

Das Kraftwerk an der Alfenz der Vorarlberger Zementwerke Lorüns A.-G., Bludenz

Autor(en): **Sonderegger, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 20

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41695>

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.

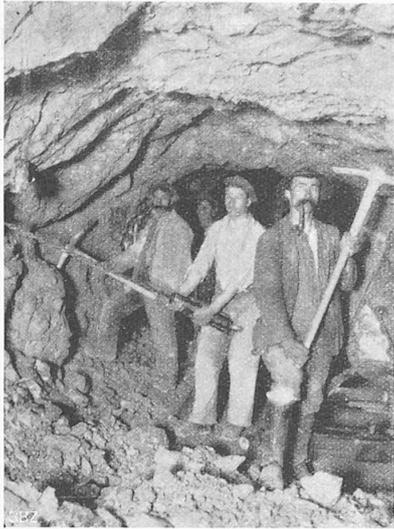


Abb. 19. Stollenausweitung im zerklüfteten Dolomit.

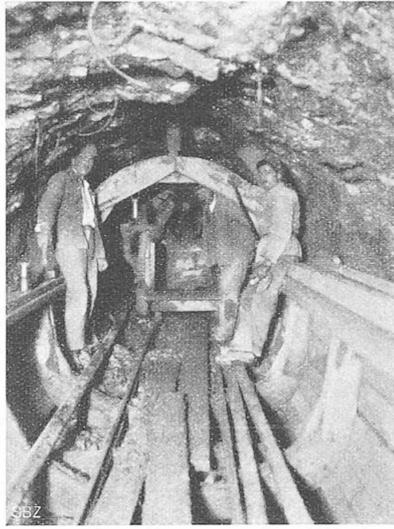


Abb. 20. Stollenausmauerung beginnend mit Sohle und Widerlager.

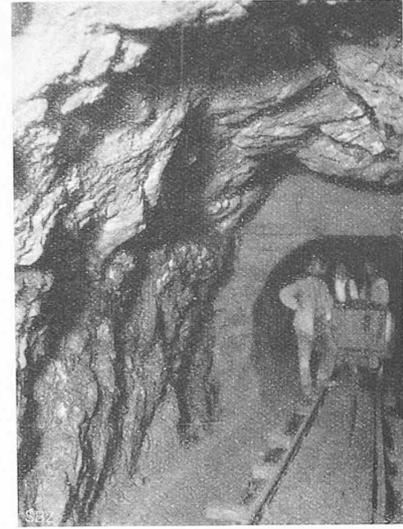


Abb. 21. Kontaktzone: unten weicher Mergel, oben klüftiger Dolomit.

Das Kraftwerk an der Alfenz der Voralberger Zementwerke Lorüns A.-G., Bludenz.

Von Ing. A. SONDEREGGER, St. Gallen.

(Schluss von Seite 251.)

DER DRUCKSTOLLEN.

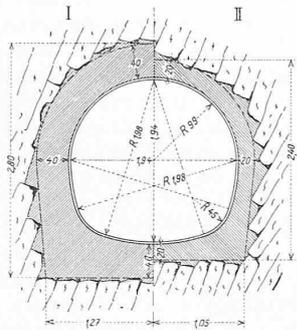
Im Ruhezustand, Wasserspiegel Kote 100,00, steht das Stollende unter einem innern Druck von 3 m Wassersäule. Der maximale Druck des mit beispielsweise 5 m³/sek arbeitenden Werkes steigt beim plötzlichen Abstellen auf 5,2 m Wassersäule, wobei die im Stollen rückwärts wandernde Welle durch den vorhin erwähnten Ueberlauf einen Ausweg findet. Stünde der Stollen immer unter innerem Druck, dann hätte ein grösseres Sohlengefälle als nur 1,2⁰/₀₀ etwelche Vorteile geboten. Allein der Druckstollen kann, wenn er auch einmal zur Spitzendeckung herangezogen werden sollte, zu einem Freiwasserspiegelstollen werden, wobei es dann nicht mehr das Wasserspiegelgefälle, sondern das Sohlengefälle ist, von dem das verbleibende Nutzgefälle abhängt. Alsdann gingen an Nutzgefälle 10 m mehr verloren, wenn das Sohlengefälle beispielsweise zu 5⁰/₀₀ statt zu 1,2⁰/₀₀ angenommen worden wäre.

Der annähernd geradlinige Stollen befindet sich ungefähr 100 m tief im Berginnern. Ausser an beiden Enden wurde er in drei Fenstern zu 100 m mittlerer Länge in Angriff genommen. Mit Ausnahme des Stollenanfanges, wo das Durchfahren von Bergschutt unvermeidlich war, liegt er durchwegs in anstehendem Fels, zum Teil in stark zerklüftetem Dolomit, hauptsächlich aber in Allgäumergel und Kalk (Abbildungen 18 bis 21). Die unter 70 bis 80° nach Norden einfallenden Schichten streichen mit der Stollenrichtung parallel von Osten nach Westen. Der Geologe Dr. Schwinner in Graz hatte richtig vorausgesagt, dass in den angefahrenen Verwerfungen das Gestein wechsle und Wasser angebohrt werde.

Taleinwärts vom Dörfchen Stallehr aus dem Bergfuss tretende Quellen, die sich als intermittierende Ausgüsse in

der Regel vom Mai bis September einstellen und zeitweise bis auf 900 l/sek anschwellen, je nach der Witterung in einzelnen Jahren aber ganz ausbleiben oder auch mitten im Winter wieder erscheinen, liessen befürchten, dass man an der nicht zu umgehenden Stelle, wo der Stollen die Quelläuge anscheidet, auf Wasser in grossen Mengen stossen werde. Ein Stollenfenster wurde unmittelbar über den Quellen vorgetrieben, damit für den Fall, dass die Quellen angebohrt würden, sie auf kürzestem Wege aus dem Stollen geleitet werden könnten. Wasser von gleicher Temperatur und Beschaffenheit, wie sie den Quellen eigen sind, wurde denn auch richtig angetroffen, jedoch nur in Mengen von rund 25 l/sek und zwar wider Erwarten erst 500 m taleinwärts von den Quellpunkten übertag, im Wechsel zwischen Dolomit und Mergel. Der Dolomit war indessen dort so stark zerklüftet, dass das an der Decke und auf Brusthöhe in Strömen eindringende Wasser auf der Sohle sofort wieder abzog.

Vortrieb und Ausweitung des Stollens erfolgten mit Flottmann-Bohrhämmern; Tagesfortschritt bei dreischichtigem Betrieb 3,5 bis 4,5 m. Der Stollen ist durchwegs ausgemauert, Wandstärke des Beton 40 cm nach Profil I und 20 cm nach Profil II (siehe Abbildung 18). Von einer Armierung wurde abgesehen, was umso eher anging, als die im Bergschutt und zerklüfteten Dolomit gelegene Strecke von 250 m Länge, die ausgezimmert werden musste und hinsichtlich Armierung einzig in Frage kommen konnte, sich am obern Stollende befindet, wo der innere Druck rund 1 m Wassersäule nicht übersteigt. Umso grössere Sorgfalt wurde auf den satten Anschluss der Betonverkleidung an das Gebirge verwendet. Die in Abständen von 2 m sich folgenden Zementhinterpressungen der Betonverkleidung wurden unter einem Druck von 4 at je weilen bis zur vollständigen Sättigung fortgesetzt. Im Durchschnitt wurden pro m Stollen 100 kg Zement eingepresst, in einzelnen Punkten jedoch bis zu 500 kg, im Minimum 40 kg/m (Injektionsmörtel 1 : 3 Raumteile Zement und Sand; lettiger Sand erwies sich als vorteilhaft). Verschiedene zur Probe ausgemesselte Punkte der Betonverkleidung zeigten sehr deutlich einen am Beton und am Gestein haftenden gelblichen Niederschlag, als Folge der Zementhinterpressungen. Die Stollenausmauerung war im Herbst 1925, im Durchschnitt drei Monate vor der Betriebseröffnung, fertig erstellt. Der Beton des zuerst zur



	I	II
Theoret. Ausbruch	• 6,76 m ² /m	• 5,00 m ² /m
Wirklicher Ausbruch	• 8,80 m ² /m d.h. 13%	• 6,40 m ² /m d.h. 28%
Überprofil im Mittel	• 2,04 m ² /m	• 1,40 m ² /m
Theoret. Betonquerschnitt	• 3,50 m ² /m	• 1,73 m ² /m
Wirklicher Betonquerschnitt	• 5,60 m ² /m d.h. 60%	• 3,13 m ² /m d.h. 80%
Überprofil im Mittel	• 2,10 m ² /m	• 1,40 m ² /m
Verputz	• 6,22 m ²	• 6,22 m ²
Lichtler Querschnitt	• 3,11 m ²	• 3,11 m ²
Sohlengefälle	• 1,2 ‰	• 1,2 ‰

Abb. 18. Stollenprofile. — 1 : 80.

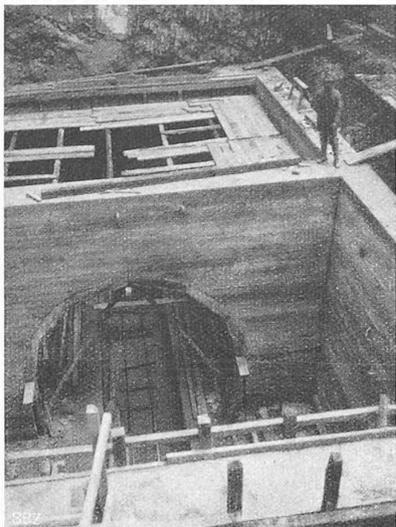


Abb. 24. Wasserschloss vor der Einwölbung.



Abb. 25. Westliche Mündung des Rohrstollens.

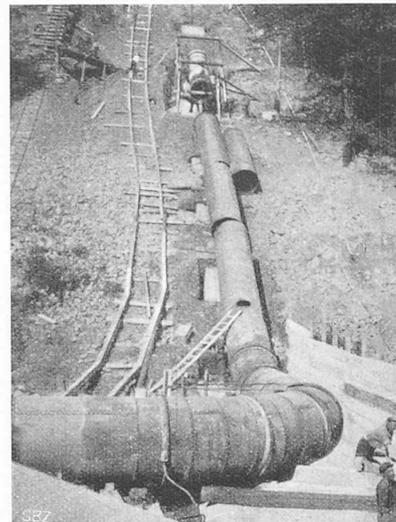


Abb. 27. Die Druckrohrleitung im Bau.

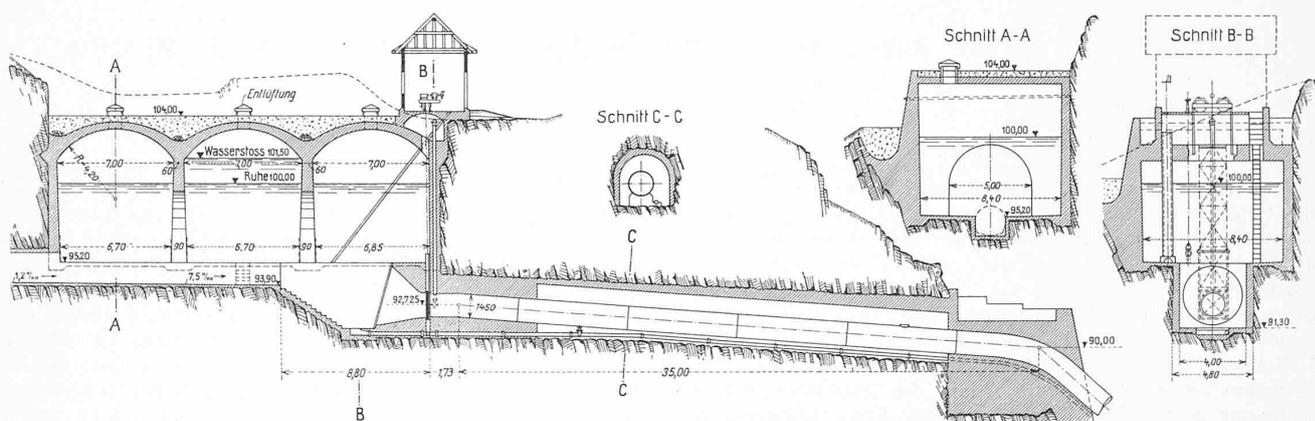


Abb. 23. Längsschnitt und Querschnitte durch das Wasserschloss und den anschliessenden Rohrstollen. — Masstab 1 : 400.

Ausmauerung gelangten Bergschutt- und Dolomitabschnittes war ein halbes Jahr alt, als der Stollen zum ersten Mal unter Druck gesetzt wurde.

Von den drei Fenstern ist das mittlere als bleibender, durch ein eisernes Tor verschlossener Zugang hergerichtet. Durch dieses Fenster sind auch zwei Wasserleitungen aus dem Stollen geführt, wovon die eine von einer in der Stollensohle gefassten Quelle ausgeht und der Trinkwasserversorgung, die andere Feuerlöschzwecken des Dörfchens Stallehr dient.

Von Interesse mag vielleicht noch die Mitteilung sein, dass die Temperatur des Wassers auf dem 3 km langen Weg durch den Zulaufstollen sich nicht unwesentlich ändert. Am 7. Dezember 1926 z. B. stieg die Temperatur von $+0,6^{\circ}\text{C}$ im Wildgerinne auf $+2,6^{\circ}\text{C}$ im Unterwasserkanal bei einer Lufttemperatur von -7°C . Diese Erwärmung ist namentlich bei starker Kälte, wenn die Alfenz unter Versulzung leidet, von günstigem Einfluss.

WASSERSCHLOSS.

Das Davennagebirge, durch dessen Flanke der Stollen getrieben ist, senkt sich gegen Westen zu und springt, in eine Spitze auslaufend, beim Zementwerk in den Talboden der Ill (Abb. 22) vor. Auf dem Rücken dieses Ausläufers konnte das Wasserschloss an einer Stelle plaziert werden, die die Ausführung in einer Baugrube übertag gestattete (Abb. 23 und 24). Der Geländeform sich anpassend, wurde das Wasserschloss in der Form von drei quer zur Stollenrichtung aneinander gereihten Betongewölben erstellt. Der Stollen setzt sich als vertiefte Rinne durch das Schloss

von 180 m^2 Grundrissfläche fort und geht in einem weiten, mit einem Rechen versehenen Einlaufkonus in die Druckrohrleitung über. Im Bedienungsraum sind der Antrieb-Mechanismus der Rohrabschlusschütze, ein Diensttelefon und der Sender eines elektrischen Wasserstandsfernmelders untergebracht. Durch eine 250 mm weite Leitung kann das Wasserschloss in den Unterwasserkanal entleert und ausgespült werden.

DRUCKROHRLEITUNG UND SITUATION DES MASCHINENHAUSES.

Beim Austritt aus dem Wasserschloss liegt die Rohrleitung auf 30 m Länge zunächst (immer noch in westlicher Richtung) in einem Stollen von 3 m lichter Weite, worauf sie sich der Montafonerseite des Bergzuges zuwendet und auf dessen, unter einem Winkel von annähernd 45° (gegen Süden) geneigten Steilhang den Talboden der Ill erreicht, um hier in der Horizontalen nochmals im rechten Winkel (wieder gegen Westen) abzubiegen (Abb. 22 und 25 bis 27). Diese zweite Abbiegung war unvermeidlich, indem das Maschinenhaus in seiner Längsrichtung auf einen schmalen, hinter der Montafonerbahn gelegenen Bodenstreifen gestellt werden musste und Gewicht darauf gelegt wurde, das Haus aus der Druckleitungsrichtung abzurücken. Länge der Druckleitung 115 m; l. W. im oberen Teil 1450 mm, im unteren Teil 1350 mm; genietete Röhren und Stösse; Blechstärke 7 bis 9 mm; eiserne Rohrsättel; ein Betonsockel unter jedem Rohr; drei Fixpunkte mit Verankerungsrippen am Rohr; zwei Ausdehnungsstücke; drei Mannlöcher; Verteilrohrleitung mit vier Stützen; Entleerungsleitung in den Unterwasserkanal. Ausser der Abstellschütze,

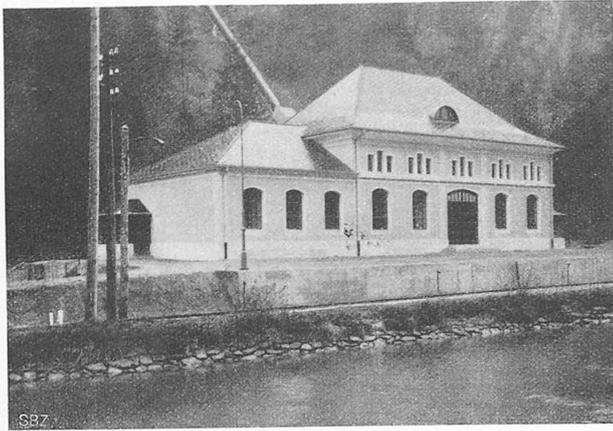


Abb. 28. Maschinenhaus; vorn der alte Werkkanal.

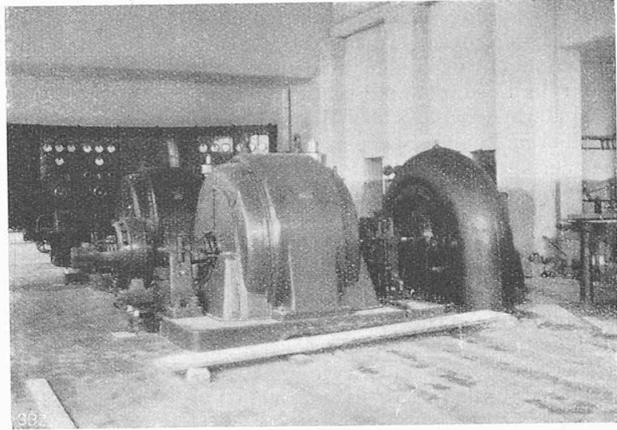


Abb. 29. Maschinensaal, während der Montage.

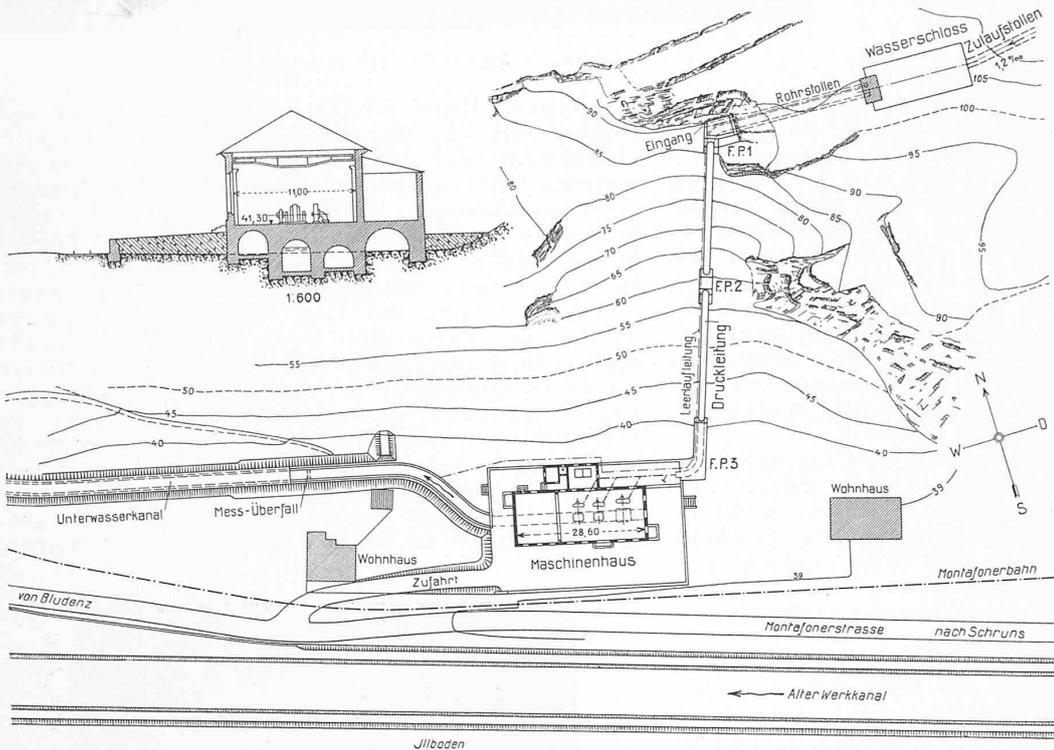


Abb. 26. Lageplan von Wasserschloss, Druckleitung und Maschinenhaus, 1:1500. — Schnitt durch Maschinenhaus 1:600.

die von Hand, sowie vom Krafthaus aus durch elektrischen Antrieb bedient werden kann, weist die Druckrohrleitung keine weiteren Abschlussorgane auf.

MASCHINENHAUS UND UNTERWASSERKANAL.

Der Maschinenfussboden, Kote 41,30, liegt 2,5 m über dem Talboden der Ill und 2 m über dem Geleise der Montafonerbahn. Maschinen- und Schaltraum ruhen auf drei, in der Längsaxe des Gebäudes nebeneinander gestellten Gewölben, von denen das mittlere als Unterwasserkanal dient, während die beiden seitlichen als Zirkulationskanäle der von den gekapselten Generatoren angesogenen frischen, bzw. ausgestossenen warmen Luft eingerichtet sind. Ein 10 m breiter, von der Montafonerstrasse aus zugänglicher Vorplatz schliesst das Maschinenhaus gegen die Bahnlinie ab (Abbildung 28). An den Maschinenraum von 19 × 11 × 7 m im Lichten schliesst sich der Schaltraum von 11 × 9,2 × 3,8 m an. Vor dem Schaltraum erhebt sich 50 cm über dem Maschinenfussboden ein Podium, auf dem die im Grundriss eingebogene Schutzwand aus schwarzem Marmor aufgestellt ist (Abb. 29). Neben

den beiden in Betrieb stehenden Maschinen-Aggregaten ist der Raum für eine dritte Maschinengruppe vorhanden.

Der in den Talboden eingelassene und mit befahrbarer Decke aus armiertem Beton versehene Unterwasserkanal erreicht dem Bergfuss entlang in einer Entfernung von 240 m vom Krafthaus die Alfenz neben dem Zementwerk. Beim Austritt aus dem Krafthaus ist ein Messüberfall in den Kanal eingebaut.

TURBINEN.

Es sind vorhanden: zwei Francis-Spiral-turbinen von je 1200 PS mit liegender Welle für 2 m³/sek bei 55 bis 60 m Gefälle und 750 Uml/min; Oeldruckregler und elektrische Widerstandsregler,

Patent Wolff-Voith; zwei Kugelschieber Voith. Garantierter Nutzeffekt 79% bei 2 m³/sek; 83% bei 1,43 und 77% bei 1,03 m³/sek. Diese Wirkungsgrade sind bei den Abnahmeprobe durchwegs, zum Teil sogar wesentlich überschritten worden. Hierbei wurden die Triebwassermengen aus den Stichhöhen des Messüberfalles nach den Formeln von Rehbock und Frese bestimmt.

ELEKTRISCHER TEIL.

Zwei Drehstrom-Generatoren von 1200 kVA Dauerleistung bei cos φ = 0,8 bis 1,0 und 3800 V Betriebsspannung, 750 Uml/min, 50 Perioden, fest gekuppelt mit den Turbinen, in vollkommen gekapselter Ausführung. Kühlluftmenge bei Vollast 315 m³/h.

Garantierte Wirkungsgrade bei $\frac{1}{4}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{1}{4}$ Last und cos φ = 0,8 93,2 92 89,2 81,3 %

Bei den Abnahmeprobe sind auch diese Wirkungsgrade eingehalten worden. Die Generatoren haben sowohl die Spannungsprobe mit 6600 Volt, als auch die Erhöhung der Umlaufzahl auf das 1,8-fache anstandslos ausgehalten.

Die Schaltanlage enthält die nötigen Schalt-, Sicherungs- und Messeinrichtungen für die Generatoren und für die abgehenden Leitungen nach den beiden Zementwerken in Lorüns und Ludesch und für den spätern Anschluss des Werkes an die Vorarlberger Landes-Sammelschiene. Sämtliche Verbindungsleitungen zwischen den Generatoren und der Schaltanlage sind in Bleikabeln, jene zwischen den einzelnen Schaltfeldern in isoliertem Draht und offen gelegt. Die Schaltfelder-Apparate sind in Zellen aus Zementplatten untergebracht. Die Stationsbeleuchtung, sowie die verschiedenen Hilfsmotoren der Zentrale und des Wasserschlosses sind an einen Stationstransformator 3800/210 Volt angeschlossen.

AM BAU BETEILIGTE FIRMEN.

Projektierung und Bauleitung des ganzen Werkes Ingenieurbureau A. Sonderegger, St. Gallen; dessen Vertreter auf der Baustelle Ing. Conrad Hew von Klosters. Ausführung des gesamten baulichen Teiles in Regie durch die Zivilingenieure Innerebner & Mayer, Bauunternehmung, Innsbruck. Turbinen und Kanalschützen von J. M. Voith, St. Pölten; ein Generator und die Schaltanlage von den Oesterreichischen Brown-Boveri Werken, Wien; ein Generator, die Kabelleitungen und einige weitere Teile der elektrischen Anlage von der A. E. G.-Union, Wien; elektrischer Wasserstandsfernmelde-Apparat von F. Rittmeyer, Zug (Schweiz); Laufkran von Waagner-Biro, A.-G., Wien; Druckrohrleitung von Waagner-Biro und von Kurz in Graz; Abschlusschütze der Druckrohrleitung im Wasserschloss von der Gesellschaft der v. Roll-schen Eisenwerke, Giesserei Bern; Segmentschützen von der Stauwerke A.-G., Zürich; Entsandungsanlage von Ingenieur H. Dufour, Lausanne. Experte für den maschinellen Teil war Prof. Ing. Max Beck in Innsbruck.

Die Bauarbeiten wurden im Mai 1924 begonnen. Der erste Stollendurchschlag erfolgte im Oktober des gleichen, der letzte im Februar des folgenden Jahres. Schon im Oktober 1925 konnten die Segmentschützen erprobt und im Dezember der Stollen erstmals unter Druck gesetzt werden. Nach den Abnahmepробen der Maschinen konnte am 6. Januar 1926 der regelmässige Betrieb aufgenommen werden.

ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN.

Nachdem die Maschinen ein halbes Jahr lang ohne Unterbrechung den Dienst versehen hatten, bot sich im Juli 1926 bei Anlass einer kurzen Betriebseinstellung des Zementwerkes Gelegenheit, auch das Kraftwerk abzustellen. Der Zeitpunkt der Revision war umso geeigneter, als die Alfenz in den sehr nassen Monaten Mai und Juni grosse Wassermengen mit sich gebracht hatte, sodass vor allem die Frage interessierte, in welchem Zustand sich der Stollen befände.

Mit der Revision bei der Wasserfassung beginnend, bestätigte es sich zunächst, dass die Segmentschützen sich jederzeit mit Hilfe einer einfachen Schiebermanipulation auch zwangsweise leicht öffnen und schliessen lassen. Die angeschwollene Alfenz warf das vor dem Wehr abgelagerte Geschiebe in grossen Mengen durch die frei gewordene Oeffnung der hoch gedrehten linken Segmentschütze. Im Abschnitt des Zulaufkanals vom Einlaufrechen bis zum Entsander war die Sohle mit einer 20 cm dicken Schlamm- und Sandschicht bedeckt, die jedoch durch die Leerlauf-Schützen ohne manuelle Nachhilfe ausgespült werden konnte. Die eine der beiden Kammern der Entsandungsanlage befand sich in vollständig sauberem Zustand, wogegen die andere Kammer, deren Spülschieber zwei Tage vorher versuchsweise absichtlich geschlossen worden war, mehr als 1 m tief mit feinem Sand und Schlamm angefüllt war. Eine Spülung mit etwa 0,3 m³/sek Wasser genügte aber auch hier, um die Kammer innert zwei Stunden vollkommen

VOM BAU DES PALMERHOUSE IN CHICAGO.

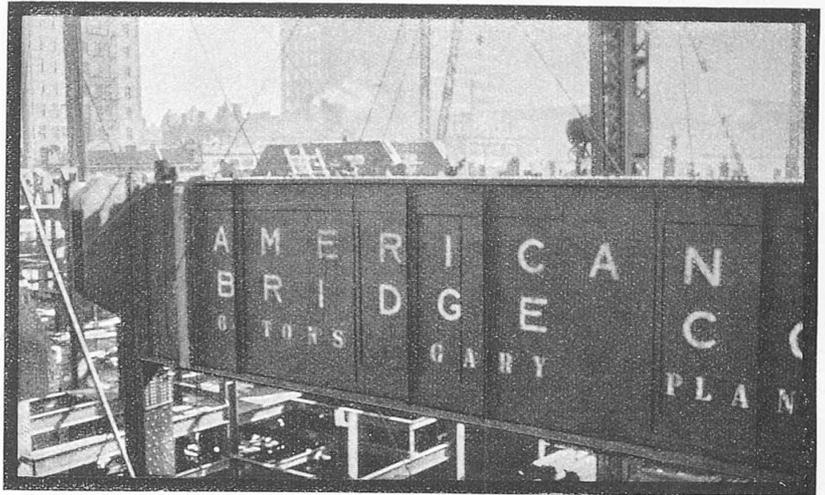


Abb. 7. Der genietete Träger von 70 t Gewicht auf seinen Stützen versetzt.

zu reinigen. Hinter dem Entsander bis zum Ueber- und Leerlauf beim Stolleneingang zeigte der bis zu diesem Punkte nicht unter innerem Druck stehende und ein erweitertes Profil aufweisende Kanalabschnitt stellenweise Schlammansammlungen, die ohne Zweifel durch die vorhin genannte, ausser Spülwirkung gesetzte Entsandungskammer in den Kanal gelangt waren. Durch die aufgezugene Leerlauf-Schütze beim Stolleneingang konnten diese Ablagerungen aber leicht und rasch aus dem Kanal gespült werden. Der Stollen selber wurde in sandfreiem Zustand angetroffen, woraus die Wirksamkeit der Entsandungsanlage und die Zweckmässigkeit des erweiterten Profils des obren Kanalabschnittes in überzeugender Weise hervorgeht. Im Wasserschloss endlich hatte sich an der Sohle eine 20 cm hohe Schlamm- und Sandschicht abgelagert, deren Ausspülung indessen durch die Leerlaufleitung des Schlosses in den Unterwasserkanal rasch und leicht vonstatten ging. Am Abend des gleichen Tages konnte der Betrieb wieder aufgenommen werden.

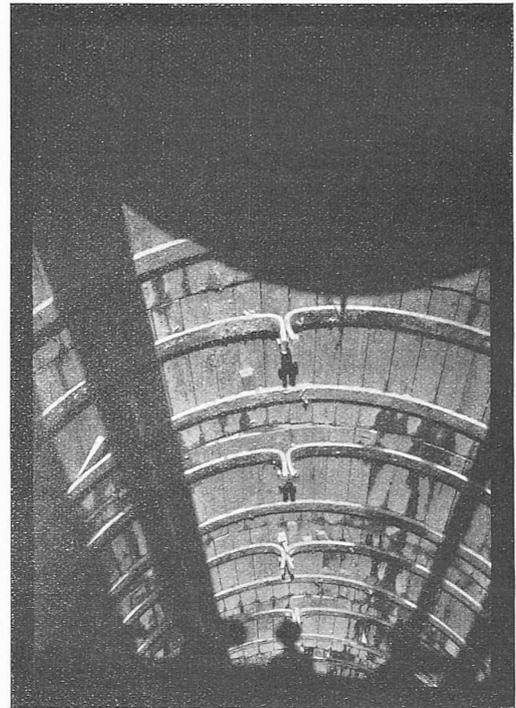


Abb. 6. Blick in einen der grossen Gründungsbrunnen.

mit der Bedingung, dass für $\eta = 1$ der gegebene Temperatur-Unterschied Θ erreicht werde, d. h. $\Theta = \Theta_1 + \Theta_2$ oder $\Theta_2 = \Theta - \Theta_1$ somit

$$\partial_{11} = \Theta - \Theta_1 (1 - \eta^{1/2}) \dots (98b)$$

Bis zur Wand, d. h. $\eta = 0$ fortgesetzt, erhalte man für die absolute Temperatur den Betrag

$$T_w' = T_w + \Theta_2 = T_w + \Theta - \Theta_1 \dots (98c)$$

und dieser entspricht die Schubspannung

$$\tau_w' = \eta' \rho' U^2 \left(\frac{\nu'}{U \Delta^*}\right)^{1/4} \dots (99)$$

wobei $\rho' \nu'$ sich auf T_w' beziehen. Die neue Schichtendicke Δ^* wird angenähert wieder aus (93c) gewonnen, worin jedoch die Integrale (93a) (93b) nicht auf T_w sondern auf T_w' bezogen werden müssen, d. h. an Stelle von χ die Grösse

$$\chi' = \frac{\Theta_1}{T_w'} \dots (99a)$$

zu setzen ist. Wollte man genauer vorgehen, so müsste zwischen $\eta = 0$ und $\eta = \eta_1$ mit linearem Verlauf der Geschwindigkeit integriert werden. Im andern Falle ist es erlaubt, den Beiwert ψ_0' in Gl. (95) gemäss Gl. (96) mit χ' nach Gl. (99a) zu berechnen.

Die erste der zu erfüllenden Bedingungen, d. h. die Gleichheit der Schubspannungen lautet mithin, wenn man die Mittelwerte zwischen $\eta = 0$ und $\eta = \eta_1$ durch Ueberstreichen der Buchstaben bezeichnet:

$$\bar{\rho} \bar{\nu} \frac{\tau_w'}{\Delta_1} \cong \tau_w' \dots (99b)$$

Die Gleichheit der Temperaturen wird durch die Beziehung

$$a \eta_1 = \Theta_1 \eta_1^{1/2} + \Theta - \Theta_1 \dots (100)$$

ausgesprochen. Die Gleichheit der aus der turbulenten in die laminaire Schichte übergehenden Wärmemenge fordert

$$q_1 = g c_p \tau_w' \frac{\Theta_1}{U} = \bar{\lambda} \frac{\partial \Theta_1}{\Delta_1} = \frac{\bar{\gamma} c_p \bar{\nu}}{\bar{\sigma}} \frac{a \eta_1}{\Delta_1^*} \dots (101)$$

Aus (99) bis (101) sind zu bestimmen Δ_1, a, Θ_1 . Wir schieben a aus (100) in Gl. (101) ein und erhalten die Zwischenauflösung

$$\Theta_1 = \frac{\Theta}{1 + (\bar{\sigma} - 1) \eta_1^{1/2}} \dots (102)$$

Somit ist die an die Wand übergehende Wärme, angenähert als gleich gross wie q_1 in Gl. (101) aufgefasst:

$$q_0 = \frac{g c_p \tau_w' \Theta_1 U}{1 + (\bar{\sigma} - 1) \eta_1^{1/2}} \dots (103)$$

Bei technischen Gasen wird man im Mittel $\bar{\sigma} = 1$ setzen dürfen, wodurch $\Theta_1 = \Theta$ wird, somit τ_w' in τ_w gemäss Gl. (91) übergeht. Dies bedeutet, dass die übergehende Wärmemenge mit derjenigen, die einer rein turbulenten Grenzschichte (d. h. Gl. 97a) entspricht, übereinstimmt.

Ist $\bar{\sigma}$ von 1 verschieden, so verursacht die Auflösung grosse Umständlichkeiten. Die Temperatur Θ_1 ist dann in $\chi', \Delta^*, \nu', \rho', \bar{\sigma}, \eta_1$ enthalten. Die zu einem frei gewählten Abstand x zu bestimmenden Grundgrössen sind $\Theta_1, \Delta_1, \Delta^*, a$; die zur Verfügung stehenden Gleichungen: (95), (99), (100), (101). Die Auflösung kann offenbar nur auf dem Wege des Probierens erfolgen. Dabei darf nicht übersehen werden, dass am Anfang der Platte die Grenzschichte rein laminar verläuft und dass unsere Formeln nur für kleine Werte von η_1 gelten.

Nachtrag zum Wärmeübergang bei veränderlicher Grundströmung.
(Zum Aufsatz auf Seite 193 vom 9. April).

Obschon bei den Beobachtungen von Dönch die Geschwindigkeit trotz Beschleunigung der Grundströmung überall das $1/3$ -Gesetz, also $n = \text{konst.}$ einzuhalten scheint, wird bei grössern Beschleunigungen eine Verformung der Geschwindigkeitskurve¹⁾ zu erwarten sein, die man in erster Näherung durch Einführung von n in der Grundformel

$$u = U \eta^{1/n} \text{ mit } \eta = y/\Delta \dots (104)$$

¹⁾ Ich verdanke Dr. J. Ackeret diesen Hinweis und die Mitteilung, dass bereits Beobachtungen hierüber vorliegen. Nachträglich bemerke ich, dass meine eigenen Versuche in „Dampf- und Gasturbinen“ (V. Aufl., S. 53, Abb. 34 und 35) denselben Gegenstand betreffen und bereits gewisse Einblicke gewähren.

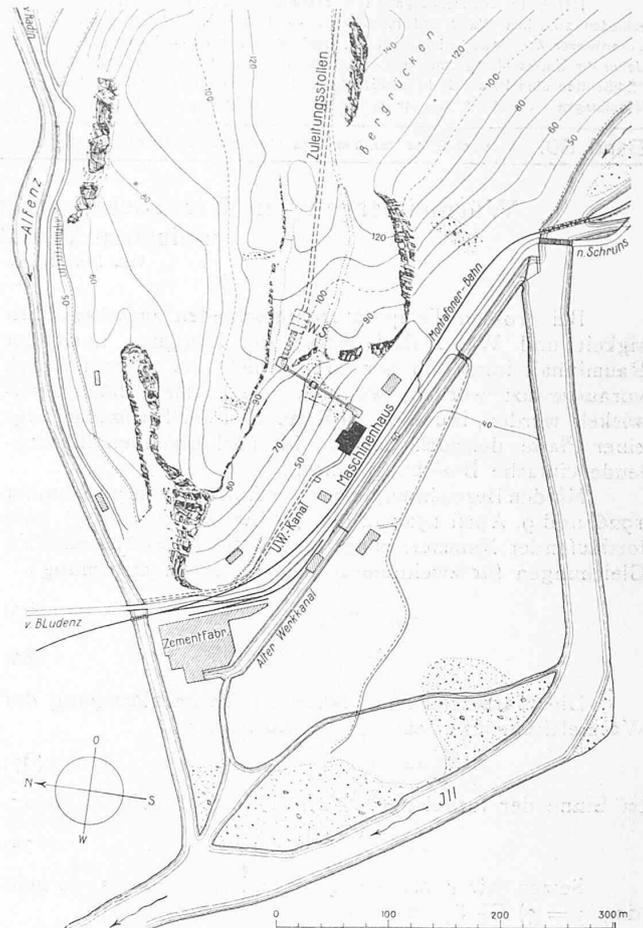


Abb. 22. Lageplan des Kraftwerks samt Umgebung. — Masstab 1 : 6000.

als einer Funktion der Weglänge x zum Ausdruck bringen kann. Bei einer Verzögerung findet schliesslich Ablösung mit Rückströmung statt, und für die Geschwindigkeitsfunktion müsste eine gar verwickelte Form gewählt werden. Nach (104) wird mit $\partial n'/\partial x = n'$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = U' \eta^{1/n} - \frac{U}{n} \eta^{1/n} \frac{\Delta'}{\Delta} - U \eta^{1/n} \text{Ign}(\eta) \frac{n'}{n^2} \dots (105)$$

Um den berichtigten Wert der Schubspannung an der Wand abzuleiten ist $\partial \tau'/\partial y$ zu bilden, was am bequemsten an Hand der Grundgleichung (36) geschieht, und für $\eta = 1$ im Sinne des fraglichen Aufsatzes auf die Bedingung

$$\frac{\Delta'}{\Delta} > -\frac{U'}{U} - \frac{n'}{n(n+1)} \dots (106)$$

führt. Die Differentialgleichung der Grenzschichte lautet, nachdem die Integrationen durchgeführt worden sind,

$$\frac{\partial}{\partial x} \rho U^2 \Delta \frac{n}{n+2} - U \frac{\partial}{\partial x} \rho U \Delta \frac{n}{n+1} = \rho \Delta U U' - \tau_w \dots (107)$$

$$\Delta' = -\frac{3n+2}{n} \frac{U'}{U} \Delta + \frac{(n^2-2)n'\Delta}{n(n+1)(n+2)} + \frac{(n+1)(n+2)}{n} \frac{\tau_w}{\rho U^2} \dots (108)$$

durch dessen Einschleiben in (106) sich ein unterer Grenzwert für τ_w ergibt. Die Wiederholung des gleichen Gedankenganges wie im fraglichen Aufsatz führt auf den Schlussausdruck

$$\tau_w = \frac{2}{n+2} \rho \Delta U U' - \frac{n \Delta \rho U^2 n'}{(n+1)(n+2)^2} + \tau_0 \dots (109)$$

mit

$$\tau_0 = B^{n+1} \rho U^2 \left(\frac{\nu}{U \Delta}\right)^{2n+1} \dots (110)$$

Sowohl n wie n' sind offenbar Abhängige von U, U' . Auf weitere Diskussion, insbesondere die Bestimmung der durchgehenden Wärme einzugehen, hat keinen Sinn, bevor jenes Abhängigkeitsgesetz durch den Versuch ermittelt worden ist.