

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

Artikel: Reinigen des Betriebswassers von Wasserkraftanlagen von Sandmehl und Schlamm
Autor: Sörbye, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-58822>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

2. Berechnung der Eisenwandstärke d_e

Mit einer Ausmauerungsstärke $d_m = 90$ mm und mit einer Eisenwandstärke $d_e = 25$ mm ergibt sich aus Gleichung (24) die Quellgrösse q zu:

$$q = \left(1 + \frac{9 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 21 \cdot 10^5}\right) \times \left[\frac{4 \cdot 0,6 \cdot 10^{-5} \cdot (1,2 - 0,6) \cdot 10^{-5}}{2(4-1) \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} + 0,6 \cdot 10^{-5}} \times (100 - 30) + \frac{150 \cdot 3}{2,5 \cdot 21 \cdot 10^5} \right] = 29,2 \cdot 10^{-5}$$

Mit $d_e = 30$ mm wird $q = 26 \cdot 10^{-5}$ und mit $d_e = 35$ mm $q = 24 \cdot 10^{-5}$. Wir wählen $q = 26 \cdot 10^{-5}$ und $d_e = 30$ mm.

B. Berechnung der Spannungen

1. Berechnung der Eisenspannungen

Die Vorspannung im Eisen folgt aus Gleichung (26) zu

$$\sigma_{ev} = \frac{26 \cdot 10^{-5} \cdot 21 \cdot 10^5}{\left(1 + \frac{3 \cdot 21 \cdot 10^5}{9 \cdot 2,1 \cdot 10^5}\right)} = 126 \text{ kg/cm}^2$$

die Spannung im Eisen durch p allein aus Gleichung (27)

$$\sigma_{ep} = \frac{150 \cdot 3}{3} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

die Zusatzspannung durch die niedrige Wintertemperatur $t_w = -10^\circ \text{C}$ aus Gleichung (28):

$$(\sigma_{ez})_t = \frac{21 \cdot 10^5 (1,2 - 0,6) \cdot 10^{-5}}{\left(1 + \frac{3 \cdot 21 \cdot 10^5}{9 \cdot 2,1 \cdot 10^5}\right)} \times (30 + 10) = 116 \text{ kg/cm}^2$$

die Gesamtspannung im Eisen somit:

$$\sigma_{eg} = \sigma_{ev} + \sigma_{ep} + (\sigma_{ez})_t = 392 \text{ kg/cm}^2$$

2. Berechnung der Mauerwerkspannungen

Die Vorspannung im Mauerwerk berechnet sich aus Gleichung (39) zu

$$\sigma_{mv} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-5} (1,2 - 0,6) \cdot 10^{-5} (100 - 30)}{2(4-1) \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} + 0,6 \cdot 10^{-5}} = 54,3 \text{ kg/cm}^2$$

die Zusatzspannung durch eine Wintertemperatur $t_w = -10^\circ \text{C}$ nach Gleichung (40)

$$(\sigma_{mz})_t = \frac{3}{9} \cdot 116 = 38,6 \text{ kg/cm}^2$$

Die Gesamtspannung, die eine Druckspannung ist, somit

$$\sigma_{mg} = 54,3 + 38,6 = 92,9 \text{ kg/cm}^2$$

C. Berechnung der Temperaturen

1. Berechnung der Gleichgewichtstemperatur $t_{eg} = t_{e \max}$

Nach Gleichung (2) findet man:

$$\varphi_0 = \frac{2(4-1)(1,2-0,6) \cdot 10^{-5}}{(2 \cdot 4 - 1) \cdot 0,6 \cdot 10^{-5}} = \frac{6}{7} = 0,86$$

Nach Gleichung (21)

$$t_{e \max} = t_{eg} = \frac{1}{0,86 + 1} \cdot 100 + \frac{0,86}{0,86 + 1} \cdot 30 = 68^\circ \text{C}$$

bei 30°C Lufttemperatur

$$t_e = \frac{1}{0,86 + 1} \cdot 100 - \frac{0,86}{0,86 + 1} \cdot 10 = 49^\circ \text{C}$$

bei -10°C Lufttemperatur

2. Berechnung der Minimaltemperatur $t_{e \min}$ bei einer Eisenbeanspruchung $\sigma_{e \max} = 800 \text{ kg/cm}^2$

Nach Gleichung (34) wird:

$$\frac{t_{e \max} - t_{e \min}}{\left(\frac{800 - \frac{150 \cdot 3}{3}}{21 \cdot 10^5} \right) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 21 \cdot 10^5}{9 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \right) - 26 \cdot 10^{-5}} = \frac{1,2 \cdot 10^{-5} + \frac{0,6 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (4-1)}}{0,86 + 1} = 83^\circ \text{C}$$

$$t_{e \min} = 68^\circ - 83^\circ = -15^\circ \text{C}$$

D. Zusatzspannungen wegen zu dicker Ausmauerung

Würde man die Ausmauerung um eine Plattenlage (40 mm) + Fuge 10 mm, insgesamt 50 mm, dicker ausführen, so erfahren der Eisenmantel eine Zusatzzugspannung $(\sigma_{ez})_\varphi$ und das Mauerwerk eine Zusatzdruckspannung $(\sigma_{mz})_\varphi$.

1. Berechnung der Zusatzspannung im Eisen

Nach Gleichung (3a) wird mit $d_m = 90 + 50 = 140$ mm = 0,14 m:

$$\varphi = \frac{12 \cdot 0,14}{1,6} + \frac{12 \cdot 0,003}{0,16} + \frac{12 \cdot 0,03}{50} = 1,28$$

Nach Gleichung (32) mit $\varphi = 1,28$, $\varphi_0 = 0,86$, $d_m = 0,14$ m:

$$(\sigma_{ez})_\varphi = \frac{\left[1,2 \cdot 10^{-5} + \frac{0,6 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (4-1)} \right] \cdot 21 \cdot 10^5}{\left(1 + \frac{3}{14} \cdot \frac{21 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} \right)} \times \frac{(1,28 - 0,86)}{(0,86 + 1)(1,28 + 1)} \cdot (100 - 30) = 60 \text{ kg/cm}^2$$

2. Berechnung der Zusatzspannung im Mauerwerk

Die Zusatzdruckspannung im Mauerwerk wird nach Gleichung (41)

$$(\sigma_{mz})_\varphi = \frac{3}{14} \cdot 60 = 12,9 \text{ kg/cm}^2$$

E. Schlussbemerkungen

Diese Arbeit sollte zunächst das wissenschaftlich begründete Verfahren zeigen, das bei der Bemessung der Wandstärken von Eisenmantel und Mauerwerk ausgemauert Apparate angewendet werden kann und zur Zeit mit Erfolg von uns benutzt wird. Auf die besondere Art und Weise der Messungen von Dehnungen, Wärmedurchgängen und Wärmeübergängen ist hier noch nicht näher eingegangen worden. Die Versuche zur Bestimmung dieser Stoffwerte sollen in einer späteren Arbeit von einem meiner Mitarbeiter ausführlich behandelt werden. Als vorläufige mittlere Gebrauchszahlen können folgende Stoffwerte angegeben werden:

Für Eisen:

$$\begin{aligned} E_e &= 21 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 & \lambda_e &= 50 \text{ kcal/mh}^\circ \text{C} \\ \alpha_e &= 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1} & \alpha_l &= 12 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{C für Luft} \\ \sigma_{e \max} &= 800 \text{ bis } 1200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Für Mauerwerk:

$$\begin{aligned} E_m &= 2,1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 \\ \alpha_m &= 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1} \\ \lambda_m &= 1,5 \text{ kcal/mh}^\circ \text{C keramische Steine in Säurekitt} \\ &= 0,75 \text{ kcal/mh}^\circ \text{C keramische Steine in Asplitkitt} \\ &= 0,75 \text{ kcal/mh}^\circ \text{C keramische Steine in Asplitkitt} \end{aligned}$$

$\sigma_{m \max} = 150 \text{ kg/cm}^2$

$$q_{\max} = 30 \cdot 10^{-5}$$

$$m = 4$$

Literaturverzeichnis

- [1] E. Schmidt, Einführung in die Technische Thermodynamik, Springer 1950, S. 343.
- [2] Ebenda S. 356.
- [3] A. und L. Föppl, Drang und Zwang, Verlag Oldenbourg 1928, S. 272.

Reinigen des Betriebswassers von Wasserkraftanlagen von Sandmehl und Schlamm

Von Oberingenieur H. SÖRBYE, Lysaker, Norwegen DK 627.88

Für das Ausscheiden von Kies und grobem Sand aus dem Betriebswasser von Wasserkraftanlagen bestehen geeignete und erprobte Einrichtungen und Anlagen. Diese versagen aber dort, wo auch feiner Gletscherschlamm in gefährlicher Menge im Wasser kolloidal schwebend enthalten ist und deshalb selbst in grossen Klärbecken nicht zum Sinken gebracht werden kann.

Der Verfasser erlaubt sich hiermit, nach den von ihm gemachten Erfahrungen bei Reinigungsanlagen für Kloakenwasser mit feinem Schlammgehalt, den Vorschlag zu machen auf Durchführung von Versuchen über das Aktivieren des Gletscherschlammes durch Zuführung von Sauerstoff (Luft), wodurch der kolloidale Zustand erwartungsgemäss teilweise behoben wird, und der Schlamm alsdann in neutralem Zustand zum Absinken gebracht wird.

Die Zufuhr von Druckluft von 1 ÷ 2 atü kann durch ein Rohr von verhältnismässig kleiner Lichtweite erfolgen, in das auf der unteren Seite kleine Düsen aus rostfreiem Material einzusetzen sind. Es wird sich empfehlen, mehrere Rohre mit versetzten Düsen nebeneinander zu verlegen. Der bestgeeignete Abstand der Düsen ist durch Versuche festzu-

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 SCHNITTER, 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 *Hidro-Eléctrica 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 km² mit einer mittleren Höhe von 520 m ü. M. und einer mittleren Niederschlagshöhe von 1200 mm. Die Abflussmengen betragen

hier bei Sommer-Niederwasser 2 m³/s, bei normalem Hochwasser 500 m³/s, im Jahresmittel 75 m³/s. Ende Januar 1948 wohnten wir einem Hochwasser von 2300 m³/s bei, im September 1949 sank der Abfluss unter 0,5 m³/s. In einer Beobachtungsperiode von 25 Jahren betrug der Jahresabfluss normalerweise 2000 bis 3000 Mio m³, mit Schwankungen von 450 bis 6000 Mio m³.

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 m³ Inhalt, von denen 875 Mio m³ 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 m³ 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

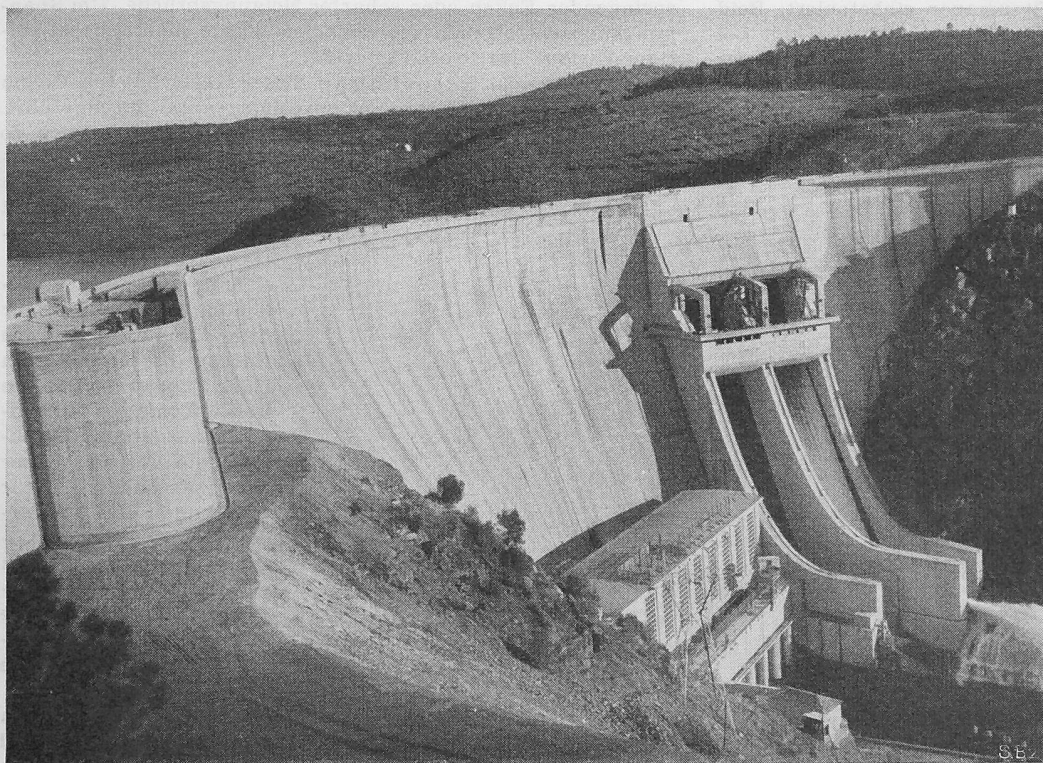


Bild 1. Staumauer mit Hochwasserüberfall und Maschinenhaus; Widerlager-Massiv auf der rechten Talschulter (19. Januar 1951)