

# Saugverluste und Schaufelwirkungsgrad in Aktions-Dampfturbinen

Autor(en): **Koenig, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **93/94 (1929)**

Heft 5

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-43292>

## **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.

INHALT: Saugverluste und Schaufelwirkungsgrad in Aktions-Dampfturbinen. — Die kombinierten Kraftwerke Klosters-Küblis und Davos-Klosters der Bündner Kraftwerke. — Wettbewerb für Universität-Erweiterungsbauten und chem. Laboratorium Bern. — Vom Hauptbahnhof Zürich. — † Konrad Pressel. — Mitteilungen: Kurs über Spektroskopie und Mikrophotographie an der E. T. H. Eidgenössische

Technische Hochschule. Rheinkraftwerk Kembs. Der Genfer Automobilsalon. — Wettbewerbe: Bebauungspläne für die Gemeinden Reinach, Menziken und Burg. — Literatur: Experimentelle Methode der Vorausbestimmung der Gesteintemperatur im Innern eines Gebirgsmassivs. — Mitteilungen der Vereine: Schweiz. Ing.- und Arch.- und Arch.-Verein. Zürcher Ing.- und Arch.-Verein. — Vortrags-Kalender. S. T. S.

Band 93.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 5

### Saugverluste und Schaufelwirkungsgrad in Aktions-Dampfturbinen.

Von Dr. M. KOENIG, Berat. Ing., Zürich.

Die Saugverluste, die durch die von den Düsenaustritt-Stegen ausgehenden Wirbelzöpfe entstehen<sup>1)</sup>, sind in neuzeitlichen Turbinen unwesentlich, da durch Zuschärfen der Düsenwände ein Schliessen der Düsenstrahlen vor dem Eintritt ins Laufrad angestrebt wird. Anders liegen die Verhältnisse bezüglich der Saugverluste, die herrühren von der Differenz zwischen Düsenaustrittshöhe und zugehöriger Laufschaufel-Eintrittshöhe, die durch konstruktive Gründe und Ausführungs-Toleranzen bedingt ist. Hier hat die Ejektorwirkung des aus den Düsen austretenden Dampfstrahles merkbare Mischungsverluste am Fusse und am Kopfe der Schaufeln zur Folge, indem Dampf aus der Radkammer auf Kosten der Energie des Arbeitsdampfes mitgerissen wird. In England hat sich für diese Randverluste der Ausdruck „Spillage“ eingebürgert.

Prof. Stodola widmet diesem interessanten und wichtigen Gegenstand in der V. Auflage seines Buches eine grundsätzliche allgemeine Betrachtung<sup>2)</sup> und teilt auch einige Ergebnisse mit von Laboratoriumsversuchen zur Bestimmung der Grösse des Saugverlustes.<sup>3)</sup>

Wie das Folgende zeigt, scheint es möglich, aus den Stodola'schen Angaben eine Beziehung aufzustellen, die den Einfluss des Mischungsverlustes auf den Schaufelwirkungsgrad rasch ermitteln lässt, und die Resultate liefert, die in guter Uebereinstimmung mit älteren Versuchsergebnissen stehen. Es genügt die Untersuchung für eine Gleichdruckstufe durchzuführen, bei der das Laufrad der Einfachheit halber gleiche Ein- und Austrittswinkel besitzt. Es sei:

- $\varphi$  = Düsenkoeffizient.
- $\psi_0$  = Geschwindigkeitskoeffizient der langen Schaufel.
- $\alpha$  = Düsenwinkel.
- $u$  = Umfangsgeschwindigkeit.
- $c_1$  = Düsen-Austrittsgeschwindigkeit.
- $m$  = Masse des Arbeitsdampfes.
- $m'$  = Masse des Saugdampfes.
- $G$  = Gewicht des Saugdampfes kg/sek.
- $\lambda$  = Mischungskoeffizient.

Ohne Berücksichtigung der Randverluste lautet wie bekannt der Ausdruck für den Umfangswirkungsgrad

$$\eta_{u_0} = 2 \varphi^2 (1 + \psi_0) \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \frac{u}{c_1} \quad (1)$$

$\psi_0$  kann als Geschwindigkeitskoeffizient für eine lange Schaufel aufgefasst werden, für die der Einfluss der Randstörungen verschwindet.

Wird nun die Saugwirkung des Arbeitsdampfstrahles gesondert berücksichtigt, dann tritt an Stelle der Gleichung (1), wie Stodola zeigt, der Ausdruck:

$$\eta_{u_0} = 2 \varphi^2 (1 + \psi_0) \left( \cos \alpha_1 - \lambda \frac{u}{c_1} \right) \frac{u}{c_1} \quad (2)$$

wo: 
$$\lambda = \frac{m + m'}{m} \quad (3)$$

Der Einfluss des Saugverlustes auf den Wirkungsgrad, bzw. der „Spillage“-Faktor  $\eta_{sp}$  ist offenbar gegeben durch das Verhältnis von (1) und (2), d. h.

$$\eta_{sp} = \frac{\cos \alpha_1 - \lambda \frac{u}{c_1}}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} \quad (4)$$

<sup>1)</sup> Stodola „Dampfturbinen“, V. Aufl., S. 180, Abb. 203.  
<sup>2)</sup> Stodola loc. cit., S. 187.  
<sup>3)</sup> Stodola loc. cit., S. 180.

Aus den erwähnten Versuchen über die Grösse des Saugverlustes leitet Stodola die Beziehung ab:

$$\frac{G/\text{sek}}{f} = 0,21 \gamma c_1 - 0,05 (p_a - p_s) \quad (5)$$

wo  $f$  = Differenz zwischen Düsen-Austrittsfläche normal zur Düsenaxe und der entsprechenden Projektion der Schaufel-Eintrittsfläche.

$\gamma$  = Spezifisches Gewicht des Arbeitsdampfes.

$c_1$  = Austrittsgeschwindigkeit des Düsendampfes.

$p_a - p_s$  = durch den Arbeitsdampfstrahl erzeugter Druckunterschied.

Wie auch Stodola ausführt, ist der erzeugbare Druckunterschied ( $p_a - p_s$ ) auch bei sehr grossen Dampfgeschwindigkeiten äusserst klein, und es darf wohl in erster Linie gesetzt werden

$$G/\text{sek} \approx 0,20 \gamma c_1 f \quad (6)$$

$G/\text{sek}$  entspricht offenbar dem  $m'$  der Formel (3), und es folgt, dass ihr Betrag rd.  $\frac{1}{5}$  der Menge ist, die mit der Geschwindigkeit  $c_1$  und dem spezifischen Gewicht  $\gamma$  durch die gebotene Fläche  $f$  durchströmen könnte.

Wenn  $\delta$  das totale radiale Spiel und  $h$  die theoretische Schaufel-Eintrittshöhe bezeichnet, kann mit den gemachten Annahmen  $\lambda$  angenähert folgendermassen definiert werden:

$$\lambda = 1 + \frac{m'}{m} = 1 + 0,2 \frac{\delta}{h} \quad (7)$$

Mit Kenntniss von  $\lambda$  gemäss dieser Beziehung (7) kann nach Formel (4) der „Spillage“-Faktor gerechnet werden.

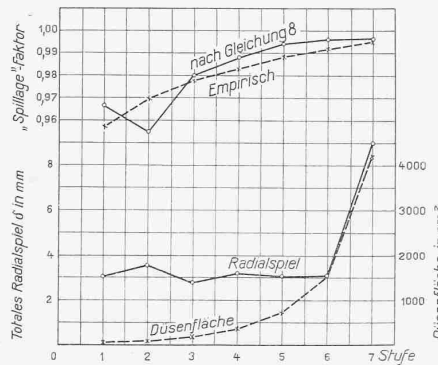


Abb. 1.

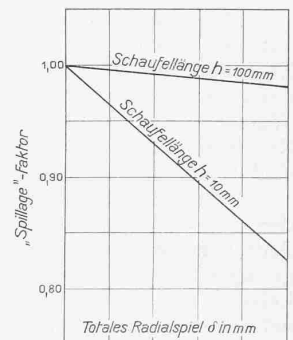


Abb. 2.

Es ist

$$\eta_{sp} = \frac{\cos \alpha_1 - \left(1 + 0,2 \frac{\delta}{h}\right) \frac{u}{c_1}}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} \quad (8)$$

In Abb. 1 sind für eine siebenstufige Aktionsturbine (10000 kW, 3000 Uml/min), in Funktion der Stufen, das totale radiale Spiel und die nach Gleichung (8) berechneten „Spillage“-Faktoren eingetragen. Ein- und Austrittswinkel sind hier nicht die selben, auch gilt für den Wirkungsgrad der Einzelstufe nicht mehr genau der Ausdruck (1) bzw. (2); doch darf angenähert für die relative Abschätzung des Mischungsverlustes Gleichung (8) benützt werden. Ebenso sind in Abb. 1, gestrichelt, die Werte für diesen Faktor angegeben, wie sie sich aus einer empirischen Formel ergeben, die aus älteren englischen Versuchen abgeleitet wurde und die die Düsen-Austrittsfläche als einzige Abhängige mit sich führt.

Es zeigt sich hier, wie auch in einer grossen Zahl anderer Fälle, eine gute quantitative Uebereinstimmung zwischen abgeleitetem und empirischem „Spillage“-Faktor.

Die Kurven illustrieren im übrigen, wie sich besonders bei den ersten Stufen, solange die Schaufelhöhen noch klein sind, der Einfluss der Randmischung empfind-

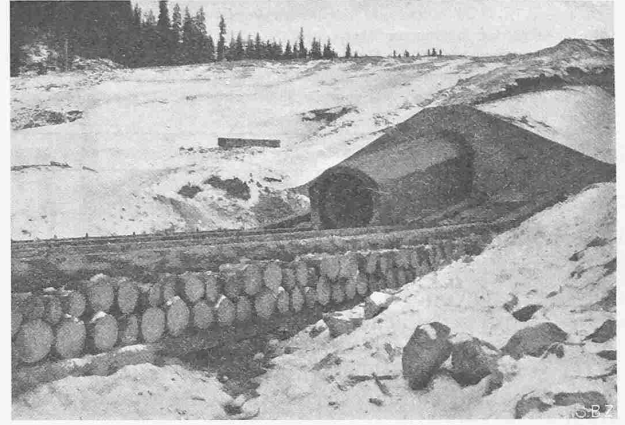
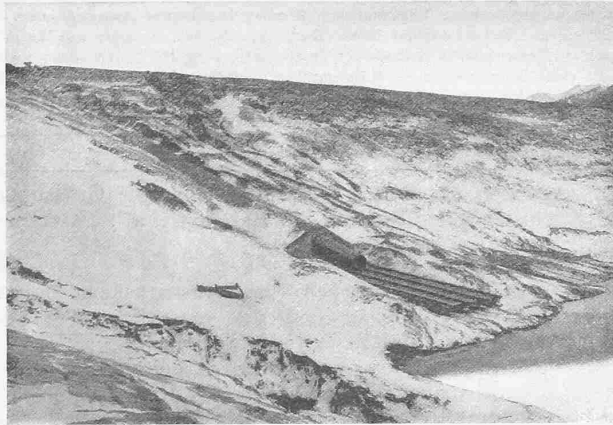


Abb. 55 und 56. Mündung der Flüelabach-Einleitung in den Davosersee, abgesenkter Zustand (22. November 1923).

lich bemerkbar macht, und wie wichtig es ist, was auch die Erfahrung bestätigt hat, die Radial-Spiele auf ein Minimum zu bringen.

Die Benützung des „Spillage“-Faktors gestattet, für ein bestimmtes Schaufelprofil und in Bezug auf Dampfverhältnisse usw. ähnliche Zustände, unabhängig von der Schaufelhöhe, mit einem konstanten Geschwindigkeitskoeffizient zu rechnen. Der Einfluss der Schaufelhöhe wirkt sich weniger im hydraulischen Radius, als

vielmehr in der Grössenordnung der beschriebenen Randstörungen aus. In Abb. 2 ist z. B. in Funktion des totalen Radial-Spieles, unter Zugrundelegung eines Düsenwinkels von  $14^\circ$  und des Verhältnisses  $u/c_1 = 0,45$ , der „Spillage“-Faktor aufgetragen. Es ist interessant zu sehen, dass durch ein totales Spiel von 4 mm eine 10 mm lange Schaufel bereits 7% Mischungsverluste erleidet, während der Wirkungsgrad für das gleiche Spiel bei einer 100 mm langen Schaufel nur um etwa 0,7% erniedrigt wird.

## Die kombinierten Kraftwerke Klosters-Küblis und Davos-Klosters der Bündner Kraftwerke.

Von ROB. MOOR, konsultierender Ingenieur, Zürich.

Fortsetzung von Seite 315 letzten Bandes.

### II. Das Kraftwerk Davos-Klosters.

Wie eingangs bemerkt, bildet das Werk Davos-Klosters mit dem Davosersee als Winterspeicher eine notwendige Ergänzung des Werkes Klosters-Küblis. Das Vorhandensein eines natürlichen Speicherbeckens und die Möglichkeit, sein Wasser in den beiden Stufen Davos-Klosters und Klosters-Küblis in einem Gefälle von im Mittel 719 m auszunützen, sind besondere Vorteile dieser Verbundanlage.

Das Werk Davos-Klosters verwertet ausser dem See den Mönchalpbach und den Stützbach, ferner wird zum Auffüllen des Sees zeitweise auch der Flüelabach herangezogen. Die tiefbaulichen Anlagen sind für eine maximale Leistung von 30 000 PS gebaut worden, während die maschinelle Installation etappenweise erfolgt. Da der Davosersee zum Einzugsgebiet des Landwassers gehört, war die Konzessionserteilung infolge der besondern Wasserrechts-Verhältnisse im Kanton Graubünden mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Im Mai 1920 konnte die Konzession durch die Landschaft Davos den A.-G. Bündner Kraftwerken erteilt werden.

Der Davosersee liegt in der alten Talrinne eines Armes des Flüelagletschers, der noch zur Zeit der letzten grossen Vergletscherung nach dem Prätigau abfloss. Nach dem Rückzug des Gletschers stürzten die beidseitigen übersteilen Hänge des Trogtales beim heutigen Wolfgang ein und schnürten das Tal ab, wodurch das Becken des heutigen Davosersees gebildet wurde mit der neuen Wasserscheide zwischen Landquart und Landwasser bei Wolfgang (nordöstlich des heutigen Sees, Abb. 53). Der anfänglich erheblich grössere See wurde südwestlich durch das vorrückende Delta des Flüelabaches bis auf seine heutigen Ausmasse vermindert, der Flüelabach selbst floss nach der Verlegung der Wasserscheide dem Landwasser zu. Der See ist so von beiden Seiten der alten Talrinne abgeschnitten worden und sein Einzugsgebiet ist infolgedessen auch klein, es misst nur 8,4 km<sup>2</sup>. Um den See über seine jährlichen Zuflussmengen hinaus auszunützen zu können, war es notwendig, Wasserläufe, die ausserhalb seines Einzugsgebietes liegen, zur Füllung heranzuziehen. Die Konzession

schreibt vor, dass die jeweilige Wiederauffüllung bis am 10. Juni, in ausnahmsweise trockenen Jahren bis am 17. Juni beendet sein müsse. Dies hatte zur Folge, dass ausser dem Stützbach und dem Mönchalpbach, die dem Einzugsgebiet der Landquart angehören, auch der Flüelabach zur Füllung herangezogen werden musste. Um die Nutzniesser am Landwasser nicht zu schädigen, ist die Ableitung des Flüelabaches auf die Zeit der Schneeschmelze beschränkt. Das durch den Stützbach und den Mönchalpbach erweiterte Einzugsgebiet des Davosersees misst nun 25,2 km<sup>2</sup>, und wird während der Seefüllung durch den Flüelabach auf 60,2 km<sup>2</sup> vergrössert. Ueber die topographischen und geologischen Verhältnisse des Davosersees und seiner Umgebung ist bereits im Band 82 der „S. B. Z.“ (4. August 1923) im Aufsatz über den Uferabbruch am Davosersee (7. Februar 1923) ausführlicher berichtet worden.

Die Konzession gestattet eine Absenkung des Sees um 28 m unter den natürlichen Seespiegel, der im Jahresmittel auf Kote 1562,0 liegt; ferner ist eine Stauung um 6 m vorgesehen. Im gegenwärtigen Zustande wird indessen nur die konzessionierte Absenkung genützt, wodurch ein Speicherraum von ursprünglich 11 Mill. m<sup>3</sup> gewonnen wird, der durch die Uferabbrüche während der See-Entleerung zu Bauzwecken um rund 0,5 Mill. m<sup>3</sup> vergrössert wurde. Der Aufstau von 6 m wird eine weitere Vermehrung des Nutzraumes um 3,9 Mill. m<sup>3</sup> ausmachen; hierzu ist am südwestlichen Ende der in Abb. 53 bereits eingezeichnete, heute noch nicht ausgeführte Staudamm zu erstellen.

Die während den sieben Wintermonaten verfügbare Wassermenge setzt sich zusammen aus dem Speicherinhalt von etwa 11,5 Mill. m<sup>3</sup> und den Zuflüssen von im Mittel etwa 5,3 Mill. m<sup>3</sup>, in aussergewöhnlich trockenen Jahren noch etwa 3,5 Mill. m<sup>3</sup>. Ausserdem fliesst zum abgesenkten See, aus dem Flüeladelta, eine erhebliche Grundwassermenge, die zu etwa 0,5 Mill. m<sup>3</sup> bewertet werden kann. Insgesamt sind somit während eines Winters im Durchschnitt etwa 17 Mill. m<sup>3</sup> verfügbar, nach Ausführung der Stauung rund 21 Mill. m<sup>3</sup>.

Um die Bauten am Davosersee, die Fassung und die Bacheinleitungen ausführen zu können, musste der See