

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 71 (1953)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Das Kraftwerk Juan Carosio-Moyopampa bei Lima  
**Autor:** Motor Columbus AG (Baden)  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-60478>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

# Das Kraftwerk Juan Carosio-Moyopampa bei Lima

Mitgeteilt von der MOTOR-COLUMBUS AG. für elektrische Unternehmungen, Baden

DK 621.311.21 (85)

In den Jahren 1947 bis 1951 ist in der Nähe der peruanischen Hauptstadt Lima ein neues Kraftwerk entstanden, von dessen Bau bisher in der Schweiz nur wenige kurze Mitteilungen an die Öffentlichkeit gelangt sind. Und doch handelt es sich um ein Werk, an dem schweizerische Arbeitskraft in hohem Masse mitgewirkt hat. So wurden alle Berechnungen und Pläne für die Bauausführung in unserem Lande ausgearbeitet, die Bauleitung lag in den Händen von schweizerischen Ingenieuren, und die gesamte elektromechanische Ausrüstung wurde in schweizerischen Fabriken hergestellt.

Die Konzession für die Versorgung von Lima und Umgebung mit Kraft und Licht liegt in den Händen der *Empresas Eléctricas Asociadas S. A.*, auch bekannt unter dem früheren Namen *Lima Light and Power Co.*, an der Schweizerkapital beteiligt ist. Die Energieproduktion dieser Gesellschaft stand in den zwanziger und anfangs der dreissiger Jahre unverändert auf einem Jahresdurchschnitt von rd. 70 Mio kWh. Im Jahre 1934 trat dann eine Wendung ein, indem seither die Produktion andauernd anstieg und im Jahre 1950 322 Mio kWh erreichte. Im Durchschnitt von 1940 bis 1950 betrug die jährliche Zunahme 8,6%. Die steigende Tendenz ist immer noch vorhanden und dürfte auch weiterhin anhalten. Der Stromkonsum pro Jahr und Kopf der Bevölkerung des von den *Empresas Eléctricas* versorgten Gebietes beträgt heute erst rd. 350 kWh, d. h. nur rd. 1/7 des schweizerischen Durchschnittes. Das Land steht, wie die meisten südamerikanischen Länder, offensichtlich noch am Anfang einer industriellen und energiewirtschaftlichen Entwicklung.

Das Konsumgebiet erstreckt sich von der Hafenstadt Callao, rd. 12 km westlich der Hauptstadt Lima, das Rimac-Tal aufwärts bis zum Zusammenfluss des Rio Santa Eulalia mit dem Rio Rimac, rd. 45 km östlich Lima und weitere 20 km aufwärts durch das Tal des Santa Eulalia bis nach Autisha (Bild 1). Die Gesellschaft ist in der Erzeugung der in ihrem Absatzgebiet benötigten Energie auf ihre eigenen Werke angewiesen. Hohe Betriebssicherheit der Anlagen ist infolgedessen von besonderer Wichtigkeit und verlangt die Bereitstellung von Reserveaggregaten.

Die Anpassung der Produktions- und Verteilereinrichtungen an die rasch steigenden Bedürfnisse des Konsums war während des Krieges kaum möglich, so dass nach Kriegsende ein grosser Nachholbedarf bestand. Zur Ueberwindung des in der Stromversorgung eingetretenen Engpasses wurde zunächst die Leistung der thermischen Zentrale Santa Rosa de Lima durch den Einbau einer Brown Boveri-Gasturbine von 10000 kW

vergrössert<sup>1)</sup>. Weiter wurde Ende 1946 der Baubeschluss für die nachstehend beschriebene Wasserkraftanlage Moyopampa gefasst, für deren Bau und Betrieb eine neue Gesellschaft, die *Energía Hidroeléctrica Andina S. A. (Hidrandina)*, gegründet worden war. Die Bauarbeiten konnten im Januar 1947 in Angriff genommen werden. Im September 1951 lieferte das Werk mit einer Gruppe von 21 000 kW erstmals Energie nach Lima. Eine zweite Gruppe kam im März 1952 in Betrieb. Seither steht das oben erwähnte thermische Kraftwerk Santa Rosa de Lima bei Betriebsstörungen in den hydraulischen Kraftwerken als Reserve zur Verfügung.

## A. Oertliche Verhältnisse, Einzugsgebiet und Hydrologie

Mit dem Kraftwerk Moyopampa wird die Gefällsstrecke des Rio Santa Eulalia von der Zentrale Juan Carosio de Callahuanca bis zur Ortschaft Chosica, rd. 40 km östlich von Lima, ausgenützt. Die Flusstrecke misst 13,6 km und weist ein Bruttogefälle von 500 m auf. Das bis 6000 m Meereshöhe reichende, aber dennoch wenig vergletscherte Einzugsgebiet misst bis zur Wasserfassung 1200 km<sup>2</sup>, wovon aber kaum die Hälfte einen Beitrag an die Wasserspende liefert, weil im Gebiet unter 3000 m nur ausnahmsweise Niederschläge fallen.

Der Rio Santa Eulalia, wie auch die anderen Flüsse westlich der Anden, weist eine acht Monate dauernde Niederwasserperiode vom April bis zum November und eine relativ kurze Hochwasserperiode vom Dezember bis April auf, die mit der Regenzeit in den Hochanden zusammenfällt. In der Trockenzeit geht die Wasserführung der Anden-Flüsse stark zurück, ein Umstand, der für die Bewohner der Küste am Pazifischen Ozean von grosser Bedeutung ist, weil in den tieferen Regionen westlich der Anden eine Vegetation nur mit künstlicher Bewässerung erhalten werden kann. Die Anstrengungen zur Erhöhung der Niederwasserführung der Flüsse reichen deshalb weit zurück. So wurden schon im vergangenen Jahrhundert im oberen Einzugsgebiet des Rio Santa Eulalia, der einer der Wasserlieferanten von Lima und Umgebung ist, die ersten Speicher geschaffen, teils durch Absenken, teils durch Aufstauen von natürlichen Seen (Lagunen) in Höhenlagen von 4300 bis 4700 m ü. M. (Bilder 2 und 3). Vor etwa 20 Jahren wurden dann während und kurz nach dem Bau des ersten grösseren Kraftwerkes am Rio Santa Eulalia von den *Empresas Eléctricas Asociadas* eine weitere Anzahl von natürlichen Seen aufgestaut. Heute steht in 15 Seen ein nutzbares Speichervolumen von 70 Mio m<sup>3</sup> zur Verfügung, womit die

<sup>1)</sup> SBZ 1947, Nr. 32, S. 438\*.

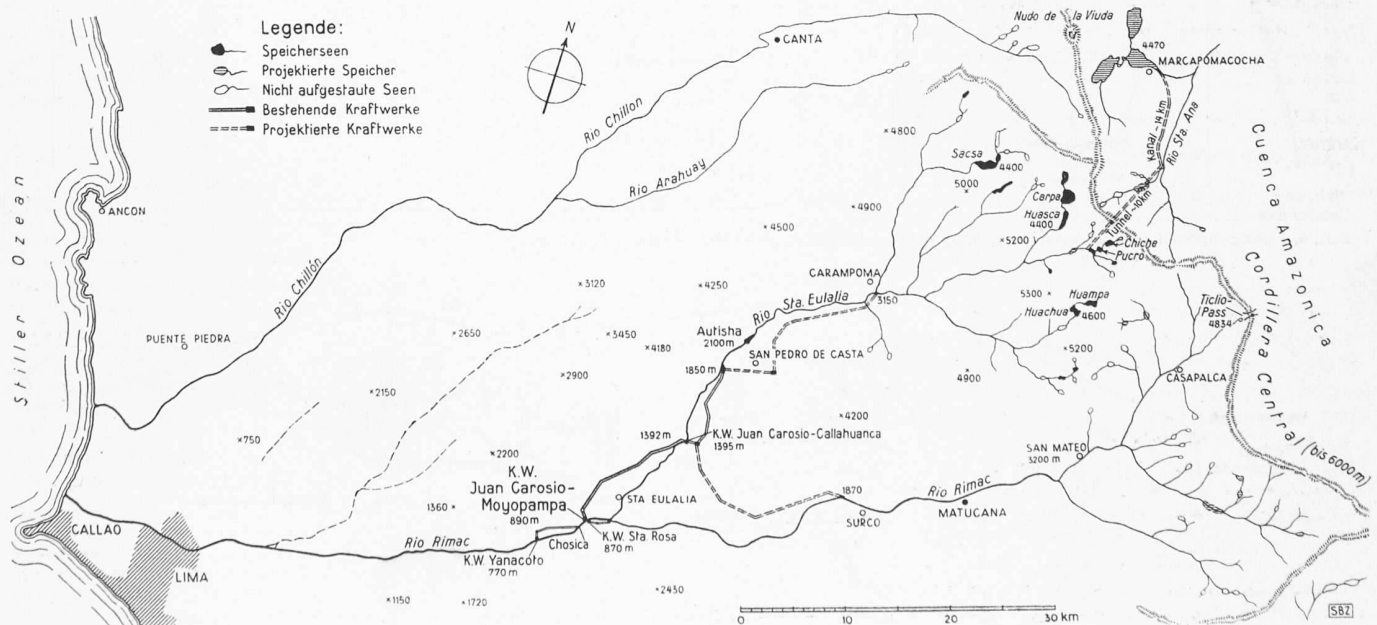


Bild 1. Flussgebiete des Rimac und des Sta. Eulalia, mit den bestehenden und projektierten Kraftwerkanlagen, Masstab 1:700 000



Bild 2. Staumauer des Speichers Sacsá auf 4400 m Meereshöhe; Nutzinhalt 16 Mio m<sup>3</sup>



Bild 3. Die Speicher Pucro (Vordergrund) und Chiche, mit zusammen 4,3 Mio m<sup>3</sup> Nutzinhalt. Rechts von Pucro die Wärterhäuser mit der Radiostation

Wasserführung des Flusses in der Trockenzeit von ursprünglich 1,5 m<sup>3</sup>/s auf 4,5 bis 5,0 m<sup>3</sup>/s erhöht wurde. Die Regulierung dieser Speicher besorgt eine Gruppe von Wärtern, die beim Stausee Pucro (Bild 3) stationiert ist und ihre Anweisungen auf radiotelephonischem Weg aus Lima erhält. Die Gefällsstufen direkt unterhalb der Lagunen sind noch nicht ausgenutzt. Das Wasser fließt, soweit es nicht für die Bewässerung herangezogen wird, im natürlichen Flussbett bis zum Tages- und Wochenend-Ausgleichsbecken Autisha auf 2100 m Meereshöhe. Mit Hilfe dieses Beckens können auch kleinere Unregelmäßigkeiten in der Regulierung der Speicher ausgeglichen werden.

Eine Vergrößerung des Speichereinhaltes und damit der Niederwasserführung wäre in bescheidenem Masse, jedoch nur mit hohen Kosten durch den Aufstau weiterer Seen möglich. Dagegen lässt sich die Wasserführung während der Trockenzeit durch Ueberleiten aus andern Flussgebieten in den Rio Santa Eulalia wesentlich verbessern. Hierfür stehen zwei Möglichkeiten im Vordergrund, nämlich:

a) der Aufstau der Lagune Marcapomacocha östlich der Wasserscheide der Anden auf 4470 m Meereshöhe im Einzugsgebiet des Amazonas-Stromes und Ueberleitung mit Hilfe eines 14 km langen Hangkanals und eines Basis-Stollens durch die Anden-Kette von 10 km Länge,

b) die Ueberleitung des Rio Rimac mit Hilfe eines 20 km langen Stollens auf 1850 m Höhe ins Wasserschloss der Stufe des Kraftwerkes Juan Carosio-Callahuanca oberhalb Moyopampa.

Durch jede dieser Massnahmen könnte die Nutzwassermenge des Santa Eulalia während der ganzen Dauer der Trockenzeit annähernd verdoppelt werden. Diese Projekte, von denen die Rimac-Ueberleitung in nicht allzu ferner Zeit verwirklicht werden dürfte, liessen es als zweckmässig er-

Tabelle 1. Hauptdaten des Kraftwerkes Moyopampa

		1. Ausbau	Voll-ausbau <sup>2)</sup>
Einzugsgebiet	km <sup>2</sup>	1 200	2 000
Ausbauwassermenge	m <sup>3</sup> /s	10 <sup>2/3</sup>	16
Gefälle brutto	m	500	500
Gefälle netto (bei Vollast)	m	460	460
Install. Turb.-Leistung	PS	60 000	90 000
Install. Generat.-Leistung	kW	42 000	63 000
Masch.-Gruppen	Anzahl	2	3
Druckleitungen	Anzahl	2	3
Jährl. Energieproduktion	Mio kWh	190	400

2) mit Ueberleitung des Rimac.

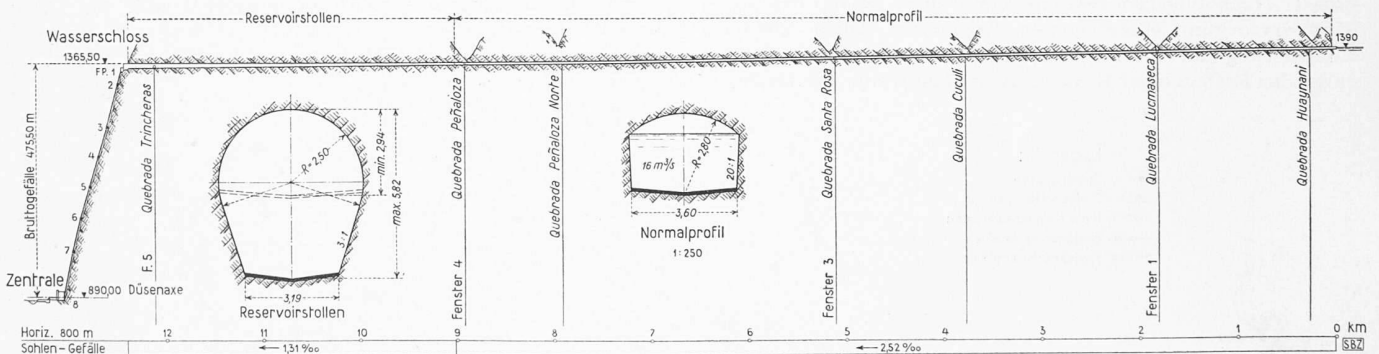


Bild 4. Längenprofil des Kraftwerkes Moyopampa, Längen 1:75 000; Höhen 1:15 000

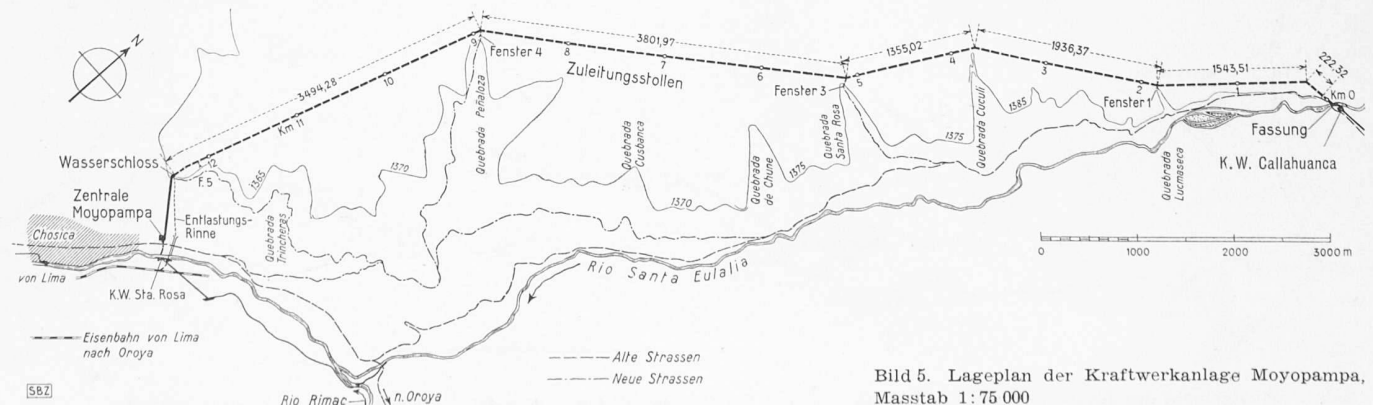


Bild 5. Lageplan der Kraftwerkanlage Moyopampa, Masstab 1:75 000

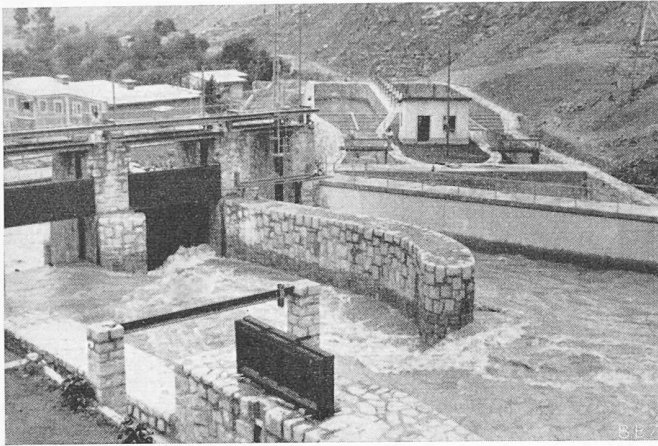


Bild 6. Wasserrfassung Moyopampa

scheinen, das Kraftwerk Moyopampa von Anfang an so zu dimensionieren, dass die allfällig später zugeleiteten Wassermengen auch verarbeitet werden können.

## B. Beschreibung der Kraftwerkenlagen

Die charakteristischen Daten des Kraftwerkes Moyopampa sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Der erste Ausbau ist als abgeschlossen zu betrachten. Wasserrfassung, Zuleitungstollen und Wasserschloss wurden für den Vollausbau dimensioniert und ausgeführt. Ebenso hat man den Unterbau für die dritte Druckleitung und das Fundament für die dritte Maschinengruppe erstellt. Der bauliche Teil ist somit von Anfang an für den Vollausbau ausgeführt worden.

### 1. Wasserrfassung

Die Wasserrfassung für das Kraftwerk Moyopampa liegt beim Auslauf der in den Jahren 1934 bis 1938 erstellten Zentrale Juan Carosio-Callahuanca, deren Wasser direkt übernommen wird. Das Zwischeneinzugsgebiet weist keine Wasserrspende auf. Man hätte somit ohne Einbusse an Energieproduktion auf den Bau einer Fassung verzichten können. Dies wurde jedoch nicht getan, weil die Stromversorgung von Lima, wie eingangs schon erwähnt, von nur einigen wenigen Werken der Empresas Eléctricas Asociadas abhängt und zudem in den Hochwasserzeiten, besonders in den Monaten Februar und März, mit dem Niedergang von «Huaicos» (Murgängen) gerechnet werden muss, die schon mehr als einmal die Ursache für den Ausfall von Flusskraftwerken waren.

Mit Rücksicht auf den wildbachartigen Charakter in den Hochwasserzeiten musste der Gestaltung der Fassung und Entsandung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die projektierende Firma Motor-Columbus AG. liess deshalb im Wasserbau-Laboratorium der ETH eingehende Modellversuche durchführen, die sich sowohl auf die Fassung, als auch auf die Entsandung des Betriebswassers erstreckten<sup>3)</sup>.

Die Disposition der Wasserrfassung ist aus den Bildern 6 bis 9 ersichtlich. Das Wehr weist vier Öffnungen auf, nämlich zwei Durchflussöffnungen von 5,0 m und an den Ufern je eine Öffnung von 3,0 m lichter Weite. In der Verlängerung des Unterwasser-Kanales des Kraftwerkes Callahuanca ist eine Umleitschütze eingebaut, mit der das verarbeitete Betriebs-Wasser dieses Werkes durch den Düker in der Wehrschwelle nach dem Zulaufstollen Moyopampa oder in den Fluss zurückgeleitet werden kann. Die Wehröffnung beim Einlauf (Vorbecken) hat zwei Verschlüsse, einen Grundablass und eine Geschwemmselschütze. Mit Ausnahme dieser letztgenannten sind alle Schützen mit Motorantrieb ausgerüstet.

Durch die beiden Durchflussöffnungen kann mit hochgezogenen Schützen das höchste Hochwasser von 180 m<sup>3</sup>/s ohne Ueberschreiten des Normalstaus beim Wehr auf Kote 1392,00 abgeleitet werden. Zur Entlastung für den Fall einer falschen Manipulation oder eines Defektes in einem der Schützen-Antriebe wurde auf der Längsmauer des Unterwasserkanals des Werkes Callahuanca ein Streichüberfall von 18,0 m Länge ausgeführt. Infolge des starken Längs-

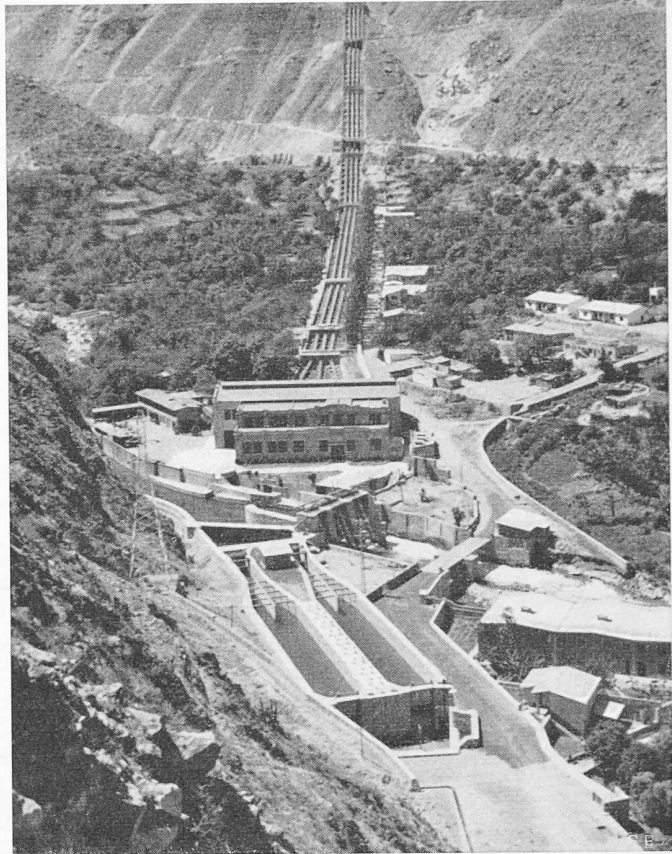


Bild 7. Wehr und Sandfang Moyopampa, mit Zentrale Juan Carosio-Callahuanca im Hintergrund

gefälles des Flusses von 4 bis 5 % ist der Abfluss in den nicht gestauten Strecken schiessend. Der Wassersprung, der am oberen Ende der Stauhaltung beim Uebergang in die strömende Bewegung auftritt, wandert bei wachsender Abflussmenge flussabwärts bis vor das Ende des Vorbeckens. Die Spiegeldifferenzen zwischen Vorbecken und Durchflussöffnungen werden dabei sehr gross und erreichen beim grössten Hochwasser angenähert 2,5 m. Aus diesem Grunde musste die Leitmauer bis auf Kote 1395 hochgeführt und wegen dem einseitigen Wasserdruck mit einer Armierung verstärkt werden.

Der Sturzboden wurde ebenfalls auf Grund der Beobachtungen bei den Modellversuchen sehr tief, d. h. rd. 2,0 m unter dem natürlichen Flussbett angelegt und mit Rücksicht auf den grossen Geschiebetransport ohne Gegensteigung ausgeführt. Damit aber trotzdem eine einwandfreie Energieverrichtung gewährleistet ist und starke Kolkwirkungen vermieden werden können, hat man ungefähr 20 m unterhalb des Wehres unter Ausnützung des Pfeilers einer bestehenden Brücke eine Gegenschwelle eingebaut, deren Oberkante 1,40 m höher liegt als der Sturzboden — eine Lösung, die sehr wirtschaftlich ist und sich gut bewährt hat.

Vor dem Einlauf in den Entsander ist eine Tauchwand angeordnet, die den Eintritt von Geschwemmsel verhindert. Direkt hinter der Tauchwand liegen fünf Absetztrichter mit Einzelspülmöglichkeit, mit denen Grobsand und Kies, das bei Hochwasser infolge der starken Turbulenz ins Vorbecken gelangt, ausgeschieden werden können. Der anschliessende Feinrechen weist zwischen den Stäben eine Lichtweite von 38 mm auf. Hinter diesem teilt und verengt sich der Zufluss in zwei Kanäle von 3,0 m Breite, in denen die Abschlusschützen für die beiden Sandfänge angeordnet sind. Diese sind für eine Betriebswassermenge von je 8 m<sup>3</sup>/s dimensioniert. Sie bestehen aus neun hintereinander angeordneten Absetztrichtern, von denen jeder einzelne mit Hilfe einer Schütze in der Trennmauer zwischen den beiden Becken gespült werden kann. Die Spülung erfolgt bei normalen Verhältnissen intermittierend; nur bei Hochwasser mit viel suspendiertem Material lässt man die Schützen der ersten zwei bis drei Trichter ständig leicht geöffnet.

Die Betriebswassermenge wird am unteren Ende der Sandfänge mit Hilfe von Schützen reguliert. Der Wasser-

<sup>3)</sup> SEZ 1952, Nr. 10, S. 140\*.

spiegel in den Entsandern kommuniziert somit mit demjenigen im Vorbecken und ist daher je nach der Wasserführung des Flusses verschieden hoch. Auf diese Weise konnte eine Energievernichtung beim Entsandereinlauf mit den bekannten nachteiligen Folgen auf die Strömungsverhältnisse umgangen werden. Dieser Vorteil musste aber mit einer teureren Konstruktion erkauft werden, indem die Mauern der Zuleitungskanäle und des Entсандers entsprechend dem maximalen Wasserstand im Vorbecken 2,50 m höher ausgeführt werden mussten als der Normalstau.

An die Sandfänge schliesst ein Sammelbecken an, in das auch das Betriebswasser vom oberen Werk einmündet. In ihm ist ein Entlastungsüberfall eingebaut, der bei falscher Bedienung der Schützen das Ueberschusswasser durch den Spülkanal in den Fluss zurückleitet. Vom Sammelbecken fliesst das Betriebswasser durch einen 55 m langen gedeckten Kanal, vor dem ein Grobrechen angeordnet ist, in den Zulaufstollen.

2. Zulaufstollen

Der 12,4 km lange Zulaufstollen ist als Freispiegelstollen ausgebildet und für eine Betriebswassermenge von 16 m<sup>3</sup>/s dimensioniert. Auf eine Strecke von 9,0 km weist er ein Längsgefälle von 2,5 ‰ und eine lichte Querschnittsfläche von 9,3 m<sup>2</sup> in den unverkleideten und 7 m<sup>2</sup> in den verkleideten Strecken auf. Anschliessend folgt ein 3,4 km langes Teilstück mit einem Sohlengefälle von 1,3 ‰, innerhalb welchem sich der Querschnitt von 9,3 m<sup>2</sup> am oberen Ende auf 23,6 m<sup>2</sup> beim Wasserschloss erweitert. In diesem Reservoirenstollen kann eine Wassermenge von rund 35 000 m<sup>3</sup> aufgespeichert werden, die bei Tandembetrieb der beiden Zentralen als Puffer wirkt und ausserdem eine kurzfristige Spitzendeckung in Moyopampa ermöglicht.

Die Geologie des durchfahrenen Gebirges ist einfach. Beim Gestein handelt es sich um einen gesunden Diorit. Von km 0 bis km 1,7 ist der Fels leicht klüftig, sonst kompakt. Bei km 2,0 musste eine kurze, leicht mineralisierte Zone durch-

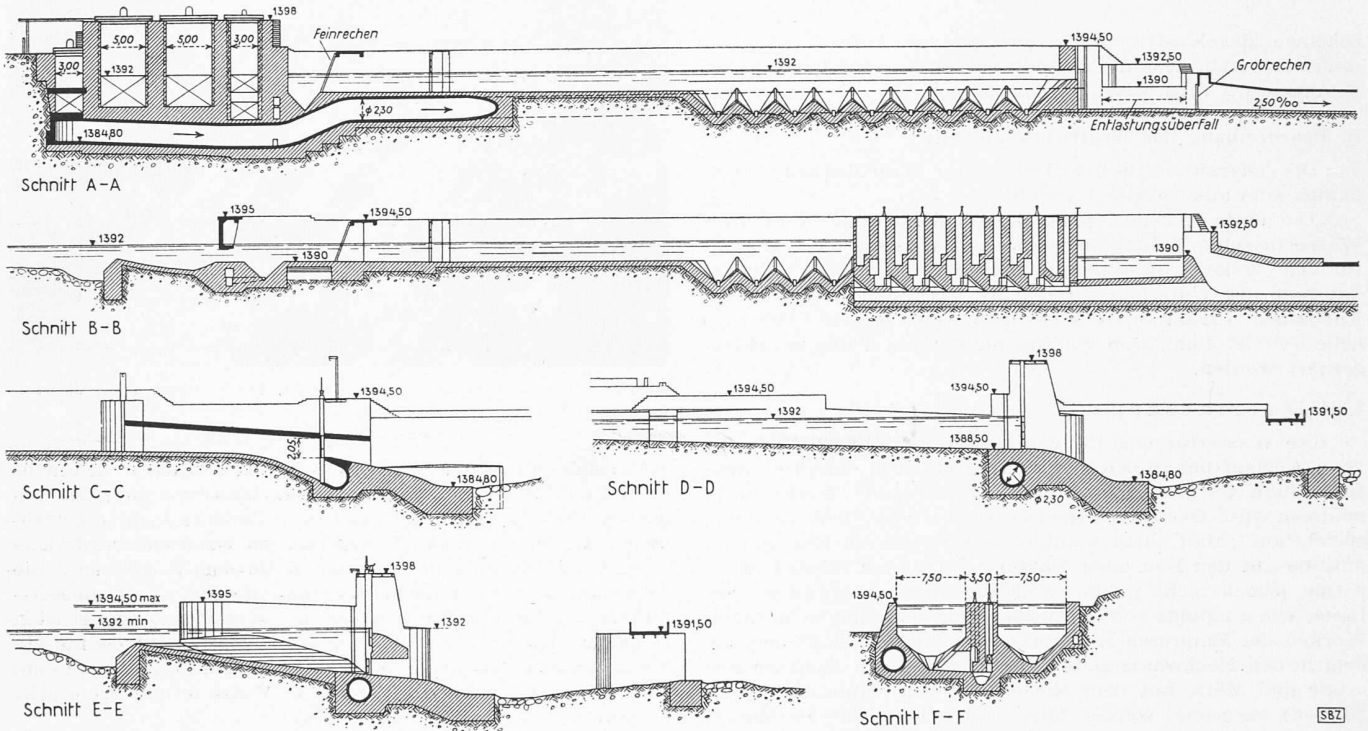


Bild 8. Schnitte zu Bild 9, Masstab 1:800

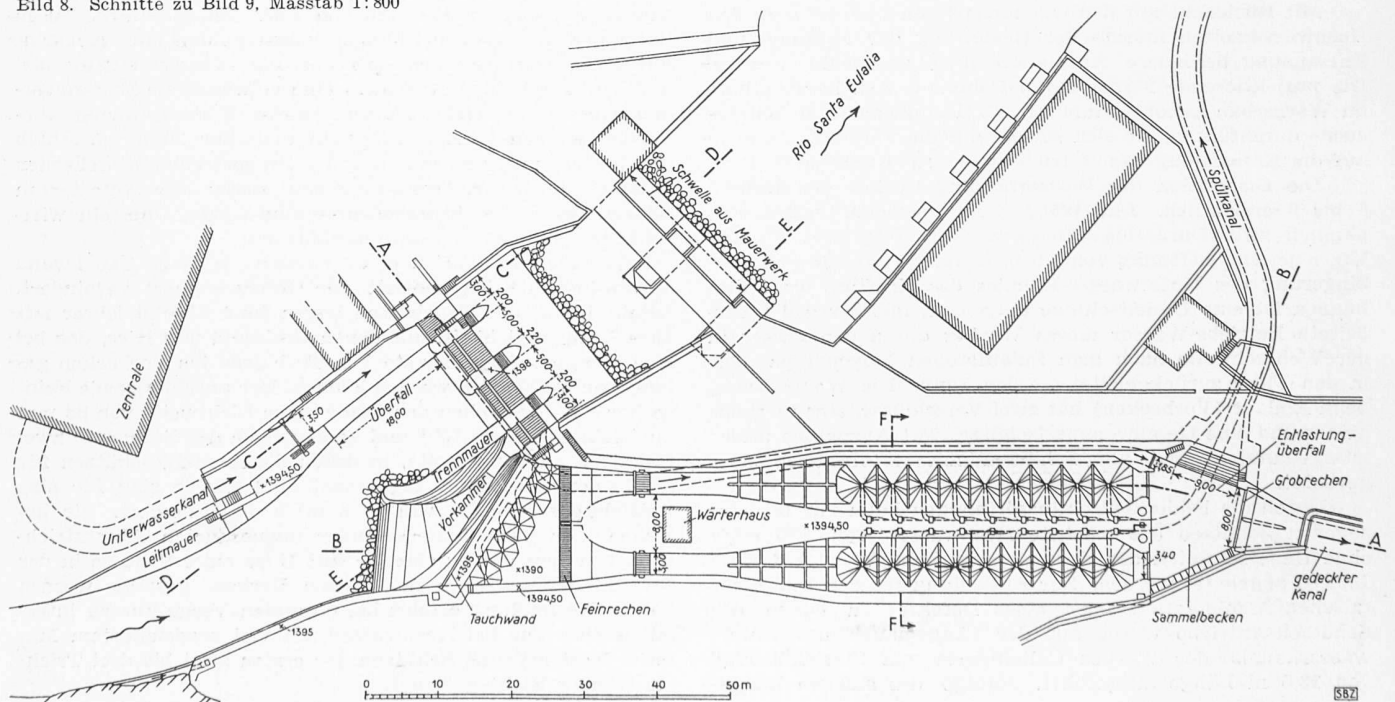


Bild 9. Wasserfassung, Wehr und Entsandungsanlage, Grundrisse, Masstab 1:1000



Bild 10. Stollenportal beim Wasserschloss

fahren werden; auch machte sich an einigen Stellen, besonders im Reservoirestollen, Gebirgsdruck bemerkbar, doch wurde dadurch der Vortrieb nur unwesentlich verzögert. Der Wasserandrang war sehr gering; im Maximum wurden 0,5 l/s gemessen. Die Temperatur in den Stollen konnte mit Hilfe der Ventilation auf 26° bis 28° C gesenkt werden. Die Stollensohle ist aus hydraulischen Gründen durchwegs mit einer Betonsohle versehen worden, während Wände und Gewölbe nur in den gebräuchlichen Partien oder in solchen mit Gebirgsdruck verkleidet wurden. Die ausbetonierten Teilstrecken machen zusammen 23 % der Gesamtstollenlänge aus, wovon ungefähr die Hälfte eine Wand- und Gewölbeverkleidung, die andere Hälfte nur eine Wandverkleidung erhielt. Die durchgehend betonierte Sohle erlaubt das Befahren des Stollens mit einem Motorfahrzeug (Jeep), das vor dem Stolleneingang mit einem Kran hinabgelassen wird und durch den demontierbaren Grobrechen in den Stollen einfahren kann. Für Revisionszwecke ist diese zeitsparende Massnahme von grossem Vorteil.

### 3. Wasserschloss

Der Reservoirestollen erweitert sich am unteren Ende zu einem kleinen Becken, in dem drei Absetztrichter mit Einzelspülung und gleicher Form wie in den Sandfängen angeordnet sind. In diesen Trichtern kann allfällig aus den nicht verkleideten Stollenstrecken anfallender Schotter ausgeschieden werden. Mit den Entlastungsüberfällen an den Beckenrändern kann bei Abschaltungen in der Zentrale das Ueberschusswasser in eine natürliche Rinne links der Druckleitung und durch diese in den Fluss geleitet werden. Vor den Einläufen in die Druckleitungen ist ein Feinrechen montiert. In der Apparatenkammer, direkt anschliessend an das erwähnte Becken, ist für jede Leitung die übliche Drosselklappe eingebaut, die die Druckleitung automatisch abschliesst, sobald die Wassermenge die Ausbaugrösse um etwa 20 % überschreitet, und die auch durch elektrische Auslösung von der Zentrale aus geschlossen werden kann. Jeder Drosselklappe ist je ein zweiter Abschluss, bestehend aus einer hölzernen

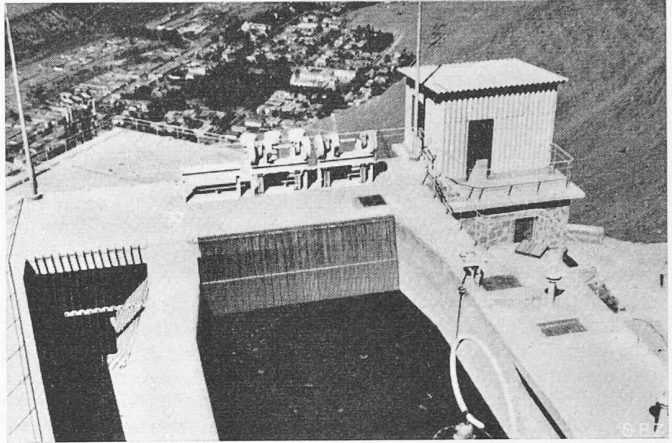


Bild 11. Wasserschloss mit Entlastungsüberfall. Im Talboden Chosica.

Schützentafel mit handangetriebenem Windwerk, vorgeschaltet, der bei Revisionen geschlossen wird. Für den Druckausgleich beim Füllen und Entleeren der Leitungen sind Belüftungsrohre vorhanden, die bis über den höchsten Wasserspiegel im Wasserschloss hochgeführt sind.

### 4. Druckleitung

Die Druckleitung führt vom Wasserschloss in gerader Linie über einen kahlen Hang mit durchgehend anstehendem Fels bis in die Zentrale; die 800 m lange Strecke ist durch Fixpunkte und Dilatationen in sieben Teilstücke unterteilt. Das Gefälle schwankt zwischen 66 % und 107 %, wobei sich ein 340 m langes Mittelstück mit konstantem Gefälle einschalten liess, das durch zwei Fixpunkte in drei angenähert gleich grosse Teilstücke unterteilt ist. Die Rohrdurchmesser nehmen von oben nach unten von 1250 auf 1050 mm ab, mit anwachsenden Wandstärken von 10 mm bis 27 mm. Die Rohre ruhen auf Rohrsockeln mit Stahlblechgleitsätteln in 6,0 bis 9,0 m Distanz. Alle Rohre mit Wandstärken unter 20 mm wurden beidseitig der Auflager durch je einen Ring aus Stahlblech verstärkt. Das maximale Rohrgewicht und damit auch die grösste zulässige Länge der Rohrschüsse war durch die vorhandenen Hilfsmittel für die Montage (Seilwinde) gegeben. Man entschied sich für Längen von 9,0 m für die oberen sechs Teilstücke und von 6,0 m für das unterste Teilstück der Druckleitung. Neben der Druckleitung wurde in der üblichen Weise eine Seilbahn erstellt, deren Winde in der Apparatenkammer im Wasserschloss untergebracht ist.

Die Verteilungen sind durch Flanschverbindungen an die Bogenrohre des untersten Fixpunktes (Bild 13) angeschlossen und bestehen im wesentlichen aus einem Hosenrohr mit zwei Abzweigungen. Diese liessen sich hydraulisch sehr günstig gestalten. Bei Längenänderungen infolge Temperatur- und Druckdifferenzen deformieren sie sich, wobei die zusätzlichen Spannungen im statisch mehrfach unbestimmten System der Verteilungen dank der Bogenform der Abzweigtstücke unbedeutend bleiben. Die Flanschverbindungen beim Anschluss an die Druckleitungen sind zudem als Gleitflansch



Bild 12. Druckleitungs montage

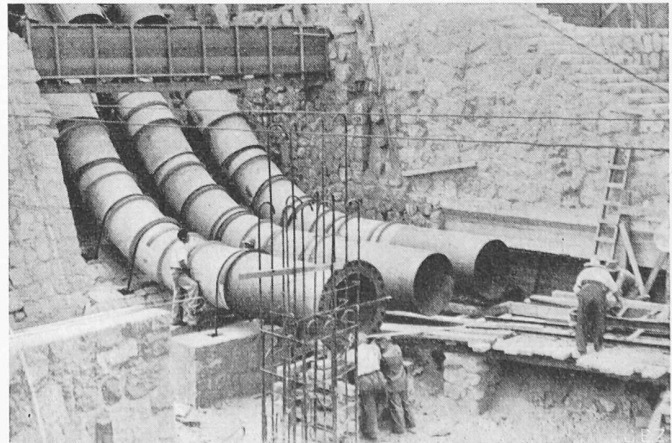


Bild 13. Druckleitungen beim untersten Fixpunkt neben der Zentrale.

schen ausgebildet, was die zusätzlichen Beanspruchungen auf ein Minimum reduzieren lässt. Der lichte Durchmesser der Verteilleitungen schwankt zwischen 1050 und 650 mm.

Die dritte Verteilleitung, die erst beim Vollausbau montiert werden wird, soll mit Rücksicht auf die grössere Länge nicht mit einer Flanschverbindung, sondern mit einer normalen Expansion an das Bogenrohr des untersten Fixpunktes angeschlossen und am andern Ende mit einem Rohrkörper auf einer aus dem Fundament der Maschinenhaus-Längswand vorspringenden Betonkonsole abgestützt werden.

Für die Ausführung der Leitungen kam SM-Flusstahlblech zur Anwendung, und zwar Qualität M I für die Rohre mit 1250 mm Durchmesser und Qualität M II für solche mit grösseren Blechstärken und für die Verteilleitungen. Sämtliche Rund- und Längsnähte wurden elektrisch geschweisst und anschliessend die Rohre mit Wandstärken von mehr als 20 mm und die ganze Verteilleitung bei etwa 620 ° spannungsfrei gegläht. Für die Berechnung der Wandstärken hat man den statischen Druck mit Rücksicht auf die im Betrieb auftretenden Druckstösse in üblicher Weise um 10 % erhöht. Zu den mit diesem erhöhten Druck und auf Grund von zulässigen Ringspannungen von 10 bis 11,5 kg/mm<sup>2</sup> ermittelten Werten kam ein Rostschutzzuschlag von rund 1 mm für gerade Rohre und von rd. 2 mm für Formstücke hinzu. Nach erfolgter Montage besserte man den im Werk nach der Sandstrahlung aufgetragenen doppelten Inertol-Anstrich aus und strich die ganze Leitung nochmals mit dem gleichen Produkt, und zwar einmal im Innern und zweimal aussen, wobei dem zweiten Aussenanstrich mit Rücksicht auf die intensive Sonnenbestrahlung ein Aluminium-Pigment beigemischt war.

### 5. Zentrale

Für den Bau der Zentrale kamen zwei Plätze in Frage, nämlich das Gelände zwischen dem Fuss des Berghanges und der Strasse, die von Lima ins Landesinnere führt (Carretera Central) und das etwas tiefer liegende zwischen Strasse und Fluss. Wirtschaftlichkeitsberechnungen ergaben, dass das um einige Meter grössere Gefälle bei Anordnung der Zentrale am Fluss die Mehrkosten für die längere Druckleitung nicht aufwiegen konnte, weshalb man die Zentrale auf dem zuerst genannten Gelände anordnete. Mit Rücksicht auf die lokalen Verhältnisse ist die Schaltanlage in ein Gebäude eingebaut worden, so dass die Zentrale aus drei Baukörpern besteht, dem Maschinenhaus, dem Dienstgebäude und dem Schalt- und Transformatorgebäude. Die Tragkonstruktion der Bauten besteht aus einem Eisenbetonskelett mit Backsteinwänden als Füllmauerwerk. Die drei Gebäude sind mit einem Eisenbeton-Flachdach abgedeckt und durch Dilatationsfugen voneinander getrennt. Die Zentrale Moyopampa liegt in einem Gebiet, in dem Erdbeben keine Seltenheit sind. Man hat dieser Tatsache bei der Dimensionierung der Eisenbetonkonstruktionen dadurch Rechnung getragen, dass man Zusatzkräfte in vertikaler und horizontaler Richtung in die Rechnung einführte, wie es für Hochbauten in Erdbebengebieten üblich ist.

### 6. Hilfsbauwerke

Zu den Hilfsbauwerken gehören der Unterwasserkanal, der Rohrbruchgraben, die Fortsetzung der Ueberlauftrinne des Wasserschlosses vom Bergfuss bis zum Fluss und endlich das Zufahrtsgleis für den Transport der schweren Maschinenteile von der Eisenbahn am linken Rimac-Ufer bis in die Zentrale. Der Unterwasserkanal besteht aus einem 70 m langen, gedeckten oberen Teilstück, das die oben erwähnte Autostrasse unterfährt, und einer ebenso langen, offenen unteren Teilstrecke. Beim Uebergang zwischen dem gedeckten und dem offenen Kanal ist ein Absturzbauwerk mit einem Messüberfall für Versuchsmessungen eingebaut.

### C. Bauausführung

Mit der Projektierung und Bauleitung des Kraftwerkes Moyopampa hat die Hidrandina die Motor-Columbus AG. für elektrische Unternehmungen in Baden betraut. Für die Ausführung der Bauarbeiten schloss der Bauherr mit der Niederlassung Peru der dänischen Bauunternehmung Christiani & Nielsen einen Vertrag auf der Basis einer Régie cointéressée ab. Alle Baumaschinen und Installationen wurden von der Hidrandina gekauft und dem Unternehmer zur Verfügung gestellt, ebenso sämtliche Baumaterialien. Der Ingenieurstab der Unternehmung setzte sich ungefähr zur Hälfte aus

Peruanern und im übrigen aus Dänen, Schweizern und zeitweise auch aus Italienern und Franzosen zusammen.

Mit den Bauarbeiten begann man im Januar 1947. Zuerst mussten rund 11 km Zufahrtsstrassen und 5 km Baustromleitungen zum Wasserschloss und zu den Stollenfenstern erstellt sowie die nötige Unterkunft für eine Belegschaft von rd. 1500 Mann geschaffen werden. Zu diesem Zweck errichtete man ein zentrales Lager von Wohnbaracken ungefähr im Schwerpunkt zwischen Maschinenhaus, Druckleitung, Wasserschloss und den beiden unteren Stollenfenstern, von wo aus die Arbeiter per Camion die genannten Baustellen erreichten. Dieses zentrale Lager lag an der unteren Grenze der Verrugazone, die sich von rd. 1000 m bis 3000 m Meereshöhe erstreckt. Innerhalb dieses Bereiches findet die Mücke, die die gefährdete Verruga-Krankheit überträgt, die ihr zugehörigen Lebensbedingungen. Die Stollenfenster und die Wasserfassung liegen innerhalb der Verruga-Zone. Beim Stollenfenster Lucmaseca (Fenster 1) und bei der Wasserfassung mussten einige wenige Wohnbaracken erstellt werden, weil die Distanzen für die täglichen Transporte der Arbeiter zu diesen Baustellen vom zentralen Lager aus zu gross gewesen wären. Dank intensiver Verwendung von DDT trat die Verruga-Krankheit, die bei andern Bauten in Peru schon viele Opfer gefordert hatte, beim Bau des Kraftwerkes Moyopampa nicht in Erscheinung.

Die Wasserfassung wurde in drei Etappen erstellt, zuerst die linke Wehrhälfte, dann die rechte und, mit dieser sich teilweise überschneidend, der Entsander. Der Fluss musste zweimal mit Hilfe von Fangdämmen aus Mörtel- und Trockenmauerwerk umgeleitet werden. Die Wasserhaltung bot keine Schwierigkeiten, weil der Grundwasserstrom tief liegt und wenig ergiebig ist. Zwei Motorpumpen mit einer Leistung von je etwa 15 l/s genügten für die Trockenhaltung der Baugrube. Die Steine für die fast ausschliesslich in Mauerwerk erstellte Fassung konnten teils aus dem Flussbett durch Spalten von grossen Blöcken gewonnen werden, teils in einem Steinbruch, der zu diesem Zwecke in der Nähe eröffnet wurde. Die Zuschlagsstoffe für den Mauerwerkermörtel und den Eisenbeton konnten etwa 1 km unterhalb der Fassungsstelle dem Fluss entnommen werden.

Der Vortrieb des Zulaufstollens erfolgte von vier Fenstern aus, wobei gleichzeitig an sieben Angriffsstellen gearbeitet wurde. Das ursprünglich vorgesehene Fenster 2 blieb unbenutzt. Das grösste Teilstück zwischen zwei Fenstern misst 3,8 km. Für den Vortrieb standen moderne Maschinen wie Bohrwagen (Jumbo), Bohrhämmer für Nassbohrung, Ladeschaufeln, Ventilatoren, elektrische Lokomotiven usw. zur Verfügung. Ein wichtiges Problem bildete die Beschaffung des Wassers für die Nassbohrung. Dieses musste entweder aus dem Tal über kilometerlange Leitungen zu den Stollenfenstern gepumpt oder mit Camions zugeführt werden.

Das ganze Stollenstück mit 9,3 m<sup>2</sup> Querschnittfläche hat man im Vollausbau vorgetrieben, ebenso das obere Stück des Reservoirestollens mit einem Ausbruchquerschnitt von 12 bis 16 m<sup>2</sup>. Im unteren Teilstück dieses Stollens, in dem der Querschnitt von 16 m<sup>2</sup> auf 23,6 m<sup>2</sup> zunimmt, wurde zuerst ein Sohlstollen vorgetrieben, der dann durch radial und schief zur Stollenaxe angeordnete Schüsse auf den Sollquerschnitt ausgeweitet wurde. Die Zündung erfolgte durchwegs elektrisch mit drei Tempierungen. Das Zuschlagmaterial für die Stollenverkleidung wurde grösstenteils aus dem Stollenausbruch gewonnen.

Das Wasserschloss und die Druckleitung kamen in gesunden Fels zu liegen und boten bei der Ausführung keine erwähnenswerten Schwierigkeiten. Am Standort der Zentrale besteht der Untergrund aus festgelagerter Alluvion, die sich aus einer oberen Schicht von verwittertem

Tabelle 2. Belegschaften und Bauzeiten für die verschiedenen Bauwerke

Bauwerk	Mittlere Arbeiterzahl	Bauzeit		
		Monate	Beginn	Ende
Wasserfassung	165	30	Juli 48	Dez. 50
Zulaufstollen	450	39	Juni 47	Aug. 50
Wasserschloss	55	18	Nov. 48	April 50
Druckleitungsunterbau	120	24	April 47	März 49
Zentrale mit Hilfsbauwerken	200	36	Sept. 47	Aug. 50

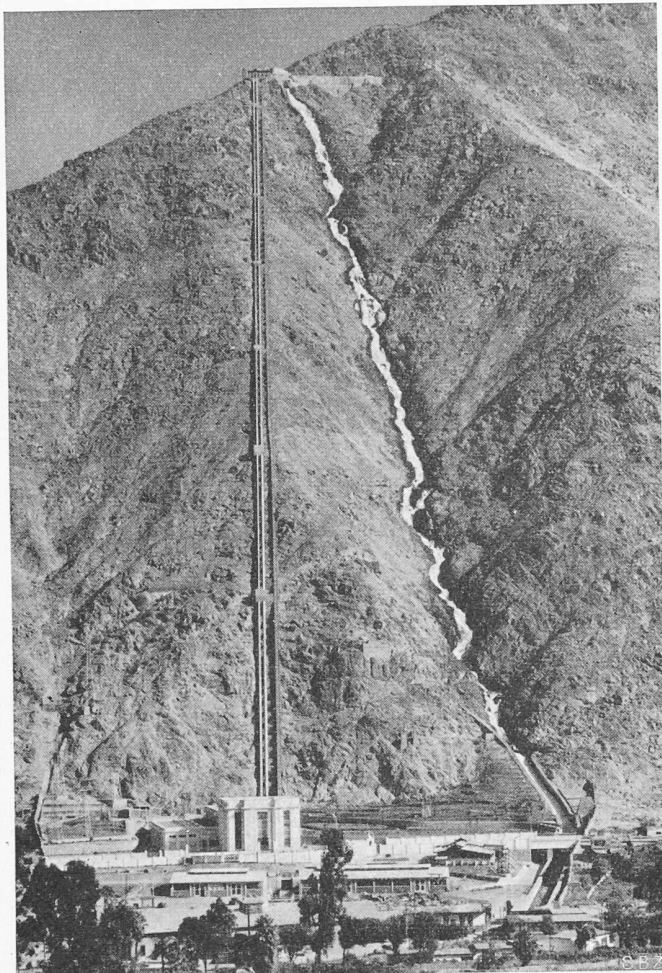


Bild 14. Zentrale, Druckleitung und Ueberlaufrinne

stark sandhaltigem Gehängeschutt und darunterliegendem kiesigem Material mit grossen Blöcken einer Flussablagerung zusammensetzt. Der Grundwasserspiegel liegt mehrere Meter unterhalb der tiefsten Fundamentkote, so dass die Fundierung der Zentralengebäude in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten bot. Die Zuschlagstoffe für den Eisenbeton der Maschinenfundamente und der Tragkonstruktion der Gebäude wurden grösstenteils etwa 15 km flussaufwärts der Baustelle aus dem Rio Rimac gewonnen. Das Holz für die Schalung musste aus dem Ausland (Vereinigte Staaten) importiert werden, ebenso die Armierungseisen. Den Zement dagegen lieferte eine Fabrik in der Nähe von Lima.

Beim Maschinenhaus, das von den drei Gebäuden der Zentrale die grösste Spannweite des Daches und die grösste lichte Höhe des Raumes aufweist, wurden zuerst die Säulen der Längswände mit der Kranbahn betoniert. Anschliessend konnten die Brücken der beiden Maschinensaalkrane von je 35 t Tragkraft hochgezogen und auf diesen ein Holzgerüst als Träger der Dachschalung montiert werden. Dieses fahrbare Gerüst ermöglichte unter Einsparung von viel Holz und Arbeit die Betonierung des Daches in fünf Etappen. Aller Beton wurde vibriert.

Eine besondere Aufgabe bildete das Reinigen der Ueberlaufrinne vom Wasserschloss zum Rio Rimac vorgängig der Inbetriebnahme des Werkes von allem darin abgelagerten Verwitterungsschutt und vom Aushubmaterial der Druckleitung. Die Rinne weist im oberen, 750 m langen, nicht verbauten Teil ein Gefälle von 60 bis 100 % auf. Vom Uebergang in den Talboden bis zum Fluss ist sie in einem gemauerten Kanal von 250 m Länge gefasst, in dem sich das Gefälle auf 5 % reduziert. Die Reinigung der Rinne wurde durch verschiedene Spülungen mit Wasser aus dem Reservoiren vollzogen, was insofern Schwierigkeiten bot, als der verbaute Teil der Rinne im Bereiche des kleinsten Längsgefälles von der Hauptstrasse und der Trinkwasserleitung der Ortschaft Chosica gekreuzt wird, denn gerade bei diesen beiden Objekten lagerte sich das abgespülte Material ab, wo-

bei die Wahrscheinlichkeit von Beschädigungen sehr gross war. Die aufgehäuften Schuttmassen mussten hier mit einem Bagger ausgeräumt und weggeführt werden.

Bis die Rinne genügend gereinigt war, mussten 15 Spülungen vorgenommen werden, wobei die Wassermenge von anfänglich  $\frac{1}{4}$  m<sup>3</sup>/s auf 10 m<sup>3</sup>/s gesteigert und rund 15 000 m<sup>3</sup> Material abgeschwemmt wurden. Ueber Bauzeit und Belegschaft gibt Tabelle 2 Aufschluss. Schluss folgt

## Kautschuk im Strassenbau

DK 625.8

Am 30. Oktober 1952 hat in Zürich eine Tagung stattgefunden mit dem Zweck, einen möglichst grossen Kreis von Fachleuten über die Anwendung von Kautschuk im Strassenbau zu informieren. Die Tagung wurde vom internat. Kautschukbureau, Sektion Schweiz (vgl. SBZ 1951, Nr. 3, S. 37) durchgeführt.

Im Zusammenhang mit dieser Tagung dürfte es den Leser interessieren, aus neutraler Quelle etwas über den Kautschuk und seine bisherige und zukünftige Anwendung im Strassenbau zu vernehmen.

Kautschuk wird für die Zwecke des Strassenbaues in Form von Kautschukmilch (Latex, vgl. SBZ 1951, Nr. 16, S. 226) sowie in Form von Kautschukpulver wie «Pulvatex» oder «Mealorub», das durch Koagulieren der Kautschukmilch entsteht, hergestellt.

Ueber die günstigen Auswirkungen eines geringen Zusatzes von Kautschuk im Asphaltbitumen wurde schon vor dem zweiten Weltkrieg in der Fachpresse berichtet. In Lissabon, am letztjährigen internationalen Kongress für Strassenbau, wurde das Thema ebenfalls behandelt. Die Ergebnisse eingehender Untersuchungen in den Laboratorien nicht nur der «Rubber Stichting», sondern auch anderer Strassenbauinstitute in Italien, Holland und England, stimmen im wesentlichen darin überein, dass durch Beimischung von Kautschuk in der Grössenordnung von 3 bis 5 Gewichtsprozenten des Bindemittels folgende Auswirkungen erwartet werden können: a) Erhöhung des Erweichungspunktes des bituminösen Bindemittels, b) Versteifung des Gemisches und damit der Stabilität desselben, c) Verstärkung der Elastizität, d) Verbesserung der Verschleissfestigkeit und damit der Dauerhaftigkeit, e) Erhöhung der Gleitsicherheit des Belages.

Diesen Vorteilen stehen verhältnismässig geringfügige nachteilige Einflüsse in bezug auf die Viskosität und damit auf die Verarbeitbarkeit des Mischgutes gegenüber.

Die Anwendung des Kautschuks im Strassenbelagbau ist, zumindest was Europa betrifft, heute noch nicht über das Versuchsstadium hinausgelangt, während in Amerika mehr als 700 Meilen mit Kautschukbelägen versehen sein sollen. Der Umfang der in europäischen Ländern erstellten Strassenbeläge mit Kautschukzusatz ist recht bescheiden; langjährige Erfahrungen liegen nur sehr vereinzelt vor. Bei der Beurteilung muss vor einer Verallgemeinerung der da und dort erzielten Ergebnisse gewarnt werden, und zwar mit Rücksicht auf die Verschiedenheit der klimatischen Verhältnisse, der Zuschlagstoffe, der Aufbereitungsverfahren usw. Die andernorts gemachten Erfahrungen dürfen nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in der Schweiz übertragen werden. Die Wirtschaftlichkeit kann unter angemessener Berücksichtigung der vermutlichen Qualitätsverbesserung bei erhöhten Anlagekosten, aber niedrigerem Unterhaltsaufwand erst nach eingehender langjähriger Beobachtung mit Vergleichsmöglichkeit endgültig beurteilt werden. Man kann sich beispielsweise vorstellen, dass dank der günstigen Auswirkungen der Kautschukbeimischung zweischichtige Beläge nur noch einer verhältnismässig dünnen Verschleisschicht bedürfen und trotzdem hinsichtlich Dauerhaftigkeit unseren herkömmlichen Teerbitumenbelägen ebenbürtig sein können. Es erhebt sich aber auch die nicht minder wichtige Frage, ob Kautschuk in Beimischung zu inländischem Strassenteer die gleichen Auswirkungen zeigt. Mit Rücksicht auf unsere einheimische Gaswerk- und Teerindustrie kommt diesem Problem grosse Bedeutung zu.

Durch Vermittlung der Vereinigung schweiz. Strassenfachmänner (VSS) hat das internationale Kautschukbureau, Sektion Schweiz, nach Fühlungnahme mit den interessierten Behörden und Belagsunternehmungen bei der Anlage einer Anzahl von Versuchsstrecken im Sommer 1952 massgebend mitgewirkt. Die EMPA hat, unterstützt durch die technischen