

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 34 (1943)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Ueber den Einfluss der Abnützung von Nadeln und Düsen auf den Wirkungsgrad von Peltonturbinen  
**Autor:** Aemmer, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061746>

### **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:** 03.04.2026

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

ung begründet zu sein, die durch die beschränkte Genauigkeit der Zeitmessung nach der verwendeten Messmethode bedingt ist. Obige Mittelwerte ergeben  $291 \pm 3\%$   $m/\mu s$  Wellen-Geschwindigkeit, gegenüber dem theoretischen Wert von  $300 m/\mu s$  im Vakuum. Ein Unterschied der Wellengeschwindigkeit für Erd- und Kurzschlusswellen konnte nicht nachgewiesen werden, sofern stets der *Beginn* jeder Welle (jedes «Echos») zur Zeitmessung benutzt wird. Diese Beobachtungen erklären sich offenbar dadurch, dass wesentliche Wellenteile stets zwischen den Leitern wandern. Daher nähert sich die festgestellte Wellengeschwindigkeit trotz des sehr hohen Bodenwiderstandes doch dem theoretischen Wert im Vakuum sehr stark.

Die Fehlerortsmessung mittels Wanderwellen bzw. mit dem KO scheint daher grundsätzlich durchführbar zu sein, wenn auch einige Schwierigkeiten im Lesen der Oszillogramme bestehen dürften, insbesondere, sofern die Leitung nicht homogen ist,

oder wenn am Fehlerort ein Uebergangswiderstand von ca.  $500 \Omega$  besteht.

Für die überaus zuvorkommende Mithilfe bei den Gewittermessungen in den vier Sommern 1934...1937 und bei den ergänzenden Erdschluss- und Kurzschlussversuchen sind wir der Betriebsleitung und dem Personal der Atel in Olten und Bodio und im Kraftwerk Piottino, wie auch dem Leitungspersonal der Gotthardleitung zu grösstem Dank verpflichtet. Auch allen denen, die uns durch Gewittermeldungen unterstützt haben, möchten wir bei dieser Gelegenheit herzlich danken. Ferner danken wir der Motor-Columbus AG., insbesondere deren Ingenieur Herrn G. Hunziker, für die tatkräftige Mithilfe bei den Fehlerortsversuchen. Die Auswertung der Wellengeschwindigkeiten wurde von einem Volontär, M. P. Mineur, besorgt, der diese grosse Arbeit mit Sorgfalt und Hingebung durchgeführt hat.

## Ueber den Einfluss der Abnutzung von Nadeln und Düsen auf den Wirkungsgrad von Pelton turbinen

Von F. Aemmer, Innertkirchen

621.214.2.00417

*Auf Grund von Versuchen wird gezeigt, dass geringe Anfressungen der Nadeln und Düsen der Pelton turbinen den Wirkungsgrad um 1,5...9% senken können, auch dann, wenn die Erosionsrinnen 0,5 mm Tiefe kaum überschreiten. Es sollten deshalb jeweilen im Herbst zu Beginn der Absenkung der Staueisen die Turbinen systematisch mit neuen Nadeln und Düsen ausgerüstet werden; dadurch könnten alle aus Speicherseen gespeisten Pelton turbinengruppen der Schweizerischen Kraftwerke zusammen pro Winterhalbjahr schätzungsweise 40...55 Millionen kWh mehr Energie erzeugen.*

*En se basant sur des essais, il est prouvé que de petites érosions qui apparaissent aux pointaux et aux tuyères des turbines Pelton et qui ne dépassent même pas 0,5 mm de profondeur peuvent abaisser le rendement de la turbine de 1,5 à 9%. Il serait donc recommandable de remplacer systématiquement les pointaux et les tuyères en automne, dès que le niveau des retenues commence à baisser. Avec tous les groupes Pelton alimentés par les bassins d'accumulation les centrales suisses pourraient ainsi récupérer pendant l'hiver approximativement 40 à 55 millions de kWh.*

Die Nadeln und Düsen der Pelton turbinen, d. h. die Teile, durch welche der dem Laufrad zugeleitete Wasserstrahl geformt wird, sind im Betriebe gewissen Abnutzungen unterworfen. Unter dem Einfluss des über diese Teile wegströmenden Wassers, dessen Geschwindigkeit je nach dem zu verarbeitenden Gefälle zwischen 80 und 180 m/s liegt, erleiden die Oberflächen der Nadeln und Düsen Veränderungen, die sich im Laufe der Zeit durch Ausbildung von Erosionsrinnen und Korrosionen zeigen.

Die Betriebsdauer, welche mit Nadeln und Düsen erreicht werden kann, bevor sie infolge allzu starker Abnutzung ersetzt werden müssen, ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Sie ist einmal beeinflusst durch die charakteristischen Daten der Turbine, d. h. durch das verarbeitete Gefälle, da mit zunehmender Austrittsgeschwindigkeit des Wassers die Abnutzung zunimmt. Im weiteren ist die Beschaffenheit des verfügbaren Wassers von grossem Einfluss, indem Beimengungen von Sand, speziell von scharfkantigem Granitsand, die Abnutzungen rasch fördern, und endlich ist die Formgebung der Nadeln und Düsen sowie die Wahl des für ihre Herstellung verwendeten Materials, von sehr grosser Bedeutung. Speziell in den letzten Jahren gelang es durch Verwendung von besonders

erosionsbeständigen Stahlqualitäten, die Betriebsdauer dieser Teile bedeutend zu verlängern.

Als Anhaltspunkt über die erreichbare Betriebsdauer ist im folgenden (Tabelle I) die mittlere

*Erreichbare Benützungsdauer für Nadeln und Düsen aus verschiedenen Materialien, bis zum Zeitpunkt des Auftretens von Erosionsrinnen von ca. 0,5...1 mm Tiefe*

Tabelle I.

Material der Nadeln und Düsen	Erreichbare Benützungsdauer Betriebsstunden
Stahlguss, unlegiert . . . .	6 000... 8 000
S. M. Stahl, geschmiedet . . . .	10 000...12 000
Rostfreier Stahl . . . . .	14 000...16 000

Benützungsdauer angegeben, welche mit den 22 000-kW-Turbinen des Kraftwerkes Handeck (Gefälle 540 m, Vollastwassermenge pro Düse  $2,4 m^3/s$ ) mit Nadeln und Düsen verschiedener Stahlqualitäten erreicht wurden. Dabei sind die Betriebsstundenzahlen gerechnet bis zum Zeitpunkt, in welchem die Erosionsrinnen der Nadeln und Düsen eine Tiefe von 0,5...1 mm erreicht haben (Fig. 1). Bei der Beurteilung dieser Angaben ist zu berücksichtigen, dass diese Turbinen sehr reines Wasser ver-

arbeiten, das trotz starker Trübung nur mikroskopisch kleine Sandkörner enthält.

Es ist leicht verständlich, dass der Zustand der Oberfläche der Nadeln und Düsen von grossem Einfluss ist auf die Ausbildung des auf das Laufrad gerichteten Strahles. Dabei bewirkt die Rauigkeit der Nadeln infolge der zusätzlichen Rei-

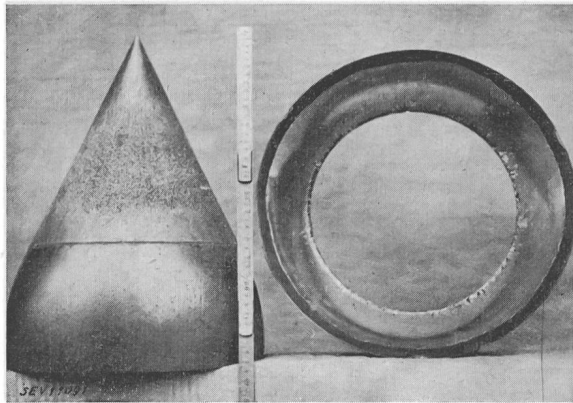


Fig. 1.

Abgenutzte Nadel mit zugehörigem Düsenring  
 Tiefe der Erosionsrinnen: 0,5...1 mm.  
 Material: Stahlguss, unlegiert.  
 Benützungsdauer: 8200 Betriebsstunden.

bung eine Verkleinerung der Wassergeschwindigkeit in der Mitte des Strahles. Die Rauigkeit des Düsenringes hat andererseits eine Verminderung der Geschwindigkeit der äusseren Partien des Wasserstrahles zur Folge. Sie bewirkt zudem, dass sich der Strahl nicht mehr als glattwandiger Zylinder ausbildet, sondern dass einzelne Wasserpartien aus-

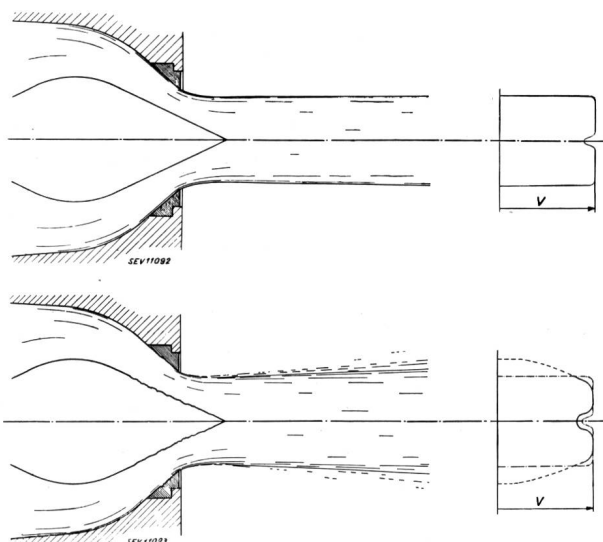


Fig. 2 (oben) und Fig. 3 (unten).

Ausbildung des Wasserstrahles durch unabgenutzte (oben) und abgenutzte (unten) Nadel und Düse  
 v Strahlgeschwindigkeit.

dem Strahlzylinder austreten; der Strahl bildet einen «Besen» (Fig. 2 und 3). Sowohl die ungleiche Geschwindigkeit in den verschiedenen Partien des Strahles, als auch die Bildung des «Besens» sind von ungünstigem Einfluss auf den Wirkungsgrad

der Turbine, da insbesondere durch den letztgenannten Umstand bewirkt wird, dass die äusseren Strahlpartien das Laufrad unter ungünstigen Winkelverhältnissen treffen, oder bei grossen Belastungen, d. h. bei grossem Strahldurchmesser, das Laufrad überhaupt nicht mehr erreichen.

Die Grösse der durch die Abnutzung der Nadeln und Düsen bewirkten Verminderung des Wirkungsgrades der Turbine ist für die mit der Ueberwachung des Betriebes betrauten Organe von grosser Wichtigkeit, ist doch dieser Wert massgebend für die Bestimmung des Zeitpunktes für den Ersatz der Nadeln und Düsen. Um über diese Verhältnisse Klarheit zu schaffen, wurden durch die Kraftwerke Oberhasli AG. an einer 22 000-kW-Turbine des Kraftwerkes Handeck vergleichbare Wirkungsgradmessungen durchgeführt, wobei der Wirkungsgrad der Turbine einmal vor dem Ausbau der korrodierten Nadeln und Düsen und darauf ein zweites Mal nach dem Einbau von neuen Nadeln und Düsen bestimmt wurde. Die Ergebnisse sind in Fig. 4

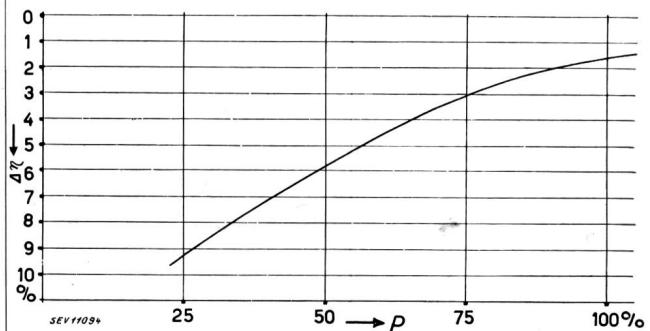


Fig. 4.

Verminderung des Wirkungsgrades der Turbine  $\Delta\eta$  verursacht durch die Abnutzung der Nadeln und Düsen, in Abhängigkeit der Turbinenbelastung P.

graphisch dargestellt. Es geht daraus hervor, dass die durch die Abnutzung der Nadeln und Düsen verursachte Verschlechterung des Wirkungsgrades je nach der Belastung der Turbinen 1,5...9% ausmacht, also ganz beträchtliche Werte erreicht. Dieses Ergebnis ist um so bemerkenswerter, als es sich bei den bei der Messung verwendeten korrodierten Nadeln und Düsen um Stücke handelte, deren Zerstörung noch nicht sehr weit fortgeschritten war, da die Ausfressungen eine Tiefe von 0,5 mm kaum überschritten.

Nach unseren Beobachtungen wird durch das mit dem Unterhalt der Turbinen betraute Personal der Einfluss der Abnutzung der Nadeln und Düsen auf den Wirkungsgrad sehr oft unterschätzt, denn es werden Nadeln und Düsen mit Erosionsrinnen von mehr als 1 mm oft noch als betriebstüchtig erachtet und ohne Bedenken weiter verwendet. Es befinden sich somit zahlreiche Peltonturbinen in Betrieb, die mit einem Wirkungsgrad arbeiten, der im Mittel mehr als 5% unter dem mit neuen Nadeln und Düsen erreichbaren Wert liegen dürfte. In Anlagen, deren Sommerzufluss so reichlich ist, dass er nicht vollständig ausgenutzt werden kann, ist diese Verminderung des Wirkungsgrades während der Sommermonate belanglos. Während der

Wintermonate hingegen, d. h. während der Zeit der Ausnützung des in den Stauseen aufgespeicherten Wassers, stellt diese Verminderung des Wirkungsgrades aber einen direkten Verlust an verfügbarer Winterenergie dar, welcher in der gegenwärtigen Zeit für unsere Volkswirtschaft von besonders grosser Bedeutung ist. Dass es sich dabei um Energien handelt, die durchaus nicht vernachlässigt werden dürfen, geht aus folgenden Ueberlegungen hervor:

Gemäss der gegenwärtig in Bearbeitung befindlichen Statistik der Schweiz. Elektrizitätswerke betrug die Energieproduktion der mit *Pelton*turbinen ausgerüsteten schweizerischen Kraftwerke, einschliesslich die Werke der Schweizerischen Bundesbahnen, im Winterhalbjahr 1941/42 ca. 1327 Mill. kWh. Durch systematischen Einbau von neuen Nadeln und Düsen jeweils im Herbst zu Beginn der Absenkung der Stauseen dürfte es möglich sein, den mittleren Wirkungsgrad dieser Pelton-turbinen

für die kommenden Absenkungsperioden schätzungsweise um 3...4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> zu verbessern, was einer Vermehrung der verfügbaren Winterenergie von 40...55 Mill. kWh entspricht. Durch diese einfache, mit nur unbedeutenden Kosten verbundene Massnahme lässt sich also eine Mehrproduktion erzielen, welche beinahe der Hälfte der Produktion eines Winterkraftwerkes von der Grösse des Kraftwerkes Wäggital entspricht.

Von grossem Einfluss auf den Wirkungsgrad der Pelton-turbinen ist auch die Oberflächenbeschaffenheit der Laufrad-Schaufeln. Rauhe, angefressene Becherflächen sollten daher aus demselben Grunde auf die Absenkperiode hin durch Nachpolieren, eventuell Schweissen und Schleifen, wieder in tadellosen Zustand gestellt werden. Leider stehen quantitative Unterlagen über die Beeinflussung des Wirkungsgrades der Turbinen durch die Abnutzung der Laufrad-Schaufeln zur Zeit noch nicht zur Verfügung.

## Die Entwicklung der elektrischen Grossküche in der Schweiz im Jahre 1942

Vom Sekretariat des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Zürich (A. Härry)

31 : 621.364.5(494)

Die Statistik des Anschlusses elektrischer Grossküchen in der Schweiz ergibt für das Jahr 1942 wiederum eine starke Zunahme, die nur wenig geringer ist als im Jahre 1941<sup>1)</sup>.

Es wurden im Jahre 1942 neu angeschlossen:

Tabelle I

Standort	Zahl der 1942 angeschl. Grossküchen	Anschlusswert in kW
Hotels und Restaurants . . . . .	82	3 094
Oeffentliche Anstalten . . . . .	95	4 668
Spitäler . . . . .	6	364
Gewerbl. Betriebe (Metzgereien) .	13	446
Total	196	8 572

In den Zahlen über den Anschlusswert sind auch Erweiterungen schon bestehender Betriebe im Betrage von 955 kW inbegriffen.

Die Ende 1942 im Betrieb stehenden elektrischen Grossküchen in der Schweiz setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle II

Standort	Gesamtzahl der Grossküchen	Anschlusswert in kW
Hotels und Restaurants . . . . .	1 180	38 666
Oeffentliche Anstalten . . . . .	728	31 732
Spitäler . . . . .	221	11 618
Gewerbl. Betriebe (Metzgereien) .	235	8 560
Total	2 364	90 576

Der mittlere Anschlusswert pro Grossküche beträgt Ende 1942 38,3 kW gegenüber 37,9 kW Ende 1941, blieb also beinahe gleich.

<sup>1)</sup> Für 1941 siehe Bull. SEV 1942, Nr. 14, S. 395.

## 25 Jahre Lokomotiv-Einzelachs-antrieb Brown, Boveri-Buchli

Von K. Sachs, Baden

621.335.221

*Die Grundlage, das Entstehen und die erfolgreiche Weiterentwicklung des Einzelachs-antriebes Brown, Boveri-Buchli werden beschrieben. 1434 Triebachsen wurden mit diesem Antrieb ausgerüstet.*

*Description des principes, de la mise au point et du développement de la commande individuelle des essieux Brown, Boveri-Buchli, dont 1434 essieux-moteurs sont équipés actuellement.*

Ende Juni dieses Jahres werden 25 Jahre verstrichen sein, seit auf der Löttschbergstrecke versuchsweise eine in ihrem äusseren Habitus etwas eigenartig wirkende elektrische Lokomotive in Betrieb gesetzt wurde (Fig. 1). Diese einstmals für die «Chemin de fer du Midi» bestimmt gewesene, zuerst mit Repulsionsmotoren der Bauart Déri ausgerüstete Lokomotive der Achsfolge 1C1 gab Gelegenheit, zwei Formen von Einzelachs-antrieben, die damals in unserem Lande entstanden waren, prak-

tisch zu erproben, um Erfahrungen für deren Verwendung bei künftigen elektrischen Schnellzuglokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen zu sammeln. Da mit diesen Maximalgeschwindigkeiten von 90...100 km/h sollten erreicht werden können, mussten die noch aus der Praxis vor 1914 übernommenen Stangenantriebe, die bei den damals im Bau befindlichen vier «Probellokomotiven» der Achsfolge 1C1, 1B-B1 und 1C-C1 zur Anwendung gekommen waren, ausscheiden; nur individueller