

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 95 (2003)
Heft: 1-2

Artikel: Konzepte zur Kombination von Umleitstollen und Grundablass
Autor: Aemmer, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939436>

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: 07.02.2026

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

Konzepte zur Kombination von Umleitstollen und Grundablass

Anwendungsbeispiele beim Bau der Wasserkraftanlagen Los Caracoles und Punta Negra in Argentinien

■ Martin Aemmer

Zusammenfassung

Die Projekte der beiden Wasserkraftanlagen Los Caracoles und Punta Negra in Argentinien bestehen je aus einem 130 resp. 100 m hohen CFRD-Damm mit den dazugehörigen Nebenanlagen und je aus einem relativ kurzen, unterirdischen Triebwassersystem, das zu einer frei stehenden Zentrale führt. In der Zeitspanne zwischen 1998 und 2001 wurde im Bereich jeder Sperrstelle vorausgehend zum eigentlichen Bau des Schüttdammes ein Umleitstollen erstellt, der später nach Abschluss der Umleitphase zum Grundablass konvertiert wird. Die beiden gewählten Konzepte zur Kombination von Umleitstollen und Grundablass sind sehr verschieden und weichen stark von bekannten Ausführungsbeispie-

len ab. Massgebend für die Festlegung dieser Konzepte waren im Wesentlichen ökonomische Überlegungen sowie das Ziel, den Umfang an Untertagebauarbeiten möglichst gering zu halten.

Im Projekt von Los Caracoles besteht der Umleitstollen aus einem einzigen Tunnel. Parallel zur zukünftigen Grundablasskammer wurde ein Bypass-Stollen ausgebrochen, der dann während des Umbaus zum Grundablass den etappenweisen Einbau der hydromechanischen Ausrüstung unter Beibehaltung der Bauumleitung ermöglichen wird.

Im Projekt von Punta Negra besteht der Umleitstollen aus einem zweigeteilten Tagbautunnel mit unterschiedlichen Kanalquerschnitten, der später in der Damm-

gründung eingebettet sein wird. Der Kanal mit dem grösseren Querschnitt wird im Endzustand als Grundablassstollen betrieben, während der kleinere Kanal von der Luftseite her als Zugang zur Grundablasskammer verwendet wird. Die Grundablasskammer ist ebenfalls eine Tagbaustruktur, die vor dem eigentlichen Bau des CFRD-Damms errichtet wurde.

Im Rahmen der Projektierungsarbeiten wurden sowohl der Umleitstollen als auch die einzelnen Betriebszustände der Bauumleitung während des Umbaus zum Grundablass für beide Projekte in umfangreichen hydraulischen Modellversuchen getestet. Zudem wurde unter Verwendung der gleichen hydraulischen Modelle der spätere Betrieb als Grundablass untersucht.

1. Einleitung

Das Projektgebiet der beiden Wasserkraftanlagen Los Caracoles und Punta Negra ist in der argentinischen Provinz San Juan, rund 160 km nördlich der Stadt Mendoza gelegen. Die Sperrstellen des 130 m hohen Los-Caracoles-Damms resp. des 100 m hohen Punta-Negra-Damms liegen am Río San Juan, der im Grenzgebiet zwischen Chile und Argentinien entspringt und die Anden in östlicher Richtung entwässert. Die beiden Dämme liegen rund 20 km voneinander entfernt und sind als Schüttdämme mit Betonoberflächendichtung (CFRD-Damm) projektiert. Die zukünftigen Stauteile werden für Bewässerungszwecke und Energieproduktion genutzt. Als Nebenanlagen sind bei beiden Dämmen je eine Hochwasserentlastung, ein Grundablass sowie eine Triebwasserfassung geplant. Das Triebwasser wird bei beiden Projekten über ein unterirdisches Triebwassersystem zu einer frei stehenden Zentrale geführt.

Der Bau der beiden Wasserkraftanlagen wird schlüsselfertig von einem Konsortium, bestehend aus Bauunternehmern und Lieferanten, ausgeführt (EPC-Projekt). Die Detailprojektierungs- und Bauarbeiten haben 1998 begonnen, und nach rund dreijähriger Bauzeit wurden die beiden Umleitstollen

Ende 2001 vollendet und in Betrieb gesetzt. Die weiterführenden Bauarbeiten beider Projekte kamen ab Mitte 2002 aufgrund der Wirtschaftskrise in Argentinien praktisch zum Stillstand. Bei beiden Projekten wird der Umleitstollen im Endzustand als Grundablass genutzt.

Im Folgenden werden die beiden Konzepte für die Kombination von Umleit- und späteren Grundablassstollen vorgestellt, welche im Wesentlichen aufgrund von ökonomischen Überlegungen sowie mit dem Ziel einer möglichst Minimierung der Untertagebauarbeiten festgelegt wurden. Zudem wurden aufgrund der Komplexität beider Konzepte die einzelnen Phasen während der Konversion vom Umleitstollen zum Grundablass je in einem separaten hydraulischen Modellversuch getestet. Die wichtigsten Resultate dieser umfangreichen Modellversuche sind je im Anschluss an die Präsentation der Konzepte erläutert.

2. Umleitstollen und Grundablass der Wasserkraftanlage Los Caracoles

2.1 Konzeptueller Beschrieb

Die Bauumleitung von Los Caracoles wird durch einen einzigen, rund 670 m langen Tun-

nel gebildet. Der Tunnelquerschnitt ist über die ganze Stollenlänge konstant und besteht aus einem mit Beton verkleideten Torbogenprofil von 8,10 m Breite und 7,95 m Höhe (vgl. Bild 1).

Die ersten 220 m des Umleitstollens liegen oberwasserseitig der zukünftigen Grundablasskammer und bilden später den Druckteil des Grundablasses. Der Umleitstollen wurde als Freispiegelstollen spezifiziert und für eine Ausbauwassermenge von 670 m³/s projektiert. Am oberen Ende des Tunnels befindet sich das Einlaufbauwerk, auf das später der Einlaufsturm zum Grundablass gesetzt wird. Das im Bereich des unteren Portals gelegene Auslaufbauwerk besteht aus einem Skisprung zur sicheren Wasserabgabe ins Flussbett.

Im Zuge des Baus dieses Umleitstollens wurde rund 30 m unterhalb des projektierten Dammdichtungsschirms eine Kaverne zur Beherbergung der zukünftigen Grundablasskammer ausgebrochen. In dieser Kaverne wurden vor Inbetriebnahme der Bauumleitung das Gewölbe sowie die Zwischen- und Außenwände mit den Führungen für das spätere Versetzen von provisorischen Dammbalken eingebaut (Erstbeton [schwarz] gemäss Bild 2 bis Bild 4). Gleichzeitig wurde parallel zur zukünftigen Grundablasskammer

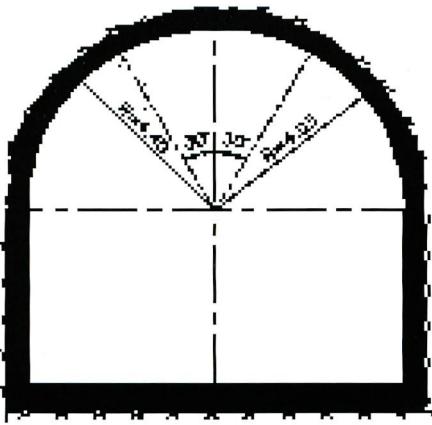


Bild 1. Los Caracoles – Normalquerschnitt des Umleit- und Grundablassstollens.

ein rund 80 m langer Bypass-Stollen (vgl. Bild 2) ausgebrochen. Somit kann später während einer Niederwasserperiode unter Aufrechterhaltung der Baumleitung die hydromechanische Ausrüstung in der Kammer eingebaut werden. Diese Umwandlung vom Umleitstollen zum Grundablass erfolgt in vier verschiedenen Etappen (gemäss Abs. 2.2). Es werden dann jeweils abschnittsweise im Schutze von provisorisch versetzten Dammbalken die hydromechanischen Einrichtungen definitiv eingebaut. Nach Abschluss dieser Umbauarbeiten und den notwendigen Felsinjektionen in Bereich der Kammer ist der Grundablass betriebsbereit.

Im Endzustand sind in der Grundablasskammer zwei parallele, gepanzerte Durchlässe eingebaut, die je mit einem Sicherheits- und Betriebsschutz ($1,60 \times 2,30$ m; vgl. Bild 3) ausgerüstet sind. Bei einer maximalen statischen Druckhöhe von 123 m WS beträgt die Kapazität des Grundablasses $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Im Bereich der zwei gepanzerten Durchlässe ist zusätzlich je eine regulierte Bypass-Leitung (Durchmesser 0,55 m; vgl. Bild 4) vorgesehen, über welche für Bewässerungszwecke Dotierwasser abgegeben werden kann, wenn die Zentrale Los Caracoles

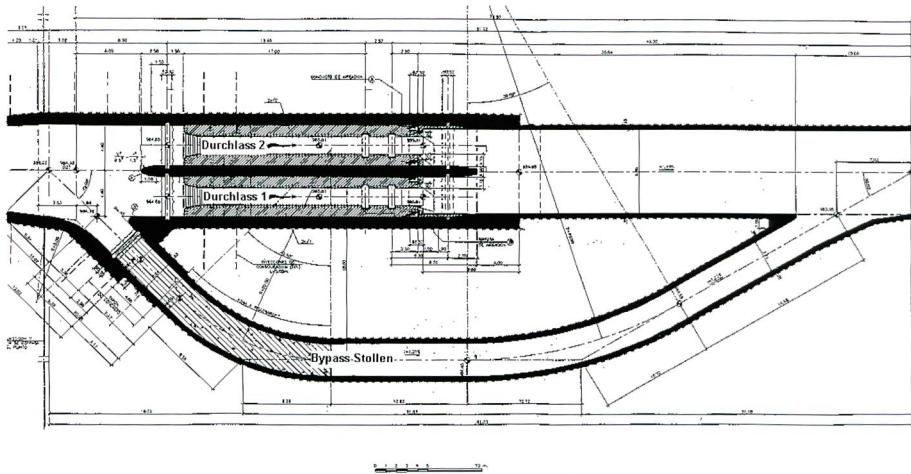


Bild 2. Los Caracoles – Situation der Grundablasskammer.

ausser Betrieb ist. Die Zufahrt und spätere Luftzufuhr zur Grundablasskammer erfolgt über einen separaten, parallel zum Umleitstollen ausgebrochenen Zugangstunnel. Ein im Bereich der unterwasserseitigen Grundablasskammerwand gelegenes System von Belüftungskanälen ermöglicht eine Rundumbelüftung der beiden austretenden Wasserstrahlen. 3,00 m unterhalb des Betriebsschutzes befindet sich je eine 1,20 m hohe Sohlstufe, die den Übergang zwischen dem gepanzerten Einbau in der Grundablasskammer und dem betonierten Unterwasserstollen bildet.

2.2 Der phasenweise Umbau vom Umleitstollen zum Grundablass

Der Umbau vom Umleitstollen zum Grundablass findet phasenweise unter Aufrechterhaltung der Baumleitung mit reduzierter Umleitkapazität statt.

Für den gesamten Umbauvorgang sind in der Grundablasskammer vier Bauphasen mit den folgenden Hauptaktivitäten erforderlich:

Phase 1:

- 1) Einbau des Brückenkrans.
- 2) Schliessen des rechten Durchlasses

(Durchlass 1) mit den zwei im Ober- und Unterwasser provisorisch versetzten Dammbalken.

- 3) Aufrauen und reinigen der Erstbetonoberflächen im trockengelegten Durchlass 1.
- 4) Einbau der Panzerung sowie Montage der hydromechanischen Ausrüstung für den Durchlass 1.
- 5) Einbringen des Zweitbetons (gemäss Bild 3).

Während der Phase 1 erfolgt die Baumleitung über den linken Durchlass (Durchlass 2) sowie über den Bypass-Stollen. Die maximal zulässige Abflussmenge, die noch ein sicheres Arbeiten im trockengelegten Durchlass 1 erlaubt, liegt bei $225 \text{ m}^3/\text{s}$.

Phase 2:

- 1) Demontage der provisorischen Dammbalken im Durchlass 1.
- 2) Schliessen des linken Durchlasses (Durchlass 2) mit den zwei im Ober- und Unterwasser provisorisch versetzten Dammbalken.
- 3) Aufrauen und reinigen der Erstbetonoberflächen im trockengelegten Durchlass 2.
- 4) Einbau der Panzerung sowie Montage der hydromechanischen Ausrüstung für den Durchlass 2.
- 5) Einbringen des Zweitbetons (gemäss Bild 3).

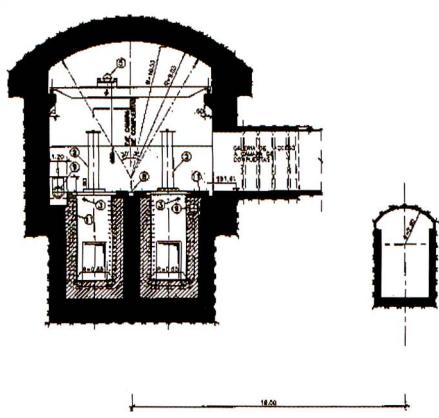


Bild 3. Los Caracoles – Querschnitt der Grundablasskammer mit Bypass-Stollen.

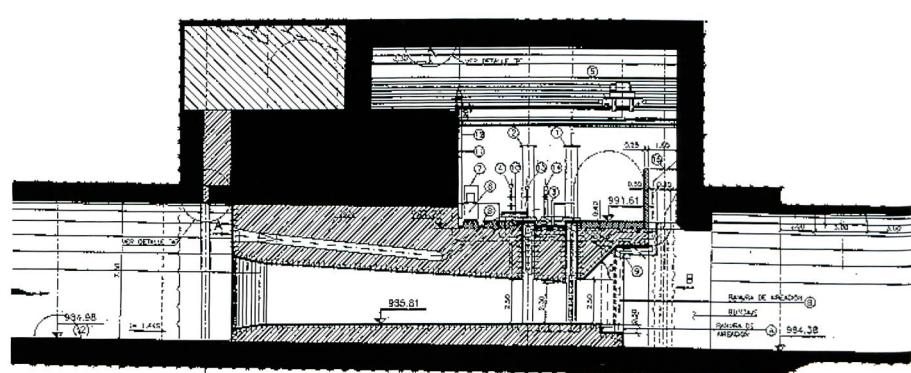


Bild 4. Los Caracoles – Längsschnitt der Grundablasskammer nach Einbau der hydromechanischen Ausrüstung mit Erstbeton (schwarz), Zweit- und Drittbetonen (schräffiert).

Während der Phase 2 ist die Bauumleitung über den Durchlass 1 mit komplett geöffnetem Schützenquerschnitt ($1,6 \times 2,30 \text{ m}$) sowie über den Bypass-Stollen garantiert. Die maximal zulässige Abflussmenge, die noch ein sicheres Arbeiten im trockengelegten Durchlass 2 erlaubt, liegt bei $189 \text{ m}^3/\text{s}$.

Phase 3:

- 1) Demontage der provisorischen Dammbalken im Durchlass 2.
- 2) Schliessen der vertikalen Schächte für das jeweilige Versetzen und Entfernen des oberwasserseitigen Dammbalkens in Durchlass 1 und 2 mit Zweitbeton (vgl. Bild 4).

Während der Phase 3 ist die Bauumleitung über den Bypass-Stollen garantiert. Die maximal zulässige Abflussmenge, die noch ein sicheres Arbeiten erlaubt, liegt bei $156 \text{ m}^3/\text{s}$ und wird durch den maximal zulässigen Innendruck im unvollendeten oberwasserseitigen Bereich der Grundablasskammer vorgegeben.

Phase 4:

- 1) Montage des definitiven Dammbalkens zum Schliessen des Bypass-Stollens.
- 2) Versiegeln des Bypass-Stollens mit Betonpfropfen (Zweitbeton) von der Unterwasserseite her (gemäss Bild 2).
- 3) Schliessen des vertikalen Schachts zum Versetzen des permanenten Dammbalkens beim Einlauf zum Bypass-Stollen mit Zweitbeton.
- 4) Versiegeln der Kalotte im oberwasserseitigen Bereich der Grundablasskammer mit Drittbeton (gemäss Bild 4).

Während der Phase 4 ist die Bauumleitung über die Durchlässe 1 und 2 mit komplett geöffneten Schützenquerschnitten garantiert. Die maximal zulässige Abflussmenge liegt zu Beginn der Phase 4 bei $112 \text{ m}^3/\text{s}$ und wird durch den maximal zulässigen Druck für den definitiv im Einlauf zum Bypass-Stollen versetzten Dammbalken bestimmt. Nach Abschluss der Arbeiten für die Phase 4 ist die Grundablasskammer bereit für den Vollstau.

2.3 Hydraulische Modellversuche und Projektoptimierungen

Der gesamte Umleitstollen und spätere Grundablass inklusive Belüftungssystem wurde in einem hydraulischen Modell im Massstab 1:26 nachgebaut und mit umfangreichen Versuchen getestet.

Die detaillierten Untersuchungen aller Umbauphasen waren von grosser Bedeutung für die Sicherheit der Bauabläufe während der Konversion von der Bauumleitung zum Grundablass. Zudem konnten im hydraulischen Modell die dynamischen

Druckverteilungen gemessen werden, die anschliessend als massgebende Beanspruchungen für die statischen Dimensionierungen aller Dammbalken verwendet wurden.

In Rahmen dieser Modellversuche wurde für die Umleitphase ersichtlich, dass in diesem Betriebszustand der Durchflussanteil durch den Bypass-Stollen zu gross ist. Aufgrund dieser Tatsache wurde bei höheren Abflussmengen (ab ca. $600 \text{ m}^3/\text{s}$) kurz unterhalb der Wiedervereinigung mit dem Bypass ein lokales Zuschlagen des Umleitstollens beobachtet. Dieses Zuschlagen des Umleitstollens konnte mittels einer baulichen Verkleinerung des Eintrittsquerschnitts zum Bypass-Stollen (Bau einer $2,60 \text{ m}$ hohen Eintrittsschwelle) unterdrückt werden.

3. Umleitstollen und Grundablass der Wasserkraftanlage Punta Negra

3.1 Konzeptueller Beschrieb

Im Projekt von Punta Negra besteht der Umleitstollen aus einer rund 420 m langen, in zwei Kanäle mit unterschiedlichen Querschnitten unterteilten Tagbaustruktur, die später durch den Dammkörper eingeschüttet wird (vgl. Bild 5). Der linke Kanal (Durchlass 1) weist einen quadratischen Querschnitt mit $3,00 \text{ m}$ Seitenlänge auf. Während der gesamten Umleitphase wird eine bestehende, untenliegende Kraftwerkstufe mit einer Ausbauwassermenge von $72 \text{ m}^3/\text{s}$ direkt über diesen Durchlass 1 dotiert.

Der rechte Kanal (Durchlass 2) weist ein Torbogenprofil von $5,50 \text{ m}$ Breite und $7,50 \text{ m}$ Höhe auf und führt im Hochwasserfall die überschüssigen Wassermengen des Río San Juan mit einem Skisprung ins Flussbett zurück.

Die ersten rund 100 m der Umleitstruktur liegen oberwasserseitig der zukünftigen Grundablasskammer und bilden nach Abschluss der Umleitphase den Druckteil des Grundablasses. Die Ausbauwassermenge für den Durchlass 1 beträgt $105 \text{ m}^3/\text{s}$, wobei dieser im Bemessungsfall unter Druck läuft. Der Durchlass 2 wurde für die Bauphase als

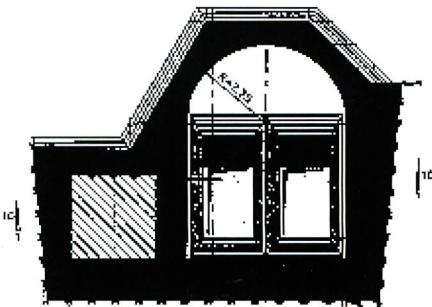


Bild 5. Punta Negra – Normalquerschnitt des Umleit- und Grundablassstollens mit der Ansicht vor dem Eintritt zur Schützenkammer.

Freispiegelstollen spezifiziert und für eine Ausbauwassermenge von $450 \text{ m}^3/\text{s}$ projektiert.

Im Bereich des zukünftigen Dammabdichtungsschirms wurde ebenfalls im Tagbauverfahren eine kammerartige Struktur als fester Bestandteil des Umleitstollens errichtet (vgl. Bild 7). Nach Abschluss der Umleitphase wird in dieser Kammer während einer Niederwasserperiode in verschiedenen Etappen die hydromechanische Ausrüstung des zukünftigen Grundablasses eingebaut. Im Zuge dieser Umbauphase wird dann jeweils lediglich einer der beiden Kanäle als Durchlass für die Bauumleitung in Betrieb sein, während der andere durch das Einsetzen von Dammbalken im Einlaufbauwerk für die notwendigen Installationsarbeiten trockengelegt ist.

Im Endzustand wird dann der Kanal mit dem kleineren Querschnitt (ehemals Durchlass 1) als Zufahrts- und Belüftungsstollen für die Grundablasskammer dienen, während der zweite mit grösserem Querschnitt (ehemals Durchlass 2) als Grundablassstollen genutzt wird (vgl. Bild 6).

Nach Abschluss der Umleitphase werden in der Grundablasskammer zwei parallele, gepanzerte Durchlässe eingebaut, die je mit einem Sicherheits- und Betriebsschütz ($1,60 \times 2,30 \text{ m}$; vgl. Bild 7) ausgerüstet sind. Bei einer maximalen statischen Druckhöhe von 86 m WS beträgt die Kapazität des Grundablasses $255 \text{ m}^3/\text{s}$.

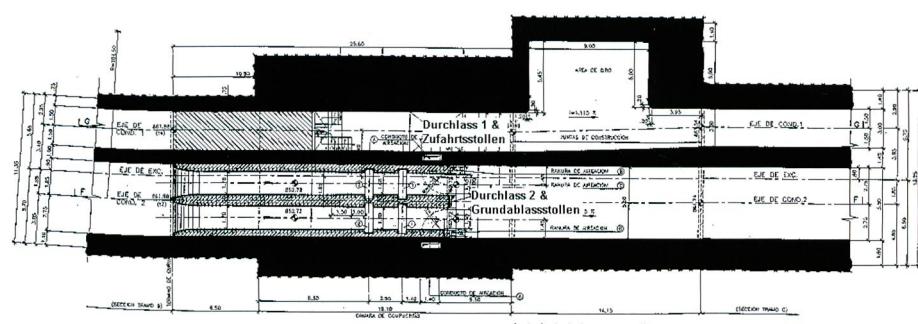


Bild 6. Punta Negra – Situation der Grundablasskammer.

Auch in der Grundablasskammer von Punta Negra sind zwei regulierte Bypass-Leitungen (Durchmesser 0,55 m) vorgesehen, über welche für Bewässerungszwecke Dönerwasser abgegeben werden kann. Zudem ist das Belüftungskonzept analog zu jenem von Los Caracoles (vgl. Abs. 2.1).

3.2 Der phasenweise Umbau vom Umleitstollen zum Grundablass

Der Umbau vom Umleitstollen zum Grundablass findet in zwei Phasen unter Aufrechterhaltung der Baumleitung mit reduzierter Umleitkapazität statt.

Phase 1:

- 1) Einbau des Deckenkrans.
- 2) Aufrauen und reinigen der Erstbetonoberflächen im Durchlass 2.
- 3) Einbau der Panzerungen sowie Montage der gesamten hydromechanischen Ausrüstung.
- 4) Einbringen des Zweitbetons (gemäss Bild 7).

Während der Phase 1 erfolgt die Bauumleitung über den Durchlass 1. Die maximal zulässige Abflussmenge während dieser Zeit ist $84 \text{ m}^3/\text{s}$ (Druckabfluss) und wird durch die Höhe des Einlaufturms zum Grundablass bestimmt. Der Zugang zur Grundablasskammer ist nur über den trockengelegten Durchlass 2 von der Luftseite her möglich.

Phase 2:

- 1) Versetzen des definitiven Dammbalkens beim Einlauf zum Durchlass 1.
- 2) Abbruch der Zwischendecke über dem Durchlass 1 im Bereich der Grundablasskammer (vgl. Bild 7).
- 3) Versiegeln von Durchlass 1 mit Betonpropfen im Bereich der Grundablasskammer (gemäss Bild 6).
- 4) Installation der Stahltrappe als Verbindung zwischen dem Zugangsstollen und der Betriebsplattform der Grundablasskammer (vgl. Bild 7).

Während der Phase 2 ist die Baumleitung über den Durchlass 2 mit den beiden komplett geöffneten Schützenquerschnitten garantiert und nach Abschluss der Arbeiten ist die Grundablasskammer bereit für den Vollstau.

3.3 Hydraulische Modellversuche

Der gesamte Umleitstollen und spätere Grundablass inklusive Belüftungssystem wurde in einem hydraulischen Modell im Massstab 1:26 (vgl. Bilder 8 und 9) nachgebaut und mittels umfangreicher Versuche getestet. Die Untersuchungen haben das einwandfreie Funktionieren der projektierten Struktur sowohl als Baumleitung wie auch später als Grundablass bestätigt.

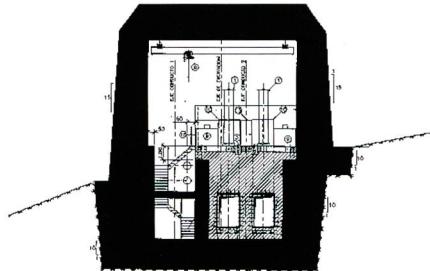


Bild 7. Punta Negra – Querschnitt der Grundablasskammer.

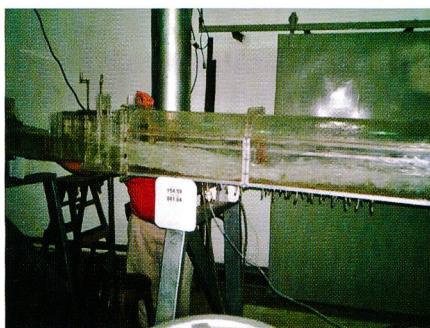


Bild 8. Punta Negra – Hydraulisches Modell des Grundablasses mit Druckteil, Grundablasskammer und Freispiegelstollen.

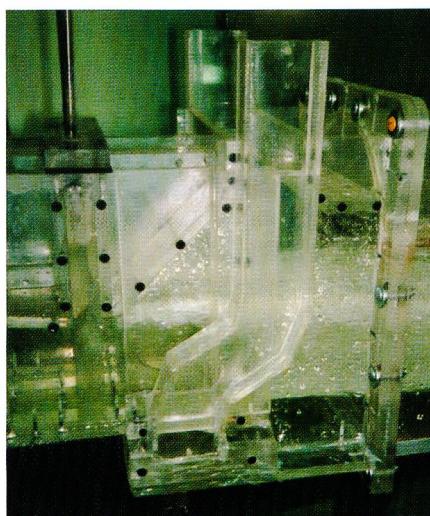


Bild 9. Punta Negra – Hydraulisches Modell, Detail der Grundablasskammer mit Belüftungssystem.

4. Schlussfolgerungen

Die Projekte der Wasserkraftanlagen Los Caracoles und Punta Negra weisen zwei ganz verschiedene Konzepte für die Kombination von Umleit- und Grundablassstollen auf, die im Wesentlichen aufgrund von ökonomischen Überlegungen festgelegt wurden.

Im Fall von Los Caracoles, wo das gewählte Konzept aus einem einzigen Umleitstollen besteht, sind für das ausführende Konsortium sehr hohe Anforderungen an den etappenweisen Umbau der Grundablasskammer gestellt. Neben den hydraulischen und baulogistischen Vorgaben müssen aus Sicherheitsgründen die hydrologischen

Randbedingungen bei der Konversion zum Grundablass genauestens beachtet werden.

Im Fall von Punta Negra vereinfacht die Unterteilung des Umleitstollens in zwei separate Durchlässe den späteren Umbau der Grundablasskammer. Im Gegensatz dazu stellt jedoch die Tagbaustruktur sehr hohe Anforderungen an die Projektierung. Um ein möglichst ökonomisches Detailprojekt dieser Struktur zu erhalten, muss praktisch die gesamte Detailprojektierung des Dammes vor Baubeginn des Umleitstollens abgeschlossen und die Verteilung der Auflasten für diese Struktur möglichst genau ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge bekannt sein. Im Weiteren ist bei dieser Tagbaustruktur der Spielraum für allfällige Projektanpassungen nach erfolgtem Baubeginn sehr beschränkt.

Bei der unterliegenden Stufe Punta Negra sind die hydrologischen Randbedingungen für den Umbau zum Grundablass nicht so einschneidend, da dieses Projekt erst nach der Inbetriebnahme von Los Caracoles vollendet wird. Somit kann der Abfluss des Río San Juan durch die oberliegende Stufe genau kontrolliert werden.

Anschrift des Verfassers

Martin Aemmer, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Electrowatt-Ekono AG, Hardturmstrasse 161, CH-8037 Zürich.