Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79/80 (1922)
Heft: 8

Inhaltsverzeichnis

Band 80. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 8.**

Der „Stossverlust" des Wassers beim Eintritt in Schaufelsysteme.

Von Prof. Dr.-Ing. *D. Thoma*, München.

Zeuner hat angenommen, dass der Verlust an hydraulicher Druckhöhe bei dem nicht „stossfreien" Eintritt des Wassers in das Laufrad einer Turbine gleich der Druckhöhe ist, die nötig wäre, um eine Geschwindigkeit gleich der geometrischen Differenz zwischen der Geschwindigkeit im Anfang des Laufradkanals und der Zuströmgeschwindigkeit zu erzeugen. Bei Verwendung der Bezeichnungen in Abb. 1, die einen Leitradkanal und einen davorstehenden ruhenden Laufradkanal darstellt, wäre demnach der Druckhöhenverlust

$$h_v = \frac{v'^2}{2g} \qquad (1)$$

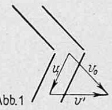
Abb. 1

Eine Begründung für seine Annahme hat Zeuner nicht gegeben; seine Formeln für den Stossverlust sind deswegen auch häufig angefochten worden.

Es ist nun bemerkenswert, dass man die Zeuner'schen Formeln ohne irgendwelche willkürlichen Annahmen ableiten kann, allerdings nur für den Fall, dass die Laufradschaufeln gerade sind und dass der Spalt zwischen Leitrad und Laufrad gross ist, nämlich so gross, dass die lokalen Druckänderungen, die sich bei den schnellen Richtungsänderungen des Wassers beim Auftreffen auf die Laufradschaufeln einstellen, nicht bis zu den Leitschaufel-Enden zurückreichen. Die Ableitung bezieht sich also auf ein System von geraden Schaufeln, dem das Wasser aus grosser Entfernung in einer Richtung zuströmt, die nicht mit der Richtung der Schaufeln übereinstimmt.

Der Strömungsvorgang ist in Abbildung 2 etwas übertrieben dargestellt. Der Wasserstrom löst sich an der Eintrittskante zunächst von dem Rücken der Schaufeln ab und der so entstehende Strahl vermischt sich in der folgenden Strecke des Kanals mit dem, dem Rücken des Kanals angelagerten Totwasser, sodass nach Zurücklegung einer gewissen Strecke die Strömung wieder gleichmässig geworden ist und den ganzen Kanalquerschnitt ausfüllt. Die Verluste entstehen bei Vermischung des Strahles mit dem Totwasser und dieser verwickelte Vorgang lässt sich natürlich im einzelnen nicht verfolgen. Um trotzdem die Grösse des Druckhöhenverlustes rechnerisch zu bestimmen, muss man zunächst die eben erwähnte Erfahrungstatsache beachten, dass nach dem Durchlaufen einer längeren Kanalstrecke die Strömung wieder gleichmässig geworden ist; ferner muss man noch die Bedingung heranziehen, dass die von den Schaufeln auf das Wasser übertragene Kraft, bei Vernachlässigung der Schaufeldicke und der Reibung, nur durch die Differenz der Flüssigkeitsdrucke zu beiden Seiten der Schaufeln verursacht ist und deswegen senkrecht auf der Ebene der Schaufeln stehen muss — ein Umstand, der bisher meines Wissens nicht beachtet wurde.

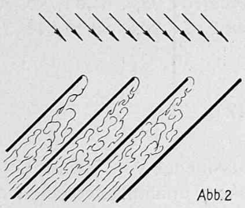
Abb. 2

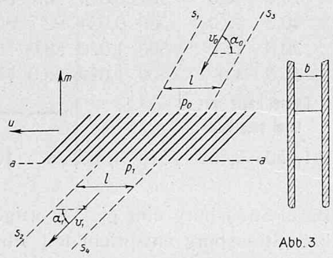
Abb. 3

Zur Rechnung möge der Strömungsvorgang in einem Schaufelsystem nach Abbildung 3 (ebene Schaufeln zwischen parallelen ebenen Wänden) betrachtet werden. Die Schaufeln üben Kräfte auf das Wasser nur aus, solange der Druck zu beiden Seiten einer Schaufel verschieden ist. Es ist deswegen zulässig, sich die Schaufeln dort, wo die Strömung und damit die Druckverteilung wieder gleichmässig geworden ist (bei a — a) fortgeschnitten zu denken. Man betrachte denjenigen Teil der Gesamtströmung, der zwischen den Stromlinien s_1, s_2, s_3, s_4 und den entsprechenden Schaufeln eingeschlossen ist. Druck und Geschwindigkeit vor dem Eintritt in das Schaufelsystem seien mit p_o und v_o, Druck und Geschwindigkeit nach dem Austritt mit p_1 und v_1 bezeichnet. Dann wird bei Abwesenheit von Schwere-Wirkungen der Druckhöhenverlust h_v bekanntlich allgemein dargestellt durch die Gleichung:

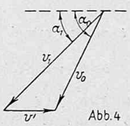
Abb. 4

$$h_v = \frac{v_o^2 - v_1^2}{2g} + \frac{p_o - p_1}{\gamma} \qquad (2)$$

In dieser Gleichung ist die Beziehung zwischen v_o und v_1 durch die Kontinuitätsbedingung ($v_1 \sin \alpha_1 = v_o \sin \alpha_o$) gegeben, während die Differenz $p_o - p_1$ noch ermittelt werden muss.

Nach den bekannten, für die Ablenkung eines Wasserstromes bestehenden Beziehungen ist die in die u-Richtung fallende Komponente D_u der von den Schaufeln auf das Wasser übertragenen Kraft D gleich:

$$D_u = \frac{Q\gamma}{g}(v_1 \cos \alpha_1 - v_o \cos \alpha_o) \qquad (3)$$

wenn Q das in der Zeiteinheit einströmende Wasservolumen bedeutet. Andererseits ist die in die m-Richtung fallende Komponente D_m dieser Kraft gleich

$$D_m = \frac{Q\gamma}{g}(v_o \sin \alpha_o - v_1 \sin \alpha_1) + l\,b\,p_o - l\,b\,p_1$$

oder, da der Klammernwert infolge der Kontinuitäts-Bedingung gleich Null ist, auch gleich

$$D_m = l\,b\,p_o - l\,b\,p_1 \qquad (4)$$

Da die von den Schaufeln auf das Wasser übertragene Kraft senkrecht zu den Schaufelflächen gerichtet ist, muss aber ausserdem sein

$$\frac{D_u}{D_m} = \operatorname{tg} \alpha_1 \qquad (5)$$

Aus den Gleichungen (3), (4), und (5) ergibt sich, wenn man berücksichtigt, dass $b\,l \sin \alpha_o\, v_o = Q$ ist:

$$\frac{p_o - p_1}{\gamma} = \frac{v_o \sin \alpha_o}{g \operatorname{tg} \alpha_1}(v_1 \cos \alpha_1 - v_o \cos \alpha_o)$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung (1) ein, und beachtet, dass $v_1 = v_o \frac{\sin \alpha_o}{\sin \alpha_1}$ ist, so erhält man als Druckhöhen-Verlust den zunächst ziemlich verwickelt erscheinenden Ausdruck:

$$h_v = \frac{v_o^2}{2g}\left(1 - \frac{\sin^2 \alpha_o}{\sin^2 \alpha_1}\right) + \frac{v_o^2}{g}\,\frac{\sin \alpha_o}{\operatorname{tg} \alpha_1}\left(\frac{\sin \alpha_o \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_o\right)$$

der sich aber auf die einfache Form

$$h_v = \frac{v_o^2}{2g}\,\frac{\sin^2(\alpha_o - \alpha_1)}{\sin^2 \alpha_1} \qquad (6)$$

bringen lässt.

Nun ist aber, wie man leicht ermittelt, die geometrische Differenz der Geschwindigkeiten v_1 und v_o (Abb. 4)

$$v' = \frac{v_o \sin(\alpha_o - \alpha_1)}{\sin \alpha_1}$$

Dies in Gleichung (6) eingesetzt, gibt

$$h_v = \frac{v'^2}{2g}$$

wobei v' die „verlorene Geschwindigkeit" Zeuner's ist. Der Zeuner'sche Ansatz ist somit für die erwähnten Vor-