

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 91/92 (1928)  
**Heft:** 11

## **Inhaltsverzeichnis**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 21.12.2024

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

**INHALT:** Das höchstzulässige Sauggefälle von Wasserturbinen. — Bestimmung der Grösse von Phasenschiebern. — Das Kino-Theater SCALA in Zürich. — Wettbewerb für Umgestaltung der Trinkhalle und der Wandelgänge St. Moritz. — **Mitteilungen:** Elektrische Lokomotiven für die spanische Nordbahn. Eidgenössische Technische Hochschule. Kraftwerk Ryburg - Schwörstadt. Deutscher Beton-Verein.

Ein Psychotechnischer Einführungskurs in Zürich. Der Automobil-Salon in Genf 1928. Schweizer. Energie-Konsumenten-Verband Zürich. Ausfuhr elektrischer Energie. — Wettbewerbe: Nidwaldner Kantonalbank in Stans. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern des S. I. A. Maschineningenieur-Gruppe Zürich der G. E. P. S. T. S.

Band 91.

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

Nr. 11

### Das höchstzulässige Sauggefälle von Wasserturbinen.

Von Obering. J. ACKERET, Zürich.

Die Frage des höchstzulässigen Sauggefälles für Wasserturbinen ist in neuerer Zeit akut geworden. Man hat sich natürlich von jeher davor gehütet, Sauggefälle von 8 oder 9 m zu verwenden, weil man Störungen befürchtete, ähnlich wie bei Pumpen, wo eben der Barometerstand der Ansaughöhe eine natürliche Grenze setzt. Als man nun aber bei der Entwicklung schnellaufender Räder (Kaplan- und Propeller-Turbinen) bemerkte, dass auch bei Saughöhen von 2 oder 3 m, die als harmlos galten, Schwierigkeiten auftraten, da war es klar, dass die sogen. statische Saughöhe (Niveaudifferenz von Unterkante Laufrad bis Unterwasserspiegel) nicht das wahre Mass der Gefahr bildet. Man kam auf diese Weise dazu, die „dynamische Saughöhe“ sorgfältig zu berücksichtigen.

Das Wasser tritt mit ziemlicher Geschwindigkeit aus dem Laufrad, im allgemeinen um so schneller, je grösser die spezifische Drehzahl  $n_s$  ist. Bei sehr schnellaufenden Rädern ist die im Laufradaustritts-Querschnitt vorhandene Energie bis zu 50 % der insgesamt zur Verfügung stehenden. Würde das Wasser ins Unterwasser stürzen, so wäre der Wirkungsgrad der Turbine keinesfalls höher als 50 % (von dem allfälligen Verlust an statischer Saughöhe, dem „Freihängen“ ganz abgesehen). Durch Anwendung eines schlanken Diffusors mit schwacher Krümmung, der sich in Stromrichtung erweitert, gelingt es aber, wie bekannt, einen grossen Teil der eben erwähnten Austritts-Energie zurückzugewinnen. Unter dem Laufrad macht sich diese Energie-Rückgewinnung als eine Absenkung des Druckes bemerkbar, als eine Erhöhung des im Rade wirkenden barometrischen Druckes  $B$  (etwa in m Wassersäule gemessen).

Setzen wir für die Austrittsgeschwindigkeit  $c_m$  in üblicher Weise:

$$c_m = k_{cm} \sqrt{2gH_0}$$

( $H_0$  = Totalgefälle). Die Geschwindigkeitshöhe ist  $\frac{c_m^2}{2g}$  oder  $k_{cm}^2 H_0$ . Das Saugrohr gewinnt davon den Teil  $\eta_s k_{cm}^2 H_0$  zurück, wo  $\eta_s$  den Saugrohrwirkungsgrad (etwa von der Grössenordnung 0,6 bis 0,8) bedeutet. Der Druck am Laufrad-Austritt ist somit um  $H_s + \eta_s k_{cm}^2 H_0$  geringer ( $H_s$  = Saughöhe), als der am Saugrohraustritt herrschende barometrische Druck  $B$  (etwa in m Wassersäule gemessen).

Nun kann offenbar der Druck unter dem Laufrad nicht tiefer sinken, als auf den sehr geringen Dampfspannungsdruck des Wassers, der etwa 10 bis 20 cm Wassersäule bei normalen Wassertemperaturen beträgt, weil sonst das Wasser zu kochen anfangt (Hohlraumbildung oder Kavitation).

Vernachlässigen wir den Dampfspannungsdruck, so muss angenähert sein:

$$B - H_s - \eta_s k_{cm}^2 H_0 = 0 \quad (I)$$

Für das höchstzulässige Sauggefälle erhalten wir jetzt daraus den Wert:

$$H_s = B - \eta_s k_{cm}^2 H_0 \quad (1a)$$

Bei Kenntnis des Werts  $\eta_s$ , die man sich unschwer verschaffen kann, wäre für jeden Turbinentyp das Problem gelöst, da  $k_{cm}$  mit den Daten der Turbine gegeben ist.

Aber die Sache ist bei weitem nicht so einfach. Wer nur mit Gleichung (1a) rechnet, kann sehr unangenehme Ueberraschungen erleben. Es ist in der Tat ja keineswegs ausgemacht, dass der Druck unmittelbar hinter dem Laufrad der tiefste in der Turbine überhaupt vorkommende ist.

Wir dürfen dabei nur nicht bei der üblichen „eindimensionalen“ Turbinentheorie stehen bleiben, sondern müssen uns die Kraftwirkungen an den einzelnen Turbinenschaufeln selbst klarlegen. Offenbar ist diese Abkehr umso einschneidender, je weniger Schaufeln das Rad hat.

Eine vollständige Theorie der Kaplanräder gibt es noch nicht, aber eine sehr brauchbare Annäherung wird durch den Begriff des *Flügelgitters* geschaffen. Wir denken uns das Rad mit einem koaxialen Zylinder geschnitten und den Schnitt abgewickelt. Dann entsteht die Abb. 1, das sich von den üblichen Schaufelschnitten nur durch das kleinere Verhältnis  $l/T$  unterscheidet. Es gilt nun zu untersuchen, ob irgendwo auf diesen Schnitten der Druck besonders tief sinkt. Ist die Teilung sehr gross, so wirkt die einzelne Schaufel als „Flügel“ im Sinne der Aerodynamik, und man kommt mit den Methoden dieser neuerdings sehr entwickelten Wissenschaft zu brauchbaren Schlüssen, wenn man die Wirkungen der übrigen Flügel als kleine Störungen betrachtet. Darin liegt der Wert der verschiedenen schon entstandenen Gittertheorien, dass sie vom Einzelflügel verhältnismässig sicher zum Gitter hinüberführen und Druckverteilungen, Grösse und Richtung der resultierenden Schaufelkräfte usw. zu berechnen gestatten.

Leider ist im Falle schnellaufender Räder für grössere Gefälle die Voraussetzung  $l/T = \text{klein}$  schlecht erfüllt; man kommt im Gegenteil auf  $l/T \sim 1$  zurück. Da wird die exakte Rechnung schon schwierig und zeitraubend und man wird, nicht zum Schaden übrigens, auf den experimentellen Weg gedrängt.

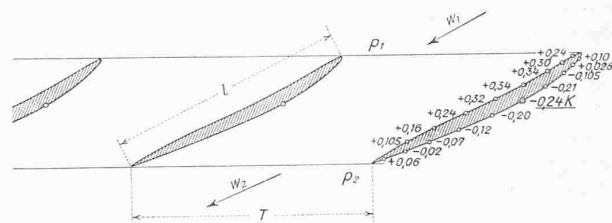


Abb. 1. Schaufelschnitte (Schaufelgitter) einer Propeller-Turbine.

Dieser Weg ist in einer Untersuchung besprochen worden, die in der eben erschienenen 3. Lieferung der Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen<sup>1)</sup> mitgeteilt wird und die von turbinentechnischer Seite angeregt wurde. Wir greifen aus den zahlreichen Druckverteilungsmessungen eine typische heraus und verweisen im übrigen auf das Buch.

In Abbildung 1 rechts ist der Unter- bzw. Ueberdruck an verschiedenen Stellen der Schaufel angeschrieben, verglichen mit dem Druck  $p_2$  hinter dem Schaufelgitter, also am Anfang des Saugrohres. Man sieht sofort, dass der Druck keineswegs monoton vom Druck vor dem Gitter  $p_1$  auf Druck  $p_2$  hinter dem Gitter abfällt, sondern dass auf der Saugseite der Druck  $p_2$  auf eine grössere Strecke unterschritten wird. Das Minimum des Druckes in der Turbine überhaupt findet sich bei K. Die Drücke im Schaufelgitter ändern sich, wie etwa in einer Düse, mit dem Quadrat der Durchflussmenge. Wir beziehen sie

<sup>1)</sup> Verlag Oldenbourg, München 1927. Seite 132.