

Felsverformungen unter Talsperren

Autor(en): **Leuenberger, Jakob**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **73 (1981)**

Heft 4

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941313>

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.

Auftriebserscheinungen und Wasserdurchsickerungen bei Talsperren

Tagung vom 18. und 19. September 1980 in Ilanz organisiert vom Ausschuss für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren.

Der vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosse Talsperren ernannte Ausschuss für Talsperrenbeobachtung ist beauftragt, den Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Überwachung der Stauanlagen zu fördern. Mit Tagungen versucht er, den Werkeigentümern und dem mit den Kontrollen betrauten Personal den Entwicklungsstand der Messeinrichtungen bekanntzumachen und die Ergebnisse der Messungen und Beobachtungen zu vermitteln.

Die Tagung vom 18. und 19. September in Ilanz war dem Thema «Auftriebserscheinungen und Wasserdurchsickerungen» gewidmet. Über 90 Teilnehmer wurden mit 9 Referaten über Kontrolleinrichtungen und Messresultate von verschiedenen Staumauern und Staudämmen informiert. Die Tagung wurde mit der Besichtigung der Stauanlage Zervreila im Valsertal und der dort neu eingerichteten Anlage für Porenwasserdruckmessungen im Fels verbunden. Die Referenten der Tagung haben für die Fachzeitschrift «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» ihre Manuskripte nochmals überarbeitet; die wichtigsten Beiträge finden sich in diesem Heft.

Chr. Venzin

Für die Veröffentlichung in unseren Spalten standen die beiden folgenden Referate nicht zur Verfügung:

Prof. R. Sinniger: Durchsickerung bei Staudämmen

O. Martini: Auftriebserscheinungen und Wasserdurchsickerungen bei Staumauern der Maggia- und Bleniokraftwerke

Die wichtigsten Aussagen der Orientierung über die Staumauer Zeuzier durch Dr. R. Biedermann wurden bereits im Heft 7/8 1980 «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» veröffentlicht.

Felsverformungen unter Talsperren

Jakob Leuenberger

Zusammenfassung

Bei Talsperren mit schlechten Felsverhältnissen wie auch bei weitgespannten Bogenstaumauern auf gutem Felsuntergrund können unter vollem Wasserdruck grössere Felsverformungen, begleitet von Rissbildungen, auftreten. Diese Risse können einen wesentlichen Einfluss auf die im Fels vorhandenen Unterdrücke und Durchsickerungen ausüben.

Résumé: Déformations possibles de rochers sous les barrages

Dans le cas de barrages où les conditions concernant les rochers sont défavorables, mais aussi dans celui de barrages-voûtes à arc très large construits sur une bonne base rocheuse, il peut, par pression d'eau maximale, se produire des déformations de rochers accompagnées d'une fissuration. Les fissures peuvent exercer une influence considérable sur les sous-pressions régnant dans la roche et sur les suintements.

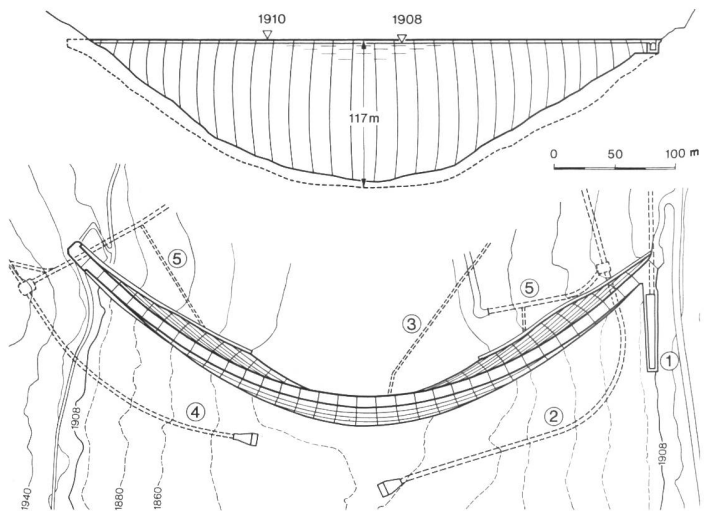


Bild 1. Die Staumauer Sta. Maria. 1 Hochwasserüberfall, 2 Grundablass, 3 Drainagestollen, 4 Druckstollen, 5 Zugangsstollen.

Summary: Possible deformations of rocks under dams

In the case of dams with bad rock conditions, but also in the case of widely arched dams built on a good bedrock, rock deformations accompanied by a formation of cracks may occur when the water pressure is at its full. The cracks can have a great influence on the under-pressures in the rock and on the seepage.

Riassunto: Cedimenti delle fondazioni nelle dighe

Nelle rocce di cattiva qualità su cui poggiano certe dighe, come pure nelle imposte delle dighe ad arco di grande sviluppo, nei periodi di massimo invaso, si riscontrano forti deformazioni accompagnate da fissurazioni. Queste fissurazioni hanno un influsso determinante sulle sottopressioni presenti nella roccia e sulle infiltrazioni.

Einleitung

Talsperren übertragen grosse Kräfte auf den Felsuntergrund (Eigengewicht, Wasserdruck und zum Teil Temperatureinflüsse). Diese Kräfte erreichen bei grösseren Sperren Werte von mehreren Millionen Tonnen. Bei schlechten oder ungünstigen Felsverhältnissen, vor allem aber bei weitgespannten Bogenstaumauern, bewirken diese Kräfte grössere Felsverformungen, die zu Rissbildung führen

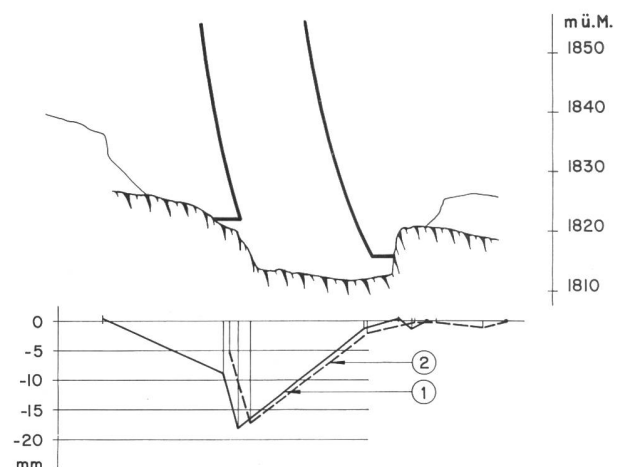


Bild 2. Fundamentsetzungen der Staumauer Sta. Maria
1 infolge Eigengewicht im Querschnitt rund 90 m links von der Staumauerachse,
2 infolge Eigengewicht im Querschnitt rund 100 m rechts von der Staumauerachse.

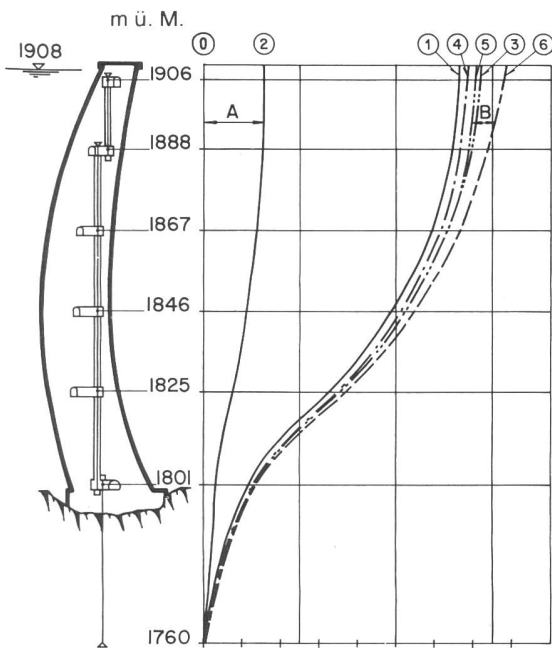


Bild 3. Radiale Verformungen in Staumauermittelle aus Lotmessungen.

Datum der Messung	Seestand	Datum der Messung	Seestand
0 5. 4. 1968	1906,00	5 24. 9. 1974	1906,94
1 30. 9. 1968	1907,60	6 2. 1. 1975	1904,96
2 26. 3. 1969	1907,00		
3 12. 10. 1970	1908,08		
4 4. 10. 1973	1906,00		

A Bleibende Verformungen
B Temperatureinfluss

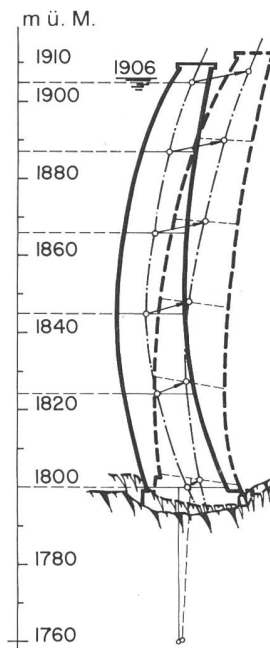


Bild 4. Radiale Verformungen in Staumauermittelle im Herbst 1973 bei Stau 1906.

m ü. M.	Translation		Rotation
	horizontal mm	vertikal mm	vertikal ‰
1910	146	31	0,09
1900	141	-	0,44
1880	131	32	0,73
1860	110	-	1,28
1840	77	33	1,60
1820	34	~19	1,23
1800	8	~4	

können. Durch solche Risse können Unterdrücke und Durchsickerungen unter der Talsperre in erheblichem Masse beeinflusst werden.

Am Beispiel der Staumauer Sta. Maria soll auf dieses Problem näher eingetreten werden. Es sei hier auf den vom Referenten an den Internationalen Kongress für Grosse Talsperren in Mexiko, 1976, zur Frage 45 erstatteten Rapport Nr. 44 verwiesen.

Die Staumauer Sta. Maria

Die Staumauer Sta. Maria der Kraftwerke Vorderrhein AG wurde nach dem Projekt des Ingenieurbüros Prof. Stucky, Lausanne, von 1964 bis 1968 erstellt. Sie gehört zu den am weitesten gespannten Bogenstaumauern der Schweiz. Die grösste Mauerhöhe beträgt 117 m und die Kronenlänge 560 m, was ein Verhältnis von Mauerhöhe zu Kronenlänge von 1:4,8 ergibt. Der Felsuntergrund besteht aus hartem, massigem Medelser Granit mit oberflächlicher Klüftung.

Fundamentsetzungen unter Mauereigengewicht

Während der Betonierung der Mauer wurden in 2 Querschnitten die mit wachsendem Eigengewicht zunehmenden Fundamentsetzungen gemessen. Wie aus Bild 2 ersichtlich, betragen die grössten Setzungen unter der wasserseitigen Fundamentkante rund 18 mm und unter der luftseitigen 2 mm. Unter Berücksichtigung, dass mit den Messungen erst begonnen wurde, als die Mauer bereits 1/4 der Höhe erreichte, lassen sich durch Umrechnung für das ganze Mauergerüst und den zentralen Mauerquerschnitt Setzungen von rund 26 mm wasserseits und 5 mm luftseits ermitteln.

Verformung infolge Wasserdruck und Temperatur

Infolge der grossen Spannweite erfährt die Staumauer Sta. Maria relativ grosse Verformungen. Die mit Pendel gemessene horizontale Bewegung in Staumauermittelle erreicht heute bei Vollstau und tiefen Lufttemperaturen gegen

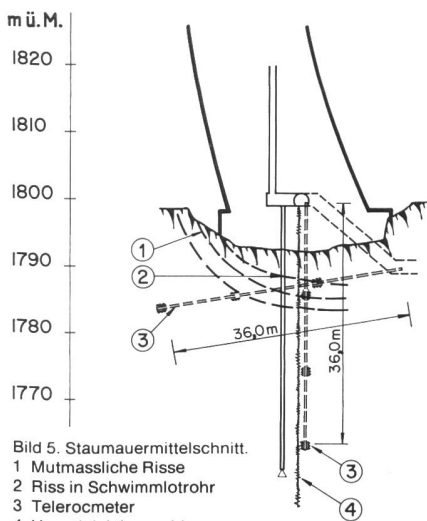


Bild 5. Staumauermittelschnitt.
1 Mutmassliche Risse
2 Riss in Schwimmrohr
3 Telerometer
4 Hauptinjektionsschirm

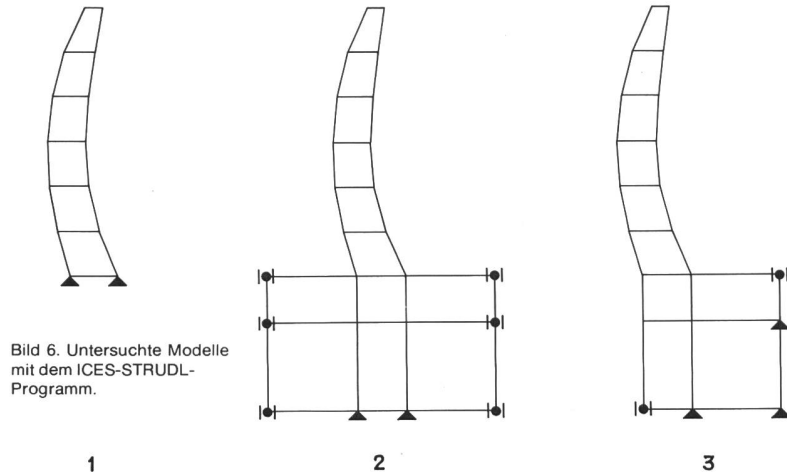


Bild 6. Untersuchte Modelle mit dem ICES-STRUDL-Programm.

160 mm (Bild 3). Davon sind rund 20 mm Temperatureinflüssen zuzuschreiben. Der nicht reversible Anteil – bezogen auf den Zustand vor Staubeginn – betrug nach der ersten See-Entleerung 30 mm und ist bis heute auf fast 50 mm angestiegen. Auf Höhe des Injektionsganges, Kote 1801, werden noch horizontale Verformungen von 25 mm festgestellt.

Aus den geodätischen Messungen ergibt sich, dass die 35 m unter Fundamentsohle liegenden Schwimmpendelverankerungen nicht als fest bezeichnet werden können. Bei Vollstau wird in dieser Tiefe noch mit einer talwärts gerichteten Verschiebung von 8 mm gerechnet werden müssen, die zu den Werten der Pendelmessung hinzuzuzählen ist. Auf Bild 4 sind die Verformungen aus geodätischen und physikalischen Messungen im mittleren Mauerquerschnitt (Herbst 1973) dargestellt. Auffallend sind die über die ganze Mauerhöhe vorhandenen Hebungen von rund 30 mm.

Aus den in den Kontrollgängen gemessenen Translationen und Drehungen kann auf die Bewegungen an der Fundamentsohle bei Vollstau geschlossen werden. Horizontal dürfte die Verschiebung in Richtung Tal 28 mm betragen. Die Hebungen erreichen unter dem seeseitigen Mauerfuss 33 mm und unter dem luftseitigen Fuss 7 mm, das heisst die unter Eigengewicht eingetretenen Setzungen werden mehr als kompensiert. Die grossen Verformungen an der Fundamentsohle lassen auf Risse im Felsuntergrund schliessen; dabei kann es sich um neue oder um das Öffnen bereits vorhandener Risse handeln.

Auf Bild 5 sind die mutmasslichen Risse, die auch den Hauptinjektionsschirm queren dürften, aufgetragen. Dass solche Risse tatsächlich vorhanden sind, findet man durch folgende Beobachtungen und Messungen bestätigt:

- Bei der erstmaligen und einer späteren Seefüllung sind stählerne Schutzrohre der Schwimmpendel in einer Tiefe von 4 m unter der Fundamentsohle zerrissen worden. Durch die 3 bis 4 mm breiten Risse strömte Wasser unter hohem Druck, teilweise schiefrige Felsplättchen mit sich führend, in die Schutzrohre.

- Die 3 Jahre nach Betriebsaufnahme eingebauten horizontalen und vertikalen Telerocmeter zeigen ebenfalls einige Meter unter der Fundamentsohle die grössten, mehrere Millimeter betragenden Bewegungen.

- Die mit Manometern gemessenen Unterdrücke im seeseitigen Bereich der Fundamentsohle wie auch die aus den Drainagebohrungen austretenden Sickerwassermengen nehmen – sobald der See einen Stand von 15 bis 20 m unter Vollstau überschreitet – plötzlich sehr stark zu (Öffnen der Risse).

- Auch die grossen irreversiblen Verformungen der Mauer (rund $\frac{1}{3}$ der totalen Verformungen) deuten auf Risse im Felsuntergrund hin.

- Einen weiteren Beweis liefern die gemessenen Verformungen infolge Wasserlast, die grösser sind, als sie nach der statischen Berechnung sein sollten. Vor allem im Fundamentbereich sind grössere Abweichungen – bis zum doppelten Wert – vorhanden. In der üblichen statischen Berechnung wird der Felsuntergrund als homogene, elastische Halbebene angenommen.

In einer statischen Nachrechnung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (Bild 6) wurden 3 verschiedene Annahmen bezüglich Einspannung der Mauer im Felsuntergrund untersucht, und zwar

nach Modell 1: feste Einspannung

nach Modell 2: ein zur Mauer symmetrischer, elastischer Fundamentsockel von 100 m Länge und 60 m Höhe

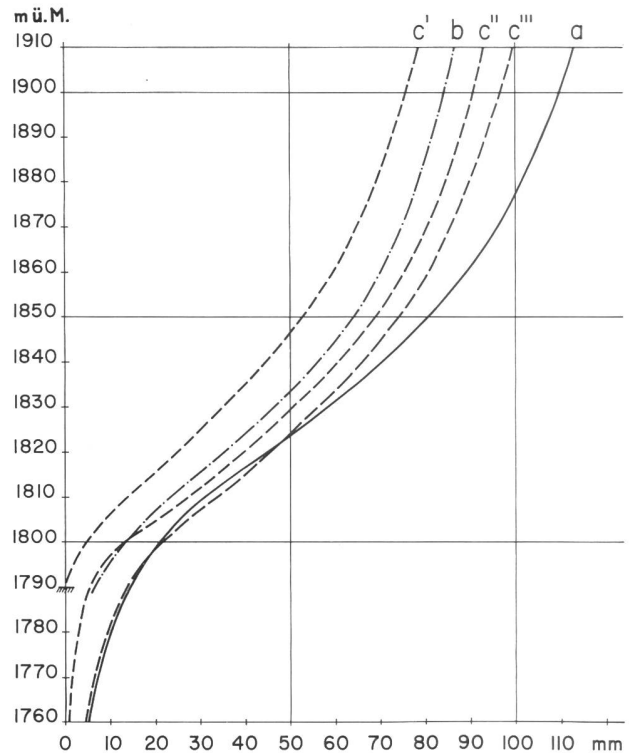


Bild 7. Gemessene und berechnete radiale Verformungen bei Vollstau im Mittelschnitt der Staumauer.

a Gemessene Verformungen
 b Berechnete Verformungen nach Prof. Stucky
 c Berechnete Verformungen mit dem ICES-STRUDL-Programm
 c' nach Modell 1 c'' nach Modell 2 c''' nach Modell 3
 $E_b = 20\,000\text{ N/mm}^2$ ($200\,000\text{ kg/cm}^2$)

nach Modell 3: wie Modell 2, jedoch wurde die wasserseitige Sockelpartie weggelassen.

Wie zu erwarten, ergibt das Modell 3 die beste Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Verformungen (Bild 7). Dieses Modell entspricht ungefähr der Annahme eines Felsfundaments mit seeseitigen Rissen, das keine Zugkräfte aufnehmen kann.

Die im Untergrund der Bogenstaumauer Sta. Maria festgestellten Risse haben glücklicherweise keine nachteiligen Folgen gezeigt, trotzdem angenommen werden muss, dass auch der Hauptinjektionsschirm von den Rissen durchquert wird. Die gesamten Sickerwasser der Staumauer und Drainagebohrungen bleiben bei vollem Stausee unter 1 l/s. Sehr wahrscheinlich reichen die Risse nicht bis zum luftseitigen Mauerfuss. Zudem dürfte das enge Netz der Konsolidationsinjektionen eine genügende Barriere gegen Durchsickerungen bilden.

Ungünstigere Verhältnisse sind bei den weitgespannten österreichischen Bogenstaumauern von Schlegeis in Tirol und von Kölnbrein im Maltatal aufgetreten. Bei der Schlegleissperre, bei welcher der Injektionsgang direkt auf der Fundamentsohle verläuft, erreichten beim erstmaligen Aufstau die Durchsickerungen 200 l/s.

Auch bei französischen Talsperren traten infolge Öffnen von Rissen bei vollem Stausee grössere Durchsickerungen auf. Zur Behebung dieser unerwünschten Erscheinungen sind Betonplomben oder -teppiche seeseits der Mauern angeordnet worden.

Vortrag gehalten an der Tagung über Talsperrenüberwachung vom 18./19. September 1980 in Ilanz. Die Tagung wurde vom Ausschuss für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren organisiert.

Adresse des Verfassers: Jakob Leuenberger, Schösslistrasse 46, 5400 Ennetbaden.