

# Der Bau des Pumpspeicherwerkes Kops II

Autor(en): **Pürer, Ernst**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **99 (2007)**

Heft 4

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940158>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Der Bau des Pumpspeicherwerkes Kops II

■ Ernst Pürer

## 1. Das Projekt

Im Einzugsgebiet der Ill, im Westen Österreichs, errichtet die Vorarlberger Illwerke AG ihr bisher grösstes Pumpspeicherwerk mit einer Leistung von  $\pm 450$  MW. Das neue Kraftwerk wird ideal in die bestehende Werksgruppe der Vorarlberger Illwerke Obere Ill – Lünensee integriert und nutzt die bestehenden Speicher-/Ausgleichsbecken des in den 60er-Jahren errichteten Kopswerkes I. Als Oberbecken dient der bestehende Speicher Kops mit einem Volumen von 43 Mio. m<sup>3</sup> und einem Jahreszufluss von rund 200 Mio. m<sup>3</sup>. Als Unterbecken dient das ebenfalls mit dem Kopswerk I errichtete Ausgleichsbecken Rifa, welches nach seiner Vergrößerung in den Jahren 2003/2004 1,1 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt hat. Zusätzliche Wasserressourcen werden nicht genutzt, was im Hinblick auf die Wasserrahmenrichtlinie einen günstigen Bewilligungstatbestand darstellte.

Vom Grundkonzept ist das Kopswerk II eine klassische Hochdruckanlage mit einer Rohfallhöhe von 800 m und besteht aus folgenden Hauptanlageteilen: (Bild 1)

- Ein-/Auslaufbauwerk
- Sperrkammer mit zwei Drosselklappen
- Entlastungsschacht
- Druckstollen horizontal mit 5,5 km Länge

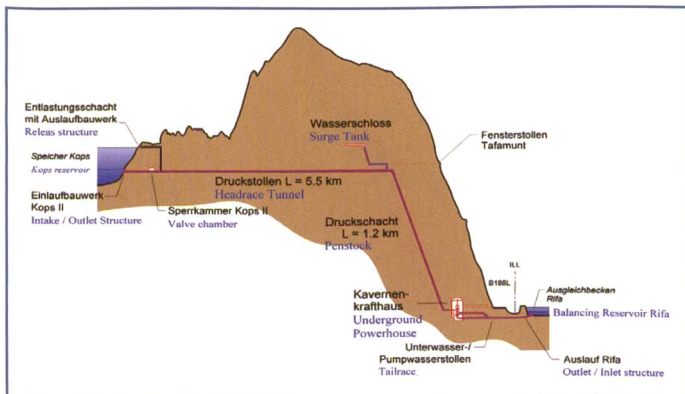


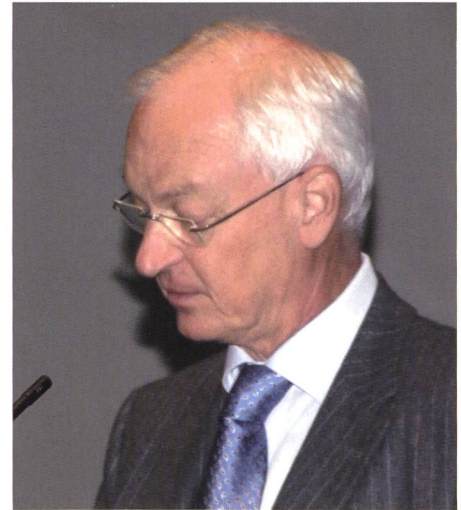
Bild 1. Gesamt-Längsschnitt.

- Zweikammernwasserschloss mit drei Drosseln
- Druckschacht gepanzert, 1,2 km lang, 38° geneigt
- Hochdruckverteilmrohrleitung
- Kavernenkrafthaus mit drei Maschinensätzen je  $\pm 150$  MW
- Druckluftwasserschlosskammern
- Unterwasserführung mit Unterwasserschloss
- Aus-/Einlaufbauwerk im Ausgleichsbecken Rifa
- SF6-Schaltanlage im Freien
- Energieableitung über die bestehende 220-kV-Freileitung

Der Versalstollen wird in Turbinenflussrichtung im Steigenden vorgetrieben, wodurch er im Bereich des Wasserschlosses seinen Höchstpunkt hat. Dieses Konstruktionsprinzip erübrigt ein Sicherheitsabschlussorgan am Übergang vom Druckstollen in den Druckschacht.

Das Kavernenkrafthaus hat drei Maschinensätze à 150 MW und besteht jeweils aus einer Pelton turbine, einem Motorgenerator, einer Speicherpumpe sowie einer Kupplung (Wandler), mit welcher die Pumpe im reinen Turbinenbetrieb vom Maschinensatz abgekoppelt werden kann (Bild 2).

Als Besonderheiten sind die Anordnung von Druckluftwasserschlosskammern im Anschluss an die Turbinen-



Prok. Dipl.-Ing. Dr. Ernst Pürer, anlässlich seines Vortrages an der 96. Hauptversammlung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes in Glarus.

schächte sowie die Regelfähigkeit der Pumpe durch Anwendung des «Hydraulischen Kurzschlusses» zu erwähnen.

Die Anordnung der Druckluftwasserschlosskammern ermöglicht den Einbau der Pelton turbine unter dem tiefsten Unterwasserspiegel. Der erforderliche Freihang unter dem horizontal eingebauten Peltonrad wird durch das Einblasen von Pressluft bewirkt, mit welcher der Wasserspiegel so weit nach unten gedrückt wird, bis der erforderliche Freihang

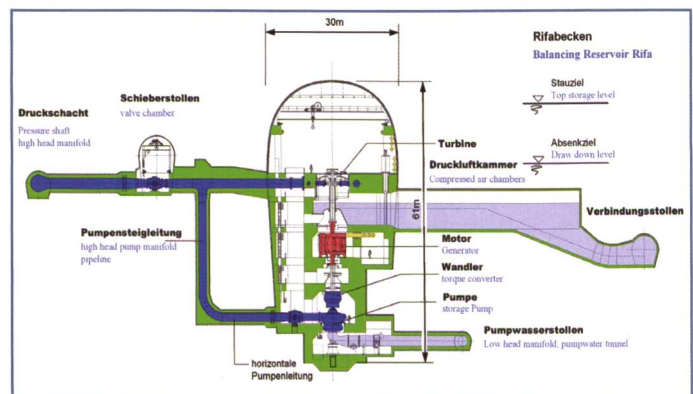
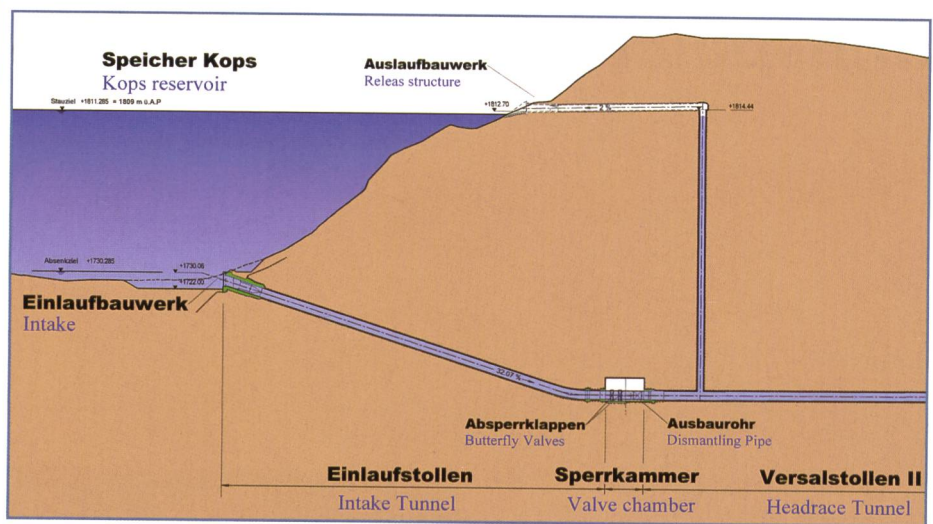


Bild 2. Kavernenkrafthaus, Querschnitt.



**Bild 3. Einlaufstollen Kops und Sperrkammer, Längsschnitt.**

unter der Turbine gegeben ist. Dadurch ist es wiederum möglich, die Speicherpumpe so tief einzubauen, dass der erforderliche Zulaufdruck gegeben ist und die Welle des Maschinensatzes nicht zu lang und damit die Kaverne nicht zu hoch wird.

Die regelfähige Pumpe ermöglicht die Netzregelung im Pumpbetrieb und schon damit die Wasserressourcen. Dieser vorteilhafte Betrieb wird durch die Anwendung des Hydraulischen Kurzschlusses erreicht. Bei dieser Betriebsweise, die im Lünserseewerk der Vorarlberger Illwerke bereits erfolgreich angewandt wird, erfolgt die Regelung der Pumpe mit Hilfe der an der gleichen Welle montierten Pelton-turbine. Durch den gleichzeitigen Teillastbetrieb der Turbine in beliebigem Umfang kann die Differenz zwischen der vom Netz zur Verfügung gestellten Leistung und der festen Pumpenleistung bereit gestellt werden.

**2. Die Bauarbeiten für das Kopswerk II**

**2.1 Einlaufbauwerk**

Das Einlaufbauwerk wurde im Zuge einer Totalentleerung des Speichers Kops von Mitte Februar bis Ende Mai 2006 errichtet. Davor wurde von der bereits früher ausgebrochenen Sperrkammer der Einlaufstollen bis rund 25 m zum Speichergrund vorgetrieben. Vor der Errichtung des Einlaufbauwerkes wurde vom Speicher Kops aus der Einlaufstollen fertig ausgebrochen. Nach Fertigstellung des Einlaufbauwerkes wurde der Speicher Kops wieder für die Bewirtschaftung freigegeben. Die Absperrung des Einlaufstollens zur im Bau befindlichen Triebwasserführung hin erfolgte mit der zu diesem Zeitpunkt bereits eingebauten Drosselklappe in der Sperrkammer (Bild 3).

**2.2 Versalstollen**

Der Versalstollen hat eine Volltübblingauskleidung (Bild 4). Dies ist für den Druckstollen mit Innendrücken bis zu 14 bar möglich, weil über den grössten Teil des Stollens der Bergwasserdruck (Aussenwasserdruck) höher ist als der Innenwasserdruck im Stollen. Lediglich im Randbereich beim Wasserschloss, wo dies nicht der Fall ist, wird der Versalstollen gepanzert.

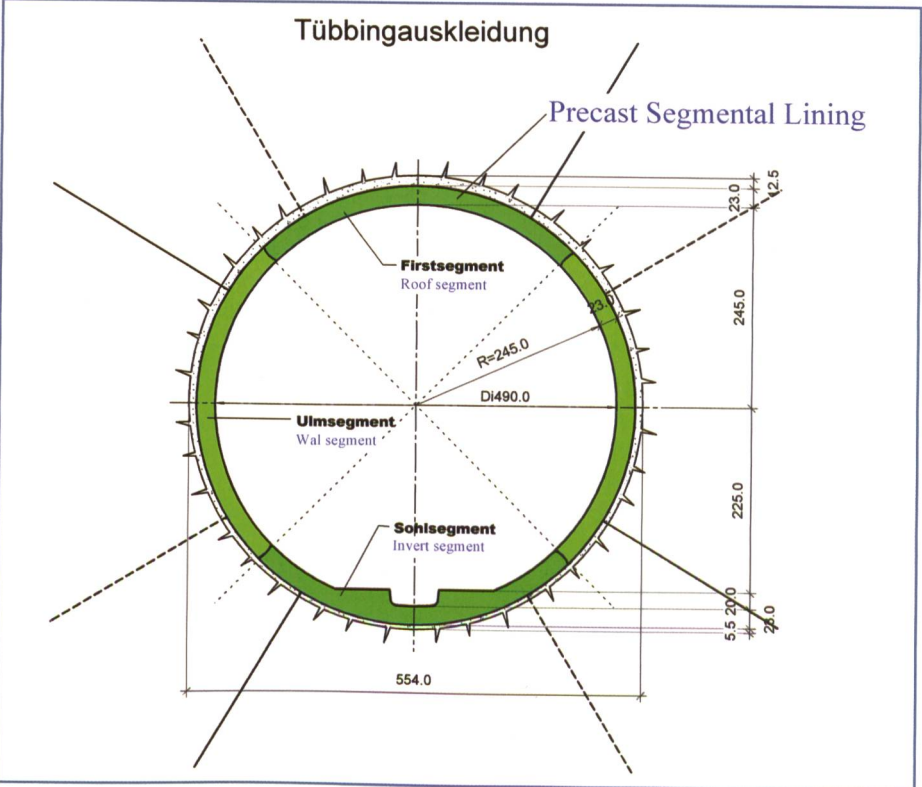
Der Ausbruch erfolgte mit einer Doppelschildmaschine, bei welcher unmittelbar hinter der Maschine die Auskleidung fertig eingebaut wurde. In dem Zwischenraum (Ringspalt) zwischen Fertigteilen (Tübbing) und dem Gebirgshohlraum

wurde Perlkies eingeblasen, der später mit Injektionsgut verfüllt wurde. Diese Verfüllung des Ringspaltes mit Injektionsgut bei Bergwasserzutritten erforderte einerseits die Sektionierung der Verfüllbereiche und andererseits eine entsprechende Zusammensetzung des Injektionsgutes. Die Sektionierung bewirkt, dass übertretendes Bergwasser nicht über zu lange Strecken «verdrängt» werden muss. Nach der Ringspaltverfüllung erfolgt die Gebirgswasserentlastung (bis zur Dichtinjektion) über Entlastungsbohrungen oder die Injektionsanschlussöffnungen in den Tübbing.

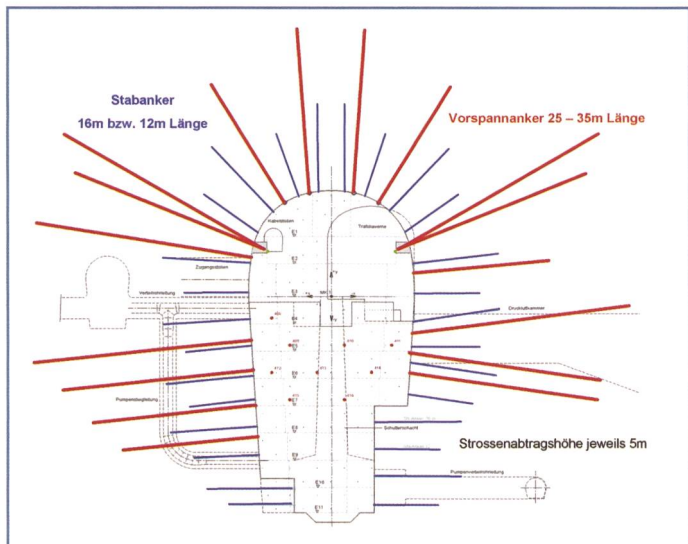
Im Anschluss an die Ringspaltverfüllung erfolgt die Gebirgsinjektion. Sie hat die Schaffung des Verbundbauwerkes «Tübbingauskleidung-Ringspalt Fels» zu gewährleisten und wo erforderlich auch eine Dichtfunktion.

**2.3 Wasserschloss**

Das Wasserschloss besteht aus einer Unteren Kammer mit einem Volumen von rd. 9600 m<sup>3</sup> und einer Oberen Kammer mit einem Volumen von rd. 6000 m<sup>3</sup>. Beide sind mit einem unter 49° geneigten Steigschacht von 185 m Länge und 5,10 m Durchmesser verbunden. Die Untere Wasserschlosskammer ist an zwei Stellen über Drosseln mit dem darunter liegenden Druckstollen verbunden. Eine dritte belüftete Drossel befindet sich am Übergang von der Unteren Wasserschlosskammer zum Steigschacht. Die Belüftung der Obe-



**Bild 4. Druckstollen, Regelquerschnitt Volltübblingauskleidung.**



**Bild 5. Kaverne, Sicherungskonzept.**

ren Kammer erfolgt über einen vertikalen Schacht, der gleichzeitig der späteren Begehung dient. Die Wasserschlosskammern und der Steigschacht wurden konventionell ausgebrochen und erhalten eine bewehrte Betonauskleidung. Lediglich Randbereiche der Unteren Kammer sind gepanzert. Der Steigschacht wurde mit einer Gleitschalung betoniert.

#### 2.4 Druckschacht

Der Druckschacht wurde von unten nach oben mit einer offenen Tunnelbohrmaschine vorgetrieben. Die Sohle wurde so abgedeckt, dass in dem dadurch entstandenen Hohlraum das Schuttergut abtransportiert (gespült) werden konnte. Nach Fertigstellung des Ausbruches wurden die Wasserzutritte abgeschlaucht und geordnet abgeführt. Dann erfolgte eine Vorinjektion der aufgelockerten Felsbereiche. Der Einbau der Panzerung erfolgte von unten nach oben, beginnend am Druckschachtfusspunkt. Dazu wurden die 12 m langen Panzerungsrohre von oben nach unten eingefahren, angeschweisst und hinterbetoniert. Zu Beginn wurden jeweils zwei Rohrschüsse, später drei Rohrschüsse montiert und anschliessend hinterbetoniert. Nach Fertigstellung der Panzerung erfolgt derzeit die Injektion über «Nippelanschlüsse» in der Panzerung. Bei dieser Injektion werden zuerst die «Wasserabschlauchungen» und dann der Schwingspalt zwischen Panzerungsrohr und Beton verpresst.

#### 2.5 Hochdruckverteilrohrleitung

Die Verteilrohrleitung wurde in den dafür geschaffenen Felshohlräumen montiert und anschliessend einer Druckprobe, entsprechend dem 1,3-fachen max. Betriebsdruck, unterzogen. Nach erfolgreicher

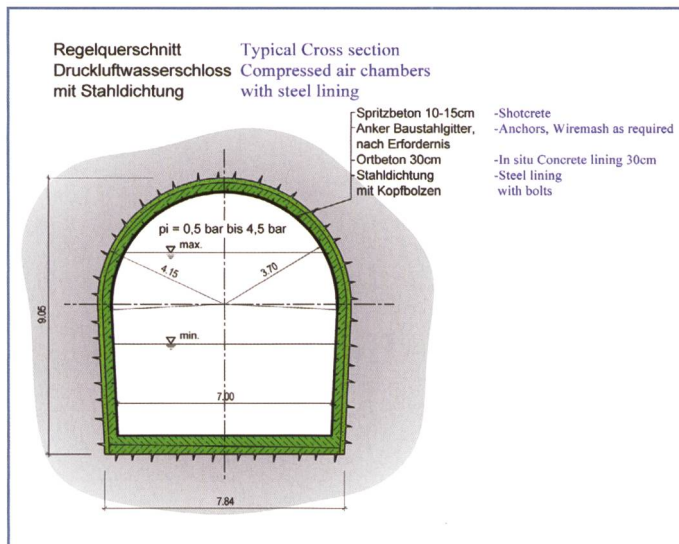
Druckprobe wurde der Raum zwischen Verteilrohrleitung und Felslaibung zur Gänze mit Beton ausgefüllt. Die Abtragung der Deckel- und Umlenkkräfte erfolgt an zwei definierten Stellen über Stahlkragen in den Beton und weiter in den Fels. Der Schwingspalt zwischen Verteilrohrleitung und Beton wird anschliessend ebenfalls über Manschettenschläuche injiziert.

#### 2.6 Kavernenkrafthaus

Die Kaverne hat eine Höhe von 61 m, eine Breite von 31 m und eine Länge von rd. 88 m. Mit ihrem Höhen- zu Breitenverhältnis gehört sie zu den grössten Felshohlräumen überhaupt. Ihre sichere Errichtung bei Einhaltung der dem Gesamtsystem zuträglichen Verformungen stellte eine grosse felsmechanische Herausforderung dar.

Die Kaverne wurde von der Kalotte (First) nach unten abschnittsweise konventionell ausgebrochen. Hierzu wurde vorweg ein vertikaler Schutterschacht aufgedrückt, an dessen unterem Ende das Schuttermaterial mittels eines Brechers zerkleinert und mit einem Förderband durch einen Schutterstollen zur Deponie im Freien transportiert wurde. Lokal, wo erforderlich, erfolgte eine Sicherung mit Felsnägeln und örtlichem Spritzbeton. Gleichzeitig mit dem abschnittweisen Felsabtrag wurde in drei Lagen eine bis zu 30 cm starke baustahlgitterbewehrte Spritzbetonschale aufgebracht und wurden 25–35 m lange Vorspannanker gesetzt, um die Desintegration des Hohlraumgewölbes zu verhindern (Bild 5).

Der Ausbruch der Krafthauskaverne wurde Ende 2004 begonnen, und zum Jahreswechsel 2005/2006 fertig gestellt. Die max. Verformungen nach Erreichen der Endteufe betragen in der Firste 35 mm und an den Ulmen max. 45 mm



**Bild 6. Druckluftwasserschlosskammer, Regelquerschnitt.**

und lagen damit geringfügig unter den prognostizierten Deformationen.

Unmittelbar nach Fertigstellung des Felshohlraumes wurden die Betonarbeiten, bestehend aus massiven Wänden und Decken, verteilt auf sechs Tiefgeschossen, in Angriff genommen. Dem zuerst fertig gestellten Block der Maschine 3 folgten die Blöcke der Maschinen 2 und 1. Der letzte Kübel Beton wurde nach knapp 1 1/2 Jahren Bauzeit Anfang Juni 2007 eingebracht, nachdem zuvor rd. 50 000 m<sup>3</sup> Beton verarbeitet wurden. Eine besondere Herausforderung in der Bauabwicklung stellte der Einbau zahlreicher Rohrleitungen, Lagerkonstruktionen für Pumpe, Wandler und Generator sowie die Stahlwasserbauteile für den Turbinenschacht dar. Die Einbringung des Betons erfolgte zum Teil mittels des 12-Tonnen-Hallenkranes, welcher zu einem sehr frühen Zeitpunkt zur Verfügung stand, bzw. mittels Pumpbetons mit einer entsprechend leistungsfähigen Pumpbetonanlage.

Als Besonderheit ist hervorzuheben, dass in der Zeit, in der der zuletzt fertig gestellte Block betoniert wurde, im zuerst fertig gestellten Block die Maschinenmontagen schon weit fortgeschritten waren.

#### 2.7 Druckluftwasserschlosskammern

Die Druckluftwasserschlosskammern zweigen unmittelbar von der Krafthauskaverne ab und haben eine Länge von 45 m und einen Querschnitt von 52 m<sup>2</sup> (Bild 6). Drei so grosse Hohlräume unmittelbar an die Kaverne anschliessend stellte für den Bau des Systems Maschinenkaverne und Wasserschlosskammern eine weitere felsmechanische Herausforderung dar. Aus dem Grund wurde entschieden, diese Wasserschlosskammern vor dem

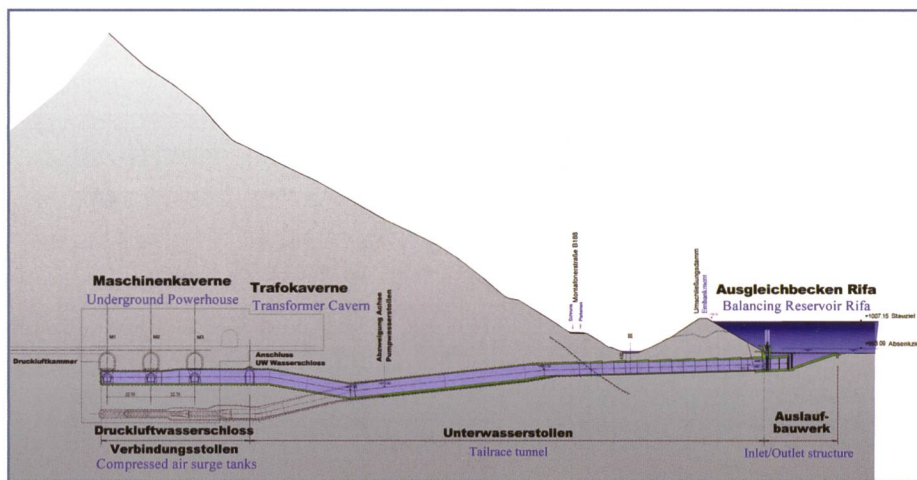


Bild 7. Unterwasserführung Längsschnitt.

Ausbruch der Maschinenkaverne in diesem Bereich auszubrechen. Das bot den Vorteil, die später hoch beanspruchten Felspartien in ihrer geologischen und felsmechanischen Beschaffenheit frühzeitig zu kennen und zu sichern bzw. zu verstärken und damit die Verformungen beim späteren Ausbruch der Kaverne in diesem Bereich möglichst gering zu halten.

Die Druckluftkammern erhalten im wasserbeaufschlagten Teil eine Betonauskleidung und im luftbeaufschlagten Teil eine Stahldichtung. Lediglich der auf eine Länge von 15 m unmittelbar an die Krafthauskaverne anschliessende Teil ist rundum mit einer Stahldichtung verkleidet.

## 2.8 Unterwassersystem

Von den Druckluftkammern führen kleine Querschläge zum Unterwasserstollen in Richtung Unterwasserausgleichsbecken Rifa. Auf etwa halbem Weg zum Ausgleichsbecken zweigt der Pumpwasserstollen zur tiefer liegenden Pumpenverteilstollen zur tiefer liegenden Pumpenverteilstollen ab (Bild 7).

Alle Teile der Unterwasserführung befinden sich in gutem Fels. Lediglich der letzte Teil des Unterwasserstollens zum Auslaufbauwerk im Ausgleichsbecken Rifa verlässt den Felsbereich und liegt auf einer Länge von 200 m in Alluvionen und unter-

quert eine Bundesstrasse, die Ill und den Umschliessungsdamm des Ausgleichsbeckens Rifa. Um Setzungen im Bereich der Unterquerung der Ill, aber insbesondere unterhalb des Ausgleichsbeckens zu vermeiden, erfolgte der Vortrieb im Schutz eines vorweg erstellten Rohrschirmes. Nach Fertigstellung des Unterwasserstollens in den Lockermassen wurde dieser gepanzert. Der Zwischenraum zwischen Panzerung und Stollenlaibung wurde zur Gänze mit Beton verfüllt. Später wurde ein eventueller Absetzhohlraum in der Firste und der Schwindspalt zwischen Panzerung und Beton über Manschettenschläuche injiziert.

## 2.9 Auslauf-/Einlaufbauwerk Ausgleichsbecken Rifa

Die Errichtung des Auslaufbauwerkes begann im Jänner 2006 bei zum Teil äusserst ungünstigen Witterungsverhältnissen und war Ende Mai 2006 fertig gestellt.

Für die Errichtung des Auslaufbauwerkes musste das Ausgleichsbecken völlig entleert und im erforderlichen Umfang die Asphaltbetondichtung entfernt werden. Nach Fertigstellung des Aushubes der ankersicherten Baugrube wurde der noch nicht ausgebrochene rd. 15 m lange Teil des Unterwasserstollens im Schutze des bereits früher fertig gestell-

ten Rohrschirmes ausgebrochen. Dann erst konnte das eigentliche Bauwerk betoniert und die Schütze versetzt werden. Schliesslich wurde das Bauwerk wieder hinterfüllt und die Asphaltbetondichtung in diesem Bereich des Beckens erneuert und die Anschlüsse an das neue Bauwerk hergestellt.

## 3. Gesamtbauabwicklung – Projektkosten

Die Bauarbeiten wurden von drei Angriffspunkten in drei Baulosen abgewickelt. Insgesamt wurden drei Arbeitsgemeinschaften mit den Bauarbeiten für die Baulose

- Los 1: Einlaufbauwerk in Kops, Sperrkammer, Druckstollen
- Los 2: Wasserschloss, Druckschacht und Verteilrohrleitung
- Los 3: Kavernenkrafthaus mit Trafokaverne, Druckluftkammern und allen anderen Nebenanlagen einschliesslich Unterwasserstollen und Auslaufbauwerk im Becken Rifa beauftragt.

Zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Artikels Ende August 2007 sind die Bauarbeiten weitgehend fertig gestellt. Eine Ausnahme stellt die Untere Kammer des Wasserschlosses mit ihren Verbindungen zum Druckstollen sowie zum Steigschacht des Wasserschlosses dar.

Es ist vorgesehen, die Bauarbeiten bis Ende des Jahres 2007 abzuschliessen. Der erste Maschinensatz soll im Februar 2008, der zweite Maschinensatz im April 2008 und der zuletzt fertig gestellte Ende Juni 2008 in Betrieb gehen.

Die Gesamterichtungskosten betragen 370 Mio. €. Das entspricht spezifischer Ausbaukosten bei der Engpassleistung 510 MW von 725 €/kW.

Anschrift des Verfassers  
 Prok. Dipl.-Ing. Dr. Ernst Pürer  
 Leiter Geschäftsbereich Engineering  
 Vorarlberger Illwerke AG, Batloggstrasse 36  
 A-6780 Schruns, ernst.puerer@illwerke.at