

# Pumpspeicherwerk Limmern: TBM-Vortrieb eines Zugangsstollens mit 8 m Durchmesser und 24 % Steigung

Kirchhofer, Peter; Dipl.-Ing. ETH/SIA, Stv. Projektleiter IG EB-KLL (Gruner AG, Emch + Berger AG Bern, Slongo Röhlin Partner AG), Abteilungsleiter, Gruner AG, Basel/CH  
Müller, Philippe; Dipl.-Ing. ETH, Gesamtprojektleiter Zugangsstollen I, Axpo AG, Baden/CH  
Voerckel, Manfred; Dipl.-Ing., Aker Wirth GmbH, Erkelenz/D

**Spitzenenergie aus Speicherkraftwerken spielt eine Schlüsselrolle bei der zukünftigen Stromversorgung. Um diese veränderten Anforderungen an die Versorgungssicherheit in Zukunft bewältigen zu können, realisieren die Kraftwerke Linth-Limmern AG mit dem Projekt Linthal 2015 den Ausbau der bestehenden Anlagen im Kanton Glarus. Kernstück der neuen Anlage bildet die Kavernenzentrale Limmern zwischen dem Muttsee und dem Limmernsee auf 1.700 m ü. NN. Die 4 Pumperturbinen weisen je eine Leistung von 250 MW auf.**

**Für den Transport der großen und schweren Maschinenkomponenten sowie für Personentransporte von Tierfehd (800 m ü. NN) direkt in die Maschinenkaverne wird ein Zugangsstollen erstellt und mit einer Standseilbahn ausgerüstet. Der 3.764 m lange Schrägstollen mit 24 % Steigung wird aus Sicherheitsüberlegungen mit einer doppelt verspannten TBM mit Rückfallsicherung aufgeföhren. Die Versorgung des Vortriebs erfolgt über eine im Nachläufer integrierte Windenbahn.**

## 1 Übersicht Linthal 2015

Der Bedarf an Spitzenenergie im europäischen Netzverbund, dem auch die Schweiz angeschlossen ist, steigt stetig. Durch den freien Markt kann der Strom von den Verbrauchern überall eingekauft werden. Entsprechend müssen die Stromnetze ausreguliert werden, um eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten. Weiter sind Erzeugungsspitzen/-flauten (z. B. mit Solar- oder Windenergie) kurzfristig auszugleichen. Generell hat sich das Konsumverhalten der Bevölkerung mit einhergehenden Veränderungen der Produktionsformen in den letzten Jahren stark verändert. Neue Anforderungen an die Versorgungssicherheit werden gestellt. Spitzenenergie aus Speicherkraftwerken spielt dabei eine Schlüsselrolle.

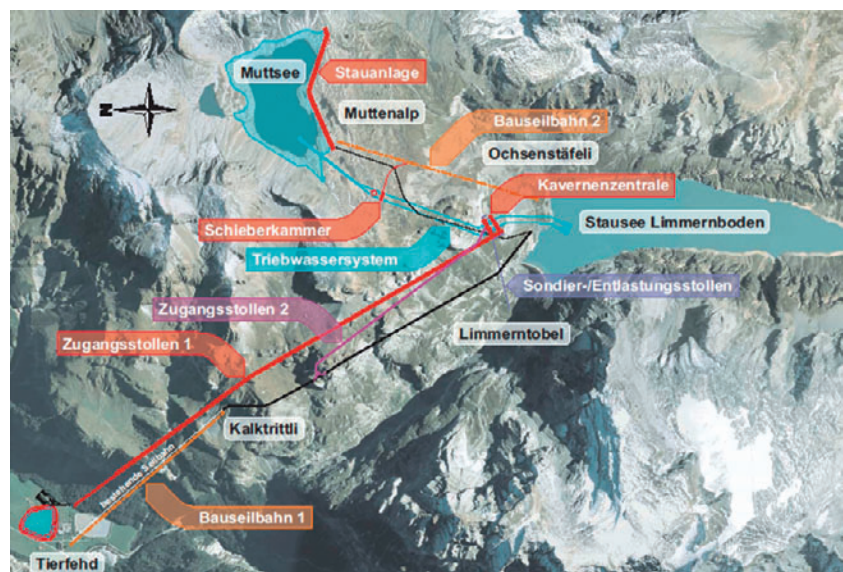
Die Kraftwerke Linth Limmern AG (KLL) realisieren deshalb mit dem Projekt Linthal 2015 den Ausbau der bestehenden Anlagen im Kanton Glarus/CH (Bild 1). Mit dem Neubau des Pumpspeicherwerks Limmern wird die Leistung der Anlagen um 1.000 MW auf 1.650 MW

## Limmern Pump Storage Plant – Access Tunnel with 8 m Diameter and 24 % Gradient

Peak energy from storage energy stations plays a key role for future power supply. In order to be able to cope with these changed demands for ensuring power availability in future, the Linth-Limmern AG utility is undertaking the expansion of the existing facilities by building the Linthal 2010 project in the Canton of Glarus. The Limmern cavern station between the Muttsee and the Limmernsee at 1,700 m asl forms the core of the new facility. The 4 pump turbines each generate 250 MW output.

An access tunnel is being produced for transporting the big and heavy machine components and for carrying personnel from Tierfehd (800 m asl) directly to the machine cavern and equipped with a cable car. The 3,764 m long inclined tunnel with 24 % gradient is to be driven for safety reasons using a gripper TBM with double fall-back security system. A cableway integrated in the back-up keeps the drive supplied.

erhöht, ohne dass das Einzugsgebiet von 140 km<sup>2</sup> vergrößert werden muss.



1 Überblick Pumpspeicherwerk Limmern



2 Stollensystem für Bau- und Betrieb der Kavernenzentrale

Bereits vor dem eigentlichen Bauentscheid wurde mit der Realisierung verschiedener Vorlöse begonnen. So wurden u. a. die neuen Bauseilbahnen (Bild 3) und ein zusätzlicher Stollen zur Erschließung des Projektgebietes erstellt. Der definitive Bauentscheid für die Anlage wurde im September 2009 gefällt und mit den Bauarbeiten wurde im Oktober 2009 begonnen.

### 1.1 Pumpspeicherwerk Limmern

Kernstück der neuen Anlage bildet die Kavernenzentrale Limmern, welche auf rd. 1.700 m ü. NN liegt und eine unterirdische Maschinen- und eine Trafokaverne umfasst (Bild 2). Die Kraftwerkszentrale liegt zwischen dem Mutzsee (Stauziel neu 2.474 m ü. NN) und dem Stausee Limmernboden (Stauziel 1.857 m ü. NN). Die beiden Seen werden durch 2 Druckstollen miteinander verbunden. Das Wasser läuft in der Maschinenkaverne über 4 Pumpturbinen mit je einer Leistung von 250 MW. Zur Energiespeicherung kann Wasser aus dem Stausee Limmernboden in den Mutzsee gepumpt werden.

### 1.2 Ausbau Mutzsee

Der Mutzsee mit einer natürlichen Staukote auf 2.446 m ü. NN wird mittels einer rd. 1.000 m langen und rd. 35 m hohen Stau-

mauer aufgestaut. Mit dem neuen Stauziel auf 2.474 m ü. NN wird der Nutzinhalt des Sees von heute 9 auf 25 Mio. m<sup>3</sup> vergrößert.

### 1.3 Zugangsstollen I

Bereits beim Bau der bestehenden Kraftwerksanlagen auf dem Limmernboden in den 1960er Jahren stellten die Erschließung der Baustelle und die permanente Zugänglichkeit in der Betriebsphase eine besondere Herausforderung dar. Das Projektgebiet ist aufgrund seiner Steilheit nicht über Straßen zugänglich. Wie in den 1960er Jahren erfolgt auch heute die Baustellenerschließung in einer ersten Phase über 2 temporäre Bauseilbahnen mit Nutzlasten bis 25 t und einer Ausnahmelast von 40 bzw. 30 t (Bild 3).

Für den Transport der großen und schweren Maschinenkomponenten in der Bauphase sowie für Personentransporte in der Bau- und Betriebsphase von Tierfehd direkt in die Maschinenkaverne der neuen Kraftwerkszentrale wird der Zugangsstollen I erstellt. Für die verschiedenen Transportbedürfnisse wird der Schrägstollen mit einer Standseilbahn mit 2 Fahrzeugen im Pendelverkehr auf einspuriger Fahrbahn mit exzentrischer Abf'scher Ausweiche ausgerüstet. Je nach Betriebsart sind Nutzlasten bis 40 t (Normaltransport), bis 120 t (Schwerlasttransport) und 215 t (Sondertransport Transformator)

matoren) möglich. Mit einer Steigung von rd. 24 % bei einer Länge von knapp 4 km wird der Höhenunterschied von rd. 1.000 m von Tierfehd in die Maschinenkaverne überwunden.

In der Talstation untertage können Lasten bis 40 t mit dem Zweitträgerlaufkran auf die Standseilbahn umgeladen werden. Je nach Größe und Transportanforderung der Teile erfolgt die Beförderung auf horizontaler Plattform oder aber auf geneigter Plattform im Gefälle des Stollens. In der Tal- und Bergstation besteht die Möglichkeit, die Standseilbahn direkt mit Straßenfahrzeugen zu befahren und diese auch zu transportieren. Zum Beladen der Bahn mit Sonderlasten, d.h. über 40 t, kann der Wagen der Standseilbahn abgekoppelt und von der Talstation vor das Portal verschoben werden. Mittels spezieller Hebegeräte kann hier Material ohne Höheneinschränkung umgeladen werden.

Weiter dient der Zugangsstollen I der Energieableitung aus der Kavernenzentrale. Die entsprechenden 380-kV-Kabel werden beidseitig in den Banketten geführt. Alle ca. 550 m ist hierfür eine Muffennische erforderlich.

#### 1.4 Geologisch-geotechnische Verhältnisse

Durch die Aufwölbung des Limmernkristallins im Zuge der Alpenbildung wurde der auf dem Grundgebirge liegende Mantel aus Sedimentgestein zerbrochen, verfaultet und in nördlicher Richtung in Schichtpaketen übereinander geschoben. Die Überschiebungsflächen der einzelnen Schuppen steigen von Süden aus dem Quintnerkalk nach Norden in die Schichten der Kreide und des Tertiär an. Die meisten Stollen und Kavernen des Projektes Linthal 2015 sowie der gesamte Zugangsstollen I liegen im Quintnerkalk (Bild 4).

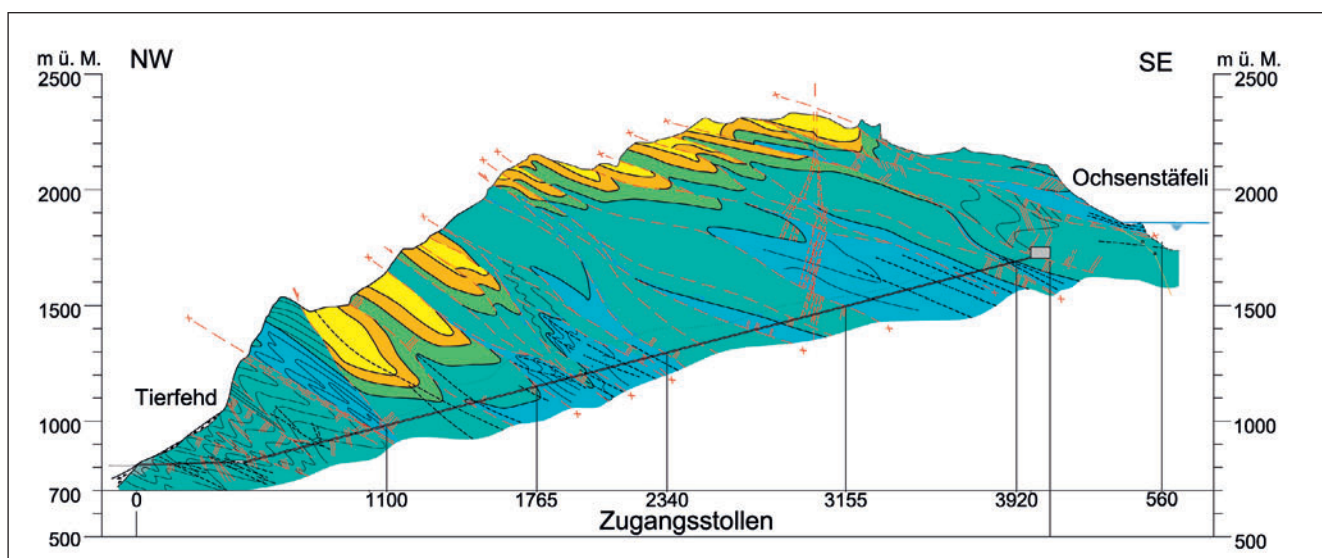
Der Quintnerkalk ist metamorph überprägt und weist dadurch eine Schieferung auf. Dazu kommt die sedimentäre Schichtung, welche in den meisten Fällen eine kleine Winkeldiskordanz zur Schieferung aufweist. Der Fels wird von 1 Hauptklufsystem und 3 Nebenkluftsystemen durchzogen. Weiter quert der Zugangsstollen I den Mörstalbruch. Dieser besteht aus tektonisch zerscherten Felspaketen, welche von sandigen bis verlehnten Kakiritzonen im Dezimeterbereich getrennt sind. Eine Kakiritisierung über die gesamte Bruchbreite wird nicht erwartet, vielmehr tektonisch beanspruchter Kalkfels mit reduzierter Festigkeit.



3 Transport Dumper mit der Bauseilbahn 1

#### 1.5 Hydrologie

Beim Quintnerkalk handelt es sich um ein verkarstungsfähiges Gestein. Wasserführende Klüfte werden durch chemische Erosion zu Karströhren aufgeweitet und es kann eine Karstwasserzirkulation stattfinden. Das gesamte Gebirge wird von einem Karstwasserspiegel nur wenig über der Vorflutbasis der Talebene von Tierfehd und des Limmerntobels liegt. Daraus wird geschlossen, dass die meisten Stollenabschnitte über dem Gebirgswasserspiegel liegen. Die Gebirgsdurchlässigkeit ist an die geöffneten Klüfte gebunden (Bild 5).



4 Geologisches Längenprofil ZS I



5 Karst

Über weite Stollenabschnitte werden lediglich Tropfwasser und Gerinne aus feinen Klufttrissen erwartet. Der Karst wird gegenüber anderen Gebirgsregionen als weniger kritisch betrachtet, da das Einzugsgebiet frei von Gletschern ist und die Hauptentwässerung über ein bekanntes Höhlensystem nördlich Richtung Tierfehd verläuft. Trotzdem lassen sich während des Vortriebs Karstwasser-einbrüche von über 100 l/s nicht ausschließen.

## 2 Planung Zugangsstollen I mit Standseilbahn

Für die Transporte zwischen Tierfehd und Maschinenkaverne hat sich eine Standseilbahn mit einem konstanten Gefälle als wirtschaftlichste Lösung herausgestellt. Mit der Maschinenkaverne ist die Bergstation und damit das Ende von Zugangsstollen I definiert. Für die Talstation wurden verschiedene Varianten untersucht. Neben der Lösung mit Talstation in einer Kaverne und kurzem Zugang Talstation wurde auch die Platzierung der Talstation im Freien geprüft. Aufgrund des ungünstigen Terrainverlaufs zur Steigung der Standseilbahn und dem daraus resultierenden schleifenden Geländeanschnitt fiel die Wahl auf eine Talstation in einer Kaverne mit ca. 260 bis 360 m<sup>2</sup> Ausbruchfläche und 35 m Länge. Die Erschließung erfolgt über einen 220 m langen Zugang.

Für den Betriebszustand der Standseilbahn ergibt sich damit für normale Transporte zwischen Tierfehd und der Maschinenkaverne folgender Ablauf: Die Lasten werden mittels Lastwagen über das Portal in die Kaverne Talstation transportiert, mithilfe eines Zweiträgerlaufkrans auf die Standseilbahn umgeladen, mit der Standseilbahn in die Bergstation in der Maschinenkaverne transportiert und dort von einem Hallenkran abgeladen.

Parallel zur Ermittlung der optimalen Lage der Talstation wurden auch verschiedene Bauverfahren zum Auffahren der unterschiedlichen Stollenabschnitte untersucht. In den vorliegenden geologischen Verhältnissen ist sowohl ein Spreng- als auch ein Einsatz einer Tunnelbohrmaschine (TBM) denkbar.

Nach einer eingehenden Risikoanalyse fiel die Wahl für den 3.764 m langen und mit 24 % steigenden Stollenabschnitt auf eine offene Hartgesteins-TBM. Entscheidend bei der Wahl der Vortriebsmethode waren die Sicherheitsanforderungen beim Vortrieb. Aufgrund der potenziellen Gefährdung infolge Anfahrens eines Karstes und anschließendem Wassereintrich während des

Vortriebs werden die Arbeiten in der Sohle im Vortriebsbereich beschränkt. Die Tunnelbohrmaschine mit den dazugehörigen Nachläufern bietet die Möglichkeit, viele Arbeiten losgelöst von der Sohle ausführen zu können. Das Personal befindet sich nur für einzelne Arbeiten in der Sohle. Zusätzlich bietet der Bohrkopf einen gewissen Schutz bei einer Entleerung eines Karstes in den Stollenquerschnitt. Die Sicherheit wird zusätzlich durch den Einsatz einer konsequenten Vorauserkundung mittels Schlagbohrungen (bis 100 m Länge) durch den Bohrkopf der TBM und den Einsatz einer Seismik verbessert. Der Schrägstollen weist einen Durchmesser von mindestens 8,00 m auf (**Bild 6**). Der Ausbau erfolgt einschalig in Spritzbeton. In der Sohle wird ein Sohlübbing versetzt. Das Normalprofil wurde über das notwendige Lichtraumprofil für den Trafotransport definiert. Das Längenprofil des Schrägstollens weist über die 3.764 m einen Bogen von rd. 80 m Länge und einen Gegenbogen von rd. 21 m Länge bei je einem Radius von 600 m auf.

Die Planung sah vor, die TBM in der Kaverne Talstation zu montieren, in die Startröhre einzuschieben und während eines reduzierten Rumpfvortriebs der TBM die Nachläufer fertig zu montieren.

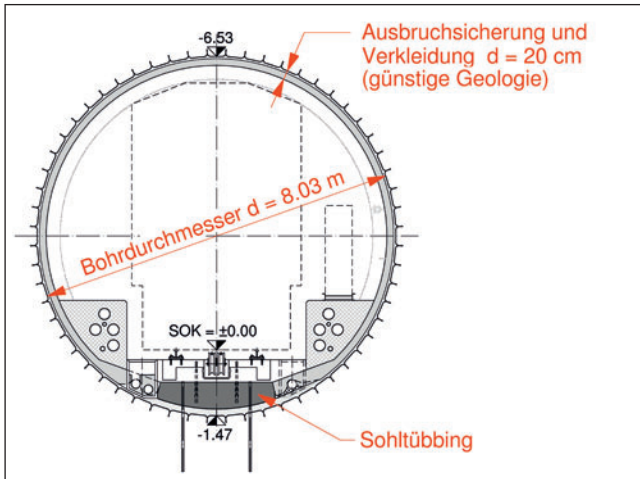
Der Sprengvortrieb für den Schrägstollen wurde in der Ausschreibung nicht explizit ausgeschlossen und damit den Unternehmen die Möglichkeit eines Sondervorschlags geboten. Dagegen wurde der Einsatz von Pneufahrzeugen im Schrägstollen aus Sicherheitsgründen für die Vortriebsarbeiten ausgeschlossen.

Der rd. 220 m lange Stollen mit rd. 50 m<sup>2</sup> Ausbruchquerschnitt vom Portal zur Kaverne Talstation wurde als Sprengvortrieb im Vollausbuch geplant. Der hufeisenförmige Stollen weist ein Gefälle von 1 % auf und liegt nahezu über der gesamten Länge auf einer Kurve mit Radius 300 m. Für den Ausbruch der Kaverne Talstation mit einer Querschnittsfläche von 260 bzw. 360 m<sup>2</sup> war ab dem Zugang Talstation ein steiler Erschließungsstollen der Kavernenfirste vorgesehen. Der weitere Ausbruch war in 6 Etappen als Sprengvortrieb geplant.

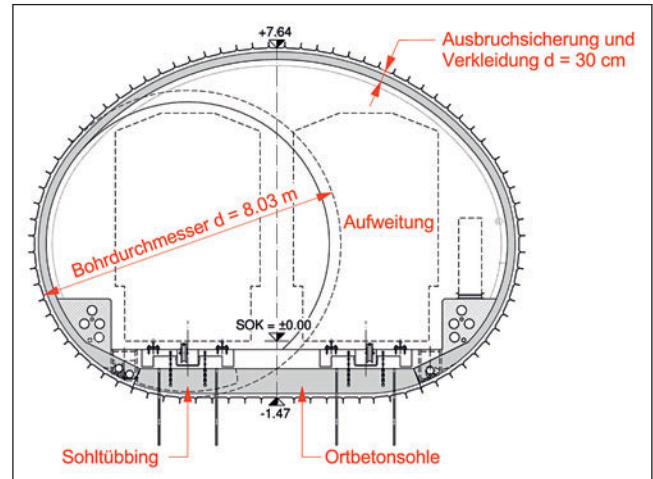
Der Ausbruch der Ausweichstelle im Schrägstollen erfolgt in einer ersten Phase mit der Tunnelbohrmaschine. Im Bereich der späteren Aufweitung des Querschnitts erfolgt eine reduzierte Sicherung. Nach Abschluss des TBM-Vortriebs wird das Kreisprofil auf rd. 220 m Länge sprengtechnisch zur Ausweichstelle mit einer maximalen Querschnittsfläche von 94 m<sup>2</sup> aufgeweitet und ausgebaut (**Bild 7**).

Der einschalig mit Spritzbeton und Sohlübbing ausgebaute Zugangsstollen I wird mit einer Standseilbahn ausgerüstet. Die Bahn verläuft auf einer Trasse bestehend aus vorgefertigten Betonelementen, welche mit hoher Genauigkeit zu versetzen sind. Jedes Element weist die Grundabmessung von 4,4 x 2,4 m (L x B) auf und wird direkt zusammen mit den Rollenkasten erstellt. Für den Zugangsstollen I werden 7 verschiedene Elementtypen unterschieden. Zwischen 2 Elementen ist jeweils 1 Schlaufenstoß mit einer Länge von 50 cm in Ortbeton angeordnet. Im Bereich der Schlaufenstöße wird die Trasse mit 2 Schubdübeln in den Sohlübbing verankert. Die vorgefertigten Elemente werden mit SCC-Beton untergossen. Bereits mit der Vorfertigung der Elemente werden auch die Einlagen für die spätere Schienenbefestigung eingelegt.

Der Zugangsstollen I wird in der Betriebsphase im Trennsystem entwässert. Das anfallende Bergwasser wird mittels Drainageelementen gefasst und zu den seitlichen Drainageleitun-



6 Normalprofil Zugangsstollen I (Schrägstollen)



7 Normalprofil Ausweichstelle

gen am Gewölbefuß geführt und eingeleitet. Im Abstand von ca. 100 m liegen Kontrollschächte, welche den Unterhalt in der Betriebsphase gewährleisten. Da keine Sammelleitung vorgesehen ist, werden die Drainageleitungen entsprechend größer ausgebildet.

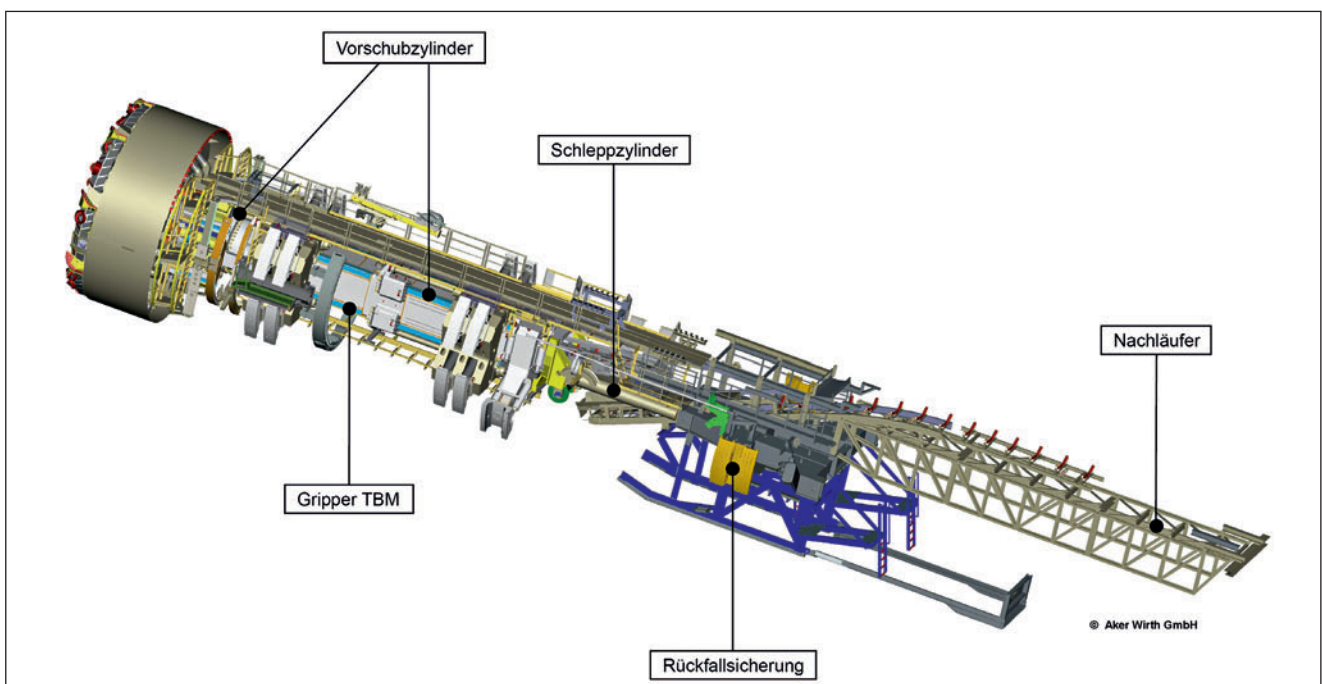
Das anfallende Tunnelwasser fließt in die Tunnelwasserleitung, welche neben der Gewölb draina geordnet ist. Diese wird geschlossen durch die Kontrollschächte der Gewölb draina geleitung bzw. die Drainageleitung geschlossen durch den Kontrollschacht der Tunnelwasserleitung geführt. Die Kontrollschächte der Tunnelwasserleitung weisen zur Verhinderung einer Brandausbreitung eine Siphonierung auf. Das Tunnelwasser wird über den Rollenkasten gesammelt. Die entsprechende Ableitung verläuft unter den vorgefertigten Elementen und wird im Bereich der Schlaufenstöße Richtung Kontrollschacht der Tunnelwasserleitung geführt.

### 3 Tunnelbohrmaschine

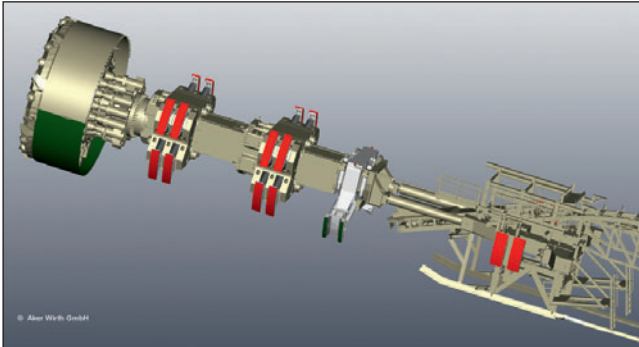
#### 3.1 Anforderungen

Der Vollausbau eines Schrägstollens mit 8,03 m Bohrdurchmesser bei einer Steigung von 24 % ist zurzeit weltweit einmalig. Die ständige Sicherheit für Personal und Gerät stellt bei der Wahl der Vortriebsmethode das wichtigste Kriterium dar. Der potenzielle Karst erfordert ein Verspannsystem, das auf eine reduzierte Krafteinleitung in den Paramenten oder teilweise fehlende Tunnelwand reagieren kann. Die Ausschreibung definierte eine TBM mit Doppelverspannung.

Je nach Vortriebsklasse erfolgt die Sicherung mittels Spritzbeton, Netzen, Ankern und Bogenausbau. Der bei Bedarf vorgesehene Ausbau mit einem mehrteiligen Stahlbogen (TH-Profil), möglichst dicht hinter dem Bohrkopf eingebaut, soll nicht von der Verspannung beeinträchtigt oder beschädigt werden. Beim Umsetzen der TBM – Vorbereitung für den nächsten Bohrhub –

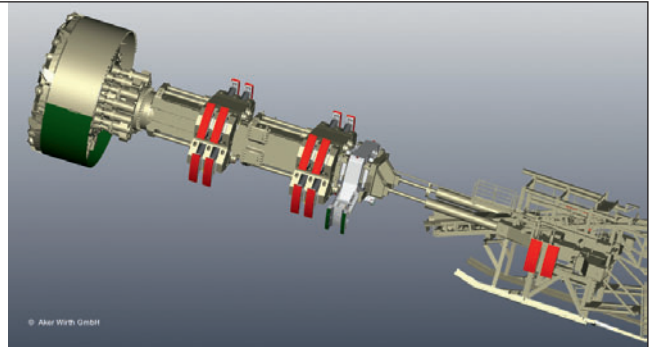


8 Systembild der Hartgestein Gripper TBM



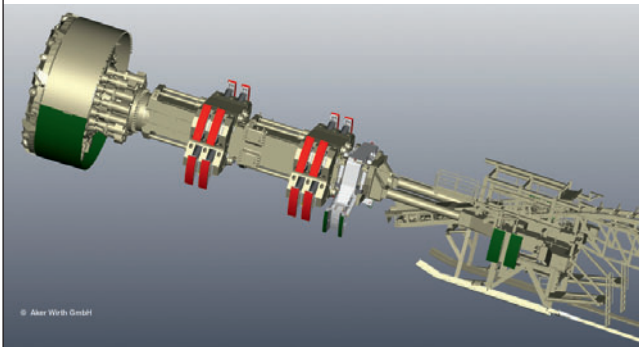
Beginn Bohrhub:

- TBM verspannt (rot) und Rückfallsicherung verspannt (rot)
- Vorschubzylinder eingefahren
- TBM-Abstützungen eingefahren (grün)



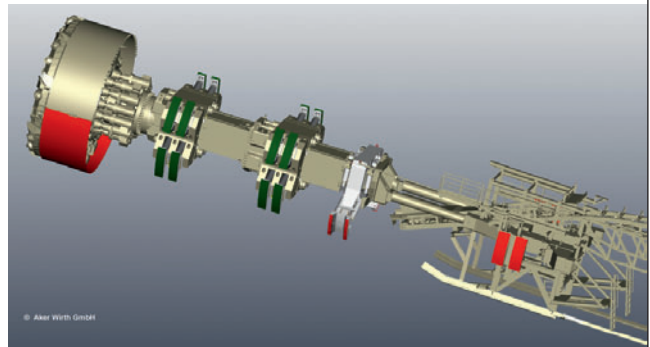
Ende Bohrhub:

- TBM verspannt (rot) und Rückfallsicherung verspannt (rot)
- Vorschubzylinder TBM ausgefahren
- Schleppzylinder ausgefahren



Umsetzen der Rückfallsicherung:

- TBM verspannt (rot), Spannschilder der Rückfallsicherung einfahren (grün)
- Rückfallsicherung mit Nachläufer nachziehen (Schleppzylinder einfahren)



Umsetzen der Maschine:

- TBM-Abstützungen ausgefahren, Rückfallsicherung verspannt (rot), Verspannung einfahren (grün), Außenkellys vorschieben (Vorschubzylinder einfahren)
- Ausrichtung: Laserausrichtung mithilfe der Abstützungen

### 9 Rückfallsicherung Betriebssequenz

wird die Verspannung gelöst. Ein zusätzliches Haltesystem muss in dieser Phase das Gesamtgewicht von TBM und Nachläufer von ca. 1.500 t gegen Abrutschen sichern. Gleiche Sicherheitsanforderungen gelten für Stromausfälle, Bedienungsfehler und Schäden an der TBM-Hydraulik.

## 3.2 Lösungen

### 3.2.1 Maschinenkonzept

Die TBM weist eine X-Verspannung gegliedert in 2 Ebenen auf. Die Verspannkraften werden auf insgesamt 16 Spannschilder (Gripper) verteilt. Die beiden Verspannebenen können unabhängig voneinander positioniert und gefahren werden. Damit ist ein Verspannen bei Stahlringausbau mit unterschiedlichen Bauabständen möglich, Schwachstellen in der Tunnelwand kann ausgewichen werden. Jedes Spannschild lässt sich einzeln fahren und somit bei Bedarf gebirgs- oder ausbauschonend verspannen.

Der Bohrkopf wird durch die Doppelverspannung beim Bohren zwangsgeführt. Ein kontinuierliches Steuern des Bohrkopfes mit dem Bohrkopfschild, was zusätzlichen Verschleiß der Bohrwerkzeuge verursacht, ist nicht erforderlich. Der stufenlos regelbare Elektroantrieb ermöglicht einen ruhigen, vibrationsarmen Vortrieb (Bild 8).

### 3.2.2 Sicherheit im Schrägschacht

Automatische Verriegelungen/Überwachungen stellen sicher, dass eine Mindestverspannkraft nicht unterschritten wird und

die TBM nicht rückwärts rutscht. Sinkt die Verspannkraft ab, wird mit einem definierten Sicherheitsabstand vor Unterschreitung der kritischen Mindestverspannkraft die Rückfallsicherung automatisch aktiviert. Ein stickstoffbeaufschlagtes Drucksystem bringt die Spannschilder der Rückfallsicherung mit der Tunnelwand in Eingriff. Über die Kinematik selbsthemmender Knebelhebel wird bei zunehmender Hangabtriebskraft die Haltekraft der Rückfallsicherung weiter verstärkt und damit die Sicherheit gegen Rutschen erhöht (Bild 9).

Vor dem planmäßigen Lösen der TBM-Verspannung beim Umsetzen der TBM kommt die Rückfallsicherung ebenfalls zum Einsatz. Die entstehende Haltekraft ist ein definiertes Vielfaches der Hangabtriebskraft, resultierend aus dem Gesamtgewicht der Anlage und den Reaktionskräften.

### 3.2.3 Sicherungsarbeiten

Unmittelbar hinter dem Bohrkopfschild ist auf jeder Seite der TBM je ein hydraulisch betriebenes Ankerbohrgerät angeordnet. Seine Schwenkinematik erlaubt Ankerpositionen im jeweils oberen Tunnel-Quadranten, die längsverschiebbare Anordnung zeitgleiches Ankerlochbohren während der Vortriebsarbeiten. Mit einer Ausbausetzvorrichtung können gleichzeitig mit dem Vortrieb mehrteilige Stahlbögen vormontiert, im Tunnel platziert und bei Bedarf gegen das Gebirge verspannt werden. Mit 2 mechanisierten Spritzdüsen, rechts und links der TBM hinter dem Bohrkopf-

TBM		
Modell		TB 803 E
Typenbezeichnung		Gripper TBM
Nennbohrdurchmesser mit neuen Werkzeugen		8,03 m
Bohrdurchmesser mit verschlissenen Werkzeugen		8,00 m
Bohrgeschwindigkeit max.		6 m/h
Anzahl Schneidwerkzeuge		6 x Zentrum, 57 x Ortsbrust, 3 x Kaliber
Schneidrollentyp		17 Zoll Einringdiskenrolle, Rückwärtsmontage
Bohrhub		2,0 m
Anzahl Vorschubpressen		8
Maximaler Gesamtvorschub		22.520 kN
Arbeitsdrehmoment		5.443 @ 6,0 und 5.730 @ 5,7 kNm@rpm
Antriebskonzept		peripherer Antrieb/elektrisch/Umrichter
Losbrechmoment		7.450 kNm
Bohrkopfdrehzahl		0 bis 7,1 rpm
Bandbreite		1.000 mm
Bandgeschwindigkeit		0 bis 2,5 m/s
Fördervolumen		560 m <sup>3</sup> /h
Gewicht (Grundmaschine ohne Nachläufer)		ca. 750 t
Installierte Leistung der Grundmaschine		12 x 300 + 485 = 4.085 kW
Einbau Sicherungsmittel		
Ausbausetzvorrichtung		6-teiliger Ring, TH29
Ankerbohrgerät		2 Stück
Lafettennutzlänge		4 m
Arbeitsbereich		90 °
Powerpack		insgesamt 90 KW
Sondierbohrgerät		1 Stück
Lafettennutzlänge		1.850 mm
Bohrdurchmesser		100 mm
Arbeitsbereich		+/-180 °
Powerpack		90 KW
Spritzeinrichtung		2 Stück
Spritzleistung		3,5 m <sup>3</sup> /h
Radialer Fahrweg		je 180 °
Längsfahrweg		2 m
<b>Nachläufer</b>		
Länge		135 m
Spurbreite Windenbahn		900 mm
System		1 Brücke + 8 Kuffennachläufer
Gewicht		550 t
Spritzbetonroboter L2		2
Ankerbohrgeräte L2		2
Tunnellutte		1.800 mm
<b>Elektrosystem Gesamtanlage</b>		
Primärspannung		16.000 V
Spannung Hauptantriebe		690 V
Spannung Nebensysteme		400 V
Beleuchtungsspannung		230 V
Transformatoren		3 Stück
Leistung		1.650 kVA

**Tabelle 1** Technische Daten TBM und Nachläufer

mantel auf kreisförmigen Verfahrschienen angeordnet, wird bei Bedarf eine erste Lage Spritzbeton zwischen Bohrkopf und vorderer Verspannung im Firstbereich appliziert.

Mit diesen 3 Systemen wird der frühzeitige Einbau des Firstschutzes unterstützt, ohne dass die TBM vor Ende Bohrhub angehalten werden muss.

### 3.2.4 Vorauserkundung

Hinter der vorderen Verspannebene ist um die TBM herum eine kreisförmige Fahrschiene angeordnet, auf der ein verfahrbares Schlagbohrgerät für die Erkundungsbohrungen geparkt ist. Die Fahrschiene ermöglicht es, unterschiedliche Positionen für die

Erkundungsbohrungen im Tunnelquerschnitt anzufahren, die um die TBM herum liegen können. Einzelne Elemente der Fahrschiene sind herausnehmbar, um beim TBM-Betrieb Transportwege frei zu halten. Die Vorauserkundungsbohrungen finden während der planmäßigen Wartungsarbeiten der TBM statt.

### 3.2.5 Nachläufer

Im 135 m langen Nachlaufsystem sind alle Energie-Versorgungssysteme der TBM und der Ausbausysteme, die TBM-Steuerung, die Sekundärbelüftung, die Entstaubung, die Druckluftversorgung, die Wasserversorgung und -entsorgung, die Personalräume und der Werkstattbereich untergebracht. Im Nachläufer wird



10 Fertig montierte TBM und Nachläufer vor Portal

der Regeltunnelausbau – Sohlübbing und bewehrte Gewölbespritzbetonschale – komplettiert. Weiter besteht die Möglichkeit, zusätzliche Anker zu setzen.

Ein Grobsieb mit Brecher, zwischen Maschinenband und erstem Nachläuferband angeordnet, zerkleinert zu große Gesteinsbruchstücke, die sich trotz der Limitierung in den Bohrgutaufnahmeöffnungen des Bohrkopfes im Bohrgutstrom befinden. So werden das Personal und alle Einrichtungen im Tunnel hinter der TBM vor übergroßen Gesteinsbrocken geschützt, die vom Band fallen könnten und unkontrolliert im Schrägtunnel herunterpoltern.

Eine Kaskadenbandanlage, welche dem Vortriebsfortschritt entsprechend in 275 m-Schritten nachgebaut wird, fördert kontrolliert das Ausbruchmaterial bis vor das Portal. Die Versorgung der Tunnelvortriebsanlage erfolgt mit einer Windenbahn. Mit einer Seilwinde, die in den Nachläufer integriert ist, werden die Material- und Versorgungszüge von der Talstation bis in den Nachläufer hineingezogen. Die Zugkompositionen, bestehend aus 3 Flachwagen mit je 10 m Länge und verschiedenen Aufsatzvorrichtungen für die unterschiedlichen Materialien und Transportzwecke, werden mit max. 4 m/sec gezogen. Eine Zugeinheit erlaubt eine Nutzlast von max. 48 t.

### 4 Erste Erfahrungen bei der Ausführung

Aufgrund der engen Platzverhältnisse in der Kaverne Talstation, der komplexen zeitlichen Montageabläufe der Vortrieb- und Logistikeinrichtungen und der Möglichkeit des Schreitens der TBM hat sich der Auftragnehmer (AN) mit dem Projektstart für die Montage der TBM und sämtlicher Nachläufer (Gesamtlänge rd. 160 m) vor dem Portal entschieden (Bild 10). Um das Einschreiten der TBM überhaupt zu ermöglichen, wurde durch den AN die Querschnittsfläche vom Zugang Talstation von 50 auf 70 m<sup>2</sup> vergrößert. Die TBM mit den angehängten Nachläufern (Gesamtwicht 1.500 t) hat die rd. 255 m durch den Zugang Talstation und die Kaverne Talstation bis in die vorbereitete Startröhre aus eigener Kraft im Schreitmechanismus überwunden. Ab der Startröhre kamen die Gripper zur Verspannung der Maschine zum Einsatz.



11 Baustellenbahnhof in der Kaverne Talstation

Die Dimensionen der Kaverne Talstation blieben trotz Wegfall der TBM-Montage unverändert. In der Kaverne sind für die Betriebsphase der Kommandoraum und verschiedene Technikräume untergebracht. Durch die Verlegung der Montagearbeiten vor das Portal konnte der AN gleichzeitig Ausbrucharbeiten für die 100 m lange Startröhre ausführen. Während der Endmontage der TBM vor dem Portal erfolgte der Ausbruch und Einbau des Baustellenbahnhofs in der Sohle der Kaverne (Bild 11). Dieser muss in einer späteren Bauphase in den Bahnhof für die Standseilbahn umgebaut werden. Aufgrund unterschiedlicher Platzanforderungen konnte nicht direkt die Grube für den Bahnhof in der Talstation erstellt werden.

Der TBM-Vortrieb wurde Ende Oktober 2010 aufgenommen. Der Wasseranfall und die bis dahin angetroffenen Karstsysteme im Zugangsstollen I entsprechen sehr gut der geologischen-hydrologischen Prognose. Der Durchschlag in die Maschinenkaverne wird im Frühling 2012 erwartet.

### 5 Schlussbemerkungen

Die zeitlichen Anforderungen der Planung von Zugangsstollen I inkl. Standseilbahn sind eng mit dem Terminprogramm des Gesamtprojektes verbunden. Bereits in der Planung galt es, die Schnittstellen zu den verschiedenen anderen Planungsteams im Auge zu behalten. Mit einer systematischen Risikobetrachtung wurde bereits im Bauprojekt das Vortriebskonzept im Detail untersucht und die Weichen für die Ausführung gestellt. Mit der gewählten Vortriebsmaschine wird den besonderen Randbedingungen mit einer Steigung von 24 % über 3.764 m bei einem Ausbruchdurchmesser von mindestens 8,00 m im verkarstungsfähigen Gestein optimal Rechnung getragen.

### Literatur

- [1] Börker, M.; Ammon, C.; Frey D. (2010): Zugangsstollen I für Kraftwerke Linth-Limmern, Tunnel 8/2010, S. 25-31
- [2] Jenny, H.; Mayer, C. M. (2010): Kraftwerk-Projekt Linth 2015, Tunnel 8/2010, S. 37-42