

# IVd: Theory and construction of arched dams

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

## **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.

# IVdl

## **Contribution au calcul des barrages arqués**

## **Ueber die Berechnung von Bogenstaumauern**

## **Contribution to the design of arched dams**

Dr P. LARDY

Professeur à l'Ecole Polytechnique fédérale à Zurich

Peu avant sa mort, le professeur Ritter avait entrepris une étude sur les barrages arqués. Nous voudrions rendre hommage à la mémoire de cet ingénieur si distingué, qui fut pendant de longues années Secrétaire général de l'AIPC, en développant brièvement et en complétant sur quelques points les idées qu'il a émises.

Ce sujet est lié à ceux du Thème IV du fait qu'un barrage arqué représente géométriquement un voile qui en vertu de son épaisseur, ne mérite plus exactement le qualificatif de mince. On peut distinguer trois étapes principales dans l'évolution de la théorie :

1. Le calcul des barrages arqués comme système de voûtes horizontales indépendantes;

2. Le calcul par la méthode dite des poutres croisées, les deux systèmes de poutres étant définis par les voûtes horizontales et les consoles verticales. Dans l'application de cette méthode, il n'a pas été tenu compte jusqu'ici des moments de torsion.

3. Citons enfin les essais d'adaptation de la théorie des voiles minces, rendu extrêmement difficile, sinon impossible par la complexité des conditions aux limites, dictées par la topographie des lieux, par la forme du barrage et par le fait que l'épaisseur et le rayon de courbure sont variables.

Les travaux du professeur Ritter se rattachent à la méthode des poutres croisées, qui permet de ramener le calcul du voile à un problème de statique appliquée concernant les systèmes de poutres. Nous évoquerons deux aspects de la question, le premier d'ordre général, le second traitant un point particulier et important.

Tout d'abord, nous voudrions insister sur la forme élégante et systématique des méthodes de calcul, adaptées tout spécialement aux besoins de l'élaboration numérique. Les équations d'élasticité contiennent pour

les deux systèmes de poutres soit les inconnues de la répartition de la surcharge hydrostatique, soit les moments fléchissants des consoles verticales, ces dernières étant considérées comme poutres sur appuis élastiques, formés par les voûtes horizontales. Dans une thèse qui va paraître prochainement, ces deux méthodes ont été développées par un de ses élèves. En vertu de la propagation des erreurs dans la résolution des systèmes d'équations linéaires, il résulte que chacune des deux méthodes a son domaine d'application bien défini, dépendant du rapport de la hauteur à la largeur des barrages.

Par suite du développement que le professeur Ritter, tout au long de sa carrière, a su donner à la théorie de l'arc encastré élastiquement, il n'y a plus actuellement de difficultés de prendre en compte l'influence de certaines grandeurs, en partie négligées jadis. Nous pensons particulièrement à celle de l'effort tranchant qui ne peut être omise, aux effets de la température, du retrait du béton et à ceux de la sous-pression. Mais il y a plus! Le professeur Ritter a mis en évidence et introduit systématiquement la déformation de la roche dans les calculs des barrages arqués. C'est là le second point que nous désirons mettre en lumière dans ce court aperçu.

En 1921, le professeur Vogt de Trondheim avait publié un mémoire sur le calcul des déformations des fondations, en utilisant les formules de Boussinesq et de Cerrutti. Le mérite d'avoir développé et avant tout adapté ces formules de manière simple et claire au calcul des barrages arqués en revient au professeur Ritter, qui a démontré la grande importance de la déformation de la roche sur la répartition des contraintes et le comportement général de ces barrages.

Deux facteurs mettent en évidence ces nouvelles considérations.

On sait aujourd'hui que la roche prise sur une certaine étendue, est loin d'être une masse rigide. De nombreuses mesures ont montré que son module d'élasticité est plus petit que celui d'un béton de qualité ordinaire. Le rapport des modules d'élasticité du béton à celui de la roche peut varier de 3 pour le granit jusqu'à 20 pour certaines variétés de molasse. Même si ces chiffres ne sont pas toujours très sûrs, leur prise en compte dans les calculs est certainement plus proche de la réalité que l'hypothèse d'une roche indéformable.

D'autre part, si on peut admettre qu'un arc est totalement encastré dans la théorie des ponts, il n'en est plus de même pour les barrages, vu les dimensions des arcs par rapport à leur flèche. Une déformation de la roche, même petite, a une grande influence sur leur comportement, c'est-à-dire sur la répartition des contraintes et sur leur sécurité.

En transposant ces considérations au système croisé des arcs horizontaux et des consoles verticales, on constate immédiatement que la déformation de la roche a pour effet de réduire les moments d'encastrement des arcs ainsi que l'influence de la température. Mais, et c'est ici que toute l'importance de la question apparaît, la déformation de la roche change essentiellement la répartition de la charge hydrostatique sur les deux systèmes croisés. L'encastrement des consoles à la base devenant plus faible et leur déformation par conséquent plus grande, celles-ci se trouveront allégées par rapport aux arcs, surtout dans les parties supérieures! On risque donc, sous l'hypothèse d'une roche rigide, de sous-estimer les sollicitations du système arqué, ce qui peut entraîner de sérieux déboires. C'est là, nous semble-t-il, la conclusion la plus importante à tirer de cette nouvelle conception.

Grâce à la théorie de l'arc encastré élastiquement, il est aisé d'effectuer les calculs complétés par l'introduction de ces nouvelles déformations. La théorie du demi-espace élastique, en particulier les formules de Bousinesq et de Cerrutti, permet de déterminer les déformations spécifiques des appuis dans des conditions très générales. Remarquons que les poutres croisées ne sont plus indépendantes les unes des autres dans le système fondamental, mais se trouvent en connexion aux appuis. Ceci entraîne la dépendance réciproque des grandeurs hyperstatiques des arcs et risque de compliquer la résolution des équations d'élasticité. Grâce à l'amortissement rapide de l'effet des sollicitations locales du demi-espace, il est possible d'appliquer une méthode d'itération qui conduit à la résolution du système d'équation.

Ces brèves remarques suffisent à démontrer la nécessité d'introduire dans le calcul des barrages arqués la déformation de la roche. Le fait de pouvoir, dans les calculs, tenir compte de façon relativement simple de ce phénomène, représente sans aucun doute un des progrès les plus intéressants dans ce domaine.

### Résumé

L'importance de la prise en compte de la déformation de la roche pour le calcul des barrages arqués est mise en évidence. Une méthode de calcul, due au professeur Ritter, qui tient compte de ce fait très important, est sommairement décrite.

### Zusammenfassung

Die Bedeutung der Berücksichtigung der Felsdeformation für die Berechnung der Bogenstaumauern wird hervorgehoben. Eine Methode, die von Prof. Ritter stammt und diese wichtige Tatsache vollauf berücksichtigt, wird kurz beschrieben.

### Summary

The importance of taking into account the rock deformation for the design of arched dams is outlined by the author. A method of design, due to Professor Ritter, considering this fact is briefly described.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

# IVd2

## Recherches élastostatiques des barrages arqués

### Elastostatische Modellversuche an Gewölbestaumauern

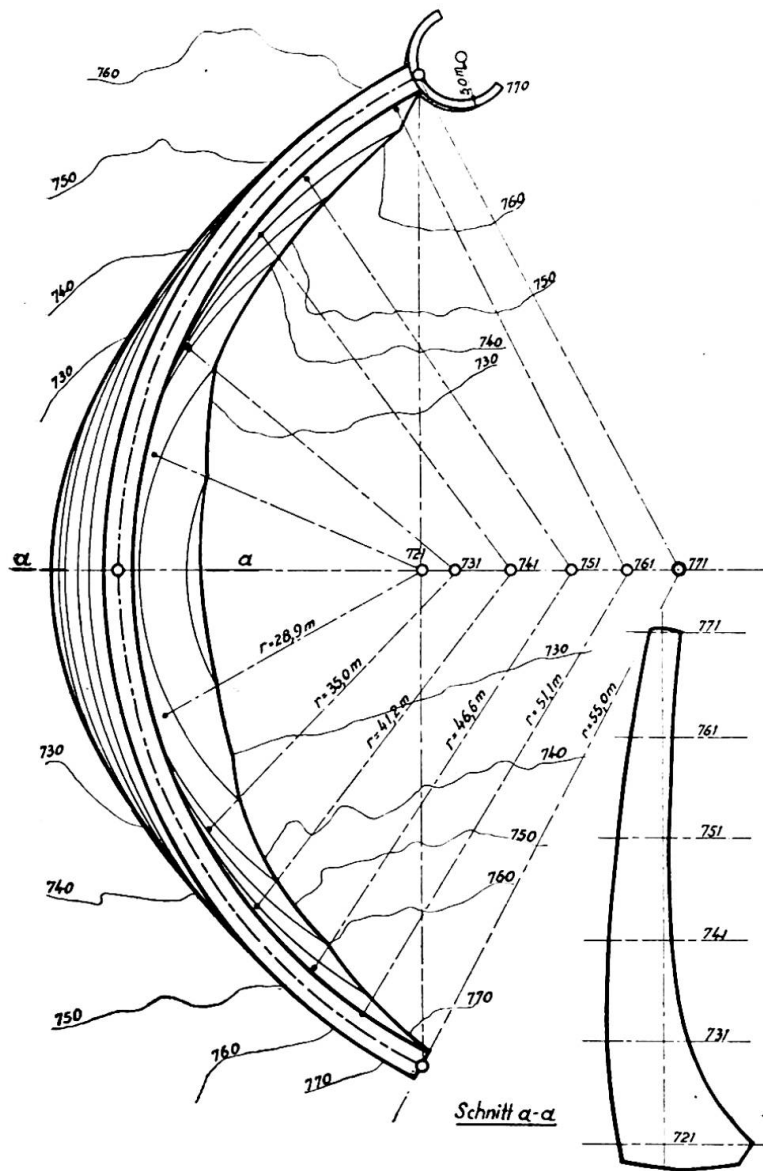
#### Elastostatic tests on models of arched dams

PROF. D<sup>r</sup> TECHN. H. BEER & PROF. D<sup>r</sup> TECHN. E. TSCHECH

Graz

Im Anschluss an die Ausführungen von Herrn Prof. Dr. Lardy über die Methode von Ritter für die Berechnung von Gewölbestaumauern soll hier kurz über die Ergebnisse von elastostatischen Modellversuchen berichtet werden, welche die Verfasser im Auftrage der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts A. G. (Steweag) an der Technischen Hochschule Graz ausführen. Es handelt sich hierbei um eine Gewölbestaumauer in Obersteiermark (Salzasperre) von 120 m Kronenlänge und 55 m Höhe im Talsohlenschnitt (Abb. 1) und eine stark unsymmetrische Mauer in Weststeiermark (Hierzmannsperre) von 180 m Kronenlänge und 65 m Höhe (Abb. 2). Beide Mauern sind vom Gleichwinkeltyp.

Das „Salzamodell“ wurde im Masstab 1 : 50 aus einer Mischung von Gips, Kieselgur und Wasser hergestellt. Der Elastizitätsmodul dieses Modellbaustoffes in der entsprechenden Mischung beträgt nur etwa 24 000 kg/cm<sup>2</sup>, sodass mit mehr als den zehnfachen Durchbiegungen gegenüber dem Baustoff Beton zu rechnen ist. Die Versuchsanordnung ist aus Abb. 3 zu ersehen. Für die Belastung des Modells wurde ein neues Element entwickelt, bestehend aus einer Spiralfeder mit Druckstempel und Druckplatte, die mit Schrauben angespannt werden konnte (Abb. 4). Es war so möglich mit der schwersten Belastungsfeder einen Druck von 900 kg auszuüben. Der Federweg — der ja dem ausgeübten Druck proportional ist — wurde mit einer Messuhr gemessen, wobei eine sorgfältige Eichung der Belastungselemente unerlässlich war. Der maximale Federweg betrug etwa 10 mm. Die Federn wurden auf Gegenkonsolen abgestützt (Abb. 5). Die Vorteile der Verwendung dieser Belastungselemente gegenüber der Aufbringung eines kontinuierlichen Flüssigkeitsdruckes (Quecksilber) liegen vor allem in der Möglichkeit der stufenweisen Laststeigerung bis zum Bruch und der Kontrolle des elastischen Verhaltens der Modellmauer bei der für die Messungen gewählten Laststufe. Ein weiterer Vorteil der diskontinuierlichen Belastung bestand in der Möglichkeit, auch an einzelnen Punkten der wasserseitigen Maueroberfläche Messungen vornehmen zu können.

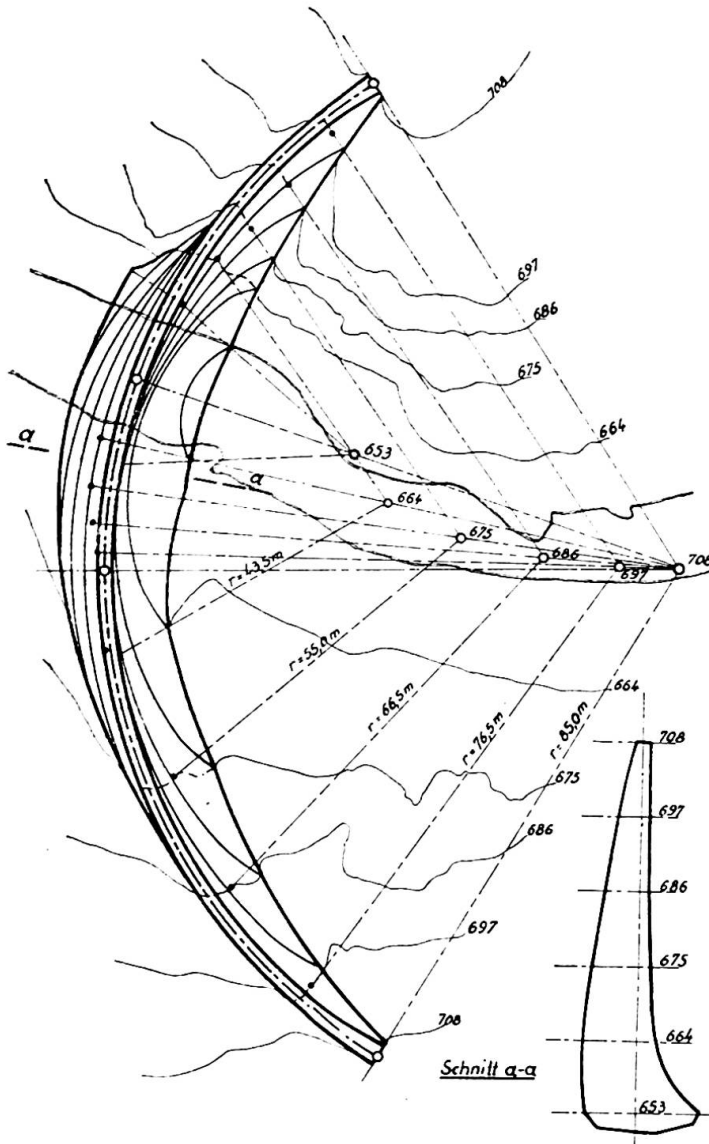


**Abb. 1.** Salzasperr. Lageplan mit Talsohlenquerschnitt.

Die Mauer selbst war in einem zylindrischen Aufbau aus Stahlbeton gebettet. Die elastische Nachgiebigkeit des Felsens, auf dem sich die Stau-mauer abstützt, wurde sorgfältig studiert und im Modell durch einen vouten-förmigen Ansatz (Mauerverlängerung) — entsprechend den Untersuchungen von Boussinesq und Vogt für den elastisch-isotropen Halbraum — berücksichtigt. Bei dem im Bau befindlichen Modell der Hierzmannsperre wird das nachgiebige Felswiderlager durch eine dicke Schicht aus einem Baustoff dargestellt, welcher ebenfalls aus Gips, Kieselgur und Wasser besteht. Durch Variation des Zusatzes an Kieselgur und Wasser gelingt es, den Elastizitätsmodul zu beeinflussen und man ist so in der Lage, einen von der Mauer abweichenden Modul des Felsens modellmässig darzustellen. Für das Modell der Hierzmannsperre wurde der Elastizitätsmodul des Felsens — zufolge der geologischen Beobachtungen und Messungen an der Bau-stelle — nur halb so gross, wie jener der Mauer angenommen.

Abb. 6 zeigt die Ergebnisse der Messungen der radialen Durchbiegun-gen (voll ausgezogen) im Vergleich zu den Rechnungswerten (strichliert)

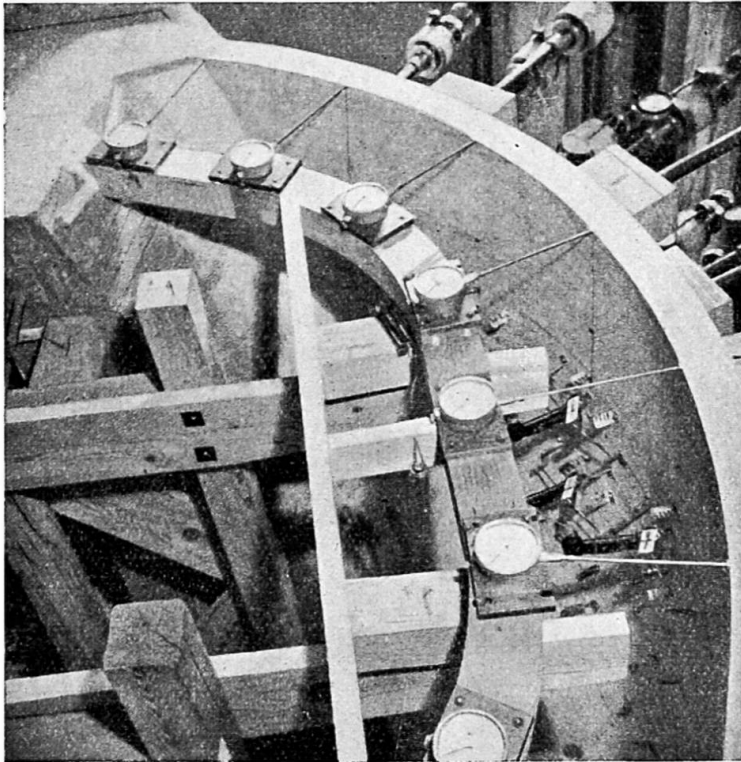




**Abb. 2.** Hierzmansperre. Lageplan mit Talsohlenquerschnitt.

Die Berechnung wurde von der „Steweag“ nach der Methode von Ritter durchgeführt, wobei die in Fig. 6 angegebenen Bogen- und Kragträgerschnitte zugrunde gelegt wurden. Es wurden hierbei nur die radialen Durchbiegungen entsprechender Bogen- und Kragträgerpunkte in Uebereinstimmung gebracht, ein Vorgang, dem etwa bei der „trial load method“ der erste Versuchsgang entspricht. Wie Fig. 6 zeigt, ist die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch eine durchaus gute. Es zeigt sich, dass der Kronenbogen der Mauer etwas steifer ist, als dies nach der vereinfachten Rechnung zu erwarten war, während die Durchbiegungen im unteren Drittel gegenüber der Rechnung etwas grösser sind. Das Ergebnis der Dehnungsmessungen an der Maueroberfläche und die daraus errechneten Spannungen zeigten in ihrem Verlauf ebenfalls eine gute Uebereinstimmung mit der statischen Berechnung, wenngleich die Abweichungen an einzelnen Stellen grösser sind als bei den Durchbiegungen. Zweifellos macht sich hier der Einfluss der tangentialen Schubspannungen und im unteren Teil auch der Drillungsmomente bemerkbar, die ja in der Berechnung nach der Methode von Ritter keine Berücksichtigung finden.



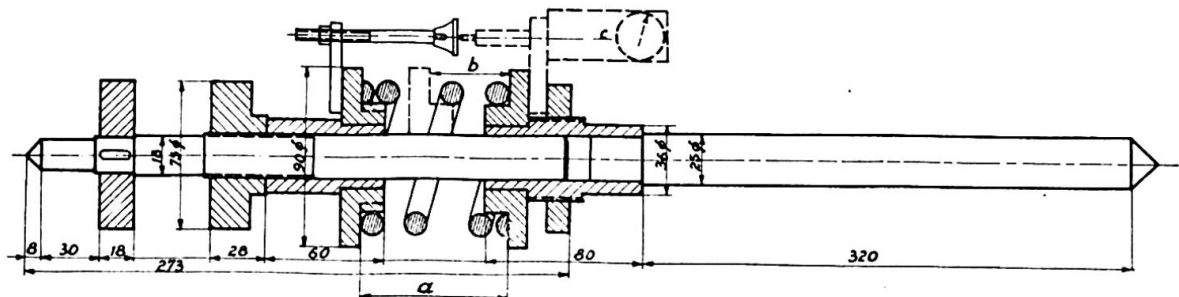


**Abb. 3.** Versuchsmodell. Anordnung der Messuhren am Kronenbogen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass für die untersuchte symmetrische Mauer, mit einem Verhältnis von Kronenlänge zur Höhe, das kleiner ist als 2,5, und bei der vorhandenen regelmässigen Talform, das statische Verhalten der Mauer durch das gewählte Berechnungsverfahren durchaus befriedigend wiedergegeben wird. Die Zahl der Schnitte braucht dabei nicht gross gehalten zu werden, da schon die einschnittige Berechnung (mittlerer Kragträgerschnitt) zu einem brauchbaren Bild der Lastverteilung auf Bogen und Kragträger führt. Die „Steweag“ wird sowohl über die Ergebnisse der Modellversuche der Salzasperre, als auch der stark unsymmetrischen Hierzmansperre eine eigene Broschüre herausgeben. Dort werden für beide Sperren ausführliche Daten zu finden sein.

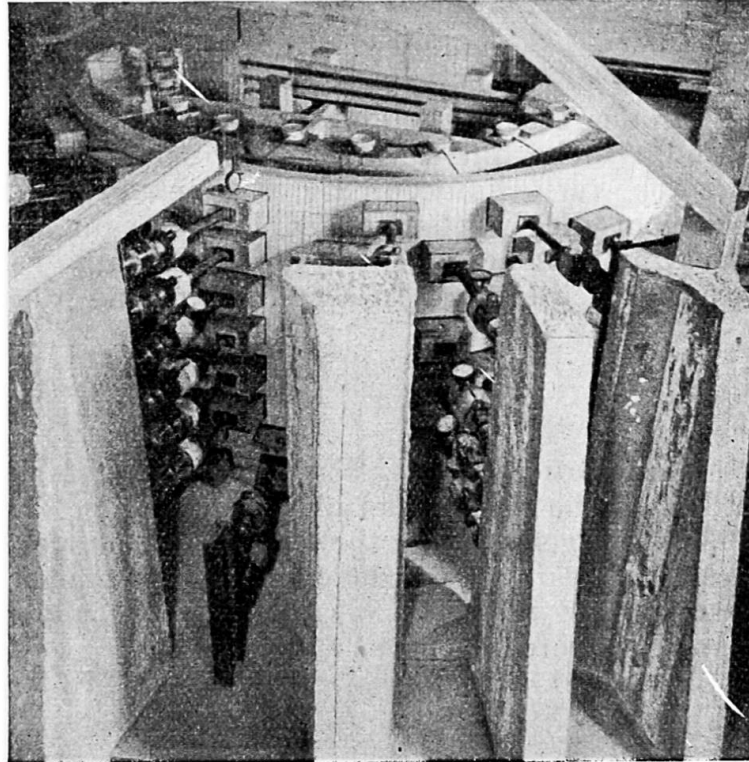
### Résumé

On réalise actuellement à l'école polytechnique de Graz des essais élastostatiques sur modèle de barrages arqués. L'auteur décrit brièvement



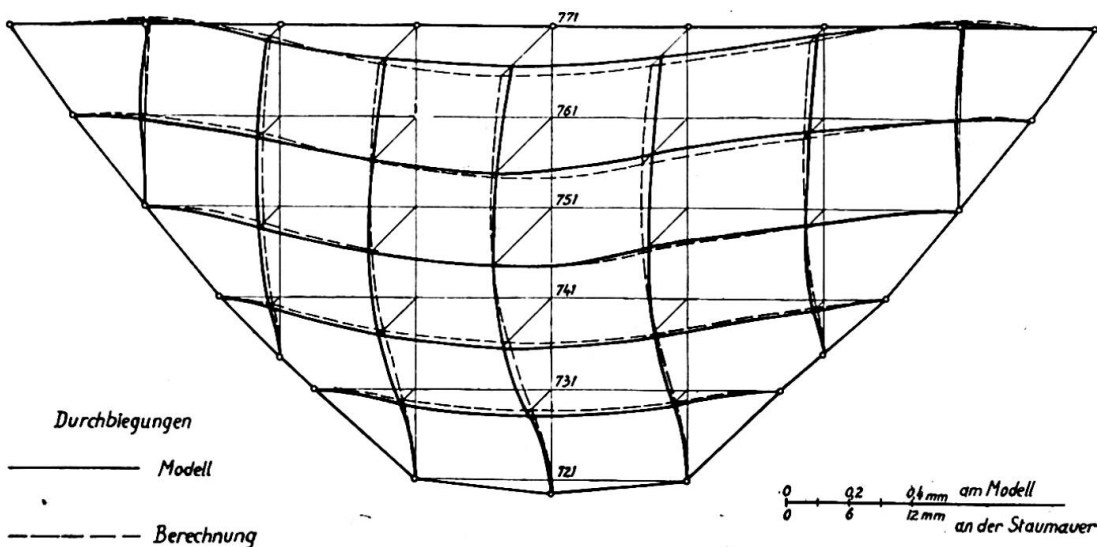
**Abb. 4.** Belastungsfeder :

a : längster Federweg; b : kürzester Federweg; c : Messuhr.



**Abb. 5.** Versuchsmodell. Abstützung der Belastungsfedern.

l'installation d'essais avec les nouveaux dispositifs de chargement et compare les résultats d'essais des mesures de flexion sur un modèle de barrage symétrique avec les résultats des calculs suivant la méthode de Ritter. Cette comparaison donne une correspondance satisfaisante.



**Abb. 6.** Ergebnisse der Durchbiegungsmessungen am Modell im Vergleich zur Berechnung.

### **Zusammenfassung**

An der Technischen Hochschule Graz sind gegenwärtig elastostatische Modellversuche mit Gewölbestaumauern im Gange. Der Bericht schildert kurz die Versuchsanordnung mit neuartiger Belastungseinrichtung und vergleicht die Ergebnisse der Durchbiegungsmessungen am Modell für eine symmetrische Mauer mit der Berechnung nach der Methode von Ritter. Es ergibt sich eine gute Uebereinstimmung im Durchbiegungsbild.

### **Summary**

Elastostatic investigation on models of arched dams are now proceeding at the Technical University at Graz. The report gives a brief view of the arrangements for the tests with a modern load-apparatus and compares the results of the deflection measurements on the model for a symmetrical wall with the calculation made after the Ritter method. There is good concordance as to deflection.