Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 97/98 (1931)

Heft: 15

Inhaltsverzeichnis

INHALT: Ueber die Bewegung von Luftblasen in ruhendem und fliessendem Wasser. — Wettbewerb für Durchgangstrassen in der Stadt St. Gallen. — Internationale Giesserei-Fachausstellung und Kongress in Mailand 1931. — Mitteilungen: Gründung der Schweizer. Luftverkehrs A.-G. „Swissair". Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband. Untersuchung eines prähistorischen Rohstahls. Baumesse in Basel. Muffenlose Hausinstallationsrohre aus Eternit. Rheinbrücke Waldshut-Koblenz. Basler Rheinhafenverkehr. Schweizerischer Baumeisterverband. — Wettbewerbe: Jüdisches Krankenhaus in Zagreb. Wettbewerb für Dreirosenbrücke über den Rhein in Basel. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 97 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 15**

Ueber die Bewegung von Luftblasen in ruhendem und fliessendem Wasser.

Von Dipl. Masch.-Ingenieur R. DUBS, Professor an der E. T. H. Zürich.

(Schluss von Seite 173.)

II. BEWEGUNG DER LUFTBLASE IN STRÖMENDEM WASSER.

Es soll nun noch der Fall der sich in strömendem Wasser bewegenden Luftblase theoretisch untersucht werden. Bei den Versuchen erfolgte die Wasserströmung von oben nach unten, also entgegengesetzt der Bewegung der Blase. Es wurden verschiedene Geschwindigkeiten des Wassers im Glasrohr eingestellt und während der Versuchsdauer jeweilen konstant gehalten. Die Feststellung der Wassergeschwindigkeit erfolgte durch Behältermessung des pro Zeiteinheit ausfliessenden Wassers mit Berücksichtigung des lichten Durchmessers des Glasrohres. Da dieser Durchmesser nicht auf der ganzen Länge des Glasrohres vollständig konstant war, mussten die gefundenen Werte auf einen konstanten Durchmesser umgerechnet werden. Wir müssen nun noch zwei Reynolds'sche Zahlen unterscheiden, und zwar für die Bewegung des Wassers im Rohre R_w und für die Bewegung der Luftblase im Wasser R_e.

Es ist:

$$R_w = \frac{c_w D \varrho}{\eta} = \frac{c_w D}{\nu}$$

und

$$R_e = \frac{C_e d \varrho}{\eta} = \frac{C_e d}{\nu}$$

wobei nun C_e die Relativgeschwindigkeit der Luft gegenüber dem Wasser bedeutet und c_w die Wassergeschwindigkeit im Glasrohr $= \frac{Q}{\pi D^2/4}$.

Es wirken nun auch in diesem Falle die gleichen Kräfte der Bewegung der Luftblase entgegen, wie beim ruhenden Wasser, und bei gleichförmiger Bewegung der Luftblase gegenüber dem ruhenden Raum oder dem sich gleichförmig bewegenden Wasser müssen diese Kräfte im Gleichgewicht mit dem Auftrieb der Luftblase sein. Einige Schwierigkeit bereitet nun die Formulierung des Widerstandes, den die vorläufig wieder kugelförmig gedachte Blase bei ihrer Bewegung gegenüber dem laminar und turbulent im Glasrohre fliessenden Wasser erfährt. Die Versuche haben nämlich gezeigt, dass dieser Widerstand nicht nur eine Funktion von R_e und der Geschwindigkeit C_e ist, sondern auch eine Funktion der Reynolds'schen Zahl R_w der Wasserströmung.

Man hat nun also allgemein zu schreiben:

$$k = f(a, R_e, R_w)$$

wo a eine Konstante bedeutet. Vernachlässigt man vorläufig den Einfluss des endlichen Rohrdurchmessers D und rechnet mit einem Aufstieg der Blase im unendlichen Raum, so folgt wie früher:

$$m \frac{dC_a}{dt} = V(\gamma_w - \gamma_e) - k_1 \frac{\pi}{4} d^2 \gamma_w \frac{C_e^2}{2g}$$

wenn C_a die absolute Geschwindigkeit der Luftblase bedeutet, da wir es in der Hauptsache mit einer geradlinigen Bewegung (wenn man von den kleinen Querbewegungen der Luftblase um die vertikale Hauptbewegung absieht) zu tun haben. Nimmt man dann noch an, dass die Geschwindigkeit c_w des Wassers im Rohre konstant sei, und schaltet man ferner die Anlaufperiode der Luftblase aus, so wird:

$$\frac{dC_e}{dt} = 0 \quad \text{und} \quad \frac{dc_w}{dt} = 0$$

Somit:

$$\frac{dC_a}{dt} = 0$$

und damit: $$V(\gamma_w - \gamma_e) = k_1 \frac{\pi}{4} d^2 \gamma_w \frac{C_e^2}{2g}$$

und bei Annahme von Kugelform:

$$V = \frac{\pi}{6} d^3$$

$$k_1 = \frac{4 g d}{3 C_e^2}$$

wenn man $\frac{\gamma_e}{\gamma_w}$ gegenüber der Einheit vernachlässigt. Auf Grund der Versuche lassen sich nun eine Reihe von k_1-Werten berechnen; da anderseits für $c_w = 0$ der Wert von k_1 in den bereits festgestellten $k = \left(0{,}50 + \frac{40}{R_e}\right)$ übergehen muss, so lässt sich dann eine Funktion finden, die für $R_w > 0$ das Widerstandsgesetz formuliert.

Auf Grund der Versuchsergebnisse mit einer Luftblase von 4 mm Durchmesser erhält man die folgende Tabelle für die verschiedenen Reynolds'schen Zahlen R_w:

R_w	C_e	k_1	R_e	k
0	0,240	0,910	778	0,5515
1000	0,228	1,010	738	0,5542
2000	0,222	1,065	719	0,5557
3000	0,218	1,103	706	0,5567
4000	0,216	1,125	700	0,5572
5000	0,212	1,164	686	0,55825
6000	0,206	1,236	667	0,5600
7000	0,200	1,308	648	0,5618
8000	0,192	1,422	622	0,5642
9000	0,182	1,583	589	0,5679
10000	0,170	1,810	551	0,5727
11000	0,152	2,265	492	0,5814
12000	0,133	2,965	431	0,5930

Nimmt man nun zur Berechnung von k die gleiche Beziehung wie früher, so lässt sich ein Korrektionsfaktor φ berechnen, mit dem k multipliziert werden muss, um k_1 zu erhalten. Für $R_w = 0$ sollte $\varphi = 1$ sein, wenn $k = 0{,}50 + 40/R_e$ der richtige Widerstandskoeffizient ist (k für den ∞ Raum). Man erhält dann die folgende Tabelle:

R_w	R_e	$\varphi = k_1/k$
0	778	1,650
1000	738	1,822
2000	719	1,920
3000	706	1,981
4000	700	2,020
5000	686	2,089
6000	667	2,210
7000	648	2,330
8000	622	2,525
9000	589	2,790
10000	551	3,160
11000	492	3,890
12000	431	5,000

Wie man erkennt, wird für $R_w = 0$ der Wert von $\varphi > 1$, was z. T. darauf zurückzuführen ist, dass der für das ruhende Wasser angenommene Widerstandskoeffizient nicht genau stimmt und anderseits der Einfluss der endlichen Rohrweite nicht berücksichtigt wurde. Dann kann die folgende empirische Formel zur Berechnung von φ abgeleitet werden:

$$\varphi = 2{,}000 + (R_w - 2500)^3 \frac{0{,}31}{10^{11}}$$

oder auch: $$\varphi = 2{,}000 + \frac{0{,}31}{10^8} \left(\frac{R_w - 2500}{10}\right)^3$$