Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 101/102 (1933)

Heft: 5

Inhaltsverzeichnis

INHALT: Eine Kavitationsgrenze bei Kolbenpumpen. — Ueber Fundations-Arbeiten für Hochhäuser und vom Bauen in New York. — Wohnhaus in Feldmeilen am Zürichsee. — Neue Forschungen über das Strassburger Münster. — Vom Bau der Dreirosenbrücke in Basel. — Mitteilungen: Drahtlose telegraphische Längengrad-messungen. Die Erneuerungsarbeiten an der Dresdener Frauen-Kirche. Photogrammetrie im Dienste der Kriminalistik. Die Bleilochtalsperre. Der Zugszusammenstoss im Gütschtunnel bei Luzern. Neue Pfahlspitze für Eisenbetonpfähle. Eidgenössische Kunstkommission. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortrags-Kalender.

Band 101

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. 5

Eine Kavitationsgrenze bei Kolbenpumpen.

Von Dr. Ing. VICTOR MANN, Konstanz.

Es ist bekannt, dass in einer horizontalen Rohrleitung bei der Anordnung nach Abb. 1 leicht Unterdruck entstehen kann, wobei das innere Ende (Anfang) der Rohrleitung an einen grossen unter einem gewissen Ueberdruck H stehenden Behälter angeschlossen ist, während am äussern Ende ein Kolben, der sich ungleichförmig mit einer Geschwindigkeit u nach aussen bewegt, Flüssigkeit aus dem Behälter ansaugt. Für Potentialströmung, bei der

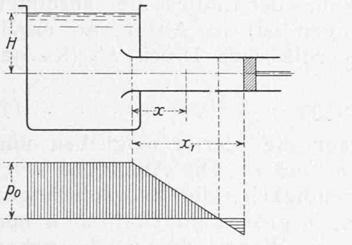

Abb. 1. Ausbildung von Unterdruck in der Saugleitung einer Kolbenpumpe.

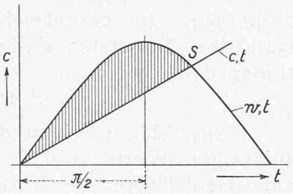

Abb. 2. Axialgeschwindigkeiten in einer Kolbenpumpe und in ihrer Saugleitung in der Anlaufperiode.

also ein Geschwindigkeitspotential Φ besteht, lässt sich dies leicht analytisch nachweisen; denn es lautet für solche für eine inkompressible Flüssigkeit die Druckgleichung

$$p = p_0 - \frac{\varrho}{2} c^2 - \varrho \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

worin p der absolute Druck, $p_0 = B + \gamma H = B + \varrho g H$ der Druck in Höhe der Kolbenaxe, B = Barometerstand, γ spezifisches Gewicht, $\varrho = \gamma/g$ die Dichte, g die Erdbeschleunigung, H die Höhe der Wassersäule über der Kolbenaxe, $c = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ die aus den drei Koordinatengeschwindigkeiten u, v, w (rechtwinklige Koordinaten) zusammengesetzte Geschwindigkeit der Rohrströmung. Gl. (1) gilt für nichtstationäre Strömung und unterscheidet sich von jener der stationären Strömung durch das Glied $\varrho\, \partial\Phi/\partial t$. Ist x die Abszisse des Kolbenwegs, dann gilt, wenn u in die Richtung der x-Axe fällt, für die Geschwindigkeit u der Strömung

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und somit in einem bestimmten Zeitpunkt

$$\Phi = u\, x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2\,a)$$

wobei x vom Anfang des Rohres an zu zählen ist (wenn von einer Mündungskorrektur abgesehen wird). An der Stelle x ist dann

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{du}{dt}\, x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2\,b)$$

somit der nichtstationäre Druckanteil

$$-\varrho \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\varrho \frac{du}{dt}\, x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2\,c)$$

Dieser fällt also linear mit x ab, sodass auch bei geringen Beschleunigungen der Gesamtdruck leicht auf Null sinken kann, wenn nur x genügend gross ist.[1])

Bei Kolbenpumpen mit Schubkurbelantrieb von der minutlichen Umdrehungszahl n und der konstanten Winkelgeschwindigkeit $\omega = n/30 = 0{,}1046\, n$ verändert sich die Geschwindigkeit w des Kolbens in Richtung der Kolbenaxe (unter der vereinfachenden Annahme unendlich langer Kurbelstange) gemäss

$$w = r\,\omega \sin \omega\, t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

also nach einer Sinuslinie, wenn r den Kurbelradius und t die Zeit bedeutet. Die Beschleunigung ist in jedem Augenblick gegeben durch

$$\frac{dw}{dt} = r\,\omega^2 \cos \omega\, t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3\,a)$$

Denken wir uns der Kolbenpumpe eine Rohrleitung von der Länge L vorgeschaltet, wobei es nebensächlich ist, ob die Leitung horizontal oder geneigt ist, so kommen wir zu ähnlichen Erscheinungen, insofern die in der Rohrleitung eingeschlossene Flüssigkeitssäule durch den rückwärts im Behälter über ihr liegenden Flüssigkeitsdruck beschleunigt werden muss. Diese Beschleunigung muss gross genug sein, damit die Flüssigkeitssäule in der Leitung dem Kolben zu folgen vermag, da sie andernfalls am Kolben abreisst und somit Kavitation eintritt. Will man diese vermeiden, so muss man gewisse Bedingungen einhalten, die im Folgenden für den Fall verlustfreier Strömung untersucht werden sollen.

Einen einfachen Ausgangspunkt hierfür bildet die sogenannte Anlaufzeit der Rohrleitung. Ist c die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Rohr, so folgt ihr Wert bekanntlich aus $c = \sqrt{2 g H}$, die nach den Fallgesetzen gleich $b\,t$ sein muss, wenn b die Beschleunigung durch die Erdschwere. Aus dem Newton'schen Grundsatz der Mechanik „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung" ($K = m\, b$) folgt dann für den Rohrquerschnitt F mit der Masse $m = \gamma\, F L/g$ und der Kraft $K = \gamma\, F H$ die Beschleunigung zu

$$b = \frac{K}{m} = \frac{H g}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und die Anlaufzeit T_r des Rohres, in der die Geschwindigkeit c erreicht wird, zu

$$T_r = t = \frac{c}{b} = \frac{c\, L}{g\, H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4\,a)$$

woraus

$$c = \frac{g\, H}{L}\, T_r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4\,b)$$

Wie man sieht, nimmt die Geschwindigkeit c linear mit der Zeit T_r bezw. t zu; Gl. (4 b) ist also in einem c, t-Diagramm eine Gerade, während w nach Gl. (3) eine Sinuslinie darstellt, wie Abb. 2 erkennen lässt. Die beiden Geschwindigkeitslinien c und w schneiden sich im allgemeinen in einem Punkt S, und der schraffierte Teil in Abb. 2 bezeichnet die Uebergeschwindigkeiten des Kolbens über die natürlichen Anlaufgeschwindigkeiten des Rohres. Es leuchtet ein, dass Kavitation eintreten muss, solange solche Uebergeschwindigkeiten vorhanden sind. Die Bedingung, dass keine Uebergeschwindigkeiten, also keine Kavitation, eintreten, besteht darin, dass die Neigung β_1 der c-Geraden grösser sei als der Winkel β_2 der Tangente an die w-Linie mit der t-Axe im Punkt $t = 0$. Dieser Winkel ist einfach zu bestimmen aus

$$\operatorname{tg} \beta_2 = dw/dt = r\,\omega^2 \cos \omega\, t \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

was für $t = 0$ ergibt

$$\operatorname{tg} \beta_2 = r\,\omega^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5\,a)$$

Demgegenüber ist die Neigung der c-Geraden

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{g\, H}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5\,b)$$

sodass als einfache Bedingung für die Vermeidung des Abreissens der Flüssigkeitssäule folgt:

$$\operatorname{tg} \beta_1 \geqq \operatorname{tg} \beta_2$$

oder

$$\frac{g\, H}{L} \geqq r\,\omega^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5\,c)$$

[1]) J. Ackeret. „Experimentelle und theoretische Untersuchungen über Hohlraumbildung (Kavitation) in Wasser" in „Techn. Mech. u. Thermodyn." 1930, Heft 1, S. 1.
Sowie Auerbach-Hort, „Handb. d. phys. u. techn. Mech.", Bd. V, 3. Liefrg. (Leipzig 1931), S. 922 in dem Abschnitt F. Weinig, „Kavitation".