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

Inhaltsverzeichnis

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 Wasserschloss-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 ist[1]); tatsächlich wird sie etwas grösser sein, da $\Sigma\, \frac{1}{2}mu^2 > \frac{1}{2}MU^2$ 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 Wasserschloss leistet und nachgesehen, wozu sie verbraucht wird. Ins Wasserschloss strömt in der Zeit dt Wasser vom Gewicht $\gamma FUdt$ und es leistet hierbei, da der Spiegel im Wasserschloss um z tiefer liegt, die Arbeit $\gamma FUzdt$; 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 Stollen-Inhaltes. Bedeutet L die Stollenlänge, R dessen Profilradius, c den Geschwindigkeits-Koeffizienten nach Chézy, so ist der Druckverlust der von der Reibung im Stollen herrührt $\frac{LU^2}{c^2R}$ 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

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

wenn H der totale Gefällsverlust entsprechend U. Die lebendige Kraft des Stolleninhaltes endlich beträgt $\frac{1}{2}\frac{\gamma}{g}FLU^2$ und sie ändert sich in der Zeit dt um $\frac{\gamma}{g}FLUdU$. 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

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

Diese Arbeitsgleichung führt bei ihrer weitern 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 weitern der Bruch

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

gesetzt und kurz als Wasserschloss-Charakteristik bezeichnet. Darin bedeutet F_s den Querschnitt des Wasserschlosses, 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 Wasserschloss-Querschnitt berechnet *F. Prášil*[1]) die grösste Spiegelerhebung über das Betriebsniveau im Wasserschloss und erhält die Beziehung

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

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

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

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

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

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

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

Ziemlich vielseitig untersuchte die Spiegelbewegung im Wasserschloss bei Störungen des Beharrungszustandes *R. Dubs*[5]); sowohl ohne, als auch mit Berücksichtigung des Reibungswiderstandes im Stollen betrachtete er die Spiegellagenänderungen im Wasserschloss 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 anderseits 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 bezughabenden 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 Proportionalitäts-Faktor 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]) U, V und W als Geschwindigkeits-Komponenten im räumlichen X, Y, Z-Koordinatensystem bezeichnet.

[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 Wasserschloss. Von R. Dubs.