

Kraftwerk-Projekt Linthal 2015

H. Jenni, C. M. Mayer

Beim Kraftwerk-Projekt Linthal 2015 stellt die Vortriebsausrüstung für einen 4 km langen Schrägschacht, bestehend aus einer Tunnelbohrmaschine mit 8 m Durchmesser und einer Nachlaufinstallation von 160 m Länge höchste Anforderungen an die Anlagenbauer.

Die Anlagen der Kraftwerke Linth-Limmern (KLL) mit einem Einzugsgebiet von 140 km² leisten schon heute einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgung der Schweiz. Das Ausbauprojekt Linthal 2015 optimiert die bestehenden Anlagen und wird die Leistung der KLL um 1000 MW Turbinen- und 1000 MW Pumpleistung erhöhen. Die gesamten Investitionen für den Bau belaufen sich auf rd. 2,1 Mrd. CHF. An der KLL sind die Axpo mit 85 % und der Kanton Glarus mit 15 % beteiligt.

Die neue Kraftwerkstufe der KLL basiert auf dem Konzept, Wasser aus dem Limmernsee in den 630 m höher gelegenen Muttsee zu pumpen, um es bei Bedarf wieder zur Stromproduktion nutzen zu können. Das Herzstück des Projektes bildet ein neues unterirdisches Pumpspeicher-Kraftwerk zwi-

schen dem Limmern- und dem Muttsee mit einer Leistung von 1000 MW. Dazu werden auf 1800 m über Meer und 600 m tief im Berginnern am Fuß der heutigen Staumauer des Limmernsees riesige Felskavernen für vier Pumpturbinen ausgebrochen.

Ein wichtiger Anlagenteil für das Projekt Linthal 2015 ist der rd. 4 km lange Zugangsstollen I. Er dient der späteren Erschließung der Kraftwerks- und Trafokavernen durch eine Standseilbahn mit 230 t Kapazität. Die Turbinenzentrale wird über zwei parallel geführte Druckschäch-

Project Power Plant Linthal 2015

H. Jenni, C. M. Mayer

The heading equipment for a 4 km long inclined shaft at the project power plant Linthal 2015, consisting of a tunnel boring machine with 8 m diameter and a back-up installation of 160 m length, requires extraordinary qualifications from the equipment manufacturer.

Already today, the facilities of the power plant Linth-Limmern (KLL) with a drainage basin of 140 km² make an important contribution to the electricity supply of Switzerland. The extension project Linthal 2015 will optimize the existing facilities and increase KLL's performance by 1000 MW turbine output and 1000 MW pumping capacity. The total investment for the construction amounts to approx. 2.1 Bill. CHF. With KLL, Axpo's participation amounts to 85 %, the participation of the canton of Glarus to 15 %.

The new power plant level of the KLL is based on a plan

to pump water from the Limmernsee into Muttsee which is 630 m higher, in order to re-use it for electricity production when needed. The core of the project is a new, underground pump storage power plant between the Limmern- and the Muttsee, with a capacity of 1000 MW. For this purpose, huge rock caverns for four pump turbines are excavated 600 m underground, at the foot of the present dam at 1800 m above sea level.

An important part of the project Linthal 2015 is the 4 km long access tunnel I. It will provide subsequent access to the power plant and transformer caverns for a cable car with 230 t capacity. The turbine cavern is connected with the Muttsee via two parallel pressure shafts and a head race tunnel, and with the Limmernsee via two approx. 500 m long tailrace tunnels.

te und einen Druckstollen mit dem Muttssee sowie durch zwei rd. 500 m lange Unterwasserstollen mit dem Limmernsee verbunden.

Mechanisches Auffahren des Zugangsstollens

Zur Erschließung der unterirdischen Kraftwerkszentralen ist vom Tierfehd aus ein 3800 m langer Schrägstollen mit 8 m Durchmesser und einer Neigung von 24 % aufzufahren. Für das Auffahren des Schrägstollens setzt die mit dem Los A1 betraute Arge Zugangstollen Limmern – AZL – eine Doppelgripper-Tunnelbohrmaschine (TBM) ein. Die Geologie prognostiziert standfestes und mittelhartes Gestein. Der Wasserandrang wird als gering erachtet. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass Karsthohlräume mit sehr hohem Wasserandrang angefahren werden können.

„Mit einer so großen Tunnelbohrmaschine ist steigend bisher noch nie so steil in den Berg gebohrt worden“, stellt Christian Ris, Baustellenchef der Arge AZL, fest und freut sich über die leistungsstarke Tunnelbohrmaschine und den Nachläufer für die Bewältigung der anspruchsvollen Aufgabe untertage (Bild 1).

Eine Besonderheit bildete das Einschreiten der komplett ausgerüsteten TBM mit Nachläufer von 1500 t Gewicht und 160 m Länge durch den Zugangsstollen mit 300 m Radius in die 24 % steigende Start-röhre (Bild 2).

Der 24 % steile Vortrieb wird über eine Windenbahn versorgt. Das Ausbruchmaterial gelangt über eine Förderbandanlage bis zum Portal. Beim Vortrieb werden sogenannte Muffennischen und in der Tunnelmitte eine Ausweichstelle konventionell ausgebrochen.

Tafel: Am Projekt Beteiligte

Table: Participants of the project

Bauherr Builder/owner	Kraftwerke Linth-Limmern AG Power plants Linth-Limmern AG
Ausführung Execution	Arge Zugangstollen Limmern/Arge access tunnel Limmern – Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau/CH – Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt am Main/D – Baresel GmbH, Stuttgart/D – G. Lazzarini & Co. AG, Chur/CH – Andrea Pitsch AG, Thusis/CH – Ragotti+Weber Bau AG, Netstal/CH
Lieferanten Suppliers	– Aker Wirth GmbH, Erkelenz/D – Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen/CH

Der endgültige Gewölbeausbau in Spritzbeton wird während des TBM-Vortriebs als nachlaufende Baustelle im Nachläuferbereich vorgenommen. In einer dritten Phase werden beidseitig die Bankette in Ort beton ausgeführt, wobei die Baustellen-

Mechanical excavation of access tunnel

Starting at Tierfehd, a 3800 m long inclined shaft with 8 m diameter and with a gradient of 24 % must be excavated to develop the underground power



1 Gesamtprojekt in der Übersicht

1 Overview of complete project



2 Zugangstollen bis Start-röhre

2 Access tunnel up to starting tunnel

plant caverns. To excavate the inclined shaft, a double gripper tunnel boring machine (TBM) is used by the joint venture in charge of lot A1 access tunnel Limmern – AZL. Geological findings predict stable and medium hard rock formation. Water entry is considered to be minimal. There is, however, the possibility that karst caves with very high water entry might be encountered.

„Never before was such a big tunnel boring machine used to excavate such a steep ascending tunnel“, says Christian Ris, site manager of the joint venture AZL, and he is happy about the high performance tunnel boring machine and the back-up for accomplishing this very demanding task underground (Fig. 1).

A special project is the ability of the TBM to move step by step, completely equipped with a back-up of 1500 t weight and 160 m length, through the access tunnel with 300 m radius, into the 24% ascending starting tunnel (Fig. 2).

The 24 % steep heading is supplied with a hoist car. The excavation material is transported via belt conveyor system to the portal. During heading, so-called bushing niches and a lay-by in the tunnel center are excavated conventionally. The final shell tunnelling with shotcrete is done during TBM heading in a separate construction site in the back-up area. In a third phase, the side supports are constructed on both sides with in-situ concrete, whereby the hoist car supplies the construction site.

Open gripper TBM with double clamps

The project owner had decided to use an open gripper TBM with double clamps. It was developed and constructed by Aker Wirth at their factory in Erkelenz/D, and assembled in

versorgung wiederum über die Windenbahn erfolgt.

Offene Gripper-TBM mit Doppelverspannung

Der Bauherr entschied sich für den Einsatz einer offenen Gripper-TBM mit Doppelverspannung. Diese ist von dem Unternehmen Aker Wirth im Werk in Erkelenz/D entwickelt, konstruiert und vor dem Zugangsstollen montiert worden. Die Ausrüstung mit den Nachlaufinstallationen erfolgte durch die Rowa Tunnelling Logistics AG.

Bisher wurden Schrägschachtbohrungen maschinell bis max. 6 m Durchmesser ausgeführt. Mit einem Durchmesser von 8,03 m ist der Zu-



3 Rückfallsicherung

3 Anti slip-back system

gangsstollen I in Linthal der derzeit größte mit einer TBM aufgefahrene ansteigende Schrägschacht.

Charakteristisch für die Gripper-TBM ist die einzigartige

front of the access tunnel. The back-up installations were supplied by Rowa Tunnelling Logistics AG.

Up to now, mechanical inclined shaft borings up to a

maximum of 6 m diameter were accomplished. With a diameter of 8,03 m, the access tunnel I in Linthal is presently the largest ascending inclined shaft excavated by a TBM.

The unique x-shaped alignment of the clamps is characteristic for the gripper TBM. It enables an extremely precise tunnel boring and, at the same time, reduces the massive pressure onto the tunnel walls caused by the boring process.

Complete solution from boring head all the way to the dump site

The cooperation partners Aker Wirth and Rowa have offered an entire package from a single source for the heading of the inclined shaft. The order re-

x-förmige Anordnung der Verspannungen. Dadurch wird eine extrem präzise Tunnelbohrung erreicht und der durch den Bohrvorgang entstehende massive Druck auf die Tunnelwände minimiert.

Gesamtlösung vom Bohrkopf bis zur Deponie

Die Kooperationspartner Aker Wirth und Rowa haben für den Vortrieb des Schrägschachts alles aus einer Hand angeboten. Der von der AZL erteilte Auftrag umfasste das gesamte Konzept von der Entwicklung, Herstellung, Lieferung bis zur Montage und Inbetriebnahme sowie die Begleitung bis zum Leistungsbetrieb. Die einzelnen Komponenten sind:

- Gripper-TBM
- Rückfallsicherung (Bild 3)
- Nachläufermodule mit nachgeschalteten Arbeitsstellen 1 bis 8
- Sohlübbingeinbaustelle
- Integrierte Versorgungsbahn mit Windenanlage (Bild 4)
- Konsolidierung L2 inkl. mechanisierter Rückprallentsorgung
- Förderbandanlagen
- Installation für den Nischenausbau.

Beim Design des Nachläufers war infolge der großen Neigung und des Bohrdurchmessers von 8 m den einwirkenden Kräften und der Statik höchste Aufmerksamkeit zu schenken. Die Vortriebsinstallation wurde für das Auffahren des Schrägschachtes mit einer zusätzlichen Rückfallsicherung ausgerüstet. Diese unterstützt die Maschine während des Umsetzvorganges zwischen zwei Bohrhüben und sichert sie zusätzlich gegen ein Abrutschen.

3,8 km lange Versorgungsbahn

Die Ver- und Entsorgung des



4 Winde

4 Hoist

Vortriebs bis und vom Heck der TBM erfolgt über eine schienengeführte Versorgungsbahn mit 48 t Nutzlast (Bild 5).

Erstmals konstruierte die Rowa Tunnelling Logistics AG für dieses Projekt eine durch eine Windenanlage betriebene Versorgungsbahn integriert im Nachläufer. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus 3,8 km Windenseil mit 44 mm Durchmesser sowie einer Zugkomposition. Der Antrieb erfolgt durch eine Windenanlage mit 2000 kW installierter Leistung, welche auf einer massiven Stahlkonstruktion in der Nachlauf-einrichtung aufgebaut ist.

Die Winde wird hydraulisch angetrieben und ermöglicht Fahrgeschwindigkeiten von bis

ceived from AZL comprised a complete plan for development, manufacturing, supply, assembly and start up, including assistance all the way to full operation. The individual components are:

- Gripper-TBM
- Anti slip-back system (Fig. 3)
- Back-up modules with following construction sites 1 to 8
- Invert segment installation area
- Integrated supply cars with hoist system (Fig. 4)
- Consolidation L2, including mechanized rebound cleaning installation
- Conveyor belt systems
- Installation for niche construction.

Because of the severe gradient

and the boring diameter of 8 m, the highest attention had to be paid to developing forces and static loads during design of the back-up. The heading installation was equipped with an additional anti slip-back system for excavation of the inclined shaft. The latter supports the machine during transfer between two boring strokes and, at the same time, secures it against sliding.

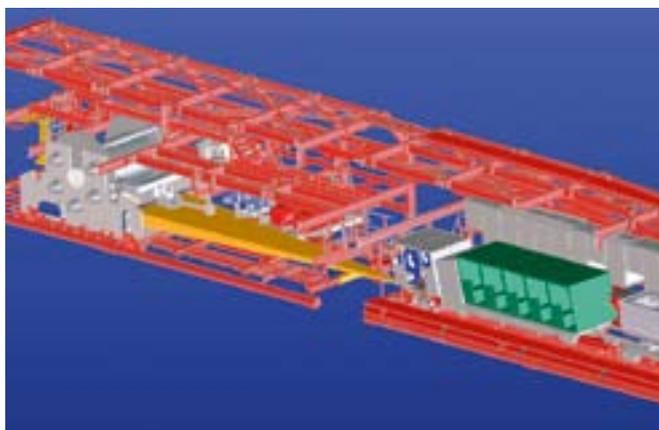
Cable cars for 3,8 km long supply route

Supply and removal of the heading up to and from the rear of the TBM takes place via a track-bound supply cars with 48 t load capacity (Fig. 5).

For the first time, Rowa has constructed for this project a supply cars integrated in the back-up and operated by a hoist system. This installation basically consists of a 3,8 km hoist cable with 44 mm diameter as well as a cable car formation. The drive is initiated via a hoist system with 2000 kW installed capacity, which is mounted onto a massive steel construction in the back-up installation.

The hoist is driven hydraulically and enables driving speeds of up to 4 m/s. Furthermore, it is equipped with safety brakes, excess winding speed- and slack rope release.

The train composition consists of four flatbed cars which can flexibly be equipped with different modules. In Linthal, the moduls are used for supply of the back-up, the heading or for the niche construction as well as for the transport of up to 20 persons. Material handling takes place in the "station" of back-up 1. The shotcrete is recirculated, and invert segments are transported with the invert segment transloading crane to the installation area. The segment transloading crane also transports safety material, waste material and operating material



5 Versorgungsbahn mit Windenanlage

5 Supply route with hoist system



6 Sohlübbingeinbaustelle

6 Invert lining installation point

zu 4 m/s. Des Weiteren ist sie mit einer Sicherheitsbremse, Überdrehzahl- und Schlaffseil-auslösung ausgerüstet.

Die Zugkomposition besteht aus vier flexibel mit verschiedenen Modulen bestückbaren Flachwagen. In Linthal werden Module für die Versorgung des Nachläufers, des Vortriebs oder für den Nischenausbau sowie für den Transport von bis zu 20 Personen eingesetzt. Der Materialumschlag erfolgt im „Bahnhof“ von Nachläufer 1. Dabei wird der Spritzbeton umgepumpt und es werden die Sohlübbinge mit dem Tübbingkran bis zum Einbauort transportiert. Ebenfalls mit dem Tübbingkran werden Sicherungsmaterial, Verschleißmaterial und Betriebsmittel für die TBM vom NL1 bis hinter die Rückfallsicherung befördert, dann auf einem Wagen mit einer Winde bis zur TBM gezogen.

Sohlübbingeinbau

Durch die Versorgungsbahn werden die Sohlübbinge bis in den hinteren Teil des NL1 gebracht. Hier erfolgt die Übernahme jedes Fertigbetonelements durch den Tübbingkran, der bis unter die Verbindungsbrücke zur Rückfallsicherung

fährt. Das Element wird am Lastgehänge des Krans händisch um 90° gedreht und anschliessend positioniert. Die Sohlübbinge mit integrierter Aussparung für die Seilrollen können mittels eines Ankerbohrgeräts mit dem Untergrund verbohrt werden (Bild 6 und 7).

Für die Nachankerung ist ein weiteres Ankerbohrgerät im NL3 positioniert.

Spritzbetonapplikation

Ebenfalls im NL3 erfolgt die Felssicherung und Verkleidung (Netzeinbau und 2 Spritzbetonroboter mit einer maximalen Leistung von 11,5 m³/h). Die beiden Geräte sind auf einem 11,5 m langen, längs verfahrbaren Chassis aufgebaut. Sie arbeiten unabhängig voneinander und können jeweils einen Bereich von rd. 135° abdecken. Zur Entsorgung des Rückpralls dienen 4 Auffangkübel auf längs verfahrbaren Schlitten direkt unterhalb der Spritzdüse. Die Entsorgung erfolgt über die Versorgungsbahn. Durch das realisierte System konnte die händische Sohlenreinigung minimiert und das gefährliche Manövrieren eines Sohlenreinigungsbaggers im Fluchtweg ausgeschlossen werden.

for the TBM from the back-up 1 all the way to behind the anti slip-back system, which are then pulled by a hoist on a car to the TBM.

Invert segment installation
The invert segments are transported via supply train all the way to the rear part of back-up 1. Here, the segment transloading crane, which drives all the way to the connecting bridge of the anti slip-back system, takes over each precast concrete element. The element is manually rotated on the crane load hook by 90° and subsequently positioned. The invert segments, providing hollows for the cable pulley, can be mounted to the ground with a rock bolting device (Fig. 6 and 7).

For the subsequent anchoring, an additional rock bolting device is positioned in back-up 3.

Shotcrete application

Rock reinforcement and lining (net installation device and 2 shotcrete robots with a maximum capacity of 11.5 m³/h) are also performed in back-up 3. The two devices are mounted onto a 11.5 m long, lengthwise drivable chassis. They work independently from each other and can each cover an area of roughly 135°. For rebound cleaning, 4 collection buckets are placed on lengthwise drivable carriages, directly beneath the spray nozzle. Removal takes

Entsorgungslogistik für bis zu 650 t/h

Das Ausbruchmaterial wird nach dem TBM-Förderband auf eine Bandanlage im Nachläufer übergeben, das unter der Decke bis zum NL4 führt. Hier erfolgt eine Übergabe auf das Schleppband. Dieses ist am Tunnel-Parament aufgehängt und übergibt das Ausbruchmaterial rd. 365 m hinter dem NL-Heck auf das Streckenband. Die Streckenbandanlage umfasst Kaskadenbänder von rd. 275 m Länge und setzt sich aus 12 Bandsektionen zusammen. Diese sind wegen der Stollenneigung zu bremsen. Dafür wurden die Elektromotoren mit Rückspeiseeinheiten ausgerüstet, welche sich auf dem Stromnetz abstützen.

Die gewählte Ausführung mit kürzeren Bandsektionen dient einer höheren Sicherheit und Verfügbarkeit (Bild 8).

Einrichtung für den Nischenausbau

Die im Abstand von 550 m rechts und links des Stollens angeordneten Nischen werden bergmännisch ausgebrochen. Die Installation dazu besteht aus den drei Modulen Bohren, Schüttern, Spritzen. Jedes Modul setzt sich aus einem selbsttragenden Grundrahmen mit den entsprechenden Aufbauten zusammen und kann auf die Flachwagen der Versorgungsbahn aufgesetzt werden. Der Nischenausbau kann somit mit minimaler Auswirkung auf den Hauptvortrieb erfolgen.



7 Konsolidierung L2
7 Net securing and shotcrete application L2



8 Nachläuferband für Entsorgung
8 Back-up belt for removal

Fazit

Die beschriebene, hoch mechanisierte Vortriebsinstallation ist ein Beispiel für die stetige Weiterentwicklung der Mechanisierung im Tunnelbau, welche die Rowa Tunnelling Logistics AG auszeichnet. Die umgesetzte konsequente Mechanisierung der Arbeitsschritte führte zu einem leistungsstarken Vortriebssystem nach neuestem Stand der Technik. 

place via supply train. With this system, manual invert cleaning could be minimized and the dangerous manoeuvring of an invert cleaning digger in the emergency exit could be eliminated.

Removal logistics for up to 650 t/h

The excavation material is transloaded from the TBM conveyor band to a conveyor belt system in the back-up underneath the roof, leading to back-up 4. Here, it is transloaded onto the towing conveyor. The latter is suspended on the tunnel side

walls and transfers the excavation material roughly 365 m behind the rear of the back-up to the conveyor belt. The conveyor belt system comprises cascade belts of roughly 275 m length and is composed of 12 belt sections. The latter must be slowed down because of the tunnel gradient. For this purpose, the electric motors are equipped with regenerative feedback braking units, which are connected to the power net.

The method with shorter belt sections enhances safety and availability (Fig. 8).

Equipment for niche construction

Niches which are aligned with a distance of 550 m left and right of the tunnel are excavated. The installations needed are the three modules: drilling, muck removal, shotcrete spraying. Each module consists of a self-supporting basic frame with integrated supporting structures and can be mounted onto the flatbed cars of the supply train. Niche construction can, therefore, take place with minimal effect to the main heading operation.

Conclusion

This illustrated, highly mechanized heading installation is an example of the steady development of mechanization in tunnelling construction, which is Rowa Tunnelling Logistics AG's specialty. The thoroughly realized mechanization of working procedures led to a state of the art high-capacity heading system. 