

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 3/4 (1884)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Mittheilungen aus dem Laboratorium für theoretische Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum  
**Autor:** Fliegner, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-11949>

### **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:** 22.02.2026

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

4. Weil diese Rinnsalausleitung in gleicher Richtung mit dem Zufluss erfolgen soll, so wird hiedurch die lebendige Kraft des Rheines weniger geschwächt als beim bisherigen completen Rückfliessen desselben, also kann auch von einer vermehrten Geschiebsablagerung keine Rede sein.

5. Uebrigens ist für die untere Rheinstrecke weder Erhöhung der Flusssohle, noch grosse Geschiebsablagerung während einer Reihe von Jahren nachweisbar, und dieser günstige Umstand dürfte noch eine lange Reihe von weiteren Jahren bleiben, bis die obere Correction rationell umgebaut wird, wo alsdann der Transport und die Abschleifung der Geschiebe nur noch von der Länge der Durchflusstrecke bedingt sein wird.

### Mittheilungen aus dem Laboratorium für theoretische Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum \*).

#### 2. Versuche über das Wesen des Spaltverlustes bei Vollturbinen.

Man findet gelegentlich den Wasserverlust am Spalt einer Vollturbine nach der gewöhnlichen Ausflussformel

$$Q = \mu F \sqrt{2g(\delta h)}$$

berechnet, worin bedeutet

$Q$  das in 1 Secunde verlorene Wasservolumen in  $m^3$ ,

$\mu$  den Ausflusscoefficienten,

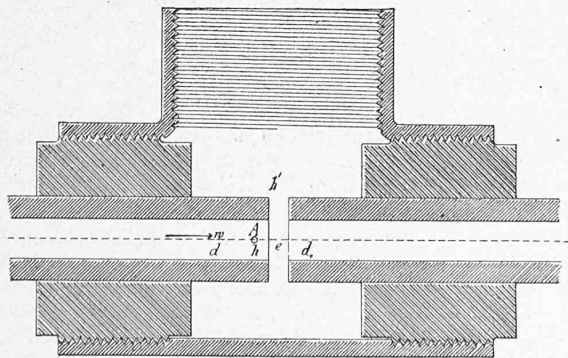
$F$  den Spaltquerschnitt,

$\delta h$  den Spaltüberdruck, d. h. die Differenz zwischen dem hydraulischen Druck im Spalt und dem hydrostatischen Druck aussen um denselben.

Es ist aber doch fraglich, ob diese Formel für den vorliegenden Fall überhaupt anwendbar ist. Dieselbe setzt bekanntlich voraus, dass sich das Wasser innerhalb der Mündung vollkommen in Ruhe befinde. Der Wasserstrahl dagegen, welcher an den Spalt einer Turbine gelangt, besitzt eine gewisse Geschwindigkeit parallel zur Mündungsebene. Diese Geschwindigkeit hat aber ganz andere Ursachen, als jene, mit welcher Wasser parallel zur Ebene z. B. einer Mündung in dünner Wand an den Mündungskanten ankommt. Jedenfalls müsste daher, selbst wenn man die obige Formel anwenden dürfte, doch der Ausflusscoefficient  $\mu$  durch besondere Versuche bestimmt werden, da die Benutzung irgend eines der bekannten Coefficienten der Hydraulik, als auf den vorliegenden Fall gar nicht passend, von vornherein ausgeschlossen ist.

Die nachstehend mitgetheilten Versuche sollten mir einige Anhaltspunkte zur Beurtheilung der wirklichen Verhältnisse bei diesem Spaltverluste liefern. Leider war es mir nicht möglich, eigentliche Turbinen zu untersuchen. Ich musste mich also darauf beschränken, auf andere Art eine wesentlich möglichst ähnliche Wasserbewegung herzustellen.

Zu diesem Zwecke liess ich an einem grösseren Gas-T-Stück (für ungefähr 55 mm Rohrdurchmesser) die gegen-



überliegenden Oeffnungen durch eingeschraubte Messingstücke dicht schliessen, wie es die obenstehende Figur zeigt. Die Messingstücke waren coaxial durchbohrt und in diese Bohrungen Röhren gesteckt, die, bei der Länge der

Dichtungsflächen, nie Wasserverluste zeigten. Das Wasser strömte von links zu. Der Durchmesser des linken Rohres betrug  $d = 12,08 \text{ mm}$ . Unmittelbar vor seinem Ende war eine seitliche Bohrung  $A$  angebracht, die zu einem Manometer führte und also den hydraulischen Druck in der Mündungsebene,  $h$ , zu messen gestattete. Das rechte Rohr wurde im Verlaufe der Versuche auf grössere Durchmesser,  $d_0$ , ausgebohrt. Es konnte in verschiedenen Abständen  $e$  vom linken eingestellt werden. Das durch diesen Zwischenraum zwischen beiden Röhren abströmende Wasser trat zunächst in das T-Stück, und bei genügender Menge lief es an der dritten nach aufwärts gerichteten Oeffnung desselben über. Der hydrostatische Druck war  $h^1 = 0,07 \text{ m}$ . In diese obere Oeffnung konnte noch ein längeres Rohr eingeschraubt werden, wodurch  $h^1$  auf  $0,50 \text{ m}$  stieg.

Es würde hiernach bei diesem Apparat, verglichen mit einer eigentlichen Turbine, das linke Rohr dem Leitrade entsprechen, das rechte dem Laufrade, der Zwischenraum zwischen beiden dem Spalt,  $b$  dem Spaltdruck,  $h^1$  dem Druck ausserhalb des Spaltes, und der Spaltüberdruck wäre  $\delta h = h - h^1$ . Um den verschiedenartigen Querschnittsveränderungen der Laufradcanäle nach der Austrittsseite des Laufrades hin einigermaßen Rechnung zu tragen, war weiter rechts an dem rechten Rohr ein Hahn eingeschaltet, der verschieden eingestellt werden konnte. Benutzt wurden gewöhnlich nur vier Einstellungen, die so bezeichnet sind, dass bei der vierten der Hahn ganz offen war.

Das T-Stück war über einem Kasten angebracht, in welchen das oben überfliessende Wasser einströmte. Letzteres wurde dann durch einen am Kasten dicht befestigten Canal nach dem Aichgefäss abgeleitet. In den gleichen Canal gelangte auch das durch das rechte Rohr ( $d_0$ ) abströmende Wasser. Auf diese Weise konnte zunächst die gesammte Wassermasse gemeinschaftlich gemessen werden. Unmittelbar nach einem solchen Versuche wurde ein zweiter unter möglichst den gleichen Pressungen ausgeführt, bei welchen aber das am Spalt austretende Wasser durch eine Oeffnung unten im Kasten abgelassen wurde, so dass nur das durch das rechte Rohr strömende in das Aichgefäss gelangte. Die Differenz der beiden so gefundenen Wassermengen war gleich dem Spaltverlust. Eine directe Messung des letzteren, z. B. durch Benutzung zweier Aichgefässe, hätte zu complicirte Anordnungen nöthig gemacht.

Wenn nun auch bei diesem Apparat das Ueberströmen des Wassers zwischen den beiden Röhren im Wesentlichen gleichartig erfolgt, wie bei dem Spalt einer Turbine, so weichen die speciellen Verhältnisse doch zu sehr ab, um die gefundenen numerischen Resultate auf Turbinen anwenden zu dürfen. Ich unterlasse daher eine vollständige Mittheilung aller Versuche und beschränke mich auf eine kurze Angabe nur der wesentlichen Ergebnisse, sowie auf eine Discussion der letzteren, wobei ich zunächst die verschiedenen Einstellungen getrennt behandeln muss. Zur Berechnung der Versuche möge noch bemerkt werden, dass ich den Spaltquerschnitt mit

$$F = e \pi \frac{d + d_0}{2}$$

eingeführt habe.

1.  $d_0 = 12,10 \text{ mm}$ ,  $e = 0$  ergab keine Spaltverluste; die Endflächen der Rohre waren so gut bearbeitet, dass sie beim einfachen Aneinanderstossen hinreichend dicht schlossen.

2.  $d_0 = 12,10 \text{ mm}$ ,  $e = 1,1 \text{ mm}$ .  $\mu$  nimmt mit wachsenden Geschwindigkeiten sehr langsam ab, scheint aber für ganz kleine Geschwindigkeiten doch unendlich gross zu werden. Stellt man es als Function von  $\delta h$  dar, so ist sein Werth von der Einstellung des Hahnes am rechten Rohr abhängig, und zwar so, dass derselbe mit zunehmender Eröffnung des Hahnes etwas abnimmt, aber nur sehr wenig. Für praktische Rechnungen dürfte man bei den drei ersten Hahneinstellungen und bei Werthen des Spaltüberdruckes zwischen  $\delta h = 0,5 - 13,5 \text{ m}$  (höherer Ueberdruck wurde nicht erreicht und auch dieser nur bei der ersten Hahneinstellung) den Ausflusscoefficienten unbedenklich constant annehmen zu

$$\mu = 0,99.$$

\*) Vide Nr. 2 dieses Bandes.

Ganz anders bei der vierten Hahnstellung. Bei derselben war  $b$  stets negativ. Nach den gewöhnlichen Anschauungen hätte dabei ein *Ansaugen* von Wasser, oder schliesslich von Luft, stattfinden sollen. In Wirklichkeit füllte sich aber das T-Stück bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser. Mit zunehmender Geschwindigkeit  $w$  wurde  $b$  dem absoluten Werthe nach immer grösser, der Wasserspiegel im T-Stück stieg aber auch, und schliesslich trat ein Ueberströmen ein. Trotz *negativen Spaltüberdruckes* zeigten sich also doch *Wasserverluste am Spalt*. Dieselben waren allerdings auch bei ihrem Maximum nicht hinreichend gross, um mit genügender Sicherheit gemessen werden zu können.

3.  $d_0 = 12,10 \text{ mm}$ ,  $e = 2,3 \text{ mm}$ . Bei den beiden ersten Hahnstellungen zeigt  $\mu$  einen ähnlichen Verlauf wie vorhin, nur scheint der Einfluss der Grösse der Hahnöffnung bedeutender zu sein. Im Mittel ist etwa  $\mu = 0,7$ . Wegen des grösseren Spaltquerschnittes ist der Spaltverlust absolut natürlich auch grösser geworden. Höhere Pressungen ergaben sogar so bedeutende Verluste, dass dieselben gar nicht mehr gemessen werden konnten. Bei den grösseren Hahnöffnungen wurden wieder  $b$  und  $\delta b$  negativ. Trotzdem waren *Spaltverluste vorhanden und sogar sehr grosse*.

4.  $d_0 = 12,10 \text{ mm}$ ,  $e = 5,6 \text{ mm}$ . Bei den ersten Hahnstellungen verläuft  $\mu$  wie bisher, dagegen *wächst* es hier mit zunehmender Eröffnung des Hahnes. Auch ergibt sich für alle untersuchten Fälle

$$\mu > 1.$$

Bei den weiteren Hahnöffnungen wurde wieder  $b < 0$  und  $\delta b < 0$ , während die Spaltverluste auch gross waren. Dasselbe Resultat ergaben grössere Werthe von  $e$  für alle Hahnstellungen.

5.  $d_0 = 14,87 \text{ mm}$ ,  $e = 0,9 \text{ mm}$ . Bei den kleineren Hahnöffnungen verläuft  $\mu$  wie bei Fall 2 und 3. Im Mittel ist  $\mu = 0,86$ . Bei ganz offenem Hahn wurde  $\delta b < 0$ , jedoch mit nur so geringen Spaltverlusten, dass das T-Stück nie ganz angefüllt war. Ein *Saugen* fand aber *nicht* statt.

6.  $d_0 = 14,87 \text{ mm}$ ,  $e = 2,5 \text{ mm}$ . Derselbe Verlauf mit im Mittel  $\mu = 0,63$ .

7.  $d_0 = 14,87 \text{ mm}$ ,  $e = 5,9 \text{ mm}$ . Verlauf wie bei Fall 4, auch mit  $\mu > 1$  (bis nahe an 2).

Ein grösserer Abstand  $e$  ergab auch  $\delta b < 0$ , bei den kleinen Hahnöffnungen mit grösseren Spaltverlusten.

8.  $d_0 = 18,07 \text{ mm}$ ,  $e = 1,05 \text{ mm}$ .  $\mu$  verläuft wie bei Fall 4. Bei den beiden kleineren Hahnöffnungen war im Mittel  $\mu = 0,89$ . Die beiden grösseren ergaben bei  $\delta b < 0$  zu kleine Spaltverluste, um dieselben messen zu können.

9.  $d_0 = 18,07 \text{ mm}$ ,  $e = 4,5 \text{ mm}$ .  $\mu$  nimmt mit zunehmender Hahnöffnung stark ab und ist kleiner als vorhin. Bei ganz offenem Hahn wird wieder  $\delta b < 0$ , während der Spaltverlust anhält.

Aus diesen Versuchen lässt sich nun mit Sicherheit der Schluss ziehen, dass der Spaltverlust *nicht* als eine gewöhnliche Ausflusserscheinung angesehen werden darf, sonst könnte nicht auf der einen Seite der Ausflusscoefficient grösser als die Einheit werden und auf der anderen Seite ein Verlust eintreten, wenn der Spaltüberdruck negativ geworden ist. Letzteres würde sogar einem *imaginären* Werthe von  $\mu$  entsprechen.

Den Grund des Spaltverlustes wird man vielmehr darin zu suchen haben, dass der aus dem linken Rohr austretende Wasserstrahl in dem umgebenden Wasser seine Geschwindigkeit allmählig verkleinert und seinen Querschnitt vergrössert. Ist dabei  $d_0$  gleich oder nur wenig grösser als  $d$ , so treffen die äusseren Theile des Strahles auf die Vorderfläche der Rohrwand und werden hinausgeschleudert. Wenn dagegen  $d_0$  bedeutend grösser als  $d$  ist, so muss sich der Strahl schliesslich doch an die Wandungen des weiteren Rohres anlegen. Bei einer solchen Verlangsamung treten aber bekanntlich ausserhalb des Ausbreitungsconus rückläufige Strömungen auf, die dann auch durch den Spalt abfliessen.

Bei den Turbinen ist der Spaltverlust im Allgemeinen verhältnissmässig grösser zu erwarten. Die eine Ursache davon liegt in den Schaufeln, gegen deren Vorderkante

das Wasser stösst, auch wenn dieselbe möglichst zugescharft ist. Bei den Achsialturbinen kommt dazu noch ein anderer Umstand. Das aus dem Leitrad austretende Wasser bewegt sich nämlich im Spalt geradlinig und in einer Tangentialebene nach abwärts. Hat nun, wie gewöhnlich, das Laufrad dieselben radialen Dimensionen wie das Leitrad, so muss der Wasserstrahl, auch wenn er sich nicht ausbreiten würde, auf den äusseren Kranz auftreffen und theilweise nach aussen verspritzen. Dieser Verlust kann vom Spaltüberdruck höchstens insoweit abhängig sein, als der letztere vielleicht die Divergenz des Wasserstrahles beeinflusst. Keinesfalls kann er aber mit dem Spaltüberdruck verschwinden oder gar auch negativ werden.

Bestätigt wird diese Auffassung auch durch die Beobachtung, dass bei Partialturbinen, bei denen der Spaltüberdruck wesentlich gleich Null ist, doch ebenfalls ein Spaltverlust auftritt, sowie dass bei Achsialvollturbinen durch eine kleine Verbreiterung des Spaltes der Wirkungsgrad um mehrere Procente reducirt werden kann.

Eine Berechnung des Spaltverlustes auf Grund dieser Anschauung ist allerdings unmöglich. Man müsste dazu den Divergenzwinkel des aus dem Leitrade ausgetretenen Strahles kennen, und das ist bis jetzt noch nicht der Fall. Dagegen lässt sich wenigstens für die Achsialturbinen die Regel folgern, dass der mittlere Radius des Laufrades etwas grösser sein sollte, als derjenige des Leitrades, und zwar so viel, dass die nach auswärts geneigte, leicht angebbare, Strahlachse genau die Kranzmitte des Laufrades trifft. Im Uebrigen ist natürlich der Spaltverlust um so kleiner, je enger der Spalt ist. Eine erhebliche Verbreiterung des Laufrades gegenüber dem Leitrad würde den Spaltverlust nicht beseitigen, dagegen durch Einschaltung einer Querschnittszunahme die Canalwiderstände erhöhen, wäre also verwerflich.

Zum Schluss möchte ich noch auf einen scheinbaren Widerspruch hinweisen, der mir vielleicht vorgeworfen werden könnte. An anderer Stelle (Civilingenieur, 1875, XXI, 114) habe ich nämlich auf Grund betreffender Versuche die Ansicht ausgesprochen, „dass stets, wenn eine Flüssigkeit in einen mit gleichartiger Flüssigkeit gefüllten Raum ausströmt, der Druck in der Mündungsebene *grösser* sei, als der äussere Druck.“ Diesem gegenüber ist bei den oben mitgetheilten Versuchen oft  $b < b^1$  gewesen. Nun ist aber dort unter dem „äusseren Druck“ nur der Druck *in der unmittelbaren Umgebung* des austretenden Strahles verstanden, nicht derjenige in dem grösseren oder kleineren Raume, in welchen das Wasser strömt. Hier werden in dem T-Stück natürlich *Strömungen* auftreten. Und wenn auch durch dieselben das Wasser zum Ueberlaufen gebracht werden kann, so ist dadurch doch keineswegs ausgeschlossen, dass in unmittelbarer Nähe der Mündung das umgebende Wasser vom ausgetretenen Strahle mitgerissen wird, und dass sich daher dort ein kleinerer Druck einstellt als in der Mündungsebene. Directe Messungen in dieser Richtung habe ich bei den hier mitgetheilten Versuchen unterlassen.

A. Fliegner.

### Miscellanea.

**Technische Hochschule zu Berlin.** Das preussische Unterrichtsministerium hat unterm 24. April für die Berliner Hochschule eine Habilitationsordnung erlassen, welche, da sie wahrscheinlich später auch auf die übrigen preussischen technischen Hochschulen ausgedehnt wird, eine weitergehende Beachtung verdient. Aus den bezüglichlichen 20 Paragraphen gefassten Bestimmungen geht hervor, dass das Recht an der Berliner technischen Hochschule als Privatdocent zu lehren, nur durch Habilitation bei einer der bestehenden Abtheilungen und nur für solche Lehrfächer erworben werden kann, welche innerhalb dieser Abtheilung vertreten sind. Um zugelassen zu werden, muss der Bewerber ein *deutsches* Gymnasium, Realgymnasium oder eine Oberrealschule absolvirt haben und sich über ein mindestens dreijähriges, dem bezüglichlichen Lehrgebiet gewidmetes Studium ausweisen können. Ferner muss er die erste technische Staatsprüfung oder die Diplomprüfung an einer *deutschen* technischen Hochschule bestanden oder den Doctor-