Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 44 (1952)
Heft: 5-7

Artikel: Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich
Autor: Zingg, W. / Staub, R. / Weber, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921778

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: 01.07.2025

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

zong bis zum Staubecken Burvagn mit 80 m Gefälle ausnützt und eine Energieproduktion von etwa 30 Mio kWh haben wird.

Ferner das Nandrowerk mit einem Staubecken in Radons und einem Gefälle von 695 m bis zur Zentrale Tinizong. Die Energieproduktion dieses Werkes wird etwa 136 Mio kWh betragen.

Nach Erstellung dieser beiden Werke sind die Wasserkräfte im Oberhalbstein vollständig ausgenützt. Der Stadt Zürich werden dann aus den Werken im Kanton Graubünden die folgenden Leistungen und Energiemengen zur Verfügung stehen:

Gesamtleistung	155 000 kW	
Sommerenergie	370 Mio kWh	51 %
Winterenergie	350 Mio kWh	49 %
Jahresenergie	720 Mio kWh	100 %

Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich

I. Beschreibung der Anlagen

Von Oberingenieur *W. Zingg*, Tiefencastel

DK 621.311 (494.26)

1. Allgemeines

Das Juliawerk Marmorera nützt das Gefälle der Julia im Oberhalbstein von der Kote 1680 an der Gemeindegrenze Bivio/Marmorera bis zur Wasserrückgabe auf Kote 1200 in Tinizong aus. Es wird als Speicherwerk mit einem Stausee von 60 Mio m³ nutzbarem Inhalt gebaut. Durch einen Staudamm bei Castiletto, am nördlichen Ende des Talbodens von Marmorera wird dieser etwa 60 m hoch überstaut. Ein 9,5 km langer Druckstollen im linken, westlichen Talhang führt das dem Stausee entnommene Wasser zum Wasserschloß, von wo es durch eine im Boden verlegte Druckleitung von rund 1 km Länge das Maschinenhaus am linken Ufer der Julia in Tinizong erreicht. In der Zentrale finden zwei Maschinengruppen von zusammen 64 000 PS Leistung Aufstellung.

Das natürliche Einzugsgebiet der Julia mißt an der Sperrstelle bei Castiletto 89 km². Weitere 30 km² Einzugsgebiet werden im Val Faller erfaßt, wo das Wasser des von Westen aus dem Gebiet des Piz Platta zufließenden Fallerbaches durch einen Schacht dem Druckstollen zugeführt wird. Sodann bringen die auf der Terrasse der Alp Flix, östlich von Sur, gefaßten Bäche aus einem dritten Einzugsgebiet von 16 km² Wasser, das durch einen im Boden verlegten Kanal dem Stausee von Marmorera zugeleitet wird. Im gesamten mißt somit das der Wasserkraftnutzung dienende Einzugsgebiet 135 km²; seine höchsten Erhebungen finden sich am Piz Platta (3400 m ü. M.) und am Piz d'Err (3380 m ü. M.); der Anteil vergletscherter Flächen ist verschwindend klein. Die mittlere Jahresabflußmenge beträgt 39,5 l/s, km², d. h. rund 5,4 m³/s, entsprechend etwa 1250 mm Abflußhöhe. Davon entfallen auf die 6 Sommermonate (1. April bis 30. September) 82 %, auf die 6 Wintermonate 18 %. Mit 135 Mio m³ beträgt der mittlere Sommerzufluß etwas mehr als das Doppelte des nutzbaren Stauraumes.

Von Interesse ist die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge und der spezifischen Abflußmengen im langjährigen Mittel:

Monate	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Niederschläge in Bivio (1800 m ü. M.) mm	67	65	84	100	124	129	143	138	110	132	97	80	1269
Spezif. Abflußmenge l/s, km²	8	7	8	19	88	103	85	52	42	30	21	11	39,5

Sowohl das Haupttal als auch die Seitentäler im Einzugsgebiet des Juliawerkes Marmorera weisen nur wenige Erosionshänge und Rüfen auf, weshalb das Wasser der Julia und ihrer Seitenbäche südlich von Tinizong nur selten durch Geschiebe verschmutzt ist. Die größten bisher beobachteten Hochwasser betrugen in Marmorera-Castiletto (89 km²) etwa 80 m³/s.

Das Juliawerk Marmorera wird für eine Betriebswassermenge von 12,5 m³/s ausgebaut. Dank dem Staubecken ist nahezu die ganze zufließende Wassermenge ausnützbar. Lediglich verhältnismäßig kurze Hochwasserspitzen der in den Seiten-Einzugsgebieten Val Faller und Alp Flix gefaßten Bäche müssen ungenutzt bleiben. Die mittlere jährliche Energieproduktion der Zentrale Tinizong wird betragen:

Winterhalbjahr, 1. Okt. bis 31. März	85 Mio kWh
Sommerhalbjahr, 1. April bis 30. Sept.	71 Mio kWh
ganzes Jahr	156 Mio kWh

Die Aufspeicherung von 60 Mio m³ Sommerwasser im Staubecken von Marmorera und deren Verarbeitung in den Wintermonaten in den weiter unten liegenden

Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich

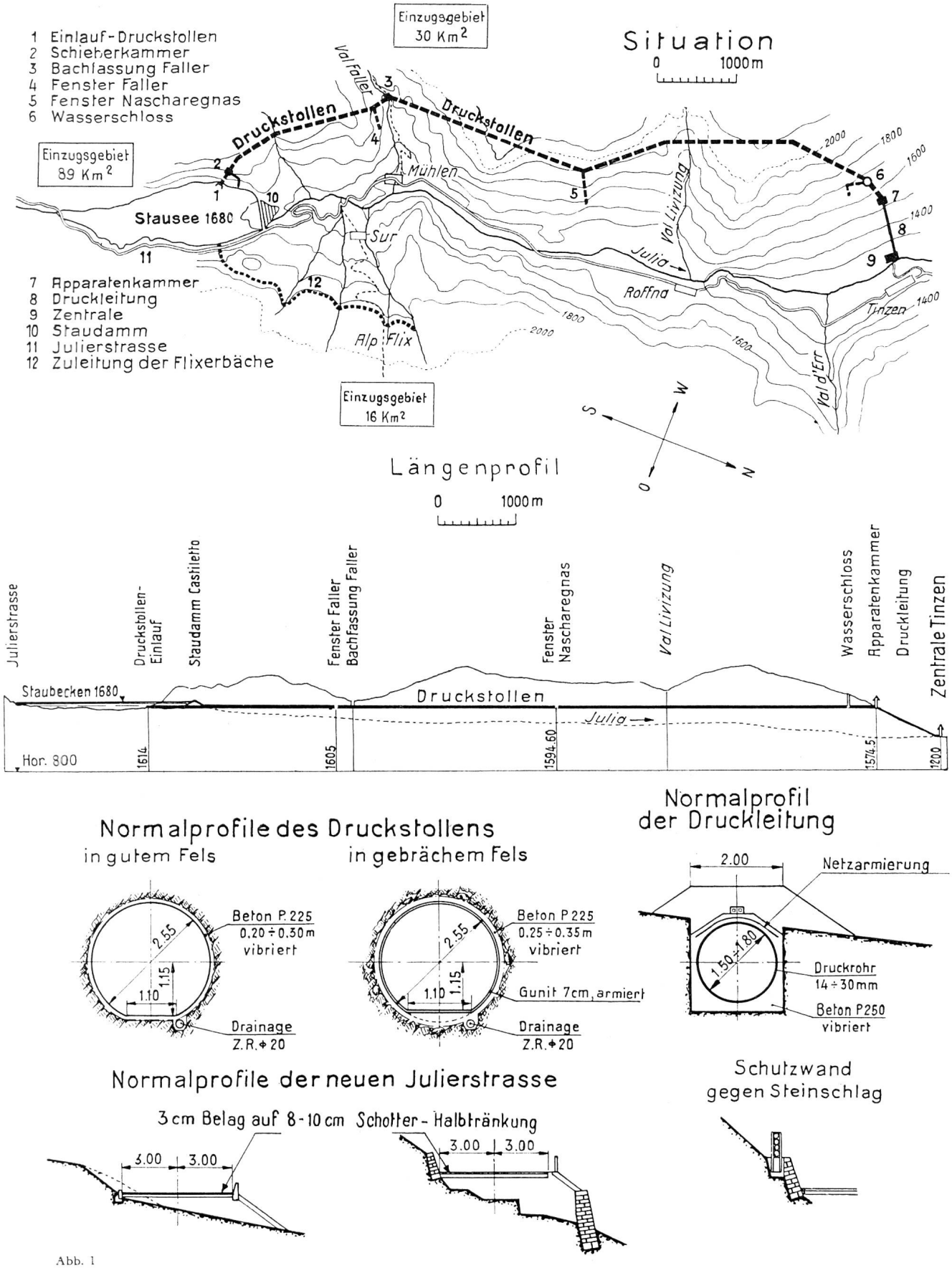


Abb. 1

Zentralen Tiefencastel und Sils bedeutet für das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich eine zusätzliche Erzeugung von 60 Mio kWh Winterenergie, die zu den oben erwähnten 85 Mio kWh Winterenergie hinzukommt.

Für die geologischen Verhältnisse im Gebiet des Juliawerkes Marmorera ist auf den nachfolgenden Aufsatz aus der Feder von *Prof. Dr. R. Staub* und *E. Weber* hinzuweisen. Es sei hier lediglich erwähnt, daß im Talbecken von Marmorera, im Val Faller und in der südlichen Hälfte des Druckstollens die sog. Grüngesteine vorherrschen (Grünschiefer, Serpentin, Diabas, Prasinite usw.), während der nördliche Teil des Druckstollens mit dem Wasserschloß und die Druckleitung im Flysch (Bündnerschiefer) liegen. Die Talhänge sind vorwiegend gut mit Wald bestockt, dessen Grenze auf etwa 1850 m ü. M. liegt.

2. Konzession, Landerwerb und Umsiedlung

Die Erwerbung der Stauseekonzession der Gemeinde Marmorera bot Schwierigkeiten besonderer Art, da die Errichtung des geplanten Werkes die Überflutung des ganzen Dorfes Marmorera und aller seiner Talgüter zur Folge hat. Bevor sich die Gemeindeversammlung zu einer Konzessionserteilung entschließen konnte — was am 17. Oktober 1948 mit 24 gegen 2 Stimmen erfolgte — verlangte sie begreiflicherweise, daß die privatrechtliche Abfindung der Grundeigentümer und die Frage der Umsiedlung der Dorfbewohner geregelt würden. In Verhandlungen vom Herbst 1947 bis im Spätsommer 1948 war es möglich, für den überwiegenden Teil des Grundbesitzes der ortsansäßigen Bevölkerung Kaufverträge abzuschließen.

Einer interessanten Monographie des Geographischen Institutes der ETH über Marmorera, erschienen 1951, ist zu entnehmen, daß das Dorf in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Blütezeit erlebt hatte. Damals bestanden neben der landwirtschaftlichen Erwerbsgrundlage ansehnliche Verdienstmöglichkeiten aus dem Paßverkehr über den Julier. Die Eröffnung der Gotthardbahn im Jahre 1882 setzte dieser Prosperität ein jähes Ende; die Eröffnung der Albulabahn nach dem Engadin im Jahre 1903 vervollständigte noch diese Entwicklung. Zahlreiche jüngere Einwohner suchten nun ihr Einkommen auswärts in der Hotellerie oder wanderten ganz ins Ausland aus. Ein Teil der Wohnhäuser und Ställe war dem Zerfall preisgegeben und die Bevölkerung überalterte.

Im Zeitpunkt der Konzessionserteilung wohnten in Marmorera 24 ortsansäßige Familien mit 96 Personen. Zwei Jahre später, Ende 1951, waren es noch neun Familien mit 21 Personen. Von den bis dahin umgesiedelten 15 Familien wohnen nun neun in anderen Dörfern

Abb. 2 Das Dorf Marmorera von SE, das später überstaut wird
Photo A. Steiner, St. Moritz

Abb. 3 Der zukünftige Stausee Marmorera, von NW gesehen. Blick gegen die Bergkette vom Julierpaß bis Longhinpaß
Photo A. Steiner, St. Moritz

Graubündens und sechs in verschiedenen Kantonen des Mittellandes. Die Umsiedlung der übrigen Bewohner ist wie folgt vorgesehen und teilweise bereits definitiv geregelt: Zwei Familien finden Anstellung beim Kraftwerkbetrieb und beziehen Neubauten des Werkes, zwei andere bauen selber ebenfalls in Marmorera, zwei werden ins Unterland ziehen und drei Familien (Expropriaten) sind noch nicht endgültig entschlossen, ob sie aus dem Tal wegziehen wollen.

Vom Stausee werden rund 1,4 km² Land überflutet, wovon die Hälfte Wiesland, ein Drittel Wald und der restliche Sechstel Weide- und Streuland und unproduktiver Boden sind. 29 Wohnhäuser, die Kirche und 52 Ställe und Speicher werden abgebrochen. Etwa ¾ der Grundstücke und Gebäude konnten freihändig erworben werden, für den restlichen Viertel ist das Enteignungsverfahren im Gange. Die Stadt Zürich läßt es sich angelegen sein, die Umsiedler nicht nur mit Geld zu entschädigen, sondern ihnen beim Erwerb neuer Heimwesen und nachher bei deren Bewirtschaftung mit Rat und Tat beizustehen.

3. Bauprogramm

Als größtes Objekt der Kraftwerkanlage bestimmt der Staudamm deren Bauprogramm. Es galt, möglichst frühzeitig die Voraussetzungen für den Beginn der Dammbauarbeiten zu schaffen: die Verlegung der Julierstraße außerhalb des Staubeckens und die Umleitung der Julia durch einen Grundablaß- und Umleitungsstollen. Mit diesen Arbeiten wurde im Winter 1949/50 begonnen. Im Frühjahr 1951 konnte die Talabschluß-Stelle bei Castiletto für den durchgehenden Fahrverkehr gesperrt, und es konnte mit der Dammauffüllung begonnen werden. Auf den Herbst 1953 soll in der Zentrale Tinizong eine Maschinengruppe betriebsbereit und der Druckstollen und die Druckleitung fertiggestellt sein, so daß im Winter 1953/54 mit einem Laufwerkbetrieb gerechnet werden kann. Die Beendigung der Dammbauarbeiten und damit der Beginn des Aufstaues im Staubecken ist im Sommer 1954 zu erwarten. Ein nennenswerter Teilstau schon vor der Fertigstellung des Staudammes ist leider nicht möglich, weil im Boden des Staubeckens Gewinnungsstellen von Dammbaumaterial liegen, die bis kurz vor Beendigung des Dammbaues benützt werden müssen.

4. Vorbereitende Bauarbeiten

Zufahrten

Zu allen Baustellen führten schon vor Baubeginn Zufahrtswege, angefangen bei der gut ausgebauten, ganzjährig geöffneten Julierstraße, bis zu den bei den Stol-

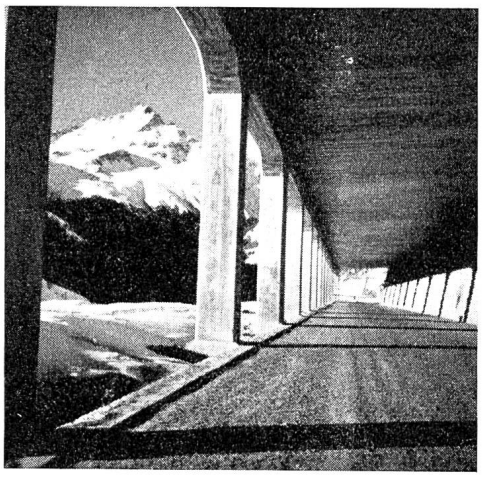


Abb. 4 Steinschlaggalerie an der neuen Julierstraße, Blick gegen Norden auf Piz d'Arblatsch

Abb. 5 Giüstiabrücke am südlichen Ende des Stausees

lenfenstern und beim Wasserschloß vorbeiführenden Waldsträßchen, die mit kleinen Motorfahrzeugen befahrbar sind. Diese günstigen Voraussetzungen erleichterten die Aufnahme der Installationsarbeiten. Die beiden mit dem Bau des Druckstollens betrauten Unternehmungen erstellten von der Julierstraße bei Mulegns und bei Rona Luftseilbahnen zu den Baustellen bei den Stollenfenstern Val Faller und Nascharegnas, bestimmt für den Transport der Betonzuschlagstoffe und des Zementes. Längs der Druckleitung dient eine für 12 Tonnen Nutzlast bemessene, provisorische Standseilbahn dem Transport der Druckrohre sowie der Versorgung der Baustelle Wasserschloß mit Kies, Sand und Zement.

Wald

Die unterhalb des Stauzieles 1680 im Talbecken von Marmorera befindlichen Waldbestände, rund 50 ha, vorwiegend Gemeindewald, wurden im Jahre 1950 gerodet. Die Verwertung erfolgte unter Leitung der kantonalen Forstorgane für die Gemeinde Marmorera; es fielen rund 3500 m³ tannenes Nutzholz, 3500 m³ lärchenes Nutzholz und 3000 m³ Brenn- und Papierholz an. In nur kleinem Umfang waren sodann noch Rodungen erforderlich bei den Stollenfenstern und für das Trasse der Druckleitung.

Die Stadt Zürich als Konzessionärin ist zu Ersatzaufforstungen im Umfang der vorgenommenen Rodungen verpflichtet. Die Forstorgane haben unproduktive Hänge bei Bivio und bei Sur zur Aufforstung bestimmt.

Verlegung der 150-kV-Leitung

Auf rund 4 km Länge erhielt die vordem durch den Talboden von Marmorera führende, im Jahre 1947 gebaute, 150-kV-Leitung Cavaglia — Bivio — Tiefencastel ein neues Trasse oberhalb der neuen Julierstraße am Osthang des Tales. Es wurden 16 neue Gittermasten aufgestellt; die verlegte Leitung kam im Oktober 1951 unter Spannung.

Kies und Sand

Im südlichen Teil der Talböden von Marmorera und von Rona finden sich Ablagerungen von Julia-Geschiebe, das sich zur Aufbereitung für Betonzuschlagstoffe eignet. Ferner lieferte der Aushub aus der Baugrube des Maschinenhauses in Tinzen und aus der Sohlenvertiefung der Julia Kies und Sand. Die Versorgung sämtlicher Baustellen des Juliawerkes Marmorera mit Betonzuschlagsstoffen erfolgt aus drei Aufbereitungsanlagen in Marmorera, Rona und Tinizong, die je mit Steinbrecher-, Wasch- und Sortiereinrichtungen ausgerüstet sind. Der Anfall von Sand aus den drei Anlagen ist zeitweilig ungenügend; die notwendige Ergänzung wird aus den Sandbänken der Staubecken Burvagn und Nisellas des Juliawerkes Tiefencastel resp. des Albulawerkes Sils gewonnen und zugeführt.

5. Beschreibung der wichtigsten Anlageteile und ihrer Ausführung

a) Verlegung der Julierstraße

Die Verlegung der Julierstraße auf etwa 4,5 km Länge außerhalb des Staugebiets war die vordringlichste Bauaufgabe, denn mit Beginn des eigentlichen Dammbaues mußte bei Castiletto der Fahrverkehr auf der im Talboden verlaufenden alten Julierstraße unterbunden werden können. Die neue Straße verläuft nun längs dem Ostufer des Stausees, 70 bis 90 m höher als der Talboden. Die Lage am Osthang des Tales wurde gewählt, da hier die topographischen Verhältnisse im allgemeinen günstiger und die Besonnung besser sind als auf der gegenüberliegenden Seite. Allerdings mußte damit der Nachteil der Durchquerung eines steilen Serpentinhanges auf etwa 250 m Länge in Kauf genommen werden,

die bei der Bauausführung mancherlei Schwierigkeiten bot.

Mit einer den Gegebenheiten des Geländes angepaßten Entwicklung über eine Wendeplatte und eine weitausholende Kehre am Hang von «Scalottas» überwindet die neue Straße mit maximal 8 % Steigung die Höhendifferenz von Kote 1610 nördlich des Staudammes bis Kote 1684 am östlichen Dammkopf. Von dort verläuft sie, ganz leicht steigend längs dem Ostufer des Sees bis zum Kulminationspunkt Kote 1720 in der Felswand oberhalb des alten Dorfes Marmorera, um hernach gegen das südliche See-Ende an der Gemeindegrenze von Bivio mit 4 % wieder auf Kote 1684 herabzusteigen. Diese leichte Gegensteigung ist durch die geologischen Gegebenheiten an der erwähnten Felswand begründet; für den motorisierten Fahrverkehr unserer Zeit bietet sie keinen Nachteil. Anderseits gestattet das leichte Abrücken der Straße vom Seerand, auf längere Strecken den Waldbestand zwischen See und Straße zu schonen. Dieser lichte Waldsaum, meistens Lärchenbestand, wird das Landschaftsbild reizvoll bereichern.

Die Straße ist nach den schweizerischen Normen für Alpenstraßen mit mindestens 6 m Fahrbahnbreite und Kurvenerweiterungen ausgebaut; die Fahrbahn hat einen staubfreien bituminösen Belag. Der kleinste Kurvenradius mißt 40 m. An größeren Kunstbauten sind erwähnenswert eine 120 m lange Steinschlaggalerie in Eisenbeton in dem stark steinschlaggefährdeten Serpentinhang etwa 600 m südlich des Staudammes, ein 52 m langer und 18 m hoher Viadukt (durchlaufende Eisenbeton-Fahrplatte über vier Feldern auf schlanken Mauerwerkspfeilern) über der Runse von «Bardella» und die

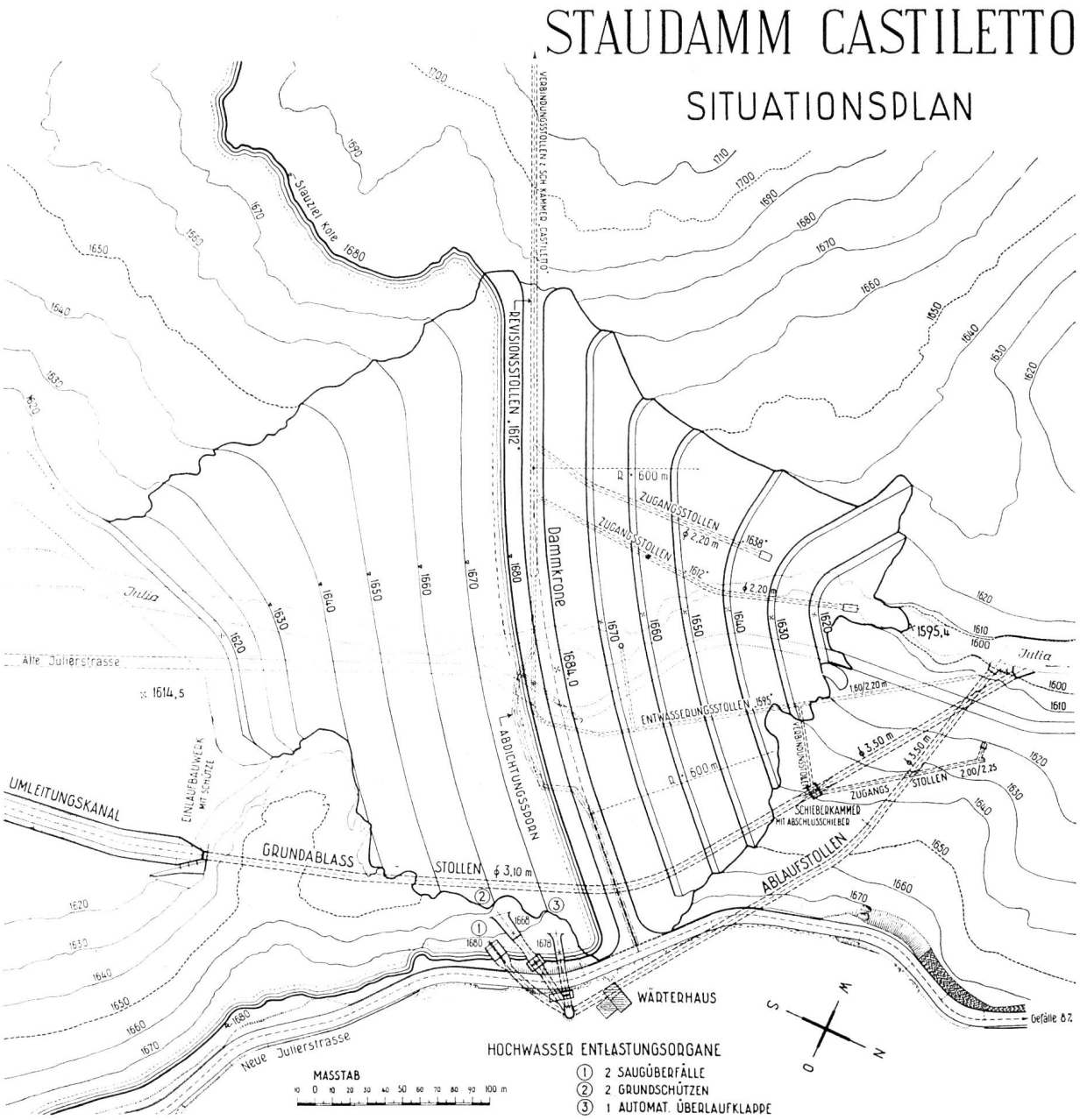
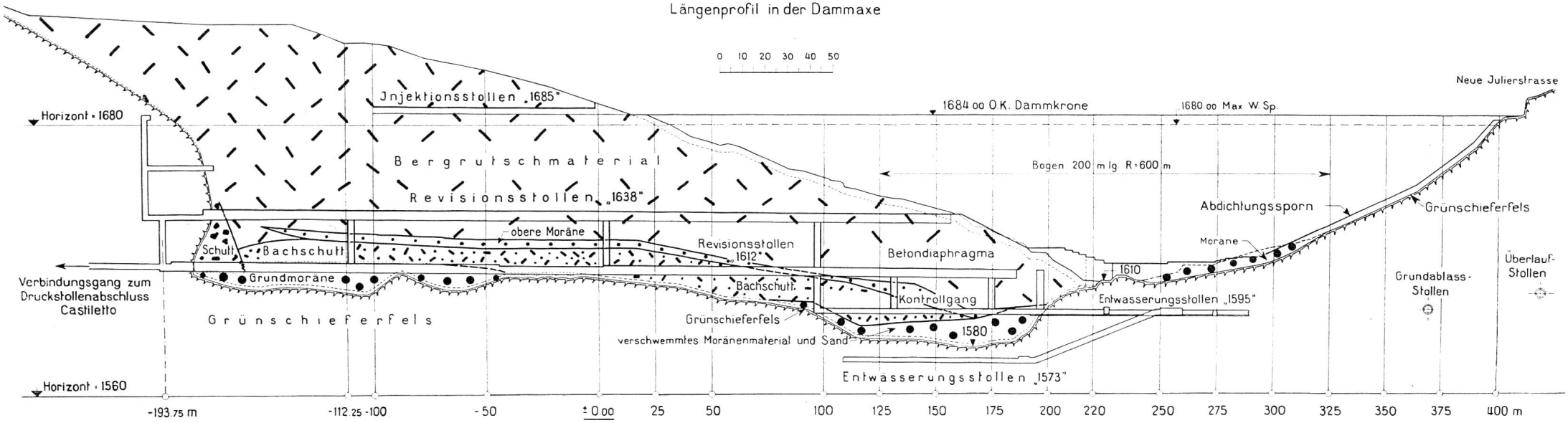


Abb. 6

Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich

West — Staudamm Castiletto — Ost

Längenprofil in der Dammaxe



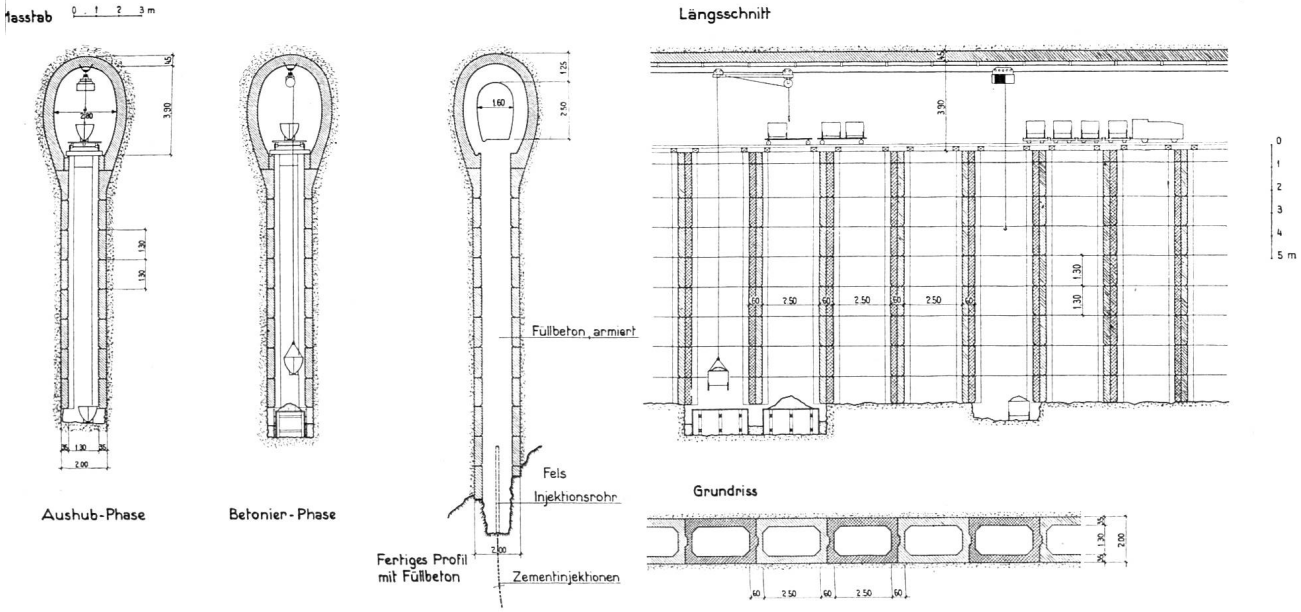


Abb. 7 (oben)
Staudamm; Längenprofil in der Dammaxe

Abb. 8 (unten)
Staudamm, Arbeitsschema beim Betondiaphragma

Giüstiabrücke über das südliche See-Ende, wo die Straße auf die westliche Talseite übersetzt (eine 80 m lange durchlaufende Eisenbetonplatte über sechs Felder auf schlanken Mauerwerkspfeilern). Im übrigen waren Stütz- und Wandmauern im Gesamtausmaß von etwa 12 000 m³ erforderlich, die ohne Ausnahme in Naturstein aus der nächsten Umgebung erstellt wurden.

Der schneereiche Winter 1950/51 bot Gelegenheit, die von der neuen Straße durchfahrenen Hänge auf allfällige Lawinengefährdung zu beobachten. Es ergab sich die Notwendigkeit, am Hang von «Natons» oberhalb des alten Dorfes Marmorera Verbauungen vorzunehmen. Es wurden etwa 480 lfm meist rechtwinklig zum Hang gestellter Schneerechen von 2 bis 2½ m Höhe aus Eisenbahnschienen und Lärchenrundholz gebaut, die in 21 einzelnen sog. Werken gestaffelt angeordnet sind, von denen das höchstgelegene auf Kote 1850 steht.

Anfangs Mai 1951 wurde die neue Straße für den allgemeinen Verkehr geöffnet. An ihrem Bau waren vier bündnerische Firmen, resp. Unternehmerkonsortien beteiligt. Die Baukosten, ohne die Steinschlaggalerie und die beiden Brücken, belaufen sich auf rund Fr. 800 000.— pro km Straße.

b) Staudamm Castiletto

Die topographischen Verhältnisse sind bei Castiletto am nördlichen Ende des Talbeckens von Marmorera für die Erstellung eines Abschlußbauwerkes nicht ungünstig; die Sperrstelle weist ein V-Profil mit ziemlich steilen Flanken auf. Die umfangreichen Voruntersuchungen, die zur Wahl des in Ausführung begriffenen Dammtyps führten, sind in Heft 1/2 des Jahrganges 1950 dieser Zeitschrift beschrieben und sollen hier nicht wiederholt werden. Die Höhe des Dammes mißt 70 m über Talboden, die Länge der Krone 400 m und das Dammvolumen rund 2,7 Mio m³.

Weniger günstig als die topographischen sind die geologischen Verhältnisse. An der östlichen Talflanke steht zwar vorwiegend kompakter Grünschieferfels an, aber die westliche Flanke wird durch einen breiten, geologisch jungen Bergrutschkegel gebildet, der auf durchlässigem Bachschutt- und verschwemmtem Moränenmaterial aufliegt. Der Fels liegt in der Dammaxe bis zu 120 m unter der Terrainoberfläche. Die Vorkehren zur Abdichtung dieser Westflanke bilden, sowohl was die Ausführungsschwierigkeiten betrifft als auch kostenmäßig, einen wesentlichen Teil der ganzen Bauaufgabe.

Der Bereich zwischen dem Stauziel 1680 und etwa der Kote 1638 erhält in der westlichen Verlängerung der Dammaxe einen vertikalen Injektionsschirm. Unterhalb Kote 1638 hingegen wird in der Dammaxe ein 2 m starkes Eisenbeton-Diaphragma bergmännisch gebaut, das bis in die Felsunterlage hinabreicht (tiefste Stelle Kote 1582). Die Ausführung erfolgt in Zellenbauweise, je von den 4 m lichte Höhe aufweisenden Arbeitsstollen «1612» und «1638» aus abwärts. Die einzelnen Zellenringe sind 3,10 m lang und 1,30 m hoch und weisen 30 cm Wandstärke auf. Nach Erreichen der Felsunterlage werden die schachtartigen Zellenhohlräume, deren Lichtmaß 2,50 × 1,40 m beträgt, stufenweise mit kräftig armiertem Beton gefüllt. In den tieferen Partien des Diaphragmas erschwert der Andrang von Grundwasser, stellenweise verbunden mit Grundbruchgefahr, die Aushub- und Betonarbeiten. Zur Absenkung des Grundwassers wurde auf Kote etwa 1573 ein horizontaler Stichstollen im Felsuntergrund ausgebrochen. Eine Reihe von Filterbohrungen in der Diaphragma-Axe führen das Wasser in diesen Stollen hinunter, aus dem es durch einen Schrägstollen in den Entwässerungsstollen «1595» hinaufgepumpt wird; letzterer mündet frei in die Juliaschlucht aus.

Sowohl unter der westlichen Dammhälfte als auch auf der Ostseite wird die Felsunterlage in der Dammaxe mit einem 15 bis 20 m tief reichenden Injektionsschirm ab-

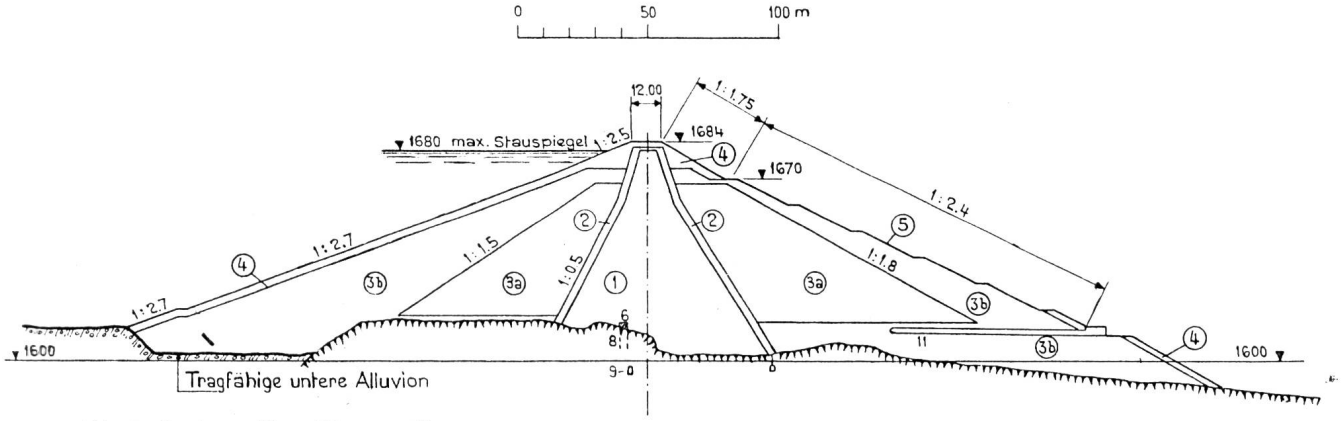


Abb. 9 Staudamm, Normal-Dammprofil

Legende:
(1) Dichtes Moränenmaterial
(2) Filterschicht
(3a) Stützkörper aus Steinschutt, ungewaschen
(3b) Stützkörper aus Steinschutt, gewaschen
(4) Blöcke
(5) Humusandeckung
6 Betondiaphragma
7 Abdichtungssporn

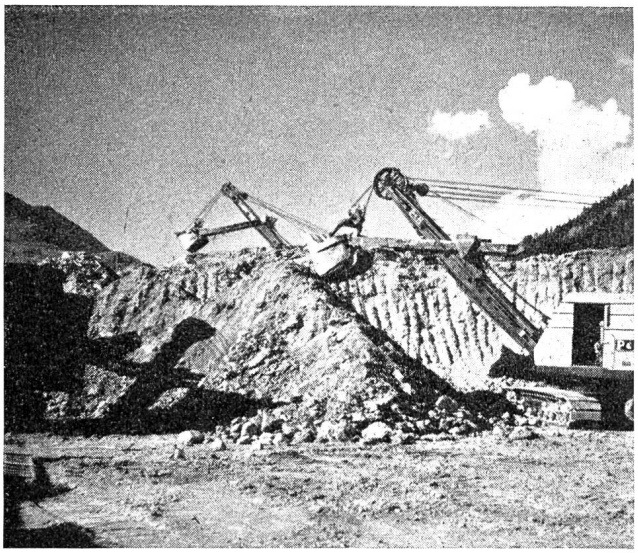


Abb. 10 Gewinnung von Kernmaterial für den Staudamm aus der Grundmoräne von Cresta

gedichtet. Ein in die Felsoberfläche eingebundener 2,5 m hoher Eisenbetonsporn in östlicher Fortsetzung des Betondiaphragmas soll allfällige Durchsickerungen längs der Kontaktfläche zwischen Fels und Dammkern abriegeln.

Der Bau eines Dammes setzt das Vorhandensein ausreichender Mengen geeigneten Materiales in nicht zu großer Entfernung von der Sperrstelle voraus. Die im Gebiet des Talbeckens von Marmorera durchgeführten Sondierungen ließen erwarten, daß sowohl lehmiges, dichtes Moränenmaterial als auch steiniges Schutthaldenmaterial in genügenden Mengen und nahe der Baustelle gewonnen werden können. Unter den verschiedenen in Erwägung gezogenen Typen fiel die Wahl auf einen gewalzten und geschütteten Damm mit dichter Zentralzone.

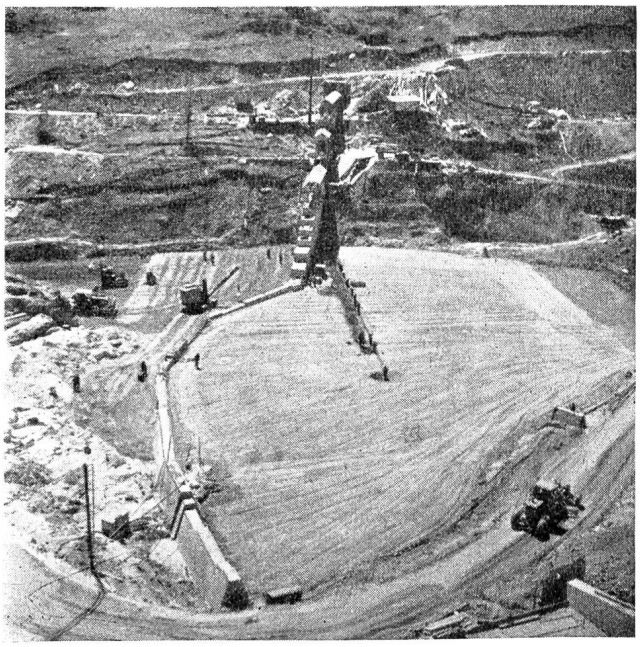


Abb. 11 Staudamm Kernzone, Blick gegen Westflanke; im Hintergrund das im Bau befindliche Betondiaphragma, das seine Fortsetzung im Abdichtungsporn (Vordergrund) hat. Photo 17. 5. 1952

In einem auf der Baustelle eingerichteten Feldlaboratorium werden die für den Dammbau zu verwendenden Materialien eingehenden Prüfungen unterzogen. Die Untersuchungen erstrecken sich hauptsächlich auf die Bestimmung der Kornzusammensetzungen, des natürlichen Wassergehaltes, der Durchlässigkeit und der Scherfestigkeit im natürlichen Zustand und der Setzungsempfindlichkeit, alsdann auf die Ermittlung des günstigsten Einbauwassergehaltes und der aufzuwendenden spezifischen Verdichtungsarbeit für die zu walzenden Materialien. Ausgedehnte Laboratoriumsuntersuchungen und tiefreichende, mit großen Löffelbaggern an den Materialgewinnungsstellen durchgeführte Probeaufschlüsse lieferten die materialtechnischen Grundlagen zur erdbaumechanischen Berechnung und Dimensionierung des Dammkörpers. Zusammen mit den ebenfalls zu berücksichtigenden ausführungstechnischen Gegebenheiten führten diese Studien zu dem hier dargestellten Normalquerschnitt des Dammes (Abb. 9). Die Zentralzone (1) ist ax-symmetrisch; sie wird geometrisch begrenzt durch ein Dreieck mit Spitze auf der Kote des Stauzieles und Basisbreite gleich Höhe. Der Durchlässigkeitskoeffizient des in Zone (1) eingebauten dichten Grundmoränenmateriales beträgt $k = 10^{-6}$ bis 10^{-7} cm/s. Zum Vergleich sei erwähnt, daß der in der Moräne selbst gemessene entsprechende Wert 10^{-7} bis 10^{-8} cm/s beträgt. Beidseitig an die Zentralzone schließen Filterzonen (2) von je 3 m Mächtigkeit an. Als Filtermaterial wird feinkörniger, verschwemmter Gehängeschutt verwendet, der, im Damm eingebaut, einen Durchlässigkeitskoeffizient von $k = 10^{-4}$ bis 10^{-5} cm/s aufweist. Die Aufgabe der Filterzonen besteht darin, ein Ausschwemmen von feinem Material (1) aus der Zentralzone zu verhindern; ihr Kornaufbau ist derart, daß ihnen beim Durchsickern von Wasser keine Bestandteile entzogen werden. Die beiden gegen außen anschließenden Stützkörper (3) sind volumenmäßig die wichtigsten Dammzonen. Entsprechend dem Grundsatz, die Durchlässigkeit des Damm-Materiales von innen nach außen stufenweise größer werden zu lassen, sind die Stützkörper je in die beiden Teilzonen (3a) und (3b) unterteilt. Als Material (3a) kommt verschmutzter Gehängeschutt mit größten Komponenten von etwa 30 cm Korngröße zur Verwendung; der Wert k beträgt 10^{-2} bis 10^{-4} cm/s. Der in Zone (3b) eingebaute Gehängeschutt hingegen ist vorwiegend grobkörnig und weist nur wenig feine Bestandteile auf. Dementsprechend ist hier die Durchlässigkeit größer ($k = 10^{-1}$ bis 10^{-2} cm/s) als in der benachbarten Zone (3a). Die seeseitige Dammböschung, der talseitige Dammfuß und die Dammkrone erhalten Blockabdeckungen, im Normal-

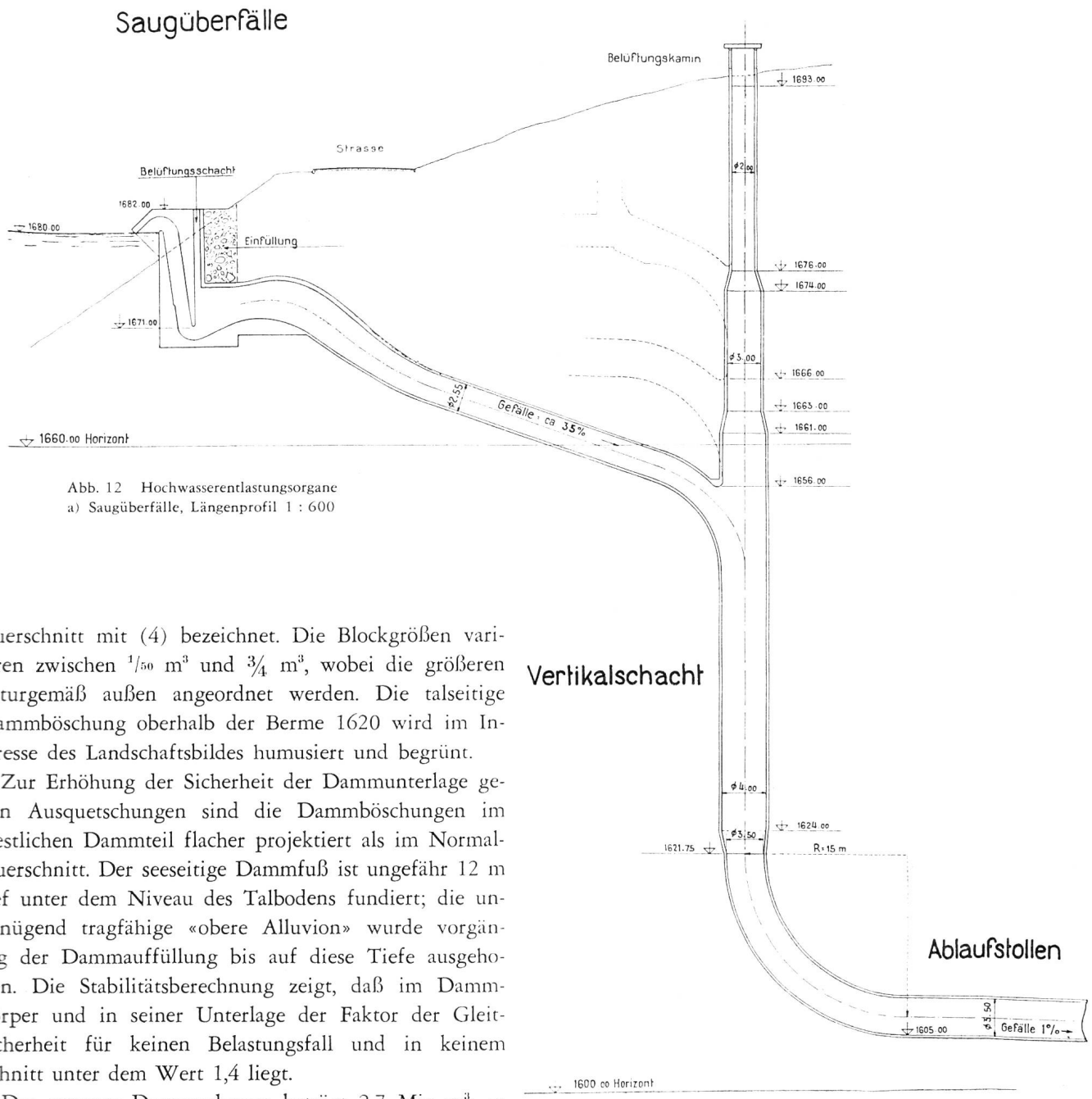


Abb. 12 Hochwasserentlastungsorgane
a) Saugüberfälle, Längenprofil 1 : 600

Querschnitt mit (4) bezeichnet. Die Blockgrößen variieren zwischen $^1/_{50}$ m³ und $^3/_4$ m³, wobei die größeren naturgemäß außen angeordnet werden. Die talseitige Dammböschung oberhalb der Berme 1620 wird im Interesse des Landschaftsbildes humusiert und begrünt.

Zur Erhöhung der Sicherheit der Dammunterlage gegen Ausquetschungen sind die Dammböschungen im westlichen Dammteil flacher projektiert als im Normal-Querschnitt. Der seeseitige Dammfuß ist ungefähr 12 m tief unter dem Niveau des Talbodens fundiert; die ungenügend tragfähige «obere Alluvion» wurde vorgängig der Dammauffüllung bis auf diese Tiefe ausgehoben. Die Stabilitätsberechnung zeigt, daß im Dammkörper und in seiner Unterlage der Faktor der Gleitsicherheit für keinen Belastungsfall und in keinem Schnitt unter dem Wert 1,4 liegt.

Das gesamte Dammvolumen beträgt 2,7 Mio m³; es verteilt sich auf: (1) 0,5 Mio m³, (2) 0,1 Mio m³, (3a) 0,8 Mio m³, (3b) 1,0 Mio m³ und (4) 0,3 Mio m³. Zusammen mit 0,4 Mio m³ Alluvionsaushub und Abraumabtrag in der Dammunterlage sind demnach 3,1 Mio m³ Material zu bewegen.

Die Ausführungsvorschriften für den Dammbau sind auf Grund der Eigenschaften der verwendeten Materialien und in teilweiser Anlehnung an amerikanische Beispiele aufgestellt worden. Es soll hier nicht näher darauf eingetreten werden, da Oberingenieur *M. Oswald* die Dammarbeiten an anderer Stelle dieses Heftes beschreibt.

Zur Beobachtung der Setzungen und Horizontalverschiebungen im Dammkörper und in seiner westlichen Unterlage schon während der Bauzeit und später während des Werkbetriebs dienen mehrere Meß-Schächte, eine Serie von Setzungspegeln und zahlreiche Oberflächen-Meßpunkte. Wichtig ist sodann die laufende Kontrolle des Porenwasserdruckes im Dammkern; diese geschieht in etwa 60 bis 70 Meßzellen, von denen aus der Druck durch Kupferleitungen hydraulisch auf Manometer in einer zentralen Instrumentenkammer übertragen wird.

Der Entleerung des Staubeckens dienen der Grundablaß und die Hochwasser-Entlastungsorgane. Der 500 m lange Grundablaß-Stollen in der Ostflanke mit 3,10 bis 3,50 m lichtem Kreisprofil dient während der Bauzeit als Umleitungsstollen. Sein Hauptabschluß, eine Gleitschütze von 1,25 × 2,00 m lichtem Durchfluß-Querschnitt mit Öldruckantrieb, wird erst kurz vor Staube-

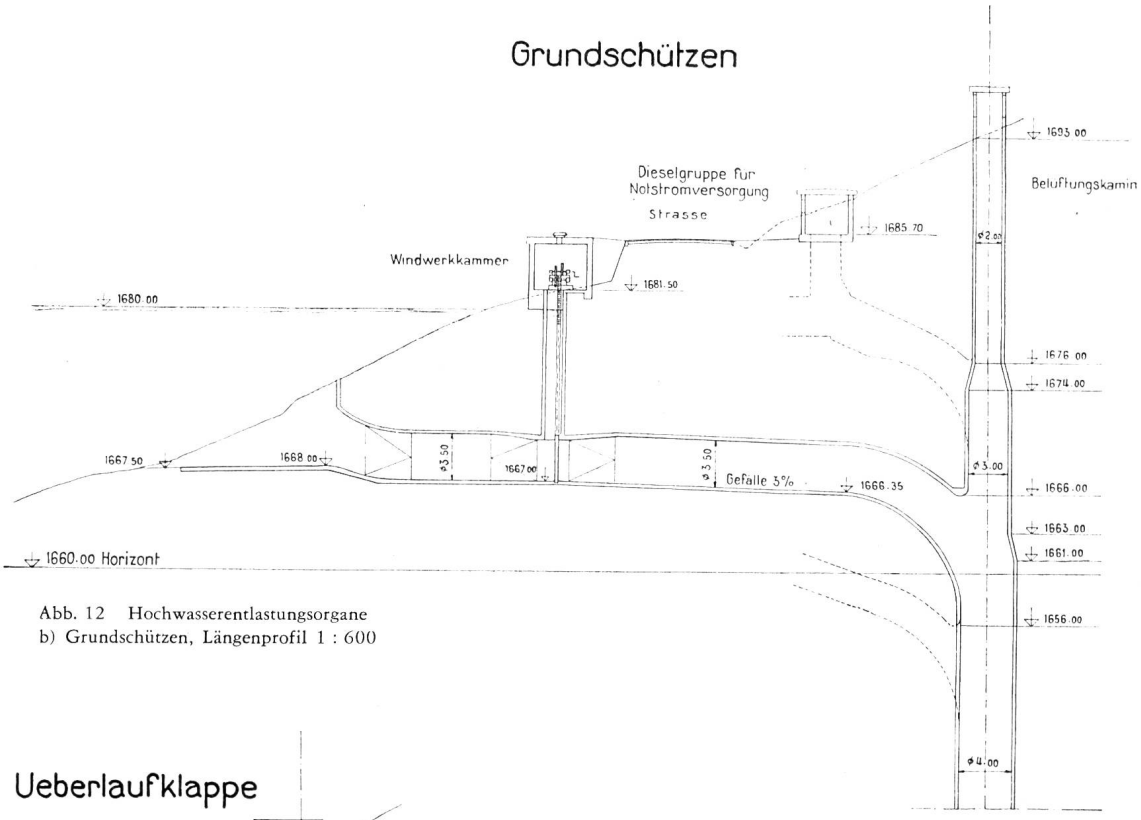
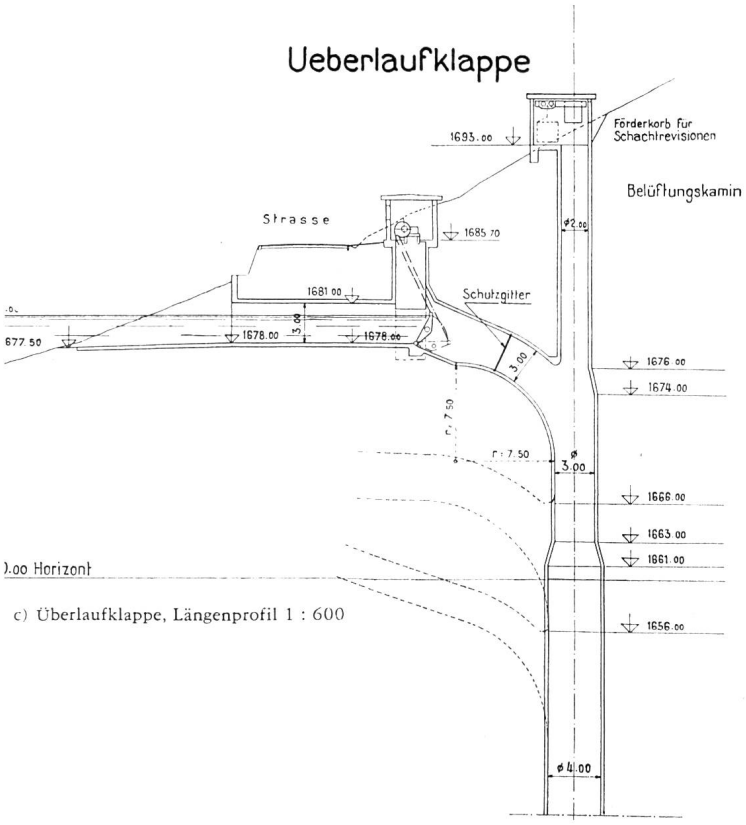


Abb. 12 Hochwasserentlastungsorgane
b) Grundschützen, Längenprofil 1 : 600



c) Überlaufklappe, Längenprofil 1 : 600

ginn in einer nahe beim nördlichen Stollenauslauf gelegenen Schieberkammer eingebaut. Das seeseitige Einlaufbauwerk des Grundablasses kann bei Seeständen unterhalb Kote 1622 nötigenfalls durch eine von Hand betätigte Gleitschütze abgeschlossen werden. Bei Vollstau vermag der Grundablaß 85 m³/s abzuführen. Als Hochwasser-Entlastungsorgane sind, ebenfalls in der östlichen Felsflanke und vom Staudamm vollständig getrennt, eine automatische Überlaufklappe für 20 m³/s zwei Saugüberfälle für je 25 m³/s und zwei auf Schwellen-Kote 1668 angeordnete Gleitschützen für je 65 m³/s (bei Seespiegelhöhe 1680) vorgesehen. Diese Hochwasser-Entlastungsorgane vermögen, ohne Überstau, gesamthaft 200 m³/s zu schlucken; das Wasser gelangt in einen zentralen Vertikalschacht vom Durchmesser 4,0 m und von diesem durch einen horizontalen Ablaufstollen in die beidseitig von Felswänden flankierte Juliaschlucht talseits des Staudammes. Die Antriebsmotoren der Abschluß-Organe können, bei Ausfall der Stromzufuhr aus dem Versorgungsnetz, von einer Diesel-Notstromgruppe gespiesen werden.

An der neuen Julierstraße, nahe dem ostseitigen Dammkopf, wird ein Wärterhaus mit zwei Wohnungen und den notwendigen Diensträumen und Garage gebaut.

c) Druckstollen und Wasserschloß

Der vom Einlaufportal Castiletto bis zur Apparatenkammer der Druckleitung 9436 m lange Druckstollen verläuft im westlichen, linken Talhang. Er unterfährt bei km 2,6 das tief eingeschnittene Val Faller wo zwischen Bachsohle und Stollen eine Felsüberlagerung von 80 m besteht. Es war gegeben, im Val Faller das erste Stollenfenster anzuordnen. Zwischen Mulegns und Rona, bei «Nascharegnas», ungefähr bei Stollenkilometer 5,4 tritt der Fels zum letzten Mal markant an der Oberfläche der westlichen Talflanke hervor, um dann weiter nördlich bis in die Gegend des Wasserschlosses unter ausgedehnten Schutthalden und oberflächlichen Sackungsgebieten zu verschwinden. Diese geologischen Verhältnisse führten dazu, das zweite Stollenfenster bei «Na-

scharegnas» vorzutreiben und den anschließenden 4,2 km langen Abschnitt von Stollenkilometer 5,264 bis zum nördlichen Portal bei km 9,436 ohne ein weiteres Fenster zu erstellen. Die beiden Fensterstollen messen 380 lfm (Val Faller) resp. 500 lfm (Nascharegnas). Sie werden als bleibende Zugänge mit stählernen Abschlußtoren beim Druckstollenanschluß ausgebaut. Der horizontal gemessene Abstand zwischen Druckstollenaxe und Talflanke beträgt bei km 7,0 im Maximum 1,5 km; die größte Überlagerung, bei km 4,2 mißt 580 m.

Das Einlaufbauwerk bei Castiletto enthält einen Feinrechen 6,40 × 3,50 m und eine Abschluß-Gleitschütze 2,45 × 2,55 m, die nur bei Seeständen unterhalb Kote 1622 und nur von Hand betätigt werden kann. Dieser Abschluß soll lediglich eine Trockenlegung und Revision des Stollenabschnittes zwischen dem Portal und dem Hauptabschluß in der Schieberkammer bei km 0,4 ermöglichen. In dieser werden zwei hintereinander angeordnete Gleitschützen von 1,25 × 2,00 m lichtem Durchflußquerschnitt mit Öldruckantrieb eingebaut. Die Schieberkammer hat ihre natürliche Entwässerung und den Zugang durch einen 340 m langen Verbindungsstollen vom Revisionsgang «1612» des Staudammes her. Als zweite Zugangsmöglichkeit und zur Ventilation dient ein 80 % geneigter Schrägschacht mit Eingangskammer auf Kote 1688 in der Felswand bei der Ruine Castiletto. Der verhältnismäßig große Abstand von 400 m zwischen Einlaufportal und Schieberkammer ergab sich aus der Bedingung, letztere in kompaktem trockenem Grünschieferfels zu plazieren. Seewärts von km 0,340 liegt der Stollen in gebrächem und klüftigem Serpentin.

Nach der geologischen Prognose war nirgends ein größerer Wasserandrang zu erwarten. Es durfte deshalb gewagt werden, den Druckstollen auch in fallenden Stollenästen vorzutreiben. Die Ausführung hat dann die Richtigkeit der Prognose bestätigt, indem vorwiegend trockener Fels angetroffen wurde. Es standen demnach für den Vortrieb sechs Angriffsstellen zur Verfügung.

Der Druckstollen hat ein mittleres Gefälle von 3,7 ‰. Zur Erleichterung der Wasserhaltung wurden die fallenden Stollenäste mit nur etwa 2 ‰ Gefälle vorgetrieben, während die in entgegengesetzter Richtung vorgetriebenen Strecken 4 bis 5 ‰ erhielten. Das Normalprofil des Druckstollens ist kreisrund mit 2,55 m lichtem Betondurchmesser; auf 1,1 m Breite ist die Sohle horizontal ausgebildet. Auf der ganzen Stollenlänge erhält der Fels eine Auskleidung mit Beton P 275, in Metallschalung eingebracht und pervibriert. In den Baulosen 1a (0,5 km) und 2 (3,4 km) verwenden die Unternehmungen Aluminiumschalung; die Unternehmung der Baulose 1b und 3 arbeitet mit Stahlblechschalung. Je nach Felsqualität betragen die Betonstärken 20 cm bis 40 cm. Eine seitlich neben der Stollensohle verlegte Baudrainage aus Zementrohren Ø 20 cm mit Putzschächten in 30 m Abstand dient der Ableitung des anfallenden Bergwassers; sie wird vor Inbetriebnahme des Druckstollens von den Putzschächten aus mit Mörtel geschlossen.

Bei vollem Stausee beträgt der Betriebswasserdruck im Druckstollen beim Einlauf 6,5 at, beim Wasserschloß 10 bis 11 at. Bei Stollenkilometer 0,5, beim Fenster Nascharegnas und in der untern Kammer des Wasserschlosses wurde der Fels Abpreßversuchen mit Druckwasser unterworfen. Die bei diesen Versuchen mit elektrisch übertragenden Deformetern (Bauart MCH, Huggenberger) gemessenen bleibenden und elastischen

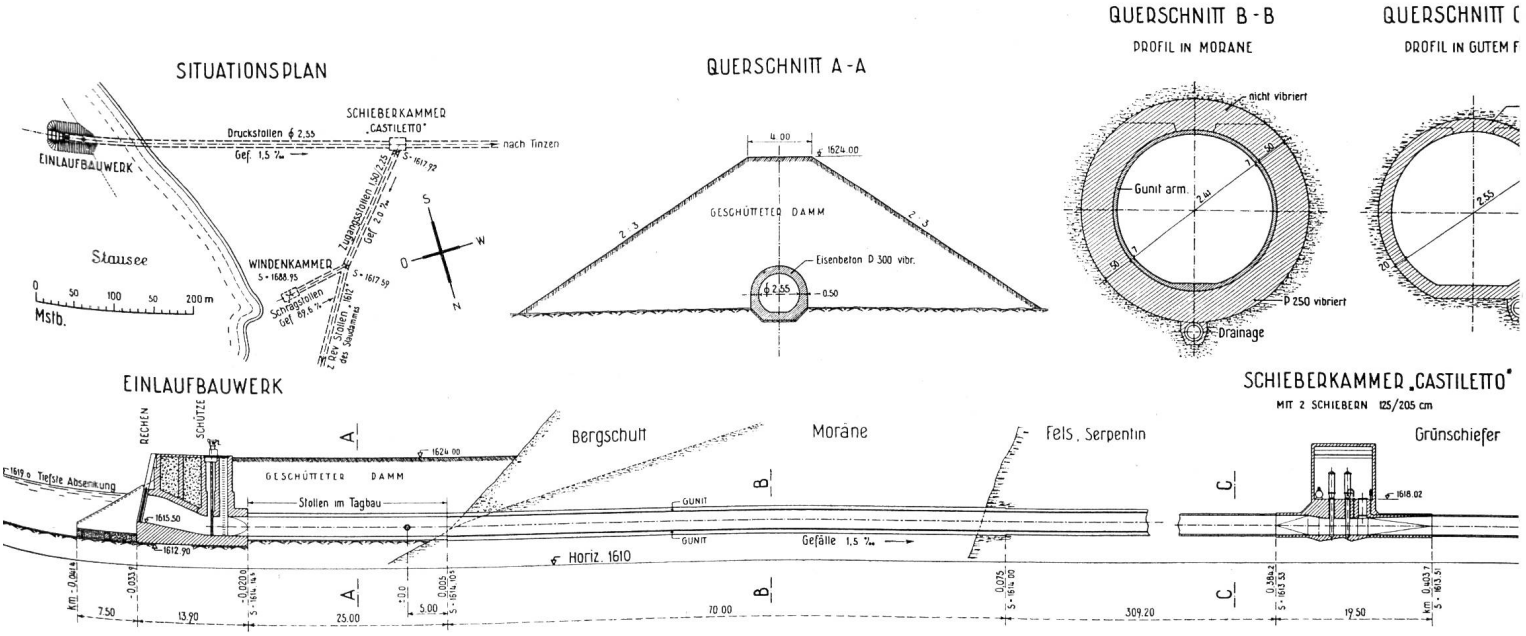


Abb. 13 Druckstollen, Stolleneinlauf Castiletto

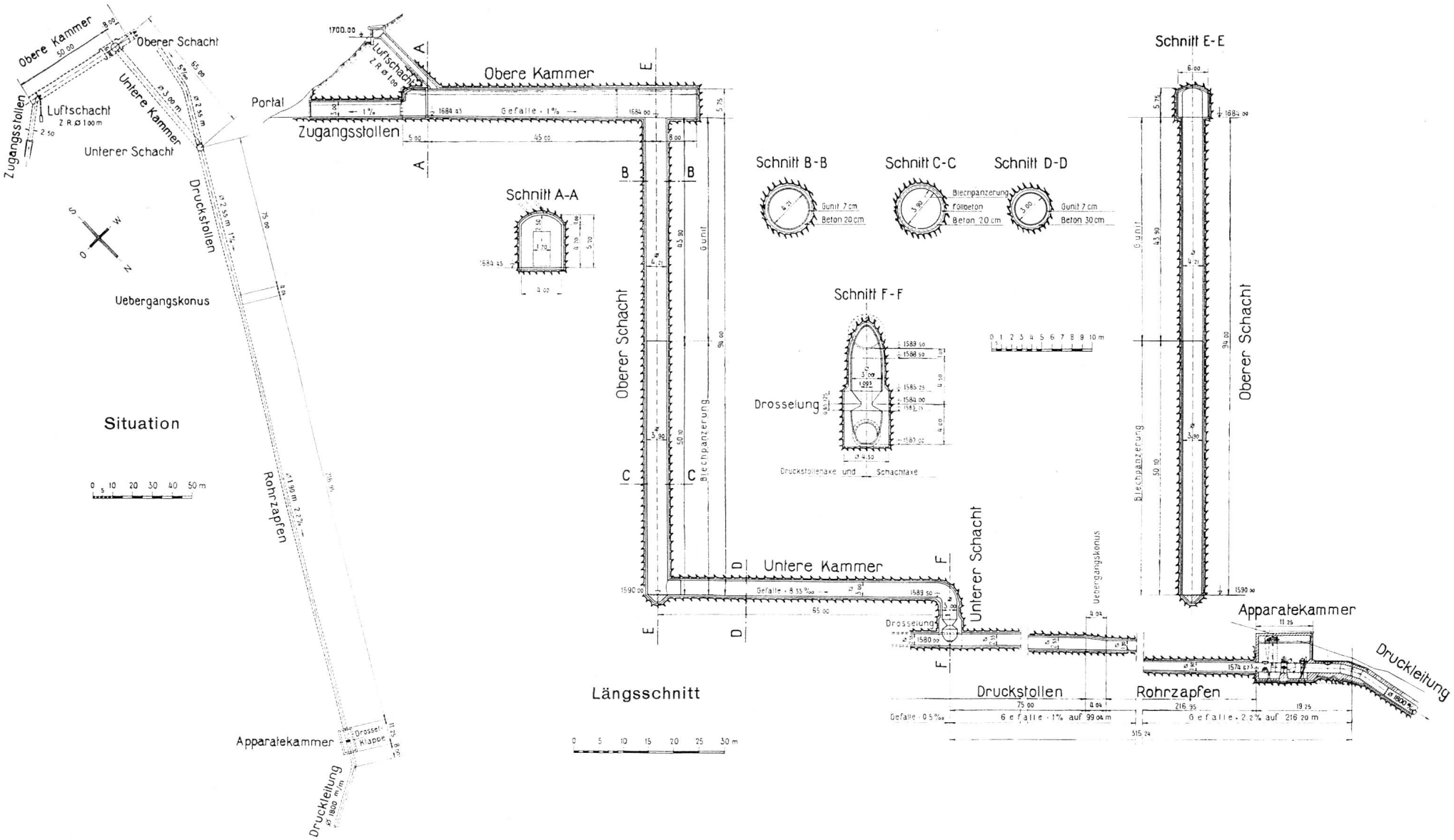


Abb. 14 Wasserschloß und Apparatenkammer

Verformungen der Stollenleibung gaben Anhaltspunkte für die Bemessung der Stollenauskleidung. Auf insgesamt 2,5 km Länge (27 % der Gesamtlänge) erhält der Stollen in gebrächen oder klüftigen Felspartien innerhalb des Betonmantels noch eine rundeisenbewehrte 7 cm starke Gunitauskleidung; in diesen Strecken reduziert sich das lichte Kreisprofil auf einen Durchmesser von 2,41 m. In den übrigen Strecken bleibt der Stollenbeton unverputzt.

Bis zur Betriebsaufnahme des Werkes steht für die Fertigstellung des Druckstollens reichlich Zeit zur Verfügung. Auf gründliche, in verschiedenen aufeinanderfolgenden Serien mit steigendem Druck durchzuführende Zementinjektionen kann deshalb alle Sorgfalt verwendet werden. Es ist beabsichtigt, den ganzen Druckstollen einige Monate vor Betriebsaufnahme sektionsweise mit Wasser zu füllen und unter Betriebsdruck zu setzen, um ihn auf diese Weise auf Wasserverlust und Deformationen zu prüfen.

In einem verhältnismäßig kurzen Stollenabschnitt in standfestem hartem Grünschiefer, km 0,6 bis 0,9, haben die chemischen Untersuchungen des Gebirgswassers hohen Sulfatgehalt gezeigt. Für die Betonauskleidung dieser Stollenstrecke wird gegen agressives Wasser widerstandsfähiger französischer Hochofenzement verwendet. Mit dieser einzigen Ausnahme gibt der Chemismus aller angetroffenen Gebirgswasser wie übrigens auch des Betriebswassers zu keinen Bedenken Anlaß.

Das gedrosselte Wasserschloß, bestehend aus unterer Reservoirkammer, Vertikalschacht und oberer Reservoirkammer mit Zugangsstollen ist soweit ins Berginnere gelegt worden, daß das ganze Bauwerk in kompaktem standfestem Tonschiefer des Arblatschflysches ausgebrochen werden konnte. 300 m bergwärts des Stollenportales zweigt die untere horizontale Reservoirkammer mit einem stark gedrosselten 7 m hohen Halsschacht vom Druckstollen ab. Mit 65 m Länge und 3 m lichtem Kreisdurchmesser beträgt ihr Inhalt 460 m³; sie erhält einen 30 cm starken Betonmantel und eine 7 cm starke rundeisenbewehrte innere Gunitauskleidung. Der kreisförmige Vertikalschacht mit 4 m lichtem Durchmesser wird auf 50 m Höhe (unterhalb Kote 1640) mit Stahlblech gepanzert; die oberen 44 m bis Kote 1684 erhalten eine 7 cm starke armierte Gunitauskleidung. Die Gesamthöhe des Schachtes mißt 94 m, sein Inhalt 1200 m³. Die obere horizontale Reservoirkammer mit Sohle auf Kote 1684, d. h. 4 m über dem höchsten Ruhewasserspiegel, hat mit 20 m² lichter Querschnittsfläche und 50 m Länge einen Inhalt von 1000 m³. Sie ist durch einen 20 m langen Zugangsstollen vom Freien her zugänglich.

Das Bauprogramm erfordert keine forcierten Vortriebsleistungen. Einzig im Stollenast vom Fenster Val Faller aufwärts war ein Bohrwagen mit laffettierten Bohrhämmern eingesetzt, während an den fünf anderen Angriffsstellen mit leichten mechanischen Knievorschuben gebohrt wurde. Die Schotterung erfolgte überall maschinell mit Stollenbaggern. In den Kalk- und Tonschiefern des Arblatschflysches betrugen die täglichen Vortriebsleistungen in zweischichtiger Arbeit mit großer Gleichmäßigkeit 10 bis 11 m, in den härteren Grüngesteinen im Vortrieb Val Faller Süd 7 bis 8 m.

d) Bachzuleitungen Val Faller und Alp Flix

Auf Kote 1690 wird an einer engen Stelle des Val Faller in anstehendem Grünschiefer der Bach, der dort ein Einzugsgebiet von 30 km² aufweist, mit einem festen Wehr von 6,5 m Überfallbreite gefaßt. Im Wehrkörper, dessen Krone auf Kote 1694 liegt, ist eine Kiesschütze angeordnet. Nach Durchströmen eines Feinrechens gelangt das auf maximal 5 m³/s begrenzte, dem Fallerbach entnommene Wasser in eine gedeckte reichlich dimensionierte Absetzkammer. Ein 85 m hoher mit einem armierten Gunitmantel ausgekleideter Vertikalschacht von 2 m lichtem Durchmesser führt das Wasser dem Druckstollen zu. Um bei tiefer Lage der hydraulischen Drucklinie im Stollen, d. h. in Zeiten nur teilweiser Füllung des Stausees, einen freien Fall des Wassers und damit ein Mitreissen von Luft zu vermeiden, wird der Wasserspiegel im Schacht durch ein an dessen Fuß eingebautes Regulierventil aus Stahlguß konstant auf Kote 1694 gehalten. Die zwischen Feinrechen und Absetzkammer angeordnete Einlaufschütze kann von der Zentrale Tinizong aus durch Fernsteuerung geschlossen werden.

Auf der gegenüberliegenden, östlichen Seite des Oberhalbsteins fließt das Wasser aus dem 16 km² messenden Einzugsgebiet der Alp Flix (etwa Kote 1950) in vier Bächen dem Haupttal zu. Jeder dieser Wasserläufe erhält eine einfache Wasserfassung bestehend aus Wehrkörper und Absetzbecken. Das von Kies und grobem Sand gereinigte Wasser, dessen Menge voraussichtlich auf rund 2 m³/s begrenzt wird, fließt durch eine im Boden verlegte 3 km lange Betonrohrleitung nach der Terrasse von «La Motta» (etwa Kote 1850) und von dort in offenem Gerinne über einen steilen Felshang dem Stausee Marmorera zu.

e) Druckleitung

75 m außerhalb der Wasserschloßabzweigung, d. h. 225 m bergwärts des Stollenportales befindet sich der Übergangskonus vom Druckstollen (Ø 2,55 m) zum Druckleitungs-Rohrzapfen (Ø 1,90 m). Diese Übergangsstelle wurde aus geologischen Erwägungen so weit ins Berginnere verlegt; weiter hangauswärts ist der Tonschiefer stellenweise stark klüftig und tektonisiert. Der Druckleitungsabschnitt im Rohrzapfen weist 2,2 % Gefälle auf und hat eine Blechstärke von 13 bis 14 mm. Vorgängig der Rohrmontage wird in den äußern 170 lfm ein Schutzgewölbe betoniert. Die Rohre werden in

Schüssen von 4 m Länge geliefert, im Stollen verschweißt und dann satt einbetoniert. Die Apparatenkammer, beim Portal des Stollens angeordnet, nimmt eine automatische Drosselklappe Ø 1,80 m und ein Belüftungsventil auf.

Unmittelbar nach der Apparatenkammer beginnt auf Kote 1575 die in der Abwicklung gemessen 910 m lange einsträngige Tagbaustrecke der Druckleitung, die auf Kote 1199 beim Maschinenhaus in die Verteilleitung übergeht. Die steilste Strecke weist 87 % Gefälle auf. Der lichte Rohrdurchmesser nimmt in Intervallen von 5 cm, von 1,80 m bis 1,50 m ab. Oberhalb Kote 1394 kommt für die Rohre Kesselblech M I mit Stärken von 15 bis 29 mm zur Verwendung; unterhalb dieser Kote wird chrom-kupfer-legiertes Blech mit Stärken von 19 bis 30 mm verwendet. Die Rohre werden in Längen von 8 bis 10 m angeliefert, mit der Standseilbahn zur Montagestelle geführt und dort im vorgängig ausgehobenen Rohrgraben montiert und verschweißt. Da das Schweißen der Montagenähte ausschließlich vom Rohrinnern her erfolgt, können die Aushubmaße des Rohrgrabens verhältnismäßig klein gehalten werden. Die Rundnähte der chrom-kupfer-legierten Rohre werden nach dem Schweißen mit Gasflammen spannungsfrei geglüht. Dem Schweißen folgt in möglichst kurzem Abstand das allseitig satte Umbetonieren der Rohrleitung, mindestens 25 cm stark; der Beton erhält eine leichte Bewehrung mit geschweißtem Stahldrahtnetz. Der Rohrbeton wird mit Aushubmaterial und Humus überdeckt. Am obern Leitungsende, ungefähr in Streckenmitte und am untern Leitungsende beim Übergang in die Verteilleitung befindet sich je ein großer Fixpunktblock, was ausreichend ist, da die Leitung auf ihre ganze Länge starr im Baugrund verankert ist und keine Expansionsmuffen aufweist. Das Gesamtgewicht der Rohrleitung einschließlich Verteilleitung beträgt 1170 t.

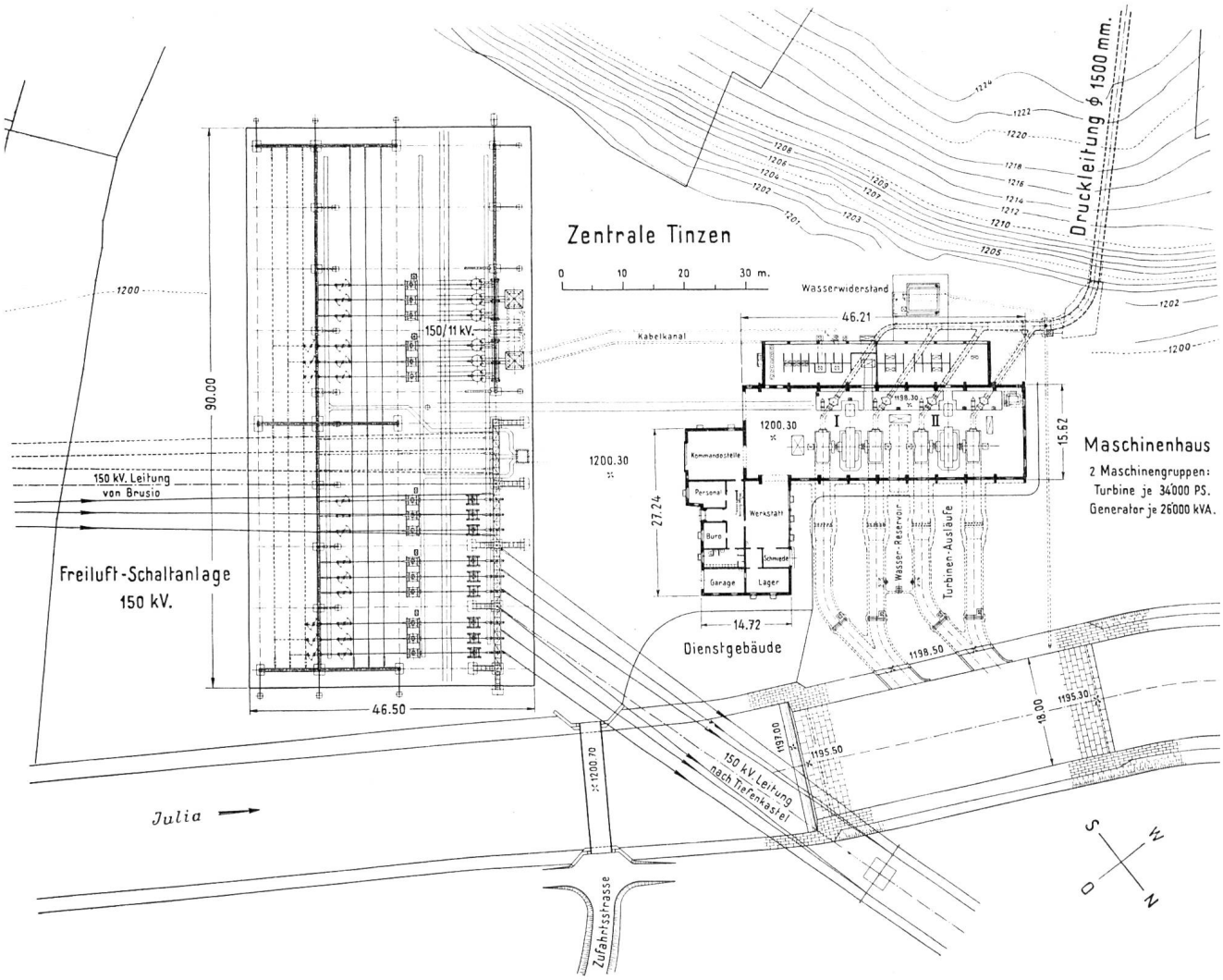


Abb. 15 Lageplan der Zentrale in Tinizong

f) Zentrale in Tinizong

Die am linken Ufer der Julia gegenüber dem Dorf Tinizong erbaute Zentrale gliedert sich in den Maschinensaal von 46 × 16 m Grundfläche, die an dessen bergseitiger Längswand angebaute Wechselschienen- und 11-kV-Anlage von 37 × 7 m, das ebenfalls angebaute Dienstgebäude von 27 × 15 m und die flußaufwärts gelegene 150-kV-Freiluftschaltanlage (90 × 50 m). Der Maschinensaaltrakt ist in kiesigem Boden 6 bis 7 m tief unter der Geländeoberfläche fundiert. Die Eisenbeton-Fassadenpfeiler sind mit Backsteinmauerwerk ausgefacht. Die lichte Maschinensaalhöhe mißt 12 m; die Eisenbeton-Rippendecke trägt ein Ziegeldach auf hölzernem Dachstuhl. Durch die an beiden Längsfassaden über den Kranbahnträgern angeordneten Fensterbänder in Glasbausteinen erhält der Maschinensaal gleichmäßig blendungsfreies Tageslicht.

Vor der bergseits des Maschinenhauses im Boden verlegten, allseitig einbetonierten Verteilleitung gelangt das Wasser durch vier Kugelschieber ∅ 750 mm zu den horizontalaxigen eindüsigen Peltonturbinen, von denen je zwei mit einem Generator gekuppelt sind. Die wichtigsten Maschinendaten sind:

2×2 Peltonturbinen à 17 000 PS, Nettogefälle 387 bis 448 m, Wassermenge 4 × 3,15 m^3/s, Drehzahl 333⅓;

2 Drehstrom-Synchrongeneratoren à 26 000 kVA, Spannung 11 kV, Frequenz 50.

Vier einzelne, durch Gleitschützen abschließbare kurze Turbinenausläufe leiten das Betriebswasser wieder der Julia zu. Der Maschinensaal ist mit einem Kran von 100 t Tragfähigkeit ausgerüstet. Auf eine allfällige spätere Verlängerung des Gebäudes flußabwärts zur Aufnahme der Maschinengruppe des projektierten Nandrôwerkes Tinzen wurde baulich bereits Rücksicht genommen.

Im Dienstgebäude ist ebenerdig der Kommandoraum mit freier Sicht sowohl in den Maschinensaal als auch auf die Freiluft-Schaltanlage untergebracht. Ihm schließen sich die Räume für das Personal, das Büro und eine Garage an. Die geräumige Werkstätte und die Schmiede sind sowohl vom Maschinensaal her direkt als auch vom Freien zugänglich. Magazinräume, Ölkeller, Batterieraum und Kabelboden befinden sich im Untergeschoß.

Die 150-kV-Freiluft-Schaltanlage enthält zwei Felder für die beiden Gruppen von je 3 Einphasen-Transformatoren 11/150 kV, je 26 000 kVA, die mit dem Maschinenhaus durch einen unterirdischen begehbaren Leitungskanal verbunden sind. Daneben sind zwei weitere Reserve-Transformerfelder für die projektierte Nandrôgruppe und für das später zu bauende Juliawerk Conters. Auf der andern Seite des Hauptgeleises schließen vier Leitungsfelder an mit den zugehörigen ölarmen Schaltern, wovon zwei für die bereits seit 1948 bestehenden Leitungen Tiefencastel-Sils-Zürich, eines für diejenige nach Bernina-Cavaglia und eines als Reserve.

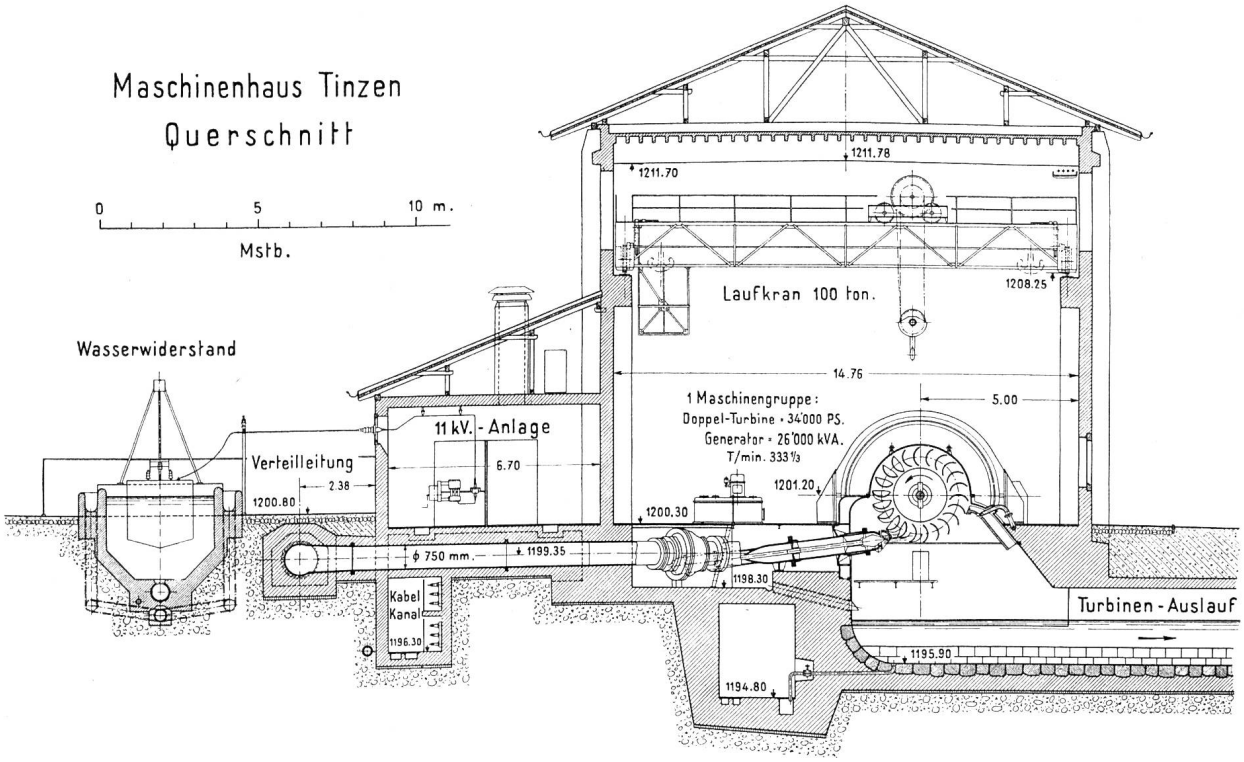


Abb. 16

Abb. 17 Druckleitung, im Vordergrund Baustelle der Zentrale

Ferner sind noch zwei Sammelschienenfelder zu erwähnen.

Die an das Maschinenhaus angebaute 11-kV-Schaltanlage, die über einen Innenraum-Transformer gespiesen wird, versorgt die lokale Talleitung des Oberhalbsteins mit elektrischer Energie. Schließlich sei noch auf einen hinter der Zentrale angeordneten Wasserwiderstand hingewiesen.

g) Übrige Bauarbeiten.

Längs der Kantonsstraße am nördlichen Dorfausgang von Tinizong wurden neun Einfamilienhäuser für das Zentralen-Personal und ein Garagegebäude erstellt. Eine 550 m lange Zufahrtsstraße führt von dort mit maximal 8 % Gefälle zum rechten Juliaufer und überquert den Fluß auf einer 21 m weit gespannten, für 45 t Nutzlast bemessenen Balkenbrücke (2 Vollwandstahlträger mit mittragender Eisenbetonfahrbahnplatte). Auf insgesamt 350 m Länge wurde das 18—20 m breite Gerinne der Julia korrigiert, wobei als hauptsächlichste Arbeiten zu erwähnen sind: Böschungsschutz mit in Beton verlegter Natursteinpflästerung, Blockschwelle flußaufwärts der Brücke zur Fixierung der Flußsohle, gemauerte Absturzschwelle wenig oberhalb der Einmündung der Turbinenausläufe, Tieferlegung um 1,5 m und Natursteinpflästerung der Sohle auf 50 m Länge im Bereich dieser Ausläufe und Sohlenbaggerung auf weitere 100 m Flußstrecke talwärts anschließend.

6. Bauorganisation und beteiligte Firmen

Das Projekt für den baulichen Teil des Juliawerkes Marmorera ist von Oberingenieur H. Bertschi vom Büro für Wasserkraftanlagen der Stadt Zürich aufgestellt worden. Die Planung des mechanisch-elektrischen Teiles besorgte das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich. Der Baukommission unter dem Vorsitz des Vorstandes der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich, Stadtrat Baumann, gehören Prof. Dr. E. Meyer-Peter, Prof. Dr. R. Staub und Prof. Dr. R. Haefeli von der ETH an. Die Fragen des Landerwerbes und der Umsiedlung werden von Dr. W. Pfister, I. Sekretär der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich behandelt. Die Bauleitung für sämtliche Anlageteile befindet sich in Tinizong, Oberhalbstein. Die wichtigen erdbaumechanischen Fragen des Staudammes werden in ständiger Zusammenarbeit mit der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH geprüft. Für die architektonischen Arbeiten wurden die Architekten Gebr. Pfister, Zürich (Zentrale und Wohnhäuser in Tinizong) und A. Thut, Klosters (Wärterhaus Marmorera), für die Eisenbetonarbeiten der Zentrale das Ingenieurbüro Schubert & Schwarzenbach, Zürich, beigezogen.

Hauptsächlichste Bau- und Lieferfirmen:

Staudamm Castiletto mit den zugehörigen Stollen:
Schafir & Mugglin AG / Bleß & Cie., Zürich.
Grundablaß-Schütze: Escher Wyß AG, Zürich.

Julierstraße: Käppeli's Söhne, Chur/Künzli & Mai, Davos/Stettler & Cie., Chur; Stuag AG, Chur; Bau AG, Maienfeld/Schwarz & Giger, Chur; Lazzarini, Samedan/Caflisch & Christoffels Erben, St. Moritz.

Druckstollen: Schafir & Mugglin AG/Bleß & Cie., Zürich; Prader & Cie. Ingenieure, Chur; Th. Bertschinger AG, Zürich; Einlauf-Schützen: Escher Wyß AG, Zürich.

Zuleitung des Fallerbaches: Prader & Cie., Ingenieure, Chur.

Wasserschloßpanzerung: Wartmann & Cie. AG, Zürich und Brugg.

Druckleitung:
Rohre: Escher Wyß AG, Zürich.
Unterbau: Prader & Cie. Ingenieure, Chur.
Drosselklappe: L. von Roll, Klus.
Seilbahnausrüstung: L. von Roll, Bern.

Zentrale Tinzen: Bauarbeiten: AG Heinr. Hatt-Haller, Zürich.
Maschinen und elektr. Einrichtungen:
Turbinen und Kugelschieber: Escher Wyß AG, Zürich.
Generatoren: Maschinenfabrik Oerlikon.
Transformatoren: Brown, Boveri & Cie. AG, Baden.
150-kV-Schalter: Sprecher & Schuh, Aarau.
Maschinensaalkran: Eisenbaugesellschaft Zürich.
Kühlwasserpumpen: Gebr. Sulzer, Winterthur.

Zufahrtsstraße zur Zentrale:
Bauarbeiten: Durisch & Balzer, Alvaneu-Bad.
Stahlbrücke: Conrad Zschokke AG, Zürich und Döttingen.

Personalwohnhäuser: Durisch & Balzer, Alvaneu-Bad; Stefan Nold, Chur; Gebr. Uffer, Savognin.

II. Zur Geologie des Juliawerkes Marmorera-Tinzen

Von Prof. Dr. *R. Staub*, Zürich und *E. Weber*, Maienfeld

DK 551 : 621.311 (494.26)

Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich liegt mit seinen verschiedenen Objekten: Staubecken, Beckenabschluß, Druckstollen, Wasserschloß und Druckleitung samt der Zentrale Tinzen in einem der geologisch mannigfaltigsten Gebiete der Alpen. Das gesamte Oberhalbstein zeigt eine höchst komplizierte geologische Struktur, die in erster Linie auf die großartigen Verschürfungen der Gesteinskomplexe an der Basis der größten Überschiebung der Alpen, d. h. der ostalpinen Schubmassen, zurückgeht. Diese Überschiebung der Ostalpen als Gesamtkörper, nachgewiesen vom Veltlin bis ins Allgäu, auf weit über 100 km Breite und entsprechendem Vorschub derselben, hat die einst vor demselben gelegenen, dann allmählich unter der ostalpinen Überschiebung begrabenen und erst viel später wieder, durch lang andauernde Erosionsvorgänge zur Zeit der Molassebildungen und sogar erst im Quartär neuerdings ans Tageslicht gebrachten Gesteinsserien der westlichen Alpen in ihrer näheren Nachbarschaft weitgehend aus ihren primären Verbänden gelöst und in mannigfachen, z. T. ganz regellosen Scherben und Einzelschollen zu einem im einzelnen recht wirren Schuppenbau zusammengestoßen und diese Scherbenzone schließlich über tiefere, einheitlicher gebaute Komplexe hinausgeschoben. Im südlichen Oberhalbstein erlangt diese basale Schuppenzone der ostalpinen Schubmassen respektable Mächtigkeiten von mehreren km, sie baut das ganze Gebiet vom Westabsturz der Errgruppe über der Flixer Terrasse bis auf die Westseite der Plattagruppe auf. Im nördlichen Talabschnitt hingegen sind von diesem ganzen Komplex nur mehr geringmächtige Linsen und Scherben vorhanden. Im großen gliedert sich das Gebirge des Oberhalbsteins von oben nach unten in:

1. die ostalpinen Decken der Err-, der Julier- und der Aelagruppe, mit westlichen Resten im Scalottagebiet und am Piz Toissa;
2. den wirr gebauten Komplex der sog. Plattadecke, mit nördlichen Ausläufern im Martegnas- und Curvèr-Gebiet;
3. die Flyschzone der Forbisch/Arblatschgruppe mit ihrer komplexen Unterlage in den sog. Schamserdecken, die das Oberhalbstein in größeren Massen erst bei Tiefencastel erreichen.

Das Marmorerawerk liegt im Bereich der Plattadecke und der Flyschzone Forbisch/Arblatsch. Die Grenzfläche dieser beiden Hauptkomplexe wurde im Druckstollen am Ende des Fensters Faller als klare Überschiebung von Grüngesteinen auf Flysch durchfahren (s. Abb. 18 und 19).

Der Schuppencharakter der Plattadecke an der Basis der ostalpinen Überschiebung hätte an sich eine beträchtliche mechanische Deformation der Gesteine und, damit verbunden, auch eine weitgehende Auflockerung

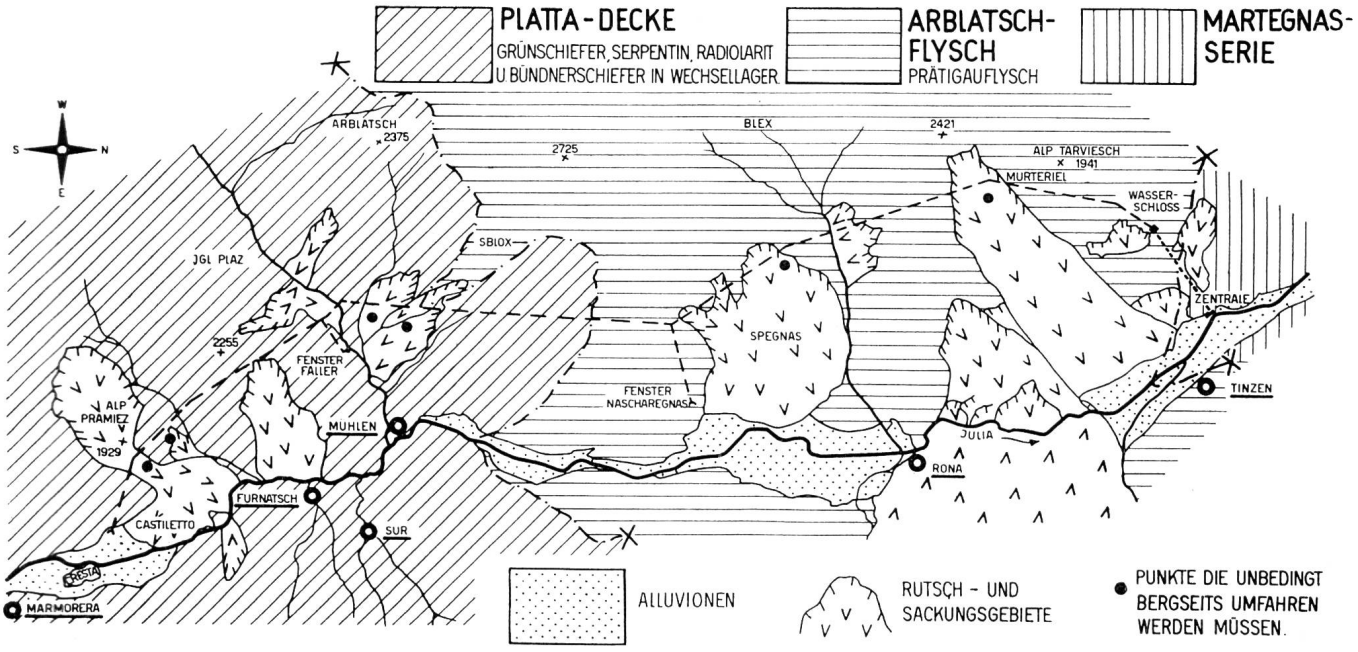


Abb. 18 Geologischer Lageplan

des Gebirges erwarten lassen. Die Existenz der schroffen Berggipfel und steilen Abstürze der Plattagruppe wiesen jedoch an sich schon auf beträchtliche nachträgliche Ausheilung der tektonischen Verwundung hin und das Mikroskop enthüllte in den meisten Gesteinen der Plattadecke eine weitgehende nachtektonische Rekristallisation, die eben die genannte Ausheilung der Gesteine bewirkt hat; ein Vorgang, der nach vollzogener Überschiebung unter der Belastung durch die ostalpinen Gesteinsmassen bei dadurch gesteigerten Temperaturen sich abspielte. Wo der ostalpine «Deckel» bedeutend dünner war, d. h. gegen das Albulatal hin, da tritt die genannte Rekristallisation stark zurück und kann in der Nähe der ostalpinen Schubfläche überhaupt fehlen. So geht das solide Gebirge der Stollenstrecke Marmorera-Tinzen über in den weitgehend gestörten Gesteinsverband, der auch im «gewachsenen Fels» dem Juliastollen des Werkes Tiefencastel große Schwierigkeiten verursacht hat. Im Druckstollen des Mamorerawerkes zeigten dagegen nur gewisse Serpentinstrecken und lokale Schieferzonen einen etwas stärker gestörten Verband; der Druckstollen durchfuhr zu über 95 % gesundes Gebirge und konnte daher auch vor-terminmäßig ausgebrochen werden. Für nähere Details sei auf das Stollenprofil der Abb. 19 verwiesen.

Die Gesamtstollenlänge von rund 10 km erforderte Rahmeneinbau im Fels über 463 m, d. h. 4,63 % der Gesamtstrecke. Den Vortrieb leicht störender Wasserzufluß fand sich auf rund 280 m Stollenlänge, im Gebiet der Plattadecke und in der Grenzzone gegen den Flysch. (Stärkste angefahrene Quelle dieser Strecke in Faller Süd, auf 1739 m ab Fenster, mit rund 5 l/s). Die Flyschstrecke des Druckstollens war praktisch trocken, der Vertikalschacht im Wasserschloß zeigte infolge unvermeidlicher Oberflächennähe an einem Schichtwechsel beträchtlichen Wasserzufluß.

Das geologische Hauptproblem für das Juliawerk Marmorera, im übrigen ja auch, wie hinreichend bekannt, für die untere Stufe (Bravuogn-Tiefencastel), geht auf die Auswirkungen der späteren Durchtalung des an sich bereits fertig zusammengestauten Gebirges und die durch diese Durchtalung bedingten Gleichgewichtsstörungen der Talhänge zurück. Durch dieselben kam es, besonders zur ausgehenden Gletscherzeit, als die Talhänge von der Last der eiszeitlichen Gletscher befreit und zudem von den Schmelzwässern der zurückgehenden Lokalgletscher über lange Zeit stark durchnäßt wurden — im besonderen die lockeren Gebilde der eigenen Moränen der Seitengletscher — zu Rutschungen und Bergstürzen, zum Absacken einzelner übersteil gewordener und in sich schon tektonisch zerklüfteter Felsmassen. Solche Sackungen, Bergstürze, Moränenrutschungen erfüllen heute im Gebiet des Marmorerawerkes, mit vielen Übergängen ineinander, weite Bezirke und verhüllen damit den Felsgrund bis in beträchtliche Tiefen. Das sind die geologischen Objekte, die in Wirklichkeit das Hauptproblem für die Durchführung des geplanten Werkes bildeten: Einerseits war dafür Sorge zu tragen, daß der Druckstollen in keinem Falle aus dem nach kurzer Schuttstrecke im Staubeckenbezirk, deren Durchfahrung unvermeidlich war, einmal angefahrenen gewachsenen Gebirge wieder in oberflächliche Schuttmassen, d. h. Moränen, Bergsturzmaterial, Sackungen, Schottermassen usw. gerate, wobei beträchtliche Einbrüche von Wasser und Material zu befürchten gewesen wären. Andererseits war die große Schuttmasse, die den Abschluß des Talbeckens von Marmels und damit den naturgegebenen Baugrund des projektierten Staudammes bildet, besonders sorgfältig auf ihre nähere Zusammensetzung, ihre Wasserdichtigkeit, auf das Vorhandensein evtl. durchlässiger Zwischenschichten und auf die Tiefe des Felsgrundes zu untersuchen.

Bergstürze und Rutschungen, teils kombiniert mit Felsabsackungen, waren seit der vom Erstgenannten durchgeführten Aufnahme der geologischen Karte des Avers, d. h. seit 1920/21, bekannt: im Gebiet der Druckleitung, des nunmehrigen Wasserschlosses, ferner im Gebiet von Spegnas südlich Roffna, bei Mühlen und westlich Furnatsch. «Moränenschuttströme» wurden verzeichnet in Val Livizun, am Ausgang von Faller und im besonderen am Abschluß des Marmelserbeckens im Westen der Julia, d. h. an der heutigen Sperrstelle «Castiletto» (Castiett der früheren Karten).

Für das Wasserschloß konnte eine praktisch anstehende Felsrippe benutzt werden; durch Schürfungen wurde anstehender Flyschfels auch für die Fixpunkte der Druckleitung gefunden. Das Wasserschloß wurde außerhalb des Bereiches jeder Absackung in genügende Tiefe und einwandfreien Fels gelegt, das Trasse des Druckstollens dem vermutlichen Tiefgang und der Ausdehnung der Rutschmassen und Bergstürze angepaßt. Das so gelegte Trasse des Druckstollens hat denn auch prognosegemäß nirgends zwischen dem Felseintritt im Marmelserbecken und dem Fensterausgang des Wasserschlosses ob Tinzen den gewachsenen und meist gesunden Fels verlassen. Die vorsichtige Trassierung hat hier zu vollem Erfolg geführt und Schwierigkeiten, wie sie in den Fensterzugängen des Tiefencastelerstollens und auch in diesem selber aufgetreten sind, und wie sie bei unvorsichtiger Trassierung auch beim Marmorerastollen sehr leicht möglich geworden wären, wurden dadurch vermieden (s. Abb. 18 und 19).

Das primäre Hauptproblem für das Marmorerawerk bildete aber die geologische Beurteilung der Sperrstelle, d. h. die wirkliche Beschaffenheit des künftigen Dammuntergrundes. Dies umso mehr, als analoge Sondierungen am Abschluß des Beckens von Roffna in den dortigen Schuttmassen prohibitive Verhältnisse angetroffen hatten. Am Abschluß des Beckens von Marmels war östlich

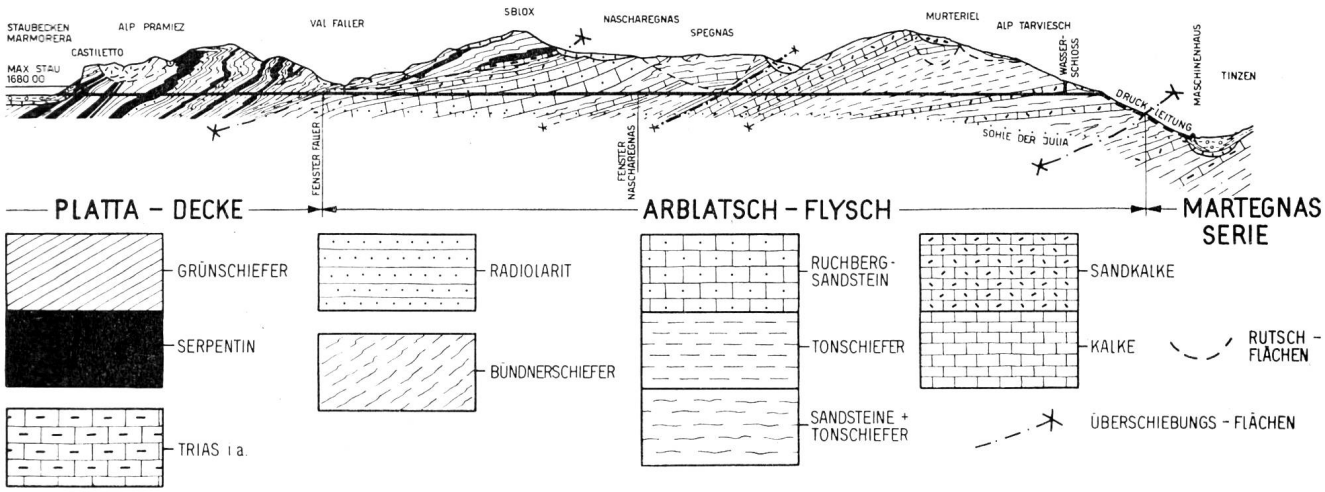


Abb. 19 Geologisches Längenprofil des Druckstollens

der Julia von vorneherein ein Anschluß an gewachsenen Grünschieferfels gegeben, wenn auch die Verhältnisse nicht überall an dieser Ostflanke sich als gleich günstig erwiesen haben. Westlich der Julia lag, nordwärts angelehnt an einen Felssporn, die Rutschmasse von Castiletto, deren Existenz von Anfang an einen Mauerabschluß für das geplante Staubecken verbot. Die allgemeine Natur dieser Schuttmasse als «Moränenschuttstrom» wurde durch die seit 1948 durchgeführten zahlreichen Sondierarbeiten, für die auf den Bericht von Oberingenieur Zingg näher verwiesen sei, bestätigt, dazu wurden weitere Teilrutschungen festgestellt: teils im Gebiete über Foppa, teils gegen das Becken hin. An und für sich konnte dieser Moränenschuttstrom als generell genügend dicht und auch zur Hauptsache als genügend dicht gepackt betrachtet werden, was in einer ersten Sondieretappe auch größtenteils bestätigt wurde; doch finden sich in derselben auch nesterartige Blockansammlungen, die sich später als lokale Wassersäcke erwiesen.

Schwierig zu beurteilen war die Frage der Felstiefe als einer möglichen Grundlage für das geforderte und auch von den Geologen als notwendig empfundene Diaphragma an der Basis des Dammkernes. Ferner blieb unsicher, ja unwahrscheinlich, daß der «Bergrutsch» überall auf den nackten Felsboden des nun zugeschütteten Tales vorgestoßen sei. Eine gewisse Überdeckung älterer Schuttbildungen in der überfahrenen Talrinne durch den Bergrutsch war wahrscheinlich und ist von uns auch schon anfangs vermutet worden, konnte jedoch ohne Sondierungen nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Da die angelegten Schächte nirgends bis auf den Felsgrund vorgetrieben werden konnten und die vorgenommenen ersten Bohrungen doch stets nur «Nadelstichproben», dazu nicht in unverfälschtem Zustand vermittelten und auch keinen näheren gegenseitigen Verband der verschiedenartigen Schuttbildungen mit genügender Sicherheit erkennen ließen, wurde in der ungefähren Lage der Dammachse, wie sie aus den ersten Sondierungsresultaten, der allgemeinen geologischen Situation und technischen Überlegungen sich zu ergeben schien, auf Kote 1612 der seither genügend bekannt gewordene Sondierstollen durch die Rutschmasse hindurch bis an die linksseitige Felsbegrenzung vorgetrieben. Derselbe ergab, zusammen mit den seither durchgeführten Detailsondierungen von diesem Stollen aus, prinzipiell folgendes: (s. Abb. 7).

1. Daß der Fels überall unter dem Sondierstollen in erreichbarer Nähe vorhanden ist und eine tief eingerissene Schluchtrinne, wie solche vielfach in ähnlichen Situationen am Ende von größeren Talbecken angetroffen werden, hier effektiv fehlt.

2. Daß unter der eigentlichen Rutschmasse, eingeschaltet zwischen diese und den Fels, eine obere Moräne, dann Bachschutt von beträchtlicher Durchlässigkeit und eine in sich zwar nicht geschlossene untere Grundmoräne folgt.

3. Daß der Bachschutt (Kies und Sand) naturgemäß stark wasserdurchlässig ist (K–wert $= 10^{-3}$) und mit dem Grundwasser des Beckens von Marmels in Verbindung steht.

Aus diesen Ergebnissen der Sondierungen ergab sich die Notwendigkeit einer Abdichtung des Bachschutthorizontes, durch Abteufen eines Betondiaphragmas bis auf den anstehenden Fels; daneben auch die Notwendigkeit von Injektionen, und ganz allgemein der weitere Bauvorgang in der Tiefe der Rutschmasse, der durch die Anwesenheit von Grundwasser (im Bachschutt und z. T. ausgeschwemmter tieferer Moräne) und teilweise auch mobilem Material erschwert wird.

Die Form der Rutschmasse und die Resultate einzel-

ner Sondierungen machten es wahrscheinlich, daß unter derselben ein durchgehender Felsriegel das schutterfüllte Felsbecken von Marmorera nordwärts abschließt. Daraufhin angesetzte Färbungen, vom Becken und vom Sondierstollen aus, ergaben, zusammen mit genauer Suche nach Quellaustritten im ganzen talwärtigen Gebiet des Rutsches und seiner Umgebung, daß eine Kommunikation des Grundwassers des Marmelserbeckens und des im Sondierstollen aufgeschlossenen Bachschuttes quer durch die Rutschmasse hindurch talaus nicht existiert. Ein wasserdichter Abschluß des Staubeckens scheint damit möglich und gegeben.

In bezug auf den Dammbau selber mußte verlangt werden, daß durch dessen Bau und späterhin dessen Last das Gleichgewicht der Rutschmasse nicht gestört werde. Jeder zu tiefe Eingriff in die Oberfläche derselben, jede zu starke oder zu lang andauernde Unterschneidung derselben, besonders von der Juliaschlucht her, war zu vermeiden; der Rand der Rutschmasse gegen das Becken hin, der ohnehin Anzeichen jüngerer sekundärer Teilrutschungen aufweist, war durch erweiterte Aufschüttung zu sichern und schließlich im Bereich des wasserseitigen Dammfußes das durch Bohrungen und Rammsondierungen festgestellte Lockermaterial zu entfernen. Zu sichern war ferner der Eingang zum Grundablaß, der an sich, wie auch das Überlaufbauwerk, in den anstehenden Fels verlegt werden konnte; desgleichen bleibt zu sichern die eigentliche Wasserfassung am Eingang des Druckstollens.

Die beiden Geologen möchten am Abschluß dieser kurzen Berichterstattung nicht verfehlen, auf die enge Zusammenarbeit aller am Bau dieses Werkes Beteiligten hinzuweisen. Geologen, Seismiker, Vertreter des Erdbaues, Bauleitung und Unternehmer haben meist und schlußendlich immer in bestem Einverständnis an der Verwirklichung dieses großen Bauvorhabens gearbeitet.

III. Der Bau des Staudammes Castiletto

Von *M. Oswald,* Dipl. Ing., Zürich

DK 627.824.31 (494.26)

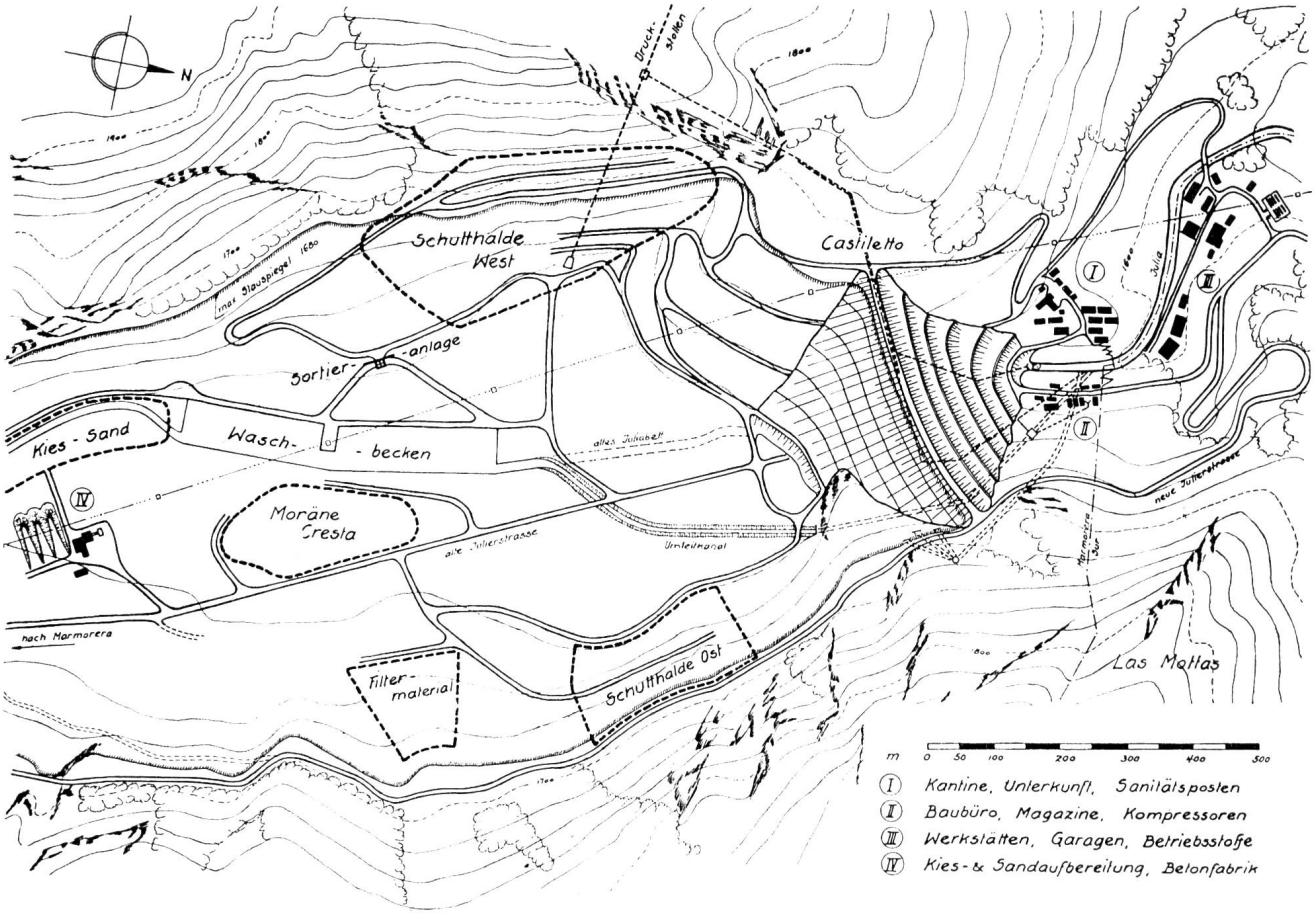


Abb. 20 Übersichtsplan mit Installationsplätzen, Gewinnungsstellen und Baustraßennetz

Der nachfolgende Aufsatz bildet eine Ergänzung zu den Ausführungen von Oberingenieur W. Zingg.

1. Allgemeine Bemerkungen

Der Staudamm Castiletto ist für schweizerische Verhältnisse eine Bauaufgabe von ungewöhnlichem Ausmaß. Das vorgeschriebene generelle Bauprogramm, die Ausführungsvorschriften, die örtlichen topographischen Verhältnisse und die Eigenschaften der zu verwendenden Damm-Materialien sind für die Wahl der Baumethoden und des Baubetriebes maßgebend. Das Streben nach wirtschaftlichem Baubetrieb mit großen Tagesleistungen führt zwangsläufig zu weitestgehendem Einsatz von großen und robusten Baumaschinen. Insbesondere ist die Umstellung vom Rollbahn- auf den Pneufahrzeugbetrieb und der Einsatz der großen Bulldozer zu erwähnen. Die erstmals auf den Baustellen Flughafen Kloten und Kraftwerk Wildegg-Brugg verwendeten amerikanischen Geräte haben sich bewährt und gezeigt, daß auch für schweizerische Verhältnisse Pneufahrzeuge mit 10 bis 12 m^3 Fassungsraum, große Bulldozer usw. durchaus geeignet sind. In diesem Zusammenhang sei noch bemerkt, daß die in den letzten Jahren stark angestiegenen Löhne und sozialen Lasten, welch letztere besonders auf den Gebirgsbaustellen ins Gewicht fallen, die Mechanisierung des Baubetriebes und den Einsatz leistungsfähiger Großmaschinen stark gefördert haben.

Die Bauarbeiten eines Erddammes sind sehr witterungsempfindlich. Vor allem kann der Einbau der feinen Materialien für den Dichtungskern nur an niederschlagsfreien Tagen und bei Temperaturen über 0 Grad stattfinden. Für die Bemessung der Baumaschinenleistungen ist daher die Kenntnis der meteorologischen Verhältnisse sehr wichtig. Auf Grund derselben ergeben sich in Marmorera pro Baujahr etwa 90 Arbeitstage für die Kernzone und etwa 120 Tage für die übrigen Zonen des Staudammes Castiletto. Von der total zur Verfügung stehenden Bauzeit Frühjahr 1950 bis Herbst 1954 waren die ersten beiden Baujahre nötig für die Ausführung des Grundablaß- und Umleitungsstollens, des Julia-Umleitungskanals, des Dammfundamentaushubes, des Abtrages der nicht tragfähigen Alluvionsschichten im seeseitigen Dammfuß und längs des Foppahanges, des Tagbaubetondiaphragmas, des Betonabdichtungssporns, der Großversuche in Cresta mit dem Grundmoränematerial (Abklärung erdbautechnischer Fragen der Kernzone mit Untersuchung der einzusetzenden Einbaugeräte), der Dammschüttung im seeseitigen Dammfuß und in der Juliaschlucht, der Vorbereitungsarbeiten an den Materialgewinnungsstellen, der Bauinstallationen usw.

2. Baustelleneinrichtungen

Über die stationären Installationen orientiert der Situationsplan. Als hauptsächlichste Werkplatzeinrichtungen sind eine gut ausgerüstete Werkstatt mit 10-t-Montagekran, vier Fahrzeughallen, Brennstofftankanlagen, Ersatzteillager, Druckluftversorgungsanlage usw. zu nennen.

Der Belegschaft von rund 400 Mann stehen gut ausgerüstete Wohlfahrtseinrichtungen (Baukantine, Schlafbaracken, Duschenräume, Lesezimmer, Sanitäts- und Arztsprechzimmer usw.) zur Verfügung.

Abb. 21 Verdichten des Kernmaterials mit Schaffußwalzen von 18 t Gewicht und 30—40 kg/cm² spezifischer Pressung
Photo H. Steiner, St. Moritz

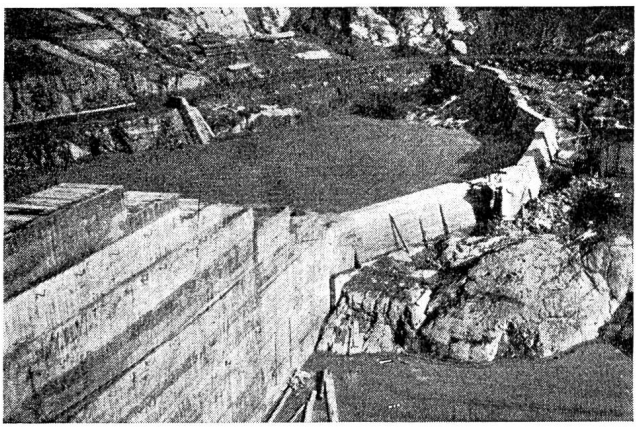


Abb. 22 Hauptabdichtungssporn durch Kernzone. Blick vom Tagbaudiaphragma gegen die Ostflanke

Die Haupttransportstraßen des ausgedehnten Werkstraßennetzes sind doppelspurig auf rund 10 m Breite und mit maximalen Steigungen von 10 % ausgebaut.

Am Fuße der Westhalde dient eine Grobsortieranlage mit einer Stundenleistung von 300 m³ zur Trennung der Materialsorten (3) und (4). In unmittelbarer Nähe dieser Anlage befinden sich die Waschbecken für die Entschlammung eines Teiles der Materialsorte (3). (Materialsorten siehe Abb. 9, Normal-Dammprofil.)

Ferner sind eine Betonmaterialaufbereitungsanlage und weitverzweigte Leitungsnetze für die Versorgung der Baustellen mit elektrischer Energie, Druckluft und Brauchwasser vorhanden.

An mobilen Installationen im Gesamtwerte von über Fr. 7 000 000.— sind auf der Baustelle:

10 Raupenbagger mit total rund 16 m³ Löffelinhalt (zwei Stück davon mit je 80 t Arbeitsgewicht und je 2,6 m³ Hochlöffelinhalt).
2 Eimerkettenbagger.
1 Schlammpumpe mit mechanischem Rührwerk.
25 Großpneufahrzeuge mit total 265 m³ Fassungsraum.
10 Raupentraktoren mit Bulldozer-, Angledozer-, Rock-Rake-Ausrüstungen (Stückgewicht bis 22 t).
3 Paar Schaffußwalzen à 18 t mit rund 35 kg/cm² Verdichtungsdruck.

Ferner Camions, Tankwagen, fahrbarer Schmierservice, Glattwalzen, Verdichtungsgeräte, Kompressoren usw.

Totalgewicht der mobilen Installationen etwa 1600 t.

Installierte Leistungen:

Dieselmotoren	etwa 9500 PS
Elektromotoren	etwa 1600 PS
Beleuchtung und Heizung usw.	etwa 400 kW

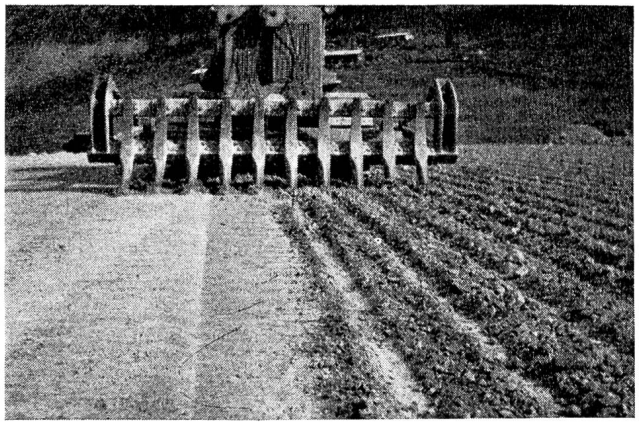


Abb. 23 Aufrauhen der glattgewalzten Kernmaterialoberfläche mit dem Rock-Rake

3. Dammbauarbeiten

Alle Dammzonen werden gleichzeitig in verschiedenen Schichtstärken geschüttet und hochgeführt, wobei witterungs und betrieblich bedingte kleinere Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Zonen möglich sind.

a) Dammzone (1)

An den Einbau des Dichtungskernes werden die höchsten Anforderungen gestellt. Das Kernmaterial wird in der vom Abraum befreiten Grundmoräne bei Cresta gewonnen. Für den Abbau in Schichten von rund 8 m Höhe der äußerst dichtgelagerten Grundmoräne sind zwei Hochlöffelbagger mit Speziallöffelausrüstungen eingesetzt. Das Material wird in Pneufahrzeuge verladen und zum Damm transportiert. Bereits beim Verlad erfolgt die Regulierung des vorgeschriebenen Einbauwassergehaltes (rund 9 % des Trockengewichtes) mittels Bespritzung des Materials im Fahrzeug. Für die Messung der relativ kleinen zusätzlich nötigen Wassermenge (1 bis 2 %) dient ein Durchlaufzähler, welcher vor dem Strahlrohr eingebaut ist.

Große Raupentraktoren, welche an Stelle der vollen Bulldozerplatte mit einem Rechen (Rock-Rake) ausgerüstet sind, breiten das antransportierte Material in Schichten aus. Das zahlreiche Befahren der ausgebreiteten einzubauenden Schicht von 15 cm Stärke bewirkt, daß die zusammenhängenden Moränebrocken von den Raupen des Traktors zerkleinert werden und daß das mit dem Rechen durchgekämmte Material durchmischt und von großen Steinen befreit wird. Das Ausscheiden der kleineren Steine von 12 bis 20 cm Durchmesser geschieht teilweise von Hand und teilweise mechanisch mit einem Spezial-Rechengerät (Rock-Picker). Die ausgeschiedenen Steine finden Verwendung in den Dammzonen (3) und (4). Nach diesem Sortier- und Zerkleinerungsprozeß folgen als letzte Arbeitsgänge das Planieren mit Bulldozer und die Verdichtung mit Schaffußwalzen, wobei 12 Walzgänge nötig sind. Stampfgeräte besorgen das Verdichten der für die Schaffußwalzen unzugänglichen Stellen. Die Raumgewichte der verdichteten Kernzone betragen über 2,1 t/m³ und erreichen annähernd die Raumgewichte im natürlichen Moränevorkommen von rund 2,3 t/m³. Die Schichtflächen sind schwach geneigt, damit bei schlechtem Wetter das

Niederschlagswasser auf den vorgängig glattgewalzten Flächen abfließen kann und nicht allzutief eindringt. Trotzdem sind nach niederschlagsreichen Tagen längere Austrocknungszeiten (über 1 Tag) nötig. Vor dem Wiederbeginn des Einbaues wird die glattgewalzte Schicht mit Rock-Rake aufgerauht und mit Schaffußwalzen verdichtet.

b) Dammzone (2)

Der Einbau der nur 3 m mächtigen Filterzone (mit Bagger gewonnenes ausgesuchtes Gehängeschuttmaterial) muß gleichzeitig mit der Kernzone erfolgen. Die Schichthöhe beträgt 30 cm.

c) Dammzonen (3) und (4)

Für die Gewinnung dieser Dammbaumaterialien stehen die steilen Schutthalden der Talhänge «Ost» und «West» des Staubeckens zur Verfügung. 3—4 Hochlöffelbagger besorgen den Abbau in Stufen von 10 m Höhe. Über der höchsten Transportstufe wurde auf Kote 1710 (etwa 90 m über dem Talboden) zwecks Auffangen von nachrollendem oder nachrutschendem Material aus höheren Zonen der Schutthalde, eine mit Bagger zugängliche Schutzberme angelegt. Große Euclid-Rückwärtskipper transportieren das mit den Baggern verladene Material auf einer 10 m breiten Straße, welche bis zur obersten Abbaustufe auf Kote 1700 (etwa 80 m über dem Talboden) führt, zur Grobsortieranlage am Fuße des Westhanges und kippen das Ladegut über einen Sortierrost mit 300 mm Spaltweite. Das über den Rost gleitende Grobmaterial, welches mit einem kleinen Anteil feineren Materiales durchsetzt sein darf, wird mittels pneumatisch getätigten großen Siloschnauzen in Fahrzeuge verladen und in die Dammzone (4) transportiert. Die Einbauschichthöhe von 1 m ist der Blockgröße von $\frac{3}{4}$ m³ angepaßt. Die wasserseitige Dammböschung erhält ein steinsatzartiges, grobblockiges Gefüge. Ein Raupenbagger mit Blockgreifer bedient die auf der Dammböschung tätigen Bruchsteinmaurer mit grobblokkigem Material.

Das bei der Sortieranlage durchfallende Material von 0 bis 300 mm Korngröße findet Verwendung in der Dammzone (3).

Etwa 40 % dieses Materials werden ab Umschlagssilo direkt mit Fahrzeugen in die Dammzone (3a) gebracht, wo Bulldozer das Material in Schichten von 40 cm Stärke planieren. Das Befahren dieser Schichten mit Schaffußwalzen und Pneufahrzeugen bewirkt alsdann die gewünschte Verdichtung.

Die übrigen 60 % des Materials von 0—300 mm Korngröße gelangen ab Sortieranlage in die längs der Julia künstlich geschaffenen Waschbecken von rund 100 000 m³ Fassungsvermögen. Zwei Eimerkettenbagger heben das in die Waschbecken gekippte Material wiederum aus, wobei eine Entschlammung und Durch-

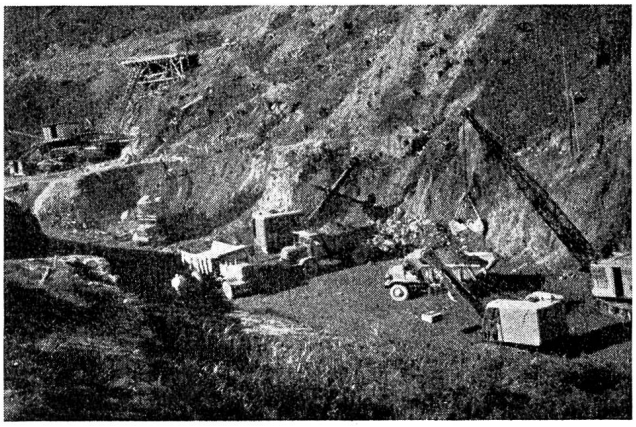


Abb. 24 Abtrag der Verwitterungsschicht an der Bergrutschflanke und Beginn der Schüttung von Material (3) im ehemaligen Juliabett

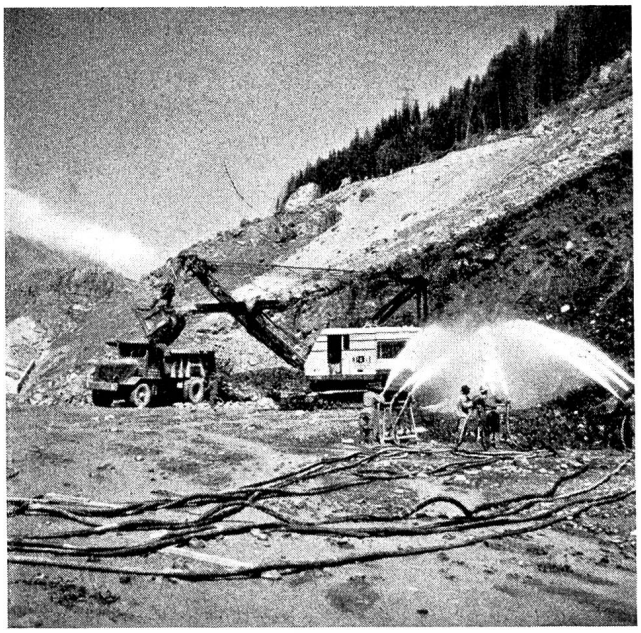


Abb. 25 Ausschwemmen des übermäßigen Feinkornanteils von Material (3) durch Bespritzen an der Gewinnungsstelle

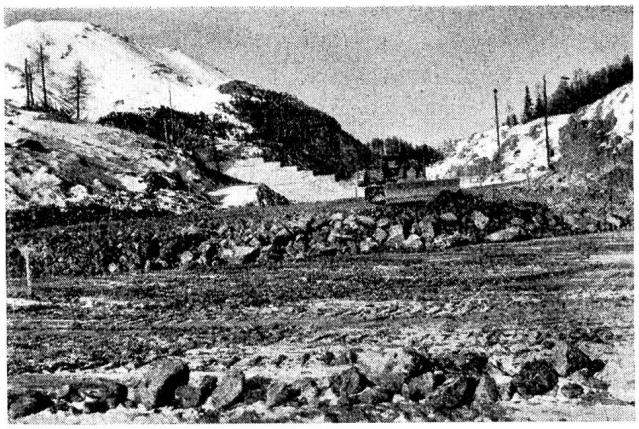


Abb. 26 Ausbreiten von Material (3) in Schichtstärke von 1 m mit schwerem Bulldozer

Abb. 27 Struktur des in Lagen von 15 cm Stärke geschütteten und mit Schaffußwalzen verdichteten Kernmaterials. Die Aufnahme zeigt die Wandung eines Kontrollschachtes

mischung des Materials stattfindet. Eine Schlammpumpe mit mechanischem Rührwerk entfernt den im Becken abgesetzten Schlamm und pumpt denselben in die Abraumdeponien. Beim Einbringen dieses gemäß den Anforderungen der Dammzone (3b) verbesserten Materials in Schichten von 1 m Stärke ist wiederum der Bulldozer das geeignete Gerät.

Die täglichen Einbauleistungen (2 Schichten à 10 Std.) betragen für:

Zone (1) Kern	rd. 1800 m³
Zone (2) Filter	rd. 300 m³
Zone (3a) ungewalzt	rd. 2700 m³
Zone (3b) gewalzt	rd. 3300 m³
Zone (4)	rd. 500 m³
Total	rd. 8600 m³
oder	rd. 4300 m³/Schicht

d) Dammunterlage

Im Bereiche der Kernzone wird der auf der rechten Talseite anstehende Fels gereinigt und das Moränedichtungsmaterial mit Stampfgeräten angeschlossen. Das Ausbetonieren der Felsklüfte und der Felsspalten erleichtert einen guten Kernmaterialanschluß. Die Erstellung des im Fels eingebundenen Betonabdichtungssporns mit darunterliegendem Injektionsschirm muß der Dammschüttung aus baubetrieblichen Gründen vorauseilen.

Auf der linken Talseite, wo der Damm auf dem Bergrutsch aufliegt, besorgt ein auf dem Damm oder auf im Hang erstelltem Arbeitsplanum fahrbarer Raupenbagger den Abtrag der ungeeigneten verwitterten Deckschichten vorgängig der Dammschüttung. In der Damm-Mitte wird zwecks besserem Einbinden des Dammkernes in das Bergrutschmaterial ein Abdichtungsgraben laufend nach Maßgabe des Fortschrittes der Dammschüttung ausgehoben.

Verwendung der elektrischen Energie im Kanton Graubünden

Von Dipl. Ing. *A. Bühler*, Chur

DK 621.311 (494.26)

1. Rückblick auf die ersten Anwendungen

Die elektrische Beleuchtung wurde im Kanton Graubünden schon sehr frühzeitig eingeführt. Zuerst waren es vor allem die Kurorte, die sich ihrer bedienten. Bereits im Jahre 1879 erhielt der Speisesaal des Hotel Engadiner-Kulm in St. Moritz eine elektrische Beleuchtung, die von einem Wechselstrom-Dynamo gespeist wurde. Der Antrieb des Dynamos erfolgte durch eine Hochdruckturbine mit 100 m Gefälle. Dieser ersten Anlage, die in den folgenden Jahren mehrmals ausgebaut wurde, folgten bald weitere Beleuchtungsanlagen in Davos, Klosters und Flims. Die ersten größeren Werke wurden wiederum für St. Moritz gebaut, nämlich das Elektrizitätswerk Julier mit einer Leistung von 1500 PS und dasjenige von Charnadüra mit 800 PS Turbinenleistung. Beide Werke nahmen im Jahre 1891 ihren Betrieb auf.

Noch im gleichen Jahre entschloß sich auch die Stadt Chur zum Bau eines Elektrizitätswerkes. Die Zentrale Meiersboden, mit einer Leistung von 400 PS, speiste schon im folgenden Jahr 1300 Glühlampen, 3 Motoren mit zusammen 7 PS sowie einen 100-PS-Einphasen-Asynchronmotor. Es dürfte sich hier um den ersten größeren Elektromotor in Graubünden gehandelt haben. Er wurde von der Maschinenfabrik Oerlikon geliefert und diente dem Antrieb einer Mühle.

Recht bald fand die elektrische Energie auch Verwendung für Wärmezwecke. In den Jahren 1897/98 wurden in Davos sechs Häuser vollelektrisch beheizt, in drei Häusern waren elektrische Küchen eingerichtet und ein Großbackofen mit elektrischer Heizung kam im Jahre 1898 in Betrieb.

Das erste Großkraftwerk in Graubünden mit einer Leistung von 35 600 PS war das Kraftwerk Campocologno der Brusiowerke. Der Betrieb konnte im Jahre 1907 aufgenommen werden. Es war zu dieser Zeit das weitaus größte Kraftwerk der Schweiz. Während die