

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 69 (1951)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Staumauer und Kraftwerk Castelo do Bode in Portugal: Vortrag  
**Autor:** Schnitter, Erwin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-58823>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

legen; er dürfte 300 bis 400 mm betragen. Die Höhenlage der Rohre ist dem kolloidal schwebenden Schlamm anzupassen.

Die austretende Luft expandiert auf ihrem Weg nach oben und erhält dadurch eine grosse Berührungsfläche. Hinter diesem Vorhang von Luftblasen ist ein grosses Becken anzuordnen, in dem der neutralisierte Schlamm bei sehr kleiner Wassergeschwindigkeit absinken kann. Am untern Ende dieses Klärbassins ist in angemessener Entfernung eine tote Schwelle einzubauen. Vor dieser sind in geeigneter Ausführung Spülschützen einzubauen, durch die von Zeit zu Zeit der abgelagerte Schlamm entfernt werden kann.

Dieser Vorschlag ist als Anregung zu betrachten, die ein Ausprobieren in grösserem Masstabe an einem Ort mit

ständiger Zufuhr von schlammhaltigem Gletscherwasser verlangt.

*Anmerkung der Redaktion.* Dieser Vorschlag auf Durchführung von Versuchen zu dem erwähnten Zwecke dürfte Interesse bieten. Wir sind aber der Ansicht, dass vor der Ausführung eines Grossversuches durch einen Laboratoriumsversuch festzustellen wäre, ob die Zufuhr von Luft auf den feinen Gletscherschlamm die gleiche Reaktion auslöst wie auf den Kloakenschlamm. Die Tatsache, dass die neuen grossen Francisturbinen eines Werkes in der Zentralschweiz schon nach einem Betriebsjahr wegen des Angriffes durch solchen Schlamm ausgewechselt werden mussten, zeigt die Bedeutung solcher Versuche zur Genüge.

## Staumauer und Kraftwerk Castelo do Bode in Portugal

DK 627.82(469)

Von ERWIN SCHNITZER, Lissabon, Oberingenieur der A.-G. Conrad Zschokke, Genf

Vortrag, gehalten am 22. Dezember 1950 in der ETH auf Einladung des Nationalkomitees für grosse Staumauern und des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, sowie am 8. Januar 1951 im S. I. A. Bern. (Mit Photographien des Verfassers.)

Auch in Portugal hat die Entwicklung der wirtschaftlichen Verhältnisse die zwingende Notwendigkeit geschaffen, den dem Lande durch die Natur gebotenen Reichtum an hydraulischer Energie auszunützen. Unmittelbar nach Schluss des letzten Krieges wurde der Ausbau der Gesamtheit der Wasserkräfte auf moderner Grundlage mit Umsicht und Energie organisiert und in Angriff genommen. Unter den grossen Kraftwerken, die die erste Etappe dieses Ausbaues einschliesst, steht an erster Stelle das Kraftwerk Castelo do Bode der *Hydro-Elctrica do Zézere*. Dieser Gesellschaft, deren Aktienkapital zu einem Drittel Eigentum des Staates ist, wurde im Dezember 1945 die Konzession zur Ausnützung des Wassers des Zézere übertragen.

Der Zézere, ein Gebirgsfluss, der 120 km nordöstlich von Lissabon von Norden her in den Tejo mündet, entspringt in der aus Granit gebildeten, im Winter schneebedeckten Serra de Estrela, die gegen 2000 m Höhe erreicht und sich durch reiche Niederschläge auszeichnet. Ein erheblicher Teil des Einzugsgebietes des Zézere erhält Jahresniederschläge von 1500 bis 2000 mm, die sich normalerweise fast völlig auf die Monate Oktober bis Mai konzentrieren.

12 km oberhalb der Mündung des Zézere in den Tejo liegt das Kraftwerk Castelo do Bode. Hier beträgt das gänzlich in Portugal gelegene Einzugsgebiet rd. 4000 km<sup>2</sup> mit einer mittleren Höhe von 520 m ü. M. und einer mittleren Niederschlagshöhe von 1200 mm. Die Abflussmengen betragen

hier bei Sommer-Niederwasser 2 m<sup>3</sup>/s, bei normalem Hochwasser 500 m<sup>3</sup>/s, im Jahresmittel 75 m<sup>3</sup>/s. Ende Januar 1948 wohnten wir einem Hochwasser von 2300 m<sup>3</sup>/s bei, im September 1949 sank der Abfluss unter 0,5 m<sup>3</sup>/s. In einer Beobachtungsperiode von 25 Jahren betrug der Jahresabfluss normalerweise 2000 bis 3000 Mio m<sup>3</sup>, mit Schwankungen von 450 bis 6000 Mio m<sup>3</sup>.

Diese Abflussverhältnisse weisen darauf hin, dass der Ausbau des Zézere Wasserspeicherung grossen Ausmasses erfordert. Die topographischen und geologischen Verhältnisse machen dies möglich. Bei Castelo do Bode durchfliesst der Zézere mit sehr geringem Gefälle eine ausgedehnte Zone präcambrischer kristalliner Schiefer, in die er ein vielfach gewundenes Durchbruchtal mässiger Breite 150 bis 200 m tief erodiert hat. Durch Errichtung einer Staumauer von 110 m Höhe entsteht ein Stausee von 59 km Länge und 1070 Mio m<sup>3</sup> Inhalt, von denen 875 Mio m<sup>3</sup> mit Gefällen von 95 bis 53 m nutzbar sind und eine Jahresproduktion von 300 Mio kWh regulierter Energie ergeben.

Ein zweiter Ausbau ist 73 km flussaufwärts vorgesehen. Hier durchbricht der Zézere in tiefer, enger Schlucht ein Granitmassiv. Die Staumauer Cabril, ein schlankes Gewölbe von 128 m Höhe, wird einen Stausee von 53 km Länge mit 600 Mio m<sup>3</sup> Inhalt schaffen, wovon 500 Mio mit Gefällen von 115 bis 65 m nutzbar sind. Das Kraftwerk am Fusse der Staumauer wird 190 Mio kWh regulierter Jahresenergie erzeugen.

Der Betrieb in Cabril wird die Produktion in Castelo do Bode um 80 Mio kWh steigern.

Eine dritte Etappe soll das zwischen den beiden Anlagen verbleibende Gefälle von 54 m mittels einer Staumauer von 65 m ausnützen und im Jahr weitere 110 Mio kWh bringen.

Das Kraftwerk Castelo do Bode zeigt folgende Anordnung (Bilder 1, 2, 3): Der Talweg in hartem Gneis und kristallinen Schiefen liegt hier auf Kote 15 m ü. M., obschon die Entfernung bis zur Mündung des Tejo in den Atlantischen Ozean 150 km beträgt. Ein äusserst flacher Ablauf im Unterwasser ist deshalb kennzeichnend für die Anlage. Das Flussbett war an der engen Sperrstelle von Kies und Blöcken nur wenig bedeckt. Die Staumauer wurde nach Ausräumen schlechter Felspartien auf den im harten Gestein erodierten Talboden aufgesetzt. Sie ist als Gewölbe-Gewichtsmauer ausgeführt mit

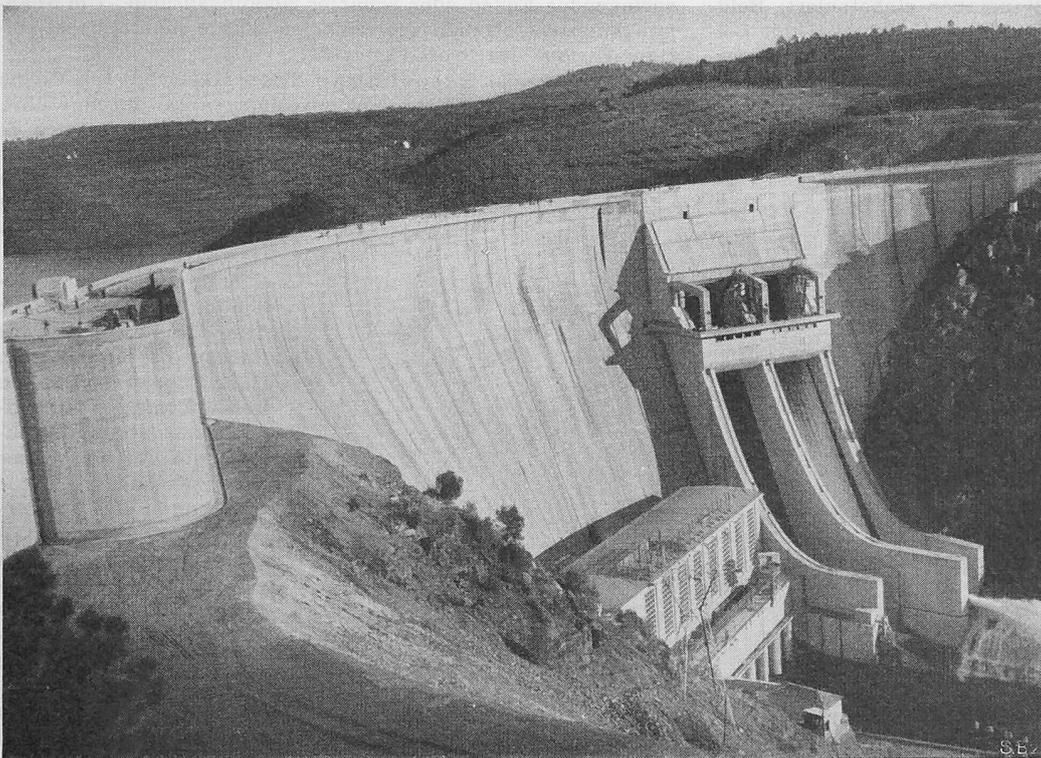


Bild 1. Staumauer mit Hochwasserüberfall und Maschinenhaus; Widerlager-Massiv auf der rechten Talschulter (19. Januar 1951)

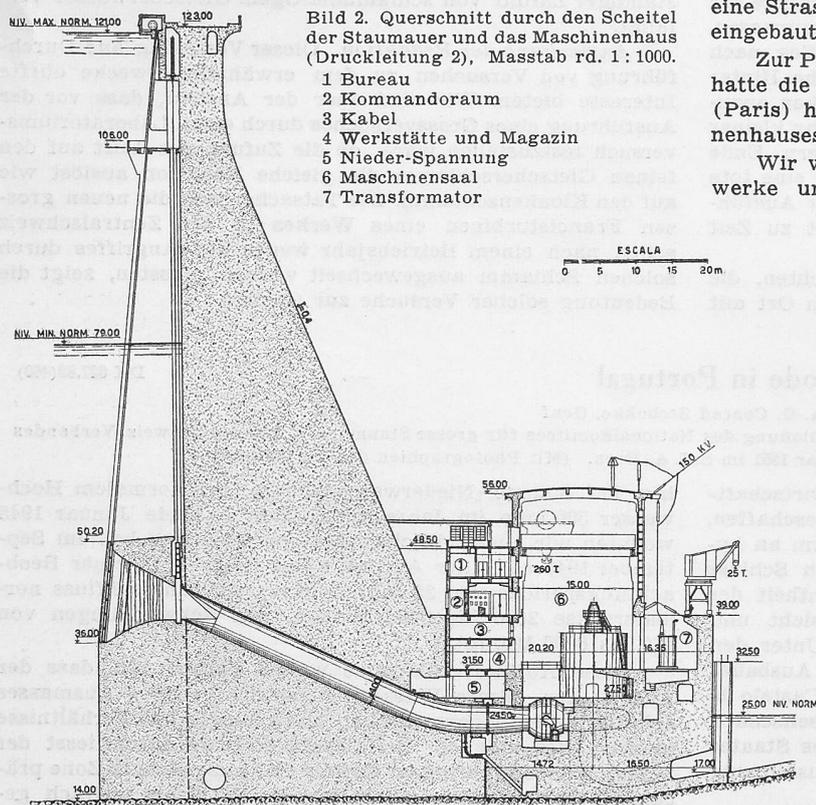


Bild 2. Querschnitt durch den Scheitel der Staumauer und das Maschinenhaus (Druckleitung 2), Masstab rd. 1:1000.

- 1 Bureau
- 2 Kommandoraum
- 3 Kabel
- 4 Werkstätte und Magazin
- 5 Nieder-Spannung
- 6 Maschinsaal
- 7 Transformator

eine Strasse. In das gesamte Bauwerk sind 500 000 m<sup>3</sup> Beton eingebaut, hiervon 460 000 m<sup>3</sup> in den Mauerkörper.

Zur Projektierung der Mauer mit Fassung und Ueberlauf hatte die Hidro-Electrica do Zézere als Berater Ing. Coyne (Paris) herangezogen, während die Bearbeitung des Maschinenhauses im eigenen Studienbureau erfolgte.

Wir wenden uns zur Beschreibung der wichtigsten Bauwerke und betrachten zunächst die Staumauer. Ihre Formgebung ist wie folgt definiert: Die Wasserseite ist ein vertikaler Zylinder von 150 m Radius. Die Axe dieses Zylinders ist auch die Vertikalaxe der Luftseite. Diese Luftseite wird durch folgende Flächen gebildet: unterhalb Kote 35,5 (d. h. bis 20 m über Fundament) durch einen Vertikalzylinder über einer horizontal liegenden Spirale. Im Scheitel ist die Mauer hier 34,6 m stark und wächst gegen die Widerlager gemäss dem Gesetz der Spirale kräftig an. Von Kote 35,5 bis 102 ist die Luftseite durch einen Kegel gebildet, dessen Horizontalschnitte Spiralen sind, deren Radius-Vektor vom Zentriwinkel und der Tiefe unter der Krone abhängt. Im Scheitel beträgt die Neigung der Mantellinie dieses Kegels 1:0,4. Sie nimmt gegen die Widerlager kräftig zu. Ueber Kote 102 findet der Uebergang statt in den 6 m starken Zylinder der Mauerkrone. Zwischen den Koten 102 und 122 sind die Horizontalschnitte Kreise, deren Radius sich mit der Tiefe unter der Krone verändert. Die Luftseite der Mauerkrone stellt hier eine Rotationsfläche dar mit biquadratischer Parabel als Erzeugender.

110 m grösster Höhe über der Fundamentsohle und 300 m Kronenlänge zwischen den Gewölbe-Widerlagern. Am oberen Teil der rechten Talseite bedingen die topographischen Verhältnisse eine Fortsetzung der Gewölbe-Staumauer durch ein schweres Gewichtsmassiv, das hier als Gewichtsmauer wirkt und zudem den Gewölbeschub der Mauerkrone ins Gebirge abzuleiten hat. Die Gesamtlänge der Mauerkrone erreicht hierdurch 400 m.

An den Fuss der Mauer ist das Maschinenhaus angebaut mit drei Gruppen zu je 73 000 PS bei maximalem Gefälle. Mit 74 m Länge füllt es den zwischen den beiden Talwänden geschaffenen Raum vollständig aus. Die drei Wasserfassungen für je 65 m<sup>3</sup>/s sind an den Mauerkörper angebaut, die Druckleitungen von 4 m  $\varnothing$  in die Staumauer einbetoniert. Beidseitig dieser Organe liegen die beiden Grundablässe mit Leitungen von 3 m  $\varnothing$  für insgesamt 300 m<sup>3</sup>/s. Der Hochwasserüberfall für 4000 m<sup>3</sup>/s über 100 m Abfalltiefe ist in die Mauerkrone eingebaut und der linken Talflanke aufgesetzt, eng an das Maschinenhaus gepresst. Ueber die Mauerkrone führt

Die Mauerkrone schliesst auf Kote 123 ab, 2 m über dem normalen Vollstau. Sie trägt auf der Wasserseite eine Eisenbetonkonsole von 1,82 m Auskragung und auf der Luftseite einen gewölbten, armierten Vorbau von 3,82 m Ausladung. Sie gibt damit Raum für eine 7 m breite Fahrbahn und zwei Gehwege von 1,5 m mit 32 cm starken Eisenbetonbrüstungen, also für eine freie Breite der Staumauerkrone von 10 m.

Im Längenprofil zeigt die Mauer auf die Gewölbebreite von 300 m einen angenähert symmetrischen Verlauf mit einer gemittelten Steigung von 35°. Während in der Talsohle nur wenig im Fels ausgebrochen wurde, ist die Mauer in den Talhängen beträchtlich eingeschnitten, teils entsprechend dem Verwitterungszustand des Felsens, teils zur Vermeidung vorspringender Ecken oder scharfer Neigungsbrüche. Um Spannungskonzentrationen zu vermeiden, wurde ein möglichst steiger Verlauf des Profils erstrebt.

Die statische Berechnung dieser Mauer hat Ing. Coyne nach seiner Methode der «Anneaux plongants» durchgeführt. Die nachprüfende Berechnung durch die Hidro-Electrica do

Zézere und die staatlichen Aufsichtsorgane erfolgte nach der «Trial Load Method» (Versuchslastenverfahren) auf Grund der Veröffentlichung zum Boulder Dam Canon Project des Bureau of Reclamation USA. Dabei wurde die Felsdeformation in Rechnung gezogen unter Zugrundelegung gleicher Elastizitätsmoduli für Beton und Fels. Es wurden drei Horizontalschnitte in Abständen von 20 m und drei Konsolen untersucht. Die grössten Druckspannungen haben die Grösse von rd. 35 kg/cm<sup>2</sup>.

Am Modell wurden das Gesamtverhalten und verschiedene besondere Fragen untersucht. Im Laboratorio de Engen-

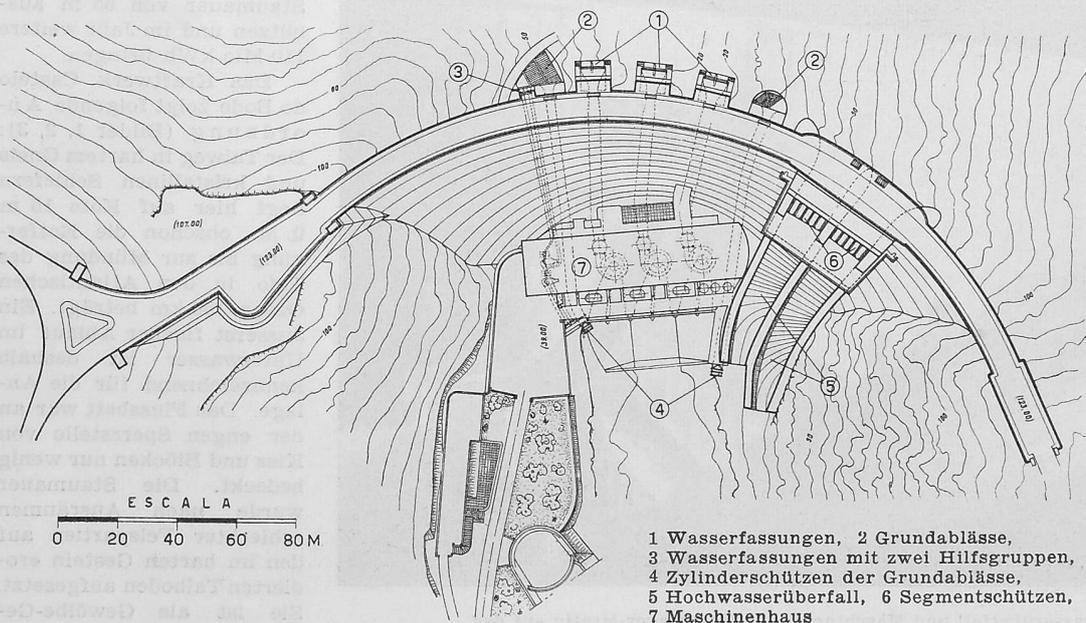


Bild 3. Lageplan von Staumauer und Kraftwerk Castelo do Bode, 1:2500

- 1 Wasserfassungen, 2 Grundablässe,
- 3 Wasserfassungen mit zwei Hilfsgruppen,
- 4 Zylinderschützen der Grundablässe,
- 5 Hochwasserüberfall, 6 Segmentschützen,
- 7 Maschinenhaus

haria Civil des *Instituto Superior Technico* (Lisboa) stand hierfür ein elektrisches Messgerät zur Verfügung, das 45 Messstellen gleichzeitig anschliessen liess mit 3 mm langen Messtrecken, so dass auch an Modellen kleinen Masstabes weitgehende Einsichten in Spannungsausbreitung und Spannungsverteilung gewonnen werden konnten. Besondere Fragen wurden photoelastisch untersucht. Einer speziellen Untersuchung wurde der Uebergang in das Widerlager auf der rechten Talschulter unterworfen.

Der Mauerkörper ist durch radial geführte Schnitte in Blöcke von 8 bis 15 m Länge unterteilt. Diese Fugen sind wasserseitig durch 3 mm starke Kupferbleche gedichtet, die in 2 m hohen Tafeln gestellt und mittels Hartlot miteinander verbunden wurden. Es wurde Block an Block betoniert.

In die Fugen sind zwei sorgfältig angeordnete Injektions-Systeme eingebaut. Dabei ist jede Fugenfläche in Zonen von 18 m Höhe unterteilt durch Eisenbleche, die horizontal und längs der Luftseite angeordnet sind und zusammen mit dem Kupferblech eine Zone dicht umschliessen.

Das primäre Injektions-System einer solchen Zone umfasst: unten horizontal liegende Injektionsrohre  $\varnothing 1''$ , von denen vertikal aufwärtsführende Nuten abzweigen, die mittels dickwandiger Gummischläuche betonierte wurden. Längs dem oben abschliessenden Blech ist eine nach der Luftseite schwach fallende Nut angeordnet. Dieser Kollektor gestattet ein Auswaschen des Systems vorgängig der Ausführung der Injektion und eine Kontrolle des Zementdurchflusses.

Das sekundäre Injektions-System besteht aus zwei Ringleitungen in jeder Zone. In diese  $1\frac{1}{4}''$  Rohre sind Injizier-Ventile für wiederholte Injektion eingebaut, deren Anordnung die folgende ist: ein T-Stück mit einer senkrechten Mittelwand von der Höhe des durchlaufenden Rohres trägt auf der Abzweigung einen Gummideckel von 5 cm Höhe bei 5 cm  $\varnothing$ . Bei der Injektion wird der Gummizylinder zusammengepresst und lässt den Austritt in die Fuge frei. Beim Nachspülen zwingt die Mittelwand das Wasser in die Abzweigung, das Ventil für wiederholten Gebrauch blank waschend.

Die primäre Injektion wird vorgenommen, bevor das Gewölbe durch die Wasserauflast deformiert wird. Jede Zone wird so spät als möglich injiziert. Die sekundäre Injektion wird nach wesentlicher Abkühlung in einem Zustand möglicher Entlastung vorgenommen. Es ist die Meinung, sie nach Bedarf später zu wiederholen.

Die Abgrenzung in Injektionszonen gestattet eine klare Lenkung und Ueberwachung der Durchführung des Injizierens. Die Ausführung dieser Injektionen sowie eines Injektionsschleiers im Fels längs des Mauerfusses wurde der Firma *Sondagens Rodio Lda.* (Lisboa) in Auftrag gegeben.

Der Drainage und inneren Ueberwachung der Mauer dienen: ein Gang von 3 m  $\varnothing$ , 1,5 m hinter der Wasserseite und 1 m über der Felslinie, der dem ganzen Mauerfundament folgt und in den Widerlagern in den Gang in der Mauerkrone mündet, der auf Kote 119 liegt, 2 m Breite und 2,5 m Höhe hat. In drei vertikalen Schächten ( $\varnothing 80$  cm) zwischen diesen Gängen werden Pendel angeordnet. Der tiefste Punkt des Revisionsganges ist durch einen Gang von 2 m  $\varnothing$  mit dem Pumpenschacht im Maschinenhaus verbunden. Vom obersten Stockwerk des Maschinenhausanbaues, Kote 50, führt ein Gang von 2,5 m  $\varnothing$  diagonal durch die Staumauer zum Liftschacht  $\varnothing 3$  m neben dem Ueberlauf. Vom Lift gelangt man durch weitere Verbindungsgänge zu den Abschlussorganen des Ueberlaufes, der Wasserfassungen und der Grundablässe.

Zur Ueberwachung des thermischen Verhaltens der Staumauer sind in Horizontalschnitten von 20 m Höhenabstand und in Vertikalprofilen alle 55 m elektrische Thermometer angeordnet, jeweils 1 und 6 m unter der Oberfläche und in Mauermitte. Es sind 80 Apparate vorgesehen, geliefert durch das *Physikalische Institut der Universität Fryburg*.

In ähnlichen Lagen wurden Gruppen akustischer Spannungsmesser, System Coyne, angeordnet. Es sind 49 Gruppen im Beton und acht einzelne im Fundamentfels eingebaut, insgesamt 170 Stück. Diese «*Télémesures acoustiques*» wurden durch die Firma *Télémac* (Paris) geliefert. In die Staumauer werden in Hülssen vorgespannte Saiten von 20 cm Länge eingebaut. Mit einem elektrischen Messgerät wird die Veränderung der Tonhöhe und damit die Längenänderung bestimmt.

Der Staumauer wasserseitig vorgebaut liegen die Organe der drei Wasserfassungen und der beiden Grundab-

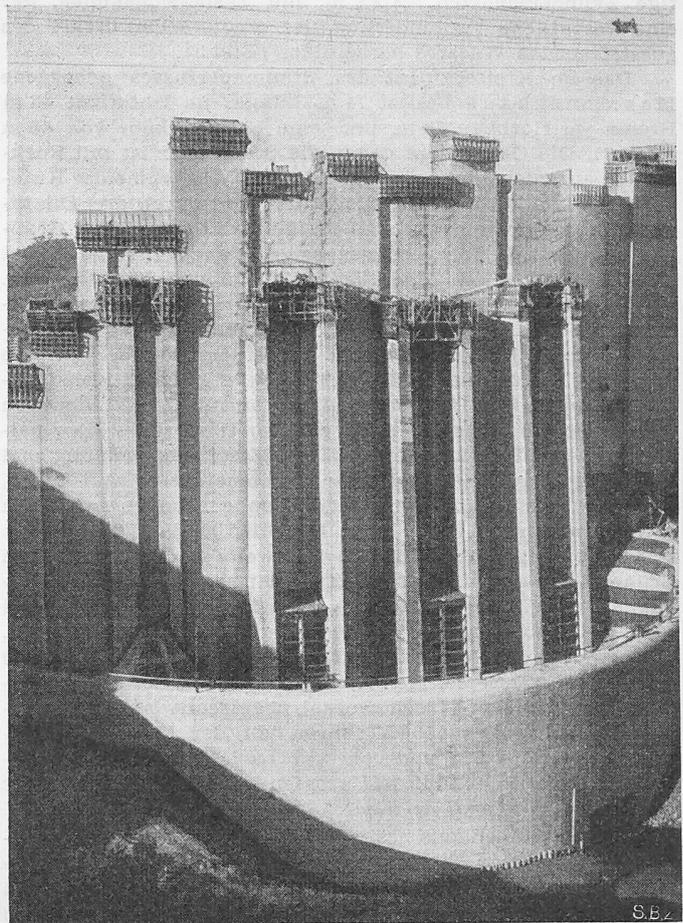


Bild 4. Wasserseite mit drei Wasserfassungen und zwei Grundablässen, Bahnen für Rechen und Schützen; vorne Bogenmauer als Baugrubenabschluss. 27. Januar 1950

lässe. An den rechtsufrigen Grundablass sind die Fassungen der beiden Eigenbedarfsgruppen angeschlossen. Die Einläufe zu den Grundablässen sind durch Eisenbetongitter geschützt. Die eisernen Rechen der Wasserfassungen ( $8 \times 13$  m) und die sieben Einlaufschützen laufen auf Bahnen, die mit den zugehörigen Revisions-Plattformen und -Kammern für die Servomotoren bedeutende, 100 m hohe Eisenbetonbauwerke bilden (Bild 4). Die Schützen laufen auf Raupenkettens, die kontinuierliche Druckverteilung gewährleisten. Der Pumpenraum zum Antrieb der Servomotoren liegt in der Staumauerkrone unterhalb dem oberen Revisionsgang. Diese Schützen werden im Maschinenhaus gesteuert und dienen als Notabschluss. Die Grundablässe werden normalerweise reguliert durch luftsei-

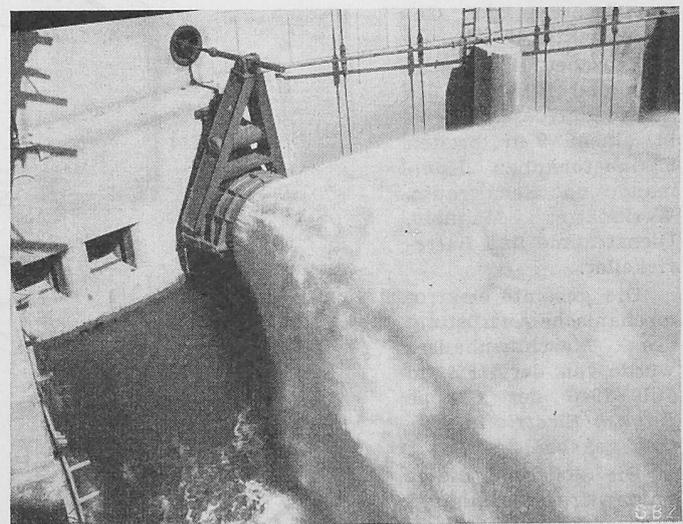


Bild 5. Zylinderschütze mit Dispersionskonus (bei  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  unter 30 m Druck) zur Regulierung der Grundablässe. 21. März 1950

tige Zylinderschützen,  $\varnothing$  2,8 m, mit Dispersionskonus, der eine wesentliche Verminderung der erodierenden Kraft des ausströmenden Wassers herbeiführt (Bild 5).

Das im Kreissegment des Staumauerfusses geborgene Maschinenhaus besitzt 74 m Länge, im Unterbau 43 m Breite, im Hochbau 18 m und eine Bauwerkhöhe von 45 m (Bild 6). Die Objektfuge gegen die Staumauer ist mit Korkplatten ausgelegt. Der gesamte Bau, mit Ausnahme der Kranbahnen, ist in Eisenbeton ausgeführt und durch drei Dilatationsfugen unterteilt. Es sind in 15 m Axabstand drei Gruppen angeordnet. Die vertikalachsige Francis-Turbine leistet 73 000 PS bei Maximalgefälle von 95 m und  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ , bzw. 63 000 PS bei mittlerem Gefälle von 80 m. Die Drehzahl beträgt 214 U/min. Spirale und Saugkrümmer sind als geschweisste Stahlkonstruktionen ausgeführt. Vor der Turbine liegt ein Kugelschieber von  $3,35 \text{ m } \varnothing$  mit 120 t Konstruktionsgewicht. Der Dreiphasengenerator mit Luftkühlung in geschlossenem Kreislauf weist eine kontinuierliche Maximalleistung von 57 400 kVA bei 15 500 V Maschinenspannung und 50 Perioden auf. Sein äusserer Durchmesser beträgt 9,1 m, die Höhe des Stators 5 m. Jede Gruppe arbeitet auf einen Transformator von 52 500 kVA, 15 500/165 000 V. Ein Laufkran von 260 t Tragkraft bei 14,5 m Spurweite bedient diese drei Gruppen und den Montageplatz. Damit er auch für die Handhabung der Transformatoren verwendet werden kann, sind zwischen den Gruppen starke Eisenbetonkonsolen angeordnet. Hier werden die Transformatoren abgesetzt und auf Gleisen in den unterwasserseitigen Keller verschoben, der durch stählerne Falltore vom Maschinensaal abgetrennt ist. Die Hochspannungsleitungen 150 kV führen vor der Maschinenhausfront auf das Dach und von dort nach dem nahen Unterwerk, das der Schaltung der grossen Ueberlandleitungen der *Companhia Nacional de Electricidade* dient.

Das Maschinenhaus besitzt keine eigentlichen Stockwerkebenen. Ueber dem Turbinenunterbau mussten die Gebäudewände hochgeführt und das Dach aus Eisenbeton-Rahmen und -Platte über dem 35 m hohen Lichtraum erstellt werden (Bild 7). Nach Montage des Laufkranes folgte dann abwechselnd Montage und Beton-Ummantelung von der Turbinenspirale bis zum Stator. Die ganze Tiefe des Maschinenunterbaues liegt frei unter dem Laufkran bis zur Kote 20 (Dachkote 56, Laufkran 48,3), wo die grossen Kugelschieber aufrufen und der Gang zum Herausziehen des Turbinenlaufrades mündet, stellenweise durch eiserne Gitterböden beweglich abgedeckt. Eine Besonderheit dieser Turbinen stellt die Absenkbarkeit des Laufrades nach unten dar. Die Turbinenschachtpanzerung (d. h. der Ablaufstutzen) kann weggeschraubt werden; durch einen horizontalen, mit Gleis versehenen Gang wird ein Wagen eingeschoben und damit das Laufrad unter den Kran gebracht.

Unter der Montageplattform liegen die beiden Eigenbedarfsgruppen 1300 PS und der Pumpenschacht, der auf Kote 10 reicht und der Entwässerung des Gesamtobjektes dient.

Zwischen Maschinenhaus und Rundung des Staumauerfusses liegen in einem 9 m breiten Eisenbetonanbau Kommando- und Schaltraum, Werkstätte, Magazin, Diensträume und Batteriekeller.

Die gesamte elektro-mechanische Ausrüstung des Maschinenhauses wurde von der HEZ im Juli 1946 der Gruppe *English Electric* in Auftrag gegeben.

Die Sicherheit dieses ganzen Kraftwerks hängt in besonderem Masse vom Hochwasserüberfall ab, der bei dem herr-

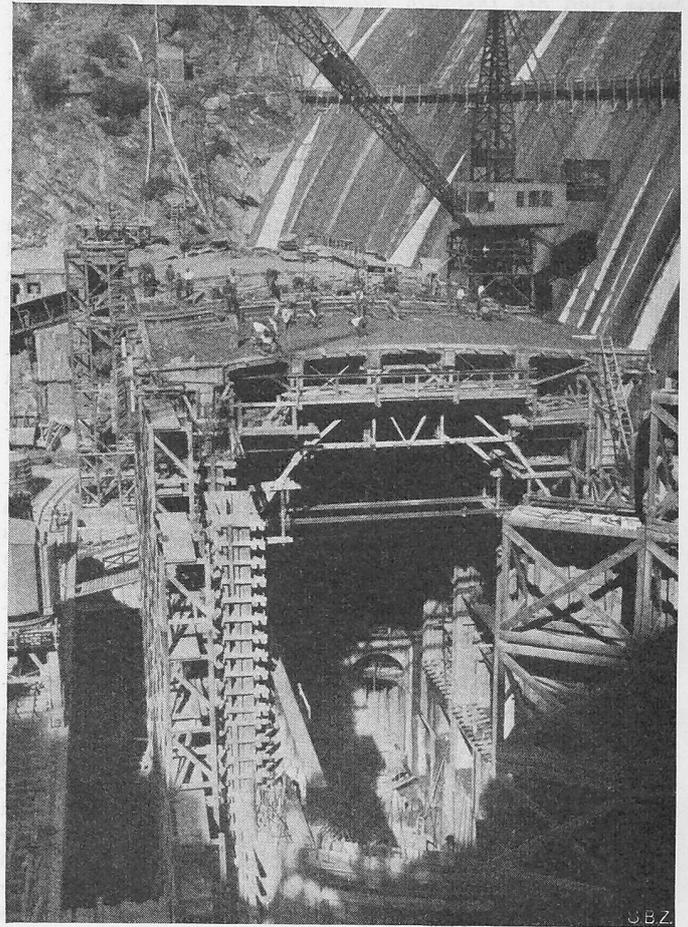


Bild 7. Betonierung des Maschinenhauses; fahrbare Dachschalung. 3. November 1949

schen Flussregime zu einem Hauptorgan der Anlage wird, das deren Kosten und Schicksal weitgehend bestimmt (Bilder 8 und 9).

Für Castelo do Bode wurde von folgenden primären Erwägungen ausgegangen: der Ueberlauf soll auf den festen Körper der gegen das Widerlager kräftig verstärkten Staumauer kommen; die Oberflächenneigung der Luftseite im radialen Schnitt lag hier schon nahe der Neigung, die ein

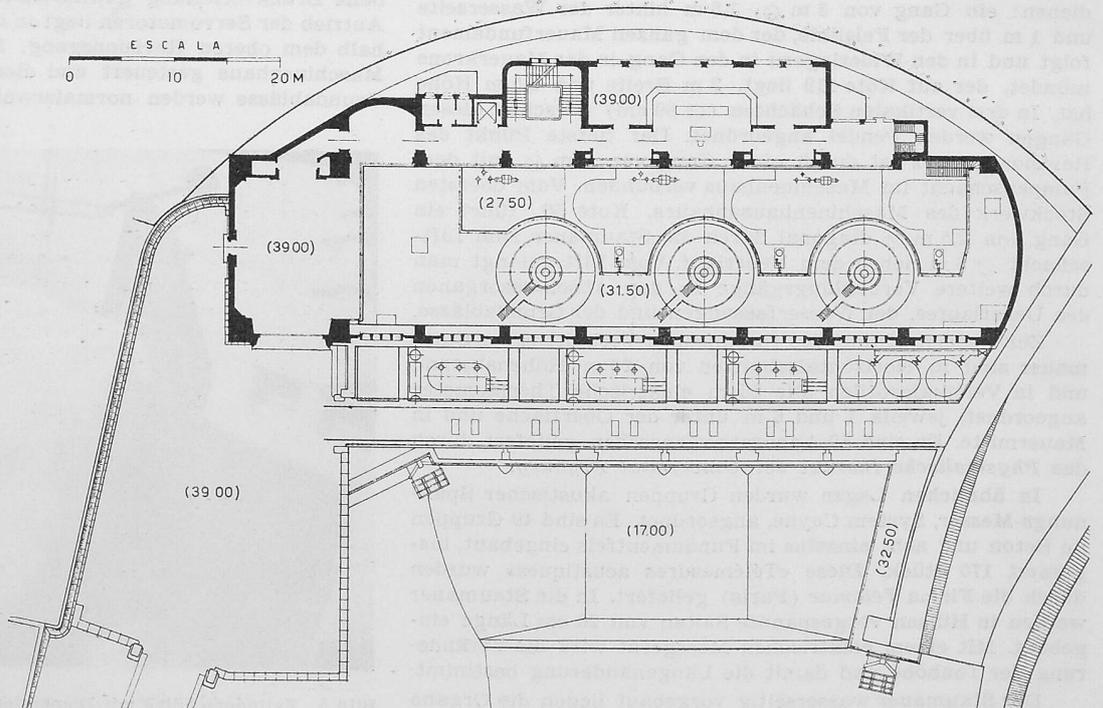


Bild 6. Grundriss des Maschinenhauses. Masstab rd. 1 : 700

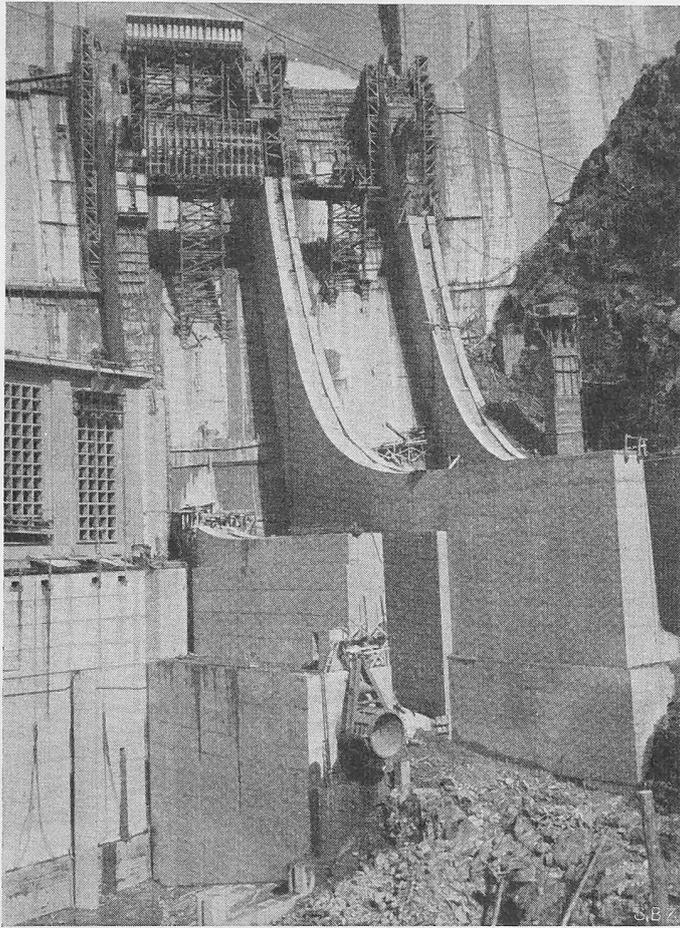


Bild 8. Hochwasserüberfall im Bau. 24. Mai 1950

Ablösen des Ueberfallstrahles verhindert. Am Staumauerfuss sollte durch Aufbiegen der Ablaufgerinne die abströmende Wassermasse derart in die Luft geschleudert werden, dass der Aufprall in das Flussbett so weit vom Bauwerk erfolgt, dass es von der Erosion nicht mehr betroffen wird. Dabei wird das Wasser zerstäubt und mit grossen Luftmengen vermischt, was eine doppelte Wirkung hat: Bremsung der Wucht durch die Luft, dadurch intensive Energievernichtung und Umwandlung von Flüssigkeit in eine elastische Emulsion, die beim Aufprall reflektiert, wodurch das Wasser einen wesentlichen Teil seiner erodierenden Kraft einbüsst. Zur Förderung dieser Dispersion des Wassers wurde ein weiterer Kunstgriff herangezogen: Die Sohle der Ablaufrinnen wird längs einer Schraubenlinie so gedreht, dass der Abflussquerschnitt beim Absprung hochkant steht. Das Wasser bildet dann in der Luft einen vertikalen, schmalen Fächer, der das Flussbett bei grösster Abflussmenge in 80 bis 150 m Entfernung trifft.

Am Modell 1:50 wurden diese Vorgänge sowie die Ausbildung des Einlaufes in lange dauernder Forschung untersucht und alle Einzelheiten der Formgebung bestimmt.

Der Einlauf des in zwei Gerinne für je 2000 m<sup>3</sup>/s getrennten Hochwasserüberfalles ist durch mächtige, gerundete Vorbauten so gestaltet, dass er möglichst wirbelfrei und mit geringster Kontraktion arbeitet, so dass die Durchbrechung des Staumauergewölbes den geringstmöglichen Querschnitt benötigt. Dieser Eintrittsquerschnitt misst je Oeffnung in der Breite 15,5 m, in der Höhe 11,5 m. Die Einlaufschwelle liegt 16 m unter Normalstau, Kote 105. Die Decke presst den Ueberfallstrahl gegen die Gerinnesohle; hierdurch genügt das Gefälle der Staumauer zur Vermeidung von Unterdruck. Das Abschlussorgan liegt erst auf Kote 92, wo das zu schliessende Querprofil 14 x 8 m beträgt. Dem Abschluss dienen zwei Segmentschützen, die durch in beidseitigen Nischen liegende Servomotoren betätigt werden. Die Anordnung ermöglicht vollständig glatte Gerinnewandungen. Die einzelnen Spanten der Schützen stützen sich auf Kote 90 auf einen Eisenbetonträger, der mit 10 m Konstruktionshöhe die beiden Gerinne überbrückt und die Maschinenkammer zum Antrieb der Servomotoren birgt. Die Schützenkraft wird von diesem Träger teils als Druckkräfte auf die Kanalmauern abgegeben, teils wird sie durch Rundisen in den Mauerkörper zurückgeleitet. Die Verteilung dieser Kräfte wurde spannungsoptisch untersucht. Die beiden steilen Ablaufrinnen besitzen 3 m dicke, 13 m hohe Mauern; Wände und Sohle, in schalungsrauhem Eisenbeton, sind durch ein Oberflächenbewehrungsnetz gesichert. Der Austrittsquerschnitt für 2000 m<sup>3</sup>/s weist auf Kote 30 eine Breite von 5 m auf bei 12 m Wandhöhe.

Die hydraulisch mit eingehender Konsequenz entwickelte Lösung von Einlauf und Abschluss dieses Ueberlaufes stellt konstruktiv und statisch schwierige Probleme. Die Aufsichtsbehörde warf die Frage auf, ob der über der Ueberlaufschwelle liegende Mauerteil noch als Gewöbelamelle berechnet werden könne, oder ob er vielmehr als Gewichtsmauer betrachtet werden müsse. Auch hier konnte die Abklärung durch Spannungsmessungen am Modell und durch photoelastische Untersuchung herbeigeführt werden. Es zeigte sich, dass die Durchleitung der Gewöbelkraft durch die unter und über der Ueberlauföffnung angeordneten Mauerverstärkungen gewährleistet ist; die ursprünglich projektierten Verstärkungen mussten sogar reduziert werden, da sie am Modell eine derart erhöhte Versteifung zeigten, dass an den Uebergangsstellen erhebliche Spannungskonzentrationen in Erscheinung traten. Es war auch möglich, die Grösse der neben der Oeffnung auftretenden Vertikalkräfte (Grössenordnung 3000 t) zu bestimmen und über ihre Verteilung Aufschluss zu gewinnen.

Die Aufnahme der Kräfte: Gewöbelkraft, Schützen-schub, Auftrieb der Decke führte in dem durch Radial-fugen unterteilten Baukörper zu einem dichtgefloch-tenen Netz schwerer Be-wehrung.

Die Lieferung der grossen Segmentschützen wurde der Firma Neyrpic-Sorefame.

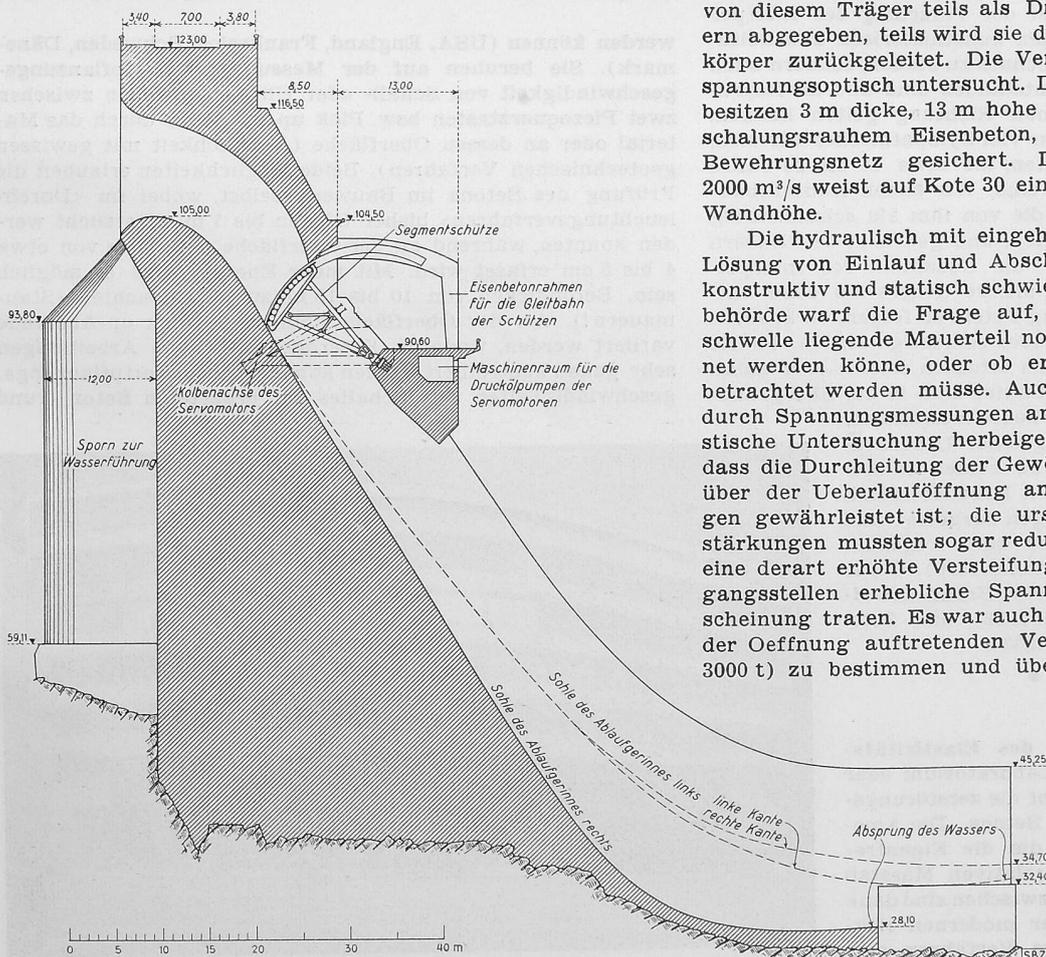


Bild 9. Hochwasserüberfall; Längsschnitt 1:800 durch den Ablauf rechts

Lisboa, in Auftrag gegeben, die sich für Projekt- und Werkzeichnungen die Mitwirkung der A.-G. Conrad Zschokke, Stahlbau, Döttingen, gesichert hatte. Diese Lissabonner Firma hat auch die Druckleitungen mit ihren wasserseitigen Abschlussorganen, sowie den Kranbahnträger im Maschinenhaus geliefert. (Schluss folgt)

## Schutz erhaltenswerter Bauten in Zürich

DK 719.3(494.34)

Kurz nach der Gemeindeabstimmung vom 23. Febr. 1947, in der die neue Bauordnung der Stadt Zürich angenommen wurde, reichte Kantonsbaumeister Heinrich Peter im Gemeinderat folgende Interpellation ein: «Der Stadtrat wird ersucht, darüber Aufschluss zu geben, was er zu tun gedenkt, um bis zum Inkrafttreten der neuen Bauordnung die aus künstlerischen, kunsthistorischen, kulturellen und städtebaulichen Gründen wertvollen Bauten, Gebäudegruppen, Strassen- und Platzbilder vor Verunstaltung oder Zerstörung zu schützen». Der Interpellant zählte eine bedauerlich lange Reihe von abgebrochenen erhaltenswerten Bauten auf und nannte andererseits einige bis damals noch erhaltene und gerettete. Er forderte ein Verzeichnis der schutzwürdigen Baudenkmäler und wies auf andere Gemeinden hin, die damals schon ein solches Inventar angelegt hatten. Der Artikel 8 der neuen Bauordnung gibt dem Stadtrat den Auftrag, «Liegenschaften oder Bauwerke, an die sich wichtige geschichtliche Erinnerungen knüpfen oder denen ein erheblicher kunsthistorischer oder kultureller Wert zukommt, unter Denkmalschutz zu stellen». Dieser Art. 8, gegen den keine Rekurse eingegangen sind, beruht auf der kantonalen Verordnung über den Natur- und Heimatschutz vom 9. Mai 1912; es handelt sich dabei also nicht um eine eigentliche Neuerung. Neu ist nur die imperative Form und die Verpflichtung zur Führung eines Verzeichnisses der geschützten Bauten.

Wie wichtig dieser Vorstoss des Kantonsbaumeisters war, zeigt die seither stattgefundene Entwicklung, die selbst den Talhof und andere markante Bauwerke nicht schonte. Jedermann ist sich darüber klar, dass Mittel und Wege gesucht werden müssen, die Zeugen der Vergangenheit zu schützen. Besonders interessant war aber der Vorschlag des Interpellanten, nicht nur die eigentlichen kunsthistorisch und kulturell wertvollen Gebäude unter Schutz zu stellen, sondern auch solche, die in der neuern Zeit entstanden sind und als Repräsentanten der jeweils modernen Richtung gelten können. Gerade dieser Gedanke hat sehr viel Sympathisches für sich, denn es zeigt sich, dass Bauten, die etwa 10 bis 20 Jahre alt sind, besonders gefährdet sind. Wir haben Kantonsbaumeister H. Peter gebeten, uns die von ihm als schutzwürdig empfundenen Bauten aufzuzählen, und geben in den Bildern einzelne Beispiele wieder, die die Gedanken des Interpellanten illustrieren. Wenn sich unsere Generation dazu entschliessen könnte, der Anregung Peters zu folgen, so könnten sich spätere Geschlechter darüber schlüssig werden, ob sie die Bauten unserer Zeit wirklich erhalten wollen oder nicht.

Vier von den abgebildeten Bauten sind in der SBZ gründlich dargestellt worden. Es ist heute interessant, dort nachzulesen, mit welcher grosser Ueberzeugung bei jedem Bau, jeweils zu seiner Entstehungszeit und meist durch den Erbauer selbst, die charakteristischen Neuerungen dargelegt und begründet werden. Die Stellen sind folgende: Jelmoli Bd. 32, Nr. 20 (12. November 1898), Corso Bd. 36, Nr. 1 u. 2 (7. u. 14. Juli 1900), Brann-Erweiterung Bd. 99, Nr. 17 (23. April 1932) und Zetthaus Bd. 101, Nr. 1 (7. Januar 1933).

## MITTEILUNGEN

Die dynamische Messung des Elastizitätsmoduls von Beton, sei es im Laboratorium oder auf dem Bauwerk selbst, erlaubt die zerstörungsfreie Prüfung der Qualität des Betons. Die Amerikaner sind u. W. die ersten, die die Eigenfrequenz von Betonprismen als relativen Masstab der Betonqualität benützten. Inzwischen sind dank der schnellen Entwicklung der modernen elektronischen Messtechnik neuere Verfahren entstanden, die auch für Beton mit Erfolg angewendet

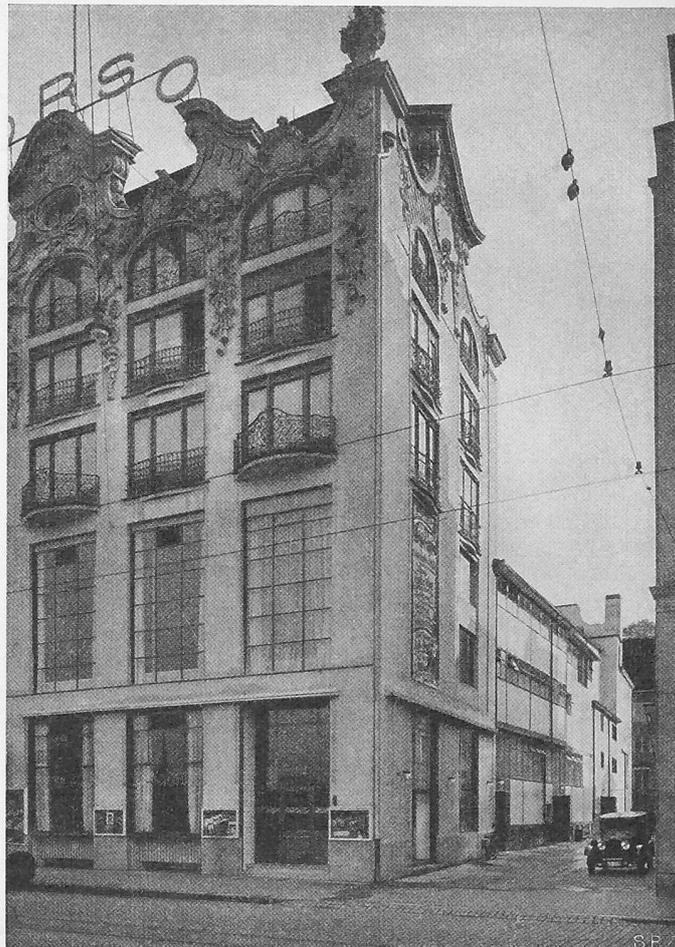


Bild 1. Corsotheater, 1899, Architekten H. STADLER & E. USTERI (Erdgeschoss und erster Stock bereits in der Umgestaltung von 1933)

werden können (USA, England, Frankreich, Schweden, Dänemark). Sie beruhen auf der Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Schall- oder Ultraschallwellen zwischen zwei Piezoquarztasten bzw. Pick up, entweder durch das Material oder an dessen Oberfläche (Aehnlichkeit mit gewissen geotechnischen Verfahren). Beide Möglichkeiten erlauben die Prüfung des Betons im Bauwerk selbst, wobei im «Durchleuchtungsverfahren» bisher Dicken bis 1 m untersucht werden konnten, während an der Oberfläche eine Tiefe von etwa 4 bis 5 cm erfasst wird. Mit mehr Energie wird es möglich sein, Betondicken von 10 bis 15 m zu durchleuchten (Stau-mauern!). An der Oberfläche können die Pick up-Abstände variiert werden, wodurch Heterogenitäten wie Arbeitsfugen sehr genau kontrolliert werden können. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles im erhärteten Beton (rund

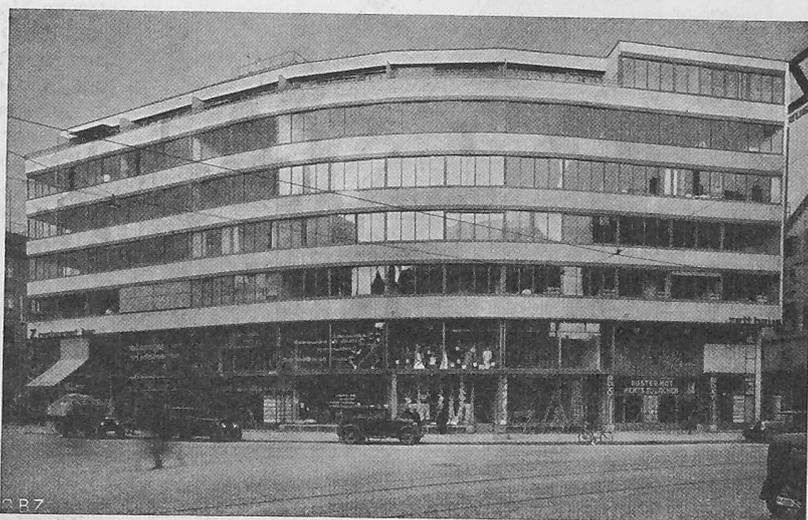


Bild 2. Zetthaus, 1932, Arch. R. STEIGER, Mitarbeiter R. WINKLER