

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 91/92 (1928)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Die kombinierten Kraftwerke Klosters-Küblis und Davos-Klosters  
**Autor:** Moor, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-42615>

### **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:** 09.01.2026

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

unseren Beispielen wurde z. B. durchwegs  $B_2 = 1,0$  gesetzt), genügen für diesen Zweck die vier Bedingungsgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} A_1 + B_1 Y_a \left| \begin{array}{c} J_a + A_2 A_a + B_2 B_a = 0 \\ J'_a + A_2 A'_a + B_2 B'_a = 0 \\ J_i + A_2 A_i + B_2 B_i = 0 \\ J'_i + A_2 A'_i + B_2 B'_i = 0 \end{array} \right. \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

Noch etwas einfacher ist es, zur Bestimmung von  $B_1$  und  $A_2$  zuerst das folgende Gleichungssystem zu benutzen:

$$\left. \begin{aligned} B_1 \left( Y_a \left| \begin{array}{c} J_a - Y'_a \\ J'_a \end{array} \right| \right) + A_2 (A_a - A'_a) + B_2 (B_a - B'_a) &= 0 \\ B_1 \left( Y_a \left| \begin{array}{c} J_a - Y_i \\ J_i \end{array} \right| \right) + A_2 (A_a - A_i) + A_2 (B_a - B_i) &= 0 \\ B_1 \left( Y_a \left| \begin{array}{c} J_a - Y'_i \\ J'_i \end{array} \right| \right) + A_2 (A_a - A'_i) + B_2 (B_a + B'_i) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Die Bestimmung von  $B_1$  und  $A_2$  aus den ersten beiden Gleichungen muss zur Kontrolle übereinstimmen mit den Werten, die sich ergeben, wenn die erste und dritte oder die zweite und dritte Gleichung benutzt wird.

Einen Begriff der Gedrängtheit der Schreibweise der Gleichung (8) gibt die analoge Form der Frequenzgleichung der vollen Kreisplatte, die dann lautet:

$$A'_a - A_a = 0 \dots (11)$$

Das reiche Tabellenmaterial über Besselsche Funktionen, das heute zur Verfügung steht und wie es besonders in dem Werke von G. N. Watson: „A treatise on the theory of Bessel Functions“ (Cambridge University Press 1922) sehr vollständig und in klarer Darstellung gegeben ist, vereinfacht die Berechnung der Plattenschwingungen ausserordentlich. (Schluss folgt.)

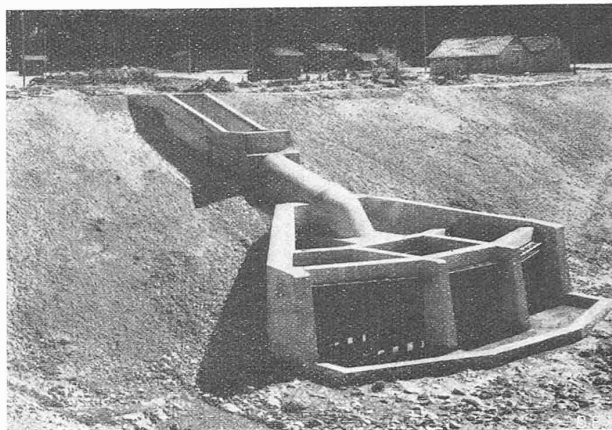


Abb. 16 Einlauf von der Zentrale Klosters und der sekundären Landquart-Fassung her ins Aeuja-Becken (1. Okt. 1923)

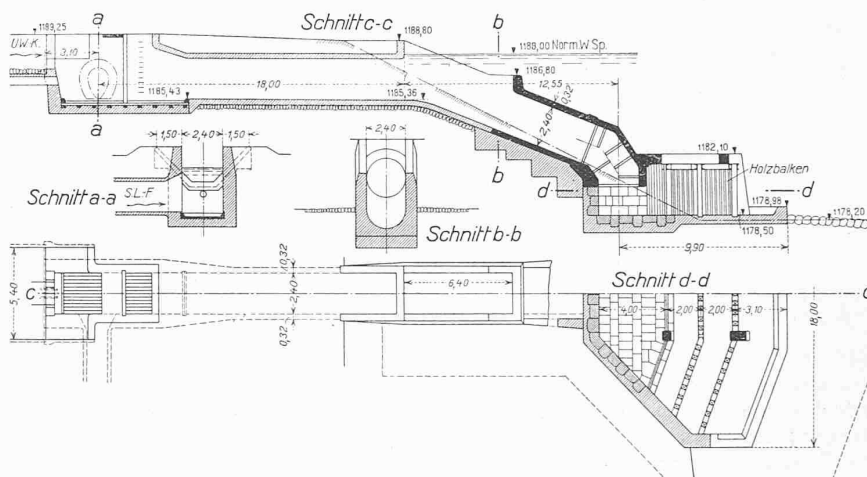


Abb. 17. Einlauf- und Energievernichtungs-Bauwerk im Grundwasser- und Ausgleichbecken Aeuja oberhalb Klosters. — Grundriss und Schnitte 1:400.

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

Von ROBERT MOOR, konsult. Ingenieur, Zürich.

(Fortsetzung von Seite 279.)

**Grundwasseranlage.** Für den Tagesausgleich waren im ersten Ausbau die Stauhaltung am Landquartwehr und das Speicherbecken auf Plevigin vorgesehen mit einem Nutzinhalt von zusammen 44 000 m<sup>3</sup>. Um die Energieproduktion in vermehrter Masse auf die Hauptbedarfszeiten konzentrieren zu können und damit auch einen Wochen- ausgleich zu ermöglichen, entschloss sich die Bauherrschaft nachträglich, einen dritten Speicher, das *Ausgleich- und Grundwasserbecken in Aeuja*, zu bauen. Dieses Becken liegt im unteren Teil des Grundwasser führenden Alluvialbodens oberhalb Klosters, am linken Ufer der Landquart. Es ist durch Baggerung des Kiesbodens ausgehoben worden und stellt einen eigentlichen Fassungsbrunnen von grossen Abmessungen dar, dem jedoch die Umfassungsmauern fehlen (Lageplan Abb. 12). Das Becken ist, am oberen Rand der Aushubböschung gemessen, 150 m lang und 85 bis 110 m breit; die Sohle liegt auf Kote 1178,00, die mittlere Aushubtiefe beträgt etwa 10 m. Um einen möglichst grossen Speicherinhalt zu erhalten, wurde das Becken auf drei Seiten durch einen Damm umschlossen, wodurch im Winter eine Füllung bis auf Kote 1188,00 ermöglicht wird; die Krone des Dammes liegt 80 cm höher als der höchste Wasserspiegel; am unteren Ende erreicht der Damm eine maximale Höhe von 2,4 m über Gelände, bzw. 10,8 m über der Sohle des Beckens. Eine grössere Höhe zur Vergrösserung des Weiherinhaltes wäre wegen der grossen

Durchlässigkeit des Untergrundes nutzlos gewesen. Am unteren Ende des Weiher ist ein Bassin zu Badezwecken angelegt worden (Abb. 13). Der gesamte Nutzraum des Beckens misst 97 000 m<sup>3</sup>, ohne Einrechnung des bei der Absenkung ebenfalls entleerten Hohlraumes des angrenzenden Grundwasserbodens. Durch einen Saugüberfall nach der Landquart wird der maximale Anstieg des Wasserspiegels im Aeuja-Becken auf Kote 1188,00 begrenzt.

Die Böschungen sind mit einer Neigung von 1:2 angelegt und teilweise mit einer Kiesschicht überdeckt worden zum Schutze gegen Ausspülungen, wo Sandschichten angeschnitten wurden. Durch das Vorhandensein vieler grosser Baumstämme sind die Baggerarbeiten wesentlich erschwert worden (Abb. 14 und 15, S. 290); das Kies- und Sandmaterial aus dem Aushub fand zum Teil Verwendung für die Bauten in Klosters. Nach der Beendigung der Baggerarbeiten wurde das Becken mittels einer Pumpenanlage trockengelegt, um die unterste Schicht, die ausser dem Bereich des Baggers lag, auszuheben und die Sohle zu planieren. Gleichzeitig wurden auch die mit dem Becken zusammenhängenden Bauten ausgeführt.

In das Becken mündet der Unterwasserkanal des Werkes Davos-Klosters ein; ausserdem kann im Winter durch ein kleines Wehr unmittelbar oberhalb des Beckens Wasser aus der Landquart eingeleitet und für Tagesausgleich akkumuliert werden. Diese sekundäre Landquart-

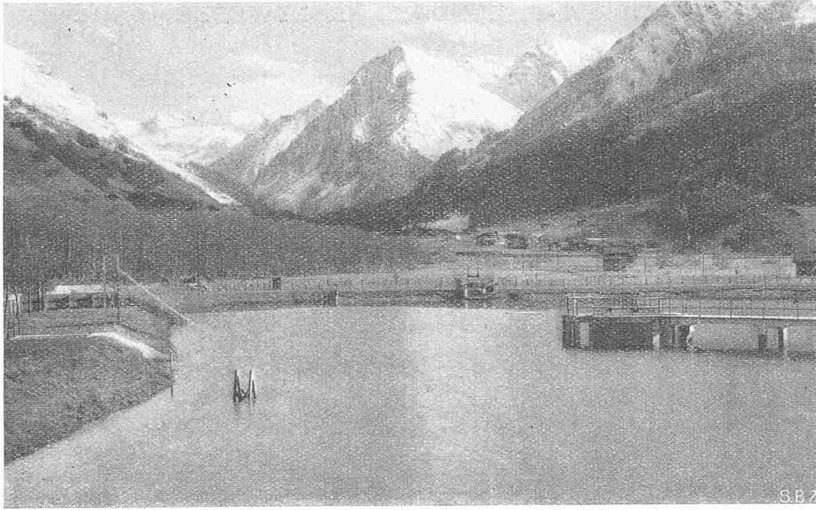


Abb. 13. Grundwasser- und Ausgleichbecken Aeujä, gegen Osten gesehen.

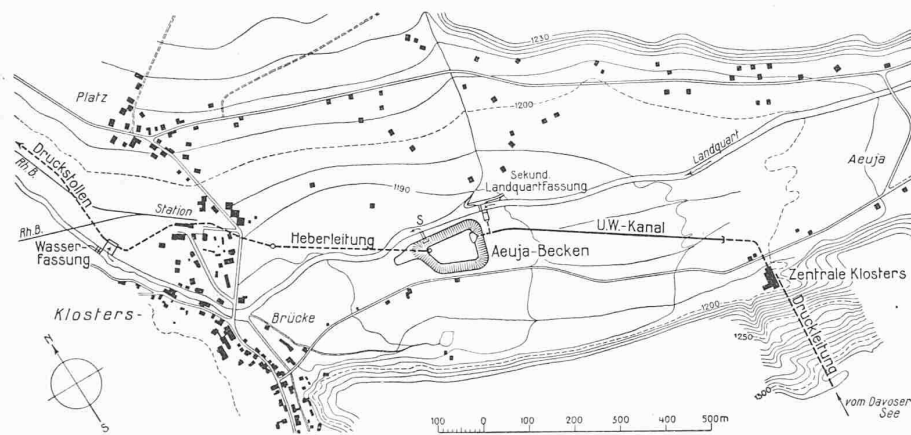


Abb. 12. Uebersichtsplan von der Zentrale Klosters der obren Stufe bis zur Wasserfassung der untern Stufe, dazwischen das Ausgleichbecken Aeujä — Masstab 1:15000.

fassung ist für eine Wasserentnahme von nur  $2,8 \text{ m}^3/\text{sek}$  bemessen und besteht aus einem Stauwehr, einem Kiesfang und einem kurzen Verbindungskanal bis zum Unterwasserkanal des Werkes Davos-Klosters. Der feste Wehrkörper, dessen Krone auf der mittlern Sohlenhöhe der Landquart liegt (Kote 1188,03) hat eine Breite von 3,10 m und eine Tiefe von 3,30 m. Die lichte Breite zwischen den Wehrwangen war durch das behördliche Projekt für die Landquartkorrektur zu 15 m vorgeschrieben. Unterhalb des Wehres ist die Sohle gesichert durch einen Steinwurf aus groben Blöcken mit dazwischen geramten Eisenbahnschienen. Die Stauung des Wassers erfolgt durch eine eiserne sektorförmige Schwimmschütze, die im Sommer, wenn die Fassung ausser Betrieb ist, in eine Vertiefung des Wehrkörpers versenkt ist; die dem Angriff des Geschiebes ausgesetzte obere Seite der Schütze ist mit einem Holzbelag versehen. Zum Stauen der Landquart wird durch Öffnen eines Schiebers die Schützenkammer mit Wasser gefüllt und die Schütze durch den Wasserdruck bis auf Kote 1188,65 gehoben. Durch einen einfachen Regulierüberfall wird erreicht, dass der Wasserdruck in der Schützenkammer nicht über Kote 1188,70 steigt; bei grossem Hochwasser wird sich daher die Schütze unter dem Einfluss des Wassergewichtes selbsttätig senken. Der Einlauf zum Kiesfang liegt auf dem linken Landquartufer; der Einlaufschwelle ist ein Geschiebegraben mit Holzverkleidung vorgelagert. Der 8,0 m breite Einlauf ist durch zwei Trennwände in drei Öffnungen von je 2,50 m lichter Breite unterteilt, die in üblicher Weise mit Rechen und Schützen versehen sind.

Als weiteres Bauobjekt am Aeujäbecken ist das Einlaufbauwerk des Unterwasserkanals der Zentrale Klosters zu nennen (Abb. 16 und 17). Im Vollausbau der Stufe Davos-Klosters können hier vom Unterwasserkanal dem Aeujäbecken bis  $9 \text{ m}^3/\text{sek}$  zufließen, die bei abgesenktem Wasserspiegel mit etwa 9 m Gefälle ins Aeujäbecken abstürzen. Zur unschädlichen Vernichtung der Energie des fallenden Wassers (rund 1100 Brutto-PS) wird das Wasser in steilem Sturze gegen die Sohlenplatte des Einlaufbauwerkes geführt und tritt dann zwischen Schikanen aus Holzbalken und Eisenbahnschienen ins freie Becken aus.

Die Entnahme des Wassers aus dem Aeujäbecken erfolgt durch eine Heberleitung, die den Wasserspiegel bis auf Kote 1178,30 abzusenken vermag und für eine maximale Entnahme von  $12 \text{ m}^3/\text{sek}$  bemessen ist, auf die wir noch zurückkommen.

Mit Hilfe der vorgängig beschriebenen Einrichtungen arbeitet das Grundwasserbecken folgendermassen: Im unbenutzten Zustande stellt sich der Wasserspiegel entsprechend dem mittlern Grundwasserstand an dieser Stelle auf Kote 1186,5 ein. Durch Einleitung von Wasser aus der Landquart oder durch Retention von solchem aus dem oberen Werk kann bei Bedarf der Wasserspiegel bis auf Kote 1188,0 gehoben werden. Dadurch wird der Grundwasserstrom im Talboden ebenfalls aufgestaut. Ein Teil des Wassers fliesst aus dem Becken in den angrenzenden Kiesboden, nach dessen Füllung wieder ein unterirdischer Abfluss nach der Landquart stattfindet, und zwar erfolgt dieser Austritt noch oberhalb der

Stauhaltung des Landquartwehres. Ist der Zufluss von der sekundären Landquartfassung oder vom Unterwasserkanal des Werkes Davos-Klosters grösser als die durch den Alluvialboden aus dem Becken austretende Wassermenge, so steigt der Wasserspiegel im Aeujä-Becken an, bis der Saugüberfall in Tätigkeit tritt.

Wenn nun auch das Wasser über Kote 1186,5 im Aeujäbecken wegen der Durchlässigkeit des Bodens nicht lange zurückgehalten werden kann, so wird der Abflussvorgang für diese oberste Wasserschicht zwischen Kote 1186,5 und 1188,0 doch eine wesentliche Verzögerung erleiden gegenüber dem direkten Abfluss im Landquartbett. Durch diese Verzögerung im Abflussvorgang kann das aus dem oberen Werk stossweise ankommende Wasser wenigstens teilweise zur nächsten Verbrauchspitze im untern Werk übergeführt werden.

Beim Entzug des Wassers hat die Absenkung des Wasserspiegels im Becken auch eine teilweise Entleerung des Grundwassers aus dem angrenzenden Boden zur Folge. Je nach der Dauer der Spiegelabsenkung im Becken kann mehr oder weniger Wasser aus dem natürlichen Grundwasserbecken abgezogen werden. Bereits beim Betrieb des Aeujäbeckens für den Tages- und Wochenausgleich ist daher der effektive Nutzraum grösser als der eigentliche Beckeninhalt.

Die Ableitung des Wassers aus dem Becken erfolgt auf 347 m Länge, d. h. etwas über den Grundwasser führenden Talboden hinaus durch eine Heberleitung von 2,20 m Lichtweite, und auf weitere 355 m durch einen Stollen von gleichem Lichtprofil und gleicher Bauart wie der darauf

## DAS KRAFTWERK KLOSTERS-KÜBLIS DER A.-G. BÜNDNER KRAFTWERKE

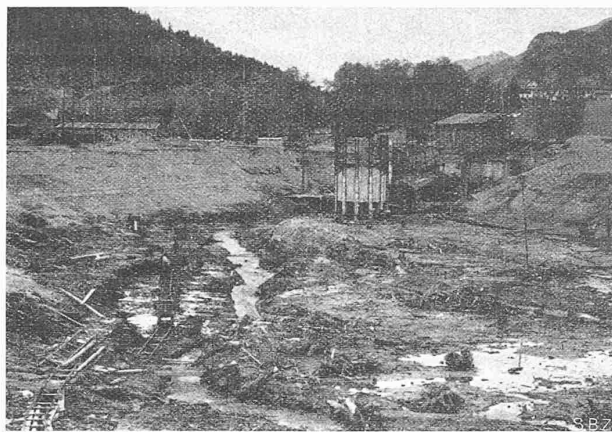


Abb. 14. Baugrund-Charakter im Aeuja-Becken (31. Mai 1923).

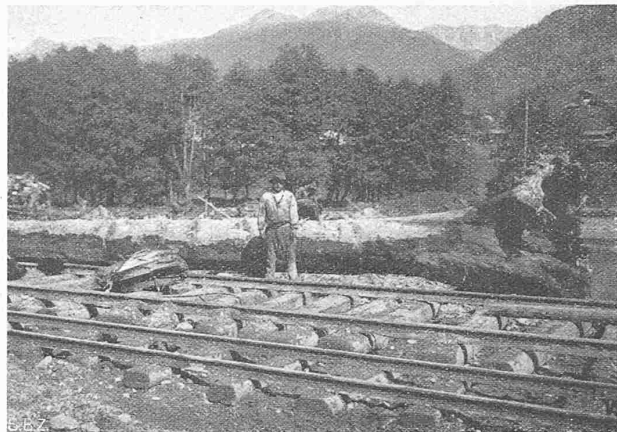


Abb. 15. Baumstamm aus dem Aeuja-Becken (Juli 1921).

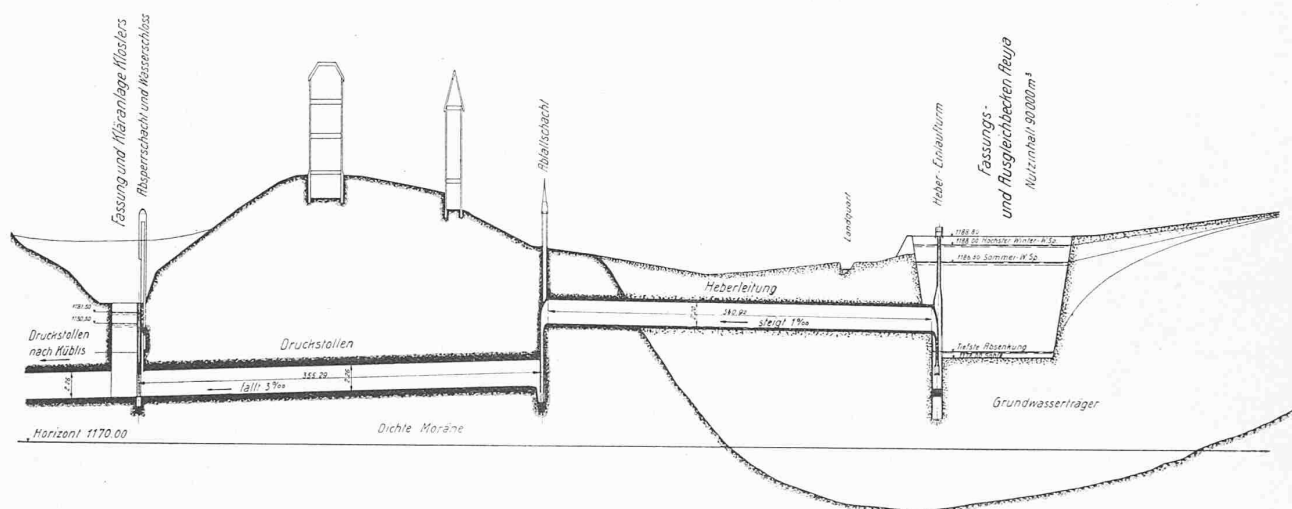


Abb. 18. Grundwasserbecken Aeuja mit Heber und Druckstellen zur Landquartfassung Klosters. — Masstab der Längen 1 : 6000, der Höhen 1 : 600.

folgende Hauptstollen (vergleiche das Längenprofil in obenstehender Abbildung 18).

Die Anordnung eines Hebers war bedingt durch das Grundwasser, das den Bau einer tiefer gelegenen Leitung oder eines Stollens sehr erschwert hätte. Das Heberrohr aus armiertem Beton (Abb. 19, S. 291) besitzt eine Wandstärke von 18 cm, es erhielt eine doppelte Ringarmierung, abwechselnd mit einem elliptischen Eisen, das im Scheitel und in der Sohle an der Innenwand im Kämpfer an der Aussenwand des Rohres liegt. Die Längsarmierung besteht aus 32 Rundeisen  $\varnothing$  12 mm. Das Rohr ist von einer Schicht Mammut-Isoliermasse umgeben und in ein Fundament aus Magerbeton eingebettet, das die Baugrube satt ausfüllt. Auf der obern Seite ist die Isoliermasse durch eine dünne Magerbetonschicht gegen Verletzungen geschützt. Die Innenwand des Heberrohres erhielt einen wasserdichten Zementverputz von 2 cm Stärke und einen Anstrich aus Inertol. — Bei der Kreuzung mit der Landquart ist zur Sicherung des Heberrohres beidseitig eine Spundwand mit Verankerungspfählen geschlagen worden, auf die ein Rost von rund 6 m langen Rundhölzern geschraubt ist.

Der Einlaufkrümmer des Hebers steht in einem turmförmigen Bauwerk (Abb. 20 und 21 rechts), das 5,40 m tief unter die fertige Beckensohle reicht und pneumatisch fundiert worden ist. Das Mundloch wird bei einem Wasserstand im Becken auf Kote 1178,30 durch einen Ringschieber abgeschlossen, der von einem Schwimmer automatisch betätigt wird, aber auch von Hand bedient

werden kann. Dieses Abschlussorgan verhindert ein Absteigen des Hebers infolge Nachsaugen von Luft bei zu tiefer Absenkung des Wasserspiegels. Das Wasser gelangt in den Einlaufsturm durch neun rechteckige Oeffnungen, die durch Rechentafeln geschützt sind; diese sind ersetzbar durch Abschlusstafeln, wenn der Turm zur Revision oder bei Vornahme von Reparaturarbeiten am Abschlussschieber trockengelegt werden soll.

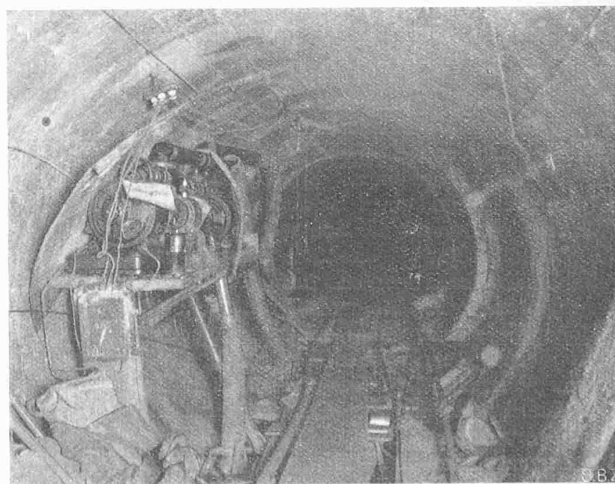


Abb. 22. Pumpanlage im Grundwasserstollen Klosters (31. Mai 1923).



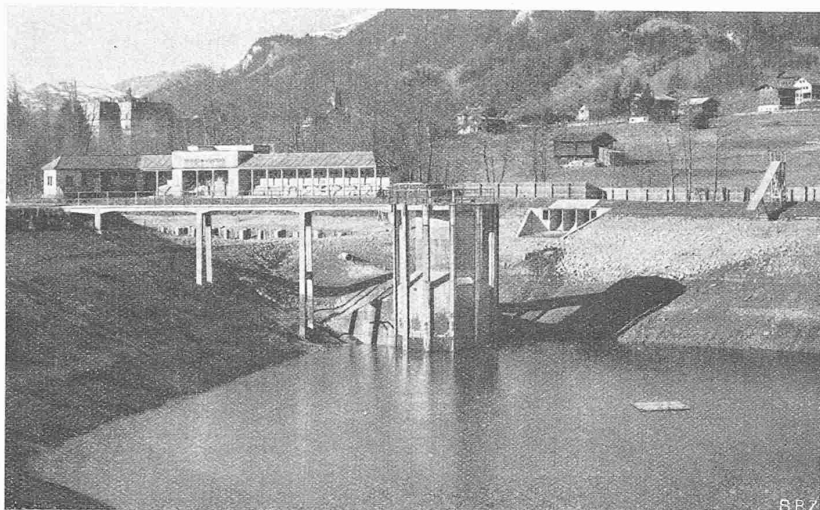


Abb. 20. Wasserfassung im Grundwasser-Becken Aeuja.

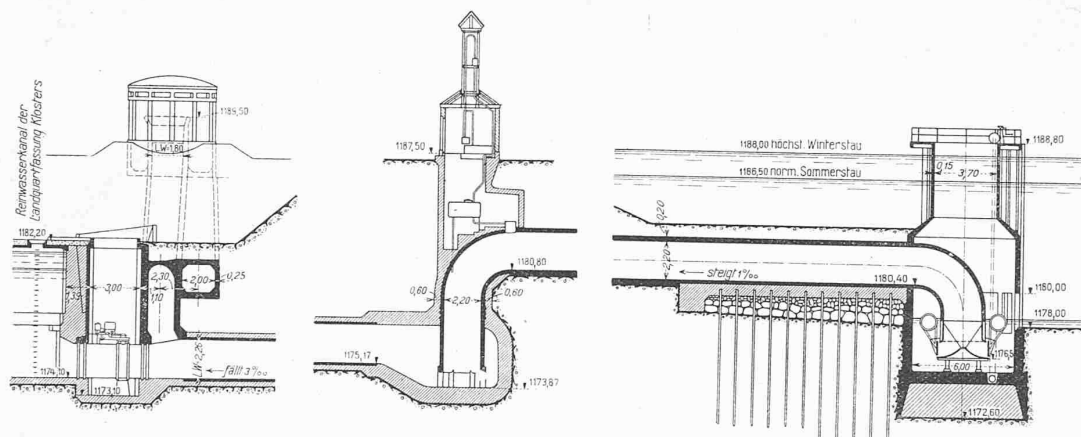


Abb. 21. Einzelheiten zu Abb. 18: links Absperrschacht und Standrohr; Mitte Entlüftung; rechts Einlauf. — Masstab 1:400.

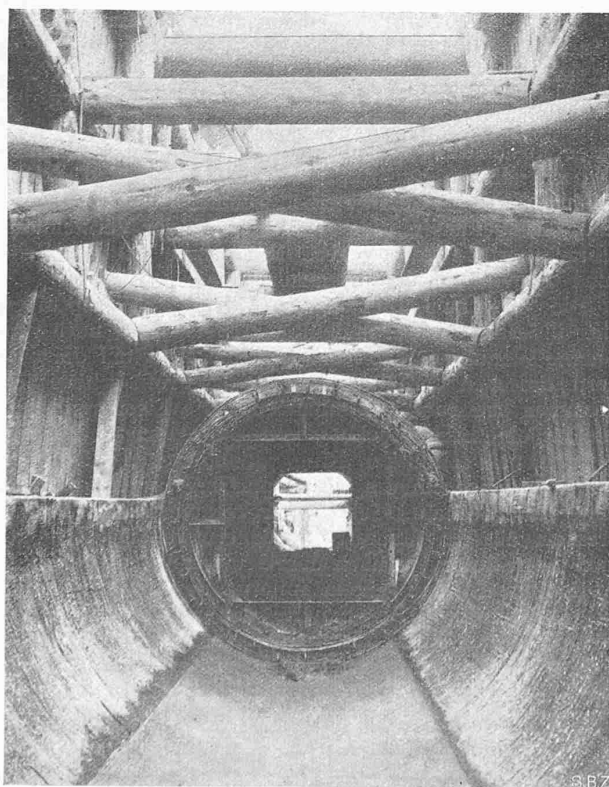


Abb. 19. Bau der Heberleitung Aeuja-Klosters (9. Sept. 1922).

Der abfallende Ast des Hebers taucht ebenfalls in ein Wasserbecken ein, um das Eindringen von Luft zu verhindern. Um die im Heber freiwerdende Luft abzuführen, ist im Scheitelpunkt beim Abfallschacht (in der Mitte in Abb. 18 und 21) eine Entlüftungsanlage angeschlossen. Diese besteht aus einer durch Elektromotor angetriebenen Kolbenpumpe, die auf einen Windkessel arbeitet, in dem sich die vom Wasser ausgeschiedene Luft ansammelt. Die Entlüftungsanlage hat mehr den Charakter einer Reserve, da die Heberleitung luftdicht ist und die vom Grundwasser allfällig ausgeschiedene Luft grösstenteils nach dem Druckstollen mitgerissen wird.

Bei der statischen Untersuchung des Heberrohres wurden folgende Belastungen berücksichtigt: das Eigengewicht der Rohrwandung, das Wassergewicht im Rohr, der innere Wasserüberdruck mit freiem

Wasserspiegel auf Kote 1188,0, ein Vakuum von 7,7 m WS, die Erdüberlagerung und zwar für abgesenktes Grundwasser bis Kote 1181,50 wie auch für das volle Grundwasserbecken, der Auftrieb durch Grundwasser und der seitliche Erddruck auf das Rohr. Zur Ermittlung der Rohrabmessungen und der Eisenarmierung sind die ungünstigsten Fälle berücksichtigt worden, die bei der

Zusammenwirkung der erwähnten Beanspruchungen vorkommen können. Die Stärke der Armierung wurde so bemessen, dass die grösste Betonzugspannung 15 kg/cm<sup>2</sup> nicht überschreitet.

Da der Wasserspiegel des Grundwasserbeckens um 10 m höher stehen kann als am Landquartwehr unterhalb Klosters, wurde am Ende des Grundwasserstollens eine automatisch regulierende Drosselklappe von 2,0 m Lichtweite eingebaut (links in Abb. 18 und 21). Uebersteigt der Verbrauch die am Hauptwehr der Landquart entnommene Wassermenge, so sinkt der Spiegel im Reinwasserkanal der Fassung. Sobald der Wasserspiegel um 10 cm unter Normalstau im Winter bzw. 0,50 m unter Sommerstau gesunken ist, öffnet sich die Drosselklappe und lässt das Wasser aus dem Aeuja Becken in den Hauptstollen abfließen. Ein kleines Wasserschloss unmittelbar oberhalb der Drosselklappe mit einem Ueberlauf auf Kote 1189,50 sichert den Stollen und den Heber vor schädigenden Wasserschlägen bei einem zu raschen Schliessen der Drosselklappe.

Mit Rücksicht auf die geologischen Verhältnisse und die enge Ueberbauung musste der Grundwasserstollen, zwischen Abfallschacht und Wasserfassung, in einem Bogen um die südlich des Bahnhofes Klosters liegende Häusergruppe herumgeführt werden. Bei der gewählten Linienführung wurden aber doch mehrere Gebäude in etwa 14 m Tiefe unterfahren. Durch sorgfältigen Einbau und dem Vortrieb rasch nachfolgende Mauerung sind schädigende Senkungen der Häuser vermieden worden. Der Grundwasserstollen durchfährt Schutt und Moränenmaterial; dies hatte zur Folge, dass in der Nähe der Landquart stärkere Wasserführung sich geltend machte, was zu einer Wasserhaltung nötigte (Abb. 22).



Abb. 24. Gunitierung des armierten Ringes (März 1922).



Abb. 25. Gunitierte unausgemauerte Stollenstrecke (Okt. 1922).

**Druckstollen.** Die 10,5 km lange Triebwasserleitung von der Landquartfassung bis zum Wasserschloss auf Plevin ist als Druckstollen gebaut worden, mit Ausnahme von zwei Strecken, die in offener Baugrube als Druckrohr ausgeführt werden konnten. Sie durchfährt zuerst auf einer Länge von 1300 m die aus Bergschutt und Moräne bestehende flache Tallehne unterhalb Klosters-Platz, und zwar von der Fassung bis Km. 0,575 in einem Stollen, auf den die längere Druckrohrstrecke folgt. Bei Km. 1,3 biegt die Leitung bergwärts ein, um wiederum als Stollen in anstehendem Fels die rutschige Halde von Ganda zu umgehen. Im Schlappintal durchquert der Stollen in geringer Tiefe Schuttmateriale, weshalb auch hier teilweise in offener Baugrube gearbeitet werden konnte. Vom Schlappinbach bis zum Wasserschloss, d. h. auf eine Länge von 8400 m, wurde der Bündnerschiefer in den steilen Hängen der rechten Talseite durchfahren. Die Lage dieses Hauptstollens wurde so gewählt, dass er auf seiner ganzen Länge im anstehenden Gestein verbleibt. Durch fünf Fenster ist er in sechs Abschnitte eingeteilt, wovon der längste rund 2000 m misst. Der grosse Saaser Rutsch wurde durch eine tiefere Verlegung ins Gebirge umgangen. Der durchgeführte Bündner Schiefer war zur Hauptsache standfest und nur auf kürzeren Strecken eigentlich gebräch, dagegen kommen stellenweise zwischen den Schichten weiche Mergel- und Toneinlagerungen vor. Im allgemeinen streichen die Schichten parallel zum Talhang und fallen bergwärts ein.

Das Gefälle des Druckstollens wurde zu 3‰ gewählt und die Sohle des Einlaufes bei der Fassung auf Kote 1174,03 verlegt. Der statische Wasserdruck im Stollen, an der Sohle gemessen, wächst somit von 7,5 m bis auf 39,1 m an seinem untern Ende; beim höchsten Sprung im Wasserschloss erhöht sich dort der Druck auf 40,8 m.

Im Ausführungsprojekt waren runde Stollenprofile mit abgeflachter Sohle und 2,20 m Lichtweite vorgesehen; die Wandstärke der Betonverkleidung schwankte zwischen 15 und 40 cm, je nach dem Charakter des Gebirges. Das Profil für druckhaftes Gebirge war durch eine Eisenarmierung an der innern Leibung zur Aufnahme des Wasserdruckes verstärkt<sup>1)</sup>. Es war ferner geplant, das Stollenrohr im standfesten Gebirge unausgemauert zu lassen und den Fels mit einem Gunit-Anwurf zu überziehen, falls bezügliche Versuche ein günstiges Resultat ergeben würden<sup>2)</sup>.

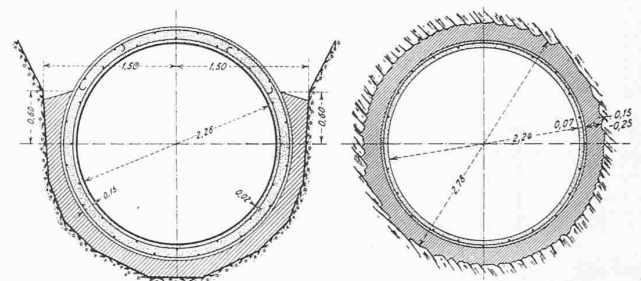


Abb. 26. Arm. Betondruckrohr. 1:80. Abb. 23. Doppelmantelprofil.

Die am Stollen des Ritomwerkes der S. B. B. zu Tage getretenen Mängel<sup>3)</sup>, veranlassten dann den Verfasser, beim Bau des Druckstollens verschiedene Neuerungen anzuordnen. Als wichtigste Massnahme ist die streckenweise Abpressung des Stollens nach dem Ausbruch bis auf den maximalen Betriebsdruck zu nennen, zur Feststellung des Verhaltens des Gebirges, um darnach die zweckmässigste Art der Auskleidung bestimmen zu können. Als unerlässlich wurde nämlich erachtet, dass in gebrächem und gleichzeitig durchlässigem Gebirge eine Eisenarmierung zur Uebernahme des gesamten Wasserdruckes in der Verkleidung angebracht wird. Als weitere Massnahme ist die Weglassung der Drainageleitung zu erwähnen.

Die Gestaltung des ausgemauerten Stollenprofils machte indessen bis zur endgültigen Festsetzung noch verschiedene Wandlungen durch. Mit Rücksicht auf die einfachen statischen Verhältnisse wurde das Profil schliesslich vollkommen kreisrund angenommen. Die Eisenarmierung wurde für eine Beanspruchung von 1500 kg/cm<sup>2</sup> bemessen und zuerst als einfacher Ring, dann, wegen allfälliger Biegebungsbeanspruchungen, als Doppelring projektiert. Das stärkste für druckhaftes Gebirge vorgesehene Profil bestand aus einem äussern Mantel aus Mauerwerk (aus Zementsteinen oder Beton, je nach der Gebirgsart und den Einbauverhältnissen) und einem innern, doppelt armierten, dünnern Betonring. Der Experte der mit dem Bau des Hauptstollens betrauten Unternehmung, Ing. R. Maillart, schlug vor<sup>4)</sup>, das Zweimantelprofil auf der ganzen Länge des Stollens anzuwenden und dabei den innern Ring als

<sup>3)</sup> Vgl. „S. B. Z.“, 10. Juli 1920, ausführlich am 2. Juni 1923.

<sup>4)</sup> Mit Bericht vom 1. Februar 1921; den unseres Wissens überhaupt ersten Vorschlag für eine Stollenauskleidung mit engmaschiger, innerer Armierung machte Maillart im September/Oktober 1908 für das Albulawerk der Stadt Zürich.

<sup>1)</sup> Vgl. die Profile in „S. B. Z.“, Bd. 77, S. 129 (19. März 1921).

<sup>2)</sup> Vgl. „S. B. Z.“, Bd. 78, S. 92 (20. August 1921).

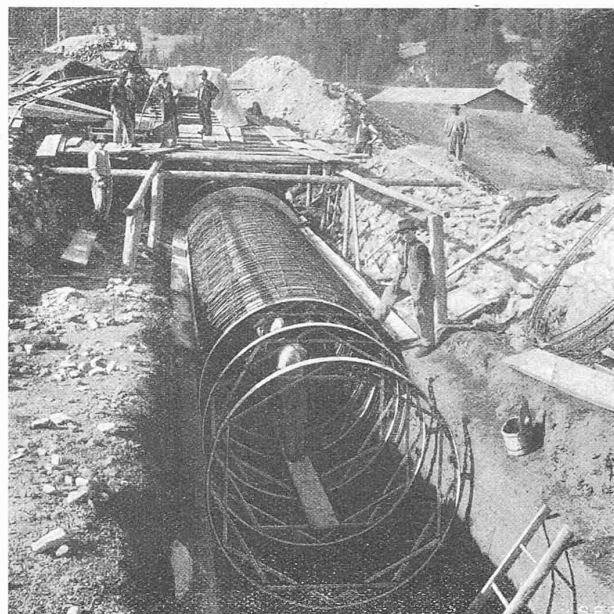
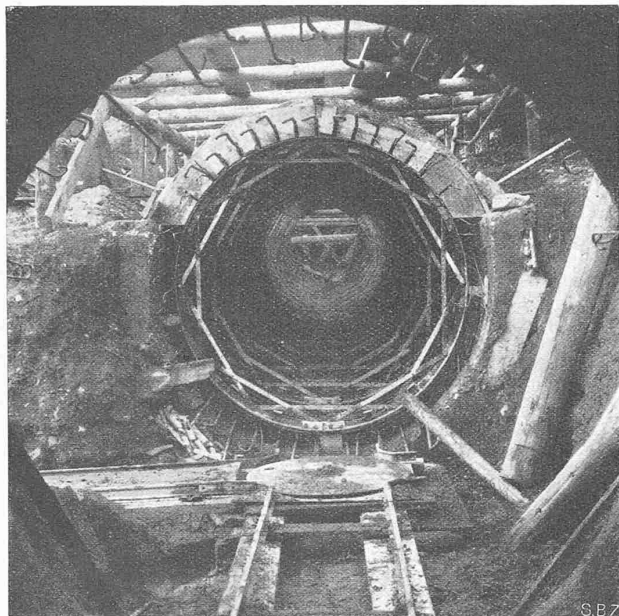


Abb. 27 und 28. Bau des armierten Druckrohres zwischen Km. 0,575 und 1,29 (Sommer 1921).

Gunitverkleidung von 5 cm Stärke auszuführen mit einer einzigen Eiseneinlage; in diesem Profil war die Armierung für eine Beanspruchung von nur  $1200 \text{ kg/cm}^2$  berechnet und direkt auf die Innenseite des Mantels aufgelegt. Ausserdem sollte bei diesem bei einer 20 cm überschreitenden Verkleidungstärke der Mittelpunkt des Ausbruchkreises exzentrisch gelegt werden, sodass die Ausmauerung im Scheitel gegenüber der Sohle verstärkt ausfällt. Dem Vorschlag, dieses Profil durchgehend anzuwenden, konnte aus wirtschaftlichen Gründen nicht zugestimmt werden; er beruhte übrigens auf der Annahme, dass das Gebirge auf seiner ganzen Länge für das unausgemauerte Gunitprofil ungenügend standfest sei, was nicht der Fall war. Dieses Doppelmantelprofil mit innerem, armierten Gunitring und einer lichten Weite von 2,24 m wurde zunächst, mit verschiedenen Aenderungen, auf einer Versuchstrecke ausprobiert; man erhöhte dabei die maximale Beanspruchung der Eisenarmierung auf  $1500 \text{ kg/cm}^2$ ; ferner wurde der Armierungsring von der Innenwand des Aussenmantels durch äussere Längseisen abgehoben, um eine bessere Einbettung im Gunit zu erreichen; endlich verstärkte man, um eine sichere Umhüllung aller Eisenteile zu gewährleisten, den Gunitring von 5 cm auf 7 cm Dicke. Die günstigen Versuchsergebnisse mit diesem Profil veranlassten, es auf 3050 m Stollenlänge anzuwenden, insbesondere im Abschnitt hinter dem Saaser Rutsch, wo es galt, Wasserverluste soweit irgend möglich zu vermeiden (Abb. 23 und 24).

Die Abpressversuche mit dem gunitierten Profil ohne Mauerung hatten inzwischen ebenfalls eine praktisch vollkommene Abdichtung gezeigt. Der Gunitwurf auf dem vorerst mit Druckwasser gereinigten Fels wies eine unerwartet hohe Haftfestigkeit und Elastizität auf, sodass er auch gegen den Aussendruck des Gebirgswassers genügenden Widerstand bot. Das einfache Gunitprofil konnte auf 4300 m Länge, d. h. auf der Hälfte der Hauptstollenlänge ausgeführt werden. Wegen seiner grösseren Rauigkeit erhielt es eine planmässige Lichtweite von 2,96 m und wurde zur Erhöhung des Abflussvermögens an der Sohle (3 m breit) mit der Kelle geglättet (Abb. 25); für das so gestaltete Profil wurde der Koeffizient  $n$  in der Formel von Ganguillet und Kutter zu 0,025 angenommen. Das Abfallmaterial beim Gunitieren wurde zur Herstellung eines Gehweges (Bodenabflachung) verwendet.

Im nicht genügend standfesten, aber verhältnismässig dichten Gebirge wurde der Fels gunitiert und noch mit einem Betonmantel von 15 bis 20 cm Stärke verkleidet, der in glatter Schalung, jedoch unverputzt, hergestellt

wurde. Die in Moräne und Bergschutt liegende oberste Stollenstrecke wurde, wie der Verbindungstollen zum Grundwasserbecken, mit einem Doppelmantel ausgekleidet, wobei der innere aus einem einfach armierten Gussbetonring von 10 cm Stärke bestand. Dieses Profil erhielt noch einen wasserdichten, glatten Zementverputz und einen zweifachen Inertol-Anstrich.

Das armierte *Betondruckrohr* von Km. 0,575 bis 1,29 bzw. 1,93 bis 2,07 erhielt eine lichte Weite von 2,26 m, wie der obere Stollen, und eine Wandstärke von 15 cm; es wurde wie dieser innen verputzt und mit Inertol gestrichen. Der Raum zwischen Rohr und Grabenwandung bzw. Sohle wurde mit Magerbeton bis 60 cm über Kämpfer satt eingestampft (Abb. 26 bis 28); Bemessung von Wandstärke und Armierung erfolgten auf Grund genauer Berechnungen der auftretenden Normalspannungen, sowie der Biegungsspannungen infolge Eigengewicht, Wassergewicht, Erdaufast und Seitendruck. Als zulässige Betonspannung wurde angenommen: für Druck  $40 \text{ kg/cm}^2$ , für Zug  $16 \text{ kg/cm}^2$ , während die Eisenspannungen auf  $1200 \text{ kg/cm}^2$  begrenzt worden sind. Die Armierung besteht aus innern und äussern Kreisringen, sowie aus ovalen Ringen, die ähnlich wie am Heberrohr angeordnet wird. Eine Längsarmierung aus 32 Rundeisen von 10 mm Durchmesser wurde als genügend erachtet, da die Längskräfte durch die Reibungswiderstände kompensiert werden. Dem Beton wurden zur Erhöhung der Plastizität und der Dichtigkeit 30 l Kalko pro  $\text{m}^3$  Kies-Sandmischung beigegeben. Das Druckrohr wurde in Strecken von 75 bis 570 m Länge abgepresst, wobei sich keinerlei Risse zeigten und das Rohr auch einen verschwindend kleinen Wasserverlust aufwies.

Die fünf Fenster des Hauptstollens sind als dauernde Zugänge ausgebaut und durch eiserne Tore mit Doppelscharnieren abgeschlossen worden. Drei dieser Fenster sind ferner für die spätere Einleitung kleiner Seitenbäche in den Stollen eingerichtet.

Der fertige Stollen wurde zur Erprobung, soweit das Bauprogramm es gestattete, abschnittsweise und daraufhin noch gesamthaft abgepresst. Diesen Druckproben hat er ohne Schaden widerstanden und er erwies sich auch als praktisch wasserdicht, indem ein Gesamtverlust von nur rund 12 l/sek (für die Gesamtlänge der Zuleitung von 10,5 km) festgestellt werden konnte. Erwähnt sei noch, dass die vorgenommenen Druckverlustmessungen im Stollen die Richtigkeit der den Berechnungen zu Grunde gelegten Rauigkeits-Koeffizienten bestätigt haben.

(Fortsetzung folgt.)