

Zeitschrift: Die Eisenbahn = Le chemin de fer
Herausgeber: A. Waldner
Band: 14/15 (1881)
Heft: 26

Artikel: Ueber den Zapfendruck der Turbinen
Autor: Fliegner, Albert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-9409>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

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

strömende und ihren Zustand ändernde Wassermasse. Die Integration liefert die in jeder Secunde durch das ganze Rad strömende Wassermasse, welche mit M bezeichnet werden möge. Ihr Volumen ist wegen der Continuität:

$$\frac{Mg}{\gamma} = 2r\pi e \cos\varphi u = 2r\pi e_1 \cos\alpha c = 2r\pi e_1 \cos\alpha_1 c_1 = 2r\pi e_2 \cos\alpha_2 c_2 \quad (15)$$

Das gesuchte Glied wird damit

$$-\int \frac{d(u \cos\varphi)}{dt} dm = -M \int d(u \cos\varphi) = 2r\pi e_1 \gamma \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{g} \left(1 - \frac{e_1}{e_2}\right). \quad (16)$$

Das dritte Glied lässt sich zunächst auch auf die Form der Gleichung 7 bringen, nur dass e hier nicht mehr constant ist. Das Integral von $e dp$ ist aber nicht mehr angebar, man stößt bei der weiteren Entwicklung auf nicht integrable Ausdrücke. Doch kann man den Werth mit genügender Genauigkeit angenähert darstellen. Da die Aenderung von e nie bedeutend ist, so wird für e ein constanter Mittelwerth eingeführt werden dürfen und zwar, wegen der parabolischen Erweiterung, wie in Gleichung 14: $\frac{1}{3}(2e_1 + e_2)$. Mit dieser Annäherung wird das dritte Glied der Gleichung 3:

$$-\int \int df dp = 2r\pi \frac{2e_1 + e_2}{3} (p_1 - p_2). \quad (17)$$

Für Turbinen dieser Art gilt nun auch die Gleichung 10. Eliminirt man mit ihrer Hülfe die Pressungen, so findet sich der gesammte Zapfendruck durch Addition der Werthe aus Gleichung 14, 16 und 17 zu:

$$Z = 2r\pi h \gamma \left\{ \frac{2e_1 + e_2}{3} \left[1 - (1 + \zeta) \frac{c^2}{2gh} \right] + e_1 \left(1 - \frac{e_1}{e_2} \right) \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{gh} \right\}. \quad (18)$$

Da hier Gleichung 11 nicht mehr gilt, so soll eine weitere Reduction dieses Ausdruckes auch nicht vorgenommen werden. Die in der Formel auftretenden Grössen sind doch von der Berechnung der Turbine her bekannt, also leicht einzuführen.

Eigentlich sollte noch bei einer im Wasser laufenden Turbine der Verticaldruck des Wassers auf die äusseren Seiten des Kranzes mit in Rechnung gebracht werden. Man kann aber diese Kraft unbedenklich vernachlässigen, namentlich wenn man gleichzeitig die Reduction des Gewichtes der tauchenden Theile durch den Auftrieb des Wassers auch unberücksichtigt lässt.

Wenn der Laufkrantz *unsymmetrisch* und dann stets mehr nach aussen, als nach innen, erweitert ist, so ändern sich die Formeln. In dem ersten und letzten Gliede der Gleichung 3 wird an Stelle des mittleren Radius r der Abstand r_s des Schwerpunktes des Kranzquerschnittes von der Axe einzusetzen sein. Zur Berechnung des zweiten Gliedes würden dagegen in der Continuitätsbedingung, Gleichung 15, die r den Index erhalten müssen, mit welchem in demselben Ausdrucke die Kranzbreite e versehen ist. Dadurch wird dieses Integral

$$-\int \frac{d(u \cos\varphi)}{dt} dm = 2r_1 \pi e_1 \gamma \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{g} \left(1 - \frac{r_1 e_1}{r_2 e_2}\right). \quad (19)$$

Ersetzt man hier angenähert den Werth r_1 vor der Klammer durch den etwas grösseren Werth r_s und lässt dafür den Factor r_1/r_2 in der Klammer fort, wodurch die letztere etwas verkleinert wird, so ändert sich der Werth des ganzen Ausdruckes nicht bedeutend, so dass diese Annäherung zulässig erscheint. Dann bleibt auch für unsymmetrisch erweiterte Turbinen der vorige Ausdruck für Z , Gleichung 18, gültig, mit der einzigen Aenderung, dass unter r der *Schwerpunktsabstand* zu verstehen ist.

c) Vollturbinen mit constanter Wassergeschwindigkeit.

Bei diesen Turbinen ist der Winkel α_1 gegenüber Fig. 1 stets negativ, so dass die Schaufeln sackförmig werden. Die Constanz der Wassergeschwindigkeit u wird dann dadurch erreicht, dass entweder bei continuirlicher Erweiterung des Kranzes Rückschaukeln angewendet werden, oder dass bei einfachen Schaufeln der Kranz erst eine Einschnürung erhält, um sich nachher wieder zu erweitern.

Es muss nun die Annahme zugelassen werden, dass das Wasser trotz der bedeutend stärkeren Krümmung der Canalwandungen diesen doch allseitig genau folgt. Dann muss, damit u in der ganzen Höhe des Rades constant bleibt, auch der Canalquerschnitt

$$edb = df \cos\varphi = \text{const.} \quad (20)$$

sein. Die Summe aller Canalquerschnitte in derselben Höhe des Rades ist nun, wie an der Eintrittsstelle:

$$F' = 2r_1 \pi e_1 \cos\alpha_1. \quad (21)$$

Damit wird das Integral des ersten Gliedes der Gleichung 3, wenn s die Länge eines Wasserfadens oder Canals bedeutet (mn der Fig. 1):

$$\int g dm = 2r_1 \pi e_1 s \gamma \cos\alpha_1. \quad (22)$$

Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass sich in den Schaufelzwischenräumen einer Turbine mit Rückschaukeln kein Wasser ansammeln kann. Ist das der Fall, so müsste dieses Glied ähnlich berechnet werden, wie in Gleichung 14.

Wegen des sogenannten stossfreien Eintrittes muss

$$c_1 \cos\alpha_1 = c \cos\alpha$$

sein. Da ausserdem u constant ist, also auch gleich c_1 , so wird das zweite Glied der Gleichung 3

$$-\int \frac{d(u \cos\varphi)}{dt} dm = -c_1 \int \frac{dm}{dt} \cos\varphi = 2r_1 \pi e_1 \gamma \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{g} \left(1 - \frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}\right). \quad (23)$$

Das Integral des dritten Gliedes der Gleichung 3 wird wegen Gleichung 20, wenn man zunächst nur über einen horizontalen Ring integrirt:

$$-\int \int df dp = -2r\pi e \cos\varphi \int \frac{dp}{\cos\varphi} = -2r_1 \pi e_1 \cos\alpha_1 \int \frac{dp}{\cos\varphi}. \quad (24)$$

Nun ist unter Vernachlässigung der Widerstände für die Bewegung durch einen derartigen Canal allgemein

$$\frac{dp}{\gamma} = dz - d \frac{u^2}{2g}.$$

Da aber hier u constant ist, so wird einfacher

$$dp = \gamma dz. \quad (25)$$

dz lässt sich nur dann bequem durch φ ausdrücken, wenn man annimmt, die Mittellinie des Canals sei nach einem *Kreisbogen* vom Halbmesser ρ gekrümmt. Dann ist (siehe Fig. 1)

$$dz = ds \cos\varphi = \rho d\varphi \cos\varphi. \quad (26)$$

Damit wird Gleichung 23, da sich $\cos\varphi$ forthebt,

$$-\int \int df dp = -2r_1 \pi e_1 \cos\alpha_1 \rho \gamma (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (27)$$

Ein unterhalb der Krümmung befindliches geradliniges Stück der Canalaxe hat jedenfalls nur geringe Höhenausdehnung, beeinflusst den Zapfendruck also auch wenig, so dass es unberücksichtigt bleiben kann. Und das um so mehr, als die Aenderung von p eine *Entlastung* des Zapfens zur Folge haben würde.

Eine Zusammenfassung der Gleichungen 22, 23 und 27 ergibt, wenn auch mit weitergehenden Annäherungen, als in den ersten Fällen, den gesammten Zapfendruck, soweit er von der Einwirkung des Wassers herrührt, zu:

$$Z = 2r_1 \pi e_1 \gamma \left[s \cos\alpha_1 + \left(1 - \frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}\right) \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{g} - \rho (\alpha_2 - \alpha_1) \cos\alpha_1 \right] \quad (28)$$

d) Partial-Turbinen.

Unter *Partial-Turbinen* sind hier solche Turbinen verstanden, bei denen die Canalquerschnitte nicht vollständig mit Wasser, sondern theilweise mit Luft angefüllt sind. Daher herrscht an der ganzen Oberfläche, und auch angenähert durch die ganze Dicke jedes Strahles, der Atmosphärendruck. Es ist also

$$dp = 0, \quad (29)$$

weshalb das dritte Glied der Gleichung 3 von vornherein verschwindet. Da sich bei der Bewegung des Wassers längs den Schaufeln der Einfluss der Schwerkraft und die Reibungswiderstände zum Theil aufheben, so wird man auch hinreichend genau annehmen dürfen, es sei

$$u = c_1 = c_2 = \text{const.} \quad (30)$$

Das Verhältniss des Strahlquerschnittes an irgend einer Stelle dividirt durch den Canalquerschnitt nennt man bekanntlich den *Füllungscoefficienten*. Er möge mit ε bezeichnet werden. Derselbe ändert sich im Allgemeinen mit der Radhöhe und zwar gewöhnlich in der Art, dass er nach unten zu abnimmt; natürlich bleibt er aber stets kleiner als die Einheit. Am Eintritt in's Laufrad möge er den Werth ε_1 haben.

Die Summe der Normalquerschnitte sämmtlicher Wasserfäden in einer beliebigen Höhe des Rades ist dann

$$F' = \varepsilon_1 2r_1 \pi e_1 \cos\alpha_1. \quad (31)$$

Das ist derselbe Werth, wie in Gleichung 21, nur dass hier noch der Füllungscoefficient ε_1 als Factor hinzutritt. Durch Integration der beiden ersten Glieder der Gleichung 3 erhält man dann dieselben Ausdrücke, wie in Gleichung 22 und 23, aber mit Hinzufügung des Factors ε_1 . Der Zapfendruck wird daher sofort:

$$Z = \varepsilon_1 2 r_1 \pi e_1 \gamma \left[s \cos \alpha_1 + \left(1 - \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right) \frac{c^2 \cos^2 \alpha}{g} \right]. \quad (32)$$

Die vorstehenden Entwicklungen gelten nur unter der stillschweigend gemachten Voraussetzung, dass die Turbinen *an ihrem ganzen Umfange beaufschlagt* sind. Ist das nicht der Fall, so ist überall an Stelle von 2π die durch den Einlauf bedeckte Bogenlänge einzusetzen. Kann diese Länge zum Zwecke der Regulirung geändert werden, so ist natürlich ihr grösster Werth in die Rechnung einzuführen. Ebenso ist bei veränderlichem Gefälle gleichzeitig für das Maximum desselben zu rechnen, wenn auch grösstes Gefälle und stärkste Beaufschlagung nur ausnahmsweise zusammenfallen werden.

Rechnet man den Zapfendruck Z für die gebräuchlichen mittleren Verhältnisse nach, indem man noch c in Function des Gefalles h einsetzt, so findet man Ausdrücke von der Form

$$Z = \lambda 2 r_1 \pi e_1 h \gamma, \quad (33)$$

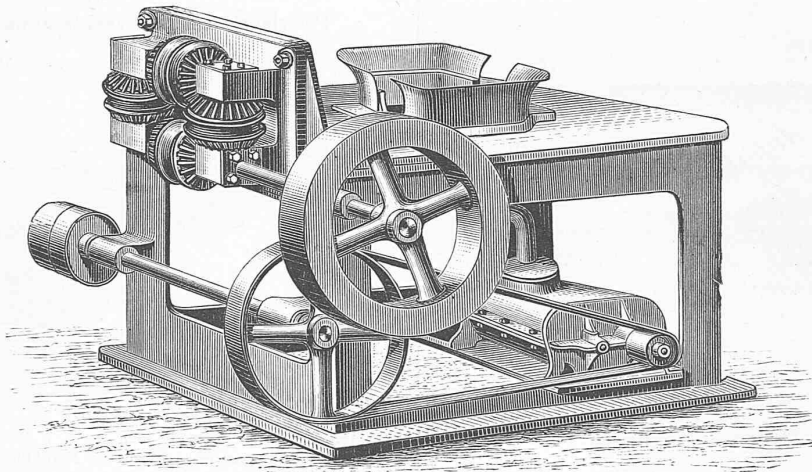
lirt, dass die Entlastungsscheibe sammt Welle und Turbine langsam gehoben wurde und das Laufrad am Leitrade zu streifen begann. Aus den Pressungen, den Dimensionen der Entlastungsscheibe, dem Eigengewichte der den Zapfen belastenden Theile und dem geschätzten Zahndrucke fand sich dann der in Gleichung 35 eingeführte Coefficient $\lambda = 0,5$.

Da die Turbine eine *Henschel'sche (Jonval)* ist, so würde nach Gleichung 12 und 35

$$\lambda = 1 - (1 + \zeta) \frac{\cos \alpha_1}{2 \sin \alpha \sin (\alpha + \alpha_1)} \quad (36)$$

sein. Die Winkel sind nun: $\alpha = 71^\circ$, $\alpha_1 = -10^\circ$. Schätzt man den Widerstandscoefficienten $\zeta = 0,1$, so wird $\lambda = 0,480$.

Die Uebereinstimmung mit dem Versuche ist eine durchaus befriedigende, namentlich, wenn berücksichtigt wird, dass in der Formelentwicklung einige Vernachlässigungen gemacht wurden, die ein etwas zu kleines Resultat erwarten lassen. So sind die Schaufeldicken nicht berücksichtigt, während das Wasser auf ihre oberen Endflächen auch einen directen Druck ausübt. Ebenso wirkt der Spaltdruck p_1 eigentlich nicht nur auf die freie radiale Breite des Kranzes, sondern auch auf wenigstens einen Theil der Metalldicke der Wandungen desselben. Eine Berücksichtigung dieser Umstände würde aber die Formel unnöthig unbequem machen. Es



Locomotiv-Siederohr-Schweissmaschine.

worin λ ein von dem Turbinensystem und den speciellen Dimensionen abhängiger Zahlencoefficient ist, der in der Regel zwischen etwa

$$\lambda = 0,5 \text{ und } 1,0 \quad (34)$$

liegt. Der letzte Werth kommt jedenfalls nur ganz ausnahmsweise vor. Man wird also im Allgemeinen den Wasserdruck auf den Zapfen hinreichend sicher berücksichtigen, wenn man, wie es auch häufig geschieht, $\lambda = 1$ einführt, also setzt:

$$Z = 2 r_1 \pi e_1 h \gamma. \quad (35)$$

Eine directe experimentelle Bestimmung des Zapfendruckes bei arbeitenden Turbinen ist nur selten möglich. Mir ist nur ein einziger einschlagender Versuch bekannt, welcher von Hrn. Ingenieur *Reifer* von der Firma *J. J. Rieter & Cie.* in Töss angestellt wurde, und dessen Ergebnisse mir von ihm bereitwilligst zur Verfügung gestellt worden sind.

Der Versuch ist an einer Turbine der bekannten Anlage in *Bellegarde* ausgeführt. Bei dieser Anlage wird das Wasser durch ein geschlossenes Rohr in den Turbinenkessel geleitet und durchströmt nach dem Verlassen des Laufrades noch ein Saugrohr. Der Deckel des Turbinenkessels ist nun nicht fest, sondern er bildet eine an der Welle in verticaler Richtung fixirte, aber mit derselben in dieser Richtung verschiebbare Entlastungsscheibe. Ueber der letzteren ist noch ein abgeschlossener Raum vorhanden, der evacuirt werden kann. Der Druck des Wassers im Turbinenkessel und das Vacuum oben üben einen Druck nach oben auf die Entlastungsscheibe aus. Bei dem Versuche wurde nun das Vacuum so regulirt,

genügt daher für die Anwendungen, das Ergebniss der Rechnung um einige Procente nach oben abzurunden, wenn man es nicht vorzieht, ohne weitere Rechnung den Factor λ stets gleich der Einheit anzunehmen.

Zürich, April 1881.

Das neue Quaiproject für die Stadt Zürich und die Gemeinden Enge und Riesbach.

(Mit einer Doppeltafel in Farbendruck.)

Anschliessend an die in heutiger Nummer unter den Verhandlungen des Zürcher Ingenieur- und Architekten-Vereins veröffentlichte Beschreibung des neuen Quai-Projectes sei uns folgende Darlegung der finanziellen Grundlage des Unternehmens gestattet.

Nach dem zu Stande gekommenen Vertrage ist, entsprechend dem Vorschlage einer unparteiischen Finanzexpertise, in richtiger Anwendung der Quaiverordnung und in Würdigung aller in Betracht fallenden Verhältnisse, die Unternehmung als eine *gemeinschaftliche* durchzuführen mit Kostenverlegung auf die drei beteiligten Gemeinden nach Massgabe der Steuerkraft.

Die Kosten setzen sich zusammen aus:

1. den Expropriationen an Gebäuden und Land,
2. den wirklichen Baukosten,
3. den erlaufenden Bauzinsen.