

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93/94 (1929)
Heft: 7

Artikel: Die kombinierten Kraftwerke Klosters-Küblis und Davos-Klosters der Bündner Kraftwerke
Autor: Moor, Rob.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-43297>

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: 06.02.2025

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

INHALT: Die kombinierten Kraftwerke Klosters-Küblis und Davos-Klosters der Bündner Kraftwerke. — Wohnhäuser am Sonnenhügel, Glarus. — Gewerbliche und industrielle Bauten. — Bedienstungslose Wasserkraftanlagen. — Mitteilungen: Autobus und Eisenbahn in den U. S. A. Ausfuhr elektrischer Energie. Neue Kohlenstaub-Lokomotive. Betondecken-Versuchstrecke auf der Berliner Avusbahn. Ausstellung

neuzeitlicher Schlosserarbeiten in Bern. Universität Zürich. Der Deutsche Beton-Verein. — Wettbewerbe: Ueberbauung des Hübeliareals in Olten. Erweiterung des Greisen-Asyls St. Josephsheim bei Leuk. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine: Section genevoise. Sektion Bern. Technischer Verein Winterthur. S. T. S.

Band 93.

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

Nr. 7

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

Von ROB. MOOR, konsultierender Ingenieur, Zürich.

(Schluss des II. Teils von Seite 56.)

Die Fassung am Davosersee liegt am oberen Ende des Ostufers. Sie besteht aus einem Einlauf- und Rechenbauwerk, dem Verbindungstollen und der Absperrkammer mit Steigschacht und Bedienungshaus (Abb. 60); die Einlaufschwelle auf Kote 1530,06 liegt rund 4 m unter dem konzessionsmässig tiefsten Seespiegel. Da eine Verunreinigung durch Schwemmsel nicht zu befürchten ist, wurde eine allfällige Reinigung des Rechen nur bei tiefstem Seestande vorgesehen. Um bei möglicher Beschränkung der Bauabmessungen eine grosse Rechenfläche zu erhalten, ist auch der Reinigungsboden auf Kote 1535,16 durch Rechen abgedeckt. Der Rechen hat eine gesamt Fläche von 41 m² und besteht aus Flacheisenstäben 7/60 mm, mit 15 mm lichter Weite zwischen den Stäben. Beim Durchfluss der maximalen Entnahmemenge von 8,85 m³/sek (Seestand 1539,2), wird die Wassergeschwindigkeit zwischen den Rechenstäben 0,32 m/sek betragen. Um zur Vornahme von Reparaturen die Rechen vom Wasser absperrn zu können, sind in den Flügelmauern Dammbalkennuten angebracht und die Mauern durch einen armierten Betonsteg gegeneinander ausgesteift. Das Einlaufbauwerk ist in blockiger Moräne fundiert; die

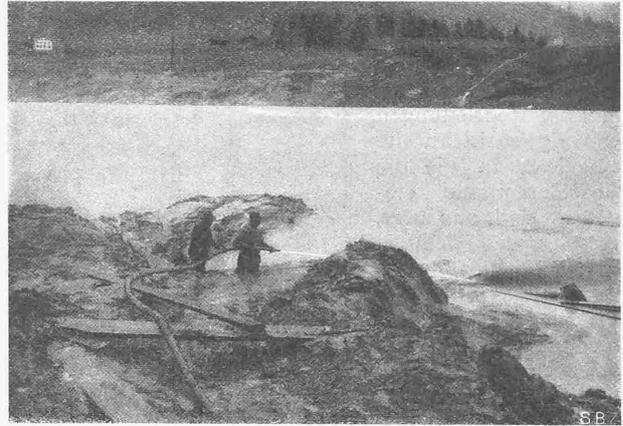


Abb. 61. Fassung am Davosersee. Abspülen des Lehmes vor dem Einlauf. (13. Oktober 1923).

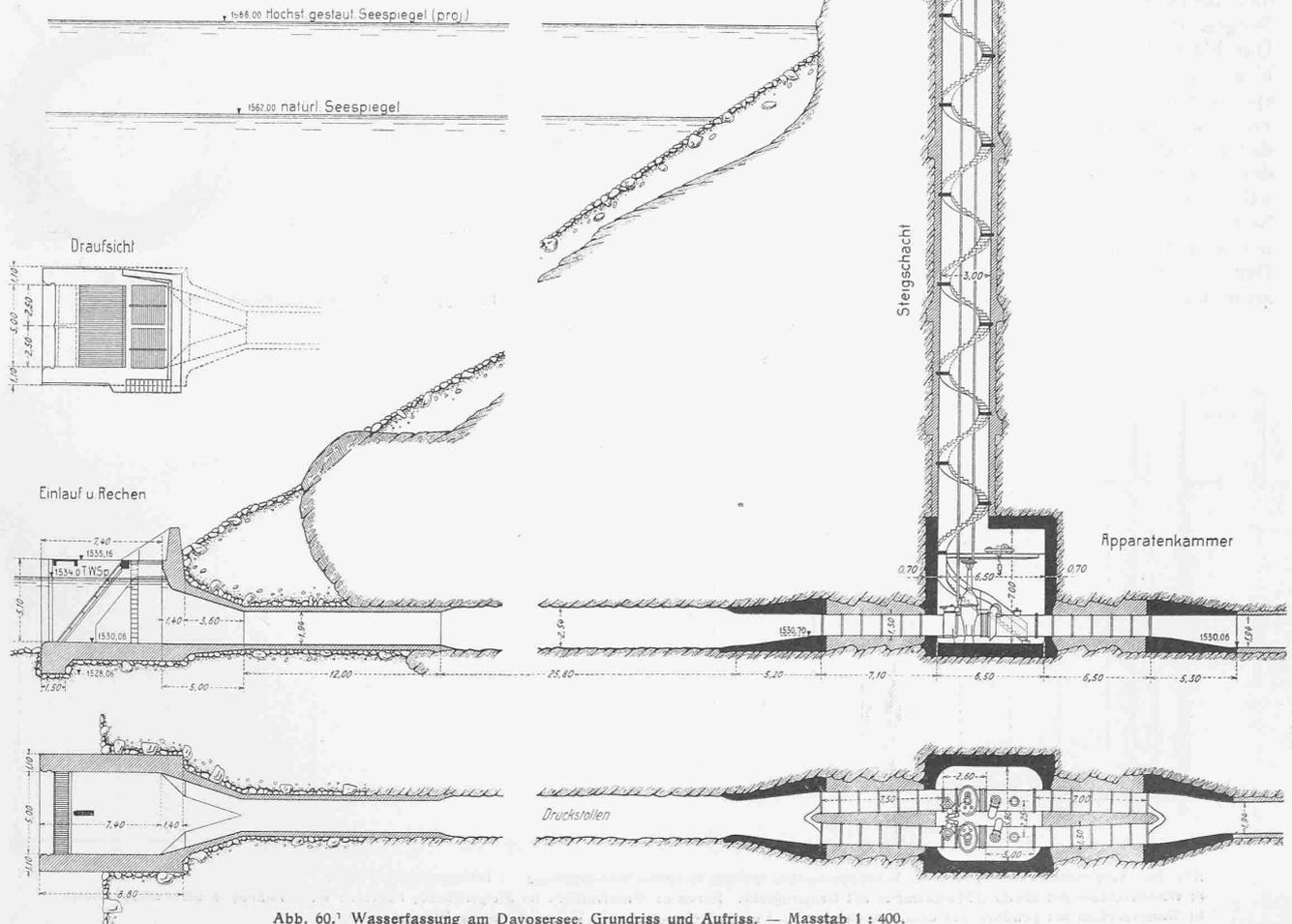


Abb. 60. Wasserfassung am Davosersee; Grundriss und Aufriss. — Masstab 1 : 400.

mächtige, auf der Moräne liegende Schicht Seekreide rutschte bei der Seeabsenkung grossenteils ab, der Rest wurde mit Druckwasser abgespült (Abb. 61). Der an den Einlauf anschliessende Verbindungstollen ist kreisrund und durchfährt noch auf 12 m Länge die Moräne, sodann auf weitere 30 m den gesunden Dolomit, wo er keine Verkleidung erhielt. In der Abschlusskammer ist der Stollen in zwei Rohrleitungen von 1,30 m Lichtweite aufgelöst, in die die Abschlussorgane eingebaut sind, und zwar, seeseitig beginnend, je eine Drosselklappe mit vertikaler Welle, ein Schieber, einseitig dichtend, ein Expansionsstück und das Belüftungsventil; in beiden Leitungen ist bergseitig ein Mannloch angebracht. Der Antrieb der Abschlussorgane erfolgt durch ein Gestänge vom Boden des Bedienungshauses aus, der auf Kote 1576,70 liegt; die zur Aufstellung der Apparate notwendige Kammer und der Zugangschacht sind im Felsen ausgesprengt. Wegen der teilweisen Durchlässigkeit des Gebirges musste die Absperrkammer für den vollen äusseren Wasserdruck bemessen werden, es wurden deshalb Kammerwände, Sohle und Deckengewölbe kräftig armiert. Der Steigschacht ist 40 m hoch, kreisrund,

mit lichter Weite von 3,00 m; er ist vollständig mit Beton ausgekleidet. Schacht und Absperrkammer wurden schon vor Beginn der Seeabsenkung abgeteuft und ausbetoniert, um den Druckstollen auch von hier aus vortreiben zu können; der Durchschlag gegen den See hin erfolgte erst nach beendeter Absenkung des Sees.

Für den Druckstollen kam, sowohl aus geologischen wie aus topographischen Gründen, einzig der östliche Hang des Laretertales in Frage, wobei der Bergsturz von Drusatscha in grossem Bogen umfahren werden musste. Der Druckstollen misst zwischen dem Absperrschacht am Davosersee und dem Wasserschloss 4922 m. Die Bodengestaltung bot erst in der Kreuzung mit dem Mönchalptal die Möglichkeit zur Anlage eines Fensterstollens, das oberste Teilstück ist daher 3050 m lang, während das untere Stollenstück eine Länge von 1972 m erhielt, die zudem durch ein Schutterungsfenster nochmals unterteilt werden konnte.

Die geologischen Verhältnisse im Zuge des Druckstollens sind sehr kompliziert, sieben verschiedene Gesteinsarten wurden durchfahren. Im oberen Teil, zwischen Fassung und Mönchalptal, wurden hauptsächlich Orthogneis, Paragneis und auf kurze Strecken Dolomit angetroffen; das Gebirge zwischen Mönchalpfenster und Wasserschloss besteht hauptsächlich aus Dolomit, Verucano, Paragneis, kaolinreichen kristallinen Schiefen, Granit, Serpentin mit Tonschieferlagen, rotem Hornstein und Kalk.

Bei der Bestimmung der Profiltypen sind die beim Bau des Stollens Klosters-Küblis gemachten Erfahrungen verwertet worden. Auch bei diesem Stollen wurde durch vergleichsweise Berechnung einer Reihe von Durchmesser der wirtschaftlichste ermittelt; das Optimum für das Doppelmantelprofil entsprach ziemlich genau einer Wassergeschwindigkeit von 3 m/sek. Auf der oberen Strecke haben Versuche gezeigt, dass das Gebirge wasserdicht ist. Da es

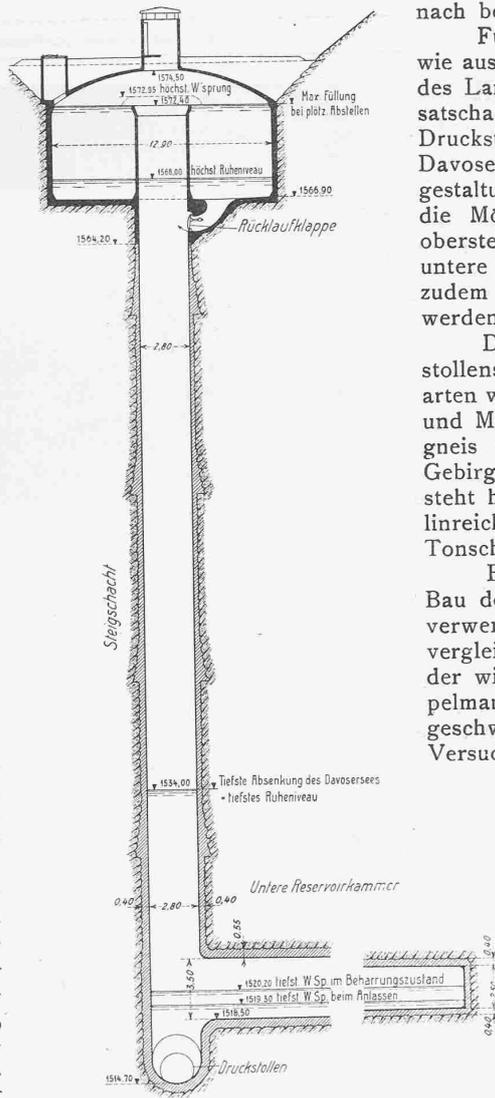


Abb. 64. Wasserschloss Klosters, Schnitt 1:400.

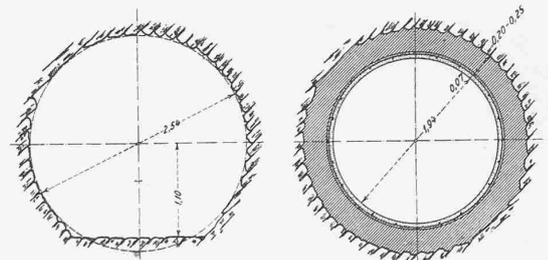


Abb. 62, 63. Profiltypen des Druckstollens Davos-Klosters.

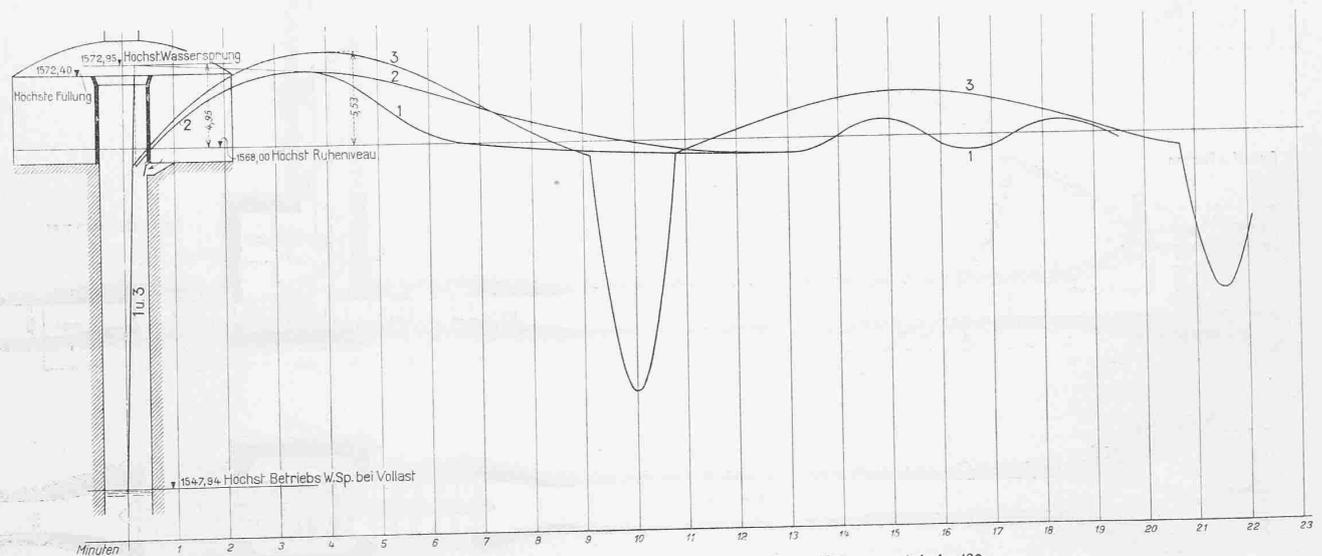


Abb. 65. Vergleichende Darstellung der Wasserspiegelbewegungen in einem Wasserschloss. — Höhenmasstab 1:400. a) Wasserschloss mit oberer Abfangkammer mit Ueberfallrohr. Kurve 1: Wasserstände im Steigschacht; Kurve 2: Wasserstände in der Abfangkammer. b) Wasserschloss mit gewöhnlicher oberer Kammer ohne Ueberfallrohr. Kurve 3: Wasserstände im Wasserschloss.

DAS KRAFTWERK DAVOS-KLOSTERS DER A.-G. BÜNDNER KRAFTWERKE

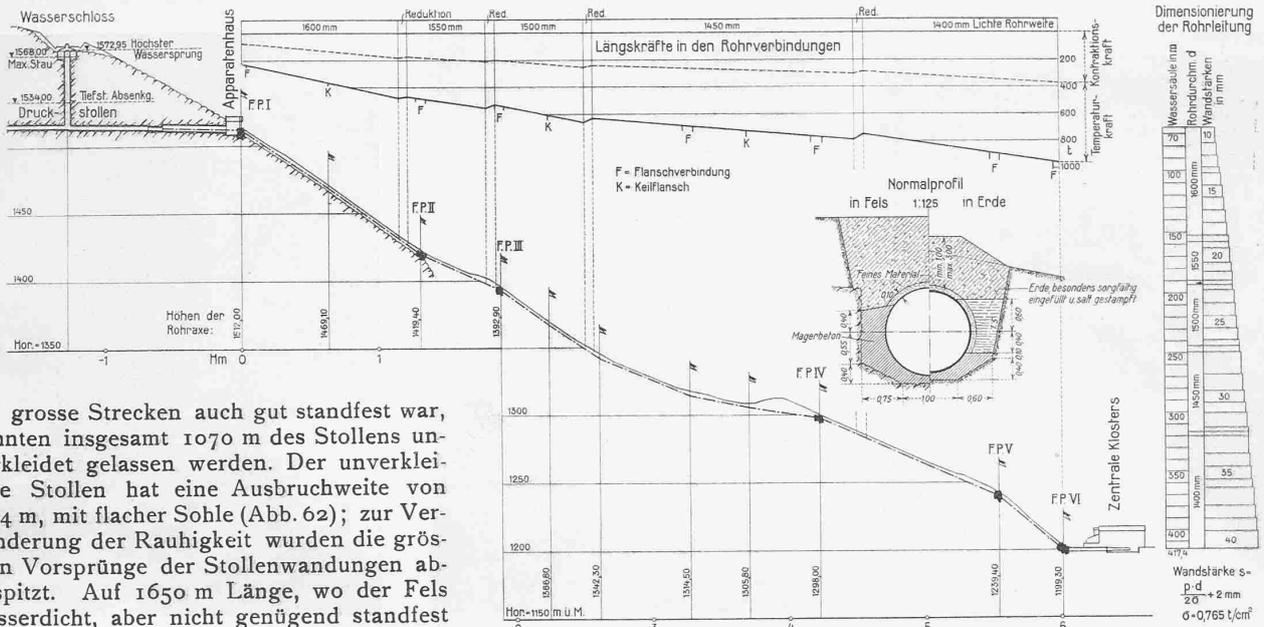


Abb. 66. Längenprofil der Druckleitung der Zentrale Klosters. — Masstab 1 : 5000.

auf grosse Strecken auch gut standfest war, konnten insgesamt 1070 m des Stollens unverkleidet gelassen werden. Der unverkleidete Stollen hat eine Ausbruchweite von 2,54 m, mit flacher Sohle (Abb. 62); zur Verminderung der Rauigkeit wurden die grösseren Vorsprünge der Stollenwandungen abgespitzt. Auf 1650 m Länge, wo der Fels wasser dicht, aber nicht genügend standfest ist, wurde das gemauerte Profil angewendet; der Querschnitt ist kreisrund und hat eine lichte Weite von 2,08 m. Der Betonmantel wurde hinter glatter Schalung gegossen, in Stärken zwischen 21 und 25 cm, je nach der Gebirgsbeschaffenheit. Ein Doppelmantelprofil mit innerem, 7 cm starkem, armiertem Gunitring weist eine Lichtweite von 1,94 m auf (Abb. 63). Ohne den innern Ring entspricht es dem vorhin beschriebenen, gemauerten Profil. Die Stollenarmierung ist ohne Mitwirkung des Beton- und Gunitmantels für eine Zugspannung von 1500 kg/cm² berechnet. Dieser Typ wurde im gebräuchlichen und wasserdurchlässigen Gebirge des untern Stollenteiles auf eine Länge von 1430 m verwendet. Auf 510 m Länge genügte das einfache Gunitprofil mit einer Ausbruchweite von 2,54 m und etwa 2 cm starkem Gunitanwurf. Endlich wurden auf etwa 320 m Länge nur Stollenwandung und Calotte betoniert und die Sohle unverkleidet gelassen.

Der Druckstollen erhielt ein Baugefälle von 3 ‰; die Sohle liegt beim Schacht der Seefassung auf Kote 1530,06 m ü. M., im Wasserschloss auf Kote 1515,21. Der grösste statische Wasserdruck, an der Stollensohle gemessen, beträgt bei der Fassung 38 m, im Wasserschloss 53 m, bzw. 58 m beim höchsten Wassersprung. Zur Bestimmung der Profiltypen wurde dieser Druckstollen ebenfalls abschnittsweise abgepresst; eine letzte Abpressung erfolgte nach Fertigstellung des Baues, wobei ein Gesamt-

verlust von 25 l/sek festgestellt wurde. Das Wasser entwich grossenteils durch eine Querfuge oberhalb des Wasserschlosses; die Querfuge wurde dann durch Holzkeile abgedichtet und es dürfte nachher der Wasserverlust auf etwa die Hälfte gesunken sein. Bei der Abpressung des 3 km langen, grossenteils unverkleideten Stollens zwischen Seefassung und Fenster Mönchalp, konnten s. Z. keine messbaren Wasserverluste beobachtet werden.

Vom obern Teilstück wurden 968 m vom Schacht am Davosersee aus vorgetrieben, vom Fenster Mönchalp aus 1932 m aufwärts, sowie die ganze Strecke von 1972 m abwärts bis zum Wasserschloss. Zur Anfuhr der Baumaterialien wurde zwischen dem Fenster Mönchalp und der Rhätischen Bahn auf der gegenüberliegenden Talseite eine Luftseilbahn von 10 t Stundenleistung gebaut, mit einer freien Spannweite von etwa 290 m. Am Fenster Mönchalp waren grosse Kies- und Sandsilos, Werkstätten für die Handwerker, zwei Kompressoren und zwei Ventilatoren aufgestellt. Bemerkenswert ist die Absteckung des Stollens für den Vortrieb vom Schacht am Davosersee aus, mittels einer Richtlänge von nur 1,80 m, die zwischen den Wangen der Wendeltreppe auf die Schachtsohle projiziert werden konnte. Dabei erfolgte der Durchschlag der 2900 m langen Stollenstrecke bis zum Fenster Mönchalp auf genau ein Drittel der Vortriebslänge vom See-Schacht aus mit einer seitlichen Axenabweichung von nur 76 mm, also eine sehr beachtenswerte Genauigkeit der durch Prof. F. Bäschlin (E. T. H. Zürich) kontrollierten Absteckung.

Die Fassung am Davosersee und der Druckstollen, bis auf einige Ergänzungsarbeiten, sind von der Bauherrschaft in eigener Regie ausgeführt worden.

Das Wasserschloss besteht auch bei diesem Werk aus einer untern Reservoirkammer, einem Steigschacht und einer obern Abfangkammer nach dem System des Verfassers (Abb. 64). Die untere Kammer wird durch einen Querstollen von 71 m Länge und kreisrundem Querschnitt gebildet, die lichte Weite nimmt von 3,50 m beim Steigschacht auf 2,50 m an seinem hintern Ende ab; gegen den Steigschacht hin fällt die Sohle 4,3 ‰ an, während der Scheitel mit 10 ‰ ansteigt. Der Steigschacht von 2,80 m Ø ist als zentrales Ueberlaufrohr 5,50 m hoch in die obere Abfangkammer geführt, die Ueberfallkrone liegt auf Kote 1572,40; von der Sohle der Rechenkammer bis zur Ueberlaufkrone misst der Steigschacht 57,5 m. Die

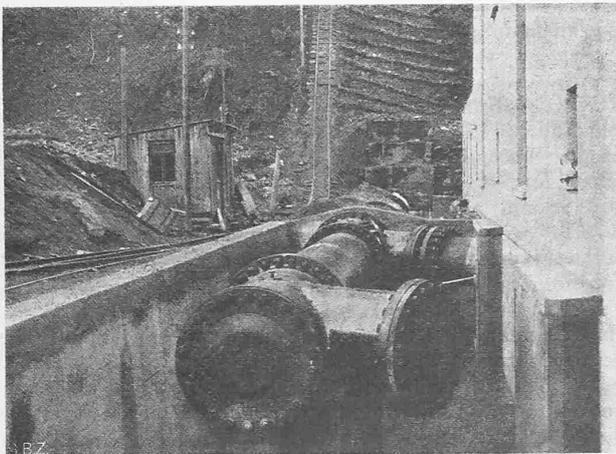


Abb. 73. Verteilung der Zentrale Klosters (20. Oktober 1925).

DAS KRAFTWERK DAVOS-KLOSTERS DER A.-G. BÜNDNER KRAFTWERKE.

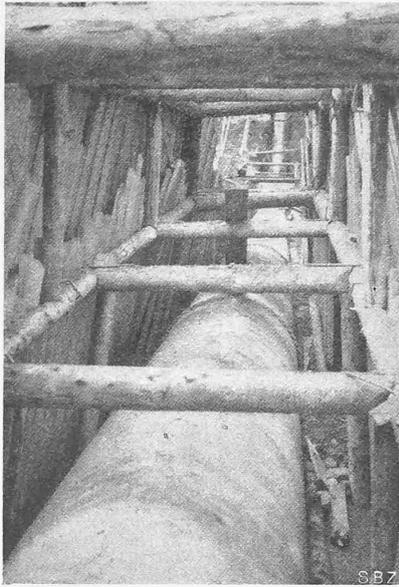


Abb. 67. (15. Juli 1925).



Abb. 68. (15. Juli 1925).

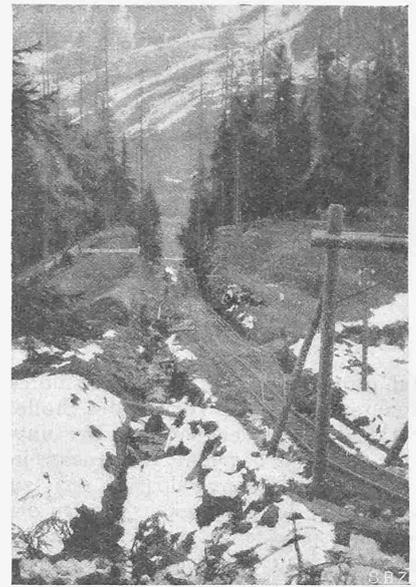


Abb. 69. (30. April 1925).

obere Reservoirkammer hat zylindrische Form von 12,90 m Durchmesser und ist mit einer Kuppel überdeckt, in deren Scheitel ein Lüftungsturm angeordnet ist, der zugleich als Zugang für die Materialtransporte nach dem Stollen dient; ein Einstieg zur Reservoirkammer befindet sich ferner am äusseren Rande der Kuppel. Die Kammersohle liegt 1,10 m unter dem höchst gestauten Seespiegel, beim Anlassen der Turbinen wird sich aber die Kammer entleeren, noch bevor ein grösserer Wassersprung ausgelöst werden kann. Durch eine mit Rückschlagklappe versehene Bodenöffnung fliesst das Wasser in den Steigschacht zurück.

Der Standort des Wasserschlosses war namentlich durch die geologischen Verhältnisse gegeben, da gegen die Apparatenkammer hin das Gebirge gebräucher wird. Der gewählte Standort erlaubte, noch die obere Kammer im Tagbau zu erstellen. Die Rechenkammer, die untere Reservoirkammer und der Steigschacht bis Kote 1564,20 erhielten einen äusseren Betonmantel mit innerem, einfach armiertem Gunitring, der Steigschacht über Kote 1564,20 und die obere Kammer sind in armiertem Beton ausgeführt. Der Nutzraum beider Kammern ist, wie üblich, für plötzliches Abstellen bei Vollast bzw. Anlassen auf Vollast bemessen worden.

Vergleichsweise sind die Wasserspiegelbewegungen für zwei Wasserschlösser mit gleichem Querschnitt der oberen Reservoirkammer berechnet worden, das eine weist die früher übliche Form des Zweikammer-Wasserschlosses auf, beim ändern ist das System des Verfassers mit dem beschriebenen Ueberfallrohr zugrunde gelegt worden. Bei der für das Wasserschloss Klosters gewählten Form genügt für plötzliches Abstellen bei Vollast und höchstem Seestand ein Kammervolumen von 715 m³ (einschliesslich dem Inhalt des Ueberfallrohres), während ohne dieses Ueberfallrohr 860 m³ notwendig gewesen wären, was zudem noch eine um 60 cm höhere Drucksteigerung im Wasserschloss zur Folge gehabt und einen Mehraufwand an Eisen für die Stollenarmierung bedingt hätte. Interessant ist der verschiedenartige Verlauf der Wasserspiegelschwankungen nach dem höchsten Wassersprung, die mit der neuen Wasserschlossgestaltung ganz erheblich ausgeglichen werden (Abbildung 65). Ohne Abfangkammer kommt der Stolleninhalt in stark rückläufige Bewegung (Kurve 3), mit Abfangkammer dagegen fliesst das Wasser langsam in den Stollen zurück und es sinkt der Wasserspiegel im Steigschacht nur wenig unter den Ruhespiegel (Kurven 1 und 2). Dabei ist eine

richtige Bemessung der Rücklaufklappe wichtig, sie darf nicht zu gross gewählt werden.

Durch den 60 m langen Verbindungstollen fliesst das Wasser zur *Druckleitung*, die aus einem einzigen Rohrstrang besteht (Abb. 66). Das oberste Rohr ist auf 11,36 m Länge im Rohrpfropfen einbetoniert, anschliessend folgt der 46,75 m lange Rohrstollen bis zur Apparatenkammer. Die Leitungsapparate bestehen aus einer von Hand und einer automatisch bedienten Drosselklappe, dem Lufteinlassventil und einer Expansion. Die Druckleitung weist ein mittleres Gefälle von 52 % auf; die steilste Strecke liegt am untern Ende und ist 86 % geneigt. Da der Fels nur im obersten Teil auf kurze Strecken in erreichbarer Tiefe liegt, während der übrige Hang aus Moränenmaterial besteht, wurde zur Erzielung einer bessern Verteilung der Bodenbelastungen die Rohrleitung eingegraben (Abbildungen 67 bis 72). Ein weiterer Grund für diese Massnahme liegt auch im Wunsche nach Vermeidung der Frostgefahr, da das Werk als Spitzenwerk zeitweise stillsteht. Das Rohr hat am oberen Ende eine lichte Weite von 1,60 m, unten noch 1,40 m. Die Berechnung des wirtschaftlichsten Rohrdurchmessers erfolgte auf Grund einer Dauerkurve der mutmasslichen Werkbelastungen. Der Leistungsausfall, herrührend von den Leitungswiderständen, ist abhängig von der dritten Potenz der Belastungen, die massgebende

Werkbelastung wurde deshalb bestimmt zu $L_m = \sqrt[3]{\frac{\int L^3 dt}{T}}$

wobei L die veränderliche Belastung bedeutet.

Die Rohre sind aus S.-M.-Blech hergestellt und in den Nähten überlappt geschweisst; als Längsverbindungen kamen Nietmuffen und bei den Rohrkrümmern Bundflanschen zur Verwendung. Die Wandstärke der Rohre nimmt von 10 mm am oberen Ende auf 40 mm am untern Ende zu. In sechs Richtungsänderungen ist die Druckleitung durch Fixpunkte gesichert; fünf schwächere Gefällsbrüche, von denen vier nach unten konvex sind, blieben ohne Verankerungsklotze. Die Fixpunkte sind natürlich kleiner als bei einer offen verlegten Leitung, im übrigen aber ähnlich ausgebildet wie bei der Druckleitung in Küblis. Beidseitig der Rohrkrümmen sind Keilringe angeordnet, kleinere Richtungsänderungen werden zum Teil nur durch diese bewirkt. Die Rohrleitung liegt auf der ganzen Länge auf einer Betonsohle, darüber wurde um das Rohr ein Schutzmantel von feinerem Material aufgebracht und die

DAS KRAFTWERK DAVOS-KLOSTERS DER A.-G. BÜNDNER KRAFTWERKE.



Abb. 70. (30. April 1925.)



Abb. 71. (17. Juli 1925.)

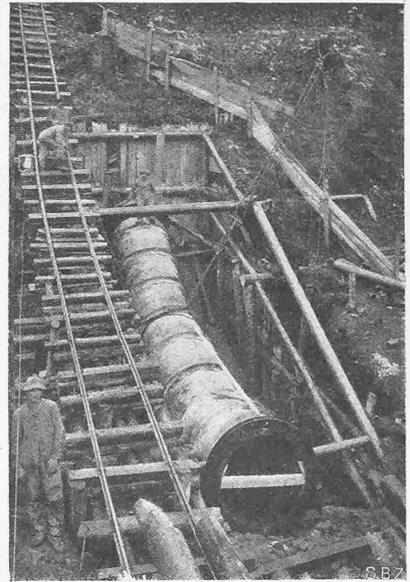


Abb. 72. (19. Oktober 1923.)

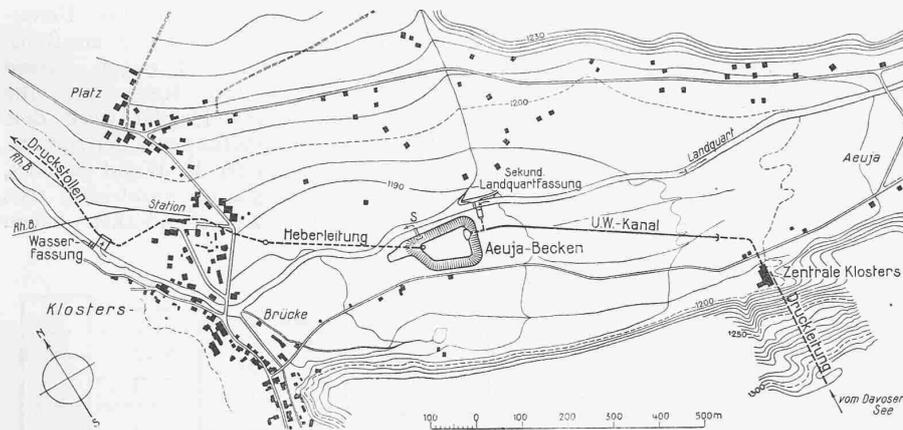


Abb. 74. Uebersichtsplan der Zentrale Klosters mit Unterwasserkanal, Ausgleichbecken Aeuja und Wasserfassung der Stufe Klosters-Küblis. — Masstab 1 : 15 000.

Erde seitlich satt eingestampft (vgl. Querschnitt in Abb. 66); die minimale Ueberdeckung des Rohres beträgt 1,0 m. Bei grösserer Ueberlagerung ist die Rohrleitung bis über den Kämpfer, teilweise auch ganz einbetoniert, um eine genügende Versteifung zu erzielen. Als Rostschutz ist ein dreimaliger heisser Teeranstrich aufgebracht worden.

Die Rohrleitung wurde so berechnet, als ob sie unverschieblich im Boden festläge. Es sind dabei folgende Kräfte berücksichtigt worden:

1. Der innere statische Wasserdruck, mit dem höchsten Wasserspiegel im Wasserschloss auf Kote 1572,95 m ü. M.;
2. Ein Zuschlag für den Wasserstoss, am untern Ende 12 ‰, am obern 8 ‰ des statischen Innendruckes;
3. Der Zug in der Längsrichtung, hervorgerufen durch die Quersammenziehung infolge der Beanspruchungen 1 und 2 (Kontraktionskraft);
4. Die Temperaturkräfte für eine maximale Temperaturdifferenz von 13 ° C über und unter Montagetemperatur;
5. Der Wasserdruck auf die Flanschenringe innerhalb der Dichtungen;
6. Die Biegungsbeanspruchung, herrührend von der Druckdifferenz zwischen Rohrscheitel und Rohrsohle;
7. Die Erdüberlagerung (Normal- u. Biegungsspannung).

Eine wichtige Massnahme ist die Anordnung der Längsschweissnähte in den Wendepunkten der elastischen

Linie (in den unter 45° geneigten Radialebenen), um nicht mit Rücksicht auf die geringere Festigkeit der Schweissnaht das ganze Rohr stärker bemessen zu müssen. Dies erlaubte, für die Schweissnaht die Zugbeanspruchungen aus den Kräften 6 und 7 zu vernachlässigen. Für die Beanspruchungen durch die Kräfte 1 bis 5 wurde die zulässige Zugspannung zu 765 kg/cm² angenommen. Wo bei Berücksichtigung aller Kräfte 1 bis 7 die Zugspannung 1000 kg/cm² überschreitet, wurden die Rohre seitlich bis 50 cm über die Rohraxe, teils auch vollständig einbetoniert, um die Biegungsspannungen herabzusetzen. Zur rechnermässigen Wandstärke wurde

noch ein Rostzuschlag von 2 mm gemacht. In Abb. 66 sind oben die Längskräfte, die durch die Rohrverbindungen aufgenommen werden müssen, graphisch dargestellt; wie ersichtlich, handelt es sich dabei um ganz beträchtliche Kräfte. Diese genauere Berechnungsart ergab gegenüber der üblichen Ausführung wesentlich stärkere Längsverbindungen; so waren z. B. für die Flanschverbindung zwischen dem untersten Fixpunktrohr und dem oberhalb liegenden 22 Schrauben 3 1/4" von 50 bis 55 kg/mm² Festigkeit erforderlich.

Für die Montage der Druckleitung ist eine provisorische Bauseilbahn erstellt worden, die nach Baubeendigung wieder abgebrochen wurde.

Der Unterwasserkanal des Werkes Davos-Klosters leitet das Wasser ins Fassungs- und Ausgleichbecken Aeuja, das auch als Pufferweiher zwischen den beiden Kraftwerken dient (Abb. 74). Die obersten 180 m des Kanales sind als Betonrohr in offener Baugrube erstellt und anschliessend 460 m bei geringerer Aushubtiefe als Trapezprofil gebaut worden. Der Rohrkanal hat 3 ‰ Gefälle und eine lichte Weite von 1,90 m und ist innen verputzt; die Wandstärke, einschl. Verputz, beträgt 27, bei grösserer Ueberlagerung 32 cm. Die offene Kanalrinne hat eine Sohlenbreite von 1,30 m und Böschungen 1 : 1. Unter dem ganzen Kanal ist eine Drainageleitung eingelegt worden, um einen Auftrieb auf die Kanalsohle zu vermeiden.