

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73 (1955)
Heft: 3

Artikel: Der Bau des Kraftwerkes und der Staumauer Cabril am Rio Zêzere in Portugal
Autor: Schnitter, Erwin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61843>

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: 26.01.2026

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

diesem Grunde durch Benützung der Getriebegänge auf der nötigen Höhe gehalten werden. Unterkühlung der Motoren ist ebenso nachteilig wie Ueberhitzung. Bei vielen modernen Konstruktionen sind die Kühlanlagen so reichlich bemessen, dass sie oft unterkühlt laufen (schlechter Wirkungsgrad, Abnützung).

Während das Treibstoffklopfen durch rechtzeitige Wartung (Entrussen) und vor allem durch die Entwicklung der Treibstoffe selbst vermieden wird, ist die *Dampfblasenbildung* erst in letzter Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Forschung geworden. Die schweizerische Gesellschaft für das Studium der Motorbrennstoffe hat zusammen mit der Abteilung für Heeresmotorisierung des EMD und der EMPA diesbezügliche Laboratoriumsversuche und im Sommer 1954 praktische Versuche auf dem Sustenpass durchgeführt. Wenn der Motor auf einer Passfahrt nach kurzem Halt nicht mehr anspringt, ist in der Regel die Dampfblasenbildung die Ursache. Während des Haltes strömt die im Motor enthaltene Wärme in den Vergaser, in die Benzinleitung und die Benzinpumpe, wobei Benzinanteile dort zum Sieden kommen. Dadurch wird entweder der Vergaser teilweise entleert oder es entstehen zum mindesten Nachflusstörungen. Es ergibt sich daraus, dass der Motor nicht überhitzt werden darf (nicht dauernd Vollgasfahren, kleine Gänge benützen) und dass man beim Stillstehen die Motorhaube öffnen muss, um Kühlwirkung zu erzielen, welche im Bedarfsfalle durch kalte Umschläge an Vergaser und Benzinpumpe sehr wirkungsvoll ergänzt werden kann. Im Treibstoff sollen keine Alkoholanteile enthalten sein, weil diese den Siedebeginn stark erniedrigen (nicht nur Emser Treibstoff ist nachteilig, sondern die an den Tanksäulen gelieferten Importbenzine

sind auch bei gleichem Preis sehr verschieden in der Qualität).

Noch mehr als die Motoren geben die *Bremsen* auf den Alpenpässen zu Störungen Anlass. Der sog. Bremschwund tritt viel häufiger auf, als allgemein angenommen wird. Die stetige Vergrößerung der Reifenquerschnitte hat dazu geführt, dass die Durchmesser der Radbremsen verkleinert werden mussten, ausserdem wurde der Luftzutritt zu den Bremsen durch die immer mehr umhüllenden Kotflügel zunehmend gehindert. Durch das Heisswerden des Bremsbelages kann dessen Bindemittel flüssig werden und dann als Schmiermittel wirken; aber auch die Bremsflüssigkeit, die Alkohol enthält, kann durch die Ueberhitzung der Bremszylinder zum Sieden kommen, so dass man unter Umständen das Bremspedal ganz durchtreten kann, ohne eine Wirkung zu erzielen (sofort zur Handbremse greifen!). Das gleiche tritt ein, wenn der Hauptbremszylinder im heissen Luftstrom des Motors liegt. Hiergegen gibt es natürlich nur Abhilfe von seiten der Konstrukteure, von denen einige neuerdings auch Turbolüftung der Bremsen entwickeln oder besondere Schlitze in der Karosserie vorsehen, welche Luft sammeln, um sie auf die Bremsen zu leiten. Ferner sind statt der üblichen Bremsen Scheibenbremsen entwickelt worden, die von Tatzeln umfasst werden. Fahrtechnisch kann dem Bremschwund begegnet werden durch Benützen des Motors (niedere Getriebegänge, niedere Stufe bei automatischem Getriebe, Auspuffbremse).

Während die Kupplungen und Getriebe sowie die Lenkungen und Federungen in der Regel auf Passfahrten keine besonderen Schwierigkeiten bieten, ist der Stossdämpfer als das im allgemeinen schwächste Glied zu bezeichnen.

Der Bau des Kraftwerkes und der Staumauer Cabril am Rio Zêzere in Portugal

DK 627.825

Von Dipl. Ing. **Erwin Schnitter**, Direktor der AG. Conrad Zschokke

Schluss von Seite 20

Vortrag, gehalten am 29. Okt. 1954 in der Sektion Bern des S. I. A.

Mit Photographien des Verfassers

Es sei nun das Wesentliche der *Baustelleneinrichtung* kurz beschrieben (Bild 12).

Vier 10-Tonnen-Radial-Kabelkrane (Henderson), zu 3 + 1 angeordnet, beherrschten das weite Arbeitsfeld; die Festtürme standen am linken Talhang 60 m über Mauerkrone. Unmittelbar zu ihren Füßen wurde aus dem Ausbruchmaterial des Widerlagers die Eisenbieger-Terrasse aufgemauert, so dass die Bewehrungen von hier in fertigen Geflechtern an alle Bauteile geliefert werden konnten; eine Stufe tiefer war Platz geschaffen für die weiträumige, maschinell reichlich ausgerüstete Werkstätte für Eisenkonstruktionen, Maschinenreparaturen und elektrische Ausrüstung. Auf einer folgenden Stufe breitete sich der Reissboden aus mit anschliessender mechanischer Zimmerei. Die Schalungen wurden hier in möglichst grossen Körpern abgebunden und durch die Kabelkrane eingebaut (Bild 13). 20 m tiefer, auf Höhe Mauerkrone, lag die Plattform für die Betonverteilung, wo Pneufahrzeuge mit 3-m³-Beton silos den Beton von den Türmen zum Lade-Kai der Kabelkrankübel führen (bei einer Transportweite von 10 bis 50 m). Auf diese Weise ist die volle Spannweite der Kabelkrane ausgenützt und sind die internen Transporte weitestgehend diesen Kranen zugewiesen worden.

Zur Betonherstellung diente im Steinbruch gewonnener Granit. Der Steinbruch wurde auf Grund umfangreicher Sondierbohrungen 180 m von den Installationen entfernt mit Arbeitsebene 80 m über Mauerkrone so angesetzt, dass sich nach Eindringen in die Hochfläche eine Abbruchwand von rund 30 m Höhe ergab. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass in einem ersten Arbeitsgang alle Ueberlagerung des gesunden Gesteins sauber abgeräumt wurde. Der Abbau der Wand erfolgte durch 6 m tiefe Bohrlöcher \varnothing 42 mm, elektrisch gezündet. Die Bohrer von 1" \varnothing trugen Schneiden aus Coromant. Das Steinbruchgut wurde zwei bis dreimal nachgesprengt, bis die Körnung der Ringweite von 76 cm des ersten Steinbrechers entsprach. Es wurde hierfür ebenso viel Sprengstoff verbraucht wie für den Abbau der Wand. Zwei Löffelbagger, Link Belt Speeder K 370, mit 1,3-m³-Löffel, 142-PS-Caterpillar Dieselmotor, 50 t Arbeitsgewicht, luden das

Steinbruchgut in 13-t-Euclids. Die hydraulische Steuerung dieser Bagger führte zu sehr guter Leistung; die grosse Hubkraft erlaubte, grosse Blöcke zur Nachsprengung auszusortieren, während die mässige Löffelgrösse verhinderte, dass sich im Löffel Steine verbargen, die der Brecher nicht durchliess. In 21 Monaten wurden dem Steinbruch 500 000 m³ Betoniergestein entnommen. Der Kern des Steinbruches wurde durch grauen, sehr harten Granit von regelmässigem mittlerem Kristallkorn gebildet; neben der normalen Klüftung, welche Erstarrungs-Rissen des Magmas entspricht, durchzogen bedeutende tektonische Schubflächen das Massif, dessen äussere Rinde die eindringende Verwitterung durch Gelb-Färbung des Feldspates ankündigte.

Die Euclids kippten nach 150 m mittlerem Transportweg in den offenen Eisenbeton-Vorsilo der Brechanlage (Bild 15). Eine Aufgabe-Raupe aus Stahlplatten (1,2 m breit, 3,6 m lang, 7,5 PS) beschickte mit 3 m/min Geschwindigkeit den ersten grossen Kreiselbrecher. Die Druckknopf-Steuerung dieses «Telsmith-Apron-Feeder» (10,5 t) erlaubte eine sorgfältige Ueberwachung des ankommenden Gesteins und Regelung der Durchgabe. Die höchste Ausnützung des Brechers war das Ergebnis. Dieser Nordberg (Milwaukee)-Kreiselbrecher von 76 cm Ringweite und 80 t Konstruktionsgewicht (grösstes Montagestück 20 t) zeigte 3,5 m Konstruktionshöhe bei 3,3 m äusserem \varnothing . Durch einen 150 PS Elektromotor angetrieben, brach er regelmässig 130 m³ harten Granit je Stunde bei 15 cm Weite des Ausgangsrings, wobei die normale Motoren-Belastung 40 bis 60 % betrug. Der Bruch des Gesteins zwischen Mantel und Konus erfolgt stets radial; da dieser Bruch durch reinen Druck, ohne reibendes Zerquetschen erreicht wird, ist die Abnützung des Brechers sehr gering. Das auf 15 cm maximaler Soll-Korngrösse gebrochene Material rutschte durch eine Verstellklappe entweder zum 2. Brecher oder zum ersten Rüttelsieb, welches Korn über 150 mm ebenfalls dem 2. Brecher zuführte; das durchfallende Korn wurde durch das folgende 2. Rüttelsieb von 75 mm Staböffnung getrennt. Korn 150 ÷ 75 ging durch Fallrinne in den ersten Silo; das durchfallende Korn wurde teils zum

2. Brecher, teils zur Waschanlage gelenkt. Diese zwei widerstandsfähigen, fast unverwüsthlichen Rüttelsiebe von $1 \times 1,5$ m waren von Nordberg, Milwaukee, gelieferte Symons Vibrating Bar Grizzly, mit schweren gekrümmten Stäben aus Manganstahl. Der 2. Brecher, ein $4\frac{1}{4}$ ' Symons Standard Cone Crusher, Nordberg, besass 1,8 m Höhe bei 2 m Gehäusedurchmesser und 22 t Konstruktionsgewicht. Angetrieben durch einen 150-PS-Motor brach er 60 m^3 je Stunde bei Austrittsweiten von $50 \div 10$ mm. Das Brechgut des 2. Brechers fiel entweder in den 3. Brecher oder in die Aufgabe zur Waschanlage. Der 3. Brecher, ein 4' Symons Short Head Cone Crusher, unterschied sich vom vorigen nur durch den Einsatz; er lieferte 7 bis 40 m^3 je Stunde bei Austrittsweiten von 3 bis 16 mm. Es war das einzige Gerät zum Brechen von Sand.

Sämtliches Brechmaterial unter 75 mm vereinigte sich in einem Silo-Schacht, an dessen Fuss, 40 m unter Kipp-Kante der Euclids, zwei Förderbänder beschickt wurden, die, mit 18° ansteigend, zwei Parker-Wasch- und Sortieranlagen belieferten (Bild 14). Ueber Waschtrommeln und Rüttelsiebe gelangten die Komponenten 75 \div 5 in die darunter liegenden Hangsilos. Das den Sand unter 5 mm enthaltende Wasser wurde zuerst auf ein «Symons Rod Deck Screen» gespritzt, welches das Korn $5 \div 1,5$ mm mittels gummigelagerten Hartstahl-Stäben ausschied. Wasser und Feinsand flossen weiter in eine Sandrückgewinnungsmaschine, «Sandor» (Parker), bestehend aus einem Absatz-Tank und einem Becherwerk von genügender Hubhöhe (5,4 m), um einen sauberen, trockenen Feinsand zu gewinnen. Die Körnungen $5 \div 38$ mm konnten den Silos entzogen und über Elevator und Förderband in den 3. Brecher zurückgebracht werden zwecks Korrektur der feinen Komponenten.

Die Konzentration dieser Aufbereitungsanlage auf drei Brecher ermöglichte eine einfache, äusserst gedrängte Anordnung der Verbindungswege. In 21 Monaten wurden $500\,000 \text{ m}^3$ Granit aus Steinbruch in wirtschaftlicher Weise in sieben Komponenten aufbereitet, bei normalen Tagesleistungen bis 1600 m^3 Beton. Massgebend für den wirtschaftlichen und qualitativen Erfolg in der Gewinnung der Zuschlagsstoffe war der Umstand, dass Steinbruch und Aufbereitungsanlage eine vollkommene Einheit bildeten, die eine einheitliche Disposition und konsequenten Betrieb gestatteten.

Die sieben Silos der Zuschlagsstoffe von zusammen 6000 m^3 Inhalt waren, dem Hange aufliegend, in Eisenbeton, Mauerwerk und Holz ausgeführt. Aus dem durch schwere Eisenbeton-Rahmen mit darüber durchlaufender Decke gebildeten Untergeschoss liefen zwei durch Aufgabeapparate beschickte Förderbänder zu den zwei Blaw-Knox Beton-Türmen, deren jeder mit zwei $1,5\text{-m}^3$ -Mischern ausgerüstet war. Den Türmen war eine Splitter-Eis-Erzeugungsanlage angebaut. Der Zement, in 4-t-Containern auf Lastautos 80 km weit angeführt, konnte in sechs Silos zu 500 t gelagert werden.

Die Gedrängtheit der Baustelleneinrichtung zeigt sich darin, dass diese Beton-Türme vom 1. Brecher 125 m, von Steinbruch-Mitte 270 m entfernt waren bei einer Höhen-Entwicklung von 80 m zwischen Beschickung des 1. Brechers und Verteilung des Betons. Zum Bau des Maschinenhauses wurden diese Einrichtungen am Fusse der Staumauer ergänzt durch eine Betonier- und Brech-Anlage, mit einem $1,5\text{-m}^3$ -Mischer und

zwei Turmdrehkränen mit 40-m-Ausleger bei bis 7 t Hubkraft.

Eine zentrale Kompressoren-Anlage von $90 \text{ m}^3/\text{min}$ belieferte die weitläufige Baustelle mit Druckluft. Auf der Hochfläche, 100 m über Mauerkrone, wurde eine zweite Werkstätte mit geräumigen Lagerplätzen angelegt, wo insbesondere der vielfältige Fahrzeugpark gepflegt wurde. In der Nähe wurde auch eine Sägerei errichtet. Das gesamte Bauholz wurde in den umliegenden Wäldern stehend gekauft und hier aufgeschnitten. Diese Massnahme trug zur Beschleunigung der Bauarbeiten in weitestgehender Weise bei.

Neben den bedeutenden, in die steile Schluchtwand geschnittenen Strassenbauten (2,5 km Hauptstrasse zur Mauerkrone mit abweigender 1 km langer Zugangsstrasse zum Maschinenhaus, mit Stützmauern in Granitmauerwerk von bis 22 m Höhe), wurde zwischen der Talsohle Kote 170 und dem Plateau auf Kote 400 ein sorgfältig geplantes Baustrassennetz ausgeführt, dessen Steigungen von 12 % im oberen, 15 % im unteren Teil sich als zweckmässig erwiesen haben.

Für die Ausführung der Staumauer waren die Bestimmungen über den Aufbau und die Behandlung des Betons massgebend. Diese hatten insbesondere dessen Granulometrie und Wärme-Regime im Auge. Für den granulometrischen Aufbau wurden auf Grund von Versuchen, die dem Bau vorangingen und ihn begleiteten, folgende Richtlinien gewonnen.

Das Brechmaterial wurde in sieben Körnungen zerlegt: $0 \div 1,5$; $1,5 \div 5$; $5 \div 10$; $10 \div 19$; $19 \div 38$; $38 \div 75$; gewaschen; $75 \div 150$ ungewaschen. Der Feinsand zeigte folgenden durchschnittlichen Aufbau: $0 \div 0,15$, 10 %; $0,15 \div 1,2$, 55 %; über 1,2, 35 %. Mit Korn 150 wurde bei dem scharfkörnigen Material ein vollständig satter, dichter Beton erzielt, wie zahlreiche Kernbohrungen $\varnothing 30$ cm veranschaulichten.

Mit Rücksicht auf Zement-Aufwand und Temperatur-Verhalten empfiehlt es sich ökonomisch und qualitativ, das grösstmögliche Korn zu verwenden; als solches kann bei den heutigen Geräten, sofern keine Schaufelarbeit auftritt, für Brechschotter 150 bis 180, für Rollkies 180 bis 200 mm gelten. Hierbei bringt der verminderte Aufwand an Brechleistung ins Gewicht fallende Ersparnisse an Kosten und Bauzeit.

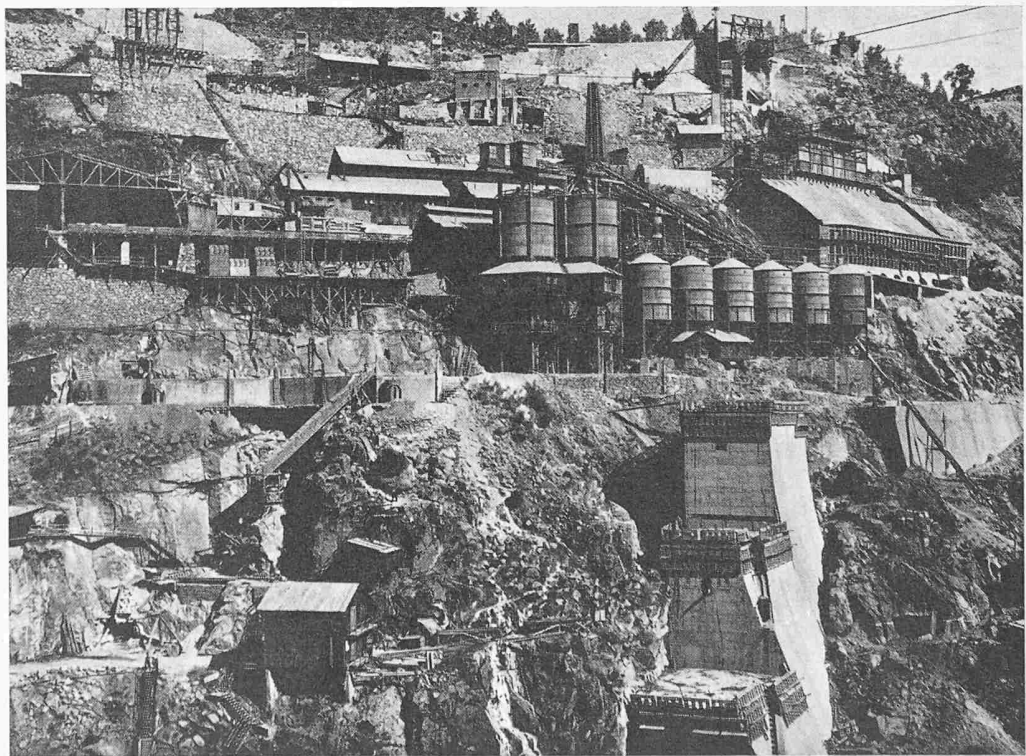


Bild 12. Werkplatz über linkem Widerlager. Oberer Bildrand von rechts nach links: Steinbruch, Brech-Anlage, Trafo-Station, Windenhause und Türme für drei Kabel-Krane. Darunter: Wasch- und Sortieranlage, auf den Hang-Silos; hinter diesen sechs Zementsilos die zwei schrägen Förderbänder zu den beiden Betontürmen; hinter diesen die mechanische Werkstätte, weiter links Reissboden und Halle der Zimmerei.

Für den Massenbeton der Stauwand standen eine kontinuierliche und eine diskontinuierliche Granulometrie zur Anwendung frei, je nach dem Materialstand in den Silos. Die diskontinuierliche zeigte nach 28 Tagen 15 ÷ 20 % höhere Festigkeiten. Sie erweist sich beim Vibrieren etwas sperrig. Diese Disposition erlaubte die günstigste Ausnützung des anfallenden Brechgutes. Es wurden 20 % der Mauer in diskontinuierlicher Granulometrie betoniert. Tabelle 1 gibt die Zusammensetzung für Beton P 250.

Tabelle 1. Zusammensetzung für P 250:

	150/75	75/38	38/19	19/10	10/5	5/1,5	1,5/0
Kontinuierlich	30	27	5	10	10	3	15 %
Diskontinuierlich	60	—	—	20	—	5	15 %
W/Z = 0,52 bzw. 0,58. Darex-Zusatz 0,4 cm ³ /kg Zement							
Mittlere Bruchfestigkeit nach				7	28	90	Tagen
Kontinuierlich				180	240	300	kg/cm ²
Diskontinuierlich				180	280	350	kg/cm ²

Zur Herstellung der 20-cm-Probewürfel wurde der Beton der auf der Mauer entleerten Masse entnommen und durch ein Sieb von 40 mm Maschenweite geworfen. Es wurde hierdurch vermieden, dass grosse Steine beim Abpressen eine störende Wirkung auf die normale Mörtelfestigkeit ausüben konnten.

Die Zementdosierung wurde in folgender Weise gewählt: P 250 für die untersten 75 m und die obersten 17 m; P 220 für das Zwischenstück, mit Mauerstärken über 6 m; P 270 bis 1 m über Felsoberfläche und 3 m ab Wasserseite; P 180 für die Widerlager.

Mit Rücksicht auf die Wärmeentwicklung hat man die Blöcke 1,5 m hoch betoniert und hierauf eine 5-Tage-Pause eingeschaltet, die im Winter auf 3 Tage verkürzt, im Sommer bis auf 7 Tage verlängert wurde. Die Einbringungstemperatur des Betons sollte 20 ° nicht übersteigen; sie konnte stets unter 18 ° gehalten werden, indem das Mischwasser auf

4 ° gekühlt und 30 ÷ 50 kg desselben als Splitter-Eis zugegeben wurden. 10 kg Eis je Kubikmeter Beton senkten dessen Temperatur um 1 °. Vier Kälte-Kompressoren General Electric mit Freon 112, ein Wasserkühler und eine Splitter-Eisanlage Escher Wyss, Zürich, für 36 t/Tag, arbeiteten 1952 von Juni bis Ende November und 1953 von Mai bis Oktober ohne Unterbruch.

Aus dem Ablauf der Bauarbeiten seien folgende Einzelheiten erwähnt: Die gesamte Organisation der Baustelle Castelo do Bode, Personal und Gerät konnte nach Cabril herübergenommen werden. Der Bau begann mit der gleichzeitigen Inangriffnahme von Zugangsstrassen, Unterkünften, Umlaufstollen, Kabelkränen, Magazinen und Werkstätten. Die wichtigsten Arbeiten wurden schon vor Vertragsunterzeichnung in die Wege geleitet; nach Vertragsunterzeichnung wurden in raschem Zuge 1400 Mann eingesetzt.

Besonderes Gewicht wurde dabei auf die möglichst frühzeitige Bereitstellung der Kabelkrane gelegt. Der erste radial fahrbare 10-t-Kabelkran trat Ende Oktober in Dienst, d. h. drei Monate nach Vertragsunterzeichnung, die weiteren folgten bis Jahresende. Die Spannung der 450 m langen Tragkabel von 70 mm Ø, in halbverschlossener Konstruktion ausgeführt, wurde mit besonderer Sorgfalt behandelt, in Hinsicht auf möglichste Beschränkung der Drahtbrüche in der Decklage, die aus härterem, dem Verschleiss besser widerstehendem aber darum spröderem Stahl ausgeführt war als die tragenden, inneren Litzen. Da es sich bei diesen Drahtbrüchen um Ermüdungsbrüche aus Biegung und Hämmern handelt, wurde der richtigen Streckung der Tragkabel jede Sorgfalt zugewendet; die leeren Seile erhielten bei der Montage einen Durchhang von 3,3 % ihrer Länge, was bei Last 4,8 % entspricht. Die ersten Drahtbrüche eines Kabels traten bei 10 t Last regelmässig nach etwa 30 000 Fahrten auf, meist auf der Oberseite, besonders in den Zonen stärkster Fahrgeschwindigkeit. Die vorstehenden Drähte wurden dann abgeschnitten und leicht eingehämmert. Die Tragkraft wird

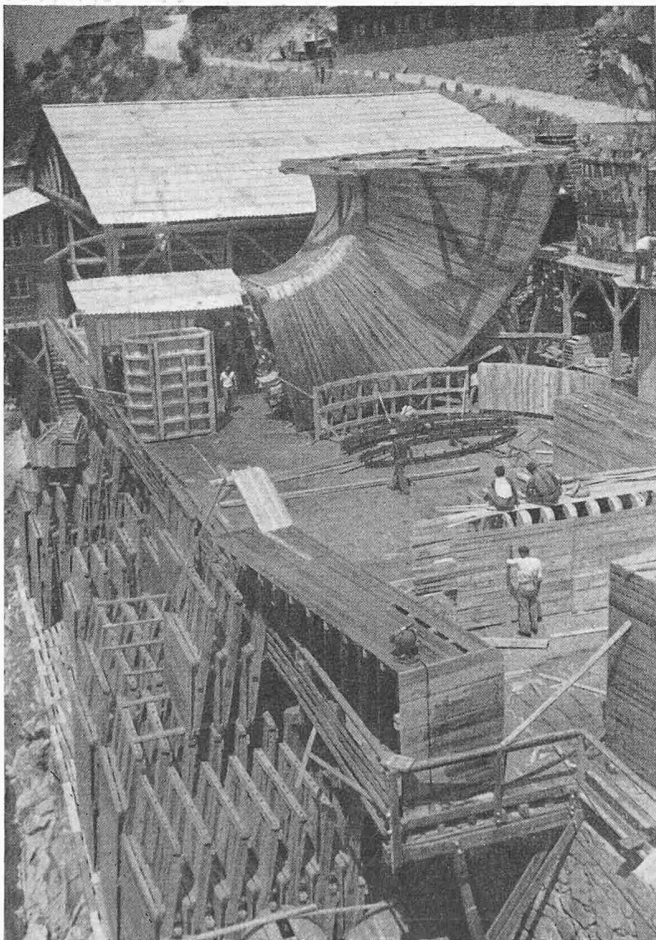


Bild 13. Tätigkeit auf dem an die Felswand gebauten Reissboden; Krümmer für das Fundament einer Wasserfassung, Tafeln der Wand-schalung

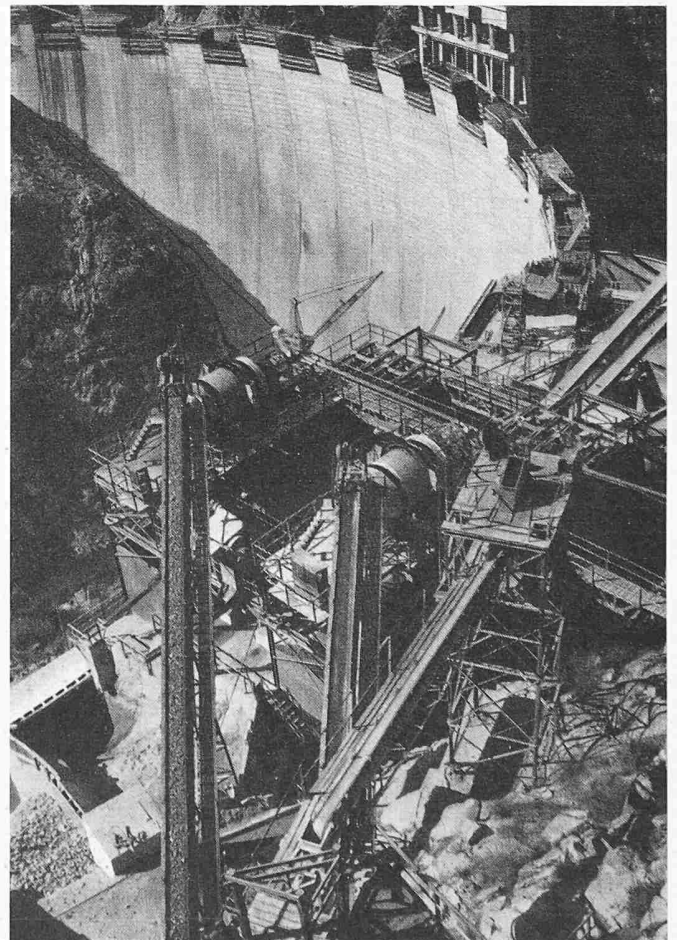


Bild 14. Wasch- und Sortieranlage mit zwei Aufgabebändern, links Hang-Silos, rechts Rückführung zur Nachkörnung

hierdurch nicht beeinflusst. Es ist möglich, bei entspanntem Kabel Stücke in einem Draht einzuschweissen; nach neuem Spannen fügt sich der Draht leicht in die Kabelkonstruktion.

Die Flussumlenkung durch den Ende April 1951 begonnenen unverkleideten Umlaufstollen von 270 m Länge bei 9 m \varnothing konnte Mitte Oktober vorgenommen werden. Als Baugrubenabschluss im Oberwasser wurde zum Schutz gegen mittlere Hochwasser (bis 900 m³/s) eine schlanke, doppelt gekrümmte Gewölbemauer von 28 m Höhe und 3,6 bis 0,8 m Dicke errichtet. 80 m der Krone wurden als Notüberlauf ausgebildet. Mitte Februar 1952 vollendet, wurde diese Mauer am 1. April anlässlich eines Hochwassers von 1400 m³/s 3 m überströmt.

Unterwasserseitig wurde eine Massiv-Mauer mittels Unterwasserbetons auf das Geschiebe aufgesetzt; der Untergrund wurde zunächst durch Injektionen etwas gedichtet; mit fortschreitendem Aushub der Baugrube wurde die Mauer sukzessive unterfangen und konsolidiert. In dieser Weise kam man ohne zusätzlichen Zeitaufwand zum notwendigen und völlig dichten Abschluss.

Der Aushub in den zerklüfteten und örtlich stark verwitterten Talflanken, stellenweise bis 30 m horizontal eingreifend, und im Talboden erforderte für Mauer und Maschinenhaus 170 000 m³. In der Talsohle wurde das Mauerfundament womöglich dem gesunden Feltstrog aufgesetzt.

In das Fundament der Staumauer sind die beiden Druckleitungen \varnothing 4 m und die Grundablassleitung \varnothing 3,2 m eingebaut, deren Montage und Schweissung von Juli bis Oktober 1952 dauerte (Bild 16). Hierdurch wurde die Ende Juni auf Kote 165 begonnene Betonierung stark verzögert. Nun war aber zu berücksichtigen, dass vor Eintreten grosser Winterhochwasser die Kote 220 durch die Mauer erreicht werden musste, da erst mit dem hierdurch erzeugten Druck der Umlaufstollen solche Wassermengen abführen konnte. Dieser Umstand bedingte im Gesamtprogramm das zu schaffende Betonierpotenzial, das nachfolgend einen sehr raschen Fortschritt der Gesamtarbeit erlaubte.

Zunächst wurde die Bereitstellung des für die durchgehende Leistung benötigten Betonraumes durch Anstieg in den Talflanken geschaffen. Nach Beendigung der Rohrmontagen und Durchführung der Druckproben glich man den Arbeitshorizont so aus, dass zwei um 5 m versetzte Blockebenen entstanden (Bild 19). Diese Ordnung wurde bis zur Krone durchgeführt; die Arbeitsfläche blieb so stets leicht zugänglich; der Ablauf der Erwärmung in den Blöcken durch folgende Betonierungen geschah in gleichmässigem Rhythmus, zusätzliche Wärmespannungen wurden vermieden. Die in die Talflanken tief eingreifende Mauer blieb frei beweglich, indem der Felseinschnitt nur bis 2 m über den Entwässerungsgang ausbetoniert wurde.

Die Verarbeitung des in den Kabelkränkübeln von 3 m³ herangeführten Betons erfolgte in Lagen von 50 cm durch elektrische Vibratoren von 95 mm \varnothing und 9000 Schlägen in der Minute, deren jeder, von zwei Mann geführt, 15 m³ in der Stunde verarbeitete. Normalerweise wurden keine Schaufeln gebraucht. Die Konsistenz war durch einen Slump von maximal 3 cm definiert. Die Verwendung von Darex erlaubte, bei trocken

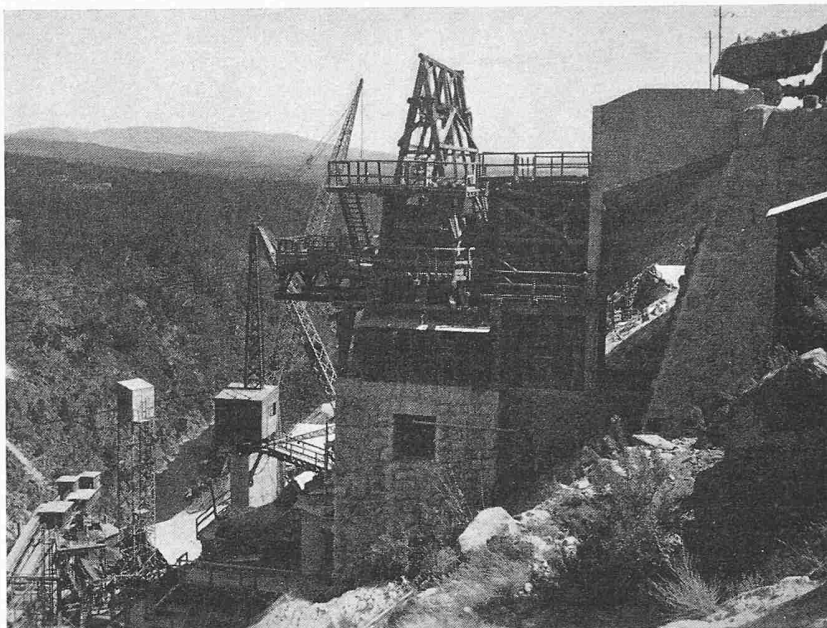


Bild 15. Brech-Anlage: Vorsilo in Eisenbeton, Verschalung der Aufgabe-Raupe, grosser Kreiselbecher, Rutschen und Siebe

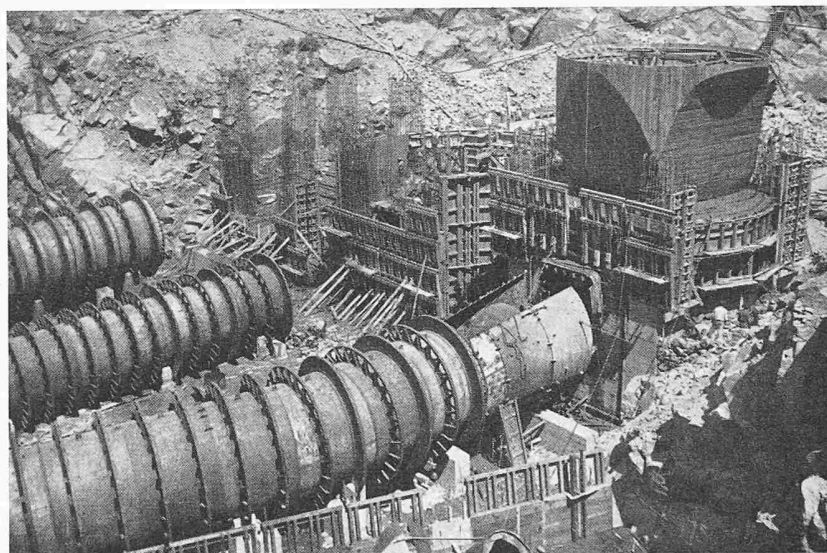


Bild 16. Fundament der Staumauer und des Turmes mit den eingebauten Rohren, am 2. August 1952

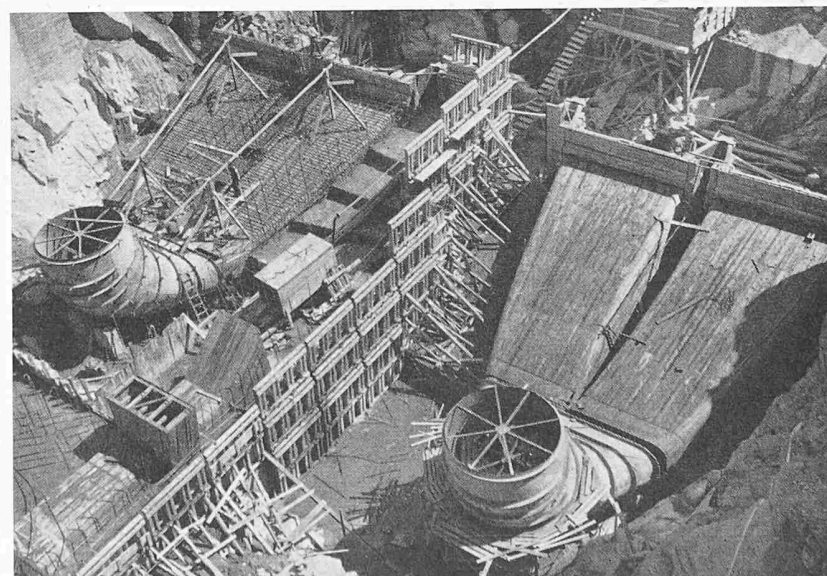


Bild 17. Fundament des Maschinenhauses mit den Turbinen-Saugrohren, am 16. August 1952

scheinender Mischung rasch die vollständige Verdichtung zu erzielen.

Nach Beginn des Erhärtens wurde die Blockoberfläche durch einen Strahl aus Wasser und Druckluft abgespritzt, bis die Zementhaut auf den grösseren Steinen im wesentlichen entfernt war. Vor dem Aufbringen der folgenden Schicht wurde das Abspritzen wiederholt, worauf eine Mörtelschicht von 3 cm ausgebreitet wurde; auf der Felsoberfläche wurde diese Schicht 5 cm stark ausgeführt.

Bei der Füllung des Stausees bis Kote 280 im Mai 1954 erwies sich der Beton der Mauer als vollkommen wasserdicht. Der Rhythmus der Betonierung wurde durch die Wartezeiten und die Blockvolumen bedingt; bei vorhandenem Raum wurden Tagesleistungen von 1800 bis 2000 m³ erreicht. Die Monatsleistungen bleiben auf 24 000 bis 32 000 m³ beschränkt (Bilder 19 und 20). Die kompliziert gestaltete, feingliedrige Mauer mit vielen Gängen für Kontrollen und Injektionen forderte ein reiches Mass an Schal- und Absteckungsarbeit; letztere beschäftigte einen Topographen für die laufende Ausrechnung der Absteckungselemente und zwei Geometer für das Einschneiden der Bezugspunkte und die Absteckung der Schalung auf den Blöcken. Für die Wandschalung der Mauer wurde eine den lokalen Verhältnissen entsprechende Steckschalung entwickelt, deren Tafeln bei 1,5 m Höhe 2,5 m Länge besaßen und aus gehobelten und genuteten 3,5-cm-Brettern bestanden. Die Stösse zwischen den Tafeln wurden durch dünne Blechstreifen gedeckt. Die Tafeln wurden mit einem aus einem Fordsontraktor gebauten Kran versetzt und konnten bis 50mal verwendet werden.

Die vertikalen Fugen wurden wasserseitig durch zwei Kupferbleche, luftseitig durch ein Eisenblech abgeschlossen. Sie wurden durch horizontale Eisenbleche in 16,5 m hohe Zonen eingeteilt; die im überhängenden Maueraufbau gelegenen Zonen wurden von hierzu angeordneten Gängen aus injiziert. Es wurden zwei getrennte Injektionssysteme angeordnet: Die primäre Injektion musste vor dem Einstau nach

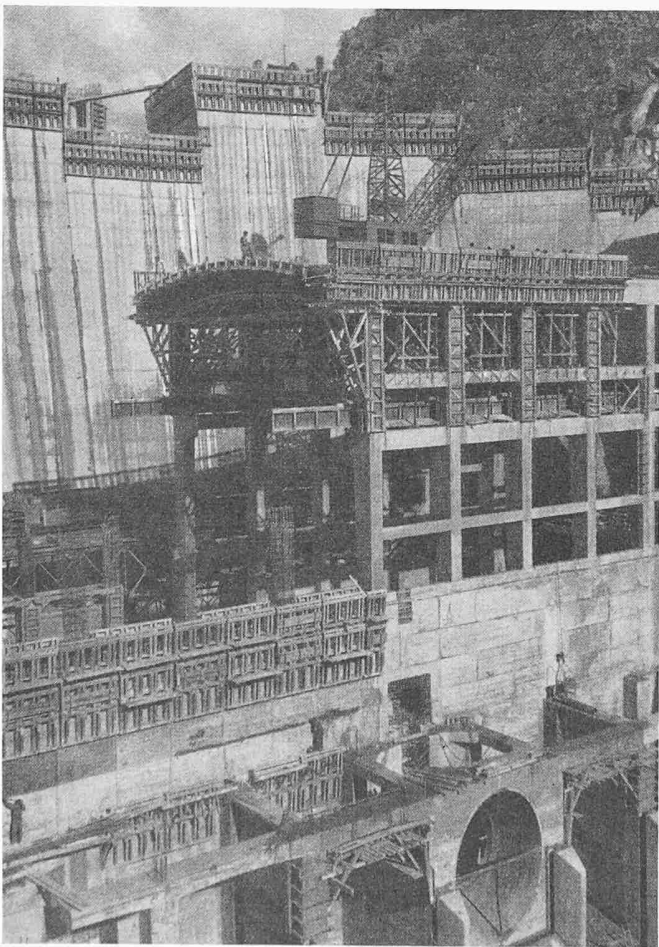


Bild 18. Der Bauzustand von Maschinenhaus und Staumauer am 26. Januar 1953 zeigt den von August bis Januar erzielten Baufortschritt

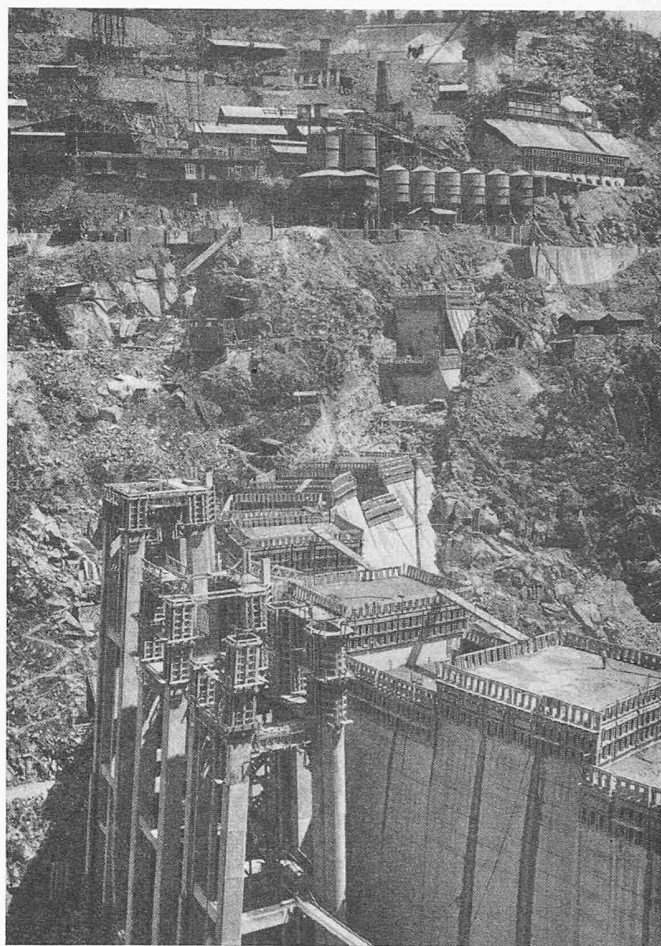


Bild 19. Bauzustand Türme und Staumauer am 1. Mai 1953; Beziehung der Anlage zur Herstellung des Betons zum Bauwerk; oben rechts der Steinbruch

genügender Abkühlung der Blöcke ausgeführt werden. Hierzu wurden am Fusse einer Zone 1½"-Rohre mit 1 % Gefälle nach aussen verlegt, von denen Nuten vertikal aufsteigen bis zu der unter dem folgenden Blech mit 1 % Gefälle verlaufenden Sammelnut. Für die sekundäre Injektion, die nach völliger Abkühlung ausgeführt und nach Bedarf wiederholt werden soll, wurden 1½"-Rohre mit Rückschlagklappen mit Gummikonus angeordnet, im unteren Teil in 4 m Höhenabstand, im oberen Teil von Gang zu Gang. Die gesamten Injektionen waren der Firma Rodio in Auftrag gegeben, welche auch sämtliche Sondierungen ausgeführt hat.

Zur Messung des Verhaltens der Mauer unter dem Einfluss von Wasserdruck und Temperatur wurden folgende Dispositionen getroffen:

1. Es wurde ein Triangulationsnetz gelegt, das Mauer und Umgebende umfasste und genügend weit rückversichert war. Die Präzisionsmessungen wurden nachts im Scheinwerferlicht durchgeführt. Ein Präzisionsnivelement verband die Fixpunkte.

2. Lotschächte wurden je im äussersten Fünftel des Bogens zwischen dem Gang in der Krone und dem Kontrollgang im Fundament ausgeführt. In diesen sowie in den beiden Gängen wurden Klinometer-Basen angeordnet.

3. In diesen beiden Gängen sowie in einem mittleren wurden Basen zur Messung der Längenänderung eingebaut.

4. Elektrische Dehnungs- und Temperatur-Messer, Bauart Teleformeter Carlson, wurden im Mauerkörper in Gruppen, Rosetten und Sternen systematisch verteilt. Die Kabel von je etwa 30 Apparaten führten zu einer Messstation in einem der Gänge. Rd. 180 solcher Apparate wurden eingebaut.

5. Thermo-Elektrische Elemente (Widerstands-Thermometer) wurden zusätzlich paarweise angeordnet, etwa 80 Stück.

6. Zur Messung der Öffnung der Fugen im Innern wurden spezielle elektrische Dehnungsmesser, Bauart Teledilatometer Carlson, eingebaut, etwa 50 Stück. Die letztgenannten

beiden Instrumente waren unerlässlich zur Bestimmung des Zeitpunktes und der Anordnung der Fugen-Injektion.

Vom Bau der Ueberlauf-Schrägschächte und -Tunnel sei noch folgendes erwähnt.

Die Auslauf-Tunnel von 150 m Länge, 5 % Gefälle und 6,5 m \varnothing der 70 cm starken Betonverkleidung durchfuhren intensiv zerklüfteten, tektonisch vielfach gestörten Granit von wechselndem Verwitterungsgrad. Ihr Ausbruch, \varnothing 8 m, wurde wie folgt vorgenommen: zum Aufschluss des Gebirges wurde ein Firststollen vorgetrieben, genügend gross zum Befahren mittels eines 4-t-Kipp-Lastwagens mit Benzinmotor. Da von Hand geladen wurde, gestattete der breite Wagen, eine starke Schutter-Mannschaft einzusetzen. Wo man gefährdete Zonen traf, wurden sofort Betonringe, ausserhalb des Verkleidungsprofils liegend, als Sicherung eingezogen; sie wurden womöglich im Fels abgestützt oder später unterfangen. Nach Beendigung des Vortriebs wurde der Vollausbuch angesetzt, wobei die Sohle so hoch gelegt wurde, dass zwei Kipp-Lastwagen zu Schutterung vorfahren konnten, wodurch man eine grosse Ladeleistung erreichte. Dieser Betrieb konnte im Uebergang zum Schrägschacht bis zu einer Steigung von 20 % getrieben werden, wobei mittels Rollen und Drahtseil der abgehende volle Wagen den leeren hochzog. Diese Arbeitsweise vermied jegliche nicht produktiven Handreichungen. Die normale Stollenventilation genügte auch für den Lastwagenverkehr, da die vollen Wagen mit abgestelltem Motor ausfahren konnten. Die Betonierung hinter verfahrbarer hölzerner Klappschalung erfolgte mittels durch Lastwagen beschicktem Förderband.

Der Schrägschacht von 60 % Neigung auf 150 m Länge bei einem \varnothing der 70 cm starken Betonverkleidung, der sich von 6,5 m nach oben stetig seitlich und in der Höhe erweiterte auf 8 \times 15 m, wurde im Hinblick auf das un stetige Gebirge von oben nach unten im vollen Profil ausgebrochen; brüchige Zonen konnten in dieser Weise gefahrlos allmählich aufgeschlossen und durch Betonbogen, ausserhalb der Verkleidung angeordnet, gesichert werden. Ein Schrägaufzug mit

Auflauf-Kippe und breitem, niedrigem, eisernem Wagen, der eine breite Ladefront besass, wurde auf der Baustelle dem Gelände entsprechend konstruiert. Bei dieser Anordnung verwandelte sich der Schrägschacht-Ausbruch in einen Steinbruchbetrieb mit raschem und wirtschaftlichem Fortschritt unter Vermeidung jeglicher unproduktiver Arbeitsgänge. Die Schalung dieser räumlich gekrümmten, nach oben sich stetig ausweitenden Tunnels wurde als Gerüst in Tafeln aufgestellt, nach Betonierung unten abgebaut, durch die Arbeitszone hochgezogen und oben wieder aufgebaut unter Einschaltung der Trapez-Tafeln, die die Profilerweiterung brachten. Die Hintermauerung in trockenem Vibrier-Beton erfolgte mit Hilfe von zwei Druckluftförderern Typ «Placy» von 250 l Inhalt und 180 mm Rohrleitung mit Kies bis 60 mm mit bestem Ergebnis. Dieser Beton war wie folgt aufgebaut: 350 kg Zement, 40 % $\frac{60}{19}$, 22 % $\frac{19}{10}$, 8 % $\frac{10}{5}$, 5 % $\frac{5}{1,5}$, 25 % $\frac{1,5}{0}$ mm, 0,4 m³ Darex je kg Zement. Die Würfel-festigkeiten nach 7, 28, 90 Tagen ergaben sich zu 200, 270, 320 kg/cm².

Der Verlauf der Arbeiterzahl zur Durchführung des Kraftwerk- und Strassenbaues zeigt folgendes Bild: Von Juli 1951 bis März 1952 arbeiteten 1400 Mann, 400 an den grossen Strassenbauten, 1000 an Flussumleitung, Aushub und der Baustellen-Einrichtung. Nach Beendigung der Strassenbauten arbeiteten von Juli 1952, dem Beginn der Betonierung, bis Anfang 1953 1100 Mann, bei einer gleichmässigen Produktion von 25 000 m³ je Monat Massen- und Eisenbeton und weitläufigen Tunnelbauten. Während der vollen Entwicklung der normalen Betonier-Arbeiten von Staumauer (um 28 000 m³ im Monat schwankend) Wasserfassung, Maschinenhaus und der Ueberläufe, zusammen gegen 32 000 m³ im Monat, betrug der Arbeiterbestand etwa 940. Die Arbeit lief das ganze Jahr ununterbrochen und mit grosser Regelmässigkeit durch; der Wechsel in der Mannschaft war sehr gering, bei Facharbeitern, Polieren und leitendem Personal trat kaum ein Wechsel auf; diese Leute haben in Castelo do Bode und Cabril sechs Jahre lang gemeinsam gearbeitet, woraus sich ein selten hoher Wirkungsgrad der Arbeit ergab. Dieser Umstand drückte sich auch darin aus, dass das anfangs 1951 aufgestellte, sehr knapp gehaltene Bauprogramm im März 1954 präzise durchgeführt war.

Adresse des Verfassers: Ing. Erwin Schnitter, Itznach-Küsnacht ZH.

Dieselmotor-Flusschiffe auf kolonialen Binnengewässern

DK 629.122

Dank seiner Vorzüge (rasche Betriebsbereitschaft, kleiner Raumbedarf usw.) hat sich der Dieselmotor für Flussfahrzeuge beim wirtschaftlichen Ausbau überseeischer Gebiete immer mehr durchgesetzt. Eine mit Bildern und Schnittzeichnungen ergänzte Uebersicht über Dieselmotorschiffe, die in der Flusschiffahrt französischer und belgischer Kolonialgebiete verwendet werden und deren Dieselmotoren Gebr. Sulzer, Winterthur, oder ihre Lizenznehmer geliefert haben, ist in der «Technischen Rundschau Sulzer» 1954, Nr. 1, enthalten. Während 1930 ein Motorboot für die Beförderung von Passagieren und Waren auf dem obern Kongo mit einem 40-PS-Diesel-Motor genügte, sind inzwischen Schiffe und Schlepper mit 500 und 600 PS Motorleistung geliefert worden, und ein Schlepper mit Sechszylinder-Motor mit Aufladung, von 750 PS, befindet sich im Bau. Eine besondere Art der Beförderung auf vielen der bis 2000 km langen Verkehrsstrecken besteht darin, dass die Frachtschiffe vom Schlepper nicht gezogen, sondern gestossen werden. In diesem Falle müssen die Frachtschiffe starr untereinander und mit dem treibenden Schiff verbunden sein, was die Anordnung einer besonderen Stossvorrichtung auf dem Schubschlepper bedingt. Dieses Beförderungssystem arbeitet mit einem bessern Gesamtwirkungsgrad als das üblichere, bei welchem die Frachtschiffe vom Schlepper gezogen werden. Die Durchschnittsleistung einer aus einem 320-PS-Schubschlepper und zwei 600-t-Barken gebildeten Komposition beträgt 1000 bis 1100 t. Dass Dieselmotoren als zweckmässige und betriebssichere Antriebsmaschinen auch unter den strengen Anforderungen des Schiffbetriebs auf Tropenflüssen anzusprechen sind, geht auch daraus hervor, dass Betrieb und Unterhalt der Dieselmotoren eingeborenen Arbeitskräften anvertraut werden können, die unter der Leitung einer kleinen Zahl von Europäern stehen.

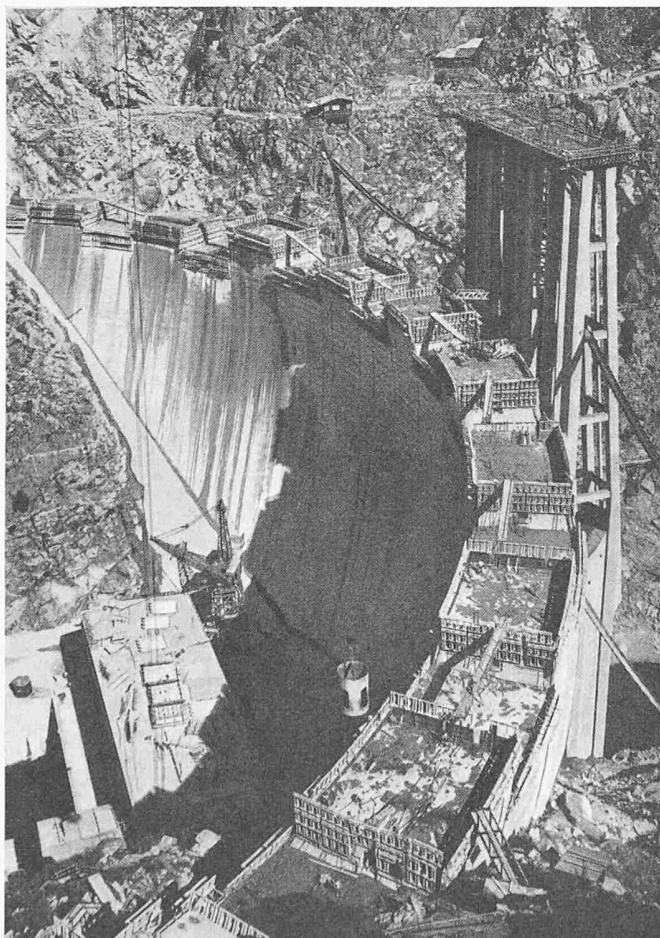


Bild 20. Betonierung der Staumauer, 23. Juni 1953; links Dach des Maschinenhauses