

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 14/15 (1881)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Ueber den Zapfendruck der Turbinen  
**Autor:** Fliegner, Albert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-9405>

#### **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:** 21.02.2026

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

Mittelst dieser Maschinenbohrung wurden in 545,5 Arbeitstagen (ohne Abzug der kleineren Unterbrechungen) 876,7 m oder im Mittel per Tag 1,3 m hergestellt und zwar beträgt der mittlere Fortschritt

in den ersten	4 Monaten	0,90 m	mit 3 Maschinen
" folgenden	11 "	1,60 m	" 3 "
" letzten	4 "	2,28 m	" 4-5 "

Ueber weitere Einzelheiten gibt die Tabelle auf Seite 145 einige Auskunft.

Der Wasserzudrang betrug am oberen und untern Mundloch je 5-10 l per Secunde, steigerte sich aber bei längerem Regen oder Anfahren einer Quelle zuweilen so, dass die Arbeiten am oberen Mundloch zeitweilig unterbrochen werden mussten.

Die Bewältigung des Wassers im oberen Angriff geschah mittelst Syphons.

Im Vollausbruch, welcher bis auf eine Portaldistanz von 288 m getrieben wurde, liegen drei Syphons, von denen der erste mit Röhren von 100 mm Lichtweite bis auf 86 m, der zweite von 150 mm auf 213 m und der letzte von gleicher Lichtweite bis an den Fuss der Strosse reicht.

Vom Richtstollen führten zwei Syphons von 100 mm Lichtweite das Wasser zur Strosse, von denen der letzte bei 444 m Portaldistanz mündete. Das letzte Wasser der weitern Stollenstrecke wurde mit Hülfe einer Pumpe gefördert, da der Durchschlag in der oberen Portaldistanz von 532 m stattfand.

Die Syphons wurden mittelst Injectoren durch die Luftleitung der Bohrmaschinen in Function gesetzt, ebenso wurde die Pumpe durch die comprimirte Luft getrieben.

In den drei Syphons der Strosse betrug die Saughöhe 3,23, 5,50 und 7,88 m, im Stollen 2,9 und 5,0 m. Um den letzten Syphon der Strosse wirksam zu erhalten, war eine Luftcompression von mindestens  $5\frac{1}{2}$  Atmosphären erforderlich. Nach dem Durchschlag wird die Luftleitung der untern Tunnelmündung beseitigt und diejenige der oberen verdoppelt, so dass die eine Leitung die Syphons und Pumpe der Strosse bedient, während die andere sechs Maschinen treiben soll, welche die Calotte ausweiten und den oberen Theil der Strosse nachnehmen. Der untere Theil der Strosse wird mit Handarbeit fortgesetzt.

Der Rest des Strossenabbruches beträgt ca. 500 m.

## 2. Prato-Tunnel.

Der Prato-Tunnel ist 1557 m lang.

Das Gestein besteht aus Gneissglimmerschiefer, welcher nahezu horizontal gelagert ist und auf ca. 700 m Länge in soliden Bänken auftritt, während der übrige Theil bei stärkerm Auftreten von Glimmer dünnplattig und brüchig ist, so dass auf längere Strecken Einbau nötig wurde, um Deckenbrüche zu verhindern.

Als die Unternehmung am 10. März 1879 den Tunnel übernahm, waren noch 1447,8 m Firststollen herzustellen. Von diesen sind im oberen Angriff 627,3, im untern 820,5 in 798 Tagen geleistet.

Im oberen Angriff fand nur Handarbeit mit einer mittlern täglichen Leistung von 0,8 m statt. Im untern Mundloch wurden 452 m in 320 Tagen mit Maschinenbohrung (drei Frölich'schen Maschinen) und 356 m in 478 Tagen mit Handbohrung hergestellt, so dass die Maschinenbohrung hier einen mittlern täglichen Fortschritt von 1,41 m, die Handbohrung einen solchen von 0,75 m aufweist.

Die Maschinenbohrung wurde vom 28. October 1879 bis zum 13. September 1880 in Anwendung gebracht und dann aufgegeben, als die brüchige Decke Einbau erforderte und zugleich der gute Fortschritt an der oberen Mündung ein Forciren überflüssig machte.

Die Handarbeit wurde theilweise dreischichtig, meist aber vier schichtig betrieben. Im ersten Fall betrug der mittlere Monatsfortschritt 21 m, im letztern 26,5 m. In der oberen Attaque waren zehn Mineure vor Ort, welche ein Profil von ca. 10 m<sup>2</sup> herstellten; in der untern Attaque wechselte der Stollenangriff mit der Gesteinsart. Da im Tunnel sehr wenig Wasser auftrat, ging die gesammte Arbeit in der oberen, wie untern Mündung sehr gleichmässig vorwärts und die Vollausbrucharbeiten folgten dem Stollen so nahe, dass nur noch 200 m Strosse abzubrechen sind.

Der Durchschlag fand im Abstand von 676 m vom oberen Portal statt.

Die Ventilation der untern Mündung geschah durch die 100 mm weite Luftleitung der Maschinenbohrung. Zur oberen Mündung war

ebenfalls eine 50 mm weite Luftleitung geführt; doch wurde dieselbe nie in Anspruch genommen, da sich eine sehr günstige natürliche Ventilation ergab.

## Ueber den Zapfendruck der Turbinen.

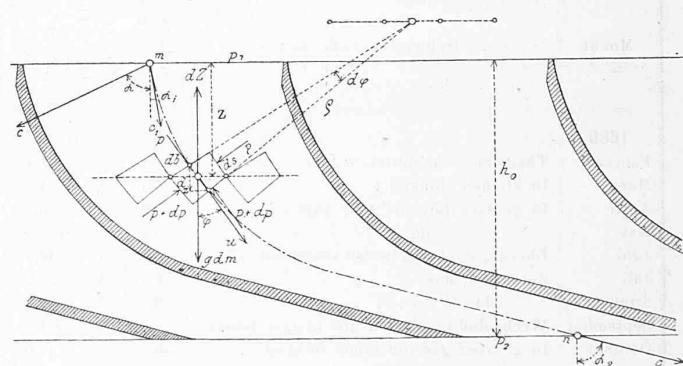
Von Albert Fliegner, Professor der theoretischen Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum.

In der mir zugänglichen Literatur über Turbinen habe ich nirgends eine Berechnung des Zapfendruckes vorgefunden, mit Ausnahme eines Versuches von Hrn. Salaba in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1871, S. 183. Wenn nun auch die dort gegebenen Resultate im Wesentlichen richtig sind, so ist doch ihre Entwicklung nicht haltbar. Es sind bei derselben zwei Fehler gemacht, die sich allerdings zufällig aufheben. Eine Richtigstellung des Sachverhaltes dürfte daher am Platze sein.

Der Zapfendruck der Turbinen setzt sich zusammen aus dem Eigengewichte der durch den Zapfen unterstützten Constructionstheile, aus dem Zahndrucke der vorhandenen Räder oder dem Zuge der Riemenspannung, und aus dem *Einflusse des Wassers* bei seiner Bewegung durch die Turbine. Zu weiteren Rechnungen gibt nur die letzte Kraft Veranlassung, und das auch nur bei den *Axial-Turbinen mit verticaler Axe*. Die folgende Untersuchung soll daher auch auf diese Art von Turbinen beschränkt werden.

Sind solche Turbinen am ganzen Umfange beaufschlagt, oder ist der Einlauf in zwei diametral gegenüberliegende Gruppen von Canälen getheilt, so werden alle normal zur Axe gerichteten Kraftwirkungen des Wassers durch die Turbine selbst aufgenommen. Horizontale Pressungen auf die Axe können also nicht entstehen. Ist diese Bedingung dagegen nicht erfüllt, so tritt allerdings auch ein horizontaler Zapfendruck auf. Seine Grösse ist aber aus dem Drehmoment des Wassers und dem beaufschlagten Theile des Umfanges leicht zu berechnen. Uebrigens ist er dann gewöhnlich sehr klein.

Schwierigkeiten macht dagegen die Bestimmung des *verticalen Zapfendruckes*. Dieselbe geht überhaupt gar nicht streng durchzuführen, es sind vielmehr, wie immer bei den Rechnungen über Turbinen, gewisse Annäherungen nötig. Zunächst muss die Drehung der Turbine als vollkommen gleichförmig vorausgesetzt werden; dann kann man die Untersuchung so vornehmen, als wenn die Turbine still stehen und die Bewegung des Wassers in ebenen Canälen erfolgen würde. Ferner sollen die Schaufeldicken unberücksichtigt bleiben. Endlich muss auch die radiale Lichtweite des Laufrades so klein angenommen werden, dass die Bewegung des *mittleren Wasserfadens* allein der Untersuchung zu Grunde gelegt werden kann.



In der vorstehenden Figur 1 stelle nun die strich-punktierte Curve *m n* die Bahn eines Elementes durch das Rad vor. Das Element selbst ist in allgemeiner Lage gezeichnet und schraffirt. *dm* ist seine Masse, *u* seine augenblickliche tangentielle Geschwindigkeit, welche mit der Verticalen den Winkel *φ* einschliesst. Auf dieses Element wirken nun folgende Kräfte:

1. Die Schwerkraft vertical abwärts mit *g dm*.

2. Der durch die zwischenliegenden Wasserelemente vermittelte „Rinnenwiderstand“ der nächsten Schaufel, dessen hier allein nötige

verticale Componente mit  $dZ$  bezeichnet werden möge. Dieselbe ist immer nach aufwärts gerichtet.

3. In Folge der Änderung des hydraulischen Druckes um das Element noch zwei Kräfte. Die eine, dem Sinne der Bewegung entgegen wirkende, hat die Grösse  $e db dp$ , wenn  $e$  die Dimension des Elementes senkrecht zur Ebene der Zeichnung bedeutet; ihre nach aufwärts gerichtete verticale Componente ist  $e db dp \cos \varphi$ . Die zweite dieser Kräfte wirkt normal zur Bewegungsrichtung nach rechts oben in der Stärke  $e ds dp$ , und ihre nach aufwärts gerichtete Vertical-Componente ist  $e ds dp \sin \varphi$ .

Diese Kräfte ändern die Vertical-Componente der Geschwindigkeit des Elementes,  $u \cos \varphi$ , und es muss daher sein:

$$\frac{d(u \cos \varphi)}{dt} dm = g dm - dZ - e db dp \cos \varphi - e ds dp \sin \varphi. \quad (1)$$

$dZ$  ist nun auch der Druck, welchen das betrachtete Element durch Vermittelung der dazwischen liegenden Wasserelemente auf die nächste Schaufel ausübt, und zwar vertical nach abwärts. Dieser Druck pflanzt sich durch die Schaufeln, den Turbinenkranz und die Radarme auf die Welle und schliesslich auf den Zapfen fort.  $dZ$  ist also schon der Anteil, welchen dieses Element zum Zapfendruck liefert. Aus Gleichung 1 folgt er sofort zu:

$$dZ = g dm - \frac{d(u \cos \varphi)}{dt} dm - e(\cos \varphi db + \sin \varphi ds) dp. \quad (2)$$

$\cos \varphi db + \sin \varphi ds$  ist darin allgemein gleich der Horizontalprojection der weniger steilen Diagonale des Vierecks  $db ds$ . Das gegenseitige Verhältniss der beiden Längen  $db$  und  $ds$  ist nun ganz beliebig. Die weiterhin nöthige Integration wird aber wesentlich vereinfacht, wenn man dasselbe so wählt, dass die eine Diagonale genau horizontal wird, wie es in der Figur angenommen ist. Dann bedeutet der Ausdruck:

$$e(\cos \varphi db + \sin \varphi ds)$$

einfach den horizontalen Querschnitt des Elementes. Er möge kurz mit  $df$  bezeichnet werden. Damit wird Gleichung 2

$$dZ = g dm - \frac{d(u \cos \varphi)}{dt} dm - df dp. \quad (3)$$

Ehe zu der Integration dieser Gleichung geschritten wird, sollen noch die Fehler der Salaba'schen Entwicklung kurz besprochen werden. Vergleicht man die dortige Gleichung 6 und das, was derselben vorangeht und folgt, mit dieser Gleichung 3, so zeigt sich eine wesentliche Uebereinstimmung mit der eben abgeleiteten Formel in ihren beiden ersten Gliedern. Anstatt meines dritten Gliedes hätte aber Hr. Salaba bei meiner Bezeichnungsweise einen Ausdruck  $d[p df'] \cdot \cos \varphi$ , worin  $df'$  den Querschnitt des Elementes senkrecht zur Bewegungsrichtung bezeichnet. Das Glied soll dieselbe Kraft vorstellen, welche oben in Gleichung 1 mit  $e db dp \cos \varphi$  bezeichnet ist. Dabei ist es nun zunächst nicht richtig, den tangentialen Druck gleich  $d[p df']$  zu setzen.  $df'$  muss nämlich den grössten Querschnitt des Elementes bedeuten, da bei einer Veränderlichkeit desselben auch auf den äusseren Mantel Pressungen mit tangentialen Componenten wirken.  $df'$  ist also vor das Differentialzeichen zu setzen und zu schreiben  $df' dp$ . Ausserdem fehlt aber so der Einfluss der Veränderlichkeit des Druckes normal zur Bewegungsrichtung, der im letzten Gliede meiner Gleichung 1 enthalten ist.

Dieses von der Änderung der Wasserpressungen herrührende Glied wird nun von Hrn. Salaba auch unrichtig weiter behandelt. Anstatt nämlich den Zusammenhang von  $p$ ,  $df'$  und  $\cos \varphi$  einzusetzen und wirklich zu integriren, wird es mit der Bemerkung erledigt (S. 185, linke Spalte unten a. o. O.), „dass diese Drücke (und zwar  $d[p df']$ ) beim Summiren paarweise mit gleicher Grösse und mit entgegengesetzten Zeichen vorkommen, bis auf die verticalen Drücke auf die Endelemente der Flüssigkeit,  $p_1 f_1$  und  $-p_2 f_2$ “  $f_1$  und  $f_2$  sind dabei die „horizontalen Ausmündungen“ eines Wasserfadens oben und unten. Gegen diese Schlussfolgerung ist aber einzuwenden, dass bei einer solchen Summirung an der Eintrittsstelle nicht eine verticale Kraft  $p_1 f_1$ , oder mit meiner Bezeichnungsweise  $p_1 df_1$ , übrig bleiben würde, sondern zunächst eine unter  $\alpha_1$  geneigte Kraft  $p_1 df'_1$ , wenn  $df'_1 = df_1 \cos \alpha_1$  den Querschnitt des Fadens normal zu seiner Bewegungsrichtung bedeutet. Von dieser Kraft müsste die verticale Componente mit

$$p_1 df'_1 \cos \alpha_1 = p_1 df_1 \cos^2 \alpha_1$$

in die Rechnung eingeführt werden. Aehnlich würde auf der unteren Seite übrig bleiben  $-p_2 df'_2 \cos^2 \alpha_2$ .

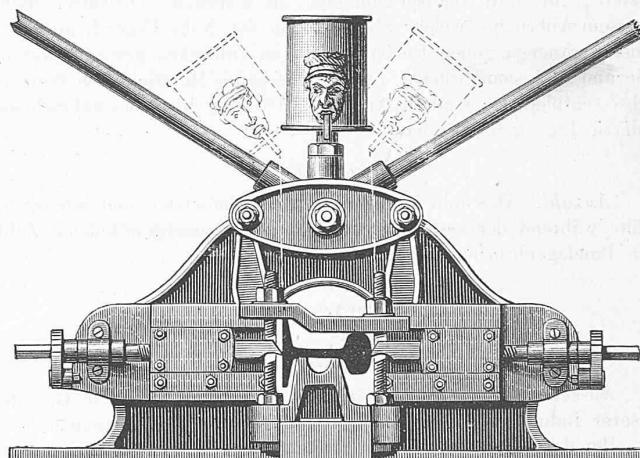
Die eigentliche Integration meiner Gleichung 3 wird am besten nicht allgemein vorgenommen, sondern für die wichtigsten Turbinensysteme getrennt. Sie ist über sämmtliche gleichzeitig im Rade enthaltenen Wasserelemente auszudehnen.

(Fortsetzung folgt.)

## Schienen-Abschneider für Gussstahl- und Eisenschienen.

Die allgemeine Anwendung der Stahlschienen hat es zur dringenden Nothwendigkeit gemacht, einfache Apparate zu construiren, um das lästige und gefährliche Hauen und Schlagen der Schienen zu vermeiden, da sich in vielen Fällen durch jenes unrationelle Abkürzen der Schienen leise Ansprünge gebildet haben, die mehrfach die bedenklichsten Folgen hatten.

Viele Eisenbahn-Gesellschaften haben zu diesem Zwecke Schienensägen in den Werkstätten aufgestellt, welche, durch Dampf betrieben, die Schienen kalt abschneiden und gleichzeitig bohren. Um jedoch in der Lage zu sein, an jeder beliebigen Stelle in den Bahnhöfen und auf der Strecke Schienen auf ruhige und rationelle Weise zu kürzen, bedurfte es eines einfachen Apparates für Handbetrieb, der leicht transportabel ist, zu welchem Zwecke die Firma Heinr. Erhardt in Düsseldorf einen Schienen-Abschneider construirt hat, der mit zwei einfachen Blechstreifen arbeitend eine normale 130 mm hohe Gussstahlschiene in 15 Minuten glatt durchschneidet.



Der leicht transportable Apparat wird, wie auf obenstehender Zeichnung ersichtlich ist, auf die zu schneidende Schiene aufgeschoben und an der Stelle, wo abgeschnitten werden soll, angeschraubt, und dann wird derselbe so weit hin und her bewegt, dass die beiden Schaltzeuge unten aufstossen und dabei fortsteuern. Die im Bogenschnitt arbeitenden Stähle steuern beide der Mitte zu, und wenn sich dieselben in der Mitte bald treffen, fällt die Schiene ab; man kann auch ganz durchschneiden, wenn man den einen Stahl etwas zurückschraubt. Der Apparat geht sehr leicht und kann mit einem, am besten mit zwei Mann bedient werden.

## Achsen- und Bandagenbrüche,

welche im Laufe des Jahres 1880 auf den schweizer. Bahnen an schweizer. Material vorgekommen sind.

Vor ungefähr einem Jahre haben wir einige Notizen über die im Jahre 1878 auf den deutschen Vereinsbahnen vorgekommenen Achsenbrüche gebracht („Eisenbahn“ Bd. XII, Nr. 23).

Seit Anfang des Jahres 1880 hat nun auch das schweizer. Eisenbahndepartement mit Beihülfe der Bahngesellschaften eine ausführliche Statistik der Achsen- und Bandagenbrüche angelegt, über deren erstes Jahr wir ein kurzes Resumé folgen lassen.