

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 42

Artikel: Hydraulische und geschiebetechnische Besonderheiten und ihre Berücksichtigung bei der Wasserkraftnutzung in den Peruanischen Anden
Autor: Huber, Andreas / Schmid, Hermann
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72024>

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: 14.03.2025

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

Hydraulische und geschiebetechnische Besonderheiten und ihre Berücksichtigung bei der Wasserkraftnutzung in den Peruanischen Anden

DK 627.84/88

Von A. Huber und H. Schmid, Baden

Schluss von SBZ Heft 40/1973, S. 965–976

5. Die Fassung Tamboraque am Río Rimac

5.1. Allgemeines

Die Wasserfassung befindet sich auf 2928 m ü. M., 70 km landeinwärts von Lima im engen und steilen Tal des Río Rimac. Entlang dem Fluss führen Perus transandinische Hauptverkehrsadern, die Carretera Central (Strasse) und der Ferrocarril Central (Bahn). In 4858 m Meereshöhe überquert die Carretera Central den Ticliopass und stellt die Verbindung mit dem jenseits liegenden peruanischen Hochland her. Die Bahn durchfährt auf 4300 m ü. M. einen Scheiteltunnel. Im oberen und zunehmend flacher werdenden Teil des Tales werden in den für Peru bedeutsamen Minen von Casapalca zahlreiche Erze ausgebeutet. 8 km oberhalb der Fassungsstelle Tamboraque in 3500 m Meereshöhe beginnt der schluchtartige und tief eingeschnittene Teil des Tales, der nach 28 km Steilstrecke in Surco endet, wo sich auf 1885 m ü. M. die neue Zentrale Pablo Boner befindet. Der Flusslauf wird besonders in diesem Abschnitt von Huayconiedergängen stark bedrängt. Im Zuge des Ausbaues der Wasserkräfte bildet das Kraftwerk Matucana eine weitere Stufe eines Systems, das am Unterlauf des Flusses bereits verwirklicht worden ist und das bis heute nahezu allein die elektrische Energie der peruanischen Metropole liefert.

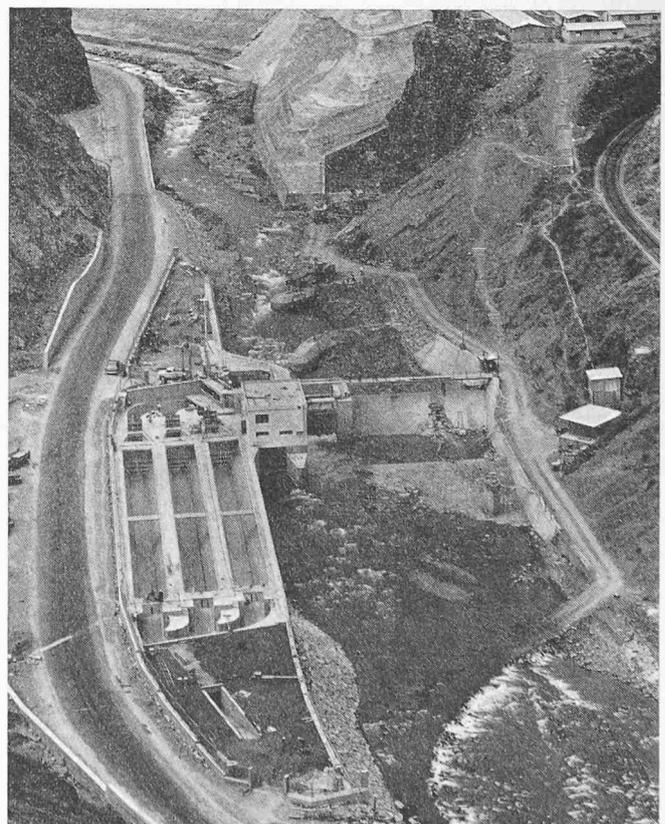
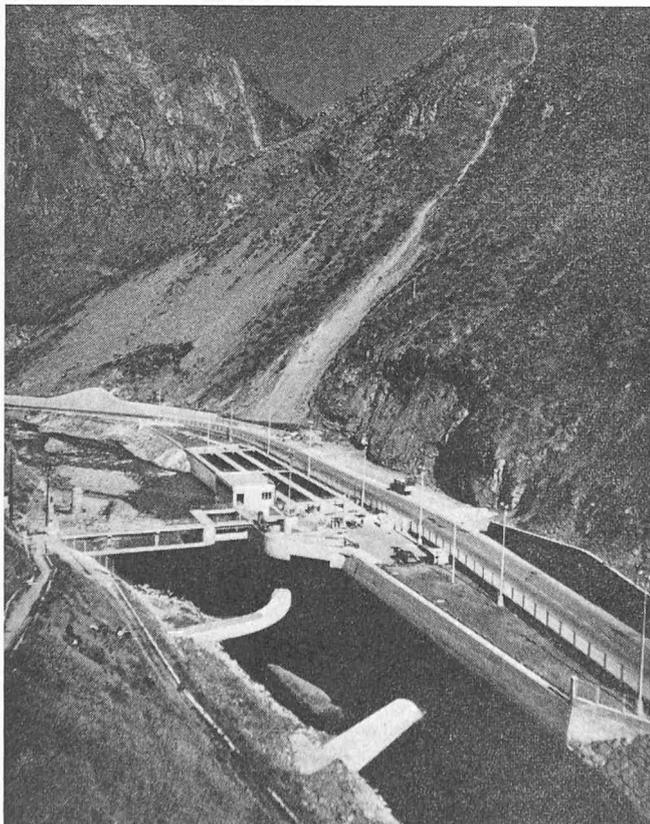
Die Anordnung der Fassung (Bilder 21, 22 und 26) wurde durch Randbedingungen vorgezeichnet. Die Fassungsstelle Tamboraque liegt unterhalb der Einmündung des Río Aruri in den Río Rimac in einer kurzen Ausweitung der Schlucht. Sie

wird von der Carretera Central tangiert. Im gegenüberliegenden Talhang liegt das Trasse der Eisenbahnlinie. Diese Gegebenheiten lassen nur eine gedrängte Bauweise der Fassung und besonders der Entsander zu.

Zurzeit werden dem Río Rimac höchstens 12 m³/s entnommen, was dem mittleren Jahresabfluss entspricht. Im Hinblick auf eine Anlageerweiterung ist die Fassung jedoch auf eine Ausbauwassermenge von 18 m³/s angelegt worden. Damit würde die Möglichkeit zur vermehrten Erzeugung von Spitzenenergie und zur Erhöhung der garantierten Leistung geschaffen. Voraussetzung der Wirtschaftlichkeit dieses Höherausbaues ist eine ausgeglichene Wasserführung des Flusses, der heute einen niedrigsten monatlichen Abfluss von nur 4,9 m³/s aufweist. Das vorgesehene Erweiterungsprojekt umfasst die Errichtung eines 50 m hohen Erddammes bei Yuracmayo im Hochtal des Río Blanco, des grössten Nebenflusses des oberen Río Rimac. Der entstehende Speichersee übernehme mit seinem Nutzvolumen von 50 Mio m³ die geforderte Ausregulierung des Abflusses. Die zukünftige Erhöhung der installierten Leistung des Kraftwerkes von 120 MW auf 180 MW bedingt eine Anzahl Erweiterungen an den baulichen und maschinellen Anlageteilen. Die eingeklammerten Zahlen in Tabelle 1 beziehen sich auf diese Projekterweiterung.

Die Fassung Tamboraque wurde unter Berücksichtigung der am Río Pativilca gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen projektiert. Bewährtes der erstgebauten Umlenkfassung konnte für diese ähnlichen Verhältnisse übernommen werden. Auf Wiederholungen wird im folgenden verzichtet, dafür wer-

Bilder 21 und 22. Die Fassung Tamboraque am Río Rimac auf 2928 m ü. M. Bild 21 (links) mit Blick flussabwärts, Bild 22 mit Blick flussaufwärts. Im Bild links der Fassung die transandinische Strasse, rechts die Eisenbahnlinie Lima–Oroya. Unmittelbar oberhalb der Fassung die Einmündung des Río Aruri in den Río Rimac, neben der Einmündung sind die Deponien des Minenbetriebes zu erkennen



Dem Fluss, dessen Geschiebetrieb bei einem Abfluss von etwa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ einsetzt, werden $12 \text{ m}^3/\text{s}$, später sogar $18 \text{ m}^3/\text{s}$ entnommen. Der Anteil der Triebwasserentnahme übersteigt somit die Hälfte kleinerer geschiebeführender Zuflüsse wesentlich, wie dies in der Darstellung über die Arbeitsbereiche der Fassung anschaulich gezeigt wird (Bild 28). Ähnlich den Verhältnissen im Río Pativilca wurden auch in Tamboraque Bewegungen der feinsten Kornfraktionen bei geringerem als dem im Modell festgestellten Grenzzufluss beobachtet. Eine vollständig geschiebefreie Entnahme unter diesen Gegebenheiten würde im ungünstigen Arbeitsbereich der Fassung einschneidende Einschränkungen der Ausbauwassermenge bedingen. Um diese zu vermeiden und dennoch einen möglichst störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, wurde die Fassung mit einem spülbaren Vorbecken und anschließender Spülgasse versehen. Der schubweise Weitertransport des in die Fassung eingedrungenen Geschiebes nach dem Unterwasser geschieht durch die Betätigung der Spülschütze. Im Modellversuch wurden die günstigsten Betriebsbedingungen ermittelt.

Eine seitlich angeordnete Kiesschwelle bildet den Anfang des abzweigenden Entsanderverteilkans. Der Triebwasserdurchfluss ist durch eine Regulierschütze einstellbar. Vorgelegt ist dieser Schütze ein Grobrechen mit 150 mm Stababstand. Die knappen Platzverhältnisse bereiteten der Projektierung eines hydraulisch günstigen Verteilkans einige Mühe, sollte doch jedes der drei Entsanderbecken möglichst wirbelfrei mit einem Drittel des Triebwasserzuflusses beschickt werden. Besonders ungünstig ist der Betrieb bei hohen Wasserständen im Río Rimac. Der Eintritt in den Entsanderverteilkans des notwendigerweise gedrosselten Schützendurchflusses ist schießend und erschwert die gleichmässige Wassermengenverteilung auf alle drei Entsanderbecken. Die Kanalstrecke von der Einlaufschütze bis zur Abzweigung des ersten Beckens ist sehr kurz und genügt für die Beruhigung der Strömung nicht. Der Wasserspiegel steigt mit abnehmender Fließgeschwindigkeit an und erreicht seinen höchsten Stand erst beim Eintritt in das letzte Becken, das in der Folge mit 130% des Mittelwertes am stärksten beaufschlagt wird. Eine bessere Wassermengenverteilung wurde einerseits durch den Einbau eines schräg zur Strömungsrichtung des Schützendurchflusses stehenden und als Leitwerk wirkenden Pfeilers (Bild 12) und andererseits durch die Verwendung von Staubohlen verschiedener Höhe am Ende jedes der drei Becken erreicht.

5.3. Die Entsanderanlage

Das Wasser des oberen Río Rimac wird vorwiegend durch die zahlreichen Minen verschmutzt. Starkregen schwemmen

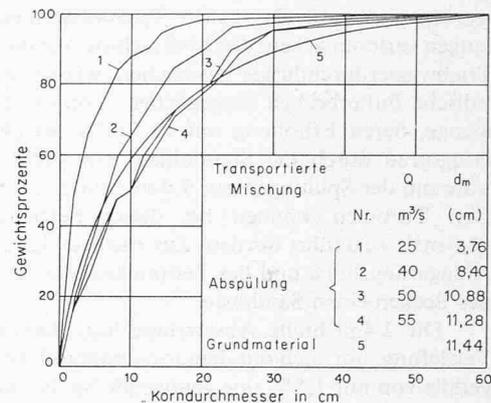


Bild 27. Geschiebekornverteilung des Río Rimac bei der Fassung

die Feinsande der Minenabraumberge stossweise in den Fluss, dessen Fluten das Material als Schwebstoff talwärts befördern. Die Sandkörner sind sehr hart, und ihr spezifisches Gewicht von $3,1 \text{ t/m}^3$ deutet auf einen hohen Metallgehalt hin. Soll das Kraftwerk mit seiner grossen Gefällsstufe von nahezu 1000 m noch wirtschaftlich arbeiten – d.h. dass die Häufigkeit der Reparaturen an den hydraulischen Maschinen und die damit verbundenen Betriebsausfälle in einem tragbaren Mass gehalten werden – so kommt der Entsandung eine erstrangige Bedeutung zu. Als den Gegebenheiten angemessen wurde die Ausscheidung der Körner von mehr als $0,1 \text{ mm}$ Durchmesser erachtet. Der knappe Raum in der engen Rimacschlucht reicht für die Erstellung eines entsprechenden Bauwerkes nicht aus. In der Entsanderanlage Tamboraque gelangen nur die Körner bis zu $0,2 \text{ mm}$ Durchmesser zur Absetzung. Die feineren Schwebstoffteile werden dem Triebwasser erst im unterirdischen Pufferbecken am Ende des Freispiegelstollens entzogen.

Dem heutigen Teilausbau auf eine Wassermenge von $12 \text{ m}^3/\text{s}$ genügen 3 der 5 für den Vollausbau vorgesehenen Entsanderbecken. Die beiden noch nicht gebauten Becken werden unter die Carretera Central zu liegen kommen. Die Abmessungen der Becken, die denjenigen von Pativilca gleichen, aber etwas grösser sind, gehen aus Tabelle 2 hervor.

Der Spülbetrieb und der Einsatz der Staubohlen geht in der selben Weise vor sich wie in der erstgebauten Anlage am Río Pativilca. Ein Aufstau von $0,3 \text{ m}$ durch die Staubohlen wird notwendig, sobald die Spülintervalle kürzer als 6 Stunden

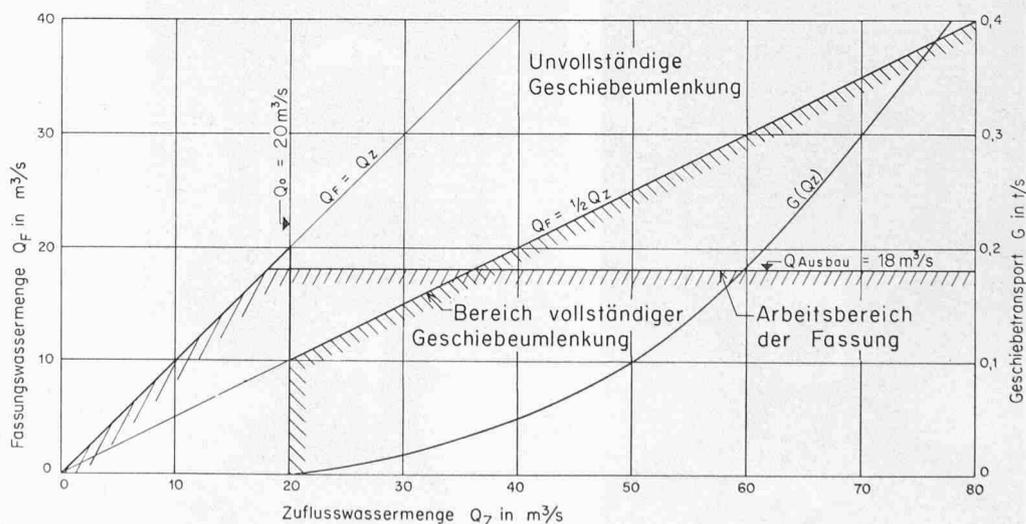


Bild 28. Geschiebefunktion des Río Rimac und Arbeitsbereich der Fassung Tamboraque

werden und mehr als 3% der Triebwassermenge an die Spülungen verloren gehen. Die Spülverluste, die 40% des normalen Triebwasserdurchflusses ausmachen, werden durch das unterirdische Pufferbecken ausgeglichen. Von der Fassungswassermenge, deren Erhöhung auf 13,5 m³/s bei gleichem Entsandungsgrad durch die Stauböhlen ermöglicht wird, gelangen während der Spülungen nur 9,0 m³/s in den Freispiegelstollen. Den Turbinen können bei dieser Betriebsweise dauernd 12,0 m³/s zugeführt werden. Zur Anzeige der höchstzulässigen Ablagerungshöhe und des Zeitpunktes der Spülung erhielt jedes Becken einen Sandtaster.

Die 2,4 m breite Absetzrinne liegt durchgehend in einer Vertiefung, um auch mit dem topographisch bedingten Sohlengefälle von nur 1,5% eine genügende Spülwirkung zu erzielen. Die Spülkanäle und die Schützenführungen sind vor der Erosion des scharfkantigen Sandes wiederum mit einer Holzklötzpflasterung geschützt worden.

5.4. Die Steuerung der Anlage

Das Wehrreglement ist, ähnlich demjenigen von Pativilca (Bild 13), in 3 Bereiche eingeteilt. Die Steuerung der Anlage und die Regulierung der Schützen arbeiten in der gleichen Weise.

6. Das unterirdische Pufferbecken des Kraftwerkes Matucana

6.1. Allgemeines

Das unterirdische Pufferbecken, in der spanischen Fachsprache als Pulmón (Lunge) bezeichnet, das die Fortsetzung des Freispiegelstollens bildet (Bild 29) und dessen Ende beim Auslaufkopf in den Druckschacht übergeht, hat eine dreifache Aufgabe zu erfüllen: als Ausgleichsbecken, als Drucksetzungskammer mit Entlastungsüberfall und als Feinentlander. Das Pufferbecken, dessen Normalstau auf Kote 2872,50 m ü. M. liegt, ist 500 m lang, hat eine den nicht sehr günstigen geologischen Verhältnissen angepasste Breite von 8 m und weist das beträchtliche Ausbruchsvolumen von 55000 m³ auf. Ein Umleitstollen mit übergeordnetem Kontrollgang führt das Triebwasser während der Beckenspülungen oder Revisionen direkt über einen zweiten Auslaufkopf dem Druckschacht zu. Dieser zweite Auslaufkopf soll bei einem zukünftigen Vollausbau zu einem zweiten Becken erweitert werden. Die Anlage ist durch je einen Zugangs-, einen Transport- und einen Spül- und Entlastungsstollen erschlossen. Da die Strasse in der Regenzeit

keine sichere Zufahrt gewährleistet, stellt zusätzlich eine Betriebsseilbahn die Verbindung zwischen dem Portal des Zugangsstollens und der Zentrale Pablo Boner her. Aus Bild 31 geht die Situation der Pulmónanlage hervor.

6.2. Der Betrieb der Pulmónanlage

Der Pulmón hat das tägliche Wasserangebot derart auszugleichen, dass die Energieerzeugung der Netzbelastung angepasst ist. Das Nutzvolumen von 30000 m³ reicht zur Deckung der dreistündigen abendlichen Belastungsspitzen mit der grössten Turbinenbeaufschlagung von 15 m³/s bei einem mittleren Stollenzufluss von 12 m³/s aus. In den 8 nächtlichen Schwachlaststunden wird der überschüssige, halbe Zufluss von rund 6 m³/s zuerst zur Spülung des abgesetzten Feinsandes und nachher zur Wiederauffüllung des Pufferbeckens benötigt. Die Aufteilung des Zuflusses in die Triebwasser- und die Spülwassermengen geschieht kurz nach der Gabelung des Freispiegelstollens in den Umleitstollen und in den Beckeneinlauf (Bild 32) mittels je einer Regulierschütze.

Jeder der Auslaufköpfe ist mit einem Rechen mit 8 cm Stababstand versehen (Bild 30). Unmittelbar dahinter befindet sich je ein Nassschacht, der mit einer Roll- und einer Revisionschütze ausgerüstet ist. Diese Abschlussorgane ermöglichen die Trennung der Pulmónbecken vom Druckschachtsystem. Zwei kurze Druckstollenteilstücke, die sich in einem Hosenrohr vereinigen, leiten das Triebwasser dem Druckschacht und der Zentrale zu.

Die dem Nutzvolumen entsprechenden täglichen Wasserspiegelschwankungen betragen 6 bis 8 m. Je nach Wasserstand und Durchfluss setzen sich kleinste Feinsandpartikel zwischen 0,10 und 0,15 mm Korngrösse im Becken ab. Im Betrieb mit vollem Becken benötigt ein Korn von 0,10 mm Durchmesser zum Absinken 35 Minuten bei einer horizontalen Wegstrecke von 270 m. Die Durchflusszeit über die ganze Länge des Beckens beträgt für die Ausbauwassermenge von 12 m³/s etwa eine Stunde. Es ist zu erwarten, dass sich die harten metallischen und als gefährliche Maschinenzerstörer wirkenden Schwebstoffteile mit spezifischen Gewichten bis 3,1 t/m³ noch rascher absetzen und bis zu einer Korngrösse von 0,05 mm ausscheiden.

Das Wasservolumen unterhalb des Senkzieles macht 12000 m³ aus und steht ausschliesslich der Feinentlander zur Verfügung. Davon sind die untersten, in den trapezförmigen Querschnittsteil fallenden 5000 m³ als Absetzraum vorgesehen.

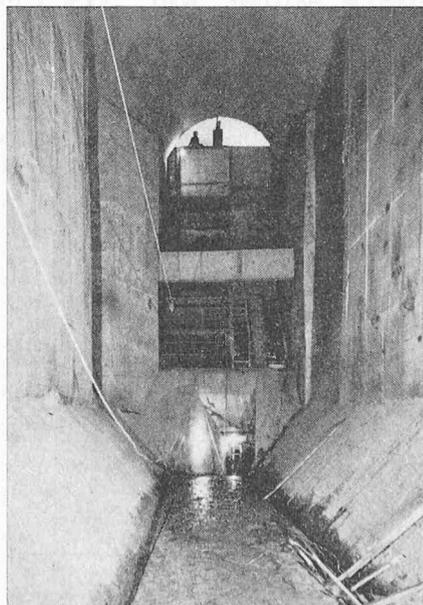
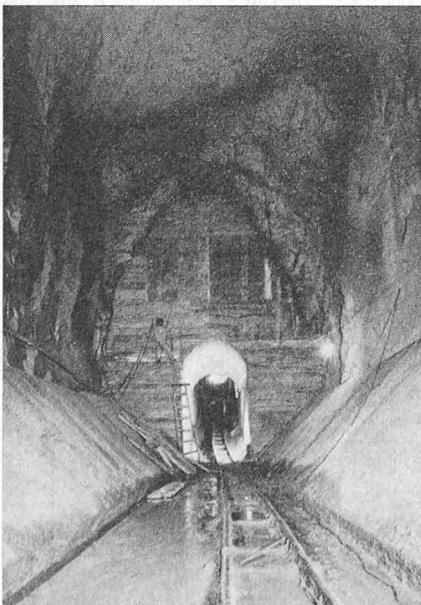


Bild 29 (links aussen). Anfang der 500 m langen und 8 m breiten Pulmónkammer des Kraftwerkes Matucana

Bild 30 (links). Pulmónauslaufkopf mit Rechen, darunter der Übergang in den Spülstollen

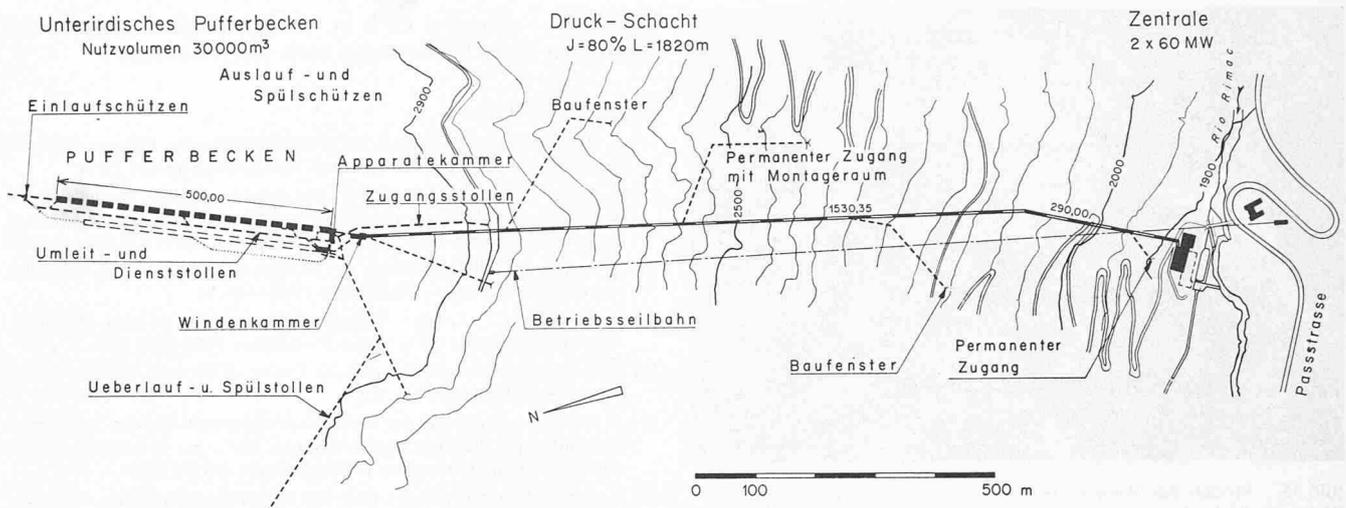


Bild 31. Die unterirdischen Anlagen des Kraftwerks Matucana am Rio Rimac

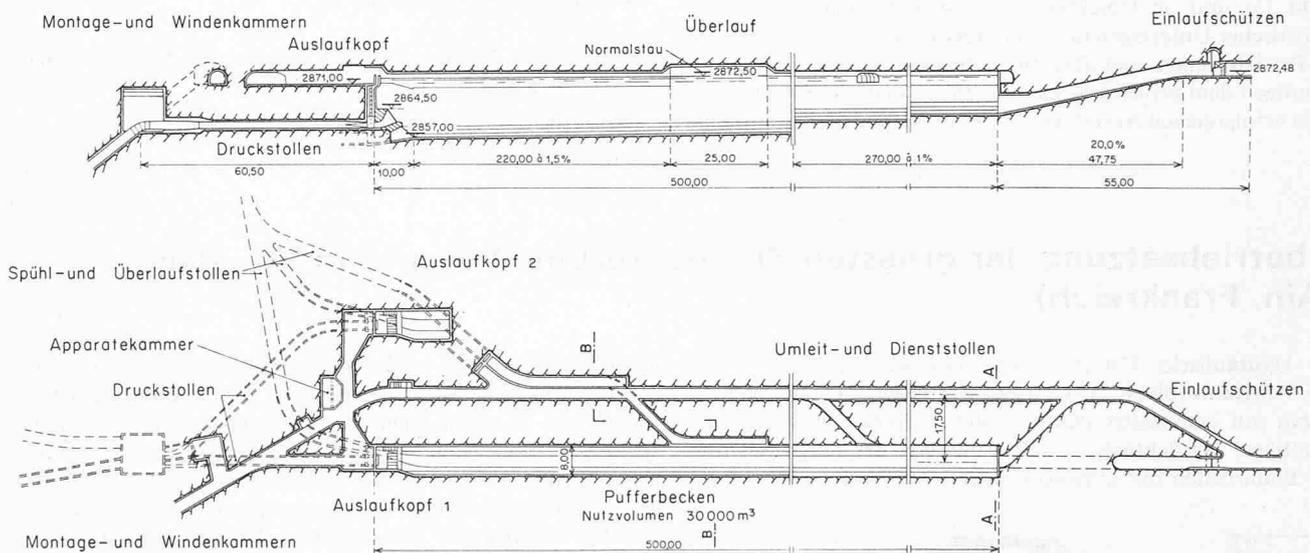


Bild 32. Längenschnitt (oben) und Lageplan des unterirdischen Pufferbeckens der Kraftwerkanlage Matucana am Rio Rimac

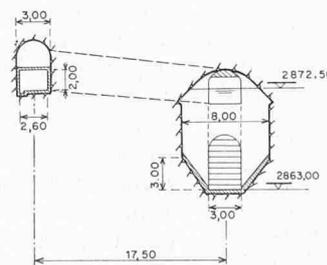


Bild 33 (rechts). Schnitt A-A durch den Einlauf zum Pufferbecken 1:700

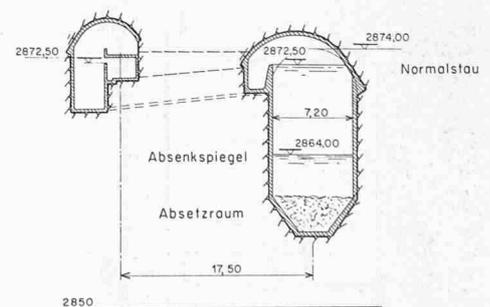


Bild 34 (rechts aussen). Schnitt B-B durch den Überlauf am Ende des Pufferbeckens 1:700

Zur Abspülung genügt der Tagesrhythmus. Ein Sandtaster registriert die jeweilige Ablagerungshöhe und gibt an, wann eine Spülung fällig ist. Nach dem Hochziehen der Spülschütze gelangt das Spülgut durch einen Freispiegelstollen, der auch als Entlastungsstollen dient, in eine natürliche Runse. Diese mündet kurz unterhalb der Zentrale in den Río Rimac und musste in ihrem unteren Teil mit künstlichen Kaskaden gegen die Erosion befestigt werden.

Die Sohle des Pufferbeckens ist im Falle einer Revision über den schrägen Einlaufschacht mit einem kleineren Fahrzeug oder einem Räumungsgerät erreichbar.

*

Die Projektierung von Bauwerken der beschriebenen Art ist nicht ausschliesslich eine Reissbrettarbeit. Die Beobachtung der Strömungs- und Geschiebeprovorgänge am Modell

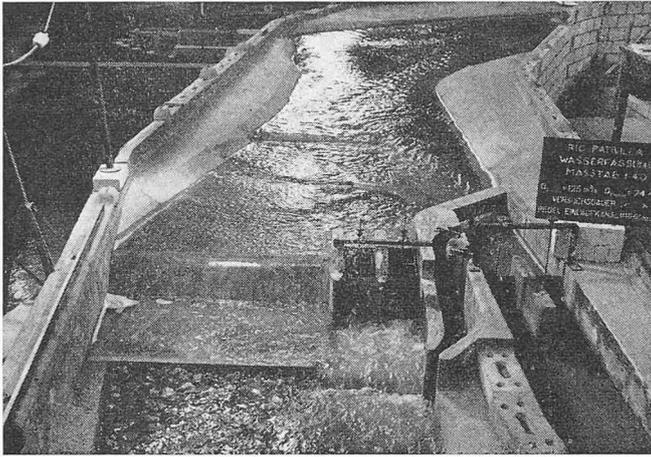


Bild 35. Modell der Wasserfassung Pativilca. Festes und bewegliches Wehr mit Tosbecken. Im Oberlauf ist die Zuströmung auf den Fassungs-einlauf zu erkennen. Flusswasserführung 125 m³/s, davon werden 24 m³/s gefasst

(Bild 35) und an Objekten in Natur sowie die Auswertung statistischer Unterlagen und von Messwerten über Anlagen, die im Betrieb stehen, und über die Naturgeschehen selbst vervollständigen dem projektierenden Ingenieur erst das Rüstzeug zu einer erfolgreichen Arbeit. Der Weg zur bestmöglichen Projekt-

lösung lässt sich aber auch in Zukunft durch Sammeln und Vermitteln neuer Erfahrungen noch weiter ausbauen.

Literaturverzeichnis

- [1] R. Müller: Wasserfassungen an geschiebeführenden Flüssen. Mitt. 34 der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH
- [2] E. Meyer-Peter und H. Favre: Der wasserbauliche Modellversuch im Dienste der Wasserkraftnutzung und der Flusskorrektur. Auszug aus der Festschrift zum 100jährigen Bestehen der ETH Zürich 1955
- [3] H. Dufour: L'alluvionnement des bassins de compensation. «Bulletin technique de la Suisse Romande» 1960 Heft 14
- [4] A. Bezinge et F. Schafer: Pompe d'accumulation et eaux glaciaires. «Bulletin technique de la Suisse Romande» 1968 Heft 20
- [5] T.R. Camp: Sedimentation and the Design of Settling Tanks. «Transactions ASCE» Paper No 2285
- [6] A. Shields: Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitt. der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau Berlin 1936
- [7] G. Rouvé: Untersuchungen über den Krafthaustrennpfeiler. «Wasserwirtschaft» 1960 Hefte 4 und 5

Anschrift der Verfasser: Hermann Schmid, dipl. Ing. ETH, Hofacherstrasse 18, 8637 Laupen ZH, und Andreas Huber, dipl. Ing. ETH, Burstwiesenstrasse 12, 8606 Greifensee ZH

Projekt der Wasserkraftanlagen Pativilca und Matucana: Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden.

Bauleitung: Motor-Columbus S. A., Lima/Peru.

Inbetriebsetzung der grössten Pumpenturbine Europas in Vouglans (Ain, Frankreich)

DK 621.221

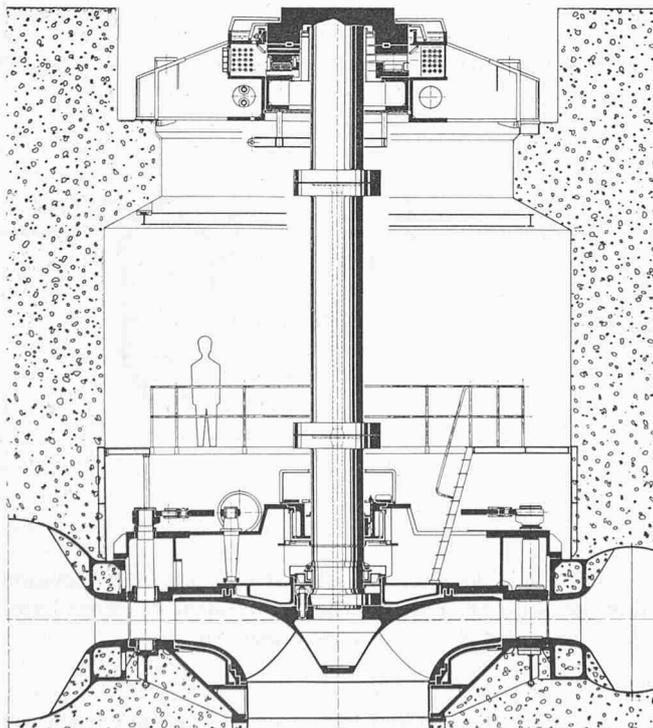
Hydraulische Pumpspeicherwerke werden immer mehr mit Pumpenturbinen ausgerüstet, die gegenüber Maschinen-sätzen mit getrennten Pumpen und Turbinen weniger Platz benötigen, beträchtliche Vereinfachungen der Leitungen und der Bauarbeiten mit entsprechender Verringerung der Erstel-

lungskosten ergeben und auch betrieblich vorteilhafter sind. Die Entwicklung solcher Maschinen stellte keineswegs leicht zu lösende Probleme. Davon seien genannt: die strömungs-technische Formgebung, die Wahl der massgebenden Hauptdaten derart, dass sowohl im Turbinen- wie im Pumpenbetrieb zufriedenstellende Wirkungsgrade erreicht werden, sowie die konstruktive Durchbildung der Einzelheiten, die den Anforderungen bei den Betriebsweisen sowie der Umstellung von der einen auf die andere zu genügen haben.

Die Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey haben sich, wie auch andere Turbinenhersteller, schon seit Jahren mit diesen Problemen beschäftigt. Viel Arbeitskraft und Kapital wurden für Forschung, Studien und Verbesserungen aufgewendet. Der Einsatz hat sich gelohnt, wir ernten heute die ersten Früchte dieser Arbeit: Während der Monate April und Mai dieses Jahres wurde der Probelauf der Pumpenturbine des Wasserkraftwerkes Vouglans (Ain) der Electricité de France durchgeführt. Bei der Inbetriebnahme wurde das Verhalten der Maschinen unter extremen Bedingungen und in den ungünstigsten Übergangsbereichen geprüft, und zwar sowohl im Turbinen- als auch im Pumpenbetrieb. Die Ergebnisse waren in jeder Hinsicht ausgezeichnet.

Diese Maschine, die von Vevey unter Mitwirkung der französischen Partner entwickelt, konstruiert und hergestellt wurde, ist die erste grosse Zentrifugal-Pumpenturbine, die in Frankreich in Betrieb genommen wird. Im Kraftwerk Vouglans sind ferner in den letzten Jahren drei Francisturbinen klassischer Bauart angelaufen, für die auch Vevey als Konstrukteur verantwortlich zeichnet.

Die Pumpenturbine entwickelt im Turbinenbetrieb 65 MW bei einem maximalen Nettogefälle von 100,20 m, während sie im Pumpenbetrieb bei einer minimalen Förderhöhe von 81,15 m 72,5 m³/s verarbeitet. Die sehr niedrige Drehzahl von 150 U/min ist durch den talseitigen Gegen-



Pumpenturbine der Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey für das Wasserkraftwerk Vouglans der Electricité de France