

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung

**Band:** 65/66 (1915)

**Heft:** 7

**Artikel:** Bremsergebnisse an der 9700 PS Hochdruck-Francis-turbine der Anlage in Centerville der Pacific Gas & Electric Co., San Francisco nach vierjährigem ununterbrochenem Betriebe

**Autor:** Pfau, Arnold

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-32190>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

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

dass man den ganzen Raum ihm anpasste. Dabei wollte aber der Besitzer doch zum Ausdruck gebracht wissen, dass man sich in einem ältern Hause befindet, in welchem man das Zimmer nur soweit erneuerte, als dies durch den angestrebten Zweck nötig erschien.

In welcher Weise die damit beauftragte Möbelfabrik Knuchel & Kahl die gewiss heikle Aufgabe gelöst hat, zeugen, wenigstens nach der formalen Seite, unsere Abbildung 1 sowie Tafel 14. Leider sind, wie bei jeder photographischen Aufnahme, die zur Beurteilung der Wirkung sehr wichtigen Tonwerte der Farben verändert. Buddah trägt ein faltiges, an den Rändern golddurchwirktes Gewand von leuchtendem Smaragdgrün mit blauen Schatten. Die blattartigen Gebilde zu beiden Seiten des Hauptes sind in stumpfen Tönen lilabraun und dunkelblau, die äussern gelb. Ueber dem Haupte schliesst ein braunrotes Band die Bildfläche ab, dessen Farbe am Boden zu Füssen des Gottes, sowie in der Ziegelausmauerung des weissen Marmorkamins wiederkehrt. Der Hintergrund, von dem sich die Gestalt Buddahs abhebt, zeigt ein verschwommenes hell-lilarot. Den seitlichen Abschluss gegen die zurücktretende Wand bilden breite Goldleisten. Als Wandbekleidung wurde ein Damast eigens gewoben, dessen Rot eine Verbindung mit den verwandten Klängen im Bilde anstrebt, gleichzeitig mit dem Gold der Rahmen und der messingenen Beleuchtungskörper und dem Weiss von Sockel und Türe dem hauptsächlich bei künstlichem Licht benützten Raum einen ausserordentlich festlichen Eindruck gibt. Nur Parkettboden und Decke sind alt und sollen, wie auch der Charakter der dunkel gehaltenen Polstermöbel, eben daran erinnern, dass man sich in einem alten Hause befindet. Ein schmaler, roter Perserteppich steigert noch die Entfernung zu dem unnahbaren Gotte, der mit geschlossenen Augen über dem weissen Kamin thront. Er beherrscht in seiner prächtigen, grünblauen Gewandung vollständig den Raum nach dieser Schmalseite hin. Die gegenüberliegenden, auf Abbildung 1 nicht sichtbaren Wände, zeigen gute neuere Bilder, die deshalb unter Verhoevens Konkurrenz nicht leiden, weil man sie eben nicht gleichzeitig mit ihm sehen kann. Die beiden alten Bildnisse zu beiden Seiten Buddahs vertragen sich indessen recht gut mit ihm und man gewinnt in dem Raume, namentlich bei längerem Verweilen, das Gefühl, dass der Zweck erreicht worden ist. Unter den Klängen neuer und alter Musik kann auch das Auge mit Wohlbehagen auf alten, neuern und neuesten Erzeugnissen der bildenden Kunst ruhen, die trotz ihrer Gegensätze sich nicht beeinträchtigen, sondern in schöner Harmonie gegenseitig steigern.

### Bremsergebnisse an der 9700 PS Hochdruck-Francisturbine der Anlage in Centerville der Pacific Gas & Electric Co., San Francisco

nach vierjährigem, ununterbrochenem Betriebe.

Von Arnold Pfau, Cons. Engr. Hydr. Dept., Allis-Chalmers Mfg. Co.

Beschreibungen von neuen Anlagen und Veröffentlichungen von allfälligen bezüglichen Uebernahmeversuchen sind wohl stets erwünscht und bringen viel Interessantes. Es ist auch für einen, die Werkstattpraxis durchmachenden, angehenden Ingenieur recht lehrreich, wenn er an der Zusammenstellung der Maschinen in den Werkstätten oder am Bestimmungsort teilnehmen kann und so die mannigfaltigen Neuschaffungen und oft guten Ideen der Konstrukteure kennen lernt. Wenn die Maschine die Werkstätte verlässt, so ist sie meist in tadellosem Zustande, alles ist schön angestrichen und allfällige Mängel und Poren sind zugedeckt. Wenn auch der erfahrene Ingenieur bereits sich zum Voraus ein Bild machen kann, wie einzelne Teile nach Verlauf einer gewissen Betriebszeit aussehen werden, so ist dieses Bild oft noch weit entfernt von der Wirklichkeit. Beschreibungen von Neuanlagen, auch wenn sie noch so „neutral“ gehalten sind, gelten doch zum grössten

Teile als eine Reklame für den Erbauer und manchmal auch für den Besteller oder Besitzer, der dadurch der Öffentlichkeit Beweise leisten will, dass seine Kapitalsanlage auf guten Füssen steht. Die Tatsache, dass die Beschreibung und Veröffentlichung der Bremsergebnisse von Maschinen nach Ablauf einer gewissen Betriebszeit weniger häufig zu finden ist, lässt sich erklären. Eine Maschinenfabrik liebt es nicht, wenn ihre Produkte vor der Öffentlichkeit verhandelt werden, wenn diese gleichsam aus der Schlacht zurückkommen. Auch der Besitzer von der Maschine hat es nicht gern, wenn seine Inventarwerte als nicht dem Buchwerte entsprechend bekannt gemacht werden. Trotz aller solcher berechtigter Einwände wäre es doch viel lehrreicher, wenn die technischen Zeitschriften auch jeweils Einblick in den Betrieb und dessen Folgen gewähren könnten. Es liesse sich so auf schadhafte Ausführungen hinweisen, wodurch Konstruktionen vermieden würden, die nachweisbar schlimme Ergebnisse nach sich ziehen.

Dank der ausgezeichneten Grundsätze des beratenden Ingenieurs der *Pacific Gas & Electric Co.* (früher California Gas & Electric Corp.) wurde die im Herbst 1907 in Betrieb gesetzte und in dieser Zeitschrift bereits beschriebene<sup>1)</sup> Hochdruck-Francisturbine von 9700 PS nach vierjährigem, ununterbrochenem Betriebe einer gründlichen Untersuchung und erneuten Bremsung unterworfen.

Die Turbine wurde vor der Inspektion von den Ingenieuren der Besitzerin und in Anwesenheit eines Professors mit Studierenden der Universität Berkeley (Californien) gebremst. Es sei also hervorgehoben, dass sie nicht etwa vorerst in besten Stand gestellt wurde, sondern gerade so gebremst wurde, wie sie Tag und Nacht im Betrieb war, ohne je zu irgend einer Reparatur während der vierjährigen Betriebszeit demontiert worden zu sein. Da genügend Kräfte zur Verfügung standen, wurden die Messungen wiederum sehr sorgfältig durchgeführt, sodass die Ergebnisse als sehr zuverlässiges Material betrachtet werden können.

Die beigegebene Zusammenstellung der Bremsergebnisse ist analog der ersten Tabelle aufgestellt, die in Band LIII, Seite 220 dieser Zeitschrift veröffentlicht wurde. Es wurde der Wassermessung ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt und daher wiederum ein Ueberfall nach der Art Francis eingebaut, auf den sich die von Francis bestimmten Koeffizienten in korrekter Weise anwenden liessen. Wie die Ergebnisse zeigen, hat der Wirkungsgrad der Turbine während der vier Betriebsjahre in der Nähe der wirtschaftlichen Belastung sich nicht wesentlich verändert. Erfreulicherweise wurde also die Garantie sowohl in Bezug auf Wirkungsgrad, als auch in Bezug auf Dauerhaftigkeit der Maschine weit überboten.

Nach durchgeführter Bremsung wurde die Turbine soweit demontiert, dass alle wichtigen Teile einer gründlichen Untersuchung unterworfen werden konnten. Es zeigte sich dabei etwelche Abnutzung an den Schaufeln des Leit- und Laufrades, sowie an deren Wandungen. Ebenso hat die Welle etwas gelitten, an der Stelle, an der sie sich in der Hauptstopfbüchse bewegt, da das Betriebspersonal die Packung oft zu sehr zusammengepresst hatte.

Das Laufrad ist in Abb. 1 (S. 76) dargestellt. Ausser einigen ausgebrochenen Kanten am Einlauf, eine Folge von durchgehenden Steinen, zeigen sich keine schwerwiegende Defekte. Eine leichte Korrosion ist an der Rückschaukelung am Eintritte wahrzunehmen. Sie wurde verursacht durch den Umstand, dass die Turbine oft längere Zeit (wenn die flussaufwärts sich befindende Anlage De Sabla reduzierten Betrieb hatte) mit kleiner Beaufschlagung arbeiten musste, wo dann das Betriebsgefälle bedeutend höher war und somit die, dem besten Diagrammwinkel entsprechende Umlaufzahl nicht eingehalten wurde. Am Rücken der Schaufelaustritte zeigen sich ebenfalls Spuren von Korrosion, die ihren Ursprung in der gleichen vorhin

<sup>1)</sup> Siehe Bd. LII (29. Aug. 1908) und Bd. LIII (24. April 1909).

Brems-Ergebnisse der 9700 PS Hochdruck-Turbine der Anlage Centerville nach vierjährigem Betriebe.<sup>1)</sup>

Versuch	$P$ kW	$E$ %	$P_1 = \frac{P}{E}$ kW	$Q$ l/sek	$H_0$ m	$H_1$ m	$H_2$ m	$H_{eff}$ m	$P_2 = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H \cdot 0,746}{70}$ kW	$E_1 = \frac{P_1}{P_2}$ %	$E_2 = \frac{P}{P_2}$ %	$\varphi$
1	665,6	88,00	756,4	993	174,6	3,42	0,109	178,13	1732,1	43,66	38,42	0,092
2	1078,4	91,08	1184,0	1255	174,2	3,37	0,149	177,71	2183,3	54,23	49,39	0,169
3	1529,6	93,25	1640,3	1535	174,0	3,34	0,226	177,56	2672,0	61,39	57,24	0,234
4	2291,2	95,24	2405,7	1985	173,4	3,245	0,381	177,02	3451,9	66,69	66,38	0,344
5	2448,0	95,52	2562,8	2080	173,2	3,24	0,414	176,85	3603,0	71,13	67,94	0,366
6	2998,4	96,22	3116,2	2400	172,5	3,18	0,551	176,23	4137,6	75,31	72,47	0,445
7	3548,8	96,72	3669,1	2720	171,65	3,14	0,707	175,48	4665,4	78,65	76,06	0,529
8	3954,5	97,00	4076,8	2960	170,5	3,10	0,838	174,43	5061,0	80,55	78,14	0,582
9	4556,8	97,28	4684,2	3305	169,0	3,04	1,05	173,04	5615,2	83,42	81,15	0,669
10	4924,8	97,40	5057,3	3575	168,0	2,99	1,22	172,2	6036,2	83,78	81,59	0,724
11	5385,6	97,58	5519,2	3865	167,0	2,95	1,433	171,36	6500,3	84,91	82,85	0,788
12	5891,2	97,68	6031,1	4200	165,5	2,89	1,694	170,08	7004,4	86,10	84,12	0,862

<sup>1)</sup> Zeichenerklärungen:  $P$  = Belastung an der Schalttafel in kW;  $E$  = Wirkungsgrad des Generators in % (mit Ausnahme der Ventilations- und Reibungsverluste);  $P_1$  = Effektive Leistung der Turbine in kW;  $Q$  = Wassermenge in l/sek;  $H_0$  = Effektives Druckgefälle in m;  $H_1$  = Statisches Sauggefälle in m (als Differenz zwischen jeweiligem Unterwasserspiegel und Wellenmittel);  $H_2$  = Gefällshöhe der Einlaufgeschwindigkeit in m;  $H$  = Totales Gefälle in m (Arithmetische Summe aus Effektivegefälle, Sauggefälle, Gefällshöhe minus 0,732 m Höhenunterschied zwischen Messtelle des Druckmanometers und dem Wellenmittel;  $H = H_0 - 0,732 + H_1 + H_2$ ;  $P_2$  = Abso-lute Leistung der Turbine in kW (aus Gefälle und Wassermenge);  $P_2 = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H \cdot 0,746}{70}$ ;  $E_1$  = Wirkungsgrad der Turbine in %;  $E_2$  = Wirkungsgrad der Gesamteinheit in %;  $n$  = minutliche Umlaufzahl;  $\varphi$  = Beaufschlagungsverhältnis bezogen auf 7000 kW = 1:1;  $\gamma$  = 1000 kg, Gewicht von ein m<sup>3</sup> Wasser; 1 kg/cm<sup>2</sup> = 10,33 m Wassersäule; 1 PS (amerikanische Pferdekraft) = 76 mkg oder 0,746 kW.

erwähnten Ursache haben dürften. Wegen der durch den Ankauf des Generators schon vorher bestimmten Umlaufzahl musste das Laufrad konstruktionsgemäss schon für eine verhältnismässig niedere Umlaufgeschwindigkeit gebaut werden. Die Turbine nähert sich daher bei geringer Beaufschlagung einer Aktionsturbine, bei der sich bekanntlich der austretende Wasserstrahl vom Rücken der Schaufel loszulösen sucht.

Diese Tendenz der Loslösung hat der Verfasser mehrfach bei ähnlichen Konstruktionen und hohen Gefällen wahrgenommen. Sie äussert sich in einem Geräusch, das je nach den Verhältnissen von einem lebhaften Gewehrknatter bis zu kanonenartigen Detonationen ausarten kann, die bei grossen Maschinen gefährlich werden können.

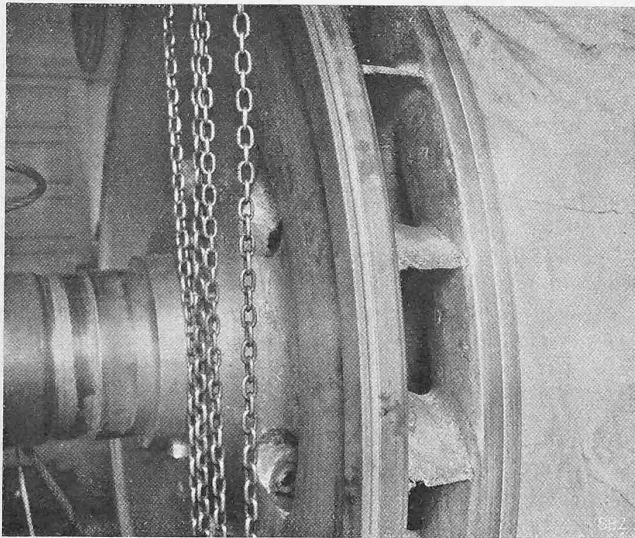


Abb. 1. Laufrad der 9700 PS-Turbine der Anlage Centerville nach vierjährigem Betrieb.

Durch zeitgemässe und zweckmässige Zuführung von Luft in den Ablaufkrümmer oder in den Spalt zwischen Leit- und Laufrad kann dieser Uebelstand sofort und gänzlich entfernt werden.

Abbildung 2 zeigt die Leitrad-schaufeln von innen, in geschlossener Stellung. Die Abnutzung ist eine durchaus regelmässige und harmlose. Sie ist bedingt durch die hohe Geschwindigkeit des Wassers, ganz besonders bei kleiner Beaufschlagung, und durch die Schleifwirkung des von diesem mitgeführten Sandes. Die wellenförmige Be-

schaffenheit der Flächen stimmt überein mit dem Verhalten der Arbeitsflächen der Löffel von Hochdruckrädern. Durch zweckmässiges Nachstellen der Leitschaufeln und des Gleitringes kann der Leitapparat immer noch so geschlossen werden, dass die Umlaufzahl der noch unter vollem Betriebsdruck stehenden Turbine mit Leitschaufeln in geschlossener Stellung nicht höher ist, als sie es bei erster Inbetriebsetzung war.

In Abbildung 3 ist der Ablaufteil der Turbine wiedergegeben. Der Ablaufkrümmer zeigt keine Spuren von Abnutzung, wie dies oft bei fehlerhafter Konstruktion der Austrittorgane durch Ausfressung an der schärfsten Krümmung beobachtet werden kann. Die Welle, die sich an der Stelle, an der sie die Stopfbüchse durchdringt, abgenutzt hat, wird etwas abgedreht und mit einer zweiteiligen Bronzebüchse versehen.

Die Abbildung 4 zeigt die Ausfressung der Spaltlabyrinth. Wie aus der früher erschienenen Beschreibung der Turbine ersichtlich ist, wurden bei jeder der zwei Wandbegrenzungen des Leit- und Laufrades je eine radiale Abstufung vorgesehen, wodurch je eine Kammer (Labyrinth) gebildet wurde, die dem austretenden Spaltdruckwasser einen Widerstand entgegengesetzt. Die aus der letzten Bremsprobe hervorgehende Tatsache, dass sich der Wirkungsgrad bei Vollbelastung als etwas höher heraus-

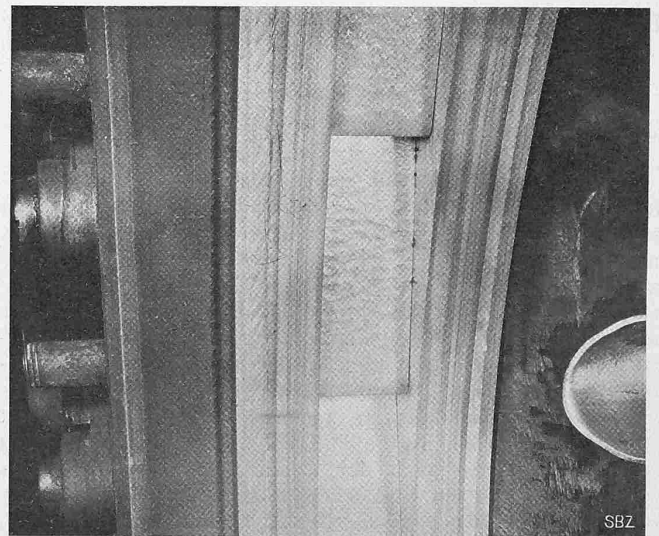


Abb. 2. Leitschaufeln von innen gesehen, in geschlossener Stellung. — Nach vierjährigem Betriebe.

stellte, als vor dem vierjährigen Betriebe, dürfte seine Erklärung darin finden, dass diese, durch die Ausfressung bedingte neue Form der Kammern sogar erhöhte Wirbelbildungen verursachte, die dann bei voller Belastung den Spaltverlust eher verminderten als vergrösserten.

Da die Veränderung der beidseitigen Kammern eine gleichmässige war, so darf wohl daraus der Schluss gezogen werden, dass auch die beidseitigen Spaltverluste sich gleichmässig geändert haben. Diese Annahme scheint denn auch bestätigt zu sein durch die Tatsache, dass der Axialschub dieser einfach ausgiessenden Turbine sich während der vierjährigen Betriebsperiode nicht wesentlich veränderte. Das mechanische Ringspurlager zeigt keine Abnutzung, ein Beweis, dass die hydraulische Entlastung die ihr zugeordnete Rolle fortwährend übernommen hat.

Es darf somit angenommen werden, dass die vom Verfasser damals gemachten Behauptungen betreffend „einfach ausgiessende“ Hochdruck-Francisturbinen sowohl in Bezug auf Wirkungsgrad und Axialschub, als auch in Bezug auf Abnutzung vollauf bestätigt sind. Die grosse Nachfrage und seitherige Verwendung der Hochdruck-Francisturbine, selbst für Leistungen über 10000 PS in Fällen, wo vor sechs Jahren noch niemand an etwas anderes als an ein Löffelrad dachte, hat auch ihre Wirtschaftlichkeit, sowohl in streng technischer, als auch in rein kommerzieller Hinsicht vollauf bestätigt.

Sobald die Erbauer von Generatoren mit hoher Umlaufzahl im Stande sein werden, diese zu einem Preise herzustellen, der die gesamte „hydro-elektrische“ Einheit konkurrenzfähig macht, so wird es dem modernen Grossturbinenbauer ein Leichtes sein, die entsprechende Antriebskraft zu liefern, und es wird für solche Firmen, die beide Teile in ihren eigenen Werkstätten herstellen können, dann auch grossen Vorteil gewähren, die Garantien der beiden Teile nicht mehr getrennt, sondern kombiniert angeben zu können, wie dies ja schon bei Dampfturbinen-Generatoreinheiten allgemein gebräuchlich ist. Im Falle einer hydro-elektrischen Einheit würde sich also die kombinierte Garantie nur auf Nutzgefälle, Wasserverbrauch und Kilowatt am Schaltbrett bei festgesetzter Spannung und Umlauf- oder Periodenzahl zu beziehen haben. Dadurch fielen dann alle Zwischenwerte, wie mechanische Bremsleistung in PS, Wirkungsgrad der Turbine und des Generators aus der Rechnung. Die zum Versuche benötigten Ablesungen wären dann rein kommerzieller Natur, ein Vorteil, der jedem praktisch veranlagten Besteller natürlich einleuchten muss, und sich tatsächlich in der amerikanischen Praxis bereits grosser Beachtung erfreut.

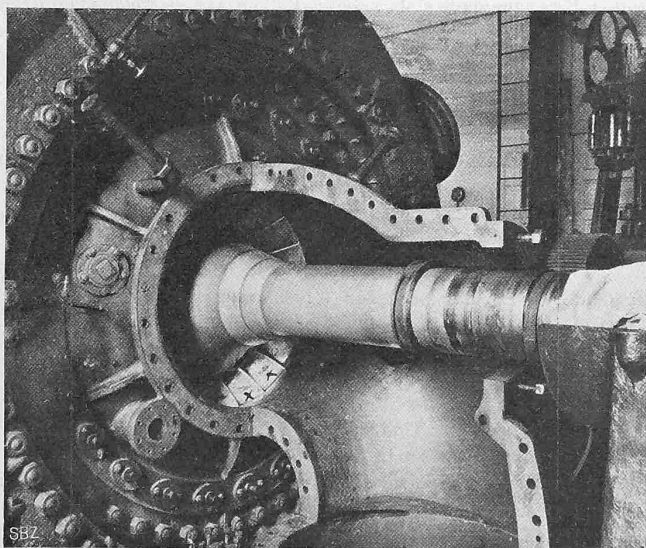


Abb. 3. Ablaufseite der 9700 PS Hochdruck-Spiral-Francisturbine der Anlage Centerville.

Miscellanea.

Simpton-Tunnel II. Monatsausweis Januar 1915.

		Tunnellänge 19 825 m		Südseite	Nordseite	Total
Firststollen:	Monatsleistung . . . . .	m	195	—	—	195
	Stand am 31. Januar . . . . .	m	4010	5148	—	9158
Vollausbruch:	Monatsleistung . . . . .	m	112	—	—	112
	Stand am 31. Januar . . . . .	m	3924	5039	—	8963
Widerlager:	Monatsleistung . . . . .	m	54	—	—	54
	Stand am 31. Januar . . . . .	m	3824	4884	—	8708
Gewölbe:	Monatsleistung . . . . .	m	32	—	—	32
	Stand am 31. Januar . . . . .	m	3800	4874	—	8674
Tunnel vollendet am 31. Januar . . . . .	m		3800	4874	—	8674
	In % der Tunnellänge . . . . .	%	19,2	24,6	—	43,8
Mittlerer Schichten-Aufwand im Tag:						
	Im Tunnel . . . . .		293	21	—	314
	Im Freien . . . . .		158	12	—	170
	Im Ganzen . . . . .		451	33	—	484

Nordseite. Gearbeitet wurde an 29 Tagen, wobei es sich wiederum in der Hauptsache um das Verlegen des Tunnelkrans, um das Legen von Kabeln und um Materialreparaturen handelte.

Südseite. Vom 24. Dezember 1914 bis 4. Januar 1915 waren die Arbeiten der Südseite in Iselle der Festtage halber eingestellt. An letzterem Tage wurden die Arbeiten wieder voll aufgenommen, und seither an 23 Tagen gearbeitet.

Grenchenbergtunnel. Monatsausweis Januar 1915.

		Tunnellänge 8565 m		Nordseite	Südseite	Total
Sohlenstollen:	Durchschlag am 27. Okt. . . . .	m	4350	4215	—	8565
Vollausbruch:	Monatsleistung . . . . .	m	—	333	—	333
	Länge am 31. Januar . . . . .	m	4021	3729	—	7750
Gewölbemauerung:	Monatsleistung . . . . .	m	—	133	—	133
	Länge am 31. Januar . . . . .	m	3939	3310	—	7249
Mittlere Arbeiterzahl im Tag:						
	Ausserhalb des Tunnels . . . . .		46	123	—	169
	Im Tunnel . . . . .		52	505	—	557
	Im Ganzen . . . . .		98	628	—	726

Am Portal ausfliessende Wassermenge l/sek. 195 420 615  
Am 1. Januar waren die Arbeiten auf beiden Seiten eingestellt. Seit 2. Januar wurde nur auf der Südseite gearbeitet.

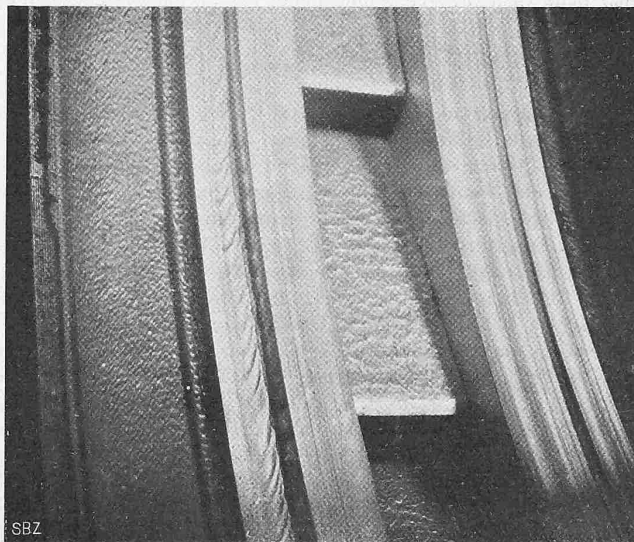


Abb 4. Ausfressungen der Spalt-Labyrinthdichtung.

Verbreitung des Telephons in den europäischen Städten. Anschliessend an unsere Mitteilungen in Nr. 5 ds. Bds. über die Verbreitung des Telegraphs und des Telephons in Europa geben wir nachstehend noch einige Zahlen über die Dichte der Telephonstationen in europäischen Städten. Weitaus die grösste Dichte weist Stockholm auf, mit 21,1 Apparaten auf 100 Einwohner, oder 4,7 Einwohner pro Sprechstelle, während in den an zweiter und dritter Stelle stehenden Städten Kopenhagen und Gothenburg nur 7,6 Apparate auf 100 Einwohner entfallen. Ueber 5 Apparate haben noch folgende Städte: Charlottenburg 7,2; Christiania 7,1; Malmö 6,6; Zürich 6,1; Berlin, Stuttgart, Helsingfors je 5,9; Frankfurt 5,8;