Zeitschrift: Die Eisenbahn = Le chemin de fer
Herausgeber: A. Waldner
Band: 14/15 (1881)
Heft: 13

Artikel: Ueber den Canalwiderstand der Voll-Turbinen
Autor: Fliegner, Albert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9457

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: 13.12.2025

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

INHALT: Ueber den Canalwiderstand der Voll-Turbinen. Von Albert Fliegner, Professor der theoretischen Maschinenlehre am eidg. Polytechnikum in Zürich. — Le percement du Simplon devant les Chambres et les intérêts de la France. — Württembergische Landes-Gewerbeausstellung zu Stuttgart 1881. Mit einer Tafel. — Revue: Accidents de chemins de fer par suite de rupture d'attelages; L'histoire de l'hélice; Korksteine; Befestigung von Tusche. — Miscellanea: Verband deutscher Architecten- und Ingenieur-Vereine; Bergsturz in Elm; Internationales Eisenbahntransportrecht; Kirchenfeld-Project in Bern; Ausstellungen; Preisausschreiben; Preisvertheilung der allgemeinen deutschen Patent- und Musterschutz-Ausstellung zu Frankfurt a. M.; J. J. Tobler. — Literatur: Der Kalender für Maschineningenieure für 1882. — Vereinsnachrichten.

Ueber den Canalwiderstand der Voll-Turbinen.

Von *Albert Fliegner*, Professor der theoretischen Maschinenlehre am eidgen. Polytechnikum in Zürich.

(Schluss.)

Ich lasse nun zunächst eine Zusammenstellung der gefundenen Werthe von *tang* α_r und ζ folgen, geordnet nach abnehmenden Werthen von *tang* α_r. In der ersten Columne ist die Nummer angegeben, welche der Versuch in der Original-Veröffentlichung hat. Wo mehrere Versuche bei angenähert gleichem Werthe von *tang* α_r vorhanden waren, habe ich nur je den ersten aufgenommen, unabhängig davon, ob er besser oder weniger gut in die Reihe passte.

Die untersuchten Turbinen waren:

I. Modellturbine von ***Francis*** mit äusserer Beaufschlagung, Lowell hydr. exp. Seite 55.

II. Radialturbine mit äusserer Beaufschlagung der Boot Cotton-Mills in Lowell, ebd. Seite 61.

III. Radialturbine mit innerer Beaufschlagung (Tremont-Turbine), ebd. Seite 7.

IV. Axial-Turbine mit Rückschaufeln von *Haenel*, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, V, 1861, S. 163.

Diese Turbinen hatten folgende Dimensionen, soweit die letzteren hier in Frage kommen (die Längen in Metern):

		I	II	III	IV
Durchmesser am Eintritt	$2r_1$	0,5810	2,8462	2,0574	1,5692
„ „ Austritt	$2r_2$	0,4953	2,4751	2,5274	
Radhöhe am Eintritt	e_1	0,0714	0,3045	0,2855	0,1962
„ „ Austritt	e_2	0,0714	0,3719	0,2839	0,3923
Leitschaufelwinkel	α	78⁰	78⁰	62⁰	67⁰ 30′
Radschaufelwinkel, Eintritt	α_1	57⁰	30⁰	0⁰	— 45⁰
„ Austritt	α_2	79⁰	80⁰	68⁰	63⁰ 40′
Schaufelzahl im Leitrad	Z	24	40	33	32
„ „ Laufrad	Z_1	36	40	44	32
Schnitt einer Schaufel am Leitrad	σ'	0,0040	Ringschütze		0,0192
Schnitt beim Eintritt in's Laufrad	σ'_1	0,0020	0,0073	0,0036	0,0090
Canalweite	i_2	0,0103	0,0428	0,0572	Querschnitt im Laufrad const. $F_2 = 0{,}5925\,qm$
Werth von	m_2	0,0602	0,2592	0,2286	
Coefficient ζ' (geschätzt)		0,07	0,10	0,10	0,10

Werthe von ζ für Turbine I.

Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ
13	+ 4,872	0,742	10	+ 1,198	0,134	2	— 0,008	0,203
12	+ 3,011	0,201	8	+ 1,085	0,154	1	— 0,650	0,378
11	+ 1,688	0,117	3	+ 0,734	0,176	4	— 4,705	2,055
9	+ 1,246	0,130						

Werthe von ζ für Turbine II.

Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ
39	+ 6,052	2,200	30	+ 0,262	0,408	34	— 0,117	0,419
27	+ 0,560	0,411	31	+ 0,172	0,416	35	— 0,221	0,406
28	+ 0,466	0,400	32	+ 0,083	0,421	36	— 0,363	0,426
29	+ 0,337	0,413	33	— 0,004	0,430	37	— 4,705	2,222

Bei diesen Versuchen war die Ringschütze ganz offen. Versuchsreihen mit mehr oder weniger gestossener Schütze ergaben ζ meistens *negativ*. Den Grund dieser Erscheinung suche ich darin, dass sich der bewegte Strahl überhaupt gar nicht mehr angelegt hat, dass also der Strahlquerschnitt kleiner war, als der in der Berechnung benutzte Werth von F_2. Dann gilt Gleichung 17 für ζ nicht mehr.

Werthe von ζ für Turbine III.

Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ
a) Schütze ganz offen, $e = e_1 = 0{,}2855\,m$.								
38	+ 2,659	2,343	14	+ 1,198	1,378	50	+ 0,407	1,087
4	+ 2,308	2,020	15	+ 1,082	1,316	35	+ 0,334	1,071
5	+ 2,198	1,953	16	+ 1,013	1,273	36	+ 0,212	1,071
6	+ 2,064	1,861	17	+ 0,941	1,250	37	+ 0,083	1,079
7	+ 1,921	1,788	18	+ 0,885	1,238	40	— 0,051	1,065
8	+ 1,773	1,703	20	+ 0,794	1,201	41	— 0,245	1,069
9	+ 1,624	1,609	28	+ 0,703	1,192	42	— 0,482	1,054
10	+ 1,480	1,520	32	+ 0,605	1,164	43	— 1,881	1,285
11	+ 1,333	1,432	48	+ 0,503	1,117			
b) Schütze gestossen auf $e = 0{,}2172\,m$.								
64	+ 1,711	2,248	55	+ 0,457	1,088	60	+ 0,087	1,008
51	+ 1,354	1,962	56	+ 0,344	1,054	61	+ 0,024	1,007
52	+ 0,944	1,475	57	+ 0,273	1,023	62	— 0,038	1,020
53	+ 0,710	1,280	58	+ 0,214	1,015	63	— 0,191	0,964
54	+ 0,568	1,153	59	+ 0,149	1,018			
c) Schütze gestossen auf $e = 0{,}1435\,m$.								
65	+ 0,741	2,079	69	— 0,050	1,217	74	— 0,537	1,530
66	+ 0,474	1,619	70	— 0,170	1,230	75	— 0,655	1,636
67	+ 0,288	1,451	71	— 0,293	1,275	76	— 0,942	2,011
68	+ 0,080	1,286	72	— 0,399	1,348			
d) Schütze gestossen auf $e = 0{,}0730\,m$.								
80	— 0,249	0,469	83	— 0,785	1,341	86	— 1,164	3,884
81	— 0,353	0,544	84	— 0,898	2,061	87	— 1,392	5,878
82	— 0,563	0,748	85	— 1,040	2,867	88	— 1,881	10,558

Bei noch weiter gestossener Schütze wurde ζ *negativ*. Siehe Bemerkung zu Tab. II.

Werthe von ζ für Turbine IV.

Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ	Nr.	*tang* α_r	ζ
149	+ 1,158	4,777	153	+ 0,035	3,173	157	— 1,025	2,009
150	+ 1,040	4,636	154	— 0,188	2,843	158	— 1,237	1,346
151	+ 0,833	5,176	155	— 0,569	2,100	159	— 1,425	1,164
152	+ 0,450	4,340	156	— 0,791	1,803	160	— 2,414	3,068

Bei theilweise geschlossenen Leitcanälen wird ζ grösser. Die angegebenen Versuche sind bei *tauchendem Spalt* angestellt. War der Unterwasserspiegel unter den Spalt gesunken, so wurde ζ bedeutend kleiner, bei voller Beaufschlagung sogar *negativ*. Daraus ist zu schliessen, dass, wenn der Spalt nicht taucht, der Laufradcanal, wenigstens am Austritt, auch nicht ganz voll läuft. Die Turbine arbeitet dann wahrscheinlich als reine Partialturbine.

Die mitgetheilten Tabellenwerthe bestätigen nun die Ergebnisse meiner früheren, in kleinem Maassstabe angestellten Versuche insoweit vollständig, als sich die günstigste Eintrittsrichtung im Allge-

meinen *nicht* mit der Tangente der Schaufel an der Eintrittsstelle zusammenfallend ergibt. Eine Aufzeichnung der Curven $\zeta = f(tang\, \alpha_r)$ zeigt das noch deutlicher, als die Tabellen.

Bei Turbine I mit *geradlinigen* Schaufeln ist allerdings die günstigste Eintrittsrichtung ungefähr die zur Schaufeltangente parallele.

Bei Turbine II ist das Minimum von ζ nicht scharf ausgeprägt. Es scheint in der Nähe von $tang\, \alpha_r = 0{,}5$ mit einem Winkel von 27^0 zu liegen, gegenüber $\alpha_1 = 30^0$.

Bei Turbine III, Reihe *a*, nimmt ζ, mit Ausnahme des letzten Versuches, ununterbrochen ab. Das Minimum von ζ liegt also bei $tang\, \alpha_r < -0{,}482$, d. h. bei einem *negativen* Winkel, der numerisch grösser ist als etwa 26^0. So interpolirt wird die Curve $\zeta = f(tang\, \alpha_r)$ allerdings nicht symmetrisch in Bezug auf eine verticale Axe. Wollte man unter Berücksichtigung der beiden äussersten Punkte eine symmetrische Curve einführen, so müsste man das Minimum zwischen Versuch 36 und 37, bei $tang\, \alpha_r = 0{,}16$, entsprechend $\alpha_r = 9^0$, annehmen, eine auch allenfalls zulässige Interpolation, da die Curve in der Nähe des Minimums nur sehr schwach gekrümmt ist.

Die Reihe III, *b* ist nicht vollständig genug, um das Minimum mit Sicherheit bestimmen zu lassen. Der letzte Versuch 63 passt auch bei der von *Francis* gegebenen graphischen Darstellung des Wirkungsgrades nicht recht in die Curve. Lässt man ihn fort, so würde das Minimum von ζ etwa bei $tang\, \alpha_r = 0{,}05$, mit $\alpha_r = 3^0$ liegen.

Die Reihe III, *c* zeigt dagegen ein deutlich ausgeprägtes Minimum bei $tang\, \alpha_r = -0{,}07$, mit $\alpha_r = -4^0$.

Die letzte Reihe, III, *d*, ist nicht weit genug fortgesetzt, um die Lage des kleinsten Werthes von ζ erkennen zu lassen.

Der günstigste Eintrittswinkel scheint, wenn man die zweite Interpolation bei III, *a*, zulässt, mit dem Hinunterstossen der Ringschütze, also mit zunehmender Erweiterung, *abzunehmen*, wie ich das auch bei meinen früheren Versuchen gefunden hatte.

Bei Turbine IV nimmt ζ auch ununterbrochen ab, mit Ausnahme des letzten Versuches. Das Minimum von ζ liegt jedenfalls bei einem Winkel $tang\, \alpha_r < -1{,}425$, also bei $\alpha_r < -55^0$, gegenüber $\alpha_1 = -45^0$.

Während die Ergebnisse über die günstigste Eintrittsrichtung meinen Erwartungen entsprachen, ist das mit dem numerischen Werthe des Widerstandscoefficienten nicht mehr der Fall. Derselbe hat sich im Allgemeinen *weit grösser* ergeben, als bei den Versuchen von *Weisbach* und von mir, und als gewöhnlich angenommen wird. Nur bei Turbine I sinkt er auf einen Betrag von nahe an 0,1. Bei Turbine II bleibt er dagegen über 0,4. In den Reihen III, *a* bis *c* ist er sogar, mit Ausnahme des unsicheren Versuches 63, stets *grösser, als die Einheit*. Bei III, *d* sinkt er wieder auf 0,469, da er aber bei noch weiter gestossener Ringschütze sogar negativ wird, so suche ich den Grund der Abnahme bei III, *d* darin, dass der Strahl den Austrittsquerschnitt aus dem Laufrade schon nicht mehr ganz ausfüllt. Sieht man von der letzten Reihe ab, so scheint ζ mit zunehmender Erweiterung auch etwas zuzunehmen. Bei der *Haenel*'schen Turbine, IV, bleibt ζ auch stets grösser als die Einheit.

Nach *Weisbach* sollte man $\zeta = 0{,}04$ bis $0{,}07$ setzen.

Man könnte versucht sein, diesen bedeutenden Mehrbetrag des Widerstandscoefficienten auf die in der Formel gar nicht berücksichtigten Wasserverluste am Spalt zu schieben. Ich halte das aber nicht für zulässig. Man müsste dann wenigstens erwarten, dass ζ mit dem Spaltüberdrucke wächst. Beachtet man aber die in der vorigen Zusammenstellung angegebenen Winkel α und α_1, so folgt daraus, dass der Spaltüberdruck bei Turbine I am grössten sein muss. Er ist bei jeder folgenden Turbine etwas kleiner, um bei Turbine IV ungefähr gleich Null zu werden. ζ *wächst* also mit *abnehmendem* Spaltüberdruck. Auch scheint es mit zunehmender Stärke der Krümmung des Canals zu wachsen.

Es wäre übrigens möglich, dass ich ζ' zu klein angenommen habe. Wollte man aber durch Aenderung von ζ' ζ bedeutend reduciren, so müsste man es auch bedeutend grösser annehmen. Das halte ich aber nicht für gerechtfertigt. Der Hauptwiderstand der Zu- und Ableitung ist allerdings in den Leitradcanälen zu suchen, die ähnlich beschaffen sind, wie diejenigen des Laufrades. Das Wasser tritt aber aus einem grösseren Raume in die Leitradcanäle hinein, wird sich also regelmässiger und mit verhältnissmässig geringeren Widerständen durch dieselben bewegen, ähnlich wie bei den *Weisbach*'schen Versuchen.

Der hohe Werth von ζ muss also seinen Grund hauptsächlich in Unregelmässigkeiten bei der Bewegung durch die Laufradcanäle haben. Ich suche die Ursache dieser Unregelmässigkeiten namentlich darin, dass, in Folge der Schaufeldicken des Leitrades, im Laufrade Wasserstrahlen von endlich verschiedenen Richtungen, der eine durch die Schaufelkrümmung schon abgelenkt, der andere noch nicht, aufeinanderstossen. Eine *sichere* Entscheidung dieser Frage auf experimentellem Wege ist kaum möglich, da die beiden Einflüsse der vor den Leitradcanälen vorbeigehenden Laufradschaufeln: Verengung des freien Durchflussquerschnittes und Vergrösserung der Widerstände durch ununterbrochene Störung des Beharrungszustandes in den Leitcanälen, sich nicht getrennt untersuchen lassen.

Zweck dieser Mittheilung war es nur, auf die unerwartete Grösse des Arbeitsverlustes in dem Laufrade einer Vollturbine aufmerksam zu machen.

Zürich, September 1881.

Le percement du Simplon devant les Chambres et les intérêts de la France.

Sous le titre qui précède, à l'occasion de la subvention de 50 millions demandée aux Chambres françaises pour aider au percement du Simplon, Mr. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées, — qui a dirigé autrefois, comme ingénieur en chef de l'ancienne ligne d'Italie, la construction de la section du Bouveret à Sion, — vient de publier une importante brochure dont nous croyons devoir rendre compte à nos lecteurs.

M. Vauthier est le premier qui, dès 1858, ait constaté l'aptitude éminente et toute spéciale qu'offre le massif du Simplon pour l'établissement d'un tunnel de base situé à une altitude bien inférieure à tout autre percement possible à travers les Alpes. Il avait, dès cette époque, dressé un avant-projet, — que nous avons vu à l'exposition universelle de 1878, à côté des beaux projets définitifs de M. Georges Lommel, — et qui impliquait un tunnel de 18,220 *m* de longueur ayant, à Brieg et à Isella ses deux têtes, nord et sud, aux altitudes respectives de 643 *m* et 624 *m*, la tête sud se raccordant avec la vallée de la Tocce à Domo d'Ossola par des pentes de 20 et 22 millimètres de déclivité, sur un peu plus de 17 kilomètres de développement ensemble.

A l'époque où naquit cette conception, à laquelle il est difficile de refuser au moins quelque hardiesse, le tunnel du Mont Cenis était à peine commencé. On doutait du succès de ce travail. La durée d'exécution surtout paraissait devoir être fort longue. Avant de proposer une entreprise de percement plus colossale encore, il convenait d'attendre que les faits eussent parlé. La situation précaire de l'ancienne ligne d'Italie que M. Vauthier avait quittée en 1861, se prêtait peu d'ailleurs à l'accomplissement d'une aussi lourde tâche. L'idée du tunnel de base dormit en conséquence quelques années.

Pendant cette période, divers ingénieurs, au nombre desquels il y aurait injustice à ne pas citer MM. Charles Jaquemin de Lausanne et Thouvenot, poursuivirent l'idée soit de percements du Simplon à des altitudes moyennes, soit même de passages du col à ciel ouvert ou presque à ciel ouvert, comme l'avait proposé le premier Eugène Flachat, en 1858.

L'ancienne compagnie de la ligne d'Italie elle-même, dans une des nombreuses phases de son existence, avait fait étudier en 1863, sous la direction d'un ingénieur distingué: M. de Mondésir, dans le système des tracés à rebroussement, un projet de passage du Simplon avec rampes de 40 *mm*, lequel n'impliquait qu'un tunnel de 4700 *m* de longueur, mais placé à l'altitude de 1732 *m*.

Entre temps, dès 1864, l'idée du tunnel de base était reprise par M. Georges Lommel qui en faisait usage pour des études techniques, critiques et comparatives, des divers passages suisses: Simplon, St-Gothard et Lukmanier, dont la discussion agitait alors l'opinion publique (1). Cette même idée inspirait en 1869 à M. de

(1) Georges Lommel. *Etude critique des divers systèmes proposés pour le passage des Alpes suisses par un chemin de fer;* 1864.
Simplon, St-Gothard et Lukmanier. — Etude comparative; 1865.