Der Wirkungsgrad einer Wasserturbine bei veränderlichem Gefälle, veränderlichen Dimensionen und Temperatur des Betriebswassers, jedoch bei gleicher spezifischer Schnelläufigkeit

Autor(en): **Gregorig, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **101/102 (1933)**

Heft 15

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-83068

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Der Wirkungsgrad einer Wasserturbine bei veränderlichem Gefälle, veränderlichen Dimensionen und Temperatur des Betriebswassers, jedoch bei gleicher spezifischer Schnelläufigkeit. — Wettbewerb für ein suburbanes Sanatorium auf der Chrischona bei Basel. — Von der schweizerischen Maschinenindustrie im Jahre 1932. — Nochmals zur Rapperswiler Seedamm-Frage. — Ueber die Frequenz der E. T. H. 1932/33. — Mitteilungen: Eidgen. Technische Hochschule. Der Biegewiderstand von Drahtseilen. Oelverdrängung in imprägnierten Faserstoffen. Dreigurt-Fachwerkbrücke in Beuthen, Oberschlesien. Erholungsheim in Scierne d'Albeuve, Greyerzerland. Kantonale Submissionsvorschriften. Kachelofen-Heizkessel. Kupferstichsammlung der E. T. H. — † Emil Bürgin. — Literatur.

Band 102 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

Der Wirkungsgrad einer Wasserturbine bei veränderlichem Gefälle, veränderlichen Dimensionen und Temperatur des Betriebswassers, jedoch bei gleicher spezifischer Schnelläufigkeit.

Von Dr. Ing. R. GREGORIG, Assistent für Maschinenbau an der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

Es wird gezeigt, wie man in einfacher Weise den Wirkungsgrad der Modellturbine auf den der Ausführungsturbine aufwerten kann. Zur Bekräftigung der Rechnung werden einige Versuche herangezogen.

Die Notwendigkeit der Anstellung von Modellversuchen beim Projektieren grosser hydraulischer Anlagen zwingt uns zu einer Uebertragung der Versuchsergebnisse am Modell auf die Verhältnisse der Ausführung mittels einer Aehnlichkeitsbetrachtung. Diese Betrachtung befasst sich mit dem Vergleich der Trägheitskräfte zu den Feldkräften und vernachlässigt die Einflüsse der Zähigkeit des Wassers vollständig.

Mechanische Aehnlichkeit zwischen Ausführung und Modell besteht dann, wenn die Beziehung

$$\left(\frac{c_i}{\sqrt{2g\,H}}\right)_{\text{Modell}} = \left(\frac{c_i}{\sqrt{2g\,H}}\right)_{\text{Ausführung}} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

erfüllt ist, wo c_i eine beliebig gewählte Geschwindigkeit im Strömungssystem und H das Gefälle bedeutet. Dabei sind geometrisch ähnliche Strömungsräume vorausgesetzt.

Die Nichtberücksichtigung der Zähigkeit bei dieser Aehnlichkeitsbetrachtung hat Diskrepanzen zwischen den Messergebnissen am Modell und der Ausführung zur Folge. Wollte man die Einflüsse der Reibung bei den Modellversuchen auch berücksichtigen, dann müsste man dafür sorgen, dass die Reynolds'schen Zahlen auf einen beliebigen Zustandspunkt bezogen für die Modell- wie für die Ausführungsströmung die gleichen wären:

$$Re_{\text{Modell}} = Re_{\text{Ausführung}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Man kann die Reynolds'sche Zahl aus Gründen mechanischer Aehnlichkeit z. B. folgendermassen definieren:

$$Re = \frac{\sqrt{2g\,H}\,D_1}{\nu}\,; \quad \nu = \frac{\eta}{\varrho} = \frac{\eta\,g}{\gamma}, \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

wo H das Gefälle, g die Erdbeschleunigung, D_1 den Eintrittsdurchmesser der Turbine, ν die kinematische Zähigkeit, η die Zähigkeit und γ das spezifische Gewicht des Betriebswassers bedeuten.

Die Modelle sind in den meisten Fällen kleiner als die Ausführung, sodass man dafür sorgen muss, dass das Gefälle beim Modellversuch der Gleichung (2) entsprechend grösser oder die kinematische Zähigkeit ν der Versuchsflüssigkeit (Modellflüssigkeit) entsprechend kleiner gewählt wird. In den seltensten Fällen kann die Bedingung der Gleichung (2) beim Modellversuch erfüllt werden, sodass man einen andern Weg einschlagen muss. *Moody*[1]) und *Camerer*[2]) haben eine Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad der Ausführung und demjenigen des Modelles aufgestellt, jedoch sind die Aufstellungen nicht allgemein genug.

Der hydraulische Wirkungsgrad einer Turbine definiert sich (bei Vernachlässigung der kinetischen Zuflussenergie am Oberwasserspiegel) zu:

$$\eta_h = \frac{H - c_3^2/2g - Hv}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

dabei ist c_3 die Austrittsgeschwindigkeit aus dem Saugrohr, H_v die sogenannte Verlusthöhe, welche wir

$$H_v = \lambda\,\frac{L}{D}\,\frac{c_2}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

mit

$$\lambda = \frac{\text{const.}}{\sqrt[4]{Re}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

definieren wollen. Die Beziehung gilt für turbulente Strömungen in geraden Rohren mit Kreisquerschnitt. Es ist eine bewusste Zumutung, einen derartigen Ansatz für die Druckverlusthöhe aufzustellen. Neben den Verlusten der Wandreibung wären noch Krümmerverluste zu berücksichtigen, was jedoch nicht auf einfache Art durchführbar ist.

Mit

$$c \sim \sqrt{2g\,H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

schreibt sich (5) + (6) wegen Aehnlichkeit der Strömungsräume zu

$$H_v = \frac{\text{const.}}{\sqrt[4]{Re}}\,H = \frac{\text{const.}}{\sqrt[4]{\frac{D_1\sqrt{H}}{\nu}}}\,H \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Der Ausdruck für H_v aus Gleichung (8) in die Gleichung (4) eingesetzt gibt

$$\eta_h = \frac{H - c_3^2/2g - \frac{\text{const.}}{\sqrt[4]{\frac{D_1\sqrt{H}}{\nu}}}\,H}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

oder mit

$$K_{c_3} = \frac{c_3}{\sqrt{2g\,H}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

$$\eta_h = 1 - K_{c_3}^2 - \frac{\text{const.}}{\sqrt[4]{\frac{D_1\sqrt{H}}{\nu}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Für zwei ähnliche Turbinen, also Turbinen mit gleicher spezifischer Schnelläufigkeit, etwa das Modell und die Ausführung, die unter mechanisch ähnlichen Zuständen arbeiten, gilt

$$K_{c_3\,\text{Modell}} = K_{c_3\,\text{Ausführung}}$$

Somit erübrigt sich ein Unterscheiden der K_{c_3}-Grössen. Grössen, die sich auf das Modell beziehen, erhalten den Index „m", die der Ausführung den Index „a".

Somit schreiben sich folgende Gleichungen

$$\eta_{ha} = 1 - K_{c_3}^2 - \frac{(\text{const.})\,a}{\sqrt[4]{\frac{D_{1a}\sqrt{H_a}}{\nu_a}}} \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

$$\eta_{hm} = 1 - K_{c_3}^2 - \frac{(\text{const.})\,m}{\sqrt[4]{\frac{D_{1m}\sqrt{H_m}}{\nu_m}}} \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

wobei zu bemerken ist, dass die vorkommende Konstante aus Aehnlichkeitsgründen in beiden Fällen (dem der Ausführung, wie dem des Modelles) den gleichen Wert hat. Durch Elimination der erwähnten Konstanten aus den Gleichungen (12) und (13) ergibt sich die gewünschte Beziehung

$$\eta_{ha} = \psi\,(\eta_{hm}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

zu

$$\eta_{ha} = (1 - K_{c_3}^2) - (1 - K_{c_3}^2 - \eta_{hm})\sqrt[4]{\frac{\nu_a}{\nu_m}\,\frac{D_{1m}}{D_{1a}}\sqrt{\frac{H_m}{H_a}}} \quad . \quad (15)$$

Da jedoch der totale Wirkungsgrad von Interesse ist, schreibt sich Gleichung (15) unter Berücksichtigung von

$$\eta_t = \eta_h\,\eta_{\text{mech}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

zu

$$\eta_{ta} = \eta_{ma}\left[(1 - K_{c_3}^2) - \left(1 - K_{c_3}^2 - \frac{\eta_{tm}}{\eta_{mm}}\right)\sqrt[4]{\frac{\nu_a}{\nu_m}\,\frac{D_{1m}}{D_{1a}}\sqrt{\frac{H_m}{H_a}}}\right] \quad (17)$$

worin η_{ma} den mechanischen Wirkungsgrad der Ausführung und η_{mm} den des Modelles bedeutet.

[1]) Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse, Livre I (von A. Tenot), S. 463.

[2]) Vorlesungen über Wasserkraftmaschinen, Aufl. 1914, S. 305.

Zur Prüfung von Gl. (17) seien verschiedene Versuche erwähnt:

Erstens ein im hydraulischen Institut der Technischen Hochschule in München von *Riemerschmid* ausgeführter und in den Mitteilungen dieses Institutes, Heft 5, S. 20 publizierter Versuch über die Abhängigkeit des Wirkungsgrades einer Wasserturbine von der Zähigkeit des Betriebswassers.

Bei diesem Versuch waren Modell- und Ausführungsturbine identisch; das Gefälle blieb dasselbe; einzig die kinematische Zähigkeit des Versuchswassers wurde durch Heizung und Kühlung in weiten Grenzen variiert. Die Daten waren folgende:

Gefälle	$H = 1$ m
Wassermenge	$Q = 0{,}0135$ m³/sec
Eintrittsdurchmesser	$D_1 = 0{,}109$ m
Drehzahl	$n = 840$ Uml/min
Spez. Drehzahl	$n_s = \frac{n\sqrt{N_t}}{H\sqrt[4]{H}} = 312$

Abb. 1 zeigt den Vergleich zwischen Versuch und Beziehung nach Gleichung (17) bei einer Belastung (Leitschaufelöffnung), die den besten Wirkungsgrad ergibt. Dabei ist mit einem mechanischen Wirkungsgrad von 0,91 und $K_{c_3} = 0{,}103$ gerechnet worden. Die Uebereinstimmung zwischen Versuch und Theorie ist als gut zu bezeichnen.[3])

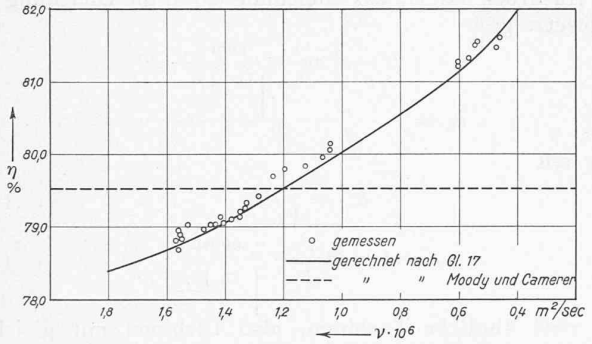


Abb. 1. Totaler Wirkungsgrad in Funktion der kinematischen Zähigkeit.

Da die Formeln von Moody und Camerer eine Aenderung der Zähigkeit nicht berücksichtigen, würde nach diesen Autoren der Wirkungsgrad von der Zähigkeit unabhängig sein, wie durch die gestrichelte Gerade angedeutet.

Zweitens zeigt nebenstehende Tafel die Ergebnisse von Bremsungen im Versuchslokal der Firma Th. Bell & Cie.[4]) in Kriens (Luzern) an Rädern verschiedener Grösse und unter verschiedenen Gefällen, jedoch von gleicher spezifischer Schnelläufigkeit $n_s = 377$.

In den drei letzten Kolonnen sind zum Vergleich mit den gemessenen totalen Wirkungsgraden die nach Gl. (17), sowie nach den Formeln von Moody[1]) und Camerer[2]) errechneten Wirkungsgrade angegeben. Bei der Berechnung der Werte η_t der ersten Zeile wurde das kleinste Rad als Modell, das mittlere als Ausführung aufgefasst; die Werte η_t berechnet der vierten Zeile fussen auf der Auffassung des mittleren Rades als Modell und des grössten als Ausführung. Die Wassertemperaturen waren bei den Versuchen annähernd die selben, wurden jedoch nicht gemessen. Die Unterschiede zwischen den berechneten und den gemessenen Werten sind vielleicht auf die Nichtberücksichtigung möglicher Temperatur- und damit Zähigkeitsschwankungen zurückzuführen.

Die Grösse K_{c_3} hatte den Wert 0,19. Die mechanischen Wirkungsgrade wurden leider nicht gemessen, sie wurden auf Grund von Erfahrung angenommen. Der Vergleich ist wiederum gezogen im Bereiche grösster Wirkungsgrade, also dort, wo die Ablöseerscheinung am Laufradeintritt ein Minimum wird. Die Uebereinstimmung ist gut.

	Durchmesser mm	Gefälle m	K_{c_3}	η mech.	η_t gemessen	Rechnung η_t Camerer	Rechnung η_t Gregorig	Rechnung η_t Moody
Modell	167	3	0,19	0,93	0,813	—	—	—
Ausführung	505	3	0,19	0,98	0,880	0,890 (+ 10 ‰)	0,878 (− 2 ‰)	0,886 (+ 6 ‰)
Modell	505	3	0,19	0,98	0,862	—	—	—
Ausführung	3400	5	0,19	0,98	0,895	0,900 (+ 5 ‰)	0,900 (+ 5 ‰)	0,906 (+ 11 ‰)

Wenn wir im theoretischen Ansatz zur Definition des Widerstandes ein Strömungsmodell (gerades Rohr) gewählt haben, das keine Ablöseerscheinungen aufweist, müssen wir beim Vergleich der Versuche mit der Theorie auch nach Möglichkeit solche Zustände heranziehen, die mit der theoretischen Voraussetzung am besten übereinstimmen. Man kann sich mit Hilfe der obenerwähnten Münchener Messungen überzeugen, dass z. B. die Umrechnung der Wirkungsgrade bei Teillast (Ablösungen!) unter Umständen nach Gleichung (17) ganz unbrauchbare Ergebnisse liefert.

Die durchgeführte Betrachtung zeigt, dass man mit einfachen theoretischen Mitteln bei Beachtung der dabei getroffenen Annahmen zu guten Resultaten gelangt.

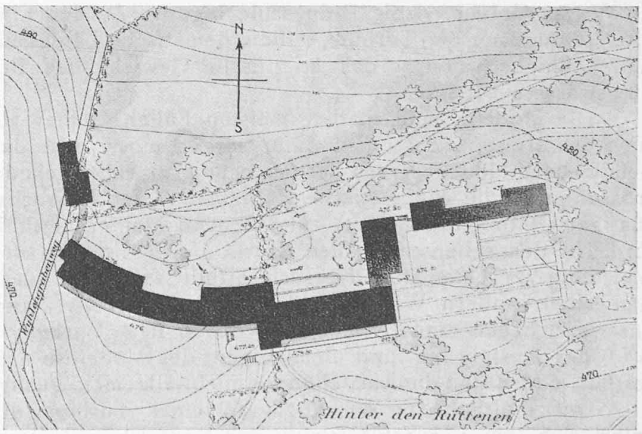
[3]) Es sei an dieser Stelle Herrn Dr. Ing. Riemerschmid für die Informationen betreffend mechanischen Wirkungsgrad bestens gedankt.

[4]) Es sei der obengenannten Firma für das freundliche Entgegenkommen der beste Dank ausgesprochen.

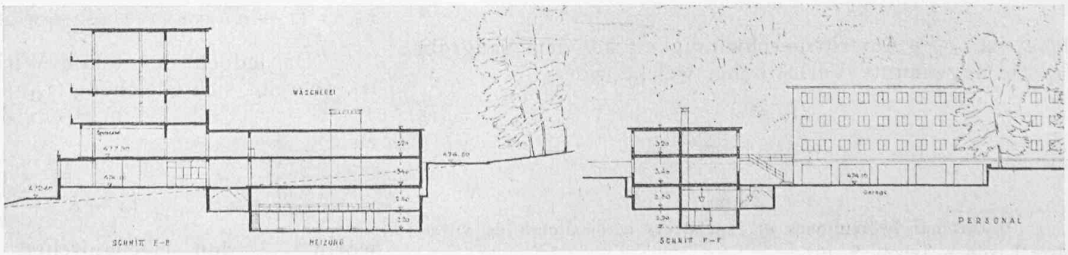
Wettbewerb für ein suburbanes Sanatorium auf der Chrischona bei Basel.

(Schluss von Seite 176).

Entwurf Nr. 46, „Natura optima artifex“. 39 880 m³. Die Zufahrtstrasse ist prinzipiell richtig, es sollte jedoch versucht werden, deren Gefälle zu reduzieren. Der Bau ist den Terrainverhältnissen gut angepasst. Der östliche Gebäudeflügel tritt zu nahe an den Hochwald heran. Ein Vorschlag für die Verlegung des



Sanatorium Chrischona bei Basel. — Entwurf Nr. 9. — Lageplan 1 : 2500.



4. Rang (3000 Fr.), Entwurf Nr. 9. — Verfasser Suter & Burckhardt, Arch., Basel. — Schnitte 1 : 300.