

Lake-Mead-Zulauftunnel Nr. 3

J. McDonald, W. Burger

Die Wasserversorgung von Las Vegas im US-Bundesstaat Nevada erfolgt zu 90 % über Wasser, das hinter dem Hoover Dam im Lake Mead angestaut wird. Der Bau des Lake-Mead-Zulauftunnels Nr. 3 soll diese Wasserversorgung auch für die Zukunft weiter sichern.

Projekthintergrund

Der Colorado River entspringt in den Rocky Mountains, von deren Winterschneedecke er hauptsächlich gespeist wird. Er fließt durch den Südwesten der Vereinigten Staaten und durchquert dabei den Grand Canyon sowie eine Reihe von Dämmen und Stauseen, die Millionen von Menschen mit Wasserkraft sowie Wasser (Trinkwasser, landwirtschaftlich sowie industriell genutztes Wasser) versorgen. Die Wasserversorgung von Las Vegas im US-Bundesstaat Nevada erfolgt zu 90 % über Wasser, das hinter dem Hoover Dam im Lake Mead angestaut wird.

In den letzten 9 Jahren haben Dürreperioden im Westen der USA zu fallenden Wasserständen in den Stauseen entlang des Colorado River beigetragen. Die Dürre hat beim Lake Mead zu einer Senkung des Wasserpegels um ungefähr 35 m geführt. Dies entspricht einem Wasserstand von 338 m über dem Meeresspiegel.

Jim McDonald, Projektleiter,
Vegas Tunnel Constructors
Werner Burger, Konstruktionsleiter,
Herrenknecht AG

Das „Las Vegas Valley“ bezieht derzeit sein Wasser von 2 unter Wasser befindlichen Zuläufen im Osten von Saddle Island in der Nähe der Westküste (Bild 1).

Wenn der Wasserstand des Sees um weitere 18 m sinkt, kann der Zulauf 1 nicht länger genutzt werden. Bei einer Absenkung auf 305 m wird der zweite Zulauf ebenfalls trocken liegen. Dieser Wasserstand würde außerdem die Stromerzeugung am Hoover Dam einschränken.

Die Wasserbehörde „Southern Nevada Water Authority (SNWA)“ hat im Zusammenhang mit einer Analyse zur Verbesserung der Wasserqualität diese möglicherweise auftretende Problemstellung ebenfalls untersucht. Der Bau eines dritten Zulaufes, Zulauftunnel 3, soll das Problem beheben (Bild 2).

Der Bau des Zulauftunnels Nr. 3 wird durch Parameter wie das sedimentäre und vulkanische Gestein, die Tunneltiefe mit entsprechend hohen Wasserdrücken sowie die Tiefe und Größe des unter Wasser befindlichen Einlaufbauwerkes am Ende des Tunnels kompliziert.

Aufgrund der Komplexität dieses Lösungsschemas hat sich

Lake Mead Intake Tunnel No. 3

J. McDonald, W. Burger

In Las Vegas, Nevada, 90 % of the city's water supply is obtained from the Colorado River at Lake Mead, behind the Hoover Dam. The Construction of the Lake Mead Intake Tunnel No. 3 will assure the water supply for the future.

Project Background

The Colorado River originates in the Rocky Mountains, fed primarily by the winter snowpack, and flows through the desert southwest of the United States. Along the way, it passes through the Grand Canyon and a series of dams and reservoirs, supplying hydroelectric power and fresh water for millions of people and a variety of uses, including drinking, agriculture, and industry. In Las Vegas, Nevada, 90 % of the city's water supply is obtained from the Colorado River at Lake Mead, behind the Hoover Dam.

Over the last 9 years, drought conditions that have prevailed in the western USA have contributed to declining reservoir levels all along the Colorado. At Lake Mead, this drought has resulted in a decline in the surface level of about 35 m to elevation 338 m above mean sea level.

The Las Vegas valley currently draws its water from 2 underwater intake structures east of Saddle Island near the western shore (Fig. 1).

If the lake level continues to decline another 18 m, Intake No. 1 will become unusable. If the lake level declines to Elevation 305 m, the second in-

take will be unusable. The ability to generate electric power at Hoover Dam would also be compromised at this level.

The "Southern Nevada Water Authority (SNWA)" has analyzed this potential problem in conjunction with its analysis of a source of higher quality water. The solution is the construction of a third intake, Intake No. 3 (Fig. 2).

This proposed configuration is complicated by the sedimentary and volcanic geology, the depth of the tunnel with corresponding hydrostatic pressures, and the depth and size of the underwater intake structure at the end of the tunnel. Because of the complexity of the solution, SNWA decided to approach the Project using the design-build delivery method. After a lengthy procurement process, SNWA selected a joint venture of Impregilo S.p.A. (Milano/Italy) and S.A. Healy Co. (Chicago, Illinois/USA) to design and construct the intake tunnel and structure. The joint venture, known as Vegas Tunnel

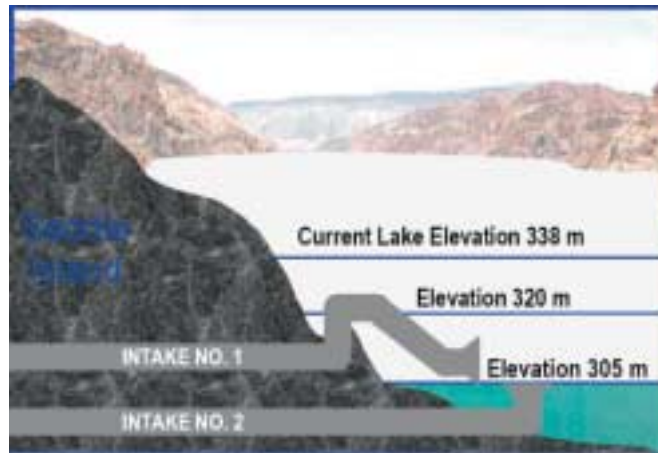
Jim McDonald, Project Manager,
Vegas Tunnel Constructors
Werner Burger, Manager Design
Division, Herrenknecht AG

die SNWA dafür entschieden, das Vorhaben als „Design Build Project“ durchzuführen. Nach einem langwierigen Auswahlverfahren hat die SNWA einer aus Impregilo S.p.A. (Mailand/Italien) und S.A. Healy Co. (Chicago, Illinois/USA) bestehenden Arbeitsgemeinschaft den Zuschlag für den Entwurf und den Bau des Zulauftunnels sowie des Zulaufbauwerkes erteilt. Die Arbeitsgemeinschaft mit dem Namen „Vegas Tunnel Constructors“ hat die Planungsfirma Arup USA federführend mit dem Entwurf des Projektes und das Planungsbüro Brierley Associates mit der geotechnischen Beratung beauftragt. Die Herrenknecht AG, Schwannau/D, erhielt den Zuschlag für den Entwurf und die Herstellung der Tunnelvortriebsmaschine zur Durchführung des schwierigen Tunnelbauvorhabens.

Der Zugang zum neuen Zulauftunnel erfolgt über einen mit Beton ausgekleideten 170 m tiefen Schacht mit einem Durchmesser von 9,1 m. Der Zugangsschacht wird im Sprengverfahren mit nachfolgender Ortbetonauskleidung erstellt. Für den Bau des Zugangsschachtes sind umfassende Sondier- sowie Vorausinjektionen erforderlich.

Am Fuße des Zugangsschachtes wird die Arge eine Kaverne zur Montage der TBM sowie einer Startröhre mit einer Gesamtlänge von 137 m errichten. Die Montage der TBM in dem tiefen Schacht stellt eine weitere Herausforderung dar. Hierzu sind Portalkran und Litzen-Hubsysteme vorgesehen.

Der Zulauftunnel hat eine Länge von 4,8 km und wird mit einem einschaligen Tübbingausbau mit einem Innendurchmesser von 6 m ausgekleidet. Die Tunnelauskleidung, bestehend aus vorgefertigten Tübbinglingen, wird als Universalring (5 + 1) mit einer Ringlänge von



1 Bestehendes Zulaufsystem des Lake Mead

1 Existing Lake Mead Intake Scheme

1,8 m und einer Dicke von 35,6 cm ausgelegt. Der Auslegungsdruck der Auskleidung liegt bei 17 bar.

Der Zulauftunnel verläuft hauptsächlich in tertiärem Muddy-Creek-Sedimentgestein. Die Muddy-Creek-Formation besteht aus Schichten mit gips- und eisenhaltigem Tonstein, Zwischenlagerungen aus Schluffstein, Sandstein- und Kieselkonglomerat, braunem Konglomerat sowie rötlich-brauner konglomeratischer Brekzie. Auf der Zulaufseite des Tunnels erfolgt der Vortrieb in älterem Tertiärkonglomeraten (rotem Sandstein) und Calville-Mesa-Basalt. Entlang der gesamten Vortriebsstrecke werden zahlreiche Störzonen durchfahren, von denen einige größere vertikale Verschiebungen aufweisen. Obwohl viele dieser Störzonen mit Sekundärmineralien ausge-

Constructors, appointed Arup USA as the lead designer of the Project, with Brierley Associates as the geotechnical consultant. For the complex tunnel construction, the joint venture selected Herrenknecht AG, Schwannau/D to design and manufacture the Tunnel Boring Machine.

The new intake tunnel will be accessed through an access shaft excavated to a depth of 170 m, with a concrete lining of 9.1 m. The access shaft is being excavated by drill and blast methods with concurrent concrete lining. Extensive probing and pre-excavation grouting is required to advance the access shaft.

At the base of the access shaft, the joint venture will construct a TBM erection chamber and starter tunnel with total length of 137 m. Erecting the



2 Schema Zulauftunnel Nr. 3

2 Intake No. 3 Configuration

TBM in the deep shaft will present another major challenge. A gantry and strand jack system is anticipated.

The Intake Tunnel is 4.8 km in length and will be supported and lined with a gasketed precast concrete segment lining with inner diameter of 6 m, designed for full 17 bar pressure. The precast lining will be a universal type ring and is composed of 5 pieces plus a key with ring length of 1.8 m and thickness of 356 mm.

The Intake Tunnel is primarily located in the Tertiary sedimentary rock of the Muddy Creek Formation. The Muddy Creek is divided into zones of gypsiferous mudstone, interbedded siltstone, sandstone and pebble conglomerate, tan conglomerate, and reddish brown conglomeratic breccias. At the Intake end of the tunnel, excavation will be through an older Tertiary conglomerate of the Red Sandstone Unit and basalt of the Calville Mesa Unit. Throughout the alignment, dozens of faults, some with major vertical displacement, will be encountered. Although many of these faults have been filled with secondary mineralization, it is presumed that the formations are directly recharged by the waters of Lake Mead and that large amounts of water will be encountered.

The Intake Structure at the end of the tunnel is designed as a structure that will be constructed near the shore of the lake, then towed and lowered into an underwater excavation. The structure is designed with a double bulkhead and a reception dock for the TBM.

Dual Mode TBM

The TBM for Lake Mead Intake No. 3 is a single shield machine for difficult hard rock ground conditions with some

füllt wurden, ist anzunehmen, dass diese Formationen direkt mit Wasser des Lake Mead wieder aufgefüllt werden, wodurch mit größeren Wassermengen zu rechnen ist.

Das Zulaufbauwerk am Tunnelende wird in der Nähe des Seeufers errichtet und dann in eine unter Wasser befindliche Kaverne geschleppt und abgesenkt. Dieses Bauwerk besteht aus einer doppelwandigen Druckwand sowie einer Zielöffnung für die TBM.

Umstellbare TBM

Bei der TBM für Lake Mead 3 handelt es sich um eine geschildete TBM, ausgelegt für schwierige Hartgesteinsbedingungen mit potenziell hohen Grundwasserzuflüssen und Wasserdrücken. Im geotechnischen Gutachten (GBR) werden 2 Abschnitte beschrieben, in denen ein „Vortrieb im geschlossenen Modus, umfassende Injektions- und Konsolidierungsmaßnahmen oder eine Kombination beider Maßnahmen erforderlich sind“. Die Spezifikationen für die TBM verlangen eine Schildmaschine mit Steuergelenk, ausgelegt für den Vortrieb in offenem oder geschlossenem

Modus in Fels, Lockergestein oder einer Kombination aus beidem. Die Maschine soll mit Vorausböhrkanälen für Injektions- sowie Konsolidierungsmaßnahmen vor der TBM (12 Stück am Umfang, 4 Stück im Brustbereich) ausgerüstet sein. Bei Betrieb im offenen Modus soll es möglich sein, die Maschine innerhalb von 120 Sekunden druckdicht zu verschließen. Der Auslegungsdruck soll 17 bar betragen.

Die Konstruktion der TBM selbst beruht im Wesentlichen auf Erfahrungen mit zum Teil vergleichbar ausgeführten Tunnelvortriebsmaschinen. Dies sind z. B. Hallandsas (Einfachschild-TBM für offenen und geschlossenen Modus) in Schweden sowie Arrowhead in San Bernardino, Kalifornien (Einfachschild-TBM für offenen Betrieb mit umfassenden Vorausböhrmöglichkeiten), sowie zahlreiche Mixschildensätze unter hohen Drücken.

Aufgrund der wechselnden geologischen Bedingungen kann die für das Projekt Lake Mead konzipierte TBM im offenen Modus (Materialtransport durch eine zentral installierte Förderschnecke mit Tunnelband) als Hauptbetriebsart sowie im halb

potential for high groundwater inflows and high hydrostatic pressures. The geotechnical baseline report (GBR) identifies at least 2 intervals that would require “pressurized face excavation, extensive pre-excavation grouting and ground treatment, or a combination thereof”. The TBM specification asks for a “fully shielded TBM articulated as required with the ability to operate in a pressurized and unpressurized mode and tunnel through rock, soil and mixed face conditions”. The machine should be prepared for probing and ground improvement ahead of the TBM (12 periphery positions, 4 face positions), rapid closure within 120 seconds if operating in an unpressurized mode and layout for operation and access up to 17 bar (247 psi).

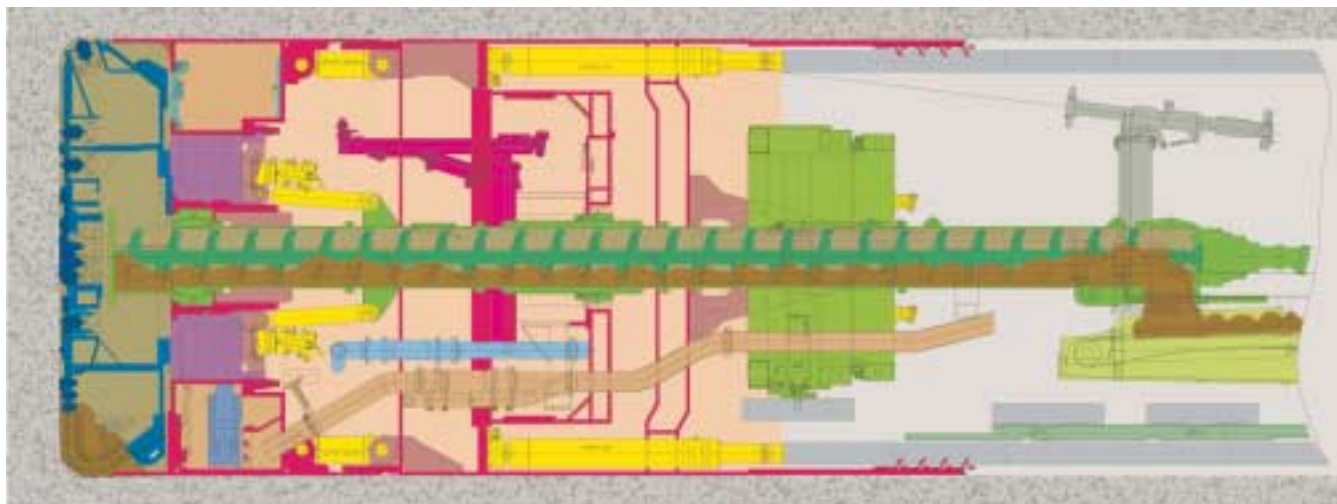
The layout of the TBM is based on the experiences from to some extent comparable TBMs as presently under operation on the Hallandsas Project (high pressure dual mode shielded rock TBM) in Sweden and the Arrowhead Project in San Bernardino, California (open mode shielded rock TBM with extensive pre-excavation grouting equipment) as well as on

numerous applications of “high pressure” Mixshields.

In order to cope with the heterogeneous ground conditions, the Lake Mead TBM can therefore be operated in open mode (mucking out by a centre screw conveyor and tunnel belt conveyor) as the major mode of operation and in semi closed or full pressurized closed mode (muck transportation by a full size slurry circuit) to overcome limited zones of extremely difficult ground conditions.

The following operation modes/mining scenarios are considered for the machine layout:

- Continuous open mode excavation with centre screw conveyor and belt conveyor for muck transport
- Cyclic open mode operation with consecutive pre-excavation grouting and mining cycles (Fig. 3)
- Cyclic closed mode operation under reduced face pressure with consecutive pre-excavation grouting and mining cycles and open mode face access for cutter check and maintenance
- Closed mode operation under full face pressure with pre-excavation grouting for open mode face access



3 TBM-Konfiguration „Offener Modus“

3 TBM configuration “open mode”

geschlossenen bzw. komplett geschlossenen Modus (Materialtransport mit Förderkreislauf) gefahren werden, um die teilweise schwierigen Baugrundverhältnisse bewältigen zu können.

Folgende Betriebsarten/Materialtransportmöglichkeiten werden bei der Konzeption der Maschine in Betracht gezogen:

- Kontinuierlicher Vortrieb in offenem Modus mit zentral installierter Förderschnecke und Förderband für den Materialtransport

- Vortrieb in offenem Modus mit vorlaufenden Injektionsmaßnahmen aus der Maschine heraus (nicht kontinuierlicher Betrieb aus Vortriebs- und Injektionszyklen) (Bild 3)

- Teilweise geschlossene Betriebsart bei reduziertem Stützdruck, eventuell mit vorlaufenden Injektionsmaßnahmen sowie Ortsbrustzugang zu Inspektions- und Wartungszwecken unter atmosphärischen Bedingungen

- Geschlossene Betriebsart unter vollem Stützdruck und bei Bedarf Injektionsmaßnahmen für einen Ortsbrustzugang unter atmosphärischen Bedingungen

- Geschlossene Betriebsart unter vollem Stützdruck und Ortsbrustzugang unter Druckluft oder je nach erforderlicher Druckhöhe Mischgas/Sättigung.

Offene Betriebsart

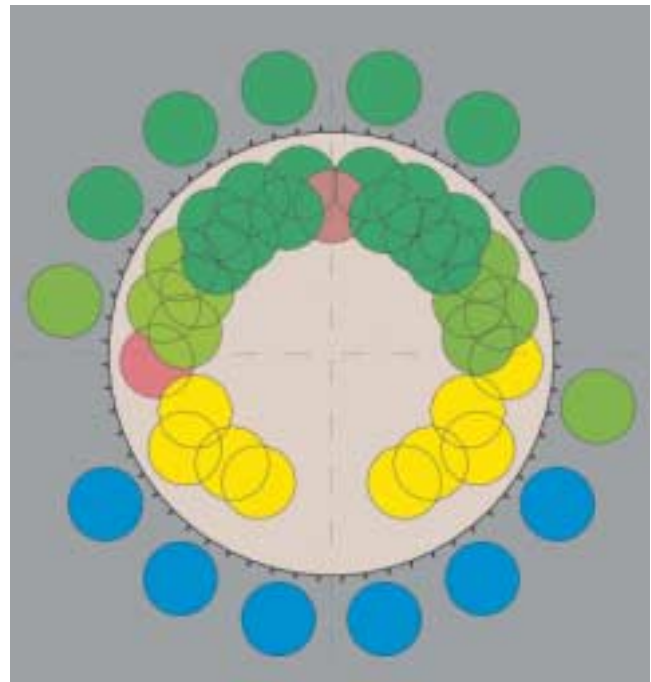
Im offenen Modus wird das abgebaute Material über Räumler sowie Räumlerkanäle zum Muckring im Bohrkopfzentrum geführt, von wo aus es über eine horizontal installierte Förderschnecke durch den Ringbaubereich nach hinten abtransportiert wird. Vom Schneckenabwurfpunkt aus wird das abgebaute Material entlang des kompletten Nachläufers auf einem Förderband bis zu einem Tunnelband transportiert.

Die Räumlerkanalanordnung im Bohrkopf ermöglicht eine erste Entwässerung des Abbaus in der Abbaukammer. Der Einsatz einer Hauptförderschnecke für die offene Betriebsart ermöglicht eine optimale und zuverlässige Schnellabdichtung der Abbaukammer bei plötzlichem Wassereintritt durch Schließen des hinteren Abwurfschiebers. Eine Förderschnecke stellt zwar nicht die „elegante“ Lösung für den Materialtransport in offenem Modus dar, bietet jedoch den großen Vorteil der schnellen Verschließbarkeit. Darüber hinaus stellt die geschlossene Förderschnecke einen optimalen Schutz des Ringbaubereichs gegen Schmutzwasser bzw. Verschlämmung dar.

Die Möglichkeit, wasserhaltiges Material in offenem Modus transportieren zu können, gehört zu den Hauptmerkmalen der Maschine. Unter der Förderschnecke befindet sich im Abwurfbereich ein großes Wasserauffangbecken. Das Auffangbecken ist mit einem Spülkreislauf verbunden, der mit einer im hinteren Nachläuferbereich installierten Separationsanlage verbunden ist. Der Einsatz dieses Spülkreislaufs reduziert das Risiko der Verschlämmung in dem Auffangbecken durch permanent fließendes Wasser und senkt den Anteil an Feststoffen im Schmutzwasser (Zulauf- bzw. Überschussmenge im Spülkreislauf), das aus dem Tunnel herausgepumpt wird.

Sondier- und Injektionsbohrungen

Die Maschine ist mit 3 fest installierten Bohrgeräten ausgestattet (Bild 4). 2 Bohrgeräte befinden sich innerhalb des Schildes für die Bohrlochpositionen in der Ortsbrust. Das dritte Bohrgerät ist hinter dem Ringbaubereich für die Schirm-



4 Mögliches Bohrbild für Vorausinjektionen

4 Possible drill pattern ahead of the TBM

- Closed mode operation under full face pressure with hyperbaric face access in air or even mixed gas/saturation mode.

Open mode operation

In open mode operation, the material is transported by buckets and muck channels into the centre arranged muck hopper in the cutterhead from where it is extracted by a horizontally arranged screw conveyor past the ring erection area. From the screw conveyor discharge point a belt conveyor transports the excavated muck along the complete back-up section to the tunnel continuous belt conveyor.

The muck chute layout in the cutterhead allows a first stage dewatering of the muck inside the excavation chamber. The use of a primary screw conveyor for open mode operation ensures the best possible and most reliable option for rapid

closure of the excavation chamber in case of sudden water ingress by closing the rear discharge gate. Although a heavy screw auger may not be the most "elegant" solution for open mode muck transportation, the key advantage of rapid closure is essential. In addition, the closed screw system provides good protection of the ring erection area against water spillage in wet conditions.

The ability to handle water laden muck in open mode operation is considered to be one of the key elements. A large settlement basin is located under the screw conveyor discharge area to collect water spillage. The basin is connected to a flushing circuit containing as well a small treatment plant installed in the rear gantry area. This onboard circuit – treatment plant configuration minimizes the risk of fines settlement in the spillage collecting basins due to a permanent flow of flushing water and reduces the solids content in the discharge

bohrungen durch den Schildmantel installiert. Ein zusätzliches, viertes Bohrgerät kann bei Bedarf auf dem Erektor angebracht werden. Sondierbohrungen vor dem Bohrkopf können für den Großteil der Bohrpositionen sowohl in offenem als auch in geschlossenem Modus mittels Blowout-Preventern durchgeführt werden. Im Nachläufer befinden sich 2 identische Hochdruck-Injektionsanlagen.

Geschlossene Betriebsart

In geschlossener Betriebsart wird die Maschine komplett im Slurry-Modus gemäß dem Mixschildprinzip mit einer Luftblase zur Kontrolle des Stützdruckes gefahren (Bild 5). Dieses System ermöglicht einen Betrieb in geschlossenem Modus mit frei wählbarem Stützdruck in Abhängigkeit von den Verhältnissen vor Ort. Ein Betrieb in geschlossenem Modus mit reduziertem Druck (geringer als der anstehende Grundwasserdruck) ist entsprechend den gegebenen Ortsbrust- sowie Baugrundbedingungen möglich. Die Möglichkeit der Wasservolumenbilanz im geschlossenen Förderkreislauf ermöglicht außer-

dem eine klare Aussage über das Wasserzutrittsvolumen durch die Ortsbrust während eines Betriebes mit reduziertem Stützdruck.

Für einen Betriebsartenwechsel sind keine Änderungen am Bohrkopf nötig. Sobald der hintere Abwurfschieber der Förderschnecke geschlossen ist, ist die Abbaukammer vom hinteren Tunnelbereich isoliert und das System ist geschlossen. Vor einem Wiederanfahren im geschlossenen Modus wird das Schneckenrohr zurückgezogen, um das Schneidradzentrum freizugeben. Danach können der Förderkreislauf und die übertägige Separation angefahren werden.

Die gesamte Ausrüstung für einen Betrieb in geschlossenem Modus befindet sich permanent auf der Maschine. Die TBM ist mit einem Tauchwandschieber und Steinbrecher vor dem Ansaugrechen sowie sämtlichen Leitungen, Pumpen, Druckluft- und Kreislaufsystemen auf der Maschine und dem Nachläufer ausgestattet. Das System wird durch in Tunnel und Schacht installierten Förderkreislauf sowie eine komplett ausgestattete Bentonitaufbereitungs- und Separationsanlage ergänzt.

water (overflow quantity) to be pumped out of the tunnel.

Probing and pre-excavation grouting

The machine is equipped with 3 permanent installed drill rigs (Fig. 4). 2 of them are located inside the shield for the face positions, the third one is located behind the ring erection area for the periphery positions. An additional fourth drill rig could be temporarily installed on the erector. Probing and drilling ahead can be done in open mode and, for the majority of the positions, also in closed mode conditions using blow out preventer units. 2 identical pre-excavation grout plants are installed on the trailing gear.

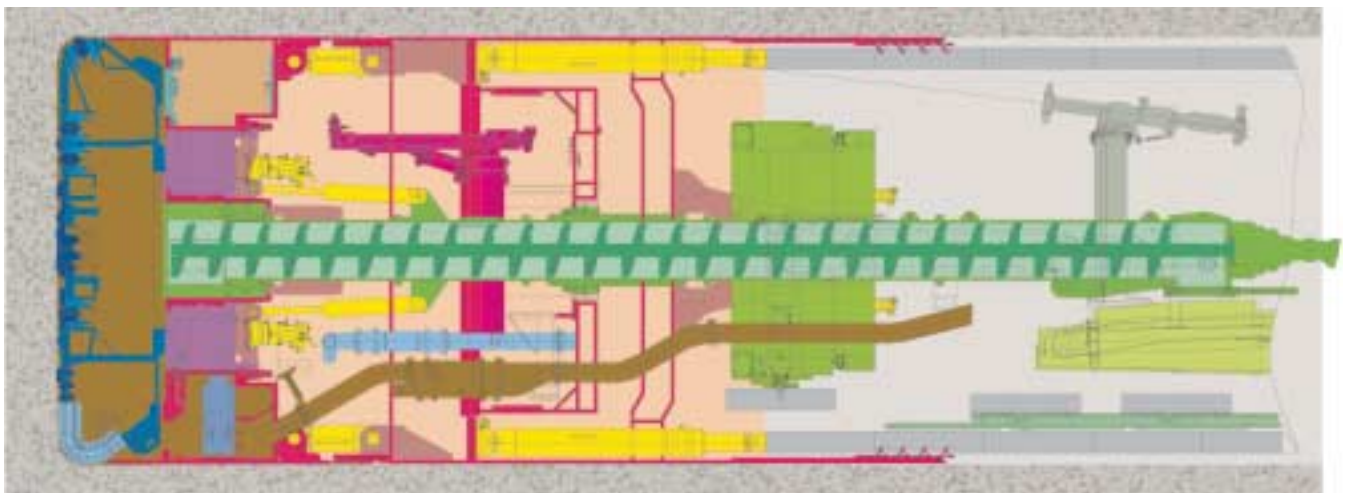
Closed mode operation

In closed mode operation, the machine will operate in full slurry mode following the MixShield principle with an air bubble for face pressure control (Fig. 5). This system allows the machine to operate in closed conditions but with free adjustable face pressure depending on the in-situ requirements. Closed mode operation but with reduced pressure (lower

than full water head) is possible depending on the given face or ground conditions. The possibility for a water volume balance of the entire slurry circuit also allows a clear picture of water inflow quantity through the face during reduced pressure operation.

The change of mode of operation does not require modification at the cutterhead. As soon as the rear discharge gate of the screw conveyor is closed the excavation chamber is isolated and the system is closed. Before restarting in closed mode the screw casing is hydraulically retracted to clear the cutterhead center area and the tunnel slurry circuit and above ground treatment plant is brought into operation.

The entire equipment and installation for the closed mode slurry operation is permanently on board. The TBM is equipped with a submerged wall gate and a rock crusher in front of the suction grill and all pipework, pumps, compressed air and circuit installation in the TBM and along the trailing gear. The system is completed with slurry circuit installations along the tunnel and shaft and the entire above ground treatment and slurry plant.



5 TBM-Konfiguration „Geschlossener Modus“

5 TBM configuration closed mode

Tabelle: Technische Daten TBM

Typ		Mixschild, zwei Betriebsarten
Hersteller		Herrenknecht AG
Ausbruchdurchmesser	[m]	7,22
Länge gesamt	[m]	190
Gewicht gesamt	[t]	1450
Leistung gesamt	[kW]	5750
Bohrkopf		Hartgestein, zwei Betriebsarten
Abbauwerkzeuge		17", Werkzeugwechsel von hinten
Leistung	[kW]	2800
Drehzahl	[Upm]	0-5 hydraulisch
Drehmoment	[MNm]	10,1/11,7
Schilddurchmesser	[m]	7,18
Max. Druck	[bar]	17
Vortriebskraft	[kN]	70 000 (100 000 im Hochdruckmodus)
Materialtransport offener Modus	[t/h]	690 (kontinuierliches Tunnelband)
Materialtransport geschlossener Modus	[m³/h]	1 100, Steinbrecher (Separationsanlage am Tunnelportal)
Ringspaltverpressung		Mörtel
Spülkreislauf	[m³/h]	400, Separationsanlage auf Nachläufer
Sondier-/ Injektionsbohrungen		3 fest installierte Bohrgeräte (+ 1 temporär installiertes Bohrgerät am Erektor)
Bohrbild		14 Kranzbohrungen, 31 im Brustbereich
Nachläufer		15 Nachläuferwagen, geschlossene Ausführung, Zugversorgung

Die Tunnelvortriebsanlage ist für einen Zugang zur Ortsbrust unter Überdruckbedingungen ausgelegt. Eine Dekompressionskammer mit einem Sauerstoffdekompressionssystem befindet sich permanent in Parkstellung hinter dem Ringbaubereich. Diese Kammer kann mit einer Zugangsröhre zur hinteren Schilddruckwand verbunden werden, um einen Zugang zur Arbeitskammer hinter der Druckwand zu ermöglichen. Die Dekompressionskammer ist bezüglich ihrer Abmessungen für verlängerte Dekompressionsphasen (>75 min) sowie den kompletten Dekompressionszyklus ausgelegt. Außerdem ist das System für den Einsatz von

Mischgas bei höheren Kammerdrücken ausgerüstet. Trimix bzw. Heliox können verwendet werden. Bei längeren Kammeraufenthalten unter hohen Drücken ist die Tunnelvortriebsanlage für einen Shuttle-Transfer des Taucherteams zwischen der Druckluftschleuse und einer mit Druck beaufschlagten Unterkunft (Habitat) am Fuß des Zugangsschachtes ausgelegt. 

Table: TBM technical data

Machine type		Mixshield, dual mode
Manufacturer		Herrenknecht AG
Excavation diameter	[m]	7.22
Total length	[m]	190
Total weight	[t]	1,450
Total power	[kW]	5,750
Cutterhead		Hard rock, dual mode
Cutters		17", backloading
Power	[kW]	2,800
Speed	[rpm]	0-5, hydraulic drive
Torque	[MNm]	10.1/11.7
Shield diameter	[m]	7.18
Max. pressure	[bar]	17
Thrust	[kN]	70,000 (100,000 in high pressure mode)
Mucking system open mode	[t/h]	690 (cont. conveyor in tunnel)
Mucking system closed mode	[m³/h]	1,100, rock crusher (STP at portal)
Segment backfilling system		mortar
Flushing system	[m³/h]	400, on board STP
Probing/grouting		3 permanent drills (+ 1 temp. erector mount)
Drill pattern		14 periphery positions, 31 face positions
Trailing gear		15 trailers, closed deck, train supply

The tunneling system is prepared for hyperbaric face access. A standby decompression chamber equipped with oxygen decompression system is permanently located behind the ring erection area. This chamber can be connected by an access tube to the rear shield bulkhead providing access to the drill chamber behind the front shield bulkhead. The size of the decompression chamber is large enough to allow for extended decompression times and to perform the complete decompression process. In addition, the system is prepared for the use of mixed gas breathing systems for higher chamber pressures. The breathing gas mixtures can be Trimix or Heliox.

For extended chamber time under high pressure, the tunneling system is prepared for a shuttle transfer of the crew between the airlock and a hyperbaric habitat at the bottom of the access shaft. 