

Hansjörg Wolf

Vorarlberger Illwerke AG

Gerald Goger

Swietelsky Baugesellschaft mbH



Kops II: Vortrieb und Auskleidung des Steigschachtes im Wasserschloss

Kops II: Cyclic driving and concrete lining of the surge shaft

Kurzfassung

Beim Pumpspeicherkraftwerk Kops II stellt der Steigschacht einen wesentlichen Bauteil des Wasserschlosses dar. Der zyklische Vortrieb des Steigschachtes erfolgte in zwei getrennten Bauabschnitten. Zunächst wurde ein – im Sohlbereich des endgültigen Ausbruchsquerschnitts liegender – Pilotschacht von „unten nach oben“ mit einem Alimak-Schachtaufbruchsystem aufgeföhren. Danach wurde der Schachtkopf im Übergangsbereich von Steigschacht und oberer Kammer ausgebrochen, die anschließende Aufweitung des Steigschachtprofils auf den endgültigen Regelquerschnitt erfolgte in einem nächsten Arbeitsschritt von „oben nach unten“.

Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten wurde der Steigschacht unter Verwendung einer Gleitschalung mit einer Ortbetoninnenschale ausgekleidet. Da im Talboden ein Betonmischwerk für die Baudauer errichtet wurde, entfielen die Transportzeiten für die Betonanlieferung auf die Baustelle. Für die Verarbeitung des Betons waren Transport- bzw. Verarbeitungszeit von rd. 90 Minuten sowie mehrfache Betonumschläge zu berücksichtigen. Nach Feststellung der Grünstandsfestigkeit erfolgten die Ziehtakte mit jeweils 2 bis 5 cm, die Steiggeschwindigkeit betrug im Mittel rd. 25 cm pro Stunde.

Summary

The surge shaft is an essential constructional element of the pump storage power plant in Kops II. The cyclic driving of the surge shaft was carried out in two construction stages. At first a pilot hole – situated in the invert of the effective cross section of the surge shaft – was advanced from the bottom to the top of the shaft with an Alimak-shaft-rising-system. Afterwards the upper part of the shaft was enlarged by cyclic driving, finally the whole cross section of the surge shaft was advanced (also by cycling driving) from top to bottom.

After determining the cyclic driving the surge shaft was equipped with a concrete lining, the consortium used therefore a sliding formwork. A concrete mixing plant was installed on site for the whole building period. The concrete supply from the mixing plant to site (installation point) took approximately 90 minutes (transport and processing time). After determining a sufficient stability of the concrete lining the sliding formwork moved 2 up to 5 cm per working step, so that the sliding velocity of the concrete lining amounts to an average of approximately 25 cm per hour.

EINLEITUNG

Das Kopswerk II nutzt die Gefällsstufe vom Kopssee zum Rifabecken in Partenen und wird sowohl im Turbinen- als auch im Pumpbetrieb eingesetzt. Das Wasser des Kopssee wird über einen Druckstollen und einen gepanzerten Druckschacht dem Kavernenkrafthaus zugeführt und fließt über einen Unterwasserstollen in das Rifabecken. Aufgrund der Betriebsweise – schnelles Anfahren oder schnelles Abschalten – ist im Übergangsbereich des Druckstollens und des Druckschachtes ein Wasserschloss angeordnet. Dieses ist über zwei Drosseln mit dem Druckstollen verbunden und besteht aus der unteren sowie der oberen Kammer und dem diese Kammern verbindenden Steigschacht.

Für die Errichtung der Bauteile des Wasserschlosses musste in Tafamunt vorweg ein Fensterstollen aufgeföhren werden. Die Belüftung des Wasserschlosses erfolgt über den Belüftungsschacht zwischen oberer Kammer und Fensterstollen. Die Belüftung zwischen der oberen und unteren Kammer erfolgt über eine gesonderte Belüftungsleitung, die im Ausbruchquerschnitt des Steigschachtes getrennt verlegt und einbetoniert ist.

Sämtliche Bauteile des Wasserschlosses in Tafamunt auf rd. 1.700 m Seehöhe sind vom Talboden auf rd. 1.000 m Seehöhe nur über eine bestehende Personenseilbahn zu erreichen. Für die Baudurchföhhrung wurde eine Materialseilbahn und während der Auskleidungsarbeiten eine weitere Materialseilbahn betrieben.

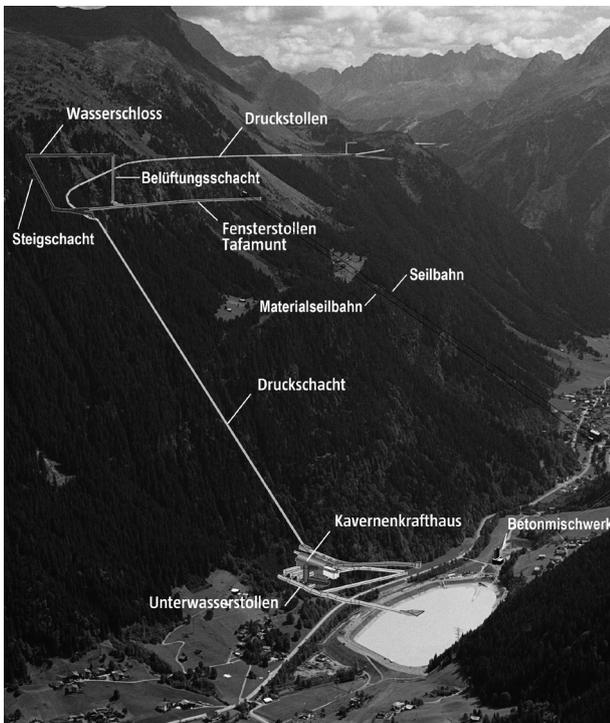


Abb. 1 Kopswerk II - Gesamtanlage

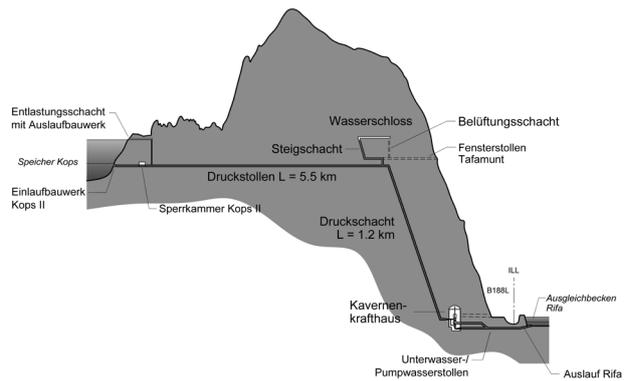


Abb. 2 Kopswerk II – Längenschnitt

VORTRIEBSPRBEITEN IM STEIGSCHACHT

Der zyklische Vortrieb des Steigschachtes erfolgte wegen der Größe des Regelquerschnitts von rd. 35 m², der Steigschachtneigung von 49,0° und den logistischen Randbedingungen paralleler Vortriebe in zwei voneinander getrennten Bauabschnitten. Zunächst wurde ein – im Sohlbereich des endgültigen Ausbruchquerschnitts liegender – Pilotschacht von „unten nach oben“ mit einem Alimak-Schachtaufbruchsystem aufgeföhren. Für die Baustelleneinrichtung des Alimak-Systems (Einbau der Arbeitsplattform, Befestigung der Kletterschienen und Einrichtung der Geräte zur Schachtbefahrung) wurden rd. 2 1/2 Wochen benötigt. Der zyklische Vortrieb des Pilotschachtes mit einer Gesamtlänge von rd. 190 m und einem Ausbruchquerschnitt von rd. 4 m² erfolgte innerhalb von 43 Arbeitstagen. Bei einer mittleren Vortriebsleistung für den Pilotschacht von rd. 4,4 m pro Arbeitstag wurden die Vortriebsmannschaften mit 4 Mann pro Drittel besetzt. Die geringfügig erforderliche Vortriebsicherung im Steigschacht-Pilotschacht erfolgte mittels Felsankerungen und Spritzbeton.

Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten im Steigschacht-Pilotschacht wurde im nächsten Arbeitsschritt der Schachtkopf im Übergangsbereich von Steigschacht und oberer Kammer so aufgeweitet, dass die Schachtbefahrerinnenrichtungen für die Aufweitung des Steigschachtprofils

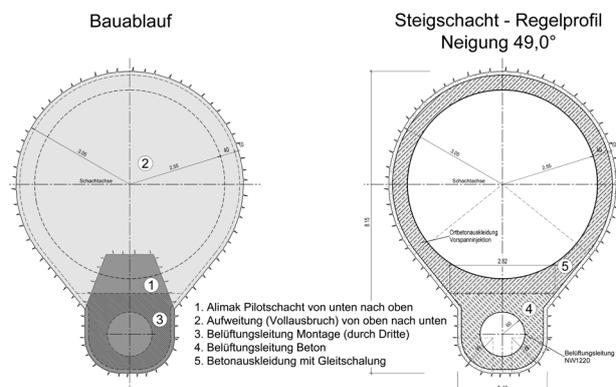


Abb. 3 Steigschacht – Regelprofil



Abb. 4 Steigschacht - Alimakbühne

von „oben nach unten“ (Arbeits- und Personenwagen, Windenanlagen inkl. Umlenkrolleneinheit und Schienmontage im Ulmenbereich) montiert werden konnten. Die erforderlichen Ausbruchs- und Vorbereitungsarbeiten mussten von den Mineuren zum überwiegenden Teil am Seil durchgeführt werden.

Das baubetriebliche Gesamtkonzept der Ausbruchsarbeiten für die Steigschacht-Aufweitung sowie die Konzeption der schienenfahrbaren Arbeits- und Personenwagen wurden im Zuge der Arbeitsvorbereitung von der Baustelle entwickelt, die statischen Berechnungen sowie die Fertigung der Schachtbefahrungswägen und die Montage der Winden erfolgte durch die Fa. MCE AG. Für die Baustelleneinrichtungsarbeiten zur Steigschachtabteufung wurden rd. 1,5 Monate benötigt.

Die Abteufung des Steigschacht-Regelquerschnitts von „oben nach unten“ erfolgte in rd. 2 Monaten, womit sich eine mittlere Vortriebsleistung von rd. 3,1 m pro Arbeitstag errechnet. Die Mannschaften wurden mit 6 Mann pro Drittel besetzt, die Vortriebssicherung im Steigschacht-Vollausbruch erfolgte mittels Felsanker und stahlfaserbewehrtem Spritzbeton. Die Schutterung erfolgte über den Pilotschacht direkt in die untere Kammer des Wasserschlosses, von dort wurde das Ausbruchsmaterial mit Mulden zur Deponie in Tafamunt verführt. Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten wurde entlang der Sohle des endgültigen Steigschacht-Ausbruchsprofils von Dritten die Montage der Belüftungsrohre durchgeführt, wobei die anschließende Hinterbetonierung der Belüftungsrohre durch die ARGE erfolgte.



Abb. 5 Steigschacht – Arbeiten der Mineure am Seil

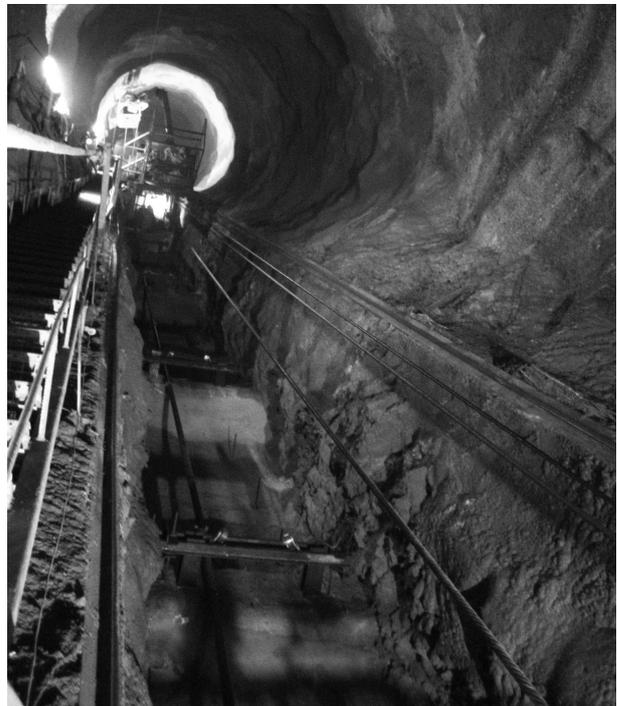


Abb. 6 Steigschacht – Schachtbefahrung im Überblick

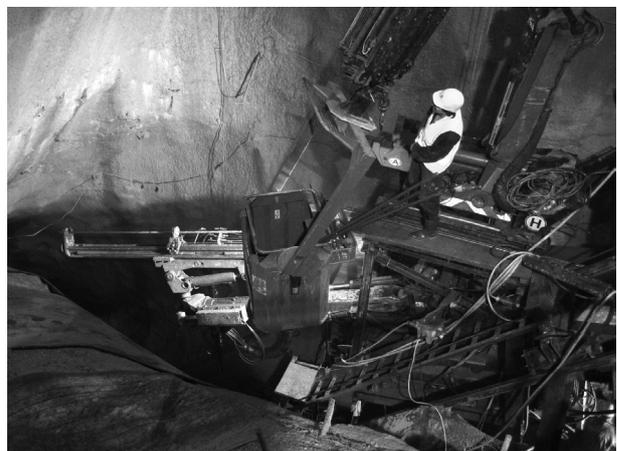


Abb. 7 Steigschacht – Schachtbefahrung Arbeitswagen

ORTBETONAUSKLEIDUNG IM STEIGSCHACHT

Im Anschluss daran musste der Steigschacht mit einer Ortbetoninnenschale ausgekleidet werden. Im Zuge der Arbeitsvorbereitung für die Schalung wurde von der Baustelle dem Einsatz einer Gleitschalung – vor allem wegen des geringeren Personaleinsatzes gegenüber einer Kletterschalung – der Vorzug gegeben.

Das Gleitgerüst der Fa. Gleitbau Salzburg wurde als steifer Stahlrahmen ausgeführt und horizontal im Schacht eingebaut (vorab wurde ein Startblock mit horizontaler Arbeitsfuge vorbereitet). Nachdem der Betoneinbau selbst sowie die Ausrichtung des Beton horizontal zu erfolgen hatte, musste die Schalung aufgrund der geometrischen und betontechnologischen Anforderungen mit unterschiedlichen Schalungslängen in Umfangsrichtung (Bandbreite von 1,25 m bis 3,00 m) konzipiert werden. Die Schalung wurde an im Radius gebogenen Führungsrohren am Gleitgerüst befestigt. Zur Steuerung der Gleitschalung wurde ein Abstützungswagen entwickelt, der an der Unterkante des Gleitgerüsts befestigt war und mittels Hydraulikzylinder verstellt werden konnte. Über eine Gitterträgerkonstruktion und Walzen konnte sich der Wagen auf der fertig gestellten Betonauskleidung abstützen und damit die Neigung der Schalung verstellen. Zum Bewegen der Schalung wurde ein Litzenhebersystem verwendet, hierfür wurden 4 Stück Litzen mit einer Hubkraft von 10 Tonnen je Heber am Schachtkopf befestigt.

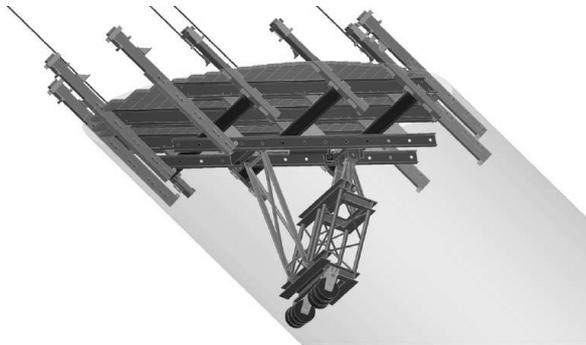


Abb. 8 Steigschacht – Gleitschalung Prinzipskizze

Durch die Betriebsweise des Kraftwerks ist ein rasches Füllen und Entleeren der Kammern des Wasserschlosses jederzeit möglich. Die Auskleidung wird daher durch rasche Druckschwankungen infolge der hydraulischen Vorgänge von innen wechselnd belastet und muss im entleerten Zustand einem allenfalls anstehenden Bergwasserdruck von außen widerstehen. Die Betonauskleidung war daher satt an die Hohlraumlaibungen anzubetonieren, die Innenseite war weitestgehend glatt und überzahnfrei herzustellen sowie die Anzahl der Arbeitsfugen war auf ein Minimum zu reduzieren. Da im Talboden ein Betonmischwerk für die Baudauer errichtet wurde, entfielen die Transportzeiten für die Betonanlieferung auf die Baustelle. Für die Verarbeitung des Betons waren aber

die Transporte mit mehrfachem Betonumschlag zu berücksichtigen. Die Betonkonsistenz musste während der ganzen Transportkette gewährleistet sein bzw. musste an einem Umschlagpunkt „nachjustierbar“ sein. Die Herstellung der Betonauskleidung mit der Gleitschalung erforderte eine entsprechende Festigkeitszunahme (Gründstandsfestigkeit) und eine Einbautemperatur von rd 20 ° Celsius.

Da die gesamte Transport- bzw. Verarbeitungszeit bei rd. 90 Minuten lag und wegen der winterlichen Verhältnisse, wurden die jeweiligen Liefermengen weitestgehend auf 3 m³ ab Werk beschränkt. Die Liefermenge von 3 m³ wurde mit üblichen 6 m³ Fahrmischern zur Talstation der Seilbahn Tafamunt transportiert, wo die volle Menge in den wärmedämmten Transportkübel (3 m³) der Materialseilbahn umgeladen wurde. Ein vollständiges Fahrspiel mit der Materialseilbahn beträgt rd. 30 bis 35 Minuten für eine Streckenlänge von rd. 1.260 m, bei einem Höhenunterschied von rd. 700 m. Bei der Bergstation wird der Transportkübel vollständig in 3 m³ Fahrmischer entleert und rd. 600 m durch den Fensterstollen zum Fußpunkt des Belüftungsschachtes transportiert. Hier wurde die Betonkonsistenz, der LP-Gehalt und die Temperatur geprüft. Die Übergabe an einen Krankübel (1 m³) erfolgte in drei Teilmengen und am Ende des rd. 150 m hohen Belüftungsschachtes wurde – jeweils in zwei Teilmengen – der Muldenkipper (0,5 m³) für den Transport durch die obere Kammer zur Betonpumpe beladen. Von der Betonpumpe wurde der Beton durch eine Pumpleitung mit 125 mm Durchmesser zur Gleitschalung abwärts gepumpt. Um das Entleeren der Pumpleitung zu verhindern (es waren anfänglich bis zu drei Muldenkipper-Füllungen in der Pumpleitung), wurde zwei Rohrlängen vor der Einbaustelle ein hydraulischer Absperrschieber eingebaut. Bei der kalkulierten Stundenleistung waren daher rd. 13 m³ Beton auf dem Transportweg.

Für das Ziehen der Gleitschalung konnten keine Regeln festgelegt werden. Die Feststellung der Gründstandsfestigkeit erfolgte auf Basis der Erfahrungen der Betoniermannschaft durch Einstecken eines Bewehrungsstabes



Abb. 9 Portal Tafamunt – Überblick



Abb. 10 Betonumschlag Seilbahn Talstation



Abb. 11 Betonumschlag Seilbahn Bergstation

in den Frischbeton, um die Tiefe mit ausreichender Festigkeit zu erkunden. Die Ziehtakte erfolgten daraufhin mit jeweils 2 bis 5 cm. Die durchschnittliche Steiggeschwindigkeit betrug rd. 25 cm pro Stunde.

Aufgrund anfänglicher Probleme wurde die ursprüngliche Rezeptur durch veränderte Dosierung der Zusatzmittel und wesentliche Reduzierung des AHWZ-Anteils den Erfordernissen angepasst und bis zum Ende beibehalten. Es wurden Betondruckfestigkeiten von rd. 30/50/60 N/mm² nach 7/28/90 Tagen erreicht.

Der Einbau der Ortbetoninnenschale erfolgte in 33 Arbeitstagen im Durchlaufbetrieb. Bei einer mittleren Beton-einbauleistung von rd. 5,5 m pro Arbeitstag wurden für die reinen Betoneinbauarbeiten 3 Mann je Betoniermannschaft (ohne Berücksichtigung des Logistikpersonals) eingesetzt.

Betonrezept	
1.314 kg/m ³	KK 0/4 (BSL)
246 kg/m ³	KK 4/11 (BSL)
194 kg/m ³	KK 11/32 (BSL)
330 kg/m ³	DEM II A-S 42,5 R (Holcim Vorarlberg)
50 kg/m ³	Fluxolent AHWZ (Holcim Vorarlberg)
186 l/m ³	Wasser für F52 bis 90 min
4,6 kg/m ³	Fließmittel 1,4 % VisoCrete-5036NL (Sika)
0,7 kg/m ³	Luftporenmittel 0,2 % Aer-200S/35 (Sika)
2,5 – 5,0 %	LP-Gehalt
0,5	W/B-Wert
507 kg/m ³	Mehlkorngehalt < 0,125 mm
442 Liter	Mörtelvolumen bis 4 mm
20 °Celsius	Frischbetontemperatur

Tab. 1 Betonrezept Steigschacht Gleitschalung