

Tunnel Strengthening, Stadtbahn Gelsenkirchen | 18

Long Distance TBM Design | 28

Waterproofing Systems with Membranes | 38



Client:

› Southern Nevada Water
Authority (SNWA)

Contractors:

Vegas Tunnel Constructors
› Salini Impregilo S.p.A.
› S.A. Healy Co.

15 Bar

Tunnelling under **highest water pressure** to secure the water supply for the dry-running city of Las Vegas. Herrenknecht and Vegas Tunnel Constructors jointly mastered even unpredictable conditions with a powerful TBM.

Worldwide

Unique project at Lake Mead:
140m depth, 4,4km tunnel length,
3 years' determined work.

Record

Outstanding success for a Herrenknecht Multi-mode TBM: for the first time a tunnel boring machine **tackled and withstood** 15 bar water pressure.

Pioneering Underground Technologies

› www.herrenknecht.com/lakemead



tunnel 2/15

Offizielles Organ der **STUVA**
www.stuva.de



Tunnelertüchtigung gegen Einwirkungen aus Abgrabungen für den Abwasserkanal Emscher: Einbau zusätzlicher Aussteifungen im Stadtbahntunnel Gelsenkirchen

Tunnel strengthening against the effects of excavation for the Emscher main interceptor infrastructure project: Installation of additional reinforcements in the tunnels of the urban transit system Gelsenkirchen

Quelle/credit: Zerna Planen und Prüfen

Title

Der Tunneldumper 5025 im Einsatz auf der U3 U-Bahn-Baustelle in Nürnberg

A Dumper 5025 at the U3 underground railway construction site in Nuremberg

Quelle/credit: Bergmann Maschinenbau

Nachrichten / News

2

Hauptbeiträge / Main Articles

Waterview Connection Tunnels Auckland:
TBM Design and Tunnelling Experiences

Dr. Karin Böppler

12

Tunnelertüchtigung gegen Einwirkungen aus Abgrabungen
Tunnel Strengthening against the Effects of Excavating

Dr.-Ing. Ludger Speier, Dipl.-Ing. Thorsten Dahmann

18

Marathon-Vortriebe: Langstrecken-TVM-Konzepte
Marathon Machines: Long Distance TBM Design

Desiree Willis, Brian Khalighi

28

Abdichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen
Waterproofing Systems with Membranes

Dipl.-Ing. Marc Meissner, Dipl.-Ing. Sebastian Schwaiger, Dipl.-Ing. Roland Herr

38

World Tunnel Congress 2015

Firmen und Produkte

Companies and Products

50

Vortriebstechnik / Driving Technology

Lake Mead: Maschineller Tunnelvortrieb unter Hochdruck

Lake Mead: Mechanized Tunnelling under high Pressure

58

Ausbau / Lining

U12 Stuttgart: Verlegung des Stadtbahntunnels Heilbronner Straße

U 12 Stuttgart: Diversion of the „Stadtbahn Tunnel“ in the Heilbronner Straße

62

Abwassernetz Abu Dhabi: Tübbinge aus sulfatresistentem Stahlfaserbeton

Sewer Network Abu Dhabi: Segments of Sulphate-resisting Steel Fibre Concrete

64

Buchbesprechung / Book Review

Brandeinsätze in Straßentunneln

Combatting Fires in Road Tunnels

66

Produkte / Products

Verkehrsüberwachung in Marseilles Prado-Tunneln

Traffic Monitoring in the Prado Tunnels of Marseille

70

Informationen / Information

Veranstaltungen / Events

Inserentenverzeichnis / Advertising List

Impressum / Imprint

71

72

72

Schweiz

Tunnel de Court durchschlagen

Switzerland

Tunnel de Court broken through



Quelle/credit: Marti Tunnelbau AG

Der Tunnel de Court ist der letzte Tunnel des schweizerischen Infrastrukturprojekts "A16 Transjurane"; Ende Januar 2015 fand der Durchschlag des 705 m langen, einröhrigen Tunnels statt

The Tunnel de Court is the last tunnel in the Swiss infrastructure project "A16 Transjurane". The 705 m long, single-bore tunnel was broken through at the end of January 2015

Der Tunnel de Court ist der letzte Tunnel des schweizerischen Infrastrukturprojekts "A16 Transjurane", das den Bau der 85 km langen Autobahn A16 zwischen Biel und Boncourt an der Grenze zu Frankreich im Nordwesten der Schweiz umfasst. Die zukünftige Verkehrsachse A16 durchquert die Kantone Bern und Jura und wird nach ihrer Fertigstellung das französische Autobahnnetz mit dem schweizerischen Nationalstraßennetz verbinden. Die Autobahn wird in den Tunneln auf eine Fahrbahn mit zwei Richtungsspuren verengt. Die Fertigstellung der Transjurane ist für Ende 2016 geplant; bis heute sind 84 % der Strecke in Betrieb. Die Gesamtkosten des Projekts belaufen sich auf 6,54 Milliarden Schweizer Franken. Die Ausführung des Tunnels obliegt der Association Tunnel de Court unter technischer und kaufmännischer Leitung der Marti Tunnelbau AG; die Baukosten für den Tunnel werden auf 70 Millionen Schweizer Franken beziffert.

Durch den Bau des 705 m langen, einröhrigen Tunnel de Court wird die Ortschaft Court weiträumig entlang eines Hangrückens im Bogen und mit bis zu 3 % Längsgefälle umfahren. Der Durchschlag des Tunnels fand im Januar 2015 statt. Wegen der Baugrundverhältnisse aus sehr heterogenen Boden- und Felschichten (Süßwassermolasse) mit zahlreichen Verwerfungen und Störzonen besteht der Tunnel aus

The Tunnel de Court is the last tunnel in the Swiss infrastructure project „A16 Transjurane“, which includes the building of 85 km of the autobahn A16 between Biel and Boncourt on the French border in the northwest of Switzerland. The planned traffic route A16 crosses the cantons of Bern and Jura and will link the French motorway network to the Swiss national road network when completed. The autobahn is narrowed in the tunnels to one carriageway with one lane in each direction. Completion of the Transjurane is planned for the end of 2016; 84 % of the route is already in operation today. The total cost of the project is 6.54 billion Swiss francs. The tunnel is being constructed by the Association Tunnel de Court under the technical and commercial lead of Marti Tunnelbau AG, and the construction cost of the tunnel amounts to 70 million Swiss francs. The 705 m long, single-bore Tunnel de Court will bypass the town of Court at a good distance, running along the ridge of a slope in a curve with a gradient of about 3 %. The breakthrough of the tunnel took place in January 2015. Due to the very heterogeneous ground conditions with layers of soil and rock (freshwater Molasse) with numerous displacements and fault zones, the tunnel consists of

- two cut-and-cover sections (portal excavations) designed to consider the instability of the slope and water pressure resulting from the water-susceptibility of the rock and anchor failures

- zwei Tagbauabschnitten (Portalbaugruben) unter Beachtung der Instabilität des Hanges, von Wasserdrücken aufgrund der Wasserempfindlichkeit des Gesteins und Ankerausfällen
- einem 650 m langen bergmännischen Abschnitt, der im Schutz eines Rohrschirms vorgetrieben wurde; zusätzlich zu Niederbrüchen an der Ortsbrust musste auf das Versagen der Kalottenfußwiderlager achtgegeben werden.

Der einröhrige Tunnel für zwei Fahrspuren hat einen nahezu kreisrunden Querschnitt, um dem Quelldruck des Gebirges entgegenzuwirken; die Querschnittsfläche beträgt rund 120 m². Der Tunnel hat eine Ortbetoninnenschale mit einer Dicke von 30 cm, die, bis auf die Portalbereiche und Zonen mit geologisch ungünstigen Gebirgsverhältnissen, unbewehrt ist; darüber wurde eine Regenschirmabdichtung eingebaut. Das durch die Drainagematten gefasste Bergwasser wird über beidseitig angeordnete Leitungen zum Ostportal hin abgeleitet. Unter der Fahrbahn liegt der Werkleitungskanal, der auch als Fluchttunnel dient; dazu befindet sich in der Tunnelmitte ein Treppenhaus. Im Fluchtweg herrscht ein Überdruck, um das Eindringen von Gasen im Ereignisfall zu verhindern.

G. B.



- a 650 m long mined section, which was driven under the protection of a pipe canopy. Collapses at the face had to be dealt with, and the failure of the top heading foot abutment also had to be considered.

The single-bore tunnel with two lanes has an almost circular cross-section in order to counter the swelling pressure of the ground; the cross-sectional area is about 120 m². The tunnel is provided with a poured concrete inner lining with a thickness of 30 cm, which is unreinforced except for the portal areas and zones with geologically unfavourable ground conditions, with umbrella waterproofing above it. The groundwater from the drainage mats is collected in drains on each side running to the east portal. Under the carriageway is a service channel, which also serves as an escape tunnel and is provided with escape stairs in the middle of the tunnel. The escape route is positively pressurized to prevent the entry of gases in case of an incident.

G. B.



Literatur/References

- [1] Bertholet, Simon: Lange Ortsbrustanker im Lockergestein. Erfahrungen aus dem Tunnel de Court. Swiss Tunnel Congress (12.06.2014), S. 286–295; tunnel 5/2014, S. 50–54
- [2] Wachter, Stefan; Ferrari, Alessandro: Der letzte Tunnel auf der Schweizer Autobahnmagistrale A16 Transjurane. 22. Geomechanik-Kolloquium (12.03.2015), S. 118–127



- **Backfilling (one or two components)**
- **Pre-excavation grouting**
- **Post/consolidation grouting**



- High-Shear Mixers up to 2500 litres
- Grout pumps up to 200 bar
- Pressure and flow recording systems
- Compact grout plants
- Bentonite modules for microtunnelling
- Fully automated grout plants
- Backfill systems for one or two component grouts

GROUTING SYSTEMS

HÄNY

Häny AG • Buechstrasse 20 • CH-8645 Jona/Switzerland
Tel. +41 44 925 41 11 • Fax +41 44 923 62 45 • info@haeny.com • www.haeny.com



Brenner Basistunnel

Vortriebsbeginn am Haupttunnel

Die Arbeiten am Brenner Basistunnel, dem 64 km langen Herzstück der neuen Brennerbahn zwischen München und Verona planmäßig voran. Am 19. März 2015 wurde auf österreichischem Projektgebiet mit den Arbeiten am Haupttunnel begonnen. Dem offiziellen Festakt wohnten zahlreiche Spitzenrepräsentanten aus der EU, Bundes- und Landespolitik bei. EU-Verkehrskommissarin Violeta Bulc fungierte dabei als Tunnelpatin für die erste Hauptröhre des Brenner Basistunnel. Ebenfalls anwesend waren die Verkehrsminister der sieben Alpenstaaten, die Landeshauptleute von Bayern bis Verona.

Seit September 2014 laufen die Vortriebsarbeiten am bisher größten Baulos Tulfes–Pfons. Das Auftragsvolumen beträgt 380 Millionen Euro und sieht die Errichtung von insgesamt vier Tunnelabschnitten durch die ARGE Strabag/Salini-Impregilo vor. Beim Zufahrtstunnel Ahrental wurde nach nur drei Monaten die Tiefe der künftigen Hauptröhren erreicht. Damit sind die logistischen Voraussetzungen für den Ausbruch der ersten Kilometer des Haupttunnels sowie der Verbindungstunnel von der Umfahrung Innsbruck zum Haupttunnel geschaffen. Die beiden Verbindungstunnel (Länge: VT-Ost 2800 m, VT-West 3800 m) umit einem Ausbruchsquerschnitt von jeweils 110 m² werden im Sprengvortrieb errichtet werden. Die prognostizierte Bauzeit für diesen Abschnitt beträgt rund 2,5 Jahre.

36 km Tunnelsystem ausgebrochen

In Italien wurden mittlerweile bereits 3,6 km des Haupttunnels vorangetrieben. Insgesamt sind bereits 36 Tunnel-Kilometer auf beiden Seiten des Brenners ausgebrochen. Auf italienischer Seite wird derzeit am 300 Millionen Euro schweren Baulos Eisackunterquerung gearbeitet. Dieses Baulos bildet den südlichsten Abschnitt des Brenner Basistunnels und liegt in unmittelbarer Nähe des Bahnhofs Franzensfeste. Auf österreichischer Seite starten in den nächsten Monaten drei weitere Vortriebe. Ab November kommt dabei erstmals eine Tunnelbohrmaschine zum Einsatz. Diese wird vom Ahrental aus Richtung Brenner einen weiteren Erkundungsstollenabschnitt von 15 km ausbrechen.

Zukünftige Ausschreibungen

Unmittelbar vor der Ausschreibung steht der Abschnitt Mauls-Brenner; er beinhaltet den Bau des Erkundungsstollens nördlich der periadriatischen Störzone bis zum Brenner, die Haupttunnel von der Unterquerung des Eisacks bis zum Brenner einschließlich der Nothaltestelle von Trens. 2016 wird zudem das Hauptbaulos Ahrental-Brenner auf österreichischer Seite ausgeschrieben; dieses Baulos mit einem geschätzten Ausschreibungsvolumen von ca. 1,8 Milliarden. Euro sieht den Bau der Haupttunnel vom Ahrental bis zum Brenner, den Erkundungsstollenabschnitt von Steinach am Brenner bis zur Staatsgrenze und die Nothaltestelle von St. Jodok vor. Ende 2026 soll die zukünftig längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt in Betrieb gehen. 

Brenner Base Tunnel

Start of works on the main tunnel

The work on the Brenner Base Tunnel, the 64 km long heart of the new Brenner rail line between Munich and Verona is progressing apace. On March 19, 2015, work began on the main tunnel in Austria. Many high-level representatives of the European Union as well as national and local politicians took part in the official ceremony. EU Transport Commissioner Violeta Bulc acted as "Tunnel Godmother" for the first main tube of the Brenner Base Tunnel. Also present were the Transport Minister of the seven Alpine States, the Presidents of the regions and provinces from Bavaria to Verona.

Excavation work has been under way since September 2014 on the biggest construction lot so far, Tulfes–Pfons. The contract is worth 380 million euros; it was awarded to the JV Strabag/Salini-Impregilo and includes the construction of four tunnel sections. After only three months, the Ahrental access tunnel reached the level of the future main tunnels, thereby creating the logistical preconditions for the excavation of the first kilometres of the main tunnel and the connecting tunnels from the Innsbruck bypass to the main tunnel. The two connecting tunnels (east connecting tunnel 2800 m length, west connecting tunnel 3800 m length) with an excavated cross-section of 110 m² will be excavated by drill and blast. The estimated construction time for this stretch is about 2.5 years.

36 km of Tunnel already driven

In Italy, 3.6 km of main tunnels have already been excavated. A total of 36 km of tunnels have already been driven on both sides of the Brenner. Work is proceeding at speed on the Isarco underpass construction lot, worth 300 million euros. This construction lot covers the southernmost part of the Brenner Base Tunnel and is very close to the railway station in Fortezza. Three more excavations will be launched in coming months in Austria. As of November, a tunnel boring machine will be used for the first time and move from Ahrental towards the Brenner pass, driving a further 15 km stretch of the exploratory tunnel.

Further Invitations to tender

The Muls-Brenner section is about to go into tender; this construction lot includes the exploratory tunnel north of the Periadriatic seam to the Brenner, both main tunnels from the Isarco river underpass to the Brenner and the Campo di Trens emergency stop. In 2016, the main Ahrental-Brenner construction lot in Austria will be tendered; this lot, estimated at 1.8 billion euros, includes the construction of the main tunnels from Ahrental to the Brenner, the stretch of the exploratory tunnel from Steinach am Brenner to the border and the emergency stop at St. Jodok. The longest underground railway connection in the world is scheduled to become operational at the end of 2026. 

Deutschland

Letzter Planfeststellungsbeschluss für NBS Wendlingen–Ulm erteilt

Am 25. März hat das Eisenbahn-Bundesamt den letzten noch ausstehenden Planfeststellungsbeschluss der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm, für den Abschnitt 2.1 a/b „Wendlingen–Kirchheim“, erlassen. Der aktuelle Beschluss passe gut in die Planung, erklärte der Vorsitzende der Geschäftsführung der DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Manfred Leger: „Wir haben der Bauwirtschaft in den vergangenen Wochen die noch offenen Baumaßnahmen vorgestellt.“ „Diese frühzeitige Information sollte die Vorlaufzeiten für die Abgabe der Bewerbungsunterlagen potentieller Bewerber verkürzen“, ergänzt Jens Hallfeldt, DB-Projektmanager für den gesamten Abschnitt Albvorland. „Wir planen, bis Ende des Jahres die Arbeiten im Abschnitt zu vergeben. Mit dem Beginn der Hauptbaumaßnahmen ist Anfang 2016 zu rechnen.“ Der Abschnitt „Wendlingen–Kirchheim“ ist rund 9 km lang und beinhaltet den Albvorlandtunnel mit 8176 m Länge. 

Germany

Final Plan Approval Resolution for the Wendlingen–Ulm Rail Link

On March 25 the German Federal Railway Authority gave the go-ahead for the final plan approval resolution for the new Wendlingen–Ulm rail route, section 2.1 a/b „Wendlingen–Kirchheim“. The executive chairman of the DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Martin Leger, said that planning approval fitted in well with the planning procedure, after the remaining construction measures had been presented to the building industry in recent weeks. „Briefing at an early stage is designed to shorten the amount of time required to submit application documents for potential contractors“, added Jens Hallfeldt, the DB-Projekt manager for the entire Albvorland contract section. „We intend commissioning the work in this section by the end of the year. We count on the main construction activities commencing at the start of 2016“. The „Wendlingen–Kirchheim“ section is roughly 9 km long and includes the Albvorland Tunnel with a length of 8176 m. 

rascor®



Wer richtig plant, bleibt trocken.

Als Pioniere in der Abdichtungstechnik entwickeln wir Produkte für die höchsten, trockensten Ansprüche Ihrer Tunnelprojekte – denn Trockenheit heisst auch Sicherheit! Problemorientierte und massgeschneiderte Abdichtungskonzepte sichern den Erfolg! **RASCOR - Pioniere der Bauabdichtung.**

Rascor International AG
Gewerbstrasse 4
CH-8162 Steinmaur
Telefon 044 857 11 11
Telefax 044 857 11 00
info@rascor.com

Schweiz

Ceneri-Basistunnel: Vortrieb Richtung Süden beendet

Am 30. März 2015 brachen die Mineure den letzten Meter Fels in der Oströhre des Ceneri-Basistunnels zwischen Sigirino und Vezia aus. Rund zwei Wochen nach dem ersten Durchschlag in der Weströhre am 17. März, der 13 Monate früher als geplant erfolgte, sind damit beide Einspurtunnel des Ceneri-Basistunnels Richtung Süden ausgebrochen. Rund 400 m vom Südportal in Vezia entfernt hatten mehr als 600 Projektbeteiligte den äußerst exakten ersten Durchschlag der Weströhre Richtung Süden verfolgt: Die Abweichung war mit 2 cm horizontal und 1 cm vertikal äußerst gering. Die Vortriebe Richtung Norden laufen derzeit auf Hochtouren. In der Weströhre sind bis zum Durchschlagspunkt bei Vigana noch rund 1500 m auszubringen, in der Oströhre rund 2000 m. Der Hauptdurchschlag des Tunnels ist für Anfang 2016 geplant. Unverändert bleibt laut Renzo Simoni, Vorsitzender der Geschäftsleitung der AlpTransit Gotthard AG, der geplante Termin für die Inbetriebnahme im Dezember 2019. 

Switzerland

Ceneri Base Tunnel Drive towards the South completed

On March 30, 2015, the tunnellers broke through the final few metres of the Ceneri Base Tunnel's east bore between Sigirino and Vezia. Some two weeks after the first breakthrough in the west bore on March 17, which took place 13 months earlier than scheduled, this signifies that both southbound single-track tunnels for the Tunnel have been excavated. Some 400 m away from the south portal in Vezia more than 600 persons involved in the project, watched on as the precise breakthrough for the west bore towards the south took place: the deviation was extremely minimal – amounting to 2 cm horizontally and 1 cm vertically. Currently the northbound drives are forging ahead. In the west bore around 1500 m must be excavated, with some 2000 m still to be accomplished in the east bore. The main breakthrough is scheduled for early 2016. According to Renzo Simoni, the CEO of the AlpTransit Gotthard AG, the scheduled deadline for opening the tunnel remains December 2019. 



www.normet.com

**FOR TOUGH JOBS
UNDERGROUND**

normet
FOR TOUGH JOBS

spraymec

CHEMICALS

EQUIPMENT

D-BOLT

SUPPORT

Schweiz**Albulatunnel II wird unter der Führung von Porr Suisse errichtet**

Im Schweizer Kanton Graubünden soll innerhalb der nächsten vier Jahren die winterfeste Verbindung zwischen dem Oberengadin und der Region Chur/Landquart durch einen neuen Tunnel langfristig sichergestellt werden. Mit dem Bau des Albulatunnel II hat die Rhätische Bahn AG eine ARGE aus Porr Suisse (Federführung und Technische Leitung), Walo Bertschinger AG (Kaufmännische Leitung) und Società Italiana per Condotte d'acqua S.p.A. (Co-Technische Leitung) beauftragt. Die Auftragssumme für dieses Projekt beträgt rund 125 Millionen Schweizer Franken. Baubeginn ist im April 2015, der Vortrieb soll bis Dezember 2017 abgeschlossen sein, und die Gesamtfertigstellung ist für August 2019 projektiert. Die Gesamtlänge des Tunnels wird 5860 m betragen. Der bestehende Albulatunnel I ist über 100 Jahre alt, seine Sanierung unter Bahnbetrieb wäre zu aufwändig geworden. Deswegen hat sich die Rhätische Bahn AG zu einem Neubau entschlossen. Zwischen den beiden Tunneln wird es zwölf Querverbindungen geben. Der Albulatunnel I wird in einen Sicherheitstunnel umgebaut.

„Der Albulatunnel II wird auf 1800 Meter Seehöhe errichtet und ist aufgrund der geologischen Beschaffenheit des Gebiets eine technische Herausforderung“, so Karl-Heinz Strauss, CEO der Porr AG. Mit dem Albulatunnel II, so Strauss weiter, eröffne sich für die Porr Suisse neben dem Hoch- und Ingenieurtiefbau ein drittes wesentliches Geschäftsfeld in der Schweiz.

**Switzerland****Porr Suisse takes Lead on Albula Tunnel II Project**

A new tunnel in the Swiss Canton of Graubünden, to be built within the next four years, should secure a long-term, winter-proof route between Upper Engadine and the Chur/Landquart region. Rhätische Bahn AG has awarded the tender to build the Albula Tunnel II to a consortium of Porr Suisse (lead and technical management), Walo Bertschinger AG (commercial management) and Società Italiana per Condotte d'acqua S.p.A. (technical comanagement). The tender value of this project is around 125 million Swiss francs. Construction is set to begin in April 2015, after which tunnelling should be completed by December 2017, with completion of the entire project being scheduled for August 2019. The total length of the tunnel is 5860 m.

The current Albula Tunnel I is over 100 years old and overhauling it would be too costly in light of the ongoing rail service. This is why Rhätische Bahn AG opted for a new construction. There will be twelve cross-sections between the two tunnels. Albula Tunnel I will then be converted into a safety tunnel.

„Albula Tunnel II will be built at 1800 m above sea level and is technically demanding because of the geology of the area“, said Karl-Heinz Strauss, CEO of Porr AG. According to Strauss the Albula Tunnel II project will open up a third key business division in Switzerland for Porr Suisse, alongside building construction and civil engineering.

**EAB**

**A broken
crusher
is not only a flaw**



**Our Metal Detectors
save expensive
repairs**



**No Detection
of iron oxides**

EAB

**ELEKTROANLAGENBAU
REINHAUSEN GMBH
KETZHAGEN 8
37130 KLEIN LENGDEN
TEL. +49 (0)55 08 / 86 66
FAX +49 (0)55 08 / 15 70
www.eabreinhausen.de
sales@eabreinhausen.de**

Indien

Superlative in Delhi: 19 TBM gleichzeitig im Einsatz

Eines der weltweit größten Projekte zum Ausbau des innerstädtischen Nahverkehrs wird derzeit in Indiens Metropole Delhi umgesetzt. Hier sind im Rahmen der Ausbauphase 3 der Metro Delhi gerade 19 Tunnelbohrmaschinen (TBM) gleichzeitig im Einsatz. Im Rahmen der 3. Phase des innerstädtischen Ausbauplanes baut die Delhi Metro 53 km unterirdische Bahnlinie aus, in denen 74 verschiedene Tunnelvortriebe mit einer Gesamtlänge von 37 km enthalten sind. Insgesamt werden etwa 35 TBM für diese Mammut-Aufgabe in der aktuellen Bauphase im Einsatz sein. 21 km Tunnelstrecke (bzw. 41 km mit Ein- und Ausfahrbereichen) und 33 Tunnelvortriebe sind bereits fertiggestellt. Bis Ende 2015 sollen alle Arbeiten am Tunnelvortrieb der 3. Ausbauphase beendet sein. Nach Angaben der Delhi Metro Rail Corporation Ltd. (DMRC) gehört die Ausbauphase 3 mit dem Einsatz von 19 TBM zu den umfangreichsten Projekten dieser Art weltweit; in Ausbauphase 2 waren über die gesamte Bauzeit der Vortriebsarbeiten 14 Tunnelbohrmaschinen im Einsatz. Die Verwendung so vieler TBM ist aktuell notwendig, da im Vergleich zu den vorhergehenden Ausbauphasen der Umfang der unterirdischen Arbeiten enorm angestiegen ist. Derzeit sind rund 47 km Untergrundlinie in Delhi im Betrieb, und allein die U-Bahnstrecke der Ausbauphase 3 wird mehr als 37 km betragen. Eine enorme Entlastung des täglichen Verkehrschaos wird durch diese wichtige Ausbauphase von den Verantwortlichen erwartet.

Sorgfältige Überwachung der Vortriebe

Delhi Metro achtet dabei genau darauf, dass sich die unterirdischen Bauarbeiten nicht auf das tägliche Leben an der Oberfläche auswirken. Für jeden Vortrieb werden daher Baugrundqualität und Zustand der teilweise dicht zu unterfahrenden Gebäude kontrolliert sowie zahlreiche Messungen durchgeführt. Der Vortriebsfortschritt und – mit Hilfe speziell angefertigter Instrumente – die Streckenführung der Tunnelbohrmaschine werden genauestens beobachtet. Modernste Technik der TBM-Hersteller sorgt dafür, dass jegliche Bewegungen im Boden oder der Gebäude nahe der TBM festgestellt werden, bevor gravierende Schäden entstehen. Einige besondere Gebäude wurden bereits erfolgreich und ohne Schaden unterfahren bzw. gequert: Bahnlinien, Straßenüberführungen, vorhandene Bahnbrücken, U-Bahntunnel und vieles mehr. Dabei wurden weder der Verkehrsfluss gestört geschweige denn Schäden verursacht.

Dank der Vielzahl an TBM-Vortrieben war Delhi Metro bislang in der Lage, die Tunnelbauarbeiten in stark vom täglichen Verkehr belasteten Stadtteilen Delhis voranzubringen, ohne dabei auf großangelegte Verkehrswegeumleitungen oder Gebäudeabrisse zurückgreifen zu müssen. 

Roland Herr

India

Delhi Metro, Phase 3: 19 TBMs simultaneously engaged

A total of 19 Tunnel Boring Machines (TBMs) are simultaneously engaged in constructing Metro tunnels across the length and breadth of the national capital, Delhi, today, thus emerging as one of the largest tunneling projects ever undertaken below any major urban centre globally.

As part of its third phase of expansion, Delhi Metro is constructing over 53 km of underground Metro lines comprising of 74 different tunneling drives of about 37 kms. Approximately, 35 TBMs are to be used for this mammoth assignment during the entire third phase and about 21 km of tunnels (or 41 km of tunnels including up and down tunnels) and 33 tunneling drives have already been completed so far. The entire tunneling work of Phase 3 is expected to be finished by the end of 2015.

According to Delhi Metro Rail Corporation Ltd. (DMRC) the use of 19 TBMs simultaneously within the confines of one city is among the highest used anywhere in the world. In Phase 2, Delhi Metro had used a total of 14 TBMs during the entire span of work. For the current phase, so many TBMs are being used because the quantum of underground construction has increased significantly in comparison to the last two phases. While Delhi Metro currently has an operational underground section of approximately 47 km, Phase 3 will alone have over 37 km of underground Metro lines.

Meticulous Monitoring of massive Tunnelling Activities

Delhi Metro is also taking meticulous care to ensure that such massive tunnelling activity beneath the surface does not hamper the lives of the people and therefore, before every tunneling drive, detailed soil quality and building condition surveys are done and corrective measures taken if needed. In addition, advance of the TBMs is very closely monitored, and custom made instrumentation is done above the TBM routes to monitor any movement in the earth's surface or the condition of the structures above.

The tunneling drives of DMRC have so far passed below many important landmarks of the city such as railway tracks, flyovers, existing Metro viaducts, Metro tunnels etc. The tunnels have passed below railway tracks (at Palam, ITO), flyovers (at Munirka, Hauz Khas, Palam), Metro viaducts (at Kalkaji, Janakpuri West, Lajpat Nagar), Metro tunnels (at IGI Airport) and their construction did not cause any disruption to the flow of traffic on the flyovers or movement of trains on the railway tracks above.

The use of so many TBMs has ensured that Delhi Metro has been able to carry out construction work through many congested as well as traffic heavy areas such as Old Delhi, Ring Road, Outer Ring Road etc without any major diversion of the roads or demolition of buildings. 



GREAT EXCAVATIONS

MOSCOW METRO

3 ROBBINS EPB MACHINES
1 EPB REBUILT BY ROBBINS

MACHINE DIAMETERS RANGING FROM
6.2 m - 6.6 m

TUNNEL LENGTHS RANGING FROM
2.0 km - 2.3 km

NEW RECORDS IN RUSSIAN SOIL
37.8 m IN ONE DAY

PERFORMANCE UNDER PRESSURE

Limited space and diverse ground conditions are no match for Robbins Earth Pressure Balance (EPB) Machines. One of the three Robbins machines that excavated the Moscow Metro project holds the national record, reaching up to 37.8 m in one day. Robbins moves you forward, one excavation at a time.

THEROBBINSCOMPANY.COM



Schweiz

10. bis 12. Juni 2015: Swiss Tunnel Congress in Luzern

Vom 10. bis zum 12. Juni 2015 führt die Swiss Tunnelling Society (STS) zum 14. Mal den alljährlich stattfindenden Swiss Tunnel Congress (STC) im Kultur und Kongresszentrum Luzern durch. Der STC gilt als bedeutende Plattform für Bauherren, Planer, Ingenieure, Lieferanten, Dienstleister und Unternehmer, für Networking und Informationen aus erster Hand zu ausgewählten Tunnelprojekten. Das STC-Programm beginnt am 10. Juni, mit dem Swiss Tunnel Colloquium unter der Themenüberschrift „Nutzungsdauer in Bezug auf Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit“. Der Vormittag des Kongresstages am 11. Juni ist Fachvorträgen zu herausfordernden Tunnelbauprojekten der Schweiz vorbehalten. Das Einführungsreferat wird von Prof. Dr. Sarah Springman gehalten, Rektorin der ETH Zürich. Die Präsentation einer Palette laufender Projekte wird zeigen, dass auch nach den Jahrhundertbauwerken der NEAT eine Vielfalt von Untertagbauprojekten in Arbeit ist. Der Nachmittag ist der Vorstellung internationaler Projekte gewidmet; der abschließende Freitag, 12. Juni, ist traditionell den Baustellenexkursionen vorbehalten.



Der 14. Swiss Tunnel Congress in Luzern bietet Fachvorträge zu schweizerischen und internationalen Tunnelbauprojekten, dazu ein Kolloquium und einen Exkursionstag

The 14th Swiss Tunnel Congress in Lucerne provides lectures on Swiss and international tunnelling projects as well as a colloquium and a day traditionally reserved for excursions

Switzerland

June 10 to 12, 2015: Swiss Tunnel Congress in Lucerne

From June 10 to 12, 2015, the Swiss Tunnelling Society (STS) is staging its annual Swiss Tunnel Congress (STC) for the 14th time in Lucerne's KKL. As a significant platform for clients, designers, engineers, suppliers, service providers and contractors, the STC provides an opportunity for networking and being directly informed about selected tunnel projects. The STC programme commences on June 10, with the Swiss Tunnel Colloquium, which will examine the service life of tunnels related to serviceability and durability. The forenoon session on June 11 is devoted

to papers on outstanding tunnelling projects in Switzerland. The introductory paper will be delivered by Prof. Sarah Springman, rector at the ETH Zurich. The presentation of a range of ongoing projects will show that a variety of underground construction projects is being tackled in addition to the NEAT projects. The afternoon will be occupied with presenting international projects. The following day, Friday, June 12, will be given over to excursions to construction sites in keeping with tradition.

www.swisstunnel.ch

Segment clamp



Maschinen
und Stahlbau



Dresden
Branch of Herrenknecht AG

Specialist for tunnelling
equipment and logistic systems

www.msd-dresden.de | info@msd-dresden.de

Steel segments





ROTARY MACHINES FOR PEA GRAVEL BACKFILLING

Aliva® -267: RELIABLE MACHINES FOR YOUR TBM PROJECT



Aliva® pea gravel backfilling rotary machines conveying up to 10 x more than conventional machines without changing the wear plates. This is the welcome result of our unique rotary construction with steel wear plates and our pneumatic clamping device.

With the Aliva® -267 you always have the conveying pressure as well as the amount of conveyed material under control. Our innovative PLC, which can be connected through interface with the TBM control desk, contribute to a great extent to the easy operating of our machines.

The reliable high conveying performance and the outstanding quality properties make our Aliva® machines your first choice.

Waterview Connection Tunnels Auckland: TBM Design and Tunnelling Experiences

The Waterview Connection Project represents one of the largest infrastructure developments in New Zealand. The project comprises twin-tube road tunnels that are built using a very large diameter tunnel boring machine (TBM). The tunnels impact a large number of existing buildings and utilities as they pass beneath residential property and public reserve. The tunnels also cross beneath the North Auckland Railway branch. Accordingly, exercising ground control to minimize settlements and adverse impacts to the community are of paramount importance. The tunnel project is built under high safety standards in an urban area and with shallow cover. The report addresses the TBM design and tunnelling aspects with experiences in large diameter TBM operation for the first of the twin-tube bores from the perspective of the machine manufacturer.

Dr. Karin Bäßler, Herrenknecht AG, Deutschland/Germany; www.herrenknecht.de

Introduction

For New Zealand's largest road infrastructure project, the Waterview Connection in Auckland, one of the world's largest TBMs successfully finished the excavation of the first of two tunnel tubes on September 29, 2014. Each bored tunnel has a length of about 2.4 km and an inner diameter of 13.1 m. Each will accommodate three lanes of traffic. The two tunnels are being excavated using one Earth Pressure Balance (EPB) Shield with a diameter of 14.41 m, customized to Auckland's requirements and subsurface conditions. Based on the project's geotechnical risks and uncertainties with expected variable soil and rock conditions and groundwater inflows, the client Well-Connected Alliance (WCA) decided on using an EPB Shield to best address the demands of tunnel construction

in urban environment. Mechanized tunnelling technology and a comprehensively adjusted complete solution was favoured, supporting planning security and on time tunnel construction with safety of operation in terms of quality of structure and financially. The package provided by the machine manufacturer also included a customized back-up system working independently from the tunnelling machine and enabling the installation of service culverts and associated backfill irrespective of the excavation process. The paper highlights the design aspects of the TBM, tailored equipment and finally the experiences made during tunnelling of the first underground section of 2.4 km. The Waterview Connection project is being constructed by the WCA for the NZ Transport Agency, on behalf of the NZ Government.



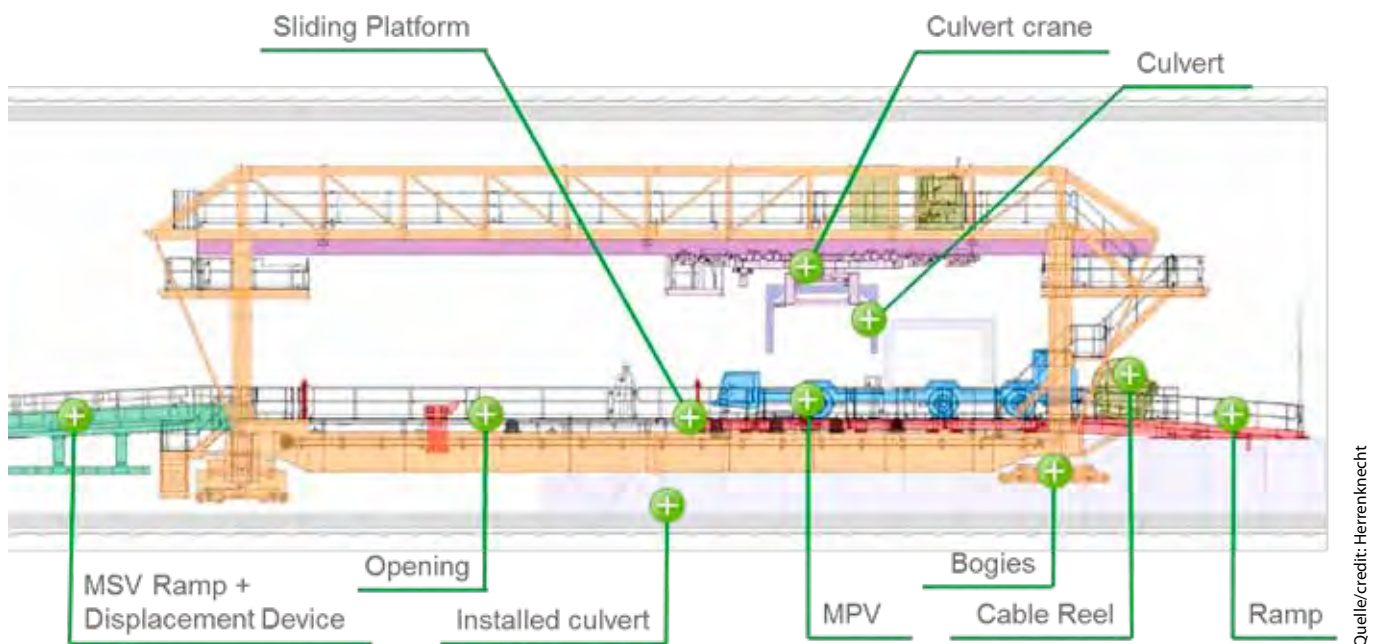
Quelle/Credit: Herrenknecht

1 Cutting wheel assembly



Quelle/Credit: Herrenknecht

2 The cutting wheel of the EPB Shield for the twin-tube tunnels of the Waterview Connection Project has a diameter of 14.46 m and was tailored to the specific project conditions



3 Design of the secondary tunnel installation system, major features

It is a direct motorway link between Auckland's Central Business District and the International Airport. The project will deliver 5 km of a new road to link two existing motorways of which half will be underground. When finished, it will complete a 47 km long alternative motorway ring route around Auckland. The advantages will be reduced and more reliable travelling times and easing congestion on the main crowded motorway route through central Auckland. The project also helps to achieve the strategic objectives of a sustainable urban transport policy to increase the quality of life for citizens.

Demands on Machine Technology based on specific Project Conditions

The demand of excavating two parallel underground sections is focused on the construction and support of two very large diameter bores. The tunnels that will have an inner diameter of 13.1 m are lined using 450 mm thick precast tunnel segments. Apart from a very large diameter profile, the excavation process has to deal with cover above the tunnel crown of a minimum of 10 m at the portals and a maximum cover along the alignment of up to 40 m. Additionally urban tunnelling includes the demand of a settlement controlled process and challenging subsurface conditions with maximum water pressures at the tunnel invert of about 6 bar. The tunnels are to be built in variable geological conditions comprising extremely weak locked sands, siltstone, alternating siltstone and sandstone, very weak to moderately and well-cemented sandstone as well as volcanoclastic grit/sandstone. The typical material strengths were estimated to be below 5 MPa with a defined but small risk that the tunnels might intersect layers of cemented sandstone with unconfined compressive strengths of up to 120 MPa.

In addition to geological issues, the timeline of the project, and especially the construction of the tunnels, represents the main critical path activity of the project, also exerting an influence on the design of tunnelling equipment, procurement and manufacturing. To best address the demands of tunnel construction and to guarantee a safe, reliable and continuous tunnelling process, the Joint Venture which includes Fletcher Construction Co. Ltd., McConnell Dowell Constructors Ltd. and Obayashi Corporation uses one of the largest TBMs for the excavation of the twin-tube tunnels. The TBM was designed by Herrenknecht in Germany and built at the company's factory in Guangzhou, China. It was delivered to the site in Auckland on time after a design and manufacturing process of 14 months. The key components such as main drive, erector and hydraulic station were supplied from Germany.

Cutting Wheel Design

The machine was tailored to the specific project conditions. The EPB Shield has an overall length of 87 m including backup gantries. The cutting wheel with 14.46 m diameter is of star type design with eight main and eight auxiliary spokes, bi-directional and adapted to the variable geological conditions with the arrangement of disc cutters, scrapers and buckets and an opening ratio of 45 %. The soft ground tools such as scrapers, bucket lips or ripper tools are in use mainly when excavating through softer geological conditions. The disc cutters handle the harder geologies such as cemented layers or when excavating through grout blocks. Frequent inspections of cutting tools are essential due to the prevailing inhomogeneous subsurface conditions along the tunnel alignment. The opening ratio of 45 % had to be a compromise between the need for sufficient opening size – to permit an unrestricted flow of excavated muck in order to prevent clogging – and the need



4 Design of the secondary tunnel installation system, "drive through mode" and "culvert placing mode"

to secure the excavation in case of the possible small risk of facing layers with strengths of up to 120 MPa. The centre area of the cutting wheel requires sufficient openings or means to support the mixing and muck circulation flow because in the centre of the cutting wheel the rotation speed respectively the cutting speed is close to zero. In addition to the geometrical and design aspects such as adapted opening ratio, an appropriate conditioning of the excavated muck is an essential element of the overall EPB process to support the material flow and to avoid bridging effects and thus clogging, especially in the centre of the cutting wheel. In consideration of the possible abrasive nature of the prevailing ground conditions the cutting wheel was designed with wear protections in the face and gauge area and on the back of the cutting wheel as well as with a hydraulic wear detection system on the cutting wheel comprising two pins in the gauge area, five pins in the face area and one strip steel structure.

Based on the geological conditions the machine was designed with a nominal thrust force of 199 504 kN and a maximum torque of 82 546 kNm. The machine is powered by 24 electric motors of each 350 kW generating a total power of 8400 kW. The machine is designed for an operating pressure of 6 bar with maximum expected face pressures of 5.3 bar. Therefore all seals such as main drive and tailskin seals are designed to cope with maximum pressures of 6 bar. The two-row tailskin seal with inner and outer row of spring plates is designed to reliably seal the joint existing between the tailskin and the extrados of the segmental lining. The tailskin seal protects the rear end of the shield against high pressures with regard to the prevailing earth and water pressure and the grouting pressure resulting from the annular filling.

Two-Component Backfill Grouting

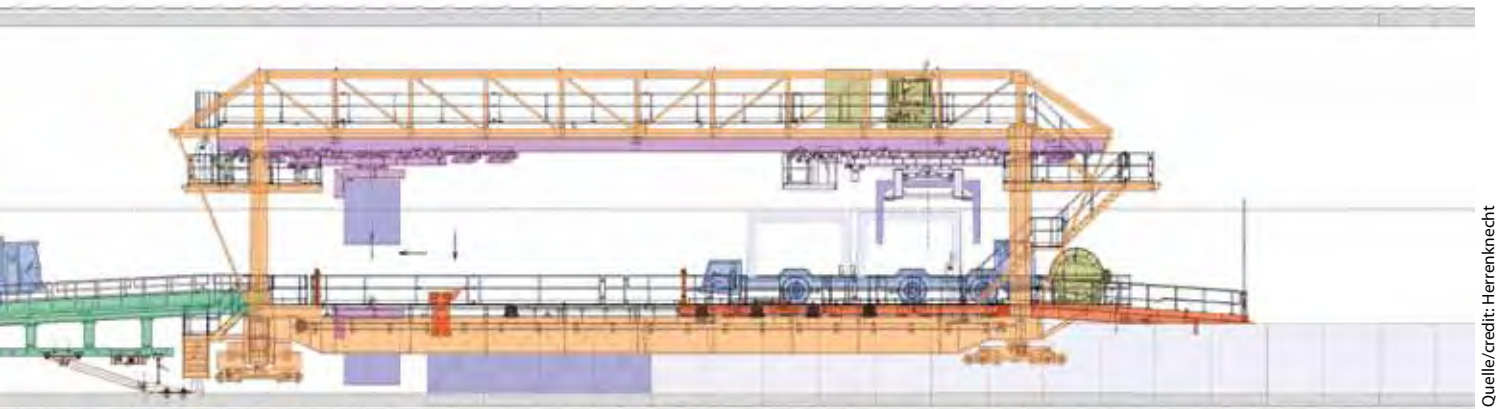
Due to urban tunnelling and crossing beneath sensible structures such as major arterial roads, a settlement-controlled TBM operation is required. Ground settlements are controlled through adequate face pressure management and the immediate support of the excavated ground with lining elements. The annular gap between the outside of the segmental lining and the excavated

surface of the ground that is caused by the advancement of the TBM constitutes a structural risk with regard to the bedding of the lining and subsidence at the surface. Therefore efficient grouting of the annular gap is essential. The backfill material is injected through eight (DN50) grout lines incorporated in the shield structure. The grout pressure and the injected volume are measured. The backfilling of the annular gap is intended to stabilize the segmental ring and to preserve the natural state of stress in the surrounding soil to keep the settlements controlled and to protect the segments and the shield tail from groundwater inflows (water-tightness).

The annular gap is backfilled using a two-component type grout comprising an A-component (cement based grout with bentonite and a retarder/stabilizer) and a B-component, an accelerator (typically sodium silicate). The advantages of the two-component grout are quicker stabilization of the ring which is possible due to shorter setting times and optimized working times. The processing properties as well as the pumpability of the two components are not affected by downtimes or advancement speeds.

The complexity of the Waterview Connection Project – a large-scale machine drive in a project environment in danger of subsidence – requires the application of an integrated risk and information system (IRIS). This system offers data access and data processing to all project parties at-a-glance. All tunnelling-related processes can be used for monitoring, reporting and analysis to manage the construction site more efficiently.

With focus on a settlement-controlled boring process, of relevance for the two tunnel sections below arterial roads, settlement measurements and TBM data are integrated in a single data platform. This allows instant cross-evaluation of the surface and building settlement with particular focus on volume-loss evaluation in quasi real-time, comparison with limiting and expected values, alarm function and correlation between TBM process data and settlement. Right from the start of the project, the time-frame question was as important as the technical aspects because the tunnel construction was regarded to be on the critical path. The key to a safe, quick and efficient implementation of the tunnel section is related to the TBM design, procurement of tunnelling equipment, the



Quelle/credit: Herrenknecht

supply chain and logistics. The machine was designed according to the specific project conditions with focus on a smooth material flow from the pressurized tunnel face through the cutting wheel to the rear of the machine where the muck is transported by continuous conveyor belts towards the portal. The logistics of the tunnelling system require a design adapted to guarantee continuous and reliable TBM performance.

Supply Chain, Logistics and secondary Tunnel Installation System

Multi-service vehicles are used to supply the TBM with segments and to transport precast invert concrete segments (culverts) that are used for the service tunnel within the tunnel profile. The service tunnel contains all electrical power and communication cables. The culverts are placed independently from TBM operation using a secondary tunnel installation system by Herrenknecht (Fig. 3), a so-called culvert gantry that follows the TBM. It has a total length of 96 m, is 12 m in height and has a weight of 400 t. This system consists of four components and is designed with a sliding platform, a steel ramp section, a culvert placing gantry with a culvert handling crane and an auxiliary culvert protection. The system runs on bogies behind the TBM. The culvert protection is operated in two modes, the "drive through mode" and the "culvert placing mode" (Fig. 4). In the drive through mode, the multi-service vehicles supplying the TBM with segments and consumables can pass the secondary tunnel installation system while the newly placed culverts are protected the gap between the culverts and ramp section 2 is closed.

In the culvert placing mode the culvert protection being at the back of the culvert placing gantry is opening a gap where

the new culverts can be placed when the multi-service vehicles are not running. The culverts are placed in position about 100 to 200 m behind the TBM using the culvert handling crane. At the rear of the culvert installation, the first stage of backfill is undertaken to create the roadway deck. Both the placing of precast culverts and first stage backfilling processes, are accomplished independently from TBM operation. A maximum of four precast culverts are installed in one cycle before the gantry has to be moved forward using hydraulic push rams. This decoupled work procedure for placing the culverts is possible because of the secondary tunnel installation system following the TBM that guarantees a continuous TBM operation without the risk of influencing the excavation process. The second backfill of tunnel invert started during the excavation of the first tunnel.

Adapted TBM Design to ease Turnaround of the TBM in the northern Portal Trench

A further TBM design aspect was focused on the completion of the first tunnel section, the southbound tunnel. After breakthrough on 29 September 2014, the machine had to be turned around and pushed sidewise to excavate in the opposite direction toward the south portal. Due to limited space available in the northern portal

trench with dimensions of 40 m in length and 40 m in width, the TBM design was adapted to ease the turnaround of the shield and tunnelling system. The shield and the backup gantries were designed as short as possible. The shield has a length of 12.4 m with a short trailer of three gantries, with an overall length of 87 m. The first backup gantry directly behind the TBM carries most of the relevant TBM installations.

Another design aspect to ease the turnaround was that the



Quelle/credit: NZ Transport Agency

5 The EPB shield has an overall length of 87 m including backup gantries. The machine was ready to bore the first tunnel section on 31 October 2013

design of the secondary tunnel installation system was independent from the TBM itself. Turning the machine at the northern portal was considered during the tender to be the easiest, safest and most economical way. After breakthrough of the TBM the shield was moved on the TBM cradle. Then both, the shield and the cradle were moved on steel plates that were placed on the trench floor. The steel plates were greased to facilitate the cradle movement sideways onto the northbound tunnel portal headwall. The shield including cradle was then turned by 180 degrees. For the turnaround of the backup, a similar process was implemented. On 15 December 2014, the TBM started excavating the second parallel tunnel towards the south with backup gantry 1 and gantry 2.1 (temporary gantry).

With the supply of the large-scale EPB Shield including backup gantries and the secondary tunnel installation system, the TBM equipment supplier Herrenknecht supported the contractor with project specific and integrated system solutions, providing technical, operational and commercial synergies. As part of the TBM supply contract, Herrenknecht provided about ten people for TBM assembly and commissioning and six people for supervision of TBM excavation for the first 300 m of tunnelling. For the remaining section, after the first 300 m, the contractor still retained manpower including a fitter and an electrician from the machine supplier. Experiences during Tunnelling of the first Underground Section The large-scale Herrenknecht EPB Shield that was designed in Germany and manufactured in Guangzhou, southeast China, was factory-tested in March 2013 at the factory in Guangzhou before it was stripped down into 97 separate pieces including 20 containers of small parts and packed ready for transport to Auckland. The machine was ready to bore the first tunnel section on 31 October 2013. The TBM operation was based on a six day week, 24 hours per day. Experiences from past tunnelling projects in Auckland in the project area showed issues in respect of handling the predominant lithology of East Coast Bay formation comprising sandstone of relatively low strength. The sandstones are often poorly cemented. In some places the sandstones are interbedded with siltstone layers that are well cemented and of very weak to weak consistency. The experiences from mechanized tunnelling on previous projects in the same area show that the predominant geological formation had a ten-



6 After breakthrough on 29 September 2014, the machine had to be turned around and pushed sidewise in the northern portal trench to start the excavation of the second bore in the opposite direction

dency to become sticky once it has been excavated. The results revealed that the soil sticks to the cutting wheel leading to a blockage of the cutting wheel openings.

The first TBM drive towards the North portal showed that the expected clogging issue was not encountered due to an appropriate cutting wheel design with large opening ratio and cutting tool arrangement that optimized the material flow from the tunnel face and out of the working chamber towards the rear. The conditioning management with the possibility of being able to add water in quantities of up to 200 m³/h into the working chamber also helped to avoid clogging effects on the cutting wheel and in the working chamber. Apart from that, the optimized management of conditioning and the well adapted tool management led to the fact that the

wear of the cutting tools was nearly zero along the first drive.

Due to the complexity of a large-scale TBM drive in an environment prone to subsidence, all tunnelling-related processes were monitored with a system comprising two major components of the IRIS program family, IRIS.tunnel and IRIS.geomonitoring. IRIS.tunnel provides comprehensive monitoring of machine and navigation data to the tunnel team and other members of the Alliance. In combination with the geomonitoring component, this monitoring solution becomes much more powerful. It allows for correlation of TBM data with results of continuous surface monitoring conducted along the tunnel alignment. Within the Alliance team the client is using a system named "ProjectOrbit". Besides internal communication this solution serves various other functions from project planning to completion of works. While setting up and configuring IRIS there has been a focus on creating an environment which allows for data transfer between the two systems. Using an FTP (File Transfer Protocol) interface, geotechnical monitoring results and survey data are uploaded and imported into IRIS. In the opposite direction the latest TBM position is provided to ProjectOrbit allowing team members without IRIS access to closely follow the status of tunnelling works. During the initial project phase the client even considered using this 'IRIS feedback' as part of public relation works by providing a live positioning of the TBM on WCA's website. Another extension of functionality has been provided to WCA by integrating data from VMT's Segment Documentation System (SDS)

Quelle/Credit: NZ Transport Agency

directly and automatically into IRIS. Segment properties generated throughout the whole process of production and logistics are imported into IRIS once the segment is installed. Properties established afterwards are then directly recorded inside IRIS. Such parameters could for instance include damage which become visible only at a later stage of construction. When it comes to shift reports and associated performance analysis the IRIS Work Shift module is efficiently used on board the TBM. IRIS machine shift reports automatically generate shift reports in form of Gantt charts by making use of machine bits indicating the current status. This could either be 'Advance', 'Ringbuild' or 'Downtime'. Inside the control cabin located directly on the TBM, WCA shift engineers use this automatic data to create comprehensive shift reports by editing 'Downtime' periods. More meaningful and informative work items are added into the system while the shift is still ongoing. This enables the tunnel management at job site offices to verify that progress is on track. Moreover, using IRIS the team is able to review and ensure efficiency of processes in quasi real-time.

Conclusion

The successful completion of the first tunnelling section for the Waterview Connection Project by means of mechanized tunnelling technology in September 2014 shows that large-scale underground sections in sensitive areas with high hydrostatic pressures and in complex geological formation can be safely and successfully managed on time.

The technology adapted for the execution of the large diameter tunnel construction shows the state of the art technology with tailored tunnelling technology adapted to the specific project demands. The provided comprehensive solution by the machine manufacturer for this project involves a high qualitative and technical standard for a large-scale TBM, developed into a system solution with benefits for the contractor. The system solution includes the possibility to build the tunnel invert that consists of a flexible roadway construction in parallel to TBM operation. The processes of TBM operation and invert installation are independent which enables an undivided commitment in respect of TBM performance. The demands of today's large-scale infrastructure projects are safe project realization on time. The relevance of supplying system solutions is increasing not only regarding the requirement for the machine manufacturers of designing, manufacturing and delivering machines but also to provide system solutions generating a benefit for clients and contractors.

Transparency in tunnelling is a benefit for all involved parties in large-scale infrastructure projects that are possible with integrated risk and information systems providing the working tools to organize, analyze and visualize data during construction but it is also an efficient tool for the planning of future projects. 

References

- [1] Spies, P., Burden, J., Hanke, S. (2014), "The Waterview Connection Project – Progress to Date", 15th Australasian Tunnelling Conference 2014, Sydney NWS, 17–19 September 2014, pp. 519–539



Visit us at the **World Tunnel Congress 2015** in Dubrovnik, Exhibition Area 1/Booth 71 + 72

fermacell®
AESTUVER

AESTUVER Tx fire-protection board

Outstanding fire-protection for tunnels

- Complies with all major international fire-protection standards
- Freeze-thaw & water-resistant – the boards can be used in environments fully exposed to the elements
- Fire-safety engineering with tailored solutions and convincing customer support

Find more information online:
www.fermacell-aestuver.com

fermacell® is a registered trademark
and a company of the XELLA group.

Tunnelertüchtigung gegen Einwirkungen aus Abgrabungen

Ziel des Infrastrukturprojekts AKE Abwasserkanal Emscher ist es, die Abwässer in der Zukunft unterirdisch in ausreichend dimensionierten Haltungen durch das Ruhrgebiet zu den Kläranlagen zu führen und den Fluss Emscher zu renaturieren. Für den Anschluss an den rund 50 km langen Hauptsammler müssen in den angrenzenden Städten die Leitungsnetze angepasst werden. In Gelsenkirchen sind durch den Kanalbau auch Tunnelanlagen der Stadtbahn betroffen, die in den 1970er-Jahren unter Berücksichtigung zu erwartender Einflüsse aus dem Bergbau geplant und umgesetzt wurden. Diese Einflüsse haben bei den Tunnelanlagen zu Spezialkonstruktionen geführt, die nun für die Ertüchtigung besondere Randbedingungen darstellen.

Tunnel Strengthening against the Effects of Excavating

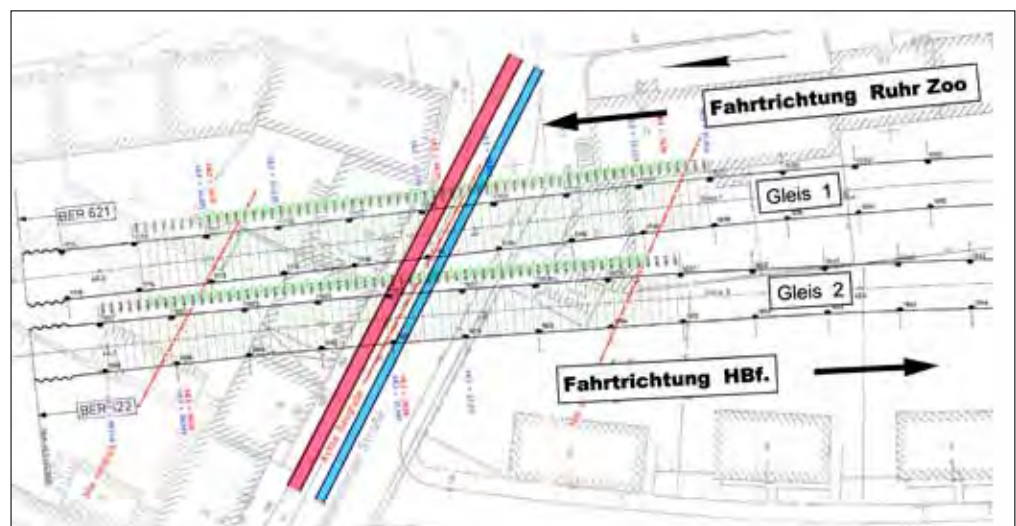
The objective of the AKE Abwasserkanal Emscher infrastructure project is to transfer sewage by underground means in the future in appropriately dimensioned conduits through the Ruhr District to the clarification plants, and to revitalize the river Emscher. The pipeline networks in the neighbouring towns and cities have to be adapted to link up with the roughly 50 km long main interceptor. In Gelsenkirchen, tunnels belonging to the urban transit system are also affected by the sewage construction. The tunnels were planned and built during the 1970s, taking expected influences resulting from mining into consideration. These influences led to special designs for the tunnels, which represent particular general conditions for their strengthening.

Dr.-Ing. Ludger Speier, Dipl.-Ing. Dieter Radloff, ZERNA Planen und Prüfen GmbH, Bochum; www.zpp.de
Dipl.-Ing. Thorsten Dahlmann, Stadt Gelsenkirchen, Referat Verkehr, Abt. Straßenbau, Ingenieurbau und Stadtbahn/Transport Division,
 Dept. for Road Construction, Engineering and Urban Transit

Einleitung

Die Wandlung des Ruhrgebiets vom Kohle- und Stahlstandort zu einer modernen Wissenschafts-, Industrie- und Dienstleistungsregion geht einher mit der Neunutzung der alten Industriestandorte und der Renaturierung großer Teile der sich ändernden Region. Hiermit soll die Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Regionen gesteigert werden, um den Strukturwandel erfolgreich fortführen zu können.

Ein wesentliches Infrastrukturprojekt der letzten Jahre in



1 Kanalbaumaßnahme Sellmannsbach im Bereich der Stadtbahntunnel, Grundriss
 Sellmannsbach canal construction scheme at the urban transit tunnels, basic layout



Quelle/Credit (2): ZERNA Planen und Prüfen GmbH

2 Stadtbahntunnel Gelsenkirchen, Baulos 5062.1, Schalke Nord

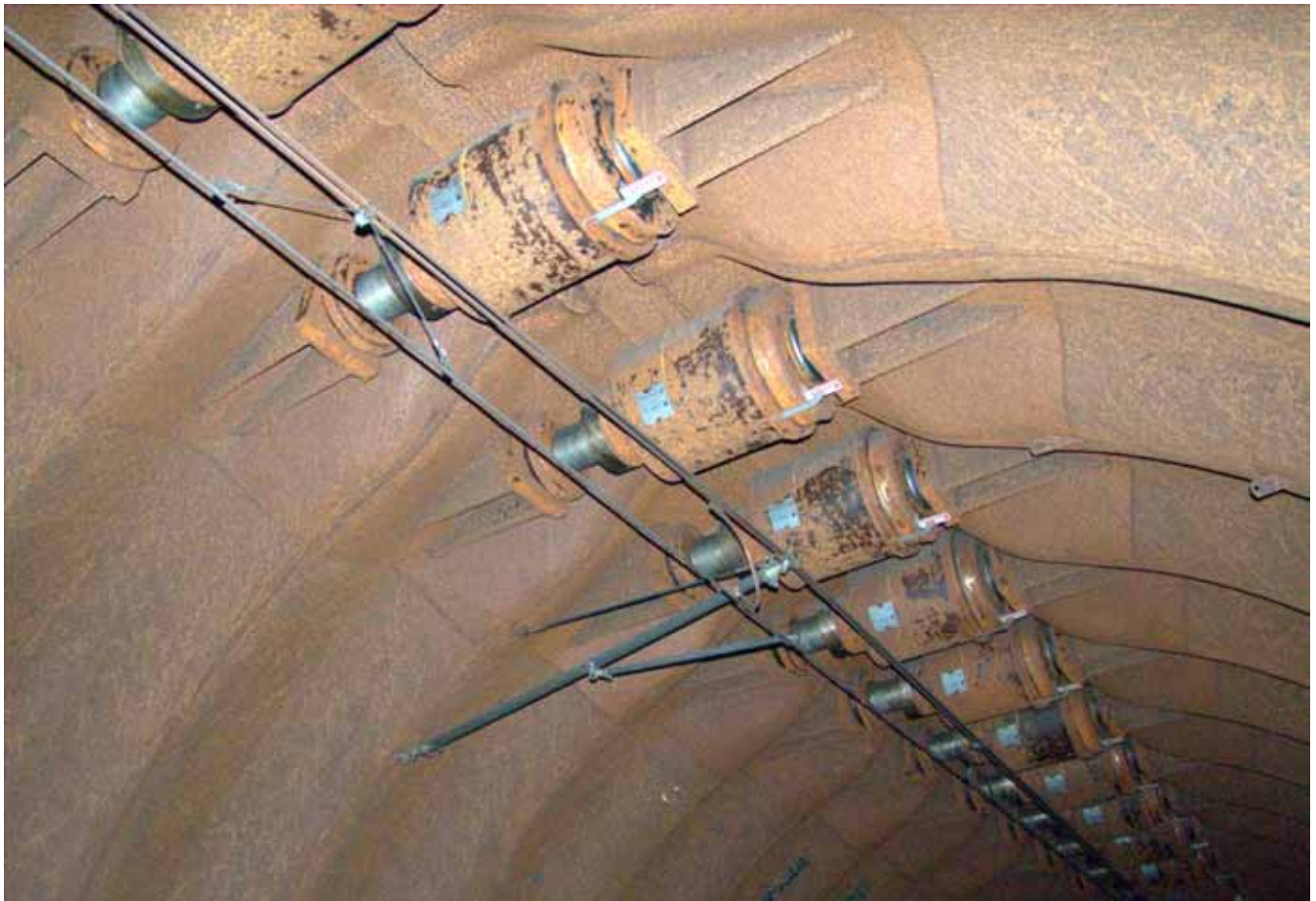
Gelsenkirchen urban transit tunnel, contract section 5062.1, Schalke North

diesem Gesamtkontext ist das Projekt AKE Abwasserkanal Emscher [1]. Ziel des Projektes ist es, die Abwässer in der Zukunft unterirdisch in ausreichend dimensionierten Haltungen durch das Ruhrgebiet zu den Kläranlagen zu führen, den Fluss Emscher mit den angrenzenden Grünflächen zu renaturieren und durch das so gewonnene Naherholungsgebiet die Lebensqualität in der Region maßgeblich zu steigern. Neben dem eigentlichen Hauptsammler mit einer Gesamtlänge von ca. 50 km zwischen Dortmund und Duisburg werden in den einzelnen angrenzenden Städten umfangreiche Projekte umgesetzt, um die vorhandenen Leitungsnetze anzupassen und an den Hauptsammler anzuschließen.

Im Stadtbereich von Gelsenkirchen verbindet dabei ein Projekt in besonderem Maß die Vergangenheit des Ruhrgebiets mit den Anforderungen an die Neustrukturierung des Umgangs mit den Abwässern. Durch den Kanalbau sind auch Tunnelanlagen der Stadtbahn betroffen. Diese Tunnelanlagen wurden in den 1970er-Jahren im Zuge der großen Verkehrsinfrastrukturprojekte zur Stärkung des ÖPNV in den Ballungszentren des Ruhrgebiets

Introduction

The transformation of the Ruhr District from a coal and steel location to a modern region for science, industry and services is accompanied by the new development of old industrial centres and the recultivation of large areas of the changing region. In this way, its attractiveness and competitiveness vis-à-vis other regions is to be enhanced so that structural change can successfully forge ahead. The AKE Abwasserkanal Emscher (Emscher Sewage Canal) has been an essential infrastructural project in this overall context in recent years [1]. The aim of this project is to transfer sewage by underground means in future in appropriately dimensioned conduits through the Ruhr District to the clarification plants, to restore the river Emscher with its adjacent green zones and to substantially enhance the quality of life in the region through the added dimension of green recreation areas. In addition to the actual main interceptor with a total length of approximately 50 km between Dortmund and Duisburg, extensive projects are being tackled in the surrounding towns and cities in order to adapt the existing pipelines systems and link them with the main interceptor.



Quelle/credit (2): ZERNA Planen und Prüfen GmbH

3 Kraftübertragung im Firstbereich durch vorgespannte Federelemente
 Transference of force in the roof zone through pretensioned spring elements

geplant und umgesetzt. Hierbei waren im nördlichen Bereich des Ruhrgebiets die damals noch zu erwartenden Einflüsse aus dem Bergbau zu berücksichtigen. Diese Einflüsse haben bei den Gelsenkirchener Tunnelanlagen zu speziellen Konstruktionen geführt, die nun für die anstehenden Ertüchtigungsmaßnahmen besondere Randbedingungen darstellen.

Im vorliegenden Beitrag wird nach einer kurzen Darstellung der Kanalbaumaßnahme zunächst auf die besonderen Konstruktionen eingegangen, im Folgenden werden die sich aus diesen Konstruktionen ergebenden technischen Besonderheiten und technischen Lösungen aufgezeigt und zum Abschluss die Erfahrungen aus der Ausführung mit den sich aus den betrieblichen Randbedingungen ergebenden Anforderungen erläutert.

Kanalbauprojekt

Im Rahmen des Emscher-Umbaus wird in Gelsenkirchen auch der Sellmannsbach vom Abwasser befreit und anschließend ökologisch verbessert. Der Bau des neuen unterirdischen Abwasserkanals ist ein Gemeinschaftsprojekt von Emscher-genossenschaft und Abwassergesellschaft Gelsenkirchen/Gelsenkanal, da der Sellmannsbach auf einer Länge von 2,65 km der Emscher-genossenschaft gehört, während der Oberlauf auf einer Länge von 2,55 km städtisch ist.

In this connection, within the bounds of Gelsenkirchen there is a project which links the Ruhr District's past with the requirements of restructuring to deal with sewage. The city's urban transit network's tunnels are also affected by the construction of the sewage system. These tunnels were planned and executed during the 1970s as part of the major infrastructural project intended to expand public transportation in the Ruhr District's built-up areas. In this respect, the influences that were still expected from mining had to be taken into consideration in the northern part of the Ruhr District. These influences led to special designs for the Gelsenkirchen urban transit tunnels, which represented particular general conditions for the proposed renovation measures.

Following a brief presentation of the sewage canal construction scheme, the current report deals with the special designs, the technical features ensuing from them and the technical solutions applied. Finally the experiences gained when undertaking the scheme together with the resultant operational general conditions are explained.

Sewage Canal Construction Project

In Gelsenkirchen the Sellmannsbach watercourse also had to be freed of sewage and subsequently improved in ecological terms as part of the Emscher conversion project. Constructing the new

Der neue unterirdische Abwasserkanal und die parallel geführte Verrohrung des offenen Gewässers überqueren in der Magdeburger Straße in einem schleifenden Schnitt die beiden parallelen Tunnelröhren der Stadtbahn Gelsenkirchen (**Bild 1**). Vorgesehen sind der Rückbau eines vorhandenen Regenwasserkanals DN 1800/1540 sowie der Neubau des Mischwasserkanals Sellmannsbach DN 1600 und der Gewässerverrohrung DN 1000. Die Ausführung ist in offener Bauweise vorgesehen. Im Bereich der Tunnelquerung ist mit einer Baugrubentiefe von ca. 4,80 m und einer Baugrubenbreite von ca. 8,60 m zu rechnen. Somit wird der Tunnel bis auf eine Höhe von ca. 2,80 m über Firste abgegraben. Aus den geometrischen Randbedingungen und den unterschiedlichen Lastausbreitungswinkeln des anstehenden Baugrunds (Festgestein (Mergel) und darüberliegende Lockergesteinsschichten (Schluffe, Sande und Auffüllungen)) ergibt sich der Einflussbereich auf den Tunnel auf einer Länge von 60 m. In diesem Abschnitt ist infolge der Abgrabung mit entsprechenden Einwirkungen auf die Tunnelröhren der Stadtbahn zu rechnen.

Konstruktion des Stadtbahntunnels

Die Tunnelkonstruktionen im Bereich Schalke sind Ende der 1970er-Anfang der 1980er-Jahre noch gegen die Einwirkungen aus dem aktiven Bergbau ausgelegt worden. Der Abbau von Kohle in großen Teufen führte neben Senkungen auch zu Längungen und Verkürzungen in den oberflächennahen Bodenschichten. Hieraus resultieren für im Erdreich gegründete Gebäude und eingeeordnete Bauwerke horizontale Zerrungen und Pressungen. Gegen diese Einwirkungen wurden die Tunnel im Sinne des Ausweichprinzips sowohl in Längs- als auch in Umfangsrichtung verformungsweich als Stahlkonstruktionen (**Bild 2**) ausgeführt. Über diese besondere Bauart und die Auswirkungen auf den Betrieb wurde bereits zur Ausführung und Anfang der 1990er Jahre umfangreich berichtet. Eine entsprechende Zusammenstellung findet sich in [2].

Jede der beiden eingleisigen Tunnelröhren besteht aus einer in Längsrichtung wellenförmig ausgebildeten Stahlschale. Die Wel-

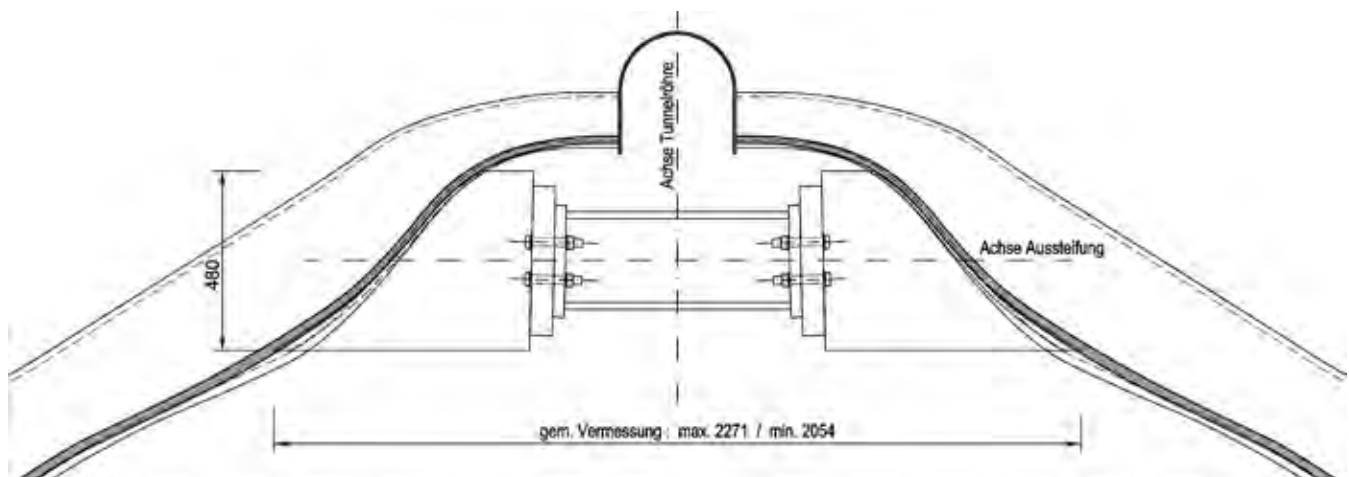
underground sewage canal represents a joint project by the Emscher-genossenschaft and the Abwassergesellschaft Gelsenkirchen/Gelsenkanal, as a 2.65 km long section of the Sellmannsbach belongs to the Emscher-genossenschaft, whereas the 2.55 km long upper reach belongs to the city.

The new underground sewage canal and the parallel running piping system for the open waterway cross the two Gelsenkirchen urban transit network tunnels at a glancing intersection in the Magdeburger Straße (**Fig. 1**). It is foreseen to remove an existing rainwater canal DN 1800/1540 as well as the new construction of the mixed water canal Sellmannsbach DN 1600 and the sewage piping system DN 1000. It is executed by cut-and-cover. At the tunnel intersection the construction trench is roughly 4.80 m deep and approx. 8.60 m wide. Consequently, the overlying ground is to be excavated down to a height of roughly 2.80 m above the tunnel roof. The zone of influence on the tunnel over a length of some 60 m results from the geometrical general conditions and the different load extension angles of the prevailing soil (solid rock/marl) and the soft ground layers (silts, sands and fills) located above. In this section, corresponding effects on the urban transit network tunnels can be reckoned with on account of excavation.

Design of the Urban Transit Tunnels

The tunnel designs in the Schalke area were devised in the late 1970s/early 1980s to counter the effects of active coal mining. The coal mining at great depths led to settlements as well as elongations and contractions in the layers of soil close to the surface. This culminated in horizontal strains and compressions affecting buildings and structures positioned in the ground. To counter such effects, the tunnels were designed in keeping with the deflection principle both in a longitudinal as well as a peripheral direction as steel structures (**Fig. 2**). Extensive reports were provided on this special means of execution and its effects on operation in the early 1990s. Corresponding references are to be found in [2].

Each of the single-track tunnels consists of a steel shell shaped like a wave in a longitudinal direction. The undulating form together with



4 Tunnelfirste mit neuer Aussteifung, Querschnitt

Tunnel roof with new reinforcement, cross-section

lenform gestattet zusammen mit dem Werkstoff Metall eine hohe Längsverformbarkeit des Tunnels sowie die Anpassung an Krümmungen durch Senkungen aus den damaligen bergbaulichen Aktivitäten. In Ringrichtung ist die Tunnel- schale in der Firste unterbro- chen. Die Dichtigkeit in der Firste wird durch ein Schlaufenblech gewährleistet, welches auch nach einer hohen Zahl von Bewegungsspielen die Dichtigkeit garantiert [3]. Die Kraftübertragung im Firstbereich erfolgt durch vorgespannte Federelemente im Abstand von 1,20 m (**Bild 3**). Die Vorspannkraft wird an den beiden Enden der Feder- elemente über Konsolen in die

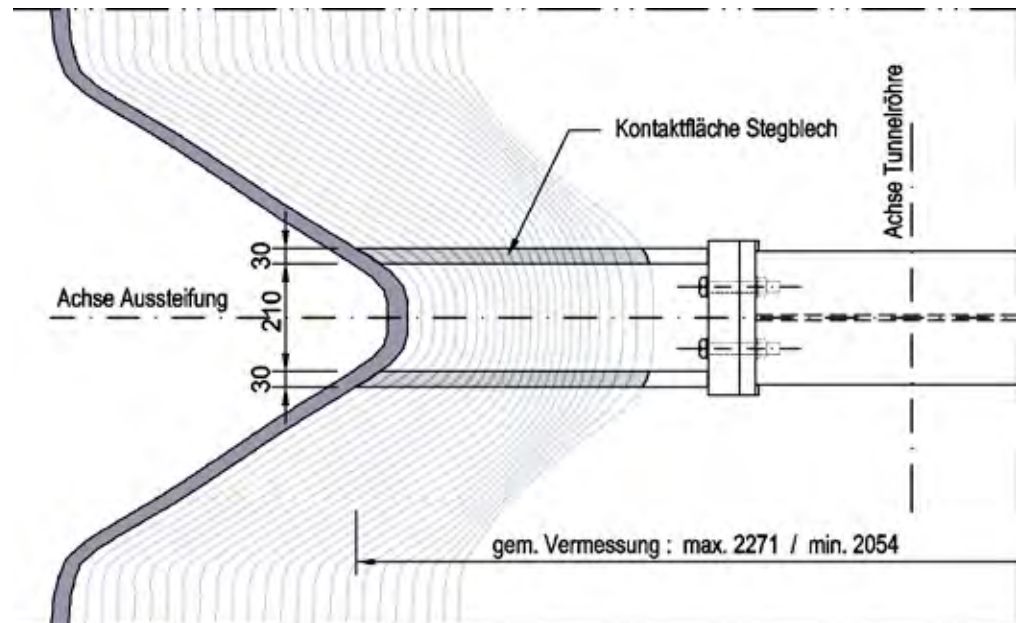
ca. 20 mm dicke Tunnel- schale eingeleitet. Dabei sind die Federele- mente nicht starr mit den Konsolen verbunden, sondern liegen als Pendelstäbe lose in Kalottenlagern. Grundsätzlich besteht Gleichgewicht zwischen der äußeren Belastung der Tunnel- schale und der aktiven Kraft der Federelemente.

Die Federausgleichselemente sind so konstruiert, dass sie sich bei Zunahme oder Verringerung der äußeren Erd- und Wasser- drucklasten innerhalb eines definierten Bewegungsmaßes verkürzen oder verlängern können. Vor Erreichen der maximalen Feder- verformung, die mittels eines an jeder Feder vorhandenen Weganzeigers abzulesen ist, muss die Federkraft nachgestellt werden, um erneut ein Federspiel zu ermöglichen.

Der Bergbau hat im Bereich der Stadtbahnanlagen seine Tätigkei- ten bereits vor Jahrzehnten beendet, so dass diese Einwirkungen grundsätzlich abgeschlossen und bergbauinduzierte Feder- verformungen nicht mehr zu erwarten sind. In der Vergangenheit war nach Aktenlage seit dem Einbau der Federn ein Nachstellen nicht erforderlich.

Technische Besonderheiten und konstruktive Lösungen

Der im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung ermittelte Ein- fluss der beschriebenen Kanalbaumaßnahme auf die Tunnel- röhren, vor allem infolge der erforderlichen Abgrabungen, ließ ausgeprägte Verformungen in den Federelementen erwarten, die ein Nachstellen der Federn erfordert hätten. Die für das Nachstel- len der Federwege erforderliche Vorrichtung, die im Rahmen der Tunnel- erstellung konstruiert wurde, ist in der Vergangenheit seit dem Bau der Anlage nicht eingesetzt worden; Erfahrungen ins- besondere im Hinblick auf den zeitlichen Aufwand der Nachjus- tierung lagen demnach nicht vor. Weiter wäre dieses Rückstellen



5 Tunnelfirste mit neuer Aussteifung, Horizontalschnitt
Tunnel roof with new reinforcement, horizontal cut

the metal material caters for high longitudinal deformability of the tunnel as well as its adjusting to warping resulting from subsidence caused by former mining activities. The tunnel shell is disrupted in the roof in the direction of the ring. The tightness of the roof is assured by a sheet metal, which still guarantees tightness even after a large number of movements [3].

The transference of force in the roof section takes place by means of pretensioned spring elements set 1.20 m apart (**Fig. 3**). The pre- tensioning force is transferred into the approx. 20 mm thick tunnel shell by brackets at the two ends of the spring elements. The spring elements are not rigidly attached to the brackets, but instead are installed loosely in cup and ball bearings as pendulum-linked bars. The outer load of the tunnel shell and the active force exerted by the spring elements are strictly kept in balance.

The spring compensation elements are designed in such a way that they can contract or extend within a defined range of move- ment, should the external earth and water pressure loads increase or decrease. Prior to reaching the maximum spring deformation, which can be read off from a display attached to each spring, the spring force has to be reset in order to facilitate a spring deflection. Mining ceased its activities within the bounds of the urban transit network facilities decades ago so that such effects have essentially stopped, and spring deformations resulting from mining are no longer anticipated. According to the records since the springs were installed no readjustments have been required.

Technical special Aspects and structural Solutions

The influence of the described sewage canal construction scheme on the tunnels, above all as the outcome of the necessary excava- tions, was predetermined within the scope of a feasibility study and prompted extensive deformations in the spring elements to

nur im Rahmen der bauzeitlichen Überwachung und als reaktive Maßnahme umsetzbar. Diese Eingriffe in die Betriebsanlage wären jedoch nicht „planbar“.

Vor diesen restriktiven Randbedingungen wurde vorgesehen, in Höhe der vorhandenen Federelemente zusätzliche Aussteifungen einzubauen. Durch diese starren Einbauten werden Längenänderungen der Federelemente ausgeschlossen.

Jede Aussteifung besteht aus zwei Konsolen mit jeweils zwei 30 mm dicken Stegblechen, die an die Tunnelschale angeschweißt und durch eine Steife zug- und druckfest verbunden werden (**Bild 4**). Für den ca. 60 m langen Einflussbereich der geplanten Kanalbaumaßnahme werden in jeder Tunnelröhre 55 Aussteifungen erforderlich. Eine wesentliche Randbedingung für die Umsetzung der Ertüchtigungsmaßnahme war jedoch die Bedeutung der Stadtbahnlinie für den Nahverkehr: Aufgrund der hohen Taktfrequenz der verkehrenden Bahnen bestanden nur geringe Möglichkeiten, den Betrieb einzuschränken. Diese Bedingungen führten zu der zwingenden Notwendigkeit, dass die gesamte Baumaßnahme innerhalb der ca. sechswöchigen Sommerferienzeit umgesetzt werden musste. Jeweils eine Röhre musste in dieser Zeit für drei Wochen gesperrt werden. Da während der Sommerferien die Taktfrequenz der Züge niedriger sein kann, wurde der Verkehr währenddessen in das andere Gleis eingetaktet. So konnte der gesamte Stadtbahnverkehr in der anderen Röhre eingleisig weiter geführt werden. Zeitgleich wurden für eine der drei verkehrenden Linien oberirdisch Ersatzverkehre eingerichtet.

Die mit dem Eingriff in die statische Konstruktion der Tunnel und in den laufenden Stadtbahnbetrieb verbundenen Fragen wurden vorab mit dem Prüfsingenieur, dem Betreiber, dem Verkehrsbetrieb, der technischen Aufsichtsbehörde und dem Planer der Kanalbaumaßnahme als Bauherr abgestimmt. Im Rahmen der Planung waren vor dem Eingriff in den Bestandstunnel einige Besonderheiten zu planen und zu klären, um eine hohe Sicherheit hinsichtlich der Ausführungsmöglichkeiten und der Ausführungszeiten zu gewährleisten. Hierbei handelte es sich um folgend beschriebene Themen.

Schweißtechnik

Die vor mehr als 30 Jahren hergestellte Tunnelschale wurde im oberen Bereich aus Stahlguss hergestellt. Bei der Auslegung der Schweißnähte

be expected. These deformations would have required the springs to be readjusted. The device for readjusting the spring movements, which was devised when the tunnels were constructed, has never been used in the past since the network was built. As a result, there was no indication of how much time would be needed for readjustments. Furthermore, resetting would have only been possible within the framework of monitoring during the construction period as a reactive measure. However, such interventions in the facilities could not be “planned”.

Seen against these restrictive general conditions it was intended to install additional reinforcements at the level of the existing spring elements. Longitudinal changes of the spring elements are precluded through these rigid installations.

Each reinforcement comprises two brackets each with two 30 mm thick web plates, welded to the tunnel shell and connected with a brace so that it is resistant to tension and pressure (**Fig. 4**). 55 reinforcements were to be installed in each tunnel for the roughly 60 m long zone of influence of the planned sewage construction scheme. The importance of the urban transit line for commuter transport however represented a major general condition for executing the renovation measure: on account of the high frequency of trains there were only limited possibilities to restrict services. These circumstances led to the absolute necessity of completing the entire construction measure within the six-week period allocated for the summer holidays. In each case, one tunnel had to be closed for a three-week period during this time. As the frequency of the trains can be lower during the school vacation, traffic was rerouted over the other track during

this period. This way, it was possible to run the entire urban transit operations on a single track in one tunnel. At the same time bus services were provided on the surface for one of the three lines affected.

Issues associated with intervention in the static design of the tunnels and in ongoing urban railway operations were clarified in advance with the test engineer, the operator, the transport company, the technical supervisory authority and with the planners of the sewage construction scheme as client. Within the scope of the planning a number of special features had to be provided for and clarified prior to tackling the existing tunnels in order to cater for a high standard of safety with regard to the possibilities and times of execution. The following topics that are described are relevant.



6 Konsolen der Aussteifungen mit passgenau gefertigter Kontur der Stegbleche

Brackets for the reinforcement with exactly pre-finished web plate contour

Quelle/Credit (2): ZERNA Planen und Prüfen GmbH



Quelle/credit: ZERNA Planen und Prüfen GmbH

7 Vormontage der Aussteifungen auf dem Bahnsteig der Stadtbahnstation
Pre-assembly of the reinforcements on the platform of the urban transit station

für die Verbindung der neuen Konsolen aus Baustahl S355 mit der gealterten Stahlgusschale waren schwierige Randbedingungen zu beachten. So musste aufgrund des rückseitig anstehenden Grundwassers mit hohen Abkühlgeschwindigkeiten gerechnet werden. Ferner ist der Arbeitsraum für die über Kopf auszuführenden Schweißarbeiten durch die mehrfach gekrümmte Geometrie der Tunnelschale und die vorhandenen Federelemente beengt. Schließlich erforderte die durch den Stadtbahnbetrieb stark beschränkte Ausführungszeit eine dichte Abfolge der Arbeitsschritte. Zur Festlegung der speziellen schweißtechnischen Anforderungen wurden im Vorfeld Materialuntersuchungen vorgenommen, nach denen der Werkstoff des Stahlgussteils als GS-16 Mn 5 gem. DIN 17182 bestimmt wurde. Da originale Stahlgussselemente aus der Zeit der Tunnelerstellung nicht zur Verfügung standen und die Entnahme einer Stückprobe aus der Tunnelschale aufgrund der Lage des Tunnels im Grundwasser ausgeschlossen war, konnten diese Materialuntersuchungen nur durch Analysen an der Tunnelschale durchgeführt werden. Weiterhin wurden unter angenäherten Bedingungen mit vergleichbaren Materialien Versuchsschweißungen durchgeführt und Anforderungen an die Schweißfachkräfte festgelegt. So hatte jeder der eingesetzten Schweißer neben der Vorlage des schriftlichen Sachkundenachweises auch eine beaufsichtigte Handfertigkeitsprobe abzulegen.

Räumlich veränderliche Geometrie der Tunnelschale

Vor dem Hintergrund des begrenzten und nicht verlängerbaren Ausführungszeitraums wurde besondere Aufmerksamkeit auf eine exakte Erfassung der Geometrie der Kontur der Tunnelschale

Welding Technology

The tunnel shell, which was produced more than 30 years ago, was made of cast steel in its upper section. Complicated general conditions had to be observed while creating the welding seams for connecting the new brackets consisting of structural steel S355 with the old steel cast shell. It had to be reckoned with that the prevailing groundwater would cool down quickly. In addition, the amount of space available for undertaking welding work overhead is constricted by the curved geometry of the tunnel shell and the existing spring elements. Finally, the substantially limited amount of time available due to train services called for working phases to be undertaken in quick succession.

Material tests were executed in the run-up to establish the special technical demands related to welding, as a result of which the material for the cast steel part was determined as GS-16 Mn 5 according to DIN 17182. As original steel cast elements from the time when the tunnels were produced were not available and no sample could be obtained from the tunnel shell owing to its location in groundwater, these material investigations could only be carried out through analyses of the tunnel shell. In addition, test welding was undertaken under similar conditions using comparable materials with the requirements on the skilled personnel also being determined. Thus, each of the welders deployed had to supply manual evidence of his capabilities as well as providing certificates.

Spatially changed Tunnel Shell Geometry

Against the background of the restricted period of execution that could on no account be extended, special attention was paid to ensuring that the contour geometry of the tunnel shell was exactly

verwandt. Dieses Aufmaß war die Voraussetzung für eine präzise Fertigung der Stahlbauteile, so dass unter Einhaltung der vorgegebenen Spaltmaße eine Montage ohne Verzögerung ermöglicht wurde. Da die Tunnelschale im Bereich des Firstelements in Längsrichtung und umlaufend in Ringrichtung doppelt gekrümmt ist, hat auch die Anschlussfläche der 30 mm dicken Stegbleche an die vorhandene Tunnelwand einen doppelt gekrümmten und verwundenen Verlauf. **Bild 5** zeigt in einem Horizontalschnitt die Änderung des Neigungswinkels der Kante des Stegblechs im Verlauf der Kontaktfläche zwischen Stegblech und Tunnelwand. Um die für die Werkstattplanung erforderliche Genauigkeit zu gewährleisten, wurde ein Laser-Scan der betroffenen Tunnelabschnitte durchgeführt. Die vermessungstechnische Auswertung und Darstellung der Punktwolken erfolgte für jede Konsole an folgenden Schnitten:

- Vier Vertikalschnitte: je Stegblech rechte und linke Außenkante
- Fünf Horizontalschnitte: Ober- und Unterkante eines Stegbleches und drei Zwischenschnitte

Die Lage der beiden Stegbleche einer Konsole in der aufgemessenen Punktwolke konnte dabei auf die mit dem Laser-Scan erfassten Kanten der benachbarten Auflagerkonsolen der vorhandenen Federelemente bezogen werden.

Bauablauf und Logistik

Die vorab bereits beschriebene Beschränkung der Ausführungszeit für sämtliche Arbeiten in den Stadtbahntunneln erforderte eine genau terminierte Planung der vor- und nachlaufenden Transport- und Gerüstarbeiten. Dabei war zusätzlich zu berücksichtigen, dass für den Zeitraum der Stahlbaumontage und Schweißarbeiten der unter der Tunnelfirste verlaufende Fahrdrat abgebaut werden musste. Der Einsatz eines Arbeitswagens des Verkehrsunternehmens war daher während der Ausführungszeit aufgrund der fehlenden Oberleitung nicht möglich, jedoch wurde damit vor den Ferien in nächtlichen Sperrpausen das Gerüstmaterial in die Tunnelröhren eingefahren und neben den Gleisen abgelegt. Für weitere Transporte im

defined. This parameter was the basis for precise completion of the steel structural parts so that installation without delay was possible with observance of the predetermined gaps. As the tunnel shell is double curved in a longitudinal direction at the roof element and at its circumference in the direction of the ring, the contact surface of the 30 mm thick web plates with the existing tunnel wall also possesses a double curving and warped course. **Fig. 5** displays the change in the angle of inclination for the edge of the web plate in the course of the contact surface between the web plate and the tunnel wall in a horizontal cut.

In order to guarantee the accuracy needed for drawing up plans in the workshop, a laser scan on the affected tunnel sections was executed. The technical assessment and presentation of the scatter plots during surveying took place according to the following steps for each bracket:

- four vertical cuts: per web plate at the right and left outer edge
- five horizontal cuts: upper and lower edge of a web plate and three intermediate cuts

In this connection, the position of the two web plates for a bracket in the measured scatter plots could be related to the edges of the neighbouring brackets for the existing spring elements recorded by the laser scan.

Construction Progress and Logistics

The previously described restriction of the time available for all the work required in the urban transit tunnels called for carefully scheduled planning for the transport and scaffolding activities that took place both prior to and following the work. In this connection, it had to be taken into account that the overhead wire running under the tunnel roof had to be removed for the period during which the structural steel was installed and the welding operations were carried out. It was not possible to make use of a work vehicle from the transport company during the period of execution, owing to the lack of overhead wire. Nonetheless, one was actually used to supply the scaffolding material for the tunnels and place it next to the tracks before the holidays during nightly breaks in services. Only hand cars could be used for further transports into the tunnel

BRUGG CONTEC
Strong fibers.

Concrix

THE alternative to steel fibers: more than 1'000 Joule with less than 4 kg/m³
Reduces reinforcement costs. No corrosion. No creeping. With structural calculation.

www.bruggcontec.com



Tunnel, wie z. B. das nach drei Wochen erforderliche Umsetzen des Arbeitsgerüsts in das parallele Gleis, konnten wegen des fehlenden Fahrdrachts nur Handloren vorgesehen werden. Der Einsatz von dieselbetriebenen Fahrzeugen kam aus Gründen des Arbeitsschutzes und des Schutzes der Anwohner nicht in Betracht.

Im Hinblick auf den Transport wurde die Stahlbaukonstruktion der Aussteifungen dreiteilig mit Schraubanschluss geplant. Auf dem Bahnsteig der ca. 200 m vom Arbeitsbereich entfernten Station konnte bei laufendem Stadtbahnbetrieb aus Sicherheitsgründen nur eine kleine Lagerfläche zur Verfügung gestellt werden.

Ausführungsdetails

Die Fertigung der Stahlbauteile für die Aussteifungen erfolgte auf Grundlage der vom Vermesser erstellten digitalen Daten der Konturlinien zwischen der Tunnelschale und den Stegblechen der Konsolen. Die komplexe Geometrie der anzuschweißenden Stegblechkante wurde durch Brennschneiden erzeugt. Dabei waren die beiden Stegbleche einer Konsole bereits an die gemeinsame Kopfplatte angeschweißt (**Bild 6**). Das mittlere Stahlbauteil hatte bei allen Aussteifungen eine einheitliche Länge, so dass neben der unterschiedlichen Geometrie der Stegblechkanten auch die veränderliche Länge der Aussteifung bei der Fertigung der Konsolen zu berücksichtigen war. Mit Bezug auf die im Tunnel vorhandene Bezeichnung der Messpunkte wurden die unterschiedlichen Konsolen eindeutig gekennzeichnet. Im Ergebnis zeigte sich bei der Montage und den Schweißarbeiten eine sehr gute Passgenauigkeit der im Werk vorbereiteten Aussteifungen. Mit dem Beginn des eingleisigen Betriebs wurde in der gesperrten Tunnelröhre nach Rückbau des Fahrdrachts für die Stahlbauarbeiten ein Gerüst mit einer durchgehenden Arbeitsebene im Montagebereich aufgebaut. Die zunächst oberirdisch neben dem Treppenhaus der Stadtbahnstation gelagerten Stahlbauteile konnten mit einem Aufzug auf die Fahrebene transportiert werden. Angepasst an den Fortschritt der Schweißarbeiten wurden auf dem Bahnsteig die drei Teile einer Aussteifung miteinander verschraubt (**Bild 7**). Nach dem Transport der jeweils ca. 400 kg schweren Steifen zum Arbeitsgerüst mittels Handloren, Hub auf die Arbeitsebene, Positionierung und exakter Ausrichtung an der vorbereiteten Montagestelle wurden die Stegbleche zunächst angeheftet.

Bereits für das Heften war an der Tunnelschale und den Stegblechen eine Stahltemperatur durch Vorwärmen mit offener Flamme zu gewährleisten. Da die eingebrachte Wärme im Stahlguss der Tunnelaußenschale durch die Lage der Tunnel im Grundwasser sehr schnell abgeführt wurde, musste während des Schweißens der Heft- und Konstruktionsnähte immer wieder vorgewärmt werden (**Bild 8**). Nur durch die Einhaltung einer ausreichenden Vorwärmtemperatur ließ sich sicherstellen, dass keine unzulässige Aufhärtung und Versprödung des Stahlgussmaterials der Tunnelschale auftreten konnte. Nach dem Heften erfolgten nochmals eine Überprüfung der Spaltmaße und die Freigabe für die Ausführung der Schweißnähte.

on account of the missing overhead wire, as e.g. for the relocation of the scaffolding to the parallel track after three weeks working. The use of diesel-operated vehicles could not be contemplated for occupational safety reasons as well as to protect local residents. With regard to transportation the steel structural design of the reinforcements was planned in three parts which were bolted together. On the platform of the station some 200 m away from the working area, only a small storage yard could be made available during ongoing train services for safety reasons.

Details of Execution

The production of the steel structural parts for the reinforcements took place based on the digital data provided by the surveyor relating to the contour lines between the tunnel shell and the web plates. The complex geometry of the web plate edge that had to be welded on was produced by flame cutting. Towards this end the two web plates for a bracket were welded to the joint head plate (**Fig. 6**). The central steel structural part possessed a standard length in the case of all reinforcements so that the changing length of the reinforcement also had to be taken into consideration as well as the changing geometry of the web plate edges during the production of the brackets. With regard to the existing identification of the measuring points in the tunnel, the various brackets were clearly marked. As a result, the bracings prepared at the plant fitted extremely well during assembly and the welding operations.

A scaffold with a continuous working level was set up in the assembly area in the closed tunnel when single-track operations came into force after the overhead wire was removed. The steel structural parts which were initially stored on the surface next to the stairway for the urban transit station were transported by elevator to track level. The three parts of a reinforcement were bolted together on the station platform in keeping with the rate of progress of welding operations (**Fig. 7**). After transporting the roughly 400 kg heavy braces to the working platform by means of hand cars, raising them to the working level, positioning and exact alignment with the prepared assembly parts, the web plates were then attached.

A steel temperature achieved by preheating with an open flame had to be ensured for the tunnel shell and the web plates for attachment purposes. As the heat in the cast steel for the tunnel outer shell very quickly dissipated owing to the tunnel's location in the groundwater, preheating had to be executed regularly while welding the attachment and structural joints (**Fig. 8**).

Adhering to an adequate pre-heating temperature was mandatory in order to assure that no impermissible increase in hardness and embrittlement of the cast steel material for the tunnel shell could occur. After tacking the gap clearance was once again checked and the green light given for executing the welding seams.

Executing the welding operations was of great importance on account of the need to adhere to the preheating temperature owing to the lack of opportunities for correction for the tunnel's outer shell. As a result the client also permanently supervised these activities in addition to the monitoring carried out by the company responsible for the structural steel work.



8 Vorwärmen und Schweißen der Stegbleche an die Tunnelschale
Preheating and welding the web plates to the tunnel shell

Quelle/credit: ZERNA Planen und Prüfen GmbH

Der Ausführung der Schweißarbeiten kam im Hinblick auf die Einhaltung der Vorwärmtemperatur aufgrund der fehlenden Korrekturmöglichkeiten für die Tunnelaußenschale eine hohe Bedeutung zu. Daher wurde zusätzlich zur Eigenüberwachung der ausführenden Stahlbaufirma eine ständige Überwachung dieser Arbeiten durch den Bauherrn vorgesehen.

Fazit

Die Baumaßnahme zur Ertüchtigung der Stadtbahntunnel wurde trotz der schwierigen geometrischen und materialtechnischen Randbedingungen innerhalb des geforderten engen Zeitrahmens in den Sommerferien 2014 durchgeführt und abgeschlossen. Wesentlicher Erfolgsfaktor hierfür war die gute und offene Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Stadt Gelsenkirchen, Stadtbahnbetreiber und Planer im Vorfeld der Bauarbeiten. Der durch die vorlaufende Planung gewonnene Kenntnisstand über den Bestands-tunnel, die geometrischen Besonderheiten, die tatsächlichen Eigenschaften des Werkstoffs und die betriebstechnischen Randbedingungen wurden im Rahmen der Vergabe ausführlich dargestellt und von der ausführenden Firma berücksichtigt und entsprechend umgesetzt. Dies führte dazu, dass während der Ausführung nur wenige Detailfragen auftraten, die zeitnah entschieden werden konnten. 

Conclusion

The measure to renovate the urban transit tunnels was executed and accomplished within the required constricted period of time during the 2014 summer holidays in spite of the tricky geometrical and material-technical general conditions. In this connection, a major success factor was the outstanding and open collaboration between the client, City of Gelsenkirchen, urban transit operator and planners in the run-up to the construction scheme. The level of knowledge gained from the ongoing planning relating to the existing tunnels, the geometrical peculiarities, the actual material characteristics and the operational technical general conditions were precisely presented during the tender process and taken into account and executed by the responsible contractor. As a result, only a few detailed issues cropped up during execution, which were promptly settled. 

Literatur/References

- [1] Stratemeier, Himmel, Flicke, Rohrvortrieb beim Abwasserkanal Em-scher erreicht Haltungslängen von mehr als 1100 m in Tunnel 05/14
- [2] Hollmann, Meißner, Rose, Schmidt-Schleicher, Bau und Betrieb von Anlagen des schienengebundenen unterirdischen Nahschnellverkehrs in Bergsenkungsgebieten aus bergschadentechnischer Sicht Teil 1-4 in Bergbau 09-12/95
- [3] Stadt Gelsenkirchen, Stadtbahnbauamt, Technischer Prospekt zur Bauausführung des Stadtbahnabschnitts Schalke-Nord, ca. 1979

Marathon-Vortriebe

An moderne Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) werden immer größere Anforderung gestellt: auch längere Strecken in Hartgestein sollen schneller und schneller vorangehen. Moderne TVM, den Projektanforderungen entsprechend konstruiert und gewartet, erreichen und überschreiten durchaus ihre konstruktive Nutzungsdauer von 10 000 Stunden. Bereits seit Jahrzehnten haben TVM Gesamtleistungen von 50 km und mehr erreicht – mit Einzelvortrieben von bis zu 27 km. Mit den heutigen Möglichkeiten kann die Messlatte noch höher gelegt werden.

Marathon Machines

Today's Tunnel Boring Machines (TBM) are often required to bore longer tunnels in harder rock at a faster pace – a trio of challenges that can be daunting for any contractor. With the proper design, operation, and maintenance, however, modern TBMs are very capable of reaching their 10 000-hour design life or more. TBMs in the industry today have already accomplished the feats of boring upwards of 50 km on multiple tunnels over decades, and of completing single TBM drives totaling 27 km. With new capabilities, even greater feats may be possible.

Desiree Willis, Technical Writer, The Robbins Company
Brian Khalighi, Vice President-Engineering, The Robbins Company

Abrasives Gestein, Störzonen und Wasserzuflüsse – geologische Widrigkeiten häufen sich mit zunehmender Tunnellänge. Bei Hartgesteinsvortrieben über 15 km muss eine TVM vielen Anforderungen genügen, was konstruktive Vielseitigkeit erfordert. Der planmäßige Verschleiß an der TVM ist in Langstreckenvortrieben eine maßgebliche Größe, und die Reduktion der dadurch bedingten Stillstandszeiten wird zu einer wesentlichen Bedingung. Als Antwort auf diese Anforderung können bereits in der Konstruktionsphase Elemente integriert werden, die in Verbindung mit regelmäßiger Wartung und gut geplanter Logistik während des Vortriebes die Einsatzbereitschaft der TVM für das Projekt und darüber hinaus sicherstellen.

Harsche Anforderungen auf der Langstrecke

Um TVMs für solche Geologien zu konstruieren, muss man die harschen Anforderungen, die beim Tunnelbau durch Hartgestein über längere Strecken herrschen, genauer betrachten. „Man unterscheidet zwischen dem, was man bereits bei der Konstruktion tun kann und dem, was während des TVM-Einsatzes und ihrer Wartung möglich ist“, so Brian Khalighi, Vice President Engineering bei Robbins. Grundsätzlich ist die Überdimensionierung von Baugruppen, wie z. B. der Hydraulik und des Schmiersystems, eine gute Maßnahme; eine wesentliche Größe ist die Überdimensionierung der Stahlbaustruktur.

Bohrkopf und Schneidwerkzeuge

Khalighi betont, dass man sich in der Konstruktionsphase auf die in direkten Kontakt mit der Ortsbrust stehenden Bereiche – Bohrkopf und Schneidwerkzeuge – konzentriert. Hochfeste Mate-

From abrasive rock to fault zones to water inflows, geologic challenges become more common as tunnel lengths increase. In rock tunnels over 15 km long, a host of challenges may meet a TBM, requiring a versatile design. General wear and tear is an issue on machines boring long stretches of tunnel, and thus minimization of downtime is key. In order to counteract these challenges, a number of design features can be added during the manufacturing process, and these, combined with regular maintenance and well-designed logistics during tunneling, can result in TBMs lasting for the tunnel length and possibly over multiple projects.

Withstanding the Test of Time

In order to design machines for such conditions, consideration must be given to the harsh aspects of tunneling in hard rock over long distances. “This can be broken down into what can be done at the TBM design stage, and what can be done during TBM operation and maintenance,” says Brian Khalighi, Robbins Vice President-Engineering. Overall, oversizing components like the hydraulics and lube systems is a good idea, and overbuilding of steel structures is of great importance.

Cutterhead and Cutters

Khalighi emphasizes that much of the design centers around areas directly in contact with the rock face, namely, the cutterhead and cutters. High strength materials, wear protection on the cutterhead, and cutter spacing all affect cutterhead wear in dramatic ways. The cutterhead should be designed with regular cutter inspections and changes in mind. It must also be built to last: this can be difficult when a back-loading cutterhead is required in order to change the cutters from inside the machine: “The structure is like Swiss cheese, and it



Quelle/Credit (2): Robbins

Zwei der sechs Robbins TVM für das NOW-Projekt in Liaoning während der Werkmontage. In den oberen und unteren Bohrkopfzonen kann man deutlich die Panzerung aus hochverschleißfestem Material für den Einsatz im Langstreckenvortrieb erkennen

Two of the six Robbins TBMs for China's Liaoning NOW project are seen during shop assembly. Abrasion resistant wear plating is clearly visible on the top and bottom cutterhead pieces to aid in long distance excavation

rialien, Verschleißschutz für den Bohrkopf und der Schneidbahnabstand beeinflussen maßgeblich den Verschleiß am Bohrkopf. Bei der Bohrkopfkonstruktion müssen die Anforderungen aus regelmäßigen Inspektionen und Schneidwerkzeugwechseln im Auge behalten werden. Der Bohrkopf muss für lange Standzeiten ausgelegt sein; dies kann sich als schwierig herausstellen, wenn der Bohrkopf als Rückwärtslader ausgeführt werden soll oder muss, mit Schneidwerkzeugwechsel im Schutz der Maschine. „Die Bohrkopfkonstruktion bekommt eine Struktur wie ein Schweizer Käse, muss dabei aber auch robust genug für einen langen Einsatz sein“. Die Umsetzung dieser Anforderung geschieht zu großen Anteilen während der Produktion, wenn die Struktur geschweißt wird und ständige Belastungstest durchgeführt werden, um mögliche Schwachstellen zu erkennen und zu beseitigen. Abweiser, angebracht vor den Schneidrollen, mindern die Gefahr, dass die Schneidringe durch Schläge von gelöstem und herabfallendem Gestein beschädigt werden und Schadensbilder wie Absplitterungen und Abplatzungen zeigen. Ebenso sind entsprechend groß dimensionierte Bohrgutschaufeln, in ausreichender Zahl und richtiger Position am Bohrkopf angeordnet, wesentliche Elemente, um den kontinuierlichen Bohrgutfluss sicherzustellen. Langlebige und austauschbare Verschleißbleche an den Bohrgutschaufeln sind von großer Bedeutung in diesen, hohem Verschleiß ausgesetzten Bereichen.

Mit Blick auf die Schneidringkonstruktion erlauben Ringe größerer Durchmesser mit größeren Lagern höhere Andruckkräfte und bieten größeres Verschleißvolumen. Diskenschneidringe mit Durchmessern von 19" oder 20" sollten kleineren Schneidringen wie z. B. 17" Durchmesser vorgezogen werden.



Die Mineure haben über mehr als 50 % der Längen des Liaoning Tunnels im Baulos T5 McNally-Lanzen eingebracht, wie hier in der Tunnelfirste zu sehen

Workers in the Liaoning T5 tunnel have installed McNally slats, seen here in the tunnel crown, in more than 50 % of the tunnel

needs to be made strong enough to withstand many boring hours." In order to do that, much of the strengthening occurs during the manufacturing process when corners are welded and stress testing is conducted to test any fractures that may occur in the cutterhead steel. During operation, deflector plates on the cutterhead can bulldoze rock away from the leading edge of disc cutters, minimizing the impact of loose rock on cutters that might otherwise cause chipping or spalling. Adequately-sized muck buckets are also a crucial component to allow for a smooth flow of muck, along with the right quantity and location on the cutterhead. Durable, replaceable bucket lips are also of key importance in these high-wear areas. In terms of rolling disc cutter design, larger diameters are manufactured with larger bearings capable of withstanding heavier loads while also offering more wear volume. 19-inch or 20-inch cutters are preferable to smaller cutter diameters such as 17-inch. The materials of the disc rings themselves are also crucial – exceptionally clean steel ensures high resistance to fatigue, for instance. Metal-to-metal face seals are also the industry standard in eliminating ingress of foreign materials and maintaining elasticity at high temperatures. These temperatures can often rise to 75–85 °C when excavating very hard rock, and cutter designs must be able to withstand repeated heating and cooling.

Main Bearing & Seals

Large diameter 3-axis main bearings, with the largest possible bearing to tunnel diameter ratio, have larger dynamic capacity and therefore are capable of withstanding more load impacts and give longer bearing life. "The bearing and ring gear are in a difficult-to-access spot on the TBM. They must be designed for longevity, with a super

Auch das Material der Schneidringe ist von großer Bedeutung. Die Verwendung von Stahl höchster Qualität und Güte z. B. ist wesentlich, um die Sicherheit gegen Materialermüdung zu steigern. Gleitringdichtungen aus Metall sind industrieller Standard in der Abdichtung gegen Verunreinigungen bei gleichzeitiger Elastizität der Dichtung unter hohen Betriebstemperaturen. Die Temperaturen steigen bei Vortrieb in hartem Fels auf bis zu 85 °C an und die Schneidrollen unterliegen wiederholten Wechseln zwischen Aufheiz- und Abkühlungsphasen.

Hauptlager und Dichtungen

Große Drei-Achsen-Hauptlager mit dem größtmöglichen Verhältnis von Hauptlagerdurchmesser zu Bohrdurchmesser bieten im Vergleich höhere dynamische Belastungsfähigkeit und können daher größere Lasten aufnehmen bei gleichzeitig längerer Lebensdauer. „Das Lager und der Zahnkranz einer TVM sind schwer zugänglich. Sie müssen langlebige, absolut robuste Bauteile sein, die auf höchste Bauteilsicherheit ausgelegt sind“, so Khalighi. Die Bauteilsicherheit ist definiert als zusätzliche Belastungsfähigkeit, die über das bei der Bauteilkonstruktion berechnete Maß hinausgeht. Überdimensionierung von Hauptlager und Zahnkranz ist für TVM im Langstreckentunnelbau unumgänglich.

Robust ausgelegte Dichtungen sind ebenso zwingend notwendig. Robbins verfügt über ein erprobtes Dichtungskonzept

robust structure and high safety factor,” explains Khalighi. Safety factor is defined as any surplus capacity over the design factor of a given element, and overbuilding such structures is of necessity in long distance tunneling.

Robust seal design is also essential. Robbins has a proven seal design using hardened wear bands that can be switched out or replaced, instead of utilizing a ring of low-carbon alloy steel, which is non-replaceable. Without wear bands the TBM can wear a groove into the seal lip contact zone as it operates. The abrasion-resistant wear bands, made of Stellite, can be changed in the tunnel in the unlikely event of excessive wear, or can be relocated on the bearing to ensure that damage is not done to the TBM structure itself on long drives. Other elements of the main bearing such as the internal fasteners must be designed as durable and of high reliability, as these fasteners are difficult to access and are not easily replaceable. The studs connecting the cutterhead to the main bearing seal assembly must also be closely analyzed for strength, deflection, and adequate fastening, and protection must be provided for the fasteners against abrasive muck.

Lubrication

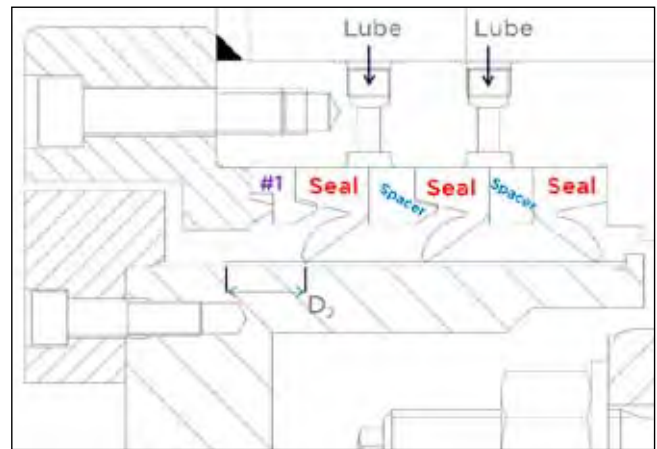
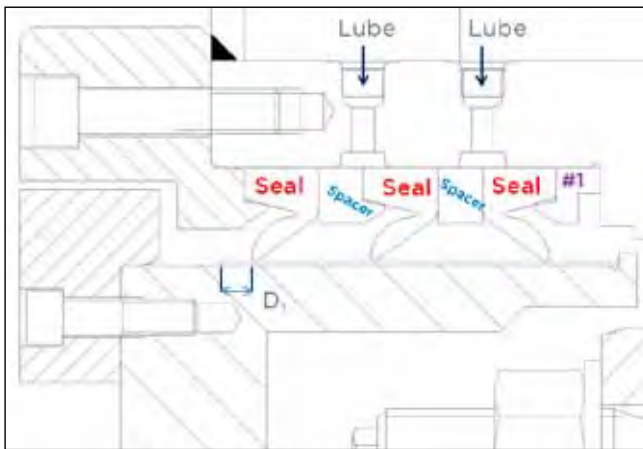
Dry sump lubrication is a critical way of keeping the main bearing cavity clean by filtering and recycling the oil at a constant rate. Any contamination is cleaned from the cavity, prolonging bearing life. Khalighi explains that the system also has an added benefit: “The oil



Quelle/credit: Robbins

Die Robbins TVM im Baulos T5 erreicht die höchste Vortriebsgeschwindigkeit bei geringstem Verschleiß: durchschnittlich 675 m pro Monat und 1300 m³ Aushub pro Meißel

The Robbins machine at T5 has the highest rates of advance and best cutter wear on the project, averaging 675 m per month and 1300 m³ bored per cutter



Quelle/Credit: Robbins

Die verschleißbeständigen Stellite-Bänder können im nicht sehr wahrscheinlichen Fall erhöhten Verschleißes im Tunnel ausgetauscht werden. Die Dichtungen lassen sich in ihrer Position relativ zum Verschleißband verschieben (rechte Abbildung); die Abstandshalter zwischen den Dichtungen werden dabei umgesetzt, sodass das Verschleißband nicht gleichzeitig mit den Dichtungen ausgetauscht werden muss. Dadurch lässt sich die Lebensdauer des Verschleißbandes praktisch verdoppeln

The abrasion-resistant wear bands, made of Stellite, can be changed in the tunnel in the unlikely event of excessive wear. To change the seal location in the tunnel (illustration on the right), the seal is moved axially relative to the wear band. The spacer between the seals can be relocated so that wear bands do not have to be changed at the same time as the seals, effectively doubling the life of the wear band

mit Verwendung gehärteter, austauschbarer Verschleißbänder anstelle von Hülssen aus kohlenstoffarmen Stahl, die nicht austauschbar sind. So lassen sich tiefe Rillen in den Laufflächen der Lippendichtungen vermeiden werden. Die verschleißbeständigen

can be monitored and analyzed for any indications of distress in the main bearing or gears." This monitoring has the potential to allow for correction or intervening maintenance of critical components and structures before a failure occurs.

Doors that matter.

HODAPP

HODAPP Tunnel doors

Fire doors for Road-, Metro- and Railway- Tunnels

> Sliding doors, hinge doors, double-action swing doors, ceiling and wall flaps for railway and road tunnels



- > Fire protection EI,30, 60, 90, 120, 240, HCM N2, N3
- > Pressure/suction loads resistance up to ± 10 kPa
- > Airtight up to class 4
- > Opening aid for doors exposed to pressure loads

Hodapp GmbH & Co. KG
Grossweierer Strasse 77
D-77855 Achern
Tel.: +49 (7841) 6006-0
Fax.: +49 (7841) 6006-10
info@hodapp.co.uk
www.hodapp.co.uk



Stellite-Bänder können im nicht sehr wahrscheinlichen Fall erhöhten Verschleißes im Tunnel ausgetauscht oder im Lager neu positioniert werden, um Schaden an den TVM-Bauteilen bei einem Langstreckeneinsatz abzuwenden.

Neben den Dichtungen müssen noch andere Hauptlagerteile, wie innenliegende Verbindungselemente, langlebig und höchst zuverlässig ausgelegt werden, da sie schwer zugänglich und nicht einfach austauschbar sind. Die Stehbolzen für die Verbindung des Bohrkopfes an das Hauptlager müssen genau untersucht werden in Bezug auf ihre Belastbarkeit, ihre Biegebeanspruchung und sichere Montage. Sie müssen gegen die Einwirkungen aus abrasivem Bohrgut geschützt werden.

Schmierung

Mit einer Trockensumpfschmierung kann man das Hauptlagergehäuse durch regelmäßiges Ölfiltrern und -wechseln vor Verunreinigung schützen, was die Lagerlebensdauer verlängert. Laut Khalighi bietet dieses System noch einen Vorteil: „Durch die ständige Ölüberwachung und -analyse im Hauptlager und Getriebe können mögliche Probleme rechtzeitig erkannt werden“. Mit dieser Überwachung ist es möglich, an kritischen TVM-Komponenten und -Systemen vorbeugende Massnahmen und Wartungsarbeiten durchzuführen, bevor ein Schaden auftritt.

Antriebssystem

Das richtige gewählte Bohrkopftriebskonzept ist ebenso von Bedeutung bei der Konstruktion von TVM für Langstreckenvortriebe. Die Anwendung von Frequenzumrichtern und Planetengetrieben erlauben die stufenlose Anpassung von Drehzahl und Drehmoment an die Gegebenheiten aus dem Baugrund und tragen dadurch zum Betrieb der TVM im optimalen Betriebspunkt bei und beugen Schäden an Bauteilen vor. „Bei älteren TVMs gab es nur ein oder zwei Geschwindigkeitseinstellungen. Wenn man da z. B. auf Störzonen gestoßen ist, gab es keine Möglichkeit, die Bohrkopfgeschwindigkeit zu senken“, so Khalighi. Das führte häufig zu übermäßigem Verschleiß an den TVMs – oder gar zu Schäden an den Maschinenteilen.

Auch die Antriebsmotoren müssen so konstruiert und gebaut sein, dass sie den starken Vibrationen standhalten, die bei Vortrieb in Hartgestein auftreten. Motorlagerungen in Kragarmbauweise müssen den enormen Beschleunigungskräften aus Vibrationen, die mit Hartgesteinsvortrieben verbunden sind, standhalten.

Lasteinleitung

Ein durchgängiger Weg der Lasteinleitung vom Bohrkopf über das Hauptlager bis in die Lagerung des Bohrkopftriebsgehäuses ist ideal. Bei Langstreckenvortrieben kann sich die Lasteinleitung verändern, was wiederum hohe Beanspruchungen zur Folge hat. Ein Bohrkopf mit konischer Struktur im hinteren Bereich kann hier durch gleichmäßige Lasteinleitung auf das Hauptlager Abhilfe schaffen. „Alles muss einfach robuster sein. Die über den Bohrkopf eingeleiteten Lasten müssen in eine insgesamt massiv konstruierte TVM weitergeleitet werden“, ergänzt Khalighi.



Quelle/credit (2): Robbins

Für Schneidrolleninspektion und Schneidrollenwechsel optimiertes Design ist wesentlich für Langstreckenvortriebe mit TVM

Cutterhead design to optimize regular cutter inspections and cutter changes is critical for long distance TBM tunneling

Drive System

The right drive system is also important in long-distance TBM design. Variable Frequency Drives (VFDs) and planetary gear reducers allow for infinitely adjustable torque and speed control based on the encountered ground, which optimizes the TBM advance rate and reduces damage to machine components. This is in comparison to older style drives: „In older model TBMs, often the drive system was single speed or 2-speed. If you bored into a fault zone, for example, there would be no way to slow down the cutterhead“, said Khalighi. Such drives would often result in undue wear to the TBM, or even damage to structural components.

Drive motors must also be designed to withstand high vibration as a result of excavating through hard rock conditions. Cantilevered motors must be able to withstand the high g-forces applied to them by the violent machine vibration that is induced by rock cutting action.

Load Path

A uniform load path, from cutterhead to main bearing to cutterhead support, is always desirable. However for long distance tunneling, the load path can be crucial as high stresses occur wherever the load path shifts. A cutterhead with a cone-shaped rear section can help with this problem by evenly distributing the load across the circumference of the main bearing. „Everything must be designed in a more robust fashion, and the loads generated by the cutterhead must also translate into a heavier overall structure of the machine“, adds Khalighi.

Efficient Muck Removal

The path of muck, from the muck bucket to the chute to the machine belt conveyor, must also be as smooth as possible. Smooth muck flow not only increases efficiency, but also prevents the problem of re-grind on the cutterhead. It can also reduce wear on both the external and internal surfaces of the cutterhead. One way of achieving smooth flow is to oversize the TBM belt conveyor, allowing for increased capacity while reducing the overall belt speed, thereby reducing wear on the conveyor over a long period of time.

Effiziente Bohrgutabfuhr

Der Bohrgutfluss von den Bohrgutschaufeln bis zum Bohrguttrichter des TVM-Förderbandes muss so kontinuierlich sein wie möglich. Durchgängiger Bohrgutfluss erhöht nicht nur die Vortriebseffizienz sondern beugt auch den negativen Effekten aus sekundärer Bohrgutzerkleinerung vor und wirkt damit Verschleiss, sowohl an der Bohrkopfaußen- als auch der Bohrkopfinnenstruktur, entgegen. Eine Möglichkeit dies zu erreichen, ist die Überdimensionierung des TVM-Förderbandes was Erhöhung der Förderkapazität bei gleichzeitiger Reduzierung der Bandgeschwindigkeit erlaubt und damit die Lebensdauer des Fördergurtes erhöht.

Tunnelförderbänder

Von ähnlicher Wichtigkeit ist der kontinuierliche Bohrgutfluss über die gesamte Strecke entlang des Tunnels bis zum Portal. Der Einsatz von Tunnelbändern hilft, im Vergleich zum Einsatz von Schutterzügen, Stillstandzeiten zu reduzieren. Mit zunehmender Tunnellänge erhöht sich die Fahrzeit der Züge und dieses Konzept verliert an Effizienz. Tunnelbänder für Langstreckenvortriebe sollten robuste Übergabestellen haben und mit Maßnahmen zur Dämpfung der kinetischen Energie aus dem Bohrgutfluss Verschleiss vorbeugen. Ein gutes Wartungskonzept einschließlich Bandabstreifer zur Bandreinigung und Leitblechen zur Verhinderung von Bohrgutüberläufen sind wesentliche Bauelemente.

Continuous Conveyors

Similarly, a smooth muck flow path all the way out of the tunnel is critically important. Use of continuous conveyors limits downtime when compared to the downtime experienced when a locomotive and muck cars are used. As a tunnel gets longer, the time to transport muck cars in and out of the tunnel becomes less and less efficient. Continuous conveyors for long distances must be designed with robust transfer points to allow for a soft landing of the muck in order to reduce wear and tear. A good maintenance system including muck scrapers to keep the belt clean and flashings to prevent spillage is also of critical importance.

Daily Maintenance

Once the machine has been built, regularly scheduled maintenance based on tunnel length and geological conditions is key. "There are not special guidelines for long-distance tunnels, it is just about being diligent and conducting more detailed inspections the longer a TBM is in operation," says Steve Chorley, Robbins Field Service Director. Planned cutter inspections are a regular part of maintenance, which is recommended daily. Checking of oil levels, and all fluids, greases and hydraulics, is also of primary importance. Daily logs are recommended for monitoring of all major systems on the TBM. Depending on the tunnel length, some maintenance may be done beyond what is considered normal. Gear boxes, for example, may be



VARIOKIT, the engineering construction kit with rentable, standardised components, is the solution for numerous requirements in tunnel construction.

- Maximum reduction in the number of special parts
- Perfect adjustment to project requirements
- Wide range of system components
- Open system for numerous other applications

PERI Formwork and Scaffolding Solutions for all Tunnel and Cross-Sections

PERI® Formwork
Scaffolding
Engineering

www.peri.com

Tägliche Wartung

Neben Konstruktion und Bau der TVM ist ihre Wartung in Abhängigkeit von der Tunnellänge und den Bodenbedingungen sehr wichtig. „Es gibt keine besonderen Vorgaben für Langstreckentunnel. Man muss eben immer sorgfältiger werden und mehr Wartungen einlegen, je länger eine TVM läuft“, so Steve Chorley, Field Service Director bei Robbins. Planmäßige Inspektionen der Schneidwerkzeuge sind Teil regelmäßiger Wartung, deren tägliche Durchführung empfohlen wird. Die Überprüfung von Ölständen und der Füllstände aller anderen Flüssigkeiten, Schmierstoffe und Hydraulikölen ist besonders wichtig. Zur Überwachung aller neuralgischen Systeme sollten täglich Wartungsberichte erstellt werden. Je nach Tunnellänge sollten zusätzliche Wartungsarbeiten zu den planmäßigen Inspektionen durchgeführt werden. Die Planetengetriebe z. B. mögen für den Langstreckenvortrieb ausgelegt sein – wenn man aber weiß, dass die Vortriebsstrecke die rechnerische Lebensdauer der Getriebe überschreitet, sollte man planmäßig Überholungen der Getriebe durchführen. Diese Vorgehensweise wurde auch beim AMR-Tunnel in Indien – dem nach Fertigstellung mit 43,5 km längsten Tunnel ohne Zwischenangriff

Fallbeispiel: Chinas Langstrecken-Wassertunnel

Einer der derzeit längsten im Bau stehenden Tunnel wird in der Provinz Liaoning im Nordosten Chinas gebohrt. Das von der Regierung vergebene NOW-Bewässerungs- und Trinkwasserprojekt ist auf gigantische 120 km ausgelegt und in neun Baulose, T1 bis T9, unterteilt. Mit Ausnahme von T7, wo der Vortrieb mit der Bohr- und Sprengtechnik erfolgt, wird je Baulos eine TVM eingesetzt. Für die Baulose T1 und T2 wurden zwei offene TVM eines anderen Herstellers erworben. Die Tunnelbaufirma SinoHydro Bureau 3, verantwortlich für Baulose T3 und T4, kaufte zwei neue offene Robbins Hartgesteins-TVM, mit einem Bohrdurchmesser von 8,53 m. Diese Wahl traf auch die Tunnelbaufirma Shanxi Hydraulic Engineer Construction Bureau, verantwortlich für das Baulos T5. Für die Baulose T6 und T8 kooperierte der chinesische Maschinenbauer NHI (Northern Heavy Industry Group) mit Robbins für die Lieferung zweier weiterer offener Hartgesteins-TVM desselben Durchmessers. Für das Baulos T9 wurde eine generalüberholte Robbins-TVM geliefert. Alle acht TVM wurden mit Robbins Tunnelförderbändern ausgerüstet.

Jede der acht im Liaoning NOW Project eingesetzten TVM bohrt zwei aufeinander folgende Tunnel mit Längen zwischen 6,5 km und 8,0 km, insgesamt also ca. 15 km. Die schwierigen und langen Tunnel verlaufen v. a. durch Granit-, Granitgneis- und Schiefergestein unterschiedlicher Abrasivität. Gebirgiges Gelände mit Tälern und Flüssen erfordert unterschiedliche Arten der Felssicherung. Die Überdeckung variiert von 97 m bis zu 590 m im Los T6.

Verschiedene Felssicherungen und TVM-Konzeptionen

Wegen der großen Tunnellängen und der unterschiedlichen Geologien wurde für alle sechs offenen Robbins Hartgesteins-TVM ein flexibles Gebirgsicherungskonzept gewählt. Die TVM sind ausgerüstet für den Einbau verschiedenster Gebirgssicherungsarten – von



Quelle/Credit: Robbins

Ein Robbins Field Service Techniker inspiziert die Verspannung einer der Liaoning NOW Hartgesteins-TVM

A member of the Robbins Field Service team inspects the gripper of one of the Liaoning NOW Main Beam TBMs

designed for long tunnels, but if it is known that the tunnel length will exceed the life of the gear boxes then planned refurbishment should occur during tunneling. This procedure has been done on several tunnels including India's AMR tunnel – what will be the longest tunnel without intermediate access at 43.5 km once complete.

Case in Point: China's super-long Water Tunnels

One of the longest tunnels currently under construction is North-eastern China's Liaoning NOW Water transfer project, measuring a whopping 120 km in length. The government-commissioned tunnel, for irrigation and drinking water, has been divided into nine lots, designated T1 through T9 (for Tunnel No. 1 to 9, etc.). Each lot, except for T7, is utilizing a tunnel boring machine. Lot T7 is utilizing drill and blast. Lots T1 and T2 purchased new non-Robbins Main Beam machines. Contractor SinoHydro Bureau 3, responsible for lots T3 and T4, elected for new Robbins Main Beam TBMs, 8.53 m in diameter. Similarly, T5 contractor Shanxi Hydraulic Engineer Construction Bureau ordered an 8.53 m Robbins Main Beam. Chinese equipment supplier NHI (Northern Heavy Industry Group) contracted with Robbins to supply Main Beam machines of the same diameter for T6 and T8, and a rebuilt Robbins machine was provided for lot T9. All eight machines were ordered with Robbins continuous conveyors for muck removal.

Each of the eight TBMs excavating the Liaoning NOW project is boring two consecutive tunnels ranging from 6.5 to 8.0 km long, totaling about 15 km each. The difficult and long tunnels pass through mainly granite, granite gneiss, and schist geology of varying abrasivity. Mountainous terrain including valleys and rivers requires versatile ground support. Cover varies widely, from as little as 97 m to as high as 590 m at T6.

Versatile Ground Support & Machine Design

A flexible ground support system was provided for all six Robbins Main Beam TBMs at Liaoning due to the long tunnel lengths and variable conditions. The machines are capable of installing a wide variety of ground support, from wire mesh and rock bolts to ring

Ausbaumatten und Gebirgsankern bis zu McNally Sicherungsblechen. Laut Andy Ju, Robbins' Sales Manager in China, gehören die Maschinen zu den ersten, die mit dem McNally Sicherungssystem ausgerüstet wurden und sind die ersten in China mit dem Einsatz von 20" Diskenschneidwerkzeugen. Das von C&M McNally entwickelte System ist eine einzigartige Methode der Gebirgssicherung. Bislang boten Fingerschilde dem Vortriebspersonal bedingt Schutz bei ihrer Arbeit hinter dem Staubschild und verhinderten eingeschränkt Schäden am Bohrkopftrieb und an den bohrkopfseitigen Systemen. Bei Vortrieb in wenig standfestem oder blockhaftem Gebirge neigten die Fingerschilde dazu sich zu verformen und sehr oft wurden sie von den Unternehmern entfernt. Das Entfernen der Fingerschilde legt das gebohrte Gebirge hinter dem Bohrkopfmantel frei und machte es für den Einbau besser geeigneter Gebirgssicherungen zugänglich. Die Fingerschilde werden durch gebogene Anordnungen von Taschen, die sogenannten McNally Taschen, ersetzt. Diese Taschen werden mit Ausbaulanzen bestückt, die während des Vortriebes aus den Taschen gezogen und an der gebohrten Gebirgswand montiert werden. Diese Ausbaulanzen gewähren durchgängig und insbesondere in schlechtem Baugrund Stützung des Gebirges in der Firste.

Mit Ausnahme der generalüberholten TVM für das Los T9, die Anfang 2013 die Arbeit aufnahm, wurden die Maschinen zwi-

beams and McNally slats. The TBMs are among the "first to be designed with McNally pockets during fabrication, and the first to use 20-inch disc cutters in China," according to Andy Ju, Sales Manager for Robbins China. The McNally roof support system, developed by C&M McNally for exclusive use on Robbins TBMs, is a unique solution: In the past, roof support fingers provided limited protection to the crew working at the front of the machine and also to a degree prevented damage to cutterhead drive motors and other equipment installed on the front of the machine. However, when poorer or blocky ground conditions were encountered these fingers would simply bend out of shape and more often than not the contractor would end up removing them altogether. With the removal of the roof support fingers, the bored tunnel is exposed at the back of the roof support where more effective ground support is easier and quicker to install. The fingers are replaced with a curved assembly of pockets known as McNally pockets, and as the TBM advances, workers load the pockets with steel slats that are then extruded during a TBM stroke. The slats are bolted in place, providing continuous support to the tunnel crown in difficult rock conditions.

The machines were launched between October 2013 and February 2014 from adit tunnels, with the exception of the refurbished T9 machine, which was launched earlier in 2013. Robbins Field Service remained at the site providing mechanical, electrical, and hydraulic



STATIONÄRE BACKENBRECHANLAGE GIPOSTATION B 1385



GIPO AG

Industriegebiet See, Zone C, Kohlplatzstrasse 15, CH-6462 Seedorf

T +41 41 874 81 10, F +41 41 874 81 01

info@gipo.ch, www.gipo.ch



schen Oktober 2013 und Februar 2014 durch Zugangsstollen in Betrieb genommen. Der Robbins Field Service leistete Anleitung und Unterstützung bei Montage und Inbetriebnahme der mechanischen, elektrischen und hydraulischen Anlagen der TVM und schulte das Personal in Betrieb und Wartung der Maschinen. Drei der Robbins TVM und zwei der Robbins-/NHI TVM wurden mit 20"-Meißeln ausgerüstet. Die TVM im Baulos T1 und T2 nahmen den Betrieb mit 19"-Meißeln auf, und die generalüberholte Robbins TVM wurde ebenfalls mit 19"-Meißeln ausgestattet. Die Robbins-TVM erreichten Vortriebsgeschwindigkeiten von bis zu 675 m pro Monat und fast 1300 m³ Aushub pro Diskenmeißel. Besonders abrasives Gebirge sorgte bei anderen Baustellen für schwierige Bedingungen, die Vortriebsleistungen von 322 m pro Monat und 139 m³ Aushub pro Meißel ergaben. Der Bauherr entschied sich hier für den Wechsel zu Robbins 19" Diskenmeißeln. Die Vortriebsleistungen erhöhten sich bis auf durchschnittlich 610 m pro Monat, mit einer Gesamtabbauleistung vom 877 m³ Aushub pro Diskenmeißel. Auf der generalüberholten Robbins-/NHI-TVM wurden zunächst vor Ort hergestellte 20"-Meißel eingesetzt. Der hohe Verschleiß an diesen Meißeln (198 m³ Aushub pro Meißel) veranlassten den Tunnelbauer letztendlich dazu, wieder Robbins Diskenmeißel einzusetzen.

In Baulos T5 war es durch Verbruchzonen erforderlich, entlang mehr als 50 % der Bohrstrecke die McNally Sicherungslanzen zur Gebirgsstützung einzubringen. Der Unternehmer des Bauloses hat bereits damit begonnen, den Bereich für den Einbau des McNally-Systems bis hin zu den Verspannschilden zu erweitern, einschließlich der Ulmen, und dies in Zonen besonders schlechten Gebirges anzuwenden. Zur Gebirgsstützung unter den Verspannschilden wird eine Kombination aus McNally Ausbaulanzen, Ausbaubögen und einer Decklage aus Spritzbeton angewandt. So können sich die Verspannschilde an dieser verstärkten Ulme abstützen.

Die Maschinen kommen sehr gut voran, wozu insbesondere die Tunnelbandanlage beiträgt. Die Tunnelbänder fördern das Bohrgut zu den Bändern in den Zugangstollen, die zwischen 600 m und 1,3 km lang sind. Von hier aus wird das Bohrgut für die Absetzern übergeben. Die Vortriebsarbeiten werden voraussichtlich Anfang 2016 beendet sein. 



Quelle/credit: Robbins

Robbins Tunnelbandanlagen werden für die Vortriebe aller acht Maschinen im Liaoning NOW Projekt eingesetzt

Robbins continuous conveyors are operating behind all eight machines at the Liaoning NOW project

system supervision, TBM operation during site assembly and commissioning, and training on proper operation and maintenance of the machine.

Three Robbins TBMs were supplied with 20-inch cutters, as well as two Robbins/NHI machines with 20-inch cutters. Two non-Robbins TBMs were launched with 19-inch cutters, and one rebuilt Robbins TBM was fitted with 19-inch cutters.

The average monthly boring meters using Robbins TBMs and cutters have been as high as 675 m per month and nearly 1300 m³ bored per cutter. Excessively abrasive ground on other jobsites created excavation problems that resulted in rates of 322 m per month and 139 m³ bored per cutter. After the project owners decided to switch to Robbins 19-inch discs, excavation rates have steadily increased to a high of 610 m per month on average and overall cutter performance of 877 m³ per cutter. When locally manufactured 20-inch cutters were installed on a Robbins/NHI-TBM, high cutter wear (198 m³ bored per cutter) ultimately resulted in the contractor switching back to Robbins discs. At T5, fractured ground conditions have required the use of McNally slats to consolidate the ground in over 50 % of the tunnel, and contractor Shanxi Hydraulic Engineer Construction Bureau is more than satisfied with the reliability of the ground support system. The contractor at T5 has taken steps to extend the coverage of the original McNally system to the gripper shoes area and both side supports in case difficult ground is encountered. The contractor is reinforcing tunnel walls under the gripper shoe position by using a combination of McNally slats, ring beams and a top layer of shotcrete so the gripper shoes can react against the reinforced shotcrete face. Overall, the machines are progressing well, with the continuous conveyors being a particularly important part of the overall system. Continuous conveyors transfer muck to adit conveyors, which are between 600 m to 1.3 km long, and then onto radial stackers for temporary muck storage onsite. Tunneling on the massive project is expected to be completed by early 2016. 

A.S.T. Bochum

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik

**Armaturen- Schlauch- und
Tunneltechnik für
Beton, Wasser und Pressluft**

A.S.T. Bochum GmbH
Kolkmanuskamp 8
D-44879 Bochum

fon: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 10
fax: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 20
e-mail: info@astbochum.de



WHO BUILDS THE WORLD'S **FASTEST** TUNNEL BORING MACHINES?

SEE THE DATA FOR YOURSELF FastestTBM.com



Abdichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen

Um eine konzipierte Tunnel-Lebensdauer von 100 Jahren zu überstehen, muss unter anderem das Eindringen von Bergwasser in den Verkehrsraum eines Tunnels verhindert und die tragende Konstruktion vor Bergwasser geschützt werden. Wie das mit Abdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) bei druckdichten bergmännisch hergestellten Tunnelbauwerken funktioniert, veranschaulicht dieser Beitrag.

Waterproofing Systems with Membranes

In order to arrive at a projected service life of 100 years, among other things underground water must be prevented from entering a tunnel's traffic area and the bearing structure must be protected from underground water. This report explains how this is achieved with waterproofing systems consisting of waterproofing membranes in the case of pressure-tight mined tunnel structures.

Dipl.-Ing. Marc Meissner, M.BC., Arbeitskreis Tunnelabdichtung e.V./Association for Tunnel Waterproofing, Bückeburg/Germany

Dipl.-Ing. Sebastian Schwaiger, Müller+Hereth, Ingenieurbüro für Tunnel- und Felsbau GmbH, Freilassing/Germany

Dipl.-Ing. Roland Herr, Internationaler Freier Journalist und Autor/International freelance journalist and author, Bielefeld/Germany

1 Das Abdichtungssystem

Die Abdichtungskonstruktion übernimmt drei wichtige Funktionen im Tunnel:

- Sie trennt die spätere Tragkonstruktion von der Vortriebsicherung, um Zwängungsspannungen zu vermeiden
- Sie schützt die Innenschale vor möglichen aggressiven Bergwässern
- Sie schützt den Verkehrsraum vor Bergwasser

Ein Tunnel kann entweder rundum abgedichtet werden durch eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) (**Bild 1**) oder von vornherein als wasserundurchlässige Betonkonstruktion konzipiert sein. Die wichtigsten Abdichtungssysteme für die geschlossene Bauweise sind in **Tabelle 1** aufgeführt.



1 Abdichtung eines Tunnels ohne Drainage mit Kunststoffdichtungsbahn (KDB)

Waterproofing in a tunnel without drainage with tunnel waterproofing membrane

1 The Waterproofing System

The waterproofing system in tunnels caters for three important functions:

- It separates the subsequent bearing structure from the excavation support in order to avoid constraining forces
- It protects the inner shell from possible aggressive underground water
- It protects the traffic area from underground water

A tunnel can either be sealed all-around with a waterproofing membrane (**Fig. 1**) or devised as a water impermeable concrete structure from the very outset. **Table 1** contains a list of the most important waterproofing systems for the closed construction method.

The proper sealing system depends on the following factors:



2 Im Sohlbereich eingebaute KDB mit außenliegendem Fugenband (schwarz)

Tunnel waterproofing membrane installed in floor area with external waterstop (black)



3 Mechanisch verfestigter Vliesstoff als bergseitiges Schutzgeotextil gegen den rauen Spritzbeton

Mechanically attached fabric as protective geotextile at the slope side against the rough shotcrete

Welches Abdichtungssystem nun das Richtige ist, hängt ab von

- den Auflagen des Umweltschutzes,
- der chemischen Beschaffenheit des Bergwassers, Hydrologie und Geologie,
- dem Bemessungswasserdruck und
- den Nutzungsanforderungen an das Bauwerk.

2 Grundsätzlicher Schichtenaufbau für das Abdichtungssystem Kunststoffdichtungsbahn

Für das Material kommen weichmacherfreie Polyolefine oder weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid (PVC-P) zum Einsatz (**Bild 2**). Eine sorgfältige Prüfung des Abdichtungsmaterials im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit und die Unbedenklichkeit bezüglich der Umwelt sollte durchgeführt werden. Im Folgenden ist der grundsätzliche Schichtenaufbau eines Abdichtungssystems mit KDB dargestellt.

2.1 Bergseitiges Schutzgeotextil

Während des Betonierens der Innenschale wird die Kunststoffdichtungsbahn gegen den Abdichtungsträger aus Spritzbeton gedrückt. Hier ist ein Schutz notwendig. Verwendet wird ein mechanisch verfestigter Vliesstoff mit einem Flächengewicht von mindestens 900 g/m² als bergseitiges Schutzgeotextil (**Bild 3**). In drainierten Tunneln übernimmt das Schutzgeotextil auch die Funktion der flächigen Drainage örtlich begrenzter Wasserdrücke und erleichtert die Ableitung der Bergwasserzutritte in die Drainagen.

2.2 System zur Befestigung

Das Befestigungssystem dient der temporären Fixierung des Abdichtungssystems an der Spritzbetonaußenschale. Gleich welcher

- Environmental protection regulations,
- the chemical composition of the underground water, hydrology and geology,
- the dimensioning water pressure and
- the service requirements for the structure.

2 Basic Layer Structure for the Membrane Waterproofing System

Softener-free polyolefin or polyvinylchloride (PVC-P) containing softener is utilized for the material (**Fig. 2**). The waterproofing material must be carefully checked with regard to its long-term stability and environmental compatibility. The basic layer structure of a membrane waterproofing system is presented as follows.

2.1 Protective Geotextile at the Slope Side

When concreting the inner shell the tunnel waterproofing membrane is pressed against the waterproofing support made of shotcrete. Protection is essential in this case. A mechanically attached fabric is used here with a weight per unit area of at least 900 g/m² as a protective geotextile at the slope side (**Fig. 3**). The protective geotextile also fulfils the surface drainage function for the locally restricted water pressures and facilitates the transfer of ingressing underground water to the drainage systems.

2.2 Attachment System

The attachment serves to fix the waterproofing system temporarily to the shotcrete outer shell. Regardless of the type of attachment it must be designed in such a manner that the tunnel waterproofing membrane remains undamaged if subjected to load. The attachment must be provided with an approved predetermined breaking point (**Fig. 4**).

Art die Befestigung ist, muss sie so beschaffen sein, dass im Belastungsfall die Kunststoffdichtungsbahn nicht beschädigt wird. Zudem muss die Fixierung mit einer nachgewiesenen Sollbruchstelle ausgerüstet sein (**Bild 4**).

2.3 Kunststoffdichtungsbahn (KDB)

Um die geforderte Mindestlebensdauer von mehr als 100 Jahren sicher zu erreichen, müssen die Kunststoffdichtungsbahnen aus langzeitbeständigen und weichmacherfreien Kunststoffen wie z. B. VLDPE (very low density polyethylene) bestehen. In Tunneln mit Drainage werden mindestens 2 mm und in druckdichten Tunneln mindestens 3 mm dicke KDB verwendet. Um Beschädigungen schnell zu finden und die Lichtverhältnisse im Tunnel während der Verlegearbeiten zu verbessern, sind Kunststoffdichtungsbahnen im Tunnelbau luftseitig mit einer hellen Signalschicht ausgestattet. Die Signalschicht sollte aus artgleichem Kunststoff bestehen, um eine dauerhafte Verschweißung der KDB

2.3 Tunnel Waterproofing Membrane

Tunnel waterproofing membranes must consist of long-term resistant and softener-free plastics such as e.g. VLDPE (very low density polyethylene) so that the required minimum life cycle of more than 100 years is safely assured. In tunnels with drainage, membrane at least 2 mm thick is applied – with at least 3 mm thick layers used for pressure-tight tunnels. Tunnel waterproofing membranes applied in tunnelling are provided with a bright marker layer on their exposed side so that damage is located quickly and to improve light conditions in the tunnel during the laying operations. The marker layer should be composed of the same kind of plastic so that the membrane can be welded properly. As the membrane represents the main waterproofing element great care must be taken when it is being selected and installed.

2.4 External Waterstop

Waterstops are usually installed externally in the working joint area (**Figs. 5 + 6**). They are welded directly on to the prepared tunnel

Geschlossene Bauweise		Darstellung der Tunnel-Abdichtungssysteme mit steigenden Abdichtungsanforderungen und steigender Dichtungssicherheit				
Closed construction method		Presentation of the tunnel waterproofing systems with increasing waterproofing requirements and increasing sealing safety				
Nr. (mit steigenden Abdichtungsanforderungen)/ No. (with increasing waterproofing requirements)	Hydrostatischer Druck über Tunnelsohle in m WS/ Hydrostatic pressure above the tunnel floor in m WC	KDB-Abdichtungsgeometrie/ Membrane waterproofing geometry	Abdichtungssystem (chemischer Betonangriff, XA-Expositionsklasse)/ Waterproofing system (chemical attack on concrete, XA exposure class)		Erforderliche Zusatzmaßnahmen/ Necessary additional measures	
			schwach, mäßig/ weak, moderate XA1, XA2	stark/strong XA3	Fugenbänder (innen- oder außenliegend)/ Waterstops (located inside or outside)	Integriertes Injektionssystem/ Integrated injection system
1	ohne/without	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
2	ohne/without	Regenschirm/ Umbrella	KDB/Membrane 2 mm	–	nein/no	nein/no
3	ohne/without	Rundum/All-round	–	KDB/Membrane 2 mm	nein/no	nein/no
4	< 10	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
5	< 10	Rundum/All-round	KDB/Membrane 3 mm		ja/yes	nein/no
6	< 30	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
7	< 30	Rundum/All-round	KDB/Membrane 3 mm		ja/yes	ja/yes
8	< 60	Rundum/All-round	WUB-KO + KDB/Membrane 3 mm (optional 4 mm)		ja/yes	ja/yes
9	< 60	Rundum/All-round	WUB-KO + KDB/Membrane 3 mm + Leckage-Ortungssystem/+ leak detection system		ja/yes	ja/yes
10	< 60	Rundum/All-round	Doppellagige KDB/Double-layer membrane (3 mm + 2 mm)		ja/yes	ja/yes
11	< 60	Rundum/All-round	Doppellagige KDB/Double-layer membrane (3 mm + 2 mm) + Leckage-Ortungssystem/+ leak detection system		ja/yes	ja/yes
12	> 60	Rundum/All-round	WUB-KO + Doppellagige KDB/ Double-layer membrane (3 mm + 2 mm)		ja/yes	ja/yes
13	> 60	Rundum/All-round	WUB-KO + Doppellagige KDB/ Double-layer membrane (3 mm + 2 mm) + Leckage-Ortungssystem/+ leak detection system		ja/yes	ja/yes

(Es handelt sich um eine qualitative Klasseneinteilung der verschiedenen Tunnel-Abdichtungssysteme. Die Planung und Spezifizierung sollte projektspezifisch und unter Berücksichtigung der jeweils gültigen Norm oder Empfehlung (ZTV-ING, RVS 8T, SIA 272, DB-Rili 853, EAG-EDT) erfolgen.)
(This relates to a quantitative class distribution of the various tunnel waterproofing systems. Planning and specification should take place in keeping with the project and taking into consideration the norm or recommendation that is valid in each case (ZTV-ING, RVS 8T, SIA 272, DB-Rili 853, EAG-EDT).)

Tabelle 1: Abdichtungssysteme für die bergmännische Tunnelbauweise (AK Tunnelabdichtung e.V.) [1]

Table 1: Waterproofing systems for trenchless tunnelling (Association for Tunnel Waterproofing) [1]



4 Befestigung der KDB mit Befestigungsrandelle
Fixing the tunnel waterproofing membrane with rondelle

sicher gewährleisten zu können. Da die Kunststoffdichtungsbahn das Hauptdichtungselement darstellt, muss bei Auswahl und Einbau größte Sorgfalt herrschen.

2.4 Außenliegendes Fugenband

Fugenbänder werden meist außenliegend im Arbeitsfugenbereich eingesetzt (Bild 5, 6). Mit Handschweißgeräten werden sie direkt auf die fertig installierte Kunststoffdichtungsbahn geschweißt und sind deshalb aus dem gleichen Kunststoff wie die KDB. Ihre Hauptfunktion besteht darin, die Dichtebene KDB in abgegrenzte Felder zu unterteilen. So lässt sich die Leckage bei einer Undichtigkeit eingrenzen und gezielt sanieren. Die Verschweißung der Fugenbänder mit der KDB sollte in jedem Fall nachrangig zu der Verschweißung der Kunststoffdichtungsbahnen untereinander sein und darf die Abdichtungsebene der KDB nicht unterbrechen oder zu erhöhten Baustellennähten der KDB führen.

2.5 Zusätzlicher Schutz im Sohlbereich

Im Sohlbereich ist bei druckwasserdichten Tunneln mit einer rundum angeordneten Kunststoffdichtungsbahn ein zusätzlicher Schutz der KDB vor Beschädigungen erforderlich. Folgende Schutzsysteme sind üblich:

- Schutzbahn aus einer zusätzlichen, mindestens 3 mm dicken Kunststoffbahn. Sie muss mit der Kunststoffdichtungsbahn verschweißbar sein und soll ebenfalls mit einer Signalschicht ausgestattet sein.
- Mattenbewehrter Schutzbeton, falls die Abdichtung mit leichtem Gerät befahren werden muss.

2.6 Integriertes Prüf- und Injektionssystem/ Hinterlegungssystem

Bei druckdichten Tunneln mit einer Druckhöhe von mindestens 1 bar (gemessen ab Tunnelsohle) ist nach ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 5 [5] ein integriertes Prüf- und Injektionssystem vorgesehen. Es soll gemäß ZTV-ING als Kontrollsystem eingebaut werden. Auf diese Weise lassen sich unmittelbar Undichtigkeiten durch Wasseraustritte aus den Kontroll-/Injektionsöffnungen feststellen. Bei Undichtigkeit der Dichtungsbahn soll mit diesem System die Möglichkeit geschaffen werden, das jeweils schadhafte Dichtungsfeld durch Verpressen z. B. mit Kunstharz oder Acrylatgel abzudichten.



5 Detail des außenliegenden Fugenbandes in der Arbeitsfuge
Details of the external waterstop in the working joint

waterproofing membrane using manual welding units and are thus made of the same plastic as the membrane. Their main function is to divide the membrane waterproofing level into individual fields. Thus should leaks occur they can be restricted and repaired in a targeted fashion. The welding of the waterstops should follow up welding the tunnel waterproofing membranes and must not interrupt the membranes' waterproofing level or lead to increased membrane construction seams.

2.5 Additional Protection in Floor Area

Additional protection of the tunnel waterproofing membrane against damage is essential in the floor area of water pressure-tight tunnels provided with an all-round membrane. The following protective systems are customary:

- Protective membrane consisting of an additional, at least 3 mm thick tunnel waterproofing membrane. It must be weldable with the membrane and also be provided with a marker layer.
- Matting-reinforced protective concrete if the waterproofing surface has to accommodate light equipment.

2.6 Integrated Test and Grouting System/ Backfilling System

In the case of pressure-tight tunnels with pressure amounting to at least 1 bar (measured from the tunnel floor) an integrated test and injection system is foreseen according to ZTV-ING Part 5 Section 5 [5]. It is installed as a control system in keeping with ZTV-ING. In this way leaks caused by water escaping from the control/injection openings can be immediately identified. Should there be leaks in the sealing membrane this system is intended to afford the possibility of waterproofing the various damaged sealing sectors by means of grouting i.e. with synthetic resin or acrylate gel.

Backfilling (advanced roof gap grouting) of the entire inner shell block with cement (suspension) represents a follow-up or alternative to the systems contained in the ZTV-ING. The basic idea in this case is to secure a completely concreted inner shell before the underground water drainage system is grouted and the slope side water pressure pushes the tunnel waterproofing membrane against the inner shell's outer side. This system prevents possible damage, which can be caused by the water pressure pressing the membrane against uneven surfaces or at the worst exposed reinforcement on the outer side of the tunnel inner shell. It must be added however that then the control system no longer exists in accordance with the ZTV-ING.



6 Abdichtungsdetail an einem Querschlag
Details of waterproofing at a cross-passage

Eine Ergänzung oder Variante des in der ZTV-ING vorgeschriebenen Systems stellt die Hinterlegung (Erweiterte Firstspaltverpressung) des gesamten Innenschalenblocks mit Zement (Suspension) dar. Die Grundidee hierbei ist die Sicherstellung einer vollständig ausbetonierten Innenschale bevor die Bergwasserdrainage verpresst wird und der bergseitige Wasserdruck die KDB auf die Außenseite der Innenschale drückt. Dieses System beugt möglichen Schäden vor, die dadurch entstehen können, dass der Wasserdruck die KDB auf unebene Flächen oder schlimmstenfalls auf freiliegende Bewehrung an der Außenseite der Tunnelinnenschale drückt. Allerdings existiert dann das Kontrollsystem im Sinne der ZTV-ING nicht mehr.

3 Anforderungen an KDB und Verlegung

3.1 Allgemeines

Folgende Voraussetzungen sind für eine dauerhafte Druckdichtigkeit nötig:

- KDB muss dauerhaft beständig sein
- Bahnen müssen untereinander dicht und nachprüfbar verschweißt sein
- Während des Baus und im Betriebszustand muss das Abdichtungssystem ausreichend widerstandsfähig sein

Bisherige Kriterien für die sichere Funktionsfähigkeit des Abdichtungssystems:

- Fachgerechter Einbau und korrekte Befestigung des Abdichtungssystems
- Dichte Verschweißung der Bahnen untereinander
- Schutz gegen luftseitige Verletzungen beim Einbau der Bewehrung, Stellen der Schalung etc.
- Schutz gegen bergseitige Beschädigung durch eine ausreichend ebenflächige Spritzbetonoberfläche und durch den Einbau eines Schutz- und Drainagevlieses ($\geq 900 \text{ g/m}^2$)

Bei einer glatten Außenseite der Ortbetoninnenschale halten Kunststoffdichtungsbahnen der zusätzlichen Belastung durch Wasserdruck von außen problemlos stand. Untersuchungen an undichten Tunneln haben jedoch gezeigt, dass die Außenseite der Ortbetoninnenschale nicht immer durchgehend glatt hergestellt

3 Requirements on Membrane and Laying

3.1 General

The following prior conditions are necessary for permanent pressure tightness:

- Tunnel waterproofing membrane has to be permanently resistant
- Membranes must in general be tight and appropriately welded together
- The waterproofing system must be sufficiently resistant during construction and in operational state

Existing criteria for the safe functioning of the waterproofing system:

- Proper installation and correct attachment of the waterproofing system
- The membranes must be tightly welded to each other
- Protection against damage at the exposed side when installing the reinforcement or setting up the scaffolding etc.
- Protection against damage at the slope side thanks to a sufficiently uniform shotcrete surface and by installing a protective drainage geotextile ($\geq 900 \text{ g/m}^2$)

Given a smooth outer surface of the in situ concrete inner shell tunnel waterproofing membranes have no problem in withstanding the additional load caused by external water pressure. Investigations of leaky tunnels have however revealed that the outer side of the in situ concrete inner shell cannot always be produced with a smooth form. This can be attributed to the concrete mix or even processing. However the flaws affecting the waterproofing system are unidentifiable as the outer side of the in situ concrete shell cannot be checked. The water pressure that is reactivated after installation affects the membrane and presses it against the rough outer side of the inner shell. Damage is practically programmed even after months have passed. An examination of the outer side of the in situ concrete inner shell cannot be undertaken at a subsequent point in time. An integrated test and injection system with the possibility to undertake backfilling can be the answer. In this way, a smooth abutment for the sealing membrane on the outer side of the in situ concrete inner shell can be assured and the client still be provided with a functioning test and injection system.

3.2 Laying the Tunnel Waterproofing Membrane

First of all the quality of the shotcrete seal carrier must be checked with the following requirements applying (according to ZTV-ING Part 5 Section 1 – 12/2007):

- Aggregates of gravel (round grain) or cubically crushed grain (chippings)
- Thickness at least 3 cm
- Largest grain size 8 mm
- Unevennesses must not exceed 1:20 (depth to base), corresponding to a pitch of 1:10
- Minimum radius for filleting unevennesses and for recesses, junctions and breakdown bays amounts to $r = 20 \text{ cm}$
- Strength and form resistance
- Ingressing water from the outer shell must be transferred to the construction drainage system prior to laying the membrane



7 Installation der Rondellen
Installing the rondelles

werden kann. Dies kann an der Betonrezeptur oder auch an der Verarbeitung liegen. Die für das Abdichtungssystem schädlichen Fehlstellen können jedoch nicht erkannt werden, da die Außenseite der Ortbetonschale nicht kontrollierbar ist. Der nach dem Einbau wieder anstehende Wasserdruck belastet die KDB und drückt sie gegen die raue Außenseite der Innenschale. Schäden, selbst nach Monaten, sind geradezu programmiert. Eine Überprüfung der Außenseite der Ortbetoninnenschale ist nachträglich nicht möglich. Abhilfe könnte ein integriertes Prüf- und Injektionssystem mit zugehöriger Hinterlegungsmöglichkeit schaffen. Dadurch könnte ein glattes Widerlager der Abdichtungsbahn an der Außenseite der Ortbetoninnenschale gewährleistet und trotzdem dem Bauherrn ein funktionierendes Prüf- und Injektionssystem übergeben werden.

3.2 Verlegung der KDB

Zuerst sollte die Qualität des Spritzbetonabdichtungsträgers überprüft werden, wobei folgende Anforderungen gelten (gemäß ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 1 - 12/2007):

- Zuschläge aus Kies (Rundkorn) oder kubisch gebrochenem Korn (Edelsplitt)
- Dicke mindestens 3 cm
- Größtkorn maximal 8 mm
- Unebenheiten dürfen ein Maß von 1:20 (Tiefe zu Basis), das entspricht einer Neigung von 1:10, nicht überschreiten
- Mindestradius der Abrundungen von Unebenheiten und bei Nischen, Anschlüssen und Pannenbuchten beträgt $r = 20 \text{ cm}$
- Festigkeits- und Formbeständigkeit
- Wasserzutritte aus der Außenschale müssen vor dem Verlegen der KDB in die Baudrainage eingeleitet werden

Der Grad der Oberflächenrauigkeit ist eine wichtige Eigenschaft des Abdichtungsträgers. Sie ist noch nicht in den Regelwerken definiert und wird derzeit subjektiv auf der Baustelle festgelegt. Hier würde etwa eine Referenzfläche den Bauablauf vereinfachen. Alternativ bietet sich ein Schutzwirksamkeitsversuch auf der Baustelle an. Dabei wird eine Referenzfläche des Abdichtungsträgers in einer „Spritzkiste“ vorbereitet, in der Horizontalen das



8 Verschweißung der KDB
Welding the tunnel waterproofing membrane

The degree of surface roughness represents an important characteristic of the seal carrier. It has still to be defined in the codes of practice and is currently determined subjectively on-site. In this case a field of reference would simplify the construction process. A test to establish the protective effect can be undertaken on-site as an alternative. Towards this end a reference field for the seal carrier is prepared in a "spraying box" in which the horizontal elements of the waterproofing system are set up and placed in a pipe (e.g. steel pipe or PE pipe) vertically with the maximum concreting height. After the pipe is filled to the maximum with concrete, the setting time adhered to and stripping carried out, the tunnel waterproofing membrane can be examined for elongations and perforations. After approval, work can start on installing the waterproofing system. Rondelles are generally used to temporarily attach the waterproofing system (Fig. 7). They must be provided with an approved predetermined breaking point in order to prevent damage to the tunnel waterproofing membrane while the inner shell is being concreted. As the seal carrier is an uneven undulating surface the geotextiles and the membrane should possess an optimal roll width in order to ensure that the laying procedure is carried out as uniformly as possible. Roll widths of roughly 2 m have established themselves for the laying technology that is customarily practiced. After laying, the tunnel waterproofing membranes are welded together using welding machines (Fig. 8). The seams are executed as testable double seams with test channel, which are subsequently examined by applying compressed air to establish their tightness. Double seams executed by automatic means should also be applied if possible in overlapping and corner sections as well to arrive at a better waterproofing result (Fig. 9).

3.3 Quality Monitoring and Assurance

Only experienced firms should undertake waterproofing assignments. Their competence can be controlled by monitoring the quality. (Tunnel waterproofing companies can for example obtain certification in the Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e.V. (Deutschland)/ Association for Tunnel Waterproofing (Germany) in accordance with the working group's valid monitoring ordinance. The STUVA in

Abdichtungssystem aufgebaut und ein Rohr (z. B. Stahlrohr oder PE-Rohr) vertikal mit der maximalen Betonierhöhe aufgestellt. Nach maximaler Befüllung des Rohrs mit Beton, Einhaltung der Abbindezeit und Ausschalen kann die KDB auf Dehnungen und Perforationen untersucht werden. Nach Abnahme kann mit dem Einbau des Abdichtungssystems begonnen werden.

Zur temporären Befestigung des Abdichtungssystems werden in der Regel Rondellen verwendet (**Bild 7**). Sie müssen mit einer nachgewiesenen Sollbruchstelle ausgestattet sein, um Beschädigungen an der KDB während des Betonierens der Innenschale zu vermeiden. Da es sich bei dem Abdichtungsträger um eine ungleichmäßig wellige Oberfläche handelt, sollten die Geotextilien und die KDB eine optimale Rollenbreite aufweisen, um eine möglichst flächennahe Verlegung zu gewährleisten. Bei der allgemein üblichen Verlegetechnik haben sich Rollenbreiten von ca. 2 m etabliert.

Nach Verlegung werden die Kunststoffdichtungsbahnen mit Schweißmaschinen miteinander verschweißt (**Bild 8**). Die Nähte werden als prüfbare Doppelnähte mit Prüfkanal ausgeführt, die im Nachgang mittels Luftdruckprüfung auf ihre Dichtigkeit untersucht werden. Automatengeführte Doppelnähte sollten möglichst auch in Verschneidungs- und Nischenbereichen ausgeführt werden, um ein besseres Abdichtungsergebnis zu erhalten (**Bild 9**).

3.3 Güteüberwachung und Qualitätssicherung

Ausschließlich erfahrene Fachunternehmen sollten die Abdichtungsarbeiten durchführen. Durch entsprechende Güteüberwachung kann die Kompetenz nachgewiesen werden. (Tunnel-Abdichtungsunternehmen können sich etwa im Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e. V. (Deutschland) entsprechend der aktuellen Überwachungsordnung des Arbeitskreises zertifizieren lassen. Die STUVA e. V. in Köln ist derzeit mit der Prüfung beauftragt.) Um einen dauerhaften Abdichtungserfolg zu erreichen, sollte das QS-System bereits mit der Rohstoffeingangskontrolle des Dichtungsbahnherstellers beginnen und erst bei Schweißnahtprüfung und Abnahme der Abdichtungsarbeiten enden.

4 Mögliche Schäden und deren Behebung

Grundsätzlich können Schäden vor und nach Einbau des Innenschalenbetons entstehen. Während vor der Betonage noch Korrekturmöglichkeiten bestehen (**Tabelle 2**), ist nach der Betonage, bis auf die Verwendung eingebauter Systeme, kaum noch etwas zu korrigieren. Mögliche Ursachen von Schäden, die nach dem Betoneinbau festgestellt werden:

- Zu hohe Rauigkeit bzw. nicht ausreichende Ebenheit des Abdichtungsträgers oder herausstehende Ankerköpfe. Während des Betoneinbaus wird die KDB an den Abdichtungsträger gepresst und wird dabei beschädigt.
- Die Innenschale wird nicht ausreichend und in vollem Volumen ausbetoniert. Der Wasserdruck presst die KDB auf die Oberfläche der Innenschalenaußenseite oder sogar auf freiliegende Bewehrung. Dabei können Beschädigungen auftreten, wenn keine glatte Oberfläche hergestellt wurde.



9 Abdichtung mit einer KDB im Bereich einer Nische

Waterproofing with a tunnel waterproofing membrane in a recess

Cologne is currently charged with carrying out the testing procedure. In order to arrive at lasting success in waterproofing the quality assurance system should begin by checking the raw material on receipt and wind up with testing the welding seam and approving the waterproofing jobs.

4 Possible Damage and its Repair

Damage can essentially occur prior to and after placing the inner shell concrete. Although it is possible to repair damage prior to concreting (**Table 2**), corrections are scarcely possible after concreting has been accomplished save for making use of previously installed systems.

Possible causes of damage established after placing the concrete:

- Excessive roughness or a lack of evenness of the seal carrier or projecting anchor heads. While placing the concrete the membrane is pressed against the seal carrier and thus damaged.
- The inner shell is insufficiently concreted to its full volume. The water pressure presses the tunnel waterproofing membrane on to the surface of the outer side of the inner shell or even against exposed reinforcement. In this way, damage can occur if no smooth surface was produced.

4.1 Damage after installing the Inner Shell

Frequently leaks first occur in tunnels after several weeks or even months have elapsed, especially given high water pressures. This can happen if the water pressure presses the tunnel waterproofing membrane from the outside against the inner shell and in turn, against existing defects. There is a danger of "time-delayed" damage owing to the constant and relentless effect of water. Flaws on the outside of the tunnel inner shell can be:

- "Rock pockets" resulting from incorrect placing of concrete, demixing and/or poor compaction
- A lack of concrete and exposed reinforcement especially in the case of high reinforcement contents
- Voids (particularly in the upper cross-section half, the air cannot escape from the concrete thus forming voids)
- Incomplete roof gap grouting

4.1 Beschädigung nach Einbau der Innenschale

Häufig sind erst nach einigen Wochen oder Monaten Undichtigkeiten in Tunneln aufgetreten, insbesondere bei hohen Wasserdrücken. Das kann passieren, wenn der Wasserdruck die KDB von außen gegen die Innenschale und damit gegen evtl. vorhandene Fehlstellen drückt. Durch die ständige und nachdrängende Wasserlast besteht die Gefahr von „zeitverzögerten“ Beschädigungen. Fehlstellen an der Außenseite der Tunnelinnenschale können sein:

- „Kiesnester“ durch unsachgemäßen Betoneinbau, Entmischung und/oder schlechte Verdichtung
- Fehlender Beton und freiliegende Bewehrung, insbesondere bei hohen Bewehrungsgehalten
- Lunker (insbesondere in der oberen Querschnittshälfte kann die Luft aus dem Beton nicht entweichen und bildet Lunker)
- Unvollständige Firstspaltverpressung

Die begrenzte Wirkungstiefe bei der Betonverdichtung mit Schalungsrütteln begünstigt die zuvor genannten Probleme bei folgenden Rahmenbedingungen:

- Hohe Bewehrungsgehalte
- Große Innenschalendicke
- Schlecht verarbeitbarer Beton durch ungeeignete Rezeptur
- Unterbrechungen während der Betonage (z. B. bei Unterbrechung kontinuierlicher Betonanlieferung, Geräteschäden, etc.)
- Im Beton vorhandene Luftblasen führen an der Abdichtungsfolie im First- und Ulmenbereich zu Lunkerbildung, da die Luft nicht entweichen kann

4.2 Schutz der KDB im Bau- und Endzustand

Zum Schutz der KDB im Bauzustand sieht die aktuelle Normung vor, ein Vlies mit mindestens 900 g/m² statt 500 zu verwenden. Durch angepasste Verlegung können zudem Zerrungen oder Verletzungen der KDB während des Betoneinbaus vermieden werden.

The restricted effective depth when concrete is compacted by formwork vibrators favours the previously mentioned problems given the following framework conditions:

- High contents of reinforcement
- Large inner shell thickness
- Poorly worked concrete due to unsuitable mix
- Interruptions during concreting (e.g. given hold-ups in continuous concrete supply, damage to equipment, etc.)
- Air bubbles existing in the concrete lead to the formation of voids in the roof and wall area as the air cannot escape

4.2 Protecting the Tunnel Waterproofing Membrane during Construction and in its final State

In order to protect the membrane during construction the current norm foresees using a geotextile of at least 900 g/m² rather than 500 g/m². Furthermore by taking care during laying rips or damage to the membrane when placing the concrete can be avoided.

In its final state the membrane can be protected against the inner shell as follows: through non-destructive measuring of the thickness of the inner shell prior to grouting the construction drainage system it is possible to identify an excessively thin concrete thickness, providing the dimensions of the area are greater than the test grid, thus minimizing the danger of exposed reinforcement on the outer side. In the roof area the roof gap is closed by grouting via previously installed grouting ports, caused by the concrete setting after the concreting process or through the tunnel block being inadequately filled.

Defects in the concrete in the wall and floor area for the most part remain unidentified. Possible major flaws must be repaired by drilling the presumed defect and then grouting it (high risk of damaging the membrane during drilling). Repairing such defects can also be accomplished by means of injection systems that have been installed as a precaution.

Schaden/Fehler	Damage/Defect	Behebung/Vermeidung	Repair/Avoidance
Fehlerhafte Dichtungsbahnen Defective sealing membranes		Qualitätssicherung der Produkte, werks- und bauseitig Quality assurance of the products, at the works and on-site	
Mangelhafte Installation Faulty installation		• Qualitätssicherungsplan • Einsatz güteüberwachter Tunnel-Abdichtungsunternehmen • DVS geprüfte Schweißfacharbeiter - Quality assurance plan - Use of approved tunnel waterproofing companies - DVS (German Welding Society) tested skilled welders	
Beschädigung der Abdichtung während des Bewehrungseinbaus Damage to the waterproofing while installing the reinforcement		Partieller Rückbau der Bewehrung und Sanierung der Schadstelle mittels verschweißtem Zuschchnitt durch Warmgasextrusionsschweißung Partial removal of the reinforcement and repair of the defect by means of welding with hot gas extrusion welding	
Verwendung von unzureichenden Abstandhaltern der Bewehrung Using inadequate spacers for the reinforcement		• Verwendung von Abstandhaltern mit kippsicherer Geometrie und abgerundeten Kanten - Application of spacers with tilt-proof geometry and rounded edges	
Beschädigung durch das Schalungssystem im Stirnschalungsbereich durch z. B. Nägel, Keile oder Stemmeisen Damage caused by the formwork system in the stopend formwork area resulting from nails, wedges or chisels		• Ausführungsabstimmung der Nebengewerke • Verfahrensanweisungen • Rückbau der Stirnschalung und ggf. der Bewehrung • Sanierung durch Zuschchnitt mit Warmgasextrusionsschweißung - Implementing the execution of subsidiary works - Instructions on methods - Removal of the stopend formwork and if need be, the reinforcement - Repair through cutting with hot gas extrusion welding	

Tabelle 2: Mögliche Schäden vor dem Betoneinbau und deren Behebung

Table 2: Possible damage prior to placing the concrete and its repair

Im Endzustand kann die KDB wie folgt gegen die Innenschale geschützt werden: Durch die zerstörungsfreie Dickenmessung der Innenschale vor dem Verpressen der Baudrainage lässt sich eine zu geringe Betondicke, sofern das Ausmaß der Fläche größer als das Prüfraster ist, erkennen und somit die Gefahr freiliegender Bewehrung an der Außenseite minimieren. Im Firstbereich erfolgt durch die Verpressung des Firstspaltes über zuvor eingebaute Verpressstützen ein Verschluss des Firstspaltes, der durch das Absetzen des Betons nach dem Betonieren oder durch das unvollständige Verfüllen des Tunnelblocks entsteht. Im Ulmen- und Sohlbereich können Fehlstellen im Beton meist nicht erkundet werden. Mögliche größere Fehlstellen müssen durch Anbohren der vermuteten Fehlstelle und nachträgliches Verpressen (hohe Verletzungsgefahr der KDB während des Anbohrens) saniert werden. Die Sanierung solcher Fehlstellen kann auch über vorsorglich eingebaute Injektionssysteme erfolgen.

4.3 Sanierung von Leckagen

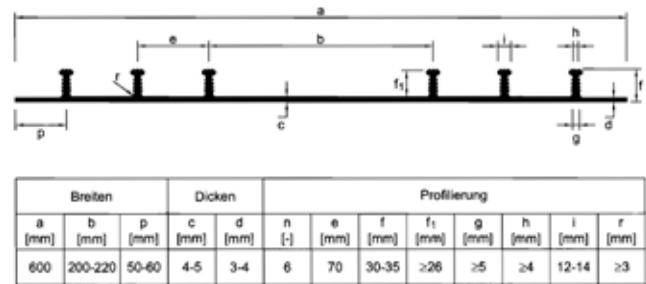
Die genaue Lokalisierung der Schadensstelle ist die Basis für eine möglichst nachhaltige Sanierung. Sehr hilfreich ist dabei die Segmentierung beziehungsweise Abschottung durch außenliegende Arbeitsfugenbänder im Blockfugenbereich. Die Schottfunktion kann jedoch nur bei vollkommener Einbettung der Fugenbandstege in den Innenschalenbeton erreicht werden. Um dies sicherzustellen, werden die Fugenbänder mit Entlüftungs- und Nachbetoniereinrichtungen versehen. Nach vollständiger Betonage der Innenschale werden die Fugenbänder anschließend aktiviert, d. h. mittels Zementsuspension nachbetoniert. Danach kann der entsprechend lokalisierte Block vollflächig nachgedichtet werden. Hierbei werden aufgrund ihrer hohen Viskosität vorwiegend Acrylatgele verwendet.

5 Herstellung von Tunnelabdichtungen

Bei wasserdruckhaltenden Abdichtungen ist ein mindestens 0,60 m breites 6-stegiges außenliegendes Fugenband (Schottfugenband) mit den Abmessungen gemäß **Bild 10** anzuordnen. Das Fugenband ist an beiden Rändern mit einer mindestens 30 mm breiten Fügenaht auf die zuvor verlegten und gefügten KDB aufzuschweißen. Die Verbindung muss so fest sein, dass ein nachträgliches Ablösen des Fugenbandes von der Abdichtung ausgeschlossen ist.

Um im Bereich der Blockfugen sowohl entlüften als auch nachbetonieren zu können, sind beiderseits der Blockfuge jeweils mindestens sechs radial eingebaute Schläuche oder Rohre mit ca. 20 mm Innendurchmesser in die Zwischenräume der Sperranker zu führen. Im First- und Ulmenbereich sind beiderseits der Blockfugen zusätzlich jeweils drei radial eingebaute Injektionsschläuche für eine Nachdichtung des Schottfugenbandes in jeweils einen Sperrankerzwischenraum zu führen.

Während die Zwickelbereiche zwischen den Fugenbandstegen planmäßig über die Nachbetonieröffnungen verfüllt werden, sollen die Injektionsschläuche nur im Fall von Undichtigkeiten verpresst werden.



10 Ausbildung und Abmessungen des außenliegenden Fugenbandes

Form and dimensions of the external waterstop

4.3 Repairing Leaks

The precise location of the source of damage forms the basis for a possible lasting repair. In this connection, segmentation or separation by means of external working waterstops in the block joint area is very useful. The separating function however can only be achieved with inner shell concrete. In order to accomplish this the waterstops are provided with de-airing and reconcreting devices. After the inner shell has been completely concreted the waterstops are then activated, i.e. reconcreted using a cement suspension. Thereafter the correspondingly localized block can be completely reconcreted. In such cases, acrylate gels are mainly applied owing to their high viscosity.

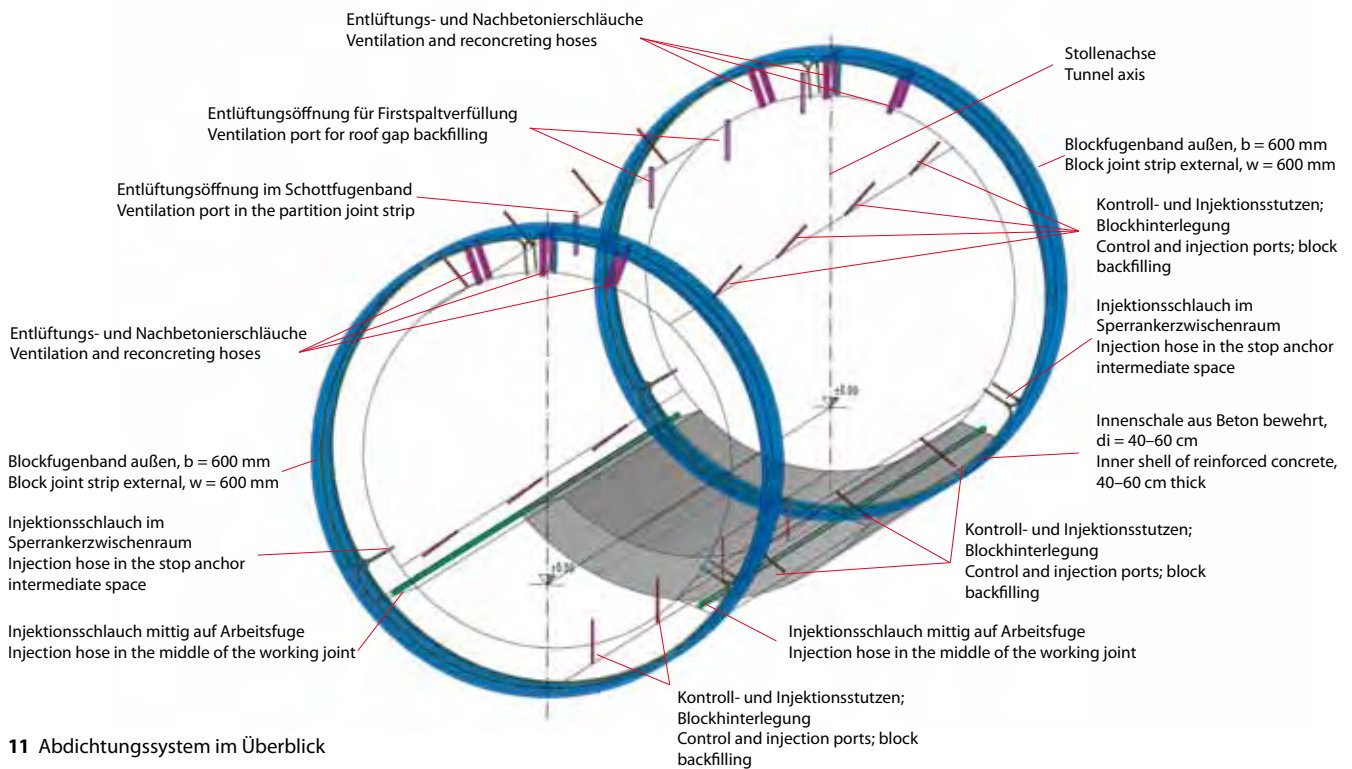
5 Creating Tunnel Seals

An at least 0.60 m wide 6-web external waterstop with dimensions in accordance with **Fig. 10** must be put in place in the case of water pressure resistant seals. The waterstop has to be welded on at both edges with an at least 30 mm wide joint seam to the previously laid, firmly attached membrane. The connection must be so well executed that the waterstop does not subsequently loosen from the seal.

At least six radially installed hoses or pipes with an internal diameter of some 20 mm must be introduced into the space between the stop anchors at both sides of the block joints in order to be able to de-air and reconcrete the block joint area. In addition three radially installed injection hoses for re-treating the waterstop have to be introduced into each of the stop anchor intermediate spaces in the roof and wall area at both sides of the block joints. Whereas the interconnecting areas between the waterstop webs can be filled according to schedule via the reconcreting ports, the injection hoses should only be applied in the event of leaks.

6 Test and Injection System

The fields defined by the block waterstops are provided with a test and injection system from water pressure in excess of a 10 m water column. They must be formed by unrestricted openings, hoses and pipes and have to be protected against closing while concreting and the roof gap is being backfilled. Should the membrane be leaky both the possibility of water escaping as well as injecting through the ports must be provided for. The distance between ports must not exceed 5 m lengthwise and in the ring direction. They must be



11 Abdichtungssystem im Überblick

Waterproofing system in detail

6 Prüf- und Injektionssystem

Die durch die Blockfugenbänder begrenzten Felder sind ab einem Wasserdruck von 10 m Wassersäule mit einem Prüf- und Injektionssystem auszustatten. Sie sollen durch frei gehaltene Aussparungen, Schläuche oder Rohre gebildet werden und sind gegen Verschließen beim Betonieren und bei der Firstspaltverfüllung zu schützen. Bei einer Undichtigkeit der KDB muss sowohl die Möglichkeit des Wasseraustritts als auch der Injektion durch die Öffnungen gegeben sein. In Längs- und Ringrichtung darf der gegenseitige Abstand der Öffnungen höchstens 5 m betragen. Sie müssen wasserdicht verschließbar sein, bei Leitungen auch gegen den angrenzenden Beton (**Bild 11**).

6.1 Fugenbänder

Im Vergleich zu früheren Ausführungsmethoden stellt die konstruktive Gestaltung der Fugenbänder mit Nachbetoniermöglichkeit und zusätzlichen Verpressschläuchen einen wesentlichen Fortschritt dar. Die größere Fugenbandbreite erweitert das in Bild 10 angegebene Maß b. Damit ist ausreichend Raum zum Einbau der Stirnschalung zwischen den Stegen. Zudem kann im Firstbereich durch die Nachbetonier- und Injektionsmöglichkeit eine dichte Einbindung der Fugenbänder in den Innenschalenbeton gewährleistet werden.

6.2 Kontroll- und Injektionssystem

Das Kontroll- und Injektionssystem zeigt mögliche Undichtigkeiten durch Wasseraustritte im Bereich der Abdichtungsfelder an und erlaubt die Sanierung der Schadstelle durch nachträgliche Injektion. Folgende Sachverhalte sind dabei zu beachten:

- Die Verpressung des Firstspaltes muss vor dem Verpressen der Baudrainage erfolgen.

capable of being closed to be watertight, also against the adjacent concrete in the case of pipes (**Fig. 11**).

6.1 Waterstops

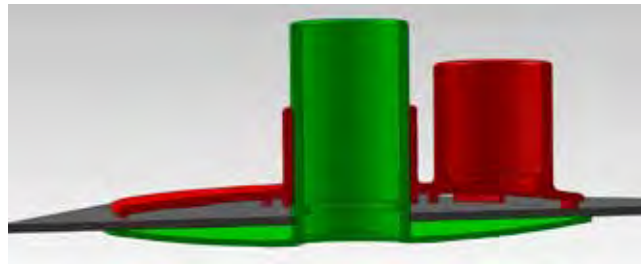
Compared with earlier methods of execution the structural form of waterstops with the possibility of reconcreting them with concrete and additional grouting hoses represents significant progress. The larger waterstop width extends the dimension b provided in Fig. 10. In this way there is sufficient space for installing the stopend formwork between the webs. In addition it is assured that the waterstops are firmly integrated in the inner shell concrete in the roof area thanks to the opportunity allowing for reconcreting and grouting.

6.2 Control and Injection System

The control and injection system reveals possible leaks due to ingressing water in the sealing field area and allows a defect to be repaired by subsequent grouting. Towards this end, the following aspects must be taken into account:

- The roof gap must be grouted before the construction drainage system is tackled.
- It is essential that the grouting hoses for the integrated control and injection system are flush up against the tunnel waterproofing membrane so that the cement suspension is prevented from penetrating when the roof gap is being grouted.
- Should there be a leak in the tunnel waterproofing membrane the water must be allowed to escape via the grouting hoses and subsequent grouting facilitated via the "control and injection system".
- An all-round temporary seal for the membrane layout has proved itself in practice. On the one hand, the cement suspension must be prevented from penetrating when grouting the roof gap and

- Es ist notwendig, dass die Verpressschläuche des integrierten Kontroll- und Injektionssystems dicht gegen die KDB abschließen, um ein Eindringen der Zementsuspension beim Verpressen des Firstspaltes zu verhindern.



12 Kombiniertes Kontroll- und Injektionssystem als Doppelinjektionsstutzen

Combined control and injection system in the form of twin injection ports

- Im Fall einer Undichtigkeit der KDB muss ein Wasser- austritt über die Verpress- schläuche gewährleistet und eine spätere Verpressung über das „Kontroll- und Injektionssystem“ möglich sein.
- In der Praxis bewährt hat sich die umlaufende temporäre Dichtung des KDB-Zuschnitts. Einerseits muss ein Eindringen der Zementsuspension beim Verpressen des Firstspaltes verhindert werden und andererseits eine Durchgängigkeit für Wasser und Injektionsmittel gegeben sein.
- Nach dem Verpressen des Firstspaltes ist eine „Aktivierung“ des Verpressstutzens erforderlich. Die temporäre Dichtung des KDB-Zuschnitts wird über den Verpressschlauch mit Wasser oder Druckluft durchgängig gemacht.
- Die Anschlüsse der Verpressschläuche des Prüf- und Injektionssystems müssen besonders beobachtet werden, damit beim Verpressen des Firstspaltes der Austritt von Zementsuspension durch die Verpressschläuche verhindert werden kann.

7 Kombiniertes Kontroll- und Injektionssystem

Um einem ausführenden Unternehmen die einwandfreie Herstellung der Tunnelinnenschale durch planmäßige Hinterlegung ermöglichen und die Kontroll- und Injektionsmöglichkeit erhalten zu können, ließ der Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e.V. im Rahmen eines Forschungsauftrages Lösungsansätze erarbeiten. Hintergrund ist, während der Tunnelbauphase eine Hinterlegung beziehungsweise erweiterte Firstspaltverpressung von der Sohle aufwärts durch das ausführende Unternehmen zu ermöglichen und gleichzeitig dem Bauherrn ein funktionsfähiges Prüf- und Injektionssystem zu bieten. Ein Doppelinjektionsstutzen könnte die Lösung sein (Bild 12).

8 Integriertes Injektionssystem mit Blockhinterlegung als erweiterte Firstspaltverpressung

Das integrierte Kontroll- und Injektionssystem mit der Erweiterung zum Doppelinjektionssystem wird eingebaut. Statt einer Firstspaltverpressung werden vor dem Verschließen der Baudrainage vom Sohliefsten beginnend die Blöcke über die Injektionsschläuche mit Zementsuspension verpresst (hinterlegt). Dabei erfolgt die Verpressung von unten nach oben jeweils soweit, bis an der nächsthöheren Verpressöffnung Suspension austritt. Der jeweils tiefere Verpressstutzen wird verschlossen und der Verpressvorgang an der nächsthöheren Öffnung fortgesetzt. Zum vollständigen Hinterlegen werden generell 3 bis 4 Blöcke mit Packern versehen und mit Suspension beaufschlagt. Der erste Schritt der Hinterlegung ist abgeschlossen, wenn an den Entlüftungsöffnungen in der

on the other a path for water and grouting agents must be provided.

- After grouting the roof gap the grouting port must be “activated”. Water or compressed air is applied to make the temporary seal for the membrane layout accessible via the grouting hose.
- The connections of the grouting hoses of the test and injection system must be particularly observed to ensure that cement suspension can be prevented from escaping from the grouting hoses.

7 Combined Control and Injection System

The Association for Tunnel Waterproofing came up with approaches for solutions within the scope of a research project so that a contractor is able to produce a faultless tunnel inner shell and retain the facility of a control and injection system. This is founded on enabling the responsible contractor to backfill or rather execute advanced roof gap grouting upwards from the floor and at the same time offer the client a functioning test and injection system. A twin injection port could provide the solution here (Fig. 12).

8 Integrated Injection System with Block Backfilling as advanced Roof Gap Grouting

The integrated control and injection system is installed incorporating the twin injection system. The blocks are grouted (backfilled) with cement suspension via the injection hoses starting from the bottom of the floor instead of carrying out grouting of the roof gap prior to closing the construction drainage system. Towards this end, grouting from the bottom to the top is carried out until suspension emerges from the next higher grouting port. The lower grouting port is in each case closed and the grouting process continued from the next higher opening. Generally 3-4 blocks are provided with packers and supplied with suspension to complete the backfilling phase. The first step of the backfilling process is completed when suspension comes out of the ventilation ports in the tunnel roof and the maximum pressure is attained. The grouting pumps must have a control system at their disposal geared to pressure, quantity and time as well as a means of recording these values. In this way the grouting procedure is controlled, recorded and also applied for quality assurance. Grouting can be adapted before the theoretical target quantity is arrived at in the event of increases in pressure and shortfalls. Furthermore, it can be seen whether unusually large amounts of grout and distribution extending beyond the active block occur. The advantages of systematic block backfilling are evident:

- Defects, rock pockets and voids are filled with cement suspension
- A uniform, smooth abutment is produced for the membrane to transfer the pressures from the water pressure at the slope side
- The inner shell is completely concreted
- The concrete covering is assured as rock pockets are filled.

Tunnelfirste Suspension austritt und der Maximaldruck erreicht ist. Die Verpresspumpen müssen über eine druck-, mengen- und zeitabhängige Steuerung sowie Aufzeichnung dieser Werte verfügen. Damit wird der Injektionsverlauf gesteuert, aufgezeichnet und weiter zur Qualitätssicherung eingesetzt. Bei Druckanstiegen und Mindermengen vor Erreichen der theoretischen Zielmenge kann die Injektion angepasst werden. Zudem lässt sich beobachten, ob außergewöhnliche Mehraufnahmen von Injektionsgut und Verteilungen über den aktiven Block hinaus stattfinden. Die Vorzüge der systematischen Blockhinterlegung liegen klar auf der Hand:

- Fehlstellen, Kiesnester und Lunker werden mit Zementsuspension verfüllt
- Es entsteht ein ebenes, glattes Widerlager für die KDB zur Übertragung der Drücke aus dem bergseitigen Wasserdruck
- Die Innenschale ist vollständig betoniert
- Die Betondeckung ist durch das Verfüllen von Nestern gewährleistet.

9 Bisherige Erfahrungen mit dem Prüf- und Injektionssystem bzw. der Blockhinterlegung

Bei verschiedenen Straßen- und Eisenbahntunneln wurde das Prüf- und Injektionssystem nach ZTV-Ing bereits eingebaut. In fast allen Tunneln wurden nach Verpressen der Baudrainage und mit Anstieg des Bergwasserspiegels abschnittsweise Undichtigkeiten festgestellt. Wasser fließt dabei über die Verpressstutzen durch die Verpressschläuche in den Tunnel. Die Kontrollfunktion des Systems funktionierte also. Für die Praxis muss allerdings festgestellt werden, dass es sehr schwierig ist, ein hundertprozentig druckwasserdichtes Abdichtungssystem mit KDB über die Gesamtlänge eines Tunnels herzustellen. Bewehrungseinbau, Betoniervorgang und unebene Außenseiten der Innenschale sind dabei die größten Gefahren für Beschädigungen der KDB. Um mögliche Schäden an der Tunnelabdichtung im Laufe des Lebenszyklus des Bauwerks erkennen und sanieren zu können, muss nach ZTV-ING das Kontroll- und Injektionssystem erhalten bleiben.

Ein Abdichtungssystem, das bereits vor Abnahme des Bauwerks undicht ist, kann jedoch praktisch nicht saniert werden ohne die vorhandenen Verpressstutzen des Prüf- und Injektionssystems zu verschließen bzw. die Injektionen über die Verpressstutzen durchzuführen. Die dauerhafte Kontrollfunktion kann in einem solchen Fall nicht mehr gewährleistet werden.

Erfahrungen mit der planmäßigen Hinterlegung von Tunnelblöcken liegen vor. Der Datenbestand bescheinigt eine erfolgreiche Dichtigkeit nach der durchgeführten Hinterlegung dieser Tunnel. Im Tunnel Brixlegg in Österreich etwa wurde die Blockhinterlegung systematisch auf einer Gesamtlänge von ca. 5,5 km im Haupttunnel sowie im Rettungstollen durchgeführt. In diesen Abschnitten kam es nach dem Aufspiegeln des Bergwassers (maximal gemessener Wasserdruck ca. 5 bar) zu keinen nennenswerten Undichtigkeiten. Die Hinterlegungstechnik wurde hier von der Universität Innsbruck im Rahmen einer Diplomarbeit [13] analysiert und dokumentiert. 

9 Findings so far with the Test and Injection System/Block Backfilling

The test and injection system has already been installed in keeping with ZTV-ING in various road and rail tunnels. Leaks were determined in sections in practically all the tunnels after grouting the construction drainage system and following an increase in the groundwater level. In the process, water flows through the grouting hoses into the tunnel; the system's control function operated. However, it must be established that with regard to practice it is extremely difficult to produce a 100% pressure water-tight system with tunnel waterproofing membranes over the entire length of the tunnel. The greatest hazards resulting in damage are installing the reinforcement, the concreting process and uneven outer walls of the inner shell. According to the ZTV-ING the control and injection system must be retained so that possible damage to the waterproofing can be identified and repaired during the course of the structure's life cycle. A waterproofing system, which leaks prior to the tunnel being accepted, can however scarcely be repaired without closing the existing grouting ports of the test and injection system or carrying out injections via the grouting ports. In such a case the ongoing control function can no longer be assured.

Findings for the scheduled backfilling of tunnel blocks are available. The data base reveals that once these tunnels have been backfilled they are tight. For example block backfilling in the Brixlegg Tunnel in Austria was undertaken over a total length of some 5.5 km in the main tunnel and the evacuation tunnel. No leaks worth mentioning occurred in these sections once the underground water level settled (maximum permanent water pressure ca. 5 bar). Backfilling technology was in this case analysed and documented in a diploma thesis [13]. 

Literatur/References

- [1] Arbeitskreis Tunnelabdichtung e.V., <http://www.akta-ev.de/de/tunnelsysteme/system1.html>
- [2] Bilfinger Berger AG, Zentrales Labor für Baustofftechnik, Bericht: Impact Echo
- [3] Boehning M., Robertson D., Schroeder H.F. 2008, Autoclave testing a new Approach for the Evaluation of Oxidative Long-Term Resistance of Geosynthetics. Proceeding EuroGeo4, Edinburgh
- [4] tBU Newsletter 17. www.tBU-gmbh.de 2008, Prüfungen zur Langzeitbeständigkeit von Geokunststoffen im Autoklaven (testing of durability of geosynthetics by autoclave tests)
- [5] ZTV-ING Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5: Tunnelbau, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch-Gladbach, 2007
- [6] Deutsche Bahn AG 2007, Guideline 853.4101 Waterproofing and Drainage DVS (German Plastic Welding Association) 2011, DVS 2225-5 Welding of thermoplastic membranes in tunnel constructions
- [7] Timothy D. Stark, Hangseok Choi, Patrick W. Diebel, Plasticiser Molecular weight and plasticizer retention in PVC Geomembranes, 57th Canadian Geotechnical Conference
- [8] Bindschedler, Urs; Permanence of flexible Waterproofing Systems, 1999
- [9] NAUE GmbH & Co.KG, Tunnel Construction, 2008
- [10] Technische Vertragsbedingungen Tunnelbau RVS 8T, FSV, 1. August 2004
- [11] N. Komma, Tunnel Jg. 23, Nr. 6, 2004. Seite 48-55, Druckwasserhaltende Tunnel
- [12] N. Komma, Tunnel Jg. 20, Nr. 8, 2001. Tunnelabdichtung: Erkenntnisse aus der NBS Köln – Rhein/Main
- [13] S. Zauner, Diplomarbeit zu „Untersuchungen zum System druckwasserdichter Innenschalenausbau“ Universität Innsbruck/A

Aussteller**WTC 2015: Neue Technik,
neue Dienstleistungen**

Die Ausstellungsflächen des World Tunnel Congress 2015 in Dubrovnik füllen sich; mehr als 150 Aussteller haben ihre Beteiligung mittlerweile zugesagt; die Standregistrierung ist noch bis 30. April möglich. Neben der Möglichkeit zum Wissensaustausch bietet die Kongresswoche auch die Möglichkeit, neue Produkte und Dienstleistungen aus der Welt des Tunnelbaus genauer kennenzulernen. Wir stellen Ihnen auf den folgenden Sonderseiten einige auf den Tunnel-Markt spezialisierte Unternehmen und Ihre Neuheiten und Angebote für den Kongress vor. Jeder Kurzartikel enthält die WTC-Standnummer sowie die Internet-Adresse der jeweiligen Firma. 

Exhibitors**WTC 2015: New Technology,
new Services**

Registration for the stands of the technical exhibition at the World Tunnel Congress 2015 in Dubrovnik is still open until April 30, but about 150 exhibitors have already confirmed their participation. In addition to the exchange of knowledge and experiences the congress is the place to gather information about the latest products and services, the tunnelling-experts have to offer. On the following pages we introduce new developments and ideas of companies specialised in tunnelling, who will be present at the WTC 2015. The portraits include stand numbers for the WTC as well as the companies' website information. 

Offizielle Website/official homepage
World Tunnel Congress 2015:
wtc15.com

Putzmeister Underground

Shotcrete has become an indispensable element in sustaining any underground construction excavated by non-integral methods, both in civil works and mining. With the launch of the shotcrete monitoring system Geokret, Putzmeister responds to the need of rigorous qualitative and quantitative control of the applied shotcrete to ensure optimal execution of the tunnel construction. Integrated into the Putzmeister spraying machine, Geokret includes a 3D laser-scanner and software for real-time analysis of the excavated profile and applied shotcrete layers, which allows the operator to immediately identify and correct under- and over-break as well as insufficient shotcrete layer thickness. Putzmeister offers the right equipment for concrete spraying and transport in tunnel constructions and underground mining, along with a worldwide after-sales and parts service network. 

Quelle/Credit: Putzmeister

WTC 2015 – Exhibition Area 2
Stand No. 113
www.putzmeisterunderground.com

The Robbins Company

With over 60 years of experience, The Robbins Company is one of the world's foremost developer and manufacturer of advanced underground construction machinery. Innovative concepts keep expanding the company's scope, from efficient TBM assembly methods to high-performance machine designs resulting in landmark performances in soft ground and hard rock. Robbins is a total supply company, offering the complete tunneling solution, supplying everything from the TBM to all supporting components, such as cutters, conveyors, field service personnel and technical support. With major projects currently underway throughout the world, Robbins continues to lead the tunneling industry in innovation and partnership. 

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 10/11
www.therobbinscompany.com



Quelle/credit: Robbins

Hölscher Wasserbau

Die Hölscher Wasserbau GmbH ist ein international agierendes Familienunternehmen aus Deutschland. Von acht nationalen Standorten aus bieten über 450 Mitarbeiter Dienstleistungen aus den Bereichen Wasserhaltung, Umwelttechnik, Brunnenbau und Grundwassermanagement an. International ist Hölscher Wasserbau durch die Budwug in Polen, Reinders Wessemius in den Niederlanden und die Uniquip Hoelscher in Katar vertreten. Weitere Standorte befinden sich in Rumänien, Italien, Dänemark und Großbritannien. Desweiteren zeichnet die Tochterfirma „SL Service und Logistik“, für die Baustellendisposition und Werkstätten verantwortlich. Auf nahezu 800 Baustellen war das Unternehmen in den vergangenen Jahren tätig, darunter Projekte wie „Stuttgart 21“, Metro Cityringen Kopenhagen, OPAL-Pipeline oder Autobahntunnel A2 Maastricht. 



Quelle/credit: Hölscher Wasserbau

Hölscher Wasserbau GmbH is an internationally active family business from Germany. From eight locations in Germany, 450 employees offer services in the fields of dewatering, environmental engineering, well construction and groundwater management. Hölscher Wasserbau is represented internationally by Budwug in Poland, Reinders Wessemius in the Netherlands and Uniquip Hoelscher in Qatar, and further offices are located in Romania, Italy, Denmark and Great Britain. The subsidiary company „SL Service und Logistik“ is responsible for construction site disposition and workshops. The company was active on almost 800 construction sites in recent years, including major projects such as „Stuttgart 21“, Metro Cityringen in Copenhagen, OPAL pipeline or the A2 Maastricht autobahn tunnel. 

WTC 2015 – Exhibition Area 2
Stand No. 119
www.hoelscher-wasserbau.de

BASF



Quelle/credit: BASF

BASF's commitment is to contribute to the construction of safe, robust and sustainable underground structures, in addition to providing specialty chemicals for underground construction; BASF is also providing expert technical advice at every stage of a project. Master Builders Solutions offers a wide range of admixtures for addition during concrete batching and on site:

MasterRoc SA:

Alkali-free set accelerators to accelerate the setting and hardening of the sprayed concrete, providing high early strength gain and long-term strength development, as well as reducing dust and rebound levels.

MasterGlenium:

Water-reducing superplasticizer for lower accelerator consumption minimized bleeding and reduced levels of segregation of sprayed concrete.

MasterRoc HCA:

Cement hydration control system to maintain the open time of sprayed concrete for up to 72 hours.



WTC 2015 – Exhibition Area 1

Stand No. 13/14

www.master-builders-solutions.basf.com

Tradec

Tradec is one of the leading international manufacturers of construction chemicals for the tunnel industry. As a contractor and through its partners, Tradec is involved in major underground infrastructure projects worldwide, like tunnels and subways. Tradec offers a wide range of resin based materials for water sealing, temporary soil conditioning, permanent soil stabilization and conditioning agents used by EPB shield TBMs during excavation of a tunnel. Other materials that are manufactured by Tradec and which were used in numerous infrastructure projects are its carbon fibre reinforced polymer (CFRP) systems for the exterior reinforcements of structures and its innovative waterproofing polyurea coating. 



Quelle/credit: Tradec

WTC 2015 – Exhibition Area 2

Stand No. 143/144

www.tradec.com

Herrenknecht

Herrenknecht präsentiert sich auf dem World Tunnel Congress als Pionier im maschinellen Tunnelbau. Weltweit werden mit Herrenknecht Tunnelvortriebstechnik moderne Tunnelbauwerke sicher und zuverlässig erstellt. Im Projekt Lake Mead Intake No.3 bohrte eine Herrenknecht Multi-Mode-TBM einen Zulauf-tunnel zur Wasserversorgung der Metropole Las Vegas unter 15 bar Wasserdruck – Weltrekord! Bei Crossrail, Europas größtem Bahnprojekt, vertrauen die Kunden ausschließlich auf Pionier-technik aus Schwanau. Sechs EPB-Schilde und zwei Mixschilde schaffen eine durchgängige Eisenbahnverbindung durch die Megastadt London. Technologischen Fortschritt stellten die weltweit ersten sechs Variable Density Maschinen in Kuala Lumpur unter Beweis. Für die SBK Line bohrten sie sich erfolgreich durch schwierigsten verkarsteten Kalkstein.



Herrenknecht Multi-Mode-TBM am Ziel unter dem Lake Mead

A Herrenknecht Multi-Mode-TBM reached its destination under Lake Mead

Quelle/Credit: Herrenknecht

On the occasion of the World Tunnel Congress Herrenknecht presents itself as the pioneer in mechanized tunnelling. Using Herrenknecht Tunnelling Systems, modern tunnels worldwide are created safe and reliable. In the Lake Mead Intake No. 3 project a Herrenknecht Multi-Mode TBM bored an intake tunnel for the water supply of Las Vegas under 15 bar water pressure – world record! For Europe's largest railway project Crossrail, contractors solely relied on the pioneering technology from Schwanau. Six EPB shields and two Mixshields create a continuous rail link through the mega city of London. Technological progress was demonstrated by the first six Variable Density Machines worldwide in Kuala Lumpur. They advanced successfully through extremely difficult karstic limestone for the SBK line.

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 51–53
www.herrenknecht.com

Schauenburg Tunnel-Ventilation + Herco Kühltechnik



Schauenburg Tunnel-Ventilation: Produktion und Vertrieb von flexiblen Wetterlütten und Zubehör

Schauenburg Tunnel-Ventilation: Manufacturing and distribution of ventilation ducting and auxiliary equipment



Herco Kühltechnik: Projektierung und Fertigung von Kühlanlagen für den Bergbau und Tunnelbau

Herco Kühltechnik: Specially tailored cooling systems for the mining and tunnel industry

Quelle/Credit(2): Schauenburg Tunnel-Ventilation/Herco

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 47
www.tunnel-ventilation.de
www.herco-gmbh.com

Goecke GmbH & Co. KG



Quelle/credit: Goecke

Steigende Genauigkeitsanforderungen sowie wachsender Termin- und Preisdruck fordern Mineure und Vermesser immer stärker. In den letzten 15 Jahren wurde in enger Zusammenarbeit mit führenden Spezialisten aus der Praxis ein innovatives Zubehörprogramm speziell für die Tunnel- und Deformationsmessung entwickelt. Mit ihren Produkten und ihrer Dienstleistung kann die Firma Goecke aus Deutschland als kompetenter Lieferant und Hersteller zum reibungslosen Projektablauf beitragen. Das Programm beinhaltet Konvergenzmessbolzen, Bireflex-Targets, Mini-Prismen, Instrumentenkonsolen, Wandbolzen und Tunnellaser. Als Lieferant bietet Goecke viele Vorteile: Kompetente Beratung, hohe Produktqualität, kurze Lieferzeiten und günstige Preise. Zusätzlich ist das Unternehmen Spezialist in der Umsetzung von Sonderlösungen.

Increasingly stringent precision requirements and growing price and schedule pressure are posing ever greater challenges for miners and surveyors. In the last 15 years, an innovative programme of special accessories for tunnel surveying and deformation measurement has been developed in close cooperation with leading specialists from the industry. With their products and services, the company Goecke from Germany can contribute to smooth project progress as a competent supplier and manufacturer. The programme includes convergence measuring bolts, Bireflex targets, mini-prisms, instrument consoles, wall bolts and tunnel lasers. Goecke can offer many advantages as a supplier: competent advice, high product quality, short delivery times and favorable prices. The company also specializes in the implementation of special solutions. 

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 21
www.goecke.de

Geodata



Quelle/credit: Strabag

Geodata ist Spezialist und Partner für Monitoring, Tunnelvermessung, geotechnische Instrumentierung und Informationssysteme. Geodata entwickelt und vertreibt Hardware und Software und nutzt ein breites Spektrum an internationalen Partnerschaften um, flexible, innovative und maßgeschneiderte Systeme und Dienstleistungen zu bieten. Eine der neuesten Produkteinführungen ist das innovative TBM Steuerleitsystem Tauros. Das System kombiniert altbewährte Methoden mit Neuentwicklungen wie dem Kameramesssystem und dem vollautomatischen Schildschwanzluftmesssystem. Sämtliche Infos werden auf einem benutzerfreundlichen Interface präsentiert, das nur minimalen Eingriff benötigt, somit einen höheren Grad an Automation und Sicherheit bietet und die Fehleranfälligkeit minimiert.

Geodata specializes in monitoring, tunnel surveying, geotechnical instrumentation and information management. Geodata develops and distributes its own hardware and software and utilizes a broad spectrum of international partnership to form a flexible, innovative and solution-oriented supplier of both, systems and services. One of the latest deployments is the highly innovative TBM guidance system Tauros. The system combines well-tried solutions for TBM guidance with new sensor technology such as a camera measurement system and a fully automatic tail skin clearance measurement system. All information is displayed on a user friendly interface which demands very limited user interaction thus providing a higher degree of automation and safety and a lower risk of failure. 

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 24
www.geodata.com

Rascor

Rascor ist ein seit 50 Jahren international tätiger Hersteller von Spezial-Produkten für die Abdichtung von Tunnelbauwerken und Ingenieur-Spezialtiefbauten. Die besondere Spezialität bilden die Injektionssysteme, welche den jeweiligen Problemstellungen angepasst, in großer Variabilität eingesetzt werden können. Der Injektionsbereich umfasst Standard-Formulierungen und Sonderanfertigungen im Bereich Acrylatgele, Polyurethane, Silikate und Ureasilikate. Rascor liefert nicht nur Produkte sondern unterstützt auch den Verarbeiter mit der erforderlichen technischen Beratung auf der Baustelle und bietet Lösungen für die Herausforderungen der verschiedenen Anwendungen. 



Quelle/Credit: Rascor

Rascor has been internationally active for 50 years as a manufacturer of products for the waterproofing of tunnels and specialised civil engineering works. The particular speciality is grouting systems for a widely variable range of uses adapted to suit each specific problem. The grout range includes standard formulations and special production in the fields of acrylate gels, polyurethanes, silicates and ureasilicates. Rascor not only supplies the products but also provides the customer with the necessary technical support on site and offers solutions for the challenges of various applications. 

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 39
www.rascor.com

MAXIMISING BELT CONVEYOR PRODUCTIVITY

Increase Uptime

Flexco® Rivet Hinged Belt Fastening System
For the most demanding material handling applications.

Increase Uptime

Flexco® Bolt Solid Plate Fastening System
Strong, silt-free splices with superior holding ability.

Reduce Belt Slip

Flex-Lag® Ceramic Lagging
Prevents belt slip and extends the belt and pulley life.

Reduce Carryback

Mineline® MMP Medium-Duty Precleaner
Optimal belt cleaning without an aggressive, heavy-duty belt cleaner.



Flexco Europe GmbH
Leidringer Strasse 40-42
D-72348 Rosenfeld

Tel. +49/7428-94060
Fax +49/7428-9406260
europe@flexco.com



Partners in Productivity

www.flexco.com

www.hbi.ch

Wir sind international tätige Planer für

- **Tunnellüftungen**
- **Immissionsberechnungen und -gutachten**
- **Aerodynamik und Thermodynamik von Tunnelsystemen**
- **Mechanische Ausrüstung**
- **Risiko- und Sicherheitsanalysen**

Unsere Leistungen umfassen:

- Strassen-, Bahn-, U-Bahn, Versorgungstunnel
- Beratung, Expertisen und Studien
- Planung, Projektierung und Realisierung
- Bauleitung und Messungen
- Abnahmetests und Brandversuche

Von Vorstudien bis zur detaillierten Auslegung und von Ausschreibungen bis zur Inbetriebnahme sind wir der richtige Ansprechpartner.



«Weltweit erfolgreiche Planung und Beratung bei über 600 Tunnellüftungen seit 1963»

HBI Haerter Beratende Ingenieure

HBI Haerter AG
Stockerstr. 12
Tel. +41 44 289 3900
Fax +41 44 289 3999
Schweiz: Zürich und Bern / Deutschland: Heidenheim

8002 Zürich / Schweiz
E-Mail: info.zh@hbi.ch
Web: www.hbi.ch

Jordahl GmbH

Wer in Tunneln Fahrdrähte oder Oberleitungen, Signalanlagen, Beleuchtungen sowie Be- und Entlüftungen befestigen will, kann sich auf Jordahl Ankerschienen und Schrauben verlassen. Sie können einfach und schnell montiert werden. Durch die Verwendung von korrosionsfreien Materialien sind sie langlebig und zuverlässig. Sie sind widerstandsfähig gegenüber Ermüdung, seismischen Erschütterungen und Explosionen. Damit erfüllt das System alle sicherheitsrelevanten Anforderungen über Jahre hinweg. Die Sicherheit und Qualität von einbetonierten Jordahl Ankerschienen hat sich international bewährt und Standards in der Befestigungstechnik gesetzt. Die Ankerschienen gibt es in vielen Ausführungen und können als kundenoptimierte Lösungen den speziellen Anforderungen entsprechend angefertigt werden.



Tunnel designers and contractors can rely on Jordahl anchor channels and T-bolts for the safe support of catenary cables, power cables, signalling equipment, illumination equipment and ventilation equipment, to concrete tunnel structures. Allowing fast and secure installation without drilling, the Jordahl system uses corrosion-resistant materials, and provides adjustable connections that are reliable and resistant to fatigue, seismic vibrations and explosions. The system meets all relevant safety requirements,

and will perform consistently for many years after the tunnel is completed. The safety and quality of cast-in Jordahl anchor channels has been proven internationally and has set high standards for connection systems. The anchor channels are available in numerous designs, custom solutions can be designed specifically to a project.

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 70
www.jordahl-group.com

CREG TBM Germany GmbH

CREG TBM Germany GmbH is the German subsidiary of China Railway Engineering Equipment Group (CREG), which belongs to CREC (China Railway Engineering Corporation) – one of the Top 500 biggest enterprises in the world.

Since its establishment in 2008, CREG has been focusing on TBM industrialization. Its products cover all TBM ranges including gripper, telescopic, single shield, EPB, slurry and dual-mode TBMs, with various diameters from 3 m to 15 m. So far, more than 220 sets of TBMs (including 53 sets in the year 2014) have been manufactured and delivered to different contractors



worldwide. Furthermore, CREG also specializes in pipe jacking and auxiliary tunnelling equipment, shaft boring machine, piling and mining equipments. Furthermore, besides being a TBM supplier, CREG is also a tunnelling solution provider, competent to give extensive practical experiences and contribute to the customers with high-performance TBMs and professional job site services.

Based in Erkelenz, Germany, CREG Germany possesses background experiences and local advantages, ready to provide European partners with not only TBMS but one hand solutions on diverse demands from customers.

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 75/76
www.creg-germany.com

Zitron

Zitron is a world-wide leading company in designing, manufacturing, testing, installation and commissioning of complete ventilation systems for metro, mines, railway and road tunnels. Its extensive reference list includes more than 600 different projects in over 40 countries. The fan testing facilities at their Headquarters in Spain requires an especial remark. A strict FAT (Factory Acceptance Test) is a key factor to ensure a good fan performance. Zitron's performance tests are carried out to prove that the fan matches the characteristic curve and to verify its efficiency. The testing procedure is certificated by AMCA (Air Movement and Control Association from USA). Zitron's test bench is considered to be the world's biggest for tunnel applications and also the world's biggest AMCA laboratory. The growing market of Zitron fans around the world, along with a high level of client-satisfaction of document the company's product- and service-quality. 



Quelle/credit: Zitron

WTC 2015 – Exhibition Area 1
Stand No. 55/56
www.zitron.com



Groundwater Management in Tunneling Projects

Dewatering, Groundwater Control, Water Treatment, Online Monitoring and Well Drilling.



Nord Zuid Lijn Amsterdam

80 wells for depressurisation of an aquifer in a depth of 43 m



Metro Bucharest Line 5

25 million m³ of groundwater to be pumped



Cityring Copenhagen

1.100 wells for 21 metro shafts. Re-infiltration rate of 95%



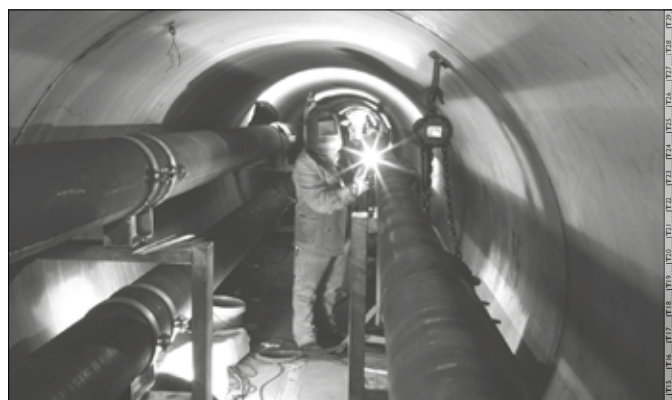
A2 Maastricht

600 dewatering wells. 2.300 m³/h re-infiltration via hw-DSI system

www.hoelscher-wasserbau.de · info@hoelscher-wasserbau.de

Hölscher Wasserbau GmbH
Haren, Germany

Branch offices in:
Austria · Denmark · Poland · Qatar · Romania
The Netherlands · United Kingdom



Innovativer – Kompetenter – Zuverlässiger

Gemeinsam stärker im Tunnelbau

Schläuche · Armaturen · Zubehör für:
hoses · fittings · equipment for:

-  Pressluft compressed air
-  Wasser water
-  Beton concrete



Salweidenbecke 21
44894 Bochum, Germany
Tel. +49 (0)234/5 88 73-73
Fax +49 (0)234/5 88 73-10
info@techno-bochum.de
www.techno-bochum.de

 **TechnoBochum**

USA

Lake Mead: Maschineller Tunnelvortrieb unter Hochdruck

Las Vegas, die Casino-Metropole im US-Bundesstaat Nevada, bezieht 90 Prozent ihres Wassers aus dem Lake Mead – dem größten Stausee der Vereinigten Staaten, der vom Colorado River gespeist wird. Doch das Umland entnimmt dem See mehr, als an Schmelz- und Regenwasser aus den Rocky Mountains hineinfließt. Während der 14 Jahre andauernden Dürre ist der Wasserspiegel um 35 m gesunken. Die zwei vorhandenen Wasserzuläufe für das Las Vegas Valley drohen trocken zu laufen, die obere Absaugstelle Intake No.1 vielleicht schon im Sommer. Sie liegt nur noch 7 m unter dem Seespiegel.

Der von der Wasserbehörde Southern Nevada Water Authority (SNWA) in Auftrag gegebene Bau einer neuen, tiefer liegenden Wasserentnahmestelle, Intake No.3, ist ein Wettlauf gegen die Zeit. Doch der entscheidende Abschnitt ist bewältigt: Am 10. Dezember 2014 erreichte die Herrenknecht-Tunnelbohrmaschine S-502 (Ø 7,2 m) nach dreijährigen Bohrarbeiten in widrigstem Untergrund ihr Ziel unter dem See.

USA

Lake Mead: mechanized Tunnelling under high Pressure

Las Vegas the famous Nevada resort city with its casinos and entertainment-business, draws 90 percent of its water from Lake Mead. This largest reservoir in the United States is fed by the Colorado River. The areas around Las Vegas, however, are taking more from the lake than flows into it as snow melt and rain water from the Rocky Mountains. During the 14 years of drought, the water level has dropped by 35 m. The two existing water intakes for the Las Vegas Valley are in danger of running dry, and Intake No.1 could be at risk as early as this summer. It is now only 24 feet (7 m) below the lake level.

The construction of a new, deeper water intake commissioned by the Southern Nevada Water Authority (SNWA) is a race against time. But the crucial section has been mastered: on December 10, 2014, after three years of tunnelling, the Herrenknecht tunnel boring machine S-502 (Ø 7.2 m) reached its target on the lake bed.

Tunnelling under a Water Pressure of 15 bar – a new World Record

Starting from a 180 m deep shaft, the TBM has dug a 4.4 km tunnel

under the lake. During this time the machine was subject to water pressure of up to 15 bar – a new world record. The previous record of 11 bar had been held by a Herrenknecht Multi-mode TBM for the Swedish tunnel project Hallandsås, completed in 2013. Herrenknecht developed and built the Las Vegas machine in close cooperation with the customer, Vegas Tunnel Constructors. The joint venture of Salini Impregilo (Milan, Italy) and S.A. Healy Co. (Chicago, Illinois, USA) is constructing the intake tunnel for the SNWA. The tunnel passes through the so-called Muddy Creek Formation, with alternating layers of hard rock and conglomerates as well as fault zones. The fault zones full of secondary minerals are partly filled with water from Lake Mead. The designed machine is a Multi-mode TBM, which can be operated in open or closed mode according to the geological conditions and has considerable additional equipment.



Quelle/Credit: Herrenknecht

Im Dezember 2014 erreicht die Herrenknecht Multi-Mode-TBM zentimetergenau ihr Ziel am Grund des Lake Mead. Innerhalb von drei Jahren hatte sie einen 4,4 km langen Tunnel unter den größten Stausee der USA gegraben

In December 2014, with centimeter accuracy the Herrenknecht Multi-mode TBM reached its target at the bottom of Lake Mead. Within three years it has dug a 4.4 km tunnel under the largest reservoir in the USA

Tunnelbau bei einem Wasserdruck von 15 bar – Weltrekord

Von einem 180 m tiefen Schacht ausgehend hat sie einen 4,4 km langen Tunnel unter den Lake Mead gegraben. Dabei lastete ein Wasserdruck von bis zu 15 bar auf der Maschine – ein absolutes Novum im maschinellen Tunnelvortrieb und neuer Weltrekord. Den bisherigen Höchstwert von 11 bar hatte eine Herrenknecht-Multi-Mode-TBM für das 2013 fertiggestellte schwedische Tunnel-Projekt Hallandsås bewältigt.

Herrenknecht entwickelte und baute die Las Vegas-Maschine in enger Abstimmung mit dem Kunden Vegas Tunnel Constructors. Die Arbeitsgemeinschaft aus Salini Impregilo (Mailand, Italien) und S. A. Healy Co. (Chicago, Illinois, USA) führt für die SNWA den Bau des Zulauf隧unnels aus. Der Tunnel verläuft durch die sogenannte Muddy-Creek-Formation mit wechselnden Schichten von Hartgestein und Konglomeraten sowie Störzonen. Die mit Sekundärmineralien gefüllten Störzonen beinhalten zum Teil auch Wasser aus dem Lake Mead. Die entworfene Maschine ist eine Multi-Mode-TBM, die je nach Baugrundsituation in offener oder geschlossener Betriebsart gefahren werden kann und über etliches Zusatzequipment verfügt.

Three Years of Work under demanding geological Conditions

The Las Vegas machine was launched in late 2011 from a 180 m deep shaft at the lakeside. For months it struggled through shattered rock and clay with full hydrostatic pressure caused by water from the lake. In doing so it had to withstand pressures of up to 15 bar, an absolute novelty in mechanized tunnelling. As a comparison: 15 bar is like diving at 150 m or at a pressure of 15 kg/cm². With a diameter of over 7 m and a length of 190 m, immense forces were applied on the machine.

The TBM slaved away through abrasive geological formations, resulting in repeated downtimes to replace wear parts. Disks, parts of the cutting wheel and the entire bearing seal were replaced. As soon as the machine reached good, stable conditions the site crew changed from closed slurry-supported mode to open hard rock mode. In this the multi-mode machine quickly ate its way through the rock at speeds of 4–5 cm per minute and up to more than 100 m a week. Over the total distance the machine tunnelled about 40 percent in open hard rock mode and about 60 percent in closed slurry-supported mode. Tunnelling was interrupted at regular intervals for maintenance and repairs.

Vordenker beim Rückwärts- fahren

Der Bergmann Dumper 5025 beweist im Tunnelleinsatz Umsicht: mit drehbarem Fahrerstand für die sichere Tunnelleinfahrt und -ausfahrt ohne Wenden.



- knickgelenkter **Zwei-Achs-Dumper** für den Tunnelbau
- **25 t Nutzlast** bei kompakter Bauweise
- mit **194 KW** nicht nur wirtschaftlich im Verbrauch sondern auch bei der Bewetterung
- **drehbarer Fahrerstand** für beste Sichtverhältnisse
- **hoher Fahrkomfort**, z. B. durch gefederte Vorderachse

Bergmann Maschinenbau GmbH & Co. KG | Essener Straße 7 | 49716 Meppen | Telefon: +49 5932 7292-0

BERGMANN

www.bergmann-dumper.de

Drei Jahre Arbeit unter schwierigen geologischen Bedingungen

Die Las Vegas Maschine startete Ende 2011 aus einem 180 m tiefen Schacht am Seeufer ihren Vortrieb. Sie kämpfte sich monatelang durch zerrütteten Fels und mit Seewassereinschlüssen durchsetztem Lehm. Hierbei musste sie Drücken von bis zu 15 bar standhalten, Zum Vergleich: 15 bar entsprechen in etwa einem Tauchgang in 150 m Tiefe bzw. einem Druck von 15 kg/cm². Bei einem Durchmesser von über 7 m und einer Länge von 190 m lasteten damit immense Kräfte auf der Maschine.

Die TBM arbeitete sich an abrasiven geologischen Formationen ab, was wiederholt Stillstände zum Austausch verschiedener Verschleißteile erforderte. Disken, Teile des Schneidrads und die komplette Lagerdichtung wurden ersetzt. Sobald die Maschine guten, stabilen Untergrund erreichte, wechselte die Baustellencrew vom geschlossenen flüssigkeitsgestützten Betriebsmodus in den offenen Hartgesteinsmodus. In diesem fraß sich die Multi-Mode-Maschine kurzzeitig mit Geschwindigkeiten von 4–5 cm pro Minute und bis zu über 100 m die Woche durch das Gestein. Über die Gesamtstrecke fuhr die Maschine ca. 40 Prozent im offenen Hartgesteins-Modus und ca. 60 Prozent im geschlossenen flüssigkeitsgestützten Modus auf. Für Wartungs- und Reparaturarbeiten wurde der Vortrieb in regelmäßigen Abständen unterbrochen.

Jim Nickerson, Projekt Manager von Vegas Tunnel Constructors: „Geplant hatten wir maximal 30 Prozent des Vortriebs im schwierigeren geschlossenen Modus, geworden sind es fast 60 Prozent. Das war eine große technische Herausforderung und erforderte umfassende Wartungsarbeiten. Dass wir trotz der widrigen Bedingungen und aller Hindernisse den Tunnel erfolgreich auffahren konnten, ist das Ergebnis der sehr guten Zusammenarbeit mit Herrenknecht.“

Besondere Auslegung der Multi-Mode-TBM auf hohe Grundwasserdrücke

Der Betriebsmodus der TBM musste den jeweiligen geologischen Bedingungen angepasst werden: Im offenen Modus wird der Abraum zum Bohrkopfzentrum geführt und dort von der zentralen Förderschnecke auf Förderbänder abtransportiert. Bei eventuellem Wassereintritt wird die Hauptkammer durch Schließen des hinteren Abwurfschiebers abgedichtet. Innerhalb von nur 120 Sekunden kann so vom offenen in den geschlossenen Modus gewechselt werden. In letzterem wird die Multi-Mode-Maschine komplett im flüssigkeitsgestützten Slurry-Modus mit einem Luftpolster zur Kontrolle des Stützdrucks gefahren.

Drei im Schildbereich installierte Bohrgeräte bieten umfassende Vorausbohrmöglichkeiten für Sondier- und Injektionsarbeiten. Ein viertes Bohrgerät kann bei Bedarf auf dem Erektor angebracht werden. Mit Hilfe dieser Bohrgeräte lässt sich die Ortsbrust sowohl für den Vortrieb als auch für Inspektions- und Wartungsarbeiten stabilisieren. Damit erhöht sich die Möglichkeit von Arbeiten unter atmosphärischen Bedingungen in der Abbaukammer oder sogar an der Ortsbrust. Ist der Wasserdruck zu groß, müssen solche



Quelle/credit: Herrenknecht

Die Herrenknecht TBM S-502 im Einlaufbauwerk. Die Druckwand trennt den See vom Tunnel

Herrenknecht TBM S-502 in the intake structure with the bulkhead separating the lake and the tunnel

Jim Nickerson, Project Manager at Vegas Tunnel Constructors: "We had planned a maximum of 30 percent of tunnelling in the more difficult closed mode, it ended up being almost 60 percent. That was a major technical challenge and required extensive maintenance. The fact that we were able to drive the tunnel successfully despite the adverse conditions is the result of very good cooperation with Herrenknecht."

Special Design of the Multi-Mode TBM for high Groundwater Pressures

Adapting to the geological conditions, the excavation mode of the TBM was adapted. In open mode the excavated material is fed to the cutterhead center, where the central screw conveyor removes it onto belt conveyors. In the event of water inrush, the main chamber is sealed by closing the rear discharge gate. In this way the change from open to closed mode can be done in just 120 seconds. In the latter the Multi-mode TBM is driven completely in the slurry-supported mode with a cushion of air to control the support pressure.

Three drills installed in the shield area offer comprehensive advance drilling possibilities for probing and grouting. If required, a fourth drill can be installed on the erector. The drills allow stabilization of the tunnel face both for the drive as well as for inspections and maintenance. This increases the possibility of working under atmospheric conditions in the excavation chamber or even at the tunnel face. If the water pressure is too great, work needs to be carried out in

Arbeiten unter Druckluft durchgeführt werden. Für diesen Fall ist die TBM mit einem speziellen, neu entwickelten Schleusensystem ausgestattet, das normale Drucklufteinstiege bis etwa 4,5 bar ermöglicht. Für den Einsatz bei noch höheren Drücken oder längeren Arbeitsintervallen können Sättigungstaucher per Transfer-Shuttle unter konstantem Druck zur Maschine und wieder zurück gelangen.

Im Sommer 2015 sollen die Arbeiten an Intake No.3 abgeschlossen sein. Der neue Entnahmetunnel führt dann das Seewasser über Intake No.2 einer Trinkwasser-Aufbereitungsanlage zu, von wo aus es an Haushalte und Gewerbebetriebe geleitet wird. 

Lake Mead Wasserentnahmestelle 3 – Projektdaten

Anwendung: Wasserzulauf

Tunnellänge: 4400 m

Geologie: sedimentäres und vulkanisches Gestein: Muddy-Creek-Formation mit gips- und eisenhaltigem Tonstein, Schluffstein, Sandstein- und Kieselkonglomerat, braunem Konglomerat sowie rötlich braune konglomeratische Brekzie, Tertiärkonglomerate (rotem Sandstein) und Calville-Mesa-Basalt

Bauherr: Southern Nevada Water Authority (SNWA)

Kunde: Vegas Tunnel Constructors, ARGE aus Salini Impregilo und S.A. Healy Co.

a compressed-air atmosphere. For this case, the TBM is equipped with a special, newly developed lock system that allows normal compressed air entries to about 4.5 bar. For use at even higher pressures or for longer work intervals, saturation divers can get to the machine and back again by transfer shuttle under constant pressure. Work on Intake No.3 is due for completion in the summer of 2015. The new extraction tunnel will then take the lake water via Intake No.2 to a drinking water treatment plant, from where it will be supplied to households and businesses. 

Lake Mead Intake No.3 – Project Data

Application: Water intake

Tunnel length: 4400 m

Geology: sedimentary and volcanic rock: Muddy Creek Formation with gypsum and iron bearing argillite, siltstone, sandstone and pebble conglomerate, brown conglomerate and reddish brown conglomeratic breccia, tertiary conglomerates (red sandstone) and Calville Mesa Basalt

Client: Southern Nevada Water Authority (SNWA)

Customer: Vegas Tunnel Constructors, JV between Salini Impregilo and S.A. Healy Co.

TPC tunnelsoft

*"...Definitely a powerful
and flexible tool."*



TPC is the **All-in-One Solution** for your tunnelling project. Manage and share all related data with one easy and intuitive software package. TPC saves you time and money in every phase of your project with maximum efficiency.

Stay informed using mobile devices. View readings, messages and reports from wherever you are. TPC anywhere – exactly how you want it.

www.tunnelsoft.com

Sicher. Dauerhaft.



Massgeschneiderte Lösungen für Sicherheitstore im Bahn- und Strassentunnelbau

Die riesigen Spurwechsellstore im Gotthard Basistunnel müssen extremen Belastungen standhalten und höchste Ansprüche an Sicherheit und Dauerhaftigkeit erfüllen. Über 700 Türen und Tore von Elkuch Bator werden nach Betriebsaufnahme des Weltrekordtunnels für die Sicherheit von Menschen und Gütern sorgen.

Zur Sicherheit – Elkuch Bator.



ELKUCH BATOR

ELKUCH BATOR AG | CH-3360 Herzogenbuchsee | T +41 62 956 20 50 | elkuch-bator@elkuch.com | www.elkuch.com

Deutschland, U12 Stuttgart

Verlegung des Stadtbahntunnels Heilbronner Straße

Conny Eck, HeidelbergCement AG, Heidelberg, Deutschland/Germany, www.heidelbergcement.de

Für die Stuttgarter Stadtbahnlinie U 12 wird noch bis Mitte 2016 zwischen Hauptbahnhof und Bibliothek gebaut. Da der neue Fernbahntunnel im Bereich des neuen Tiefbahnhofs für das Projekt Stuttgart 21 fast höhengleich zum ursprünglichen Stadtbahntunnel Heilbronner Straße geplant ist, muss die bestehende Stadtbahntrasse Hauptbahnhof–Stadtbibliothek der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) entsprechend verschoben und tiefer gelegt werden.

„Dazu müssen parallel zum bestehenden Stadtbahntunnel zwei Tunnelröhren bergmännisch vorgetrieben und an den bestehenden Tunnel angeschlossen werden“, erklärt Christian Schilling, Bauleiter bei Züblin. „Dann werden die Stadtbahngleise in diesen neuen Tunnel verlegt und der alte Tunnel mit Porenleichtbeton verfüllt. Die jeweils letzten 60 bis 80 Tunnelmeter zwischen den neuen bergmännisch gebauten Röhren und dem Bestandstunnel werden in offener Bauweise hergestellt. Danach kann der neue Tiefbahnhof über dem Stadtbahntunnel gebaut werden.“

Mehrere Tunnelebenen übereinander

Nach Abschluss der Bauarbeiten werden in dem Areal des Europaviertels mehrere Ebenen SBB-Tunnel übereinander liegen. Ganz unten, rund 20 m unter der Heilbronner Straße, befinden sich die beiden Röhren der neuen Linie U12. Oberhalb davon werden die neuen Gleise der Linien U5, U6, U7 und U15 verlaufen.

Germany, U12 Stuttgart

Diversion of the Stadtbahn Tunnel in the Heilbronner Straße

Construction work on Line U12 of the Stuttgart Stadtbahn between the main station and the city library will continue until the middle of 2016 (the Stadtbahn network is run by the Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) and developed from the city tram system; it runs underground in the city centre and along roads in outer areas). Since the main line tunnel to the new underground main station, which is part of the Stuttgart 21 project, is planned to run at almost the same level as the existing Stadtbahn tunnel under the Heilbronner Straße, the existing line from the main station to the city library will have to be appropriately lowered and diverted.

“For this purpose, two new tunnels have to be driven parallel to the existing underground section of the Stadtbahn line and connected to the existing tunnels,” explains Christian Schilling, site manager for Züblin. Then the tracks can be diverted into the new tunnels and the old tunnels filled with aerated lightweight concrete. The last 60 to 80 m of tunnel at each end between the newly constructed tunnels and the existing tunnel will be constructed in cut-and-cover. Then the new underground main line station can be built above the Stadtbahn tunnel.”

Several Tunnels one above another

After the completion of construction works, Stadtbahn tunnels will run at several levels in the Europaviertel quarter. At the bottom, about 20 m below the Heilbronner Straße, are the two tunnels of



Quelle/credit: HeidelbergCement/Steffen Fuchs

Der Stadtbahntunnel Heilbronner Straße ist eine sogenannte Folgemaßnahme von Stuttgart 21. Das Projekt ist aufgrund seiner innerstädtischen Lage technisch komplex und anspruchsvoll

The Heilbronner Straße Stadtbahn tunnel is a preparatory measure for Stuttgart 21. The project is technically complex and challenging due to its inner-city location

Die insgesamt 1600 m Tunnel für die U12 wurden in konventioneller Bauweise aufgeföhren. Dabei wurde i ein kurzes Stück des Tunnelquerschnitts mit dem Bagger ausgebrochen, abgeräumt und sofort mit Stahlgitterbögen und bewehrtem Spritzbeton gesichert. Die Ausbruchsquerschnitte in den U12-Tunneln variieren zwischen 45 m² im Regelquerschnitt und bis zu 115 m² in den Abzweigungsbauwerken. Die Spritzbetonstärke beträgt rund 25 cm.

Schwieriges Bauprojekt mitten im Stadtverkehr

Das Projekt Stadtbahntunnel Heilbronner Straße ist eine Folgemaßnahme von Stuttgart 21 und von vergleichsweise kleinem Umfang. Aber das Projekt ist aufgrund seiner innerstädtischen Lage technisch sehr komplex. „Die Kollegen, die hier die offenen Baugruben erstellen, mussten sich erst mal durch die vorhandenen Kabelnetze nach unten graben – ein Unterfangen mit vielen Unbekannten“, so Schilling. „Auch die logistische Andienung mitten in der Stadt und die Aufrechterhaltung des Verkehrs ist alles andere als einfach.“ Besonders zeitaufwändig für das Team von Züblin war die Unterföhhrung der aktuellen Stadtbahnstrecken, denn immerhin werden die neuen U12-Tunnel nur 1,5 m unter den bestehenden Röhren durchgeföhrt. Um den Stadtbahnbetrieb nicht zu gefährden, waren daher umfangreiche Sicherungsarbeiten notwendig.

Schirmsicherung und Spritzbeton

Auch die Geologie des Baugrunds hat die Mineure vor schwierige Aufgaben gestellt. „Wir haben es hier mit Gipskeuper in unterschiedlichen Auslaugungsstufen zu tun“, erklärt Christian Schilling. „Diesen streckenweise sehr inhomogenen Boden mit teilweise tückischen Dolinen mussten wir mit Spieß- oder Rohrschirmen stabilisieren.“ Dazu wurden im Bereich der Tunneldecke in dichtem Abstand bis zu 20 m lange Rohre ins Erdreich gebohrt und diese dann mit Zementsuspension verfüllt. An den Spritzbeton wurden aufgrund der Geologie besondere Anforderungen gestellt. Um die geforderte Frühfestigkeitsklasse J3 sicherzustellen und damit möglichst frühzeitige Standsicherheiten zu erreichen, wurde ein Zement CEM I 52.5N (sb) von HeidelbergCement eingesetzt. Im Drei-Schicht-Betrieb wurde rund um die Uhr gearbeitet. Der bergmännische Vortrieb betrug dadurch rund 3 m pro Tag. Die Vortriebsarbeiten wurden im September 2014 mit dem letzten von vier Durchschlägen beendet. Im Oktober 2014 wurde damit begonnen, die Innenschale des Tunnels blockweise zu betonieren. Nach Abschluss dieser Arbeiten folgt der stadtbahntechnische Ausbau, sodass 2016 die SSB-Maßnahmen im Bereich Heilbronner Straße abgeschlossen sein sollen. 

the existing Line U12. Above these will run the new tracks of Lines U5, U6, U7 and U15.

The altogether 1600 m of tunnel for the U12 were driven by conventional methods; a short section was excavated by hydraulic excavator, cleared and then immediately supported with steel lattice arches and reinforced shotcrete. The excavated cross-sections of the U12 tunnels vary from 45 m² for the standard cross-section up to 115 m² in the branch structures. The shotcrete is about 25 cm thick.

Difficult Project in the Middle of City Traffic

The Heilbronner Straße Stadtbahn tunnel project is a preparatory measure for Stuttgart 21 and relatively small in comparison. But the project is technically very complex and challenging due to the inner-city location. „The colleagues constructing the open excavation here first had to dig down through the existing cable networks, a process with many unknown factors“, says Schilling. „The supply logistics in the city centre and the maintenance of traffic are also not exactly simple.“

Particularly time-consuming tasks for the team from Züblin included the passage below the existing Stadtbahn lines, since the new U12 tunnels were only 1.5 m below the existing tunnels. This made extensive support works necessary in order not to endanger Stadtbahn operation in the existing tunnels.

Pre-support Canopy and Shotcrete

The geological conditions also posed problems for the miners. „We encountered gypsum Keuper with various grades of leeching“, explains Christian Schilling. „We had to install spile or pipe canopies to stabilise the ground, which is very inhomogeneous along the alignment and sometimes contains treacherous dolines (sinkholes).“ This was done by drilling 20 m long pipes into the ground at a close spacing in the tunnel roof and then filling them with cement suspension. The shotcrete was also subject to particular requirements due to the geology. In order to ensure the early strength class J3 and thus

achieve the earliest possible stability, cement CEM I 52.5N (sb) from the Schelklingen works of Heidelberg Cement was used. Work continued round the clock in three shifts and an advance rate of about 3 m per day was achieved. Excavation works were completed in September 2014 with the last of four breakthroughs, and the concreting of the inner lining in blocks started in October 2014. The completion of these works is followed by the installation of railway equipment, and the SSB measure in the Heilbronner Straße should be completed in 2016. 

Projekt/Project:

Folgemaßnahme Stadtbahnverlegung Heilbronner Straße mit Anschluss U12, erster Teilabschnitt/Preparatory measure Stadtbahn diversion Heilbronner Straße with connection to the U12, first section

Vorhabenträger/Client:

Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB), DB Netz AG

Bauoberleitung/Project management:

Tiefbauamt der Landeshauptstadt Stuttgart/ Civil engineering office of the state capital Stuttgart

Bauüberwachung/Site Supervision:

Müller + Hereth, Karlsruhe

Bauausführung/Contractor:

Ed. Züblin AG, Direktion IU Tunnelbau

Gesamtbetonmenge/Total concrete quantity:

ca./ approx. 76 000 m³

Spritzbetonzement/Shotcrete cement:

12 000 t Zement/cement CEM I 52.5N (sb), HeidelbergCement, Werk Schelklingen

Bauzeit/Construction period:

2012–2017

Vereinigte Arabische Emirate

Abwassernetz in Abu Dhabi mit Tübbing aus sulfatresistentem Stahlfaserbeton

2015 ist in den Vereinigten Arabischen Emiraten die Inbetriebnahme des modernsten Abwassersystems des mittleren Ostens mit neuen Kanälen und einer neuen zentralen Wasseraufbereitungsanlage geplant. Von 2008 bis 2013 wurden beim Abwasserprojekt STEP (Strategic Tunnel Enhancement Programme) in Abu Dhabi 41 km Haupttunnel mit bis zu 5,5 m Innendurchmesser mit EPB-Schilden aufgeföhren. Rund 50 km Link-Tunnel mit bis zu 3 m Durchmesser werden das vorhandene Abwassernetz mit dem neuen Hauptsammler (Deep Gravity Sewer Tunnel) verbinden.



Fertigung der Tübbinge aus sulfatresistentem Stahlfaserbeton für das STEP-Abwasserprojekt in Abu Dhabi

Producing segments of sulphate-resisting steel fibre concrete for the STEP sewerage project in Abu Dhabi

Betontechnologie und Herstellung der Tübbinge

Die aggressiven Bedingungen des Untergrunds stellen hohe Anforderungen: 10–12 % Chloridgehalte, also bis fünfmal so hohe Werte wie im dortigen Meerwasser, und 5000 mg/l Sulfate im Erdreich. Extreme Salz- und Sulfatkonzentrationen zersetzen Betonteile und andere Baustoffe innerhalb weniger Jahre. Dennoch müssen die Tübbinge eine geforderte Lebensdauer von 80 Jahren erreichen. Da herkömmliche Bewehrung und Betonzusammensetzung solchen Angriffen nicht gewachsen sind, wurden umfangreiche Versuche durchgeführt. Das Ergebnis war ein besonders sulfatresistenter Stahlfaserbeton der Festigkeitsklasse C50/60 und mit einer Bindemittelkombination von 50 % Portlandzement, 20 % Flugasche und

United Arab Emirates

Sewer Network in Abu Dhabi with Segments of Sulphate-resisting Steel Fibre Concrete

In the United Arab Emirates, the most modern sewerage system in the Middle East, with new sewers and a new central water treatment plant, is planned to go into operation in 2015. Between 2008 and 2013, 41 km of main tunnels with diameters of up to 5.5 m were driven by EPB machines on the STEP (Strategic Tunnel Enhancement Programme) sewerage project in the capital Abu Dhabi. About 50 km of link tunnels with diameters of up to 3 m will connect the existing drain network to the

new main collector, the Deep Gravity Sewer Tunnel, which runs from the city centre of Abu Dhabi to a new treatment plant in Al-Wathba.

Concrete Technology and Segment Production

The aggressive ground conditions in Abu Dhabi pose a great challenge for structures: 10–12 % chloride content, or five times that of the local seawater, and 5000 mg/l of sulphate in the ground. Extreme concentrations of salt and sulphates can decompose concrete and other construction materials within a few years, so the segments have to fulfil unusual requirements in order to achieve the planned lifetime of 80 years. Since conventional reinforcement and the usual concrete mixes cannot cope with such aggressive conditions, extensive testing was carried out. The result was a steel fibre concrete of strength class C50/60 with particularly high sulphate resistance, using a binder combination of 50 % Portland cement,



The tunnelling portal

- **online ventilation calculation according to SIA standard 196**
- *business directory*
- *machinery exchange*
- *job exchange*

- **Online Lüftungsberechnung nach SIA Norm 196**
- *Firmenverzeichnis*
- *Maschinenbörse*
- *Jobbörse*

Das Tunnelbau Portal

www.Tunnel-Ventilation.net

Die individuelle Lösung

50 PASCHAL

Sonderschalung
www.paschal.de/sonder

Jahre für den Betonbau

30 % Hüttensand. Als Bewehrung wurden Stahlfasern der Klasse F1 4/0.6 mit 47 mm Länge und 0,8 mm Durchmesser gewählt und für die übrige Bewehrung 65 mm Betondeckung [1].

Für die Auskleidung des 41 km langen Hauptwasserkanals wurden über 100 000 Tübbinge aus dauerhaftem Stahlfaserbeton benötigt; dafür lieferte Herrenknecht Formwork in Abu Dhabi 162 Tübbingschalungen zur Verarbeitung von bis zu 700 m³ Beton pro Tag. In Spitzenzeiten stellte das Fertigteilwerk zur zeitgleichen Versorgung von drei Tunnelbaustellen bis zu 420 Präzisionstübbinge pro Tag her, bei extremen Außentemperaturen von bis zu 50 °C. Bis zu vier Mal täglich wurde die Formstabilität der Schalungen überprüft. Besondere Aufmerksamkeit widmete man der Nachbehandlung der Tübbinge nach dem Ausschalen, um einen übermäßigen, zu frühen Feuchtigkeitsentzug zu vermeiden. Die Abwasserkanäle wurden auf der Innenseite zusätzlich mit einer HDPF-Membran versehen, um mikrobiologische Betonkorrosion aus Schwefelsäure und anderen aggressiven Einwirkungen zu vermeiden. ☀

Gunther Brux

20 % fly ash and 30 % ground granulated blast-furnace slag. The selected reinforcement was steel fibres of class F1 4/0.6, with a length of 47 mm and diameter of 0.8 mm, and 65 mm concrete cover for other reinforcement [1].

More than 100 000 segments of durable steel fibre concrete were needed for the lining of the 41 km long main sewer tunnel. For this purpose, Herrenknecht Formwork in Abu Dhabi delivered 162 segment forms for the processing of up to 700 m³ of concrete daily. At peak times, the precast works was producing up to 420 precision segments a day for the simultaneous supply of three tunnel sites under extreme outdoor temperatures of up to 50 °C. The form stability of the segment formwork was checked up to four times a day. Particular attention was paid to the curing of the segments after striking in order to avoid excessive or early drying. The sewer tunnels were also provided with a HDPF membrane on the inside to avoid as far as possible microbiological concrete attack from sulphuric acid and other aggressive actions. ☀

Gunther Brux

Literatur/References

- [1] Edvardsen, K.: Der Abu Dhabi STEP Tunnel – Beton dauerhaft und nachhaltig in der Wüste. 20. Holcim Betontag, Zürich
- [2] Chemischer Angriff und Betonbauwerke – Bewertung des Angriffgrads und geeignete Schutzprinzipien. Merkblatt des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV), 2014
- [3] Chemischer Angriff – Planung und Ausführung von Betonbauwerken. DBV-Heft 33, 2014

ELA Container GmbH, Zeppelinstraße 19–21, 49733 Haren (Ems), Deutschland
Tel +49 5932/506 -0 Fax +49 5932/506 -10 info@container.de www.container.de



ela[container]

International Fire Academy

Umfassendes Fachbuch über Brandeinsätze in Straßentunneln

Die International Fire Academy in Balsthal, Schweiz, hat als europaweit etablierte Feuerwehrscheule und Akademie zur Tunnelbrandbekämpfung ihre Lehre als umfassendes deutschsprachiges Fachbuch unter dem Titel „Brandeinsätze in Strassentunneln. Taktik – Technik – Hintergrund“ veröffentlicht.

Das handliche Fachbuch ist als Grundlagenwerk konzipiert und soll den weiteren Austausch über die Lehre sowie die Ausbildung unterstützen. Zur Zielgruppe gehören daher neben Einsatzdiensten und Fortbildungseinrichtungen auch Konstrukteure, Manager und insbesondere Sicherheitsbeauftragte von Tunneln.

Pro Jahr werden an der International Fire Academy mehr als 2000 Feuerwehrangehörige auf Basis der im Fachbuch beschriebenen Lehre in der Tunnelbrandbekämpfung ausgebildet. Mit ihrer ersten Veröffentlichung entspricht die Feuerwehr-Akademie dem Wunsch der Feuerwehren und Kursteilnehmenden nach einer schriftlichen Fassung der von ihr entwickelten Grundsätze für das Vorgehen bei Tunnelbränden. Die Lehre wird dabei um einsatzrelevantes Hintergrundwissen ergänzt. Entsprechend startet der Band „Brandeinsätze in Strassentunneln“ mit Kapiteln zur Baukun-

International Fire Academy

Comprehensive Manual on combatting Fires in Road Tunnels

The International Fire Academy at Balsthal, Switzerland, as a renowned European fire brigade school and academy, has published its teaching material in the form of a German-language manual captioned “Fire Assignments in Road Tunnels. Tactics – Techniques – Background”. An English edition is being prepared and is due to be brought out during the second half of 2015.

The manual is devised as a knowledge base and is intended to support the consolidation of teaching material and instruction. In addition to emergency services and further education centres, the target group includes designers, managers and especially safety officers involved with tunnels.

More than 2000 members of fire services are trained to combat fires at the International Fire Academy every year on the basis of the subject matter contained in the manual. Through this publication the Fire Academy is complying with the wish of fire brigades and course participants to have a written version available of the principles it has developed relating how to proceed in the event of tunnel fires. Towards this end the material is rounded off with background knowledge pertaining to assignments. Consequently the manual



Quelle/credit: International Fire Academy

Ein Schwerpunkt des Fachbuches ist die Einsatztaktik bei Brandeinsätzen in Straßentunneln

Deployment tactics in road tunnels represents a focal point of the manual

Jetzt anmelden

SWISS TUNNEL CONGRESS 2015

Fachtagung für Untertagbau

Der Swiss Tunnel Congress ist die führende Veranstaltung in der Schweiz für den internationalen Tunnelbau, mit tiefgehenden und umfangreichen Informationen aus 1. Hand: Experten berichten beim nunmehr 14. internationalen Kongress kritisch, offen und praxisnah über komplexe Problemstellungen, Erfahrungen und Lösungsstrategien bei aktuellen Tunnelbauprojekten.

10. bis 12. Juni 2015 in Luzern

Colloquium, 10. Juni

Nutzungsdauer in Bezug auf
Gebrauchstauglichkeit und
Dauerhaftigkeit

Fachtagung, 11. Juni

Referate zu schweizerischen
und internationalen Tunnel-
bauprojekten
Prof. Sarah Springmann, Rek-
torin der ETH Zürich, hält das
Einführungsreferat

Exkursionen, 12. Juni

Baustellen: Galgenbuck-Tunnel,
Ceneri Basistunnel, Umfahrung
Visp und Giessbachtunnel

Informationen zum Tagungs-
programm und Anmeldung:

www.swisstunnel.ch



Quelle/credit Tunnel Sigrino: AlpTransit Gotthard AG, Luzern (Photograph Nicola Demaldi)



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society

de und Gefahrenlehre und leitet dann über zu Einsatztaktik, Einsatztechnik und Einsatzvorbereitung. Dabei werden alle relevanten Unterschiede zu Brandeinsätzen in Gebäuden herausgearbeitet. Wichtige Definitionen, Warn- und Merksätze sind in einer Randspalte hervorgehoben. Alle Themen werden mit Fotografien und Grafiken ausführlich illustriert.

Ergebnisse aus Forschung, Ausbildung und Praxis

Verantwortlich für die Inhalte des Buches zeichnen zwölf Au-

toren, die als Mitglieder des Didaktik- und Entwicklungsteams an der Fire Academy für die Inhalte der Lehre zuständig sind. Dem Autoren-Team gehören Experten für den Bau und den Betrieb von Tunnelanlagen ebenso an wie einsatzerfahrene Feuerwehr-Führungskräfte, Vertreter der Schweizer Feuerwehr-Instanzen und Instrukturen der Akademie.

Dieses Gremium hat die in den vergangenen 13 Jahren mit Feuerwehren aus Europa zusammen entwickelten Grundsätze zur Tunnelbrandbekämpfung für das Buch nochmals intensiv diskutiert. Dies entspricht den Grundsätzen der Schweizer Feuerwehr-Akademie, stets in einem gemeinsamen Prozess Wissen und Erfahrungen aus der Forschung, eigenen Versuchen und Einsätzen zusammenzuführen und daraus Empfehlungen abzuleiten. Auch die Rückmeldungen aus fünf Jahren Ausbildung an der Akademie und der Umsetzung der Lehre in Training und Praxis sind in das Buch eingeflossen.

Breite Anerkennung der Lehre

Die in dem Fachbuch „Brandeinsätze in Strassentunneln“ dokumentierte Tunnel-Einsatzlehre ist in der Schweiz verbindliche Ausbildungsgrundlage und wurde 2014 von Baden-Württemberg im Kern übernommen. Auch viele Feuerwehren aus anderen deutschen Bundesländern, aus Österreich und den benachbarten Ländern bauen ihre Einsatztaktik auf die nun dokumentierten Grundsätze auf. Die Lehre wird im deutschsprachigen Raum sowie europaweit von Feuerwehren für ihre Tunnel-Einsatzvorbereitung genutzt. ☉



Jedes Jahr werden an der International Fire Academy mehr als 2000 Feuerwehrangehörige auf Basis der im Fachbuch beschriebenen Lehre in der Tunnelbrandbekämpfung ausgebildet

Each year more than 2000 members of fire services are trained to combat fires in tunnels on the basis of the subject matter contained in the manual

on "Combating Fires in Road Tunnels" starts with chapters devoted to architecture and risk assessment prior to moving on to deployment tactics, deployment techniques and deployment preparation. Towards this end all relevant differences relating to fire assignments in buildings are examined. Essential definitions, precautions and pointers are included as side bars. All topics are lucidly illustrated with photos and diagrams.

Results from Research, Training and Practice

Twelve authors are responsible

for the contents of the manual. They are members of the Fire Academy's didactics and development team. This team of authors is made up of experts for constructing and operating tunnel facilities as well as experienced fire service managers, representatives of Swiss fire service organizations and instructors at the academy.

This expert body has once again intensively discussed principles on fighting tunnel fires developed together with fire brigades throughout Europe during the last 13 years for the manual. This corresponds with the principles of the Swiss Fire Academy by bringing together knowledge and findings from research, in-house tests and assignments and drafting them in the form of recommendations. The manual also reflects feedback from five years' training at the academy and translating teaching material into training and practice.

The Teaching Material is widely appreciated

The teaching material on tunnel deployment contained in the "Combating Fire in Road Tunnels" manual represents binding principles for training in Switzerland and was essentially adopted by the German Land of Baden-Württemberg in 2014. Many fire services from other German federal Länder, from Austria and neighbouring countries base their deployment tactics on these now documented principles. All in all, the subject matter is used by fire brigades in German-speaking countries as well as elsewhere in Europe for preparing for tunnel assignments. ☉

www.tunnelbrand.info



Brandeinsätze in Strassentunneln Taktik – Technik – Hintergrund

International Fire Academy (Hg.)

144 Seiten in Farbe mit 122 Abbildungen,

Broschur im Beintaschen-Format (12,2 x 16 cm) mit Schutzhülle,
Einzelpreis: 19,90 € (CHF 24,90)

ISBN 978-3-942385-02-2

Über CREG TBM Germany GmbH

CREG Deutschland ist neben weiterer internationaler Stützpunkte die deutsche Tochtergesellschaft der CREG China Railway Engineering Equipment Group (CREG). CREG ist eine professionelle Tochtergesellschaft der börsennotierten China Railway Group (CREC), ein Fortune-500- Markenunternehmen und ein zentrales Staatsunternehmen unter der chinesischen Zentralregierung. Sie gilt als der führende Anbieter für Tunnelbohrmaschinen (TBM) aller Art und Baustellen-Service unter Chinas TBM-Herstellern in Bezug auf die Produktionskapazitäten, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Eignung und Fähigkeiten zur Anpassung an die Geologie, Design, Forschung und Entwicklung, Innovation und Industrie-Patente, After-Sales und technischen Support-Service.

Für unseren Standort in Erkelenz suchen wir:

Zwei technische Ingenieure in den Schwerpunkten

- Slurry TBM
- Hartgestein-TBM (Gripper, Telescope TBM)

Ihr Aufgabenbereich:

- Selbständige projektbezogene Konzeptentwicklung
- Concept design, techn. Kalkulieren und Leiten der Designphase
- Detail design von Sonderlösungen
- Erstellen von Pflichtenheften interne Aufgabenverteilung und deren Überwachung
- Koordination mit unserm Detaildesignteam in China
- Techn. Begleitung der Kundenvertreter während der Projektphase
- Internationale Reisetätigkeit

Ihr Profil:

- Sie haben ein abgeschlossenes Studium oder eine vergleichbare Ausbildung mit mehrjähriger Erfahrung im Maschinen-/Anlagenbau
- Mindestens 10-jährige Erfahrung im TBM-Bereich
- Sie besitzen hohe Kenntnisse im Umfeld des TBM Bereiches und kennen sich mit den Prozessen im Tunnelbau aus
- Sie verfügen über Führungskompetenz und bringen ein hohes Maß an Eigenmotivation mit
- Sie sind bereit, Verantwortung zu übernehmen und arbeiten ergebnisorientiert und effektiv
- Kreative und innovative Lösungen sind für Sie selbstverständlich
- Sie arbeiten selbständig, eigenverantwortlich und systematisch-zielorientiert, sind kostenorientiert und sicher im Umgang mit Zulieferanten und Partnern
- Sie sind team- und kommunikationsfähig
- Sie beherrschen die englische Sprache in Wort und Schrift verhandlungssicher und sind mit aktueller Software vertraut

Wir bieten:

- Einen herausfordernden und verantwortungsvollen Arbeitsplatz mit viel Gestaltungsspielraum
- Professionelle Einarbeitung und kompetente Unterstützung
- Eine innovative, umfassende und anspruchsvolle Produktpalette
- Eine angenehme Arbeitsatmosphäre und motivierte Kollegen

Für unseren Standort in Erkelenz suchen wir:

Einen Vertriebsmanager im Bereich TBM für das Gebiet

- Europa, Nord-, Mittel- und Südamerika

Ihr Aufgabenbereich:

- Sie sind zuständig für die Pflege und Ausbau von Kontakten zu Entscheidungsträgern auf Kundenseite
- Sie sind verantwortlich für die Beratung und die Durchführung aller vertriebsrelevanten Maßnahmen beim Kunden von der Projektgenehmigung über das Führen von Vertragsverhandlungen bis zur Begleitung der Abschlüsse
- Teilnahme an nationalen sowie internationalen Veranstaltungen, Kongressen und Messen
- Erstellung von Markt- und Wettbewerbsanalysen
- Entwicklung von Vertriebsstrategien, Erstellung von Forecasts
- Internationale Reisetätigkeit

Ihr Profil:

- Sie haben ein abgeschlossenes Studium oder eine vergleichbare Ausbildung, sowie langjährige Erfahrung im Tunnelbau und im Vertrieb des TBM- und Tunnelbau-Bereiches
- Sie verstehen die Entscheidungsabläufe auf Kundenseite und verfügen über ein sicheres Auftreten und Verhandlungsgeschick.
- Sie verfügen über Führungskompetenz und bringen ein hohes Maß an Eigenmotivation mit
- Außerdem sind Sie bereit, Verantwortung zu übernehmen und arbeiten ergebnisorientiert und effektiv
- Sie beherrschen die englische Sprache in Wort und Schrift verhandlungssicher
- Spanische Sprachkenntnisse sind von Vorteil
- Sie sind mit aktueller Software vertraut

Wir bieten:

- Einen herausfordernden und verantwortungsvollen Arbeitsplatz mit viel Gestaltungsspielraum
- Professionelle Einarbeitung und kompetente Unterstützung
- Eine innovative, umfassende und anspruchsvolle Produktpalette
- Eine angenehme Arbeitsatmosphäre und motivierte Kollegen

Weitere Details zur Position sowie zu den attraktiven Vertragsbedingungen erläutern wir gerne in einem persönlichen Gespräch. Bitte richten Sie Ihre aussagekräftige Bewerbung unter Angabe Ihres frühestmöglichen Eintrittstermins sowie Ihrer Gehaltsvorstellung per E-Mail an:

CREG TBM Germany GmbH

Z. Hd. Frau Denise Rafael, Jülicher Straße 10 – 12, 41812 Erkelenz,
E-Mail: Denise.Rafael@creg-germany.com, Tel.: 02431 – 9011 533



Außerdem suchen wir einen **Senior Design Engineer im Bereich Drilling Jumbo Tunneling machine** und **Shaft boring machine**, einen **Project Manager**, einen **Hydraulic Engineer** und einen **Electric Engineer**.

Interessiert? Dann senden Sie bitte Ihre aussagekräftigen Unterlagen an oben stehende E-Mail Adresse.

Frankreich

152 Kameras überwachen den Verkehr in Marseilles Prado-Tunneln



Benutzerschnittstelle des Flux Managementsystems
User interface of the Flux management system

Durch den 2,5 km langen Prado Carénage Tunnel lässt sich die Stadt Marseille schnell durchqueren, ohne die Autobahn zu verlassen. Der Tunnel verbindet die südlichen Bezirke der Stadt und die östliche Autobahn mit dem Stadtzentrum sowie den Vierteln im Norden über den Vieux Port Tunnel und die Küstenautobahn. Der 1500 m lange doppelstöckige Prado Sud Tunnel wurde Mitte November 2013, sieben Monate vor der ursprünglich geplanten Fertigstellung, in Betrieb genommen; mit jeweils zwei Fahrspuren verlängert er den Prado Carénage Tunnel in Richtung des südlichen Stadtteils.

Automatische Ereigniserkennung und Verkehrsdatenmanagement

Der Tunnel wurde ausgerüstet mit einem Erkennungs- und Überwachungssystem von Flir Intelligent Transportation Systems, einschließlich automatischer Ereigniserkennung (Automatic Incident Detection, AID), Überwachungskameras, mobilen Kameras, Aufzeichnungsmöglichkeiten und Visualisierung.

57 Kameras im Prado Sud Tunnel und 95 Kameras im Prado Carénage Tunnel überwachen den Verkehr auf alle Arten von Ereignissen, darunter anhaltende Fahrzeuge, Falschfahrer, Fußgänger und Rauch. All diese Informationen, die von einer Kombination aus Kameras und Encodern bereitgestellt werden, sammelt und verarbeitet eine Management-Software für Videoerkennung. Die Flux 2.1 Software speichert Verkehrsdaten, Ereignisse, Alarmer sowie Aufzeichnungen der Videodetektoren. Die Hauptziele sind das Management und die Kontrolle aller Verkehrsinformationen der unterschiedlichen Detektoren, um sie in nutzerrelevante Informationen umzuwandeln. Ereignisse und Alarmer lassen sich in Echtzeit überwachen. Die Software verarbeitet Datenquellen von jedem größeren Kamerahersteller und stellt Joystick-Funktionen für die Fernsteuerung mobiler Kameras bereit.

www.flir.com

France

152 Cameras are monitoring Traffic in the Prado Tunnels of Marseille



Erkennung eines verlorenen Gegenstands
Fallen object detection

The 2.5 km long Prado Carénage Tunnel allows traffic to quickly cross the city of Marseille without leaving the motorway. The Tunnel Prado Carénage connects the Southern districts of Marseille and the Eastern motorway to the city centre and to North via the Vieux Port tunnel and the coastal motorway. The 1500 m double-deck Prado Sud tunnel, each with two lanes, extends the existing Prado Carénage tunnel towards the southern part of the city. It was opened for traffic in November 2013, seven month ahead of schedule.

Automatic Incident Detection and Traffic Data Management

For these Marseille tunnels, Flir Intelligent Transportation Systems offers a complete detection and monitoring solution, including automatic incident detection (AID), surveillance cameras, mobile cameras, recording capabilities and visualization. 57 cameras in the Prado Sud tunnel and 95 cameras in the Prado Carénage tunnel are monitoring traffic for all types of incidents. All this information, provided by a combination of cameras and encoders, is collected and managed by a video detection management system. Flux 2.1 collects traffic data, events, alarms and video images generated by the video detectors. The main goal is to manage and control all traffic information generated by these detectors. Flux enables real-time monitoring of events and alarms and can manage sources from any major camera manufacturer and offers joystick functionality for remote control operation of mobile cameras.

Quelle/Credit (2): Flir

Mago-Tunnelbau- Dämmplatten Lastverteilungsplatten für den Tunnelbau



In folgenden Objekten erfolgreich eingesetzt:

Katzenberg-Tunnel, Efringen-Kirchen,
City-Tunnel, Leipzig
Finne-Tunnel, Weimar
Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Cochem
U-Bahn-Linie 4, Hamburg
Brenner-Zulaufstrecke Nord
Sluiskil-Tunnel, Terneuzen (NL)
Stadtbahn-Tunnel, Karlsruhe
Boßlertunnel, Wendlingen-Ulm

Fordern Sie Prüfzertifikate und Zeugnisse an:
www.holz michael.de/info@holz michael.de
Telefon: (+49) 0441/88591-98 Fax: -99

Münsteraner Tunnelbau-Kolloquium

Fachhochschulzentrum (FHZ),
Münster, Deutschland
07.05.2015
Leitung:
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner
FH Münster, Fachbereich
Bauingenieurwesen
www.fh-muenster.de/tunnel

Ground Improvement in Underground Construction and Mining

Annual Short Course
Colorado School of Mines,
Golden, Colorado, USA
18.–20.05.2015
[www.csmospace.com/events/
grndimprovsupt/](http://www.csmospace.com/events/grndimprovsupt/)

World Tunnel Congress 2015

*41st General Assembly and
Congress of the International
Tunnelling Association ITA-
AITES*
Lacroma Valamar Congress-
Center, Dubrovnik, Croatia
22.–28.05.2015
Kontakt/Contact:
ITA Croatia
Tel.: +385-99-6050-447
Fax: +385-1-6130-062
info@itacroatia.eu
www.wtc15.com

RETC

*Rapid Excavation and
Tunneling Conference*
Sheraton, New Orleans,
Louisiana, USA
07.–10.06.2015
www.retc.org

Swiss Tunnel Congress 2015

Kultur- und Kongresszentrum
(KKL), Luzern, Switzerland
10.–12.06.2015
Kolloquium, Kongress &
Exkursionen
Kontakt/Contact:
Thomi Bräm, PR-Beratung +
Verlag
Tel.: +41 56/200 23 33
Fax: +41 56/200 23 34
fgu@thomibraem.ch
www.swisstunnel.ch

2nd Tunnel Expo Turkey

Istanbul Expo Center, Yeşilköy,
Turkey
27.–29.08.2015
Tel.: +90 212 288 02-06
Fax: +90 212 288 02-10
info@demosfuar.com.tr
www.demosfuar.com.tr

11. Hans Lorenz Symposium für Baugrunddynamik & Spezialtiefbau

Technische Universität Berlin
(Campus Humboldtthain),
Deutschland
24.09.2015
Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing.
S.A. Savidis, Fachgebiet
Grundbau und
Bodenmechanik – Degebo
Kontakt: Fabian Remspecher,
M. Eng.
Tel.: +49 30 314-72345/-72341
[www.grundbau.tu-berlin.de/
symposium](http://www.grundbau.tu-berlin.de/symposium)

Eurock 2015 und 64. Geomechanik Kolloquium

Kongresshaus, Salzburg,
Austria
07.–10.10.2015
Kontakt/Contact:
Österreichische Gesellschaft
für Geomechanik
Tel.: +43 662/87 55 19
Fax: +43 662/88 67 48
info@Eurock2015.com
www.Eurock2015.com

Tunnels and Underground Construction 2015

Holiday Inn Hotel, Žilina,
Slovak Republic
11.–13.11.2015
Slovak Tunnelling Association
tps2015@guarant.sk
www.tps2015.sk

STUVA-Tagung 2015/ STUVA Conference 2015

Westfalenhallen Dortmund,
Germany
01.–03.12.2015
Kontakt/Contact:
Tel.: +49 221/59795-0
info@stuva.de
www.stuva-conference.com

2. Fachmesse bui

Brünig Untertag Innovation
Brünig Park Lungern, Schweiz
04.–05.02.2016
Tel.: +41 41/679 77-99
Fax: +41 41/679 77-75
bui@bruenigpark.ch
www.bui-expo.ch

Wir nehmen Abschied
von unserer ehemaligen Führungskraft



Stefan Simon

Er ist im Alter von 45 Jahren
am 6. Februar 2015 viel zu früh verstorben.

Seit vielen Jahren war Stefan Simon
mit großem Engagement und voller Begeisterung
für unser Unternehmen tätig, zuletzt als Leiter
der Planung im Regionalbereich Mitte.
Wir werden ihn sehr vermissen und uns gerne an seine
Tatkraft und sein sympathisches Wesen erinnern.
Wir wünschen seiner Frau und seiner Familie viel Kraft,
diesen großen Verlust zu tragen.

In tiefer Trauer und großer Dankbarkeit für alles,
was er für uns getan hat.

**Geschäftsführung, Kollegen, Betriebsrat
und Mitarbeiter der
DB ProjektBau GmbH Berlin**

Inserentenverzeichnis / Advertising list

Advertisers	Internet	Page
A.S.T. Bochum GmbH, Bochum/D	www.astbochum.de	36
Babendererde Engineers GmbH, Bad Schwartau/D	www.babeng.com	61
BASF SE, Ludwigshafen/D	www.basf.com	U3
Bergmann Maschinenbau GmbH & Co. KG, Meppen/D	www.bergmann-dumper.de	59
Brugg Contec AG, Romanshorn/CH	www.bruggcontec.com	25
CREG TBM Germany GmbH, Erkelenz/D	www.creg-germany.com	69 + U4
DAST Media Kieliger, Horw/CH	www.tunnel-ventilation.net	64
EAB Elektroanlagenbau, Reinhausen/D	www.eabreinhausen.de	07
ELA GmbH, Haren/D	www.ela-container.de	65
Elkuch Bator AG, Herzogenbuchsee/CH	www.elkuch-bator.com	61
Farmacell GmbH, Duisburg/D	www.farmacell.de	17
FGU – Fachgruppe für Untertagebau, Esslingen/CH	www.swisstunnel.ch	67
Flexco Europe GmbH, Rosenfeld/D	www.flexco.com	55

Advertisers	Internet	Page
Gipo AG, Seedorf/CH	www.gipo.ch	35
Häny AG, Jona/CH	www.haeny.com	03
HBI Haerter AG, Zürich/CH	www.hbi.ch	55
Herrenknecht AG, Schwanau/D	www.herrenknecht.de	U2
Hodapp GmbH & Co. KG, Achern/D	www.hodapp.co.uk	31
Hölscher Wasserbau GmbH, Haren/D	www.hoelscher-wasserbau.de	57
Maschinen- und Stahlbau Dresden AG, Dresden/D	www.msd-dresden.de	10
Normet International Ltd., Hünenberg/CH	www.normet.com	06
Paschal-Werk G. Maier GmbH, Steinach/D	www.paschal.de	64
Peri GmbH, Weißenhorn/D	www.peri.com	33
Rascor International AG, Steinmaur/CH	www.rascor.com	05
Sika Schweiz AG, Aliva Equipment, Widen/CH	www.aliva-equipment.com	11
TechnoBochum, Bochum/D	www.techno-bochum.de	57
The Robbins Company, Kent/USA	www.TheRobbinsCompany.com	09 + 37

bau|||verlag

We give ideas room to develop

www.bauverlag.de

tunnel 34. Jahrgang / 34th Year
www.tunnel-online.info

Internationale Fachzeitschrift für unterirdisches Bauen
International Journal for Subsurface Construction
ISSN 0722-6241
Offizielles Organ der STUVA, Köln
Official Journal of the STUVA, Cologne

Bauverlag BV GmbH
Avenwedder Straße 55
Postfach/P.O. Box 120, 33311 Gütersloh
Deutschland/Germany

Chefredakteur / Editor in Chief:
Eugen Schmitz
E-Mail: eugen.schmitz@bauverlag.de

Verantwortlicher Redakteur / Responsible Editor:
Marvin Klostermeier
Phone: +49 5241 80-88730
E-Mail: marvin.klostermeier@bauverlag.de

Redaktionsbüro / Editors Office:
Ursula Landwehr
Phone: +49 5241 80-1943
E-Mail: ursula.landwehr@bauverlag.de
Gaby Porten
Phone: +49 5241 80-2162
E-Mail: gaby.porten@bauverlag.de

Layout:
Nicole Bischof
E-Mail: nicole.bischof@bauverlag.de

Anzeigenleiter / Advertisement Manager:
Erdal Top
Phone: +49 5241 80-2179
E-Mail: erdal.top@bauverlag.de
(verantwortlich für den Anzeigenteil/
responsible for advertisement)
Rita Srowig
Phone: +49 5241 80-2401
E-Mail: rita.srowig@bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-62401
Maria Schröder
Phone: +49 5241 80-2386
E-Mail: maria.schroeder@bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-62386

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 32
vom 1.10.2013
Advertisement Price List No. 32
dated 1.10.2013 is currently valid

Auslandsvertretungen / Representatives:

Frankreich/France:
16, rue Saint Ambroise, F-75011 Paris
International Media Press & Marketing,
Marc Jouanny
Phone: +33 (1) 43553397,
Fax: +33 (1) 43556183,
Mobil: +33 (6) 0897 5057,
E-Mail: marc-jouanny@wanadoo.fr

Italien/Italy:
Vittorio Camillo Garofalo
ComediA di Garofalo, Piazza Matteotti, 17/5,
I-16043 Chiavari

Phone: +39-0185-590143,
Mobil: +39-335 346932,
E-Mail: vittorio@comediast.it
USA/Canada:
Detlef Fox, D. A. Fox Advertising Sales, Inc.
5 Penn Plaza, 19th Floor, New York, NY 10001
Phone: 001-212-896-3881,
Fax: 001-212-629-3988,
E-Mail: detleffox@comcast.net

Geschäftsführer / Managing Director:
Karl-Heinz Müller
Phone: +49 5241 80-2476

Verlagsleiter / Publishing Director:
Markus Gorisch
Phone: +49 5241 80-2513

Abonnentenbetreuung & Leserservice / Subscription Department:
Abonnements können direkt beim Verlag oder
bei jeder Buchhandlung bestellt werden.
Subscriptions can be ordered directly from the
publisher or at any bookshop.

Bauverlag BV GmbH
Postfach/P.O. Box 120, 33311 Gütersloh
Deutschland/Germany
Phone: +49 5241 80-90884
E-Mail: leserservice@Bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-690880

Marketing & Vertrieb / Subscription and Marketing Manager:
Michael Osterkamp
Phone: +49 5241 80-2167
Fax: +49 5241 80-62167

Bezugspreise und -zeit / Subscription rates and period:

Tunnel erscheint mit 8 Ausgaben pro Jahr/
Tunnel is published with 8 issues per year.
Jahresabonnement (inklusive Versandkosten)/
Annual subscription (including postage):

Inland / Germany € 161,00
Studenten / Students € 97,00
Ausland / Other Countries € 171,00
Einzelheft / Single Issue € 26,00
(inklusive Versandkosten / including postage)
eMagazine € 98,50

Mitgliedspreis STUVA / Price for STUVA members

Inland / Germany € 121,00
Ausland / Other Countries € 129,00

Kombinations-Abonnement Tunnel und this jährlich inkl. Versandkosten:

€ 212,20 (Ausland: € 218,80)

Combined subscription for Tunnel + this including postage:

€ 212,20 (outside Germany: € 218,80).
(die Lieferung per Luftpost erfolgt mit Zuschlag/with surcharge for delivery by air mail)
Ein Abonnement gilt für ein Jahr und verlängert sich danach jeweils um ein weiteres Jahr, wenn es nicht schriftlich mit einer Frist von drei Monaten zum Ende des Bezugszeitraums gekündigt wird. The subscription is initially valid for one year and will renew itself automatically if it is not cancelled in writing not later than three months before the end of the subscription period.

Veröffentlichungen:

Zum Abdruck angenommene Beiträge und Abbildungen gehen im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen in das alleinige Veröffentlichungs- und Verarbeitungsrecht des Verlages über. Überarbeitungen und Kürzungen liegen im Ermessen des Verlages. Für unaufgefordert eingereichte Beiträge übernehmen Verlag und Redaktion keine Gewähr. Die Rubrik „STUVA-Nachrichten“ liegt in der Verantwortung der STUVA. Die inhaltliche Verantwortung mit Namen gekennzeichnete Beiträge übernimmt der Verfasser. Honorare für Veröffentlichungen werden nur an den Inhaber der Rechte gezahlt. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung oder Vervielfältigung ohne Zustimmung des Verlages strafbar. Das gilt auch für das Erfassen und Übertragen in Form von Daten. Die allgemeinen Geschäftsbedingungen des Bauverlages finden Sie vollständig unter www.bauverlag.de

Publications:

Under the provisions of the law the publishers acquire the sole publication and processing rights to articles and illustrations accepted for printing. Revisions and abridgements are at the discretion of the publishers. The publishers and the editors accept no responsibility for unsolicited manuscripts. The column "STUVA-News" lies in the responsibility of the STUVA. The author assumes the responsibility for the content of articles identified with the author's name. Honoraria for publications shall only be paid to the holder of the rights. The journal and all articles and illustrations contained in it are subject to copyright. With the exception of the cases permitted by law, exploitation or duplication without the content of the publishers is liable to punishment. This also applies for recording and transmission in the form of data. The general terms and conditions of the Bauverlag are to be found in full at www.bauverlag.de

Druck/Printers:

Merkur Druck, D-32758 Detmold

Kontrolle der Auflagenhöhe erfolgt durch die Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern (IVW) Printed in Germany
H7758



SAFE, EFFICIENT, RELIABLE, DURABLE, PERFORMING
SUSTAINABLE, ECONOMICAL, GROUND SUPPORTING
GROUND CONSOLIDATING, WATERPROOFING, DESIGN
OPTIMIZING, FLEXIBLE, STRONG, WORKABLE, LOW
REBOUND, WATER STOPPING, GROUND SUPPORTING
SAFE, PERFORMING, EFFICIENT, STRONG, WORKABLE
RELIABLE, FLEXIBLE, DESIGN OPTIMIZING, LOW REBOUND
ECONOMICAL, GROUND CONSOLIDATING, WATERPROOFING
SUSTAINABLE, FLEXIBLE, DESIGN OPTIMIZING, LOW REBOUND
RELIABLE, FLEXIBLE, WATER STOPPING, GROUND SUPPORTING
ECONOMICAL, GROUND CONSOLIDATING, WATERPROOFING



I NEED SAFE AND EFFICIENT TUNNELING.

Safety and performance are BASF's first priorities in tunneling. This calls for specialized engineering support, application know-how and state of the art chemistry. BASF can fulfill your needs with its Master Builders Solutions. Whether you are looking for ground support & consolidation, an efficient TBM or waterproofing, our leading global expertise in sprayed concrete, injection, mechanized tunneling solutions and membrane technology will help you build your tunnel safely and economically.

For more information please visit www.ugc.basf.com

 **BASF**

The Chemical Company



CREG (China Railway Engineering Equipment Group Co., Ltd.), A world leader in manufacturing TBMs and the largest supplier in China

CREG, your one-hand tunnelling solutions provider with:

- Full range of TBMs (EPB, Slurry, Single/Double Shield, Open Gripper, Box Jacking and Pipe Jacking) and auxiliary equipment
- Vast experience in undertaking prestigious and complex tunnelling projects
- Commitment for full after-sales services



Celebration on CREG's Acquisition of Wirth TBM & Shaft Boring IP and Right to Use Wirth Brand



+ China:

Contact: cregoverseas@crectbm.com
Phone: +86 371 60608837
Address:
No. 99, 6th Avenue
National Economic & Technical Development Area
Zhengzhou 450016, Henan Province
People's Republic of China

+ Asia & Africa:

Contact: enquiries@cte-limited.com
Phone: +603 7954 0314
Address:
Unit 908, Block B, Phileo Damansara II
No. 15, Jalan 16/11 off Jalan Damansara
Section 16, 46350 Petaling Jaya
Selangor, Malaysia

+ Europe & America:

Contact: info@creg-germany.com
Phone: +49 2431 9011 538
Address:
CREG TBM Germany GmbH
Juelicherstrasse 10-12
41812 Erkelenz
Germany

Website: www.crectbm.com