un ouvrage voûte-poids, solution qui avait d'ailleurs été examinée lors de premières études élaborées en 1948, mais dont le coût aurait été prohibitif. Les singularités du profil de la vallée provenant des dépressions épigénétiques chargeaient encore le problème de difficultés supplémentaires, auxquelles s'ajoutaient celles de l'exécution en deux étapes. Comme il n'était pas possible de poser au béton des exigences excessives, il fallait chercher des formes et une répartition des épaisseurs telles que, à volume égal, les contraintes de compression soient les moins élevées et les plus uniformes possibles.