

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81/82 (1923)
Heft: 11

Inhaltsverzeichnis

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: 18.02.2026

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

INHALT: Spiegelbewegung in Wasserschlössern. — Zur Frage einer Hochbrücke Baden-Wettingen. — Wettbewerb für ein städtisches Gymnasium auf dem Kirchenfeld in Bern. — Erweiterung des Zürcher Strandbades. — Korrespondenz. — Miscellanea: Elektrifikation der Arlbergbahn. Clevertons Methode zur Messung der

Wassergeschwindigkeit. Eidgenössische Technische Hochschule. Umbau des Alten Theaters in Leipzig. Elektrifikation der S. B. B. — Konkurrenzen: Hochbrücke Baden-Wettingen. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Société Genevoise des ingénieurs et des architectes. S. T. S.

Band 81.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 11.

Spiegelbewegung in Wasserschlössern.

Von Privatdozent Dr. techn. Ing. Armin Schoklitsch, Graz.

1. Die Berechnungsweise der Schwingungen.

Wegen der relativ langen Periode der Schwingungen im Stollen braucht man bei der Ermittlung der Spiegelbewegung die Elastizität der Stollenwandung sowie jene des Wassers nicht zu berücksichtigen. Der Wasserspiegel am Wehr, bezw. am Stollenmundloch wird auf konstanter Höhe vorausgesetzt und die lebendige Kraft des Wassers vor dem Stollenmundloch sowie jene des Wasserschlössers-Inhaltes gegenüber der lebendigen Kraft des Stolleninhaltes vernachlässigt. Da über die Geschwindigkeitsverteilung in weiten Stollen noch keine verlässlichen Messungen vorliegen, wird die lebendige Kraft des Stolleninhaltes von der Masse M am besten gleich $\frac{1}{2}MU^2$ angenommen, wobei mit U die mittlere Geschwindigkeit bezeichnet ist¹⁾; tatsächlich wird sie etwas grösser sein, da $\sum \frac{1}{2}mu^2 > \frac{1}{2}MU^2$ ist, wenn unter u die Geschwindigkeit eines Massenteilchens m verstanden wird.

Es sei nun die Arbeit betrachtet, die das Wasser beim Uebergang vom Wehrbecken zum Wasserschlösser leistet und nachgesehen, wozu sie verbraucht wird. Ins Wasserschlösser strömt in der Zeit dt Wasser vom Gewicht $\gamma F U dt$ und es leistet hierbei, da der Spiegel im Wasserschlösser um z tiefer liegt, die Arbeit $\gamma F U z dt$; diese Arbeit wird verbraucht zur Ueberwindung der Reibung im Stollen, zur Ueberwindung des Eintrittswiderstandes am Stollenmundloch, zur Erzeugung der Geschwindigkeit U im Stollen und bei Störung der Beharrlichkeit auch noch zur Beschleunigung des Stolleninhaltes. Bedeutet L die Stollenlänge, R dessen Profilradius, c den Geschwindigkeits-Koeffizienten nach Chézy, so ist der Druckverlust der von der Reibung im Stollen herrührt $\frac{LU^2}{c^2 R}$ und jener der am Stollenmundloch entsteht $\frac{U^2}{2g\mu^2}$, wobei μ den Ausfluss-Koeffizienten für das Stollenmundloch bedeutet. Die beim Eintritt in den Stollen und beim Durchströmen desselben verbrauchte Arbeit beträgt daher

$$\gamma F dt \left(\frac{L}{c^2 R} + \frac{1}{2g\mu^2} \right) U^3 = \gamma F U H dt \quad (1)$$

wenn H der totale Gefällsverlust entsprechend U . Die lebendige Kraft des Stolleninhaltes endlich beträgt $\frac{1}{2} \gamma F L U^2$ und sie ändert sich in der Zeit dt um $\frac{\gamma}{g} F L U dU$. Bei Störung der Beharrlichkeit besteht dann die Arbeitsgleichung

$$\gamma F U z dt = \gamma F dt \left(\frac{L}{c^2 R} + \frac{1}{2g\mu^2} \right) U^3 + \frac{\gamma}{g} F L U dU \quad (2)$$

oder

$$z = H + \frac{L dU}{g dt} \quad (3)$$

Diese Arbeitsgleichung führt bei ihrer weiteren Umformung bekanntlich auf eine Differentialgleichung zweiter Ordnung, die nicht lösbar ist. Um aber doch eine ziffermässige Auswertung zu ermöglichen, wurden von den verschiedenen Autoren, die sich mit dieser Frage befasst haben, vereinfachende Annahmen gemacht oder Kniffe angewendet, die, wenn schon der zeitliche Verlauf der Spiegelbewegung nicht berechnet werden kann, doch wenigstens die äussersten Spiegellagen zu ermitteln erlauben. Die von den verschiedenen Autoren empfohlenen Berechnungsweisen seien nur kurz zusammengestellt. Da die Reibung im Stollen erfahrungsgemäss etwa dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, werden Lösungen, bei denen die Reibung

gänzlich vernachlässigt oder der Geschwindigkeit proportional gesetzt ist, weil nicht zutreffend, nicht weiter erwähnt. Um die Schreibweise der Formeln vereinfachen und übersichtlicher gestalten zu können, wird im weiteren der Bruch

$$\frac{2g F_s}{c^2 R F} = \frac{2g F_s H_b}{L F U^2} = m \quad (4)$$

gesetzt und kurz als Wasserschlösser-Charakteristik bezeichnet. Darin bedeutet F_s den Querschnitt des Wasserschlössers, F den Querschnitt des Stollens, L die Länge desselben, R dessen Profilradius, U die mittlere Geschwindigkeit im Stollen, c den Geschwindigkeitskoeffizienten und H_b den Druckverlust im Beharrungszustand.

Für den Fall plötzlicher und gänzlicher Absperrung des gesamten Durchflusses und konstanten Wasserschlösser-Querschnitt berechnet *F. Prášil*¹⁾ die grösste Spiegelerhebung über das Betriebsniveau im Wasserschlösser und erhält die Beziehung

$$mZ + e^{-mZ} = mH_b + 1 \quad (5)$$

Auf einen ähnlichen Ausdruck kommt *Ph. Forchheimer*²⁾, der für die grösste Spiegelerhebung über den Ruhespiegel (Spiegellage am Beginn des Druckstollens) die Gleichung

$$(mZ + 1) - \log \text{nat} (mZ + 1) = mH_b + 1 \quad (6)$$

angibt. Die angestellten Versuche, die später beschrieben werden, haben ergeben, dass diese Formel gut zutrifft; da Tabellen natürlicher Logarithmen nicht immer zur Hand sind, sei zur leichteren Ausrechnung die nachstehende Tabelle I (Seite 130) mitgeteilt.

Für den selben Fall fand *W. Liebisch*³⁾, wenn $\frac{H}{Z}$ nicht sehr von 1 verschieden ist, die leicht auswertbare Beziehung

$$Z = H_b - \sqrt{H_b^2 + 2,40 \frac{H_b}{m}} \quad (7)$$

Praktisch nicht weniger wichtig ist die Kenntnis der tiefsten Spiegellage bei plötzlicher Inbetriebnahme der Anlage. Auch mit diesem Falle beschäftigte sich *Ph. Forchheimer*⁴⁾ und gelangte für den tiefsten Spiegelausschlag unter die Ruhespiegellage zur Beziehung

$$Z = 0,178 H_b + \sqrt{(0,178 H_b)^2 + \frac{2 H_b}{m}} \quad (8)$$

Ziemlich vielseitig untersuchte die Spiegelbewegung im Wasserschlösser bei Störungen des Beharrungszustandes *R. Dubs*⁵⁾; sowohl ohne, als auch mit Berücksichtigung des Reibungswiderstandes im Stollen betrachtete er die Spiegellagenänderungen im Wasserschlösser bei kurzer wie auch bei langer Dauer der Bewegung der Absperrorgane der Druckleitung. Mit Rücksicht darauf, dass einerseits zeitgemäss ausgeführte Turbinenregler meist innerhalb von zwei bis drei Sekunden die Druckrohre vollständig sperren können, und dass andererseits rasches oder plötzliches Sperren die ungünstigen Spiegellagenänderungen bewirkt, ist dieser Fall allein für den entwerfenden Ingenieur von Bedeutung und es seien daher nur die auf diesen Fall bezug habenden Formeln angegeben. Um die aus der Arbeitsgleichung folgende Differentialgleichung integrieren zu können, setzte *Dubs* die Reibung im Stollen proportional der ersten Potenz der Geschwindigkeit und ermittelte den Proportionalitätsfaktor auf Grund der Bedingung, dass die bei der Abnahme der Geschwindigkeit im Stollen von U auf 0 zur Ueberwindung der Reibung verbrauchte Gesamtenergie ebenso

¹⁾ «Schweizer. Bauzeitung», Band 52 (Dezember 1908) S. 334.

²⁾ Zeitschrift d. V. D. Ing., 56 (1912) S. 1291.

³⁾ *Ph. Forchheimer*, «Hydraulik», Leipzig 1914, S. 358.

⁴⁾ Zeitschrift d. V. D. Ing., 57 (1913) S. 545.

⁵⁾ Allgemeine Theorie über die veränderliche Bewegung des Wassers in Leitungen. 1909. II. Teil. Stollen und Wasserschlösser. Von *R. Dubs*.

¹⁾ U , v und W als Geschwindigkeits-Komponenten im räumlichen X, Y, Z -Koordinatensystem bezeichnet.