

www.tunnel-online.info

# tunnel

8

December

Offizielles Organ der STUVA · Official Journal of the STUVA

2016

Tunnelling in Germany: Statistics 2015/2016 | 8  
Mechanised Tunnelling: New Measuring Technologies | 20  
Thames Tideway Tunnel | 32

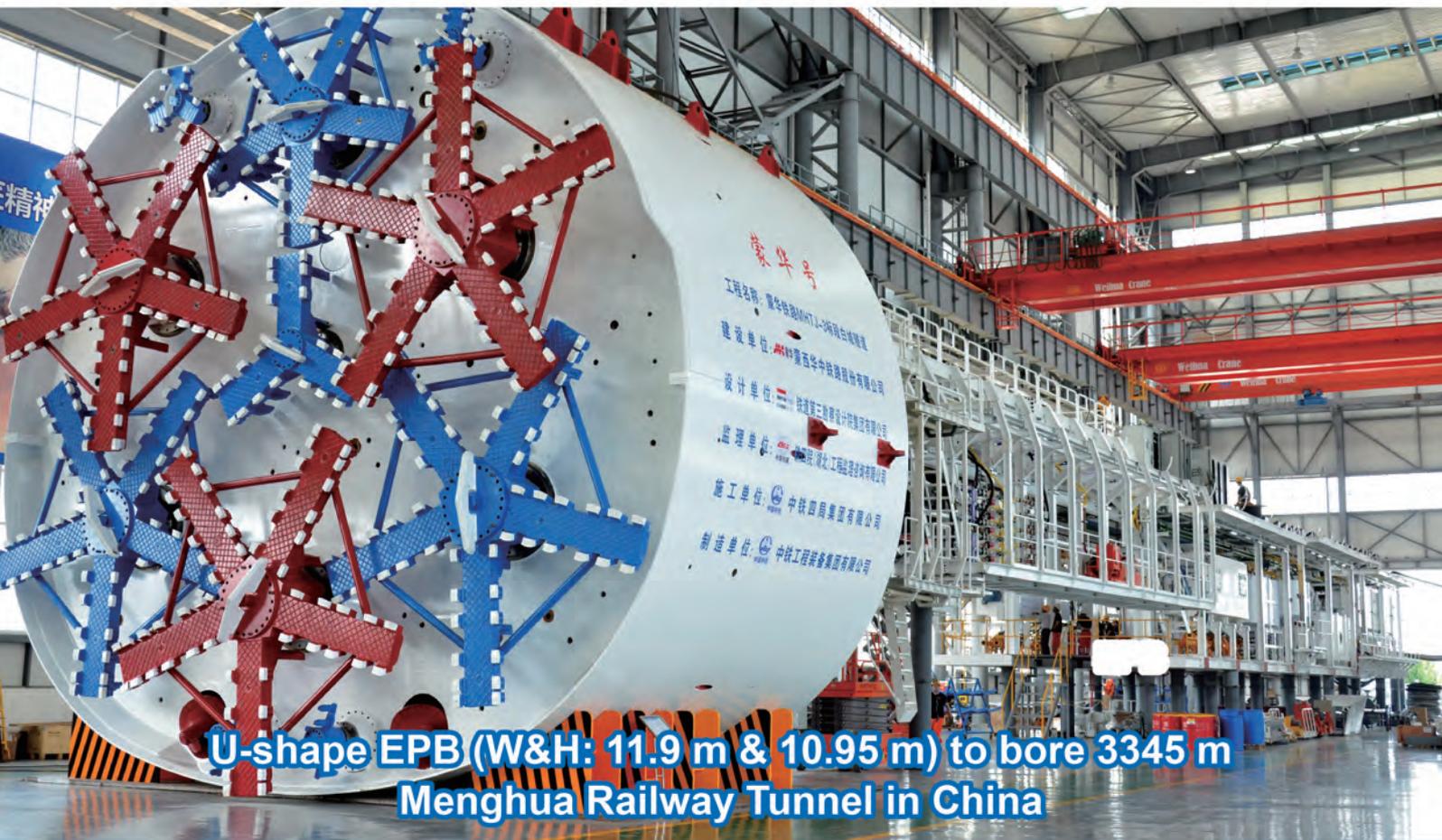


**bau || || verlag**

Wir geben Ideen Raum



## 2 Sets Gripper TBM to bore 22 km Water Transfer Tunnel in Beirut



## U-shape EPB (W&H: 11.9 m & 10.95 m) to bore 3345 m Menghua Railway Tunnel in China

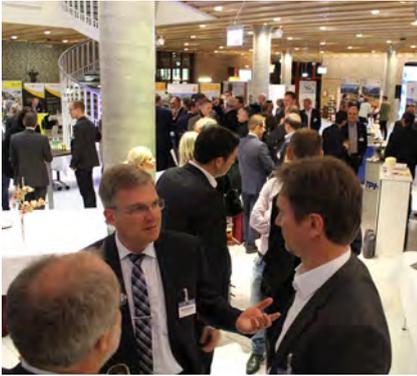
+ China:  
 Contact: [cregoverseas@crectbm.com](mailto:cregoverseas@crectbm.com)  
 Phone: +86 371 60608837  
 Address:  
 No.99,6th Avenue  
 National Economic & Technical Development Zone  
 450016 Zhengzhou, Henan Province  
 People's Republic of China

+ Asia & Africa:  
 Contact: [enquiries@cte-limited.com](mailto: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 & Latin America:  
 Contact: [info@creg-germany.com](mailto:info@creg-germany.com)  
 Phone: +49 2431 9011 533  
 Address:  
 CREG TBM Germany GmbH  
 Jülicherstraße 10-12  
 41812 Erkelenz  
 Germany

# tunnel 8/16

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



Vortragsveranstaltung und Branchentreffen:  
185 Teilnehmer besuchten das erfolgreiche  
zweitägige „Forum Injektionstechnik 2016“  
Mitte November in Köln

Conference and industry meeting in Cologne:  
With 185 participants the two-day „Forum on  
Injection Technology 2016“ in November was a  
great success

(Seite/page 46)

## Title

Tunnelbau in Deutschland, Statistik 2015/16:  
Von den derzeit laufenden Fernbahntunnel-  
Baumaßnahmen (insgesamt 121 km) entfallen  
gut 46 km auf das Großprojekt „Bahnknoten  
Stuttgart 21“ und ca. 58 km auf die NBS  
Wendlingen–Ulm. (Das Foto zeigt Abdichtungs-  
arbeiten im Alabstiegtunnel, NBS Wendlin-  
gen–Ulm)

Tunnelling in Germany, statistics 2015/16: Of the  
main-line rail tunnelling projects currently being  
implemented (a total of 121 km), some 46 km are  
accounted for by the major project “Stuttgart 21  
rail hub” and some 58 km by the new Wendlin-  
gen–Ulm rail route. (The Image shows water-  
proofing works in the Alabstieg Tunnel on the  
new Wendlingen–Ulm rail route)

Quelle/credit: Arnim Kilgus

(Seite/page 8)

## Nachrichten / News

2

## Hauptbeiträge / Main Articles

### Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2015/2016), Analyse und Ausblick

8

Tunnelling in Germany: Statistics (2015/2016),  
Analysis and Outlook

*Dipl.-Bibl. Martin Schäfer*

### Entwicklung neuer Messtechnologien für maschinelle Vortriebe

20

Developing new Technologies for mechanised Tunnelling

*Dipl.-Ing. Robert Wenighofer; Dipl.-Ing. Paul Gehwolf; Gerhard Six BSc;  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler*

### Thames Tideway Tunnel – Upgrade für Londons Abwassersystem

32

Thames Tideway Tunnel: Upgrade for London's Wastewater System

*Dipl.-Ing. Oliver Gerstmann; Dipl.-Ing. Stephan Fleischmann*

## Baubetrieb / Construction Management

### Aufbereitungstechnik für Microtunnelling-Projekt unter dem Hafen von Kopenhagen

42

Materials Preparation Technology for Microtunnelling Project  
below the Port of Copenhagen

## Fachtagungen / Conferences

### 45. Geomechanik-Kolloquium in Freiberg

45

45<sup>th</sup> Geomechanics Colloquium in Freiberg

### Forum Injektionstechnik 2016 in Köln

46

Forum on Injection Technology 2016 in Cologne

## Produkte / Products

### Betontrennmittel-Emulsion der neuesten Generation

51

Latest Generation of Concrete Release Emulsion

### Weiterentwickeltes Klebesystem für KDB-Abdichtungsübergänge

52

Bonded Tape Sealing Solution for Plastic Membrane Transitions

## Fachbücher / Technical Books

### Tunnelling the Gotthard – Erfolgsgeschichte GBT

54

Tunnelling the Gotthard – Success Story GBT

## Informationen / Information

### Veranstaltungskalender / Event Calendar

55

### Impressum / Imprint

56

USA

## Bellwood Tunnel: Vergrößerung von Atlantas Notwasserversorgungskapazität



Die Main Beam TBM (Durchmesser: 3,8 m) wird den 8,0 km langen Tunnel durch Granit bohren, mit Bereichen potentiellen Wasserzutritts

The 3.8 m diameter Main Beam TBM will bore the 8.0 km Bellwood Tunnel through granite rock with potential zones of water inflows

Atlantas neueste TBM, getauft auf den Namen "Driller Mike", wurde nach einer zweieinhalbmonatigen Baustellenerstmontage (OFTA = Onsite First Time Assembly) am 13. Oktober 2016 in Betrieb genommen und erreichte zwei Wochen später ihre volle Vortriebleistung. Atlantas Bürgermeister Kasim Reed sowie weitere offizielle Vertreter der Stadt, trafen sich mit der lokalen und landesweiten Presse zu diesem Anlass. Zurzeit bohrt die Robbins Main Beam TBM mit einem Durchmesser von 3,8 m den 8,0 km langen Bellwood-Tunnel, nachdem diese 30 m weit bis zum Anfahrtunnel vorgeschoben wurde. Die Strecke des Bellwood-Tunnels beginnt in einem stillgelegten Steinbruch, verläuft unter einer Wasseraufbereitungsanlage sowie einem Wasserreservoirs, und endet neben dem Chattahoochee Fluss.

### Lösung für die Notwasserversorgungsknappheit

Das Projekt bekam grünes Licht von Atlantas Wasserversorgungsamt, um die Kapazität der aktuellen unzureichenden Notwasserversorgung zu erhöhen. Der TBM-Vortrieb, die Bauüberwachung diverser Einzugs- und Pumpenschächte sowie die finale Auskleidung des Tunnels, wurden von der verantwortlichen Arbeitsgemeinschaft (ARGE) PC/Russell an die ARGE Atkinson/Technique untervergeben. Das Projekt ist von äußerster Wichtigkeit für die Stadt Atlanta, erläuterte Bob Huie, verantwortlicher Projektmanager der ARGE PC/Russell. „Zurzeit reicht die städtische Notwasserversorgung für ungefähr drei Tage. Durch den Tunnel wird die Versorgungsleistung erhöht und zwischen 30 bis 90 Tagen liegen. Dieser Tunnel wird die Stadt für eine sehr lange Zeit absichern.“

### Potentielle Wassereintrittszonen

Eine schnelle TBM-Montage vor Ort ist einer der Schlüssel für die gewünschte zügige Ausführung des Tunnelprojektes. Der

USA

## Bellwood Tunnel: Increased Emergency Water Supply Capacity for Atlanta



Im Oktober 2016 wurde die Robbins Main Beam TB, mit dem Namen „Driller Mike“ in Bellwood, Atlanta (Georgia) in den USA, gestartet

The Robbins Main Beam TBM, dubbed "Driller Mike", was launched on Atlanta, Georgia's Bellwood Tunnel in October 2016

After an Onsite First Time Assembly (OFTA) of 2.5 months, Atlanta Georgia's newest TBM, dubbed "Driller Mike", made its initial startup on October 13, 2016 and ramped up to full production two weeks later. Atlanta's Mayor Kasim Reed and city officials gathered with local and national media to celebrate the occasion. The 3.8 m diameter Robbins Main Beam TBM is now boring the 8.0 km Bellwood Tunnel after being walked forward 30 m into a starter tunnel. The Bellwood Tunnel path will travel from an inactive quarry and run below a water treatment plant and reservoir before ending next to the Chattahoochee River.

### A Solution for the City's current Emergency Water Supply Shortage

The project was green-lighted by the City of Atlanta's Department of Watershed Management due to the city's current emergency water supply shortage. The PC/Russell JV, the project's construction manager at risk, sub-contracted with the Atkinson/Technique JV to operate the TBM and will oversee construction of various intake and pumping shafts as well as final lining operations. The project is of utmost importance for the City of Atlanta, explained Bob Huie, Sr. Project Manager for the PC/Russell JV. "Right now, the downtown area's emergency water supply is approximately three days. With the tunnel the supply will increase to between 30 and 90 days. This tunnel will protect the city for a very long time."

### Potential Zones of Water Inflows

With the tunnel on the fast track, swift TBM assembly was key. The OFTA process involved coordination by multiple crews at the large quarry site. The TBM is now excavating in granite, with at least 300 m of zones in three separate areas that will require continuous probing. In a section directly below an existing reservoir, monitoring will be

Baustellenmontageprozess (OFTA) erforderte die Koordination mehrerer Mannschaften auf der großen, im Steinbruch liegenden Baustelle. Momentan bohrt die TBM durch Granit. Auf insgesamt rund 300 m werden in drei verschiedenen Streckenabschnitten Vorerkundungsbohrungen notwendig werden. In dem Bereich direkt unter einem existierenden Reservoir, wird das Monitoring eine entscheidende Rolle spielen, um einen Zutritt von Wasser zu vermeiden. Die Robbins TBM wird zudem mehrere Kurven auffahren müssen. „Wir werden eine der Kurven bereits auf den ersten 300 Streckenmetern durchfahren und die Hauptkurve, mit einem Radius von 370 m nach 1800 Tunnelmetern. Um die Kurve zu bohren, haben wir in diesem Bereich kurze Maschinenhübe vorgesehen – ca. 20 bis 30 cm kürzer als normalerweise üblich“ sagte Larry Weslowski, Tunnel Superintendent der PC/Russell ARGE.

### Der Steinbruch wird Reservoir und Park

Es ist geplant den Vortrieb im ersten Quartal 2018 abzuschließen. Nach Herstellung der finalen Innenschale wird der Tunnel mit Wasser geflutet; der Steinbruch wird dann Atlantas größtes Wasserreservoir mitsamt Park auf einer Fläche von mehreren tausend Quadratmetern. Der Park ist ein Pluspunkt für die Anwohner; die Wasserspeicherkapazität ist hierbei jedoch der entscheidende Faktor. Nahezu 1,2 Millionen Nutzer, darunter 200 000 Passagiere, die täglich den belebtesten Flughafen der Welt passieren, verlassen sich auf eine konstante Wasserversorgung. Würde diese Versorgung an nur einem Tag ausbleiben, wäre ein wirtschaftlicher Verlust von mehreren 100 Millionen Dollar pro Tag die Konsequenz. „Bedenkt man, dass es sich hier um ein 300 Millionen Dollar Projekt handelt, erscheint es im Vergleich mit dem potentiellen Verlust als eine sehr gute Investition.“ sagt Huie. 

particularly crucial to ensure no water inflows occur. The Robbins machine will also be required to negotiate several curves: “We have one curve in the first 300 m and the main 370 m radius curve is 1800 m in. We plan to do short TBM strokes in this section – about 20 to 30 cm shorter than normal to get through the curves,” said Larry Weslowski, Tunneling Superintendent for the PC/Russell JV.

### Quarry site will become Atlanta’s largest Reservoir and Park

Excavation is scheduled to be completed in the first quarter of 2018. After final lining, the tunnel will be filled with water and the quarry site will become Atlanta’s largest reservoir and park, totaling hundreds of acres. While the park site is a bonus for residents, the water storage capacity it will provide is critical. Nearly 1.2 million customers, including 200 000 passengers who pass through the world’s busiest airport every day, count on the water supply. “If the city were to lose water supply for a day, the estimated economic impact would be at least 100 million dollars per day. If you consider that this is a 300 million dollar project, that seems a pretty good investment in comparison to what could happen,” said Huie. 



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](http://www.fermacell-aestuver.com)

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

## Deutschland

## Baubeginn für S-Bahn-Tunnel Gateway Gardens in Frankfurt



Übersicht der neuen S-Bahn-Trasse inklusive 2 km Tunnelstrecke durch Gateway Gardens  
Overview of the new S-Bahn route including 2 km of tunnel through Gateway Gardens

Auf dem Gelände der ehemaligen amerikanischen Militär-Wohnsiedlung Gateway Gardens entsteht in unmittelbarer Nähe zum Frankfurter Flughafen auf rund 35 Hektar ein neues Stadtquartier mit Büro- und Konferenzgebäuden, Hotels, Gastronomie, Einzelhandel sowie einem Nahversorgungszentrum. Nach der Fertigstellung sollen bis zu 18 000 Menschen in dem neuen Stadtteil arbeiten. Die 4 km lange S-Bahn-Anbindung Gateway Gardens ist Teil des Infrastrukturentwicklungsprogramms „Frankfurt Rhein Main plus“, das gemeinsam vom Land Hessen, der Region, der Stadt Frankfurt am Main, dem Rhein-Main-Verkehrsverbund und der DB AG vorangetrieben wird. Sie umfasst die Trassenverlegung einer zu 50 Prozent unterirdisch verlaufenden S-Bahn-Strecke zwischen Frankfurt-Stadion und Frankfurt Flughafen Regionalbahnhof sowie den Bau der neuen, ebenfalls unterirdischen Verkehrsstation Gateway Gardens. Dadurch erhält der Stadtteil eine direkte Verkehrsverbindung in die Frankfurter Innenstadt.

Die Neubaustrecke wird den Stadtwald durchschneiden, die Bundesstraße B43 sowie die Autobahn A5 nördlich des Frankfurter Kreuzes im Tunnel unterqueren und in den bestehenden Flughafentunnel münden. Bisher war Gateway Gardens im öffentlichen Nahverkehr nur mit dem Bus vom Regionalbahnhof zu erreichen; künftig sollen dorthin alle 15 Minuten S-Bahnen fahren.

### Tunnelbau

Offizieller Baubeginn des 2 km langen, zweigleisigen S-Bahn-Tunnels war am 10. November 2016 mit den ersten Bohrungen einer Bohrpfahlgründung für die Tunnelarbeiten. Der Tunnel wird aufgrund der vorherrschenden lockeren Gesteinsschichten und der geringen Überdeckung (maximal 12 m) in offener Bauweise in bis zu 20 m tiefen Gruben gebaut.

## Germany

## Construction start for S-Bahn Tunnel Gateway Gardens, Frankfurt

On the approx. 35 hectare site of the former American military housing estate Gateway Gardens in close proximity to Frankfurt Airport, a new city quarter is being developed with office and conference buildings, hotels, gastronomy, specialist shops and local shops. When the new quarter is complete, up to 18 000 people should work there. The 4 km long “S-Bahn” urban rapid transit link to Gateway Gardens is part of the infrastructure development programme “Frankfurt Rhein Main plus”, which is being implemented by the State of Hesse, the region, the City of Frankfurt am Main, the Rhein-Main transport combine and the DB AG. It comprises the construction of an rapid transit line between Frankfurt-Stadion and the Frankfurt Airport regional station, with about 50 % running underground, as well as the building of a new underground station at Gateway Gardens. This will provide the new city quarter a direct link to the Frankfurt inner city. The new line will cut through the city forest, pass under the federal main road B 43 and autobahn A 5 north of the Frankfurt intersection in a tunnel, leading into the existing airport tunnel. Until now, Gateway Gardens has only been accessible by public transport by bus from the regional station; in the future, S-Bahn trains will run every 15 minutes.

### Tunnelling

The official construction start of the 2 km long, twin-track rapid transit railway tunnel was on 10 November 2016 with the first boring of the bored pile foundation for the tunnelling works. Due to the prevailing soft ground strata and the shallow overburden (maximum 12 m), the tunnel will be built by cut-and-cover in an excavation up to 20 m deep.

North of the Frankfurt intersection, the rail tunnel will pass beneath two important roads, the B 43 and the autobahn A 5. The traffic

Nördlich des Frankfurter Kreuzes wird der Bahntunnel mit der B 43 und der A 5 zwei wesentliche Verkehrsadern unterfahren. Der Verkehrsfluss sowie die zur Verfügung stehende Anzahl der insgesamt acht Fahrspuren muss während der gesamten Bauzeit bestehen bleiben. Die Arbeiten erfolgen daher abschnittsweise in mehreren Bauphasen in der Deckelbauweise. Wenn die Baugrube ausreichend tief für die Durchführung der weiteren Arbeiten ausgehoben ist, wird sie mit 1,2 m dicken Fahrbahntragplatten wieder verschlossen. Auf diesen Deckel wird der zuvor umgeleitete Straßenverkehr in seine ursprünglichen Bahnen zurückverlegt. Weil die Tunnelstrecke unter dem Stadtteil verläuft, muss auch die Station Gateway Gardens unterirdisch angelegt werden; sie wird unter der Bessie-Coleman-Straße liegen, 210 m lang sein und einen Mittelbahnsteig mit drei Ausgängen erhalten. Für die Zukunft prognostizieren Verkehrsexperten 19 000 zusätzliche Nutzer täglich für die Station Gateway Gardens. Für das angrenzende Straßennetz wird durch die Verlagerung auf den ÖPNV eine Entlastung um rund 27 % vorausgesagt. Der Bau der gesamten Strecke soll bis 2020 fertig gestellt sein. Die Kosten sollen rund 260 Millionen Euro betragen. Neben dem Bundesanteil (60 %) verteilen sie sich auf die Stadt Frankfurt/Main und das Land Hessen.

G. B./M. K.



flow and the existing altogether eight lanes have to be kept open during the entire construction period. The works will therefore be undertaken in several construction phases by top-down construction. When the excavation has become sufficiently deep for the performance of the following works, it will be covered again with a 1.2 m thick carriageway support slab. The previously diverted traffic will then be rerouted back onto its original alignment. Since the tunnel route runs beneath the city quarter, the Gateway Gardens station will also be built below ground; it will be situated beneath the Bessie-Coleman-Street with a length of 210 m and will have a central platform with three exits.

In the future, transport experts forecast 19 000 additional users daily for the Gateway Gardens station. For the surrounding road network, a 27 % reduction of traffic is forecast due to transfer to public transport. The construction of the entire line should be completed by 2020. The cost according to current estimates is 260 million euros. In addition to the large contribution from the federal government (60 %), this is shared between the City of Frankfurt/Main and the State of Hesse.

G. B./M. K.



## LINING SYSTEMS

LASTING CORROSION PROTECTION FOR TUNNEL CONSTRUCTIONS

### LASTING CORROSION PROTECTION

- Protects the inner concrete shell from aggressive mountain water

### HEALTH AND ENVIRONMENT FRIENDLY

- Plasticizer-free VLDPE for harmless welding operations

### ONE STOP SHOPPING

- Tunnel liners, water stop profiles, perforated pipes, discs available

### PROVEN QUALITY PRODUCTS

- Tunnel liners are in compliance with many international standards

### HIGH SUPPLY CAPABILITY

- Global distribution network and high production capacities



 **agru**  
The Plastics Experts.

**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing.-Pesendorfer-Straße 31  
4540 Bad Hall, Austria

T. +43 7258 7900  
F. +43 7258 790 - 2850  
sales@agru.at

[www.agru.at](http://www.agru.at)

Ecuador

## Quito Metrolinie 1: TVM-Vortriebe beginnen im Frühjahr 2017

Ecuador

## Quito Metro Line 1: TBM Tunnelling Works to commence in Spring 2017



Quelle/credit (2): Herrenknecht

Mit einem Durchmesser von 9,36 m gehören die zwei baugleichen Tunnelbohrmaschinen für die Metro de Quito zu den größeren Kalibern. Über 17 km neue Tunnelröhren werden die Ende August 2016 fertiggestellten EPB-Schilde bis zur Eröffnung des Metrosystems auffahren

With a diameter of 9.36 meters the two identical tunnel boring machines for the Metro de Quito are among the larger calibers. By the opening of the metro system the EPB Shields completed in late August 2016 will have excavated more than 17 km of new tunnels

In Quito entsteht derzeit eines der höchstgelegenen Metrosysteme der Welt. Die erste Linie wird sich auf einer Länge von 22 km durch die Hauptstadt Ecuadors ziehen. Mehr als 2800 m über dem Meeresspiegel werden sich voraussichtlich ab dem Frühjahr 2017 zwei kürzlich fertiggestellte Herrenknecht EPB-Schilde durch den Untergrund vulkanischen Ursprungs arbeiten.

### Zweite Bauphase der Metrolinie 1

Der Auftrag für die zweite Bauphase der Metrolinie 1 in Quito im Wert von 1,4 Milliarden Euro wurde an eine Arbeitsgemeinschaft der Unternehmen Acciona Infrastructure aus Spanien und Construtora Norberto Odebrecht aus Brasilien vergeben. Acciona hatte im Rahmen der ersten Phase des Projekts bereits die Ingenieurbauarbeiten für die beiden Stationen La Magdalena und El Labrador fertiggestellt. Weitere 13 Stationen sollen nun im Zusammenhang mit dem Vortrieb der Tunnelstrecke errichtet werden. Die geplante Tunneltrasse der ersten Metrolinie für Quito verläuft in einer Tiefe von etwa 20 bis 25 m unter der Stadt, von der Quitumbe Bus-Station im Süden bis hin zur nördlichen Station El Labrador. Die Arbeiten an Phase 2 der Metro wurden am 19. Januar 2016 bei Quitumbe aufgenommen. Die Bauphase soll innerhalb von

In Quito one of the highest metro systems in the world is currently being built. The first line will run over a distance of 22 km through the capital of Ecuador. At an altitude of more than 2800 m above sea level, two recently completed Herrenknecht EPB Shields are set to work their way through the volcanic ground, starting in spring 2017.

### Metro Line 1, second Phase

Acciona Infrastructure (Spain) and Brazil's Construtora Norberto Odebrecht have been awarded a 1.4 billion euros contract to build the second phase of Line 1 of the Quito Metro.

Acciona has already completed the civil works for the stations of La Magdalena and El Labrador, which were built in phase one of the project. Another 13 metro stations are to be built within the scope of the second phase construction.

The planned tunnel alignment of Quito's first metro line runs at a depth of about 20 to 25 m below the city, from the Quitumbe bus terminal in the south of the city to El Labrador station in the north, on the site of an old airport. Work on the second phase of Quito Metro Line 1 began on 19 January 2016 at Quitumbe. Construction is expected to take 36 months, with a further six months for systems integration and commissioning.

36 Monaten abgeschlossen sein; weitere sechs Monate sind veranschlagt für die Integration der technischen Systeme und die Inbetriebnahme.

### Vortrieb mit Herrenknecht-TVM

Zum Frühjahr 2017 werden die Baucrews dann Gesellschaft von zwei Herrenknecht-Bohrern bekommen. Ende August 2016 sind die EPB-Schilde mit Durchmessern von 9.36 m fertiggestellt worden. Zur technischen Abnahme der zeitgleich montierten und fertiggestellten Maschinen war der Bürgermeister von Quito, Dr. Mauricio Rodas sowie Vertreter der bauausführenden ARGE Acciona/Odebrecht und des Bauherrn Quito Metro im Herstellerwerk in Schwanau zu Besuch.

### Elektrifizierung von Siemens

Der deutsche Siemens-Konzern wird im Auftrag von Acciona/Odebrecht die neue doppelgleisige Metrolinie 1 vollständig elektrifizieren. Zum Lieferumfang zählt die Installation einer rund 46 km langen Deckenstromschiene, einer 6 km langen Oberleitung, elf Bahnstromversorgungsanlagen, 29 Anlagen zur Sekundärstromversorgung sowie das SCADA-System für die Überwachung und Steuerung der Bahnstromversorgung.

### 350 000 Fahrgäste täglich

Das neue Schienensystem der Millionenstadt soll voraussichtlich ab Sommer 2019 über 350 000 Fahrgäste täglich transportieren. Die Fahrtzeit zwischen Nord- und Südteil der Stadt wird auf 34 Minuten reduziert; das bedeutet eine Ersparnis von nahezu eineinhalb Stunden, verglichen mit der derzeitigen Fahrtzeit an der Oberfläche. 



Der Bürgermeister von Quito, Dr. Mauricio Rodas, (vorne links) im Gespräch mit Ingenieur Martin-Devid Herrenknecht bei der technischen Abnahme der beiden EPB-Schilde in Schwanau

The mayor of Quito, Dr. Mauricio Rodas, (front left) talking to engineer Martin-Devid Herrenknecht at the technical acceptance of the two EPB Shields in Schwanau

### Tunnelling with Herrenknecht TBMs

In spring 2017 the site crews will be joined by two Herrenknecht tunnel borers. The EPB Shields with diameters of 9.36 m were completed in late August 2016. Together with representatives of contracting joint venture Acciona/Odebrecht and client Quito Metro, the mayor of Quito, Dr. Mauricio Rodas, visited the manufacturer in Schwanau, Germany, for the technical acceptance of the concurrently assembled and completed machines.

### Siemens electrifies entire Metro Line

The German company Siemens has been commissioned by the JV Acciona/Odebrecht to electrify the entire new double-track metro line. The scope of the project includes about 46 km of rigid catenary, 6 km of flexible catenary, eleven traction power supply stations, 29 auxiliary power supply stations, and the SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system for monitoring and controlling the traction power supply.

### 350 000 Passengers daily

The new rail system is an important step in the modernization of the metropolis. It is expected to be put into service in the summer of 2019 and will transport more than 350 000 passengers daily. It will link the north and south of the city in just 34 minutes, reducing current surface transportation time by almost an hour and a half. At the moment the high volumes of traffic regularly cause congestion and smog. The switch to a more environmentally friendly mass transportation system is designed to remedy the situation and save up to 30 000 t of CO<sub>2</sub> emissions per year. 

Specialist for  
tunneling  
equipment  
and  
logistic systems

[www.msd-dresden.de](http://www.msd-dresden.de)  
[info@msd-dresden.de](mailto:info@msd-dresden.de)

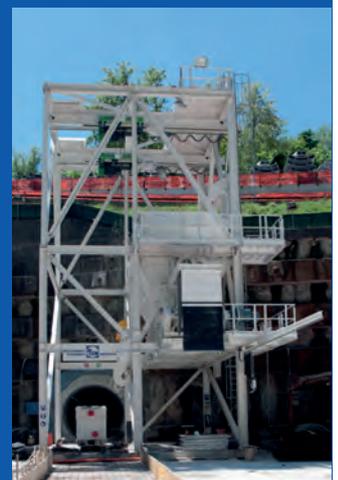
Equipment for segment production  
plant, Jenbach, Austria



Emscher sewer tunnel - pipe factory,  
Gelsenkirchen, Germany, Lifting beam  
for concrete pipe segments



Unloading towers, Pavoncelli Tunnel,  
Caposele, Italy



# Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2015/2016), Analyse und Ausblick

Seit mehr als 35 Jahren führt die STUVA eine Statistik zum Tunnelbau in Deutschland. Anlass hierzu war und ist eine entsprechende Anregung der International Tunnelling and Underground Space Association [1].

# Tunnelling in Germany: Statistics (2015/2016), Analysis and Outlook

For more than 35 years the STUVA has carried out a survey of tunnelling in Germany prompted by a corresponding request by the International Tunnelling and Underground Space Association [1].

Dipl.-Bibl. Martin Schäfer, STUVA – Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V./Research Association for Tunnels and Transportation Facilities, Köln/Cologne, Deutschland/Germany

## 1 Laufendes Tunnelbauvolumen

Wie in den Vorjahren hat die STUVA auch für den Jahreswechsel 2015/16 eine Umfrage zu den laufenden Tunnelbauvorhaben in Deutschland durchgeführt. Das Ergebnis wurde für den Stichmonat Dezember 2015 tabellarisch zusammengestellt und nachfolgend bewertet. Es handelt sich dabei um eine Fortschreibung der für 1978 [2] bis 2015 [3] veröffentlichten Tabellen. Erfasst wurden nur solche Tunnel- und Kanalbauwerke, die einen begehbaren oder bekriechbaren Ausbruchquerschnitt, d. h. einen lichten Minstdurchmesser von 1000 mm bzw. unter Einbeziehung der Rohrwandung mindestens einen Ausbruchquerschnitt von etwa 1 m<sup>2</sup> aufweisen. Unberücksichtigt blieben dagegen – wie in den Vorjahren – grabenlose Kleinvortriebe, die im Zusammenhang mit dem Sammlerbau, den zugehörigen Hausanschlüssen oder auch bei Unterpressungen von Bahn- und Straßenanlagen zur Anwendung gelangen.

Die Tabellen der zum Jahreswechsel 2015/16 im Bau befindlichen Tunnelprojekte sind aufgrund ihres Umfangs nicht im Detail abgedruckt, können jedoch von den Internet-Seiten der STUVA [4] abgerufen werden. In diesen Tabellen wird der Bezug zu dem Datenmaterial der Vorjahre über die Nummerierung der Tunnelbauvorhaben erkennbar. Im Einzelnen setzt diese sich aus ein oder zwei Kennbuchstaben, einer zweiziffrigen fortlaufenden Registrierungsnummer und der ebenfalls zweiziffrigen Angabe des Erfassungsjahres zusammen. Die Kennbuchstaben dienen dazu, die geplante Tunnelnutzung stichwortartig aufzuzeigen:

<b>US</b>	U-, Stadt- und S-Bahntunnel
<b>B</b>	Fernbahntunnel
<b>S</b>	Stadt- und Fern-Straßentunnel
<b>V</b>	Wasser- und andere Versorgungstunnel
<b>A</b>	Abwassertunnel
<b>So</b>	Sonstige Tunnel
<b>GS</b>	Grundsanierung von Tunneln

## 1 Tunnels under Construction

As in previous years, the STUVA also undertook a survey of current tunnelling projects in Germany at the turn of the year 2015/2016. The outcome is compiled in tabular form for the month of December 2015 and subsequently assessed. The table follows up its predecessors published for the years 1978 [2] to 2015 [3]. Only tunnels and drain/sewer structures which possess an accessible (walk-in or crawl-in) excavated cross-section, i.e. a clear minimum diameter of 1000 mm or, including the pipe wall, a minimum cross-section of roughly 1 m<sup>2</sup>, are listed. On the other hand, small trenchless headings which, in recent years, have frequently been executed in conjunction with main drain construction, the relevant domestic connections, and also pipe-jacking operations beneath rail and road facilities, are not included.

The tables for the tunnel projects under construction at the turn of the year 2015/2016 are not listed in detail on account of their extent; however data can be obtained from STUVA's internet pages [4]. In these tables, the numbering of the tunnel projects indicates the relationship to the data material originating from previous years. Essentially it takes the form of single or double identification letters, a two-digit sequential registration number and a two-digit annual identification number. The identification letters serve to provide a brief assessment of the planned tunnel utilisation, namely:

<b>US</b>	Underground, urban and rapid transit rail tunnels
<b>B</b>	Main-line rail tunnels
<b>S</b>	Urban and trunk road tunnels
<b>V</b>	Water and other supply tunnels
<b>A</b>	Drain/sewer tunnels
<b>So</b>	Miscellaneous tunnels
<b>GS</b>	Tunnel modernisation

The identification number US 0115 therefore refers to a tunnel project with the sequential number 1 from the Underground, urban and

Jahreswechsel Turn of the year	2015/16				2014/15 (zum Vergleich / to compare)				2013/14 (zum Vergleich / to compare)			
	Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]		Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]		Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	
<b>US:</b> U-, Stadt-, S-Bahn Underground, urban and rapid transit system	16,767	(2,495)	1.765,0	(776,0)	16,433	(2,067)	1.509,0	(165,0)	15,116	(1,930)	1.536,0	(157,0)
<b>B:</b> Fernbahn Main-line railway	121,117	(17,856)	12.391,0	(1.773,0)	105,307	(20,360)	10.326,0	(1.696,0)	122,043	(12,464)	15.797,0	(1.914,0)
<b>S:</b> Straßen Road	37,325	(5,909)	4.343,0	(803,0)	47,251	(11,054)	5.717,0	(1.570,0)	38,646	(11,515)	4.263,0	(1.343,0)
<b>Verkehrstunnel</b> <b>Traffic tunnels</b>	<b>175,209</b>	<b>(26,260)</b>	<b>18.499,0</b>	<b>(3.352,0)</b>	<b>168,991</b>	<b>(33,481)</b>	<b>17.552,0</b>	<b>(3.431,0)</b>	<b>175,805</b>	<b>(25,909)</b>	<b>21.596,0</b>	<b>(3.414,0)</b>
<b>A:</b> Abwasser Sewage	69,680	(1,400)	469,9	(5,9)	70,580	(20,580)	474,0	(180,4)	50,000	(0,000)	293,6	(0,0)
<b>V:</b> Versorgung Utility lines	0,881	(0,471)	4,7	(3,3)	0,410	(0,000)	1,4	(0,0)	0,410	(0,410)	1,4	(1,4)
<b>So:</b> Sonstiges Others	0,000	(0,000)	0,0	(0,0)	0,323	(0,000)	4,7	(0,0)	0,323	(0,323)	4,7	(4,7)
<b>Gesamt</b> <b>Total</b>	<b>245,770</b>	<b>(28,131)</b>	<b>18.973,6</b>	<b>(3.361,2)</b>	<b>240,304</b>	<b>(54,061)</b>	<b>18.032,1</b>	<b>(3.611,4)</b>	<b>226,538</b>	<b>(26,642)</b>	<b>21.895,7</b>	<b>(3.420,1)</b>
<b>GS:</b> Grundsanie rung von Tunneln Redevelopments of tunnels	9,664	(3,460)			8,902	(2,188)			14,853	(10,918)		
Die Klammerwerte geben die zum betrachteten Jahreswechsel neu erfassten Tunnelbaukilometer bzw. m <sup>3</sup> Ausbruchvolumen an The values in brackets relate to the newly compiled tunnel construction km and m <sup>3</sup> of excavated volume at the given turn of the year												

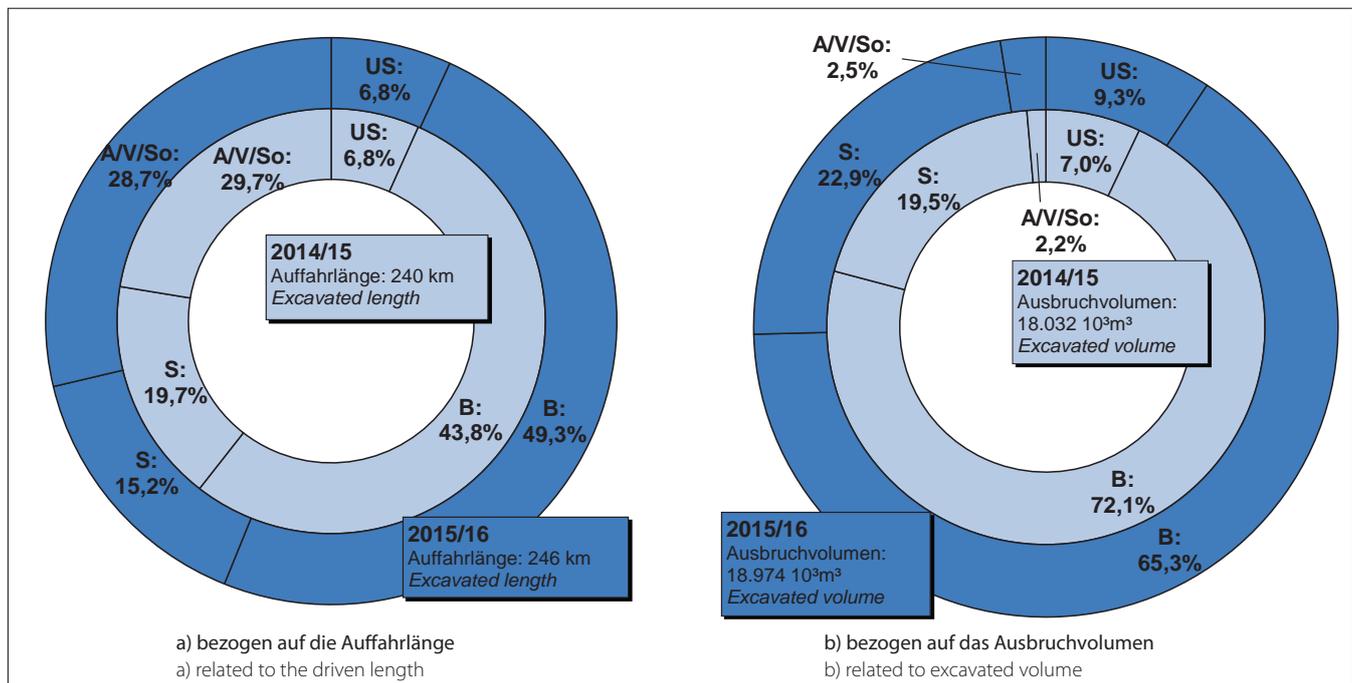
**Tabelle 1** Auffahrlänge und Ausbruchvolumen der jeweils zum Jahreswechsel im Bau befindlichen Tunnel

**Table 1** Driven length and excavated volume of tunnels under construction at the given turn of the year

Dementsprechend besagt die Kennnummer US 0115, dass es sich um das Tunnelprojekt mit der laufenden Nummer 1 aus dem Bereich der U-, Stadt- und S-Bahnen handelt, das im Jahr 2015 erstmals in die Statistik aufgenommen wurde. Die vorstehend beschriebene Art der Nummerierung wurde vor dem Hintergrund gewählt, dass die meisten Baustellen, insbesondere aus dem Verkehrstunnelbereich, über zwei bis drei Jahre und mehr laufen. Um Doppelzählungen zu vermeiden und um das ggf. neu hinzugekommene Bauvolumen ausweisen zu können, hat sich diese Art der Registrierung bewährt. Entsprechend wird in **Tabelle 1** nicht nur das Gesamtbauvolumen, sondern in Klammern auch das im Berichtsjahr jeweils neu erfasste Bauvolumen ausgewiesen. Zum Vergleich sind dort neben den Angaben für den Jahreswechsel 2015/16 auch die Zahlen der beiden Vorjahreswechsel aufgeführt. Allgemein informieren die Projektlisten auf den Internetseiten der STUVA [4] über Lage und spätere Nutzung der aufgeführten Tunnel, über Länge und Querschnitt sowie über die vorwiegend angetroffenen Bodenverhältnisse. Das angewandte Bauverfahren wird stichwortartig beschrieben und die geplante Bauzeit angegeben. Soweit möglich, werden Bauherren, Planer und

rapid transit tunnels sector which was included for the first time in the statistics in 2015. The above-mentioned method of identification was selected against the background that the majority of construction sites, especially those from the transportation tunnel sector, run for two or three years, or even more. This method of registration has proved itself in order to avoid projects being counted twice and to identify the new construction volume that was to be included. As a result, **Table 1** contains the total construction volume as well as the construction volume collated during the year of the report, set in brackets. In addition to the details for the turn of the year 2015/2016, the figures from the two previous years can also be found there for comparison.

By and large, the tunnel lists on the STUVA internet pages [4] provide information on the location and ultimate utilisation of the tunnels that are included, their length and cross-sections, and also the soil conditions mainly encountered. The construction method used is explained in brief and the scheduled construction time stated. As far as possible, the clients, designers and contractors are named. Details of constructional or technical aspects of a special nature are also provided for many projects.



1 Anteil der verschiedenen Arten der Tunnelnutzung (vgl. Tabelle 1)  
Proportion of the various types of tunnel utilisation (please see Table 1)

Ausführende benannt. Schließlich werden ggf. noch konstruktive oder verfahrenstechnische Besonderheiten angemerkt. Informationen über das Ausbruchvolumen der einzelnen Baumaßnahmen lassen bei einem Vergleich der Verkehrstunnel mit den Ver- und Entsorgungstunneln den tatsächlichen Umfang der jeweiligen Bauarbeiten besser abschätzen als Längenangaben allein. Allerdings ist bei der Erhebung des Ausbruchvolumens folgendes zu beachten: Während bei den geschlossenen Bauweisen das Ausbruchvolumen unzweifelhaft zu ermitteln ist, ergibt sich der für die offenen Bauweisen vergleichbare Wert erst aus der Verminderung des gesamten Bodenaushubs um die Wiederverfüllung.

Tabelle 1 vermittelt ein Bild über die jeweils zum angegebenen Jahreswechsel im Bau befindliche gesamte Tunnelauffahrlänge und das zugehörige Ausbruchvolumen. Außerdem sind für den Jahreswechsel 2015/16 in **Bild 1** Auffahrlänge und Ausbruchvolumen nach der Art der Tunnelnutzung graphisch aufgegliedert. Ein genereller Vergleich der Zahlen in Tabelle 1 lässt eine leichte Zunahme der Auffahrlängen der Verkehrstunnel zum Jahreswechsel 2015/16 mit insgesamt gut 175 km gegenüber dem Vorjahreswechsel mit knapp 169 km erkennen. Während die Bautätigkeit im Verkehrsbereich Fernbahn deutlich zunimmt, verbleibt der Verkehrsbereich U-, Stadt- und S-Bahn in etwa auf Vorjahresniveau. Im Verkehrsbereich Straße schwächt sich die Bautätigkeit deutlich ab.

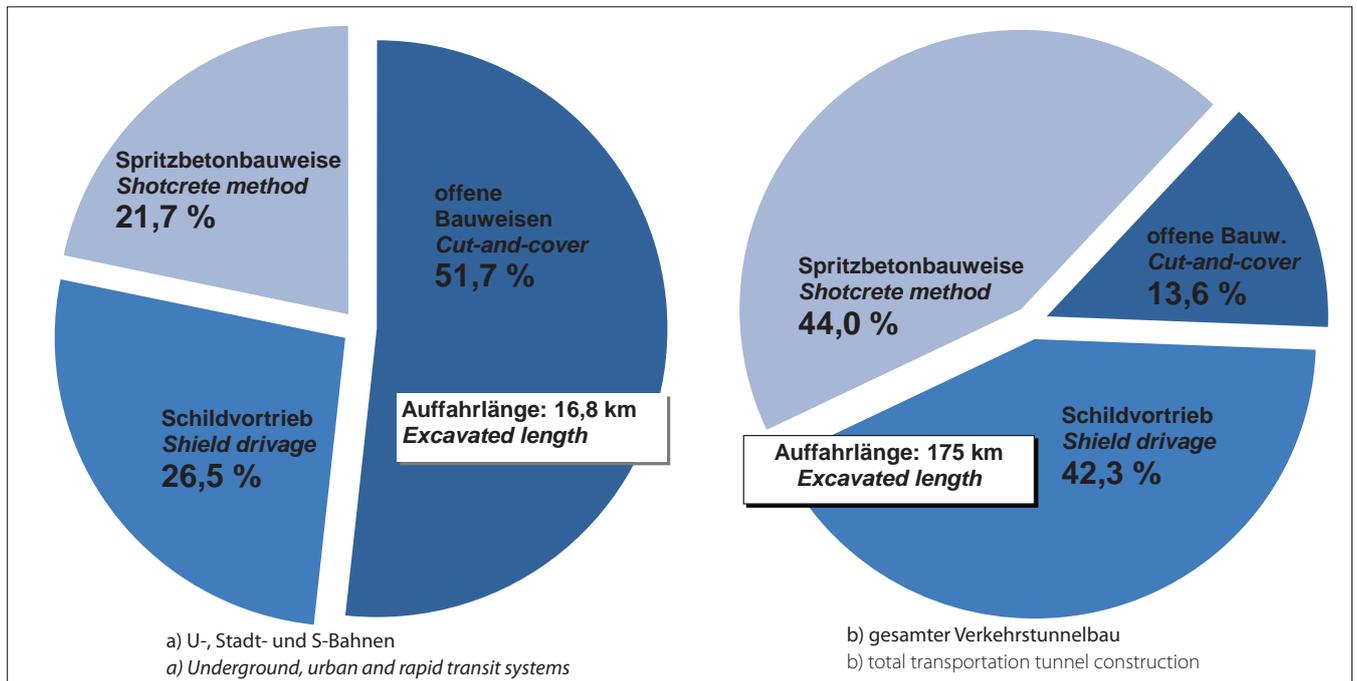
Betrachtet man die Angaben zum Ausbruchvolumen, so ergibt sich bei einem Vergleich zwischen den Verkehrstunneln einerseits und den Ver- und Entsorgungstunneln andererseits bei einem längenbezogenen Verhältnis von gut 2:1 ein Volumenverhältnis von etwa 39:1 (vgl. auch Bild 1).

When comparing transportation tunnels with supply and disposal tunnels, information on the excavated volumes of the individual schemes makes it possible to estimate the actual extent of the relevant measures in a better manner than mere details relating to lengths. However, the following should be observed when comparing the excavated volume: whereas the excavated volumes for trenchless construction measures can be determined with certainty, the comparative value for cut-and-cover methods can only be obtained by subtracting the amount of soil required for refilling from the total excavated volume.

Table 1 provides a picture of the overall tunnelling length under construction at the end of the year in question and the related construction volume. For the turn of the year 2015/2016, **Fig. 1** also contains the driven length and the excavation volume in accordance with the type of tunnel utilisation shown in graphic form.



2 Abdichtungsarbeiten im Albabstiegstunnel, NBS Wendlingen–Ulm  
Waterproofing in the Albabstieg Tunnel, new Wendlingen–Ulm rail route



3 Struktur des Verkehrstunnelbaus in Deutschland zum Jahreswechsel 2015/16

Structure of transportation tunnel construction in Germany at the turn of the year 2015/16

Die Frage der Vollständigkeit des durch die STUVA-Umfrage von den Baufirmen und den Ingenieurbüros erhaltenen Zahlenmaterials ist nur schwer abzuschätzen. Um in dieser Hinsicht eine größere Zuverlässigkeit sicherzustellen, wurden im Rahmen der Erhebung 2015/16 – wie in den Vorjahren auch – die im U-, Stadt- und S-Bahnbau tätigen Städte sowie die Deutsche Bahn AG angeschrieben. Die Daten für die Tunnel der Bundesfernstraßen wurden vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bereitgestellt [5]. Diese Daten sind unverzichtbar für die Fortschreibung dieser Statistik und liefern wichtige Ergänzungen und Korrekturen. Generell sei dem BMVI, der Deutschen Bahn AG, den anderen genannten Behörden und Bauherren, den Planungsbüros sowie den beteiligten Baufirmen an dieser Stelle für die Mitarbeit bei der statistischen Erfassung der Tunnelbauvorhaben ausdrücklich gedankt.

Im Folgenden wird das Ergebnis der Erhebung per Dezember 2015 in verschiedener Hinsicht genauer ausgewertet, um so einen aktuellen Überblick über den Tunnelbau in Deutschland zu erhalten. Zur Vertiefung sei auf die umfassenden Erläuterungen in der Dokumentation „Unterirdisches Bauen Deutschland 2010“ mit zahlreichen in Wort und Bild dargestellten Beispielen verwiesen [6].

- Der Schwerpunkt des **innerstädtischen Bahntunnelbaus** (Tabellenteil US) liegt in diesem Jahr in Stuttgart, wo sich zum Jahreswechsel 2015/16 insgesamt ca. 4,1 km S-Bahn- bzw. Stadtbahntunnel im Bau befanden. Es folgen Berlin (3,2 km), Karlsruhe (2,9 km), Frankfurt/Main (2,5 km) und Nürnberg (2,2 km). Weitere Tunnelstrecken unter 2 km Länge sind in Hamburg und Dortmund im Bau.

A general comparison of the figures in Table 1 reveals a slight tailing off in the driven length of transportation tunnels as at the turn of the year 2015/2016, with a total of some 175 km compared with almost 169 km the previous year. Whereas building activities in the main-line construction sector revived substantially, activities in Underground, urban and rapid transport and road remained largely at the level of the previous year whilst road construction dipped considerably. If one considers the data relating to excavated volume, there is a length-related ratio of almost 2:1 as against a volume-related one of around 39:1 when comparing transportation tunnels on the one hand with supply and disposal tunnels on the other (please also see Fig. 1).

The question of the completeness of the data obtained from the STUVA survey from contractors and consultants is difficult to assess. In order to arrive at greater reliability in this respect, the cities engaged in Underground, urban and rapid transit construction activities, and also Deutsche Bahn AG, were requested to supply data within the scope of the 2015/2016 survey, as was the case in previous years. The Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) provided data for federal trunk road tunnels [5]. In a large number of cases, the responses from these authorities and from Deutsche Bahn AG resulted in important additions and corrections. At this point, a special word of thanks goes to the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Deutsche Bahn AG, the other authorities and clients mentioned and the architects and contractors involved, for their assistance in compiling the statistics for current tunnelling projects.

In the following, the results of the survey as of December 2015 are evaluated more thoroughly in various ways in order to obtain an up-to-date overview of tunnelling in Germany. In order to substantiate

- Der längenbezogene Anteil der geschlossenen Bauweisen am innerstädtischen Bahntunnelbau betrug mit 8,1 km Ende 2015 etwa 48 % (Vorjahr 64 %) des bundesweiten Gesamtbauvolumens an U-, Stadt- und S-Bahnen. Wiederum bezogen auf das Gesamtvolumen entfielen knapp 22 % auf die Spritzbetonbauweisen (Vorjahr 25 %) und etwa 26 % (Vorjahr 39 %) auf den Schildvortrieb. Eine Übersicht über die Anteile der verschiedenen Tunnelbauverfahren gibt **Bild 3a**. Ergänzend hierzu zeigt das Diagramm in **Bild 4a** den längenbezogenen Anteil der verschiedenen Bauweisen im U-, Stadt- und S-Bahnbau während der letzten 20 Jahre.

Bundesland Federal state	Tunnellängen Length [km]				Anteil Shares [%]
	US	B	S	Gesamt Total	
<b>BW</b> Baden-Württemberg	6,998	113,996	11,669	132,663	75,7 %
<b>BY</b> Bayern/Bavaria	2,222	6,077	8,125	16,424	9,4 %
<b>BE</b> Berlin	3,200	0,000	0,796	3,996	2,3 %
<b>BB</b> Brandenburg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>HB</b> Bremen	0,000	0,000	1,547	1,547	0,9 %
<b>HH</b> Hamburg	0,940	0,000	1,445	2,385	1,4 %
<b>HE</b> Hessen/Hesse	2,495	1,044	12,743	16,282	9,3 %
<b>MV</b> Mecklenburg-Vorpommern/ Mecklenburg-West-Pomerania	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>NI</b> Niedersachsen/ Lower Saxony	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>NW</b> Nordrhein-Westfalen/ North Rhine Westphalia	0,912	0,000	0,670	1,582	0,9 %
<b>RP</b> Rheinland-Pfalz/ Rhineland Palatinate	0,000	0,000	0,330	0,330	0,2 %
<b>SL</b> Saarland	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>SN</b> Sachsen/Saxony	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>ST</b> Sachsen-Anhalt/Saxony-Anhalt	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>SH</b> Schleswig Holstein	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>TH</b> Thüringen/Thuringia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>Alle Bundesländer</b> <b>All Federal States</b>	<b>16,767</b>	<b>121,117</b>	<b>37,325</b>	<b>175,209</b>	<b>100,0 %</b>

**Tabelle 2** Regionale Zuordnung der zum Jahreswechsel 2015/16 im Bau befindlichen Verkehrstunnel

**Table 2** Regional distribution of the transportation tunnels under construction at the turn of the year 2015/16

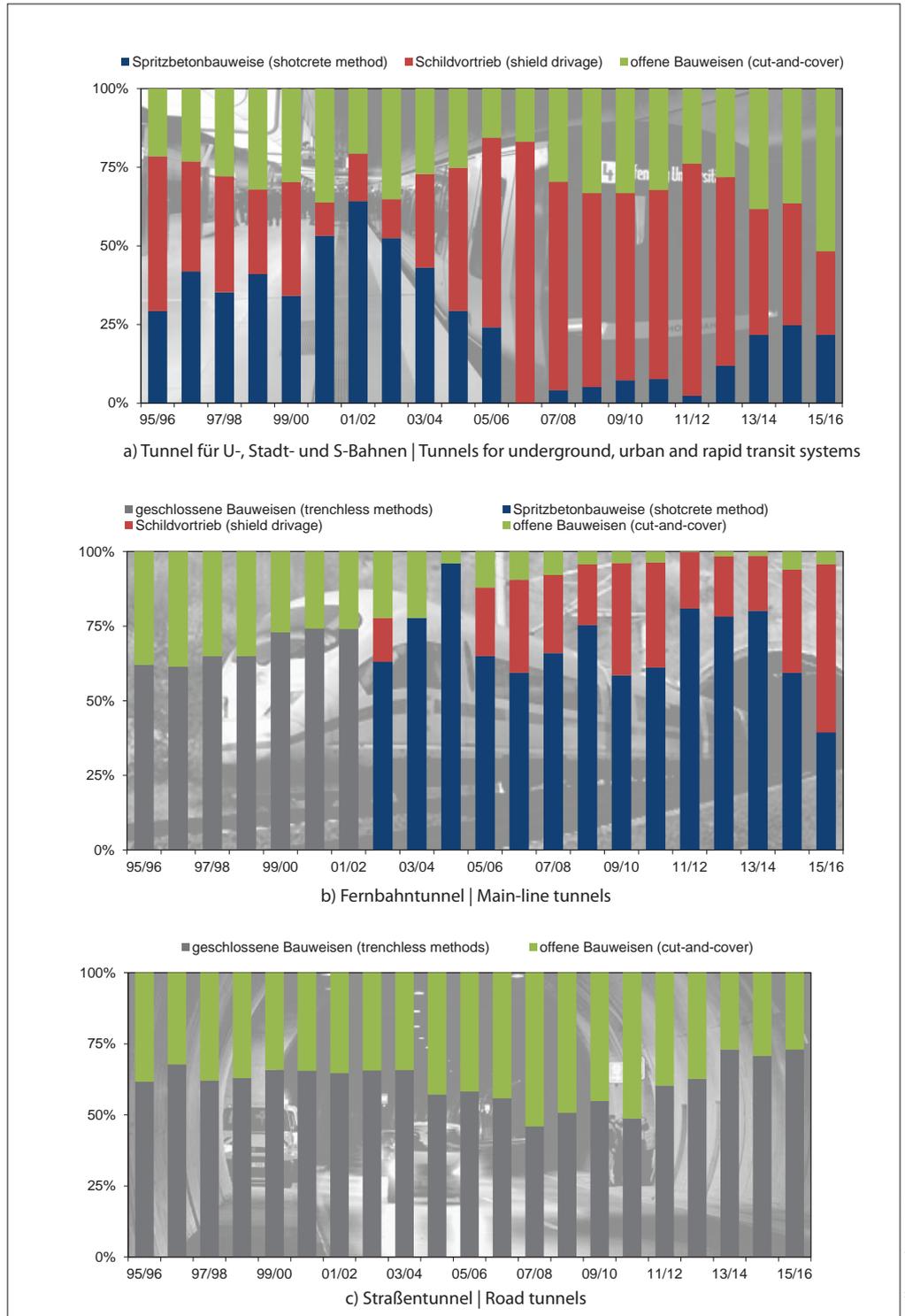
this, please refer to the comprehensive explanatory notes relating to the structures to be found in "Underground Construction in Germany 2010", containing a large number of examples presented in both illustrated and written form [6].

- This year, the main activities relating to **inner-urban rail tunnelling** (Table section US) are taking place in Stuttgart, where some 4.1 km of urban and rapid transit tunnels are under construction at the turn of the year 2015/2016. This is followed by Berlin (3.2 km), Karlsruhe (2.9 km), Frankfurt/Main (2.5 km) and Nuremberg (2.2 km). Further tunnel projects amounting to less than 2 km are underway in Hamburg and Dortmund.
- The length-related proportion of trenchless construction methods with regard to inner-urban rail tunnel construction amounted to 8.1 km at the end of 2015, accounting for about 48 % of the total national construction volume for Underground, urban and rapid transit rail systems (64 % the previous year). Of this total, almost 22 % was accounted for by shotcreting methods (25 % the previous year) and roughly 26 % (39 % the previous year) by shield driving. **Fig. 3a** provides a survey of the percentages accounted for by the various tunnelling methods. In this context, the diagram in **Fig. 4a** shows the length-related proportion of the different construction methods in Underground, urban and rapid transit rail construction during the last 20 years.
- The **main-line rail tunnels** listed in table segment B largely relate to works in conjunction with the Stuttgart 21 rail hub (**Fig. 2**). Of the tunnelling projects currently being implemented (a total of 121 km); some 46 km are accounted for by the major project "Stuttgart 21 rail hub" and some 58 km by the new Wendlingen–Ulm rail route. Further main-line tunnels are being produced in conjunction with the upgraded Hanau–Nantebach line and the upgraded/new Karlsruhe–Basle section. The tunnels on the new Ebersfeld–Erfurt line have for the most part been completed in their carcass state so that they drop out of these statistics, although the route itself is yet to become operational. 39 % of these main-line rail tunnel projects employ the shotcreting method, with tunnel boring machines (TBMs) used for a further 56 % of the current excavated volume (please also see **Fig. 4b**). As a result, TBMs have overtaken other methods in terms of construction volume for the first time in main-line rail construction.
- **Road tunnel construction** (section S of the table), like the two other transportation tunnel segments, has been subject to pronounced contracting fluctuations in recent years. This becomes clearly evident from the award curve in **Fig. 5** and above all, from the graphics pertaining to the award and length-related percentages of the different modes of transport in **Fig. 6**. The ratio of road tunnels built by trenchless means and by cut-and-cover stands at roughly 3:1 (please see **Fig. 4c**). In this connection, shotcreting predominates in the majority of cases as far as trenchless projects are concerned.

In the V and A sections of the table, relating to supply and disposal tunnels, only those of larger diameter – as initially explained – are

- Die im Tabellenteil B aufgeführten **Fernbahntunnel** betreffen zu einem wesentlichen Teil die Tunnelbaumaßnahmen im Großraum Stuttgart (**Bild 2**). Von den derzeit laufenden Bau- maßnahmen (insgesamt 121 km) entfallen gut 46 km auf das Großprojekt „Bahnhof Stuttgart 21“ und ca. 58 km auf die NBS Wendlingen–Ulm. Weitere Fernbahntunnel sind im Zuge der ABS Hanau–Nantenbach sowie der ABS/NBS Karlsruhe–Basel im Bau. Die Tunnel der NBS Ebensfeld–Erfurt sind größtenteils im Rohbau fertiggestellt und entfallen somit aus dieser Statistik, obwohl die Strecke selbst noch nicht in den Betrieb übergegangen ist. Die Fern- bahntunnel werden zu 39 % in Spritzbetonbauweise erstellt, bei 56 % des aktuellen Auffahrvolumens kommen Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) zum Einsatz (vgl. **Bild 4b**). Damit stellen erst- malig in dieser Statistik die maschinellen Vortriebe den überwiegenden Anteil am Bauvolumen im Bereich Fern- bahn.
- Der **Straßentunnelbau** (Ta- bellenteil S) unterlag in den letzten Jahren ebenso wie die beiden anderen Ver- kehrsbereiche starken Verga- beschwankungen. Dies lässt sich aus der Vergabekurve in **Bild 5** und vor allem aus der Blockgrafik zu den längen- bezogenen Anteilen der Ver- kehrsträger am Vergabevo- lumen in **Bild 6** ableiten. Das Verhältnis der geschlossenen zu den offenen Bauweisen im Straßentunnelbau liegt bei etwa 3:1 (vgl. **Bild 4c**). Bei den geschlossenen Bauwei- sen kommt fast ausschließ- lich die Spritzbetonbauweise zur Anwendung.

listed. The smallest cross-sections dealt with are roughly 1.0 m in diameter, the largest around 3–4 m. All the supply and disposal tunnels processed at the turn of the year are driven by trenchless means. In the case of wastewater disposal tunnels, pipe-jacking continues to prevail as it has in previous years. Furthermore, in compiling drain/ sewer statistics, it should be pointed out that only main drains are



4 Anteile der Bauweisen im Verkehrstunnelbau der letzten 20 Jahre bezogen auf die Auffahrlänge  
Methods applied for transportation tunnel construction during the last 20 years, related to driven length

In den Tabellenteilen V und A für die Ver- und Entsorgungstunnel sind – wie eingangs ausgeführt – nur solche

Jahreswechsel Turn of the year	2015/16				2014/15 (zum Vergleich / to compare)				2013/14 (zum Vergleich / to compare)			
	Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]		Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]		Auffahrlänge Driven Length [km]		Ausbruchvolumen Excavated volume [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	
<b>ZUS:</b> U-, Stadt-, S-Bahn Underground, urban and rapid transit system	54,683	(8,240)	4.295,0	(1.214,0)	48,243	(14,506)	4.295,0	(1.214,0)	36,104	(4,900)	3.234,0	(904,0)
<b>ZB:</b> Fernbahn Main-line railway	45,443	(16,900)	5.253,0	(275,0)	46,565	(2,200)	5.253,0	(275,0)	64,725	(0,9230)	6.657,0	(59,0)
<b>ZS:</b> Straßen Road	111,381	(4,340)	17.894,0	(1.539,0)	117,572	(11,223)	17.894,0	(1.539,0)	130,593	(5,161)	20.155,0	(609,0)
<b>Verkehrstunnel Traffic tunnels</b>	<b>211,507</b>	<b>(29,480)</b>	<b>27.442,0</b>	<b>(3.028,0)</b>	<b>212,380</b>	<b>(27,929)</b>	<b>27.442,0</b>	<b>(3.028,0)</b>	<b>231,422</b>	<b>(10,991)</b>	<b>30.046,0</b>	<b>(1.572,0)</b>
<b>ZA:</b> Abwasser Sewage	0,000	(0,000)	0,0	(0,0)	0,000	(0,000)	0,0	(0,0)	0,000	(0,000)	0,0	(0,0)
<b>ZV:</b> Versorgung Utility lines	6,700	(0,000)	1,4	(1,4)	4,200	(4,200)	1,4	(1,4)	0,000	(0,000)	0,0	(0,0)
<b>ZSo:</b> Sonstiges Others	4,430	(0,000)	499,0	(0,0)	5,630	(0,000)	499,0	(0,0)	5,630	(0,000)	499,0	(0,0)
<b>Gesamt Total</b>	<b>222,637</b>	<b>(29,480)</b>	<b>27.942,4</b>	<b>(3.029,4)</b>	<b>222,210</b>	<b>(32,129)</b>	<b>27.942,4</b>	<b>(3.029,4)</b>	<b>237,052</b>	<b>(10,991)</b>	<b>33.324,4</b>	<b>(1.572,0)</b>
<b>ZGS:</b> Grundsanierung von Tunneln Redevelopments of tunnels	24,775	(12,613)			13,771	(5,282)			12,732	(6,108)		

Die Klammerwerte geben die zum betrachteten Jahreswechsel neu erfassten Tunnelbaukilometer bzw. m<sup>3</sup> Ausbruchvolumen an  
The values in brackets relate to the newly compiled tunnel construction km and m<sup>3</sup> of excavated volume at the given turn of the year

**Tabelle 3** Auffahrlänge und Ausbruchvolumen der jeweils zum Jahreswechsel projektierten Tunnel (künftiger Bedarf)

**Table 3** Driven length and excavated volume of the tunnels projected at the turn of the year (future requirement)

mit größerem Durchmesser aufgelistet. Die kleinsten hier erfassten Querschnitte weisen einen Durchmesser von etwa 1,0 m auf, die größten einen von 3 bis 4 m. Alle zum Jahreswechsel erfassten Ver- und Entsorgungstunnel werden unterirdisch erstellt. Bei den Abwassertunneln überwiegt von den Bauverfahren her – wie in den Vorjahren – die Rohrvorpressung. Generell ist zu der Zusammenstellung der Abwassertunnel außerdem anzumerken, dass es sich hier nur um größere Hauptsammler handelt. Der weitaus größere Anteil, meist in offener Bauweise oberflächennah erstellter Sammler mit kleineren Querschnitten, ist hier nicht aufgeführt, da er im Allgemeinen nicht zum Tunnelbau gerechnet wird.

**Tabelle 2** und **Bild 7** geben Auskunft über die regionale Verteilung der laufenden Tunnelbauprojekte. Schwerpunktartig findet derzeit  $\frac{3}{4}$  des bundesweiten Verkehrstunnel-Bauvolumens im Bundesland Baden-Württemberg statt.

Wertet man für die Verkehrstunnel aus der Statistik der letzten Jahre die jeweils zum Jahreswechsel neu erfassten Auffahrlängen und Ausbruchvolumina vergleichend aus, so ergibt sich ein aufschlussreiches Bild über den Vergabeverlauf. Bild 5 lässt in diesem Zusammenhang den herausragenden Einfluss der Aus- und Neubaustrecken der DB AG erkennen und zeigt unverändert deutlich die Unstetigkeit in der Vergabe des Tunnelneubaus durch die

included here. The considerably greater part accounted for by drains with smaller cross-section, mostly driven close to the surface by means of cut-and-cover, is not listed here, as this is generally not classified as tunnelling.

**Table 2** and **Fig. 7** provide details of the regional distribution of ongoing tunnelling projects. At present round  $\frac{3}{4}$  of the volume of tunnels being built nationally on the transportation tunnel sector is accounted for by the federal state of Baden-Württemberg.

If one compares the newly obtained driven lengths and excavated volumes at the turn of the year for transportation tunnels based on the statistics of recent years, this provides a revealing picture of just how contracts are awarded. In this connection, Fig. 5 clearly shows the important influence of the DB's upgraded/new lines and displays the continuing fickleness on the part of public authorities in awarding new tunnelling contracts. With regard to main-line tunnels, following a steep increase in awarding contracts (mainly on account of the commissioning of "blocks" for the DB high-speed routes) the resultant years experienced an equally pronounced dip (please refer to Fig. 6). Fig. 5 also displays the average annual "completion rate", which amounts to around 30 km for all transportation tunnels over a period of 20 years.

öffentliche Hand. Im Bereich der Fernbahntunnel folgt auf einen steilen Vergabeanstieg (bedingt vor allem durch die „blockweise“ Vergabe im Bereich der DB-Schnellfahrstrecken) in den darauffolgenden Jahren meist ein ebenso steiler Rückgang (vgl. auch Bild 6). Aus Bild 5 ist auch die mittlere jährliche „Fertigungsrate“ ersichtlich, die für alle Verkehrstunnel und über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet bei etwa 30 km liegt.

## 2 Projektiertes Tunnelbauvolumen (künftiger Bedarf)

Das Ergebnis der Umfrage zu den konkret geplanten und in naher Zukunft zur Vergabe anstehenden Tunnelprojekte ist für die bauausführende Industrie und die Planungsbüros naturgemäß von besonderem Interesse. Es ist für den Vergabezeitraum ab 2016 in **Tabelle 3** dargestellt.

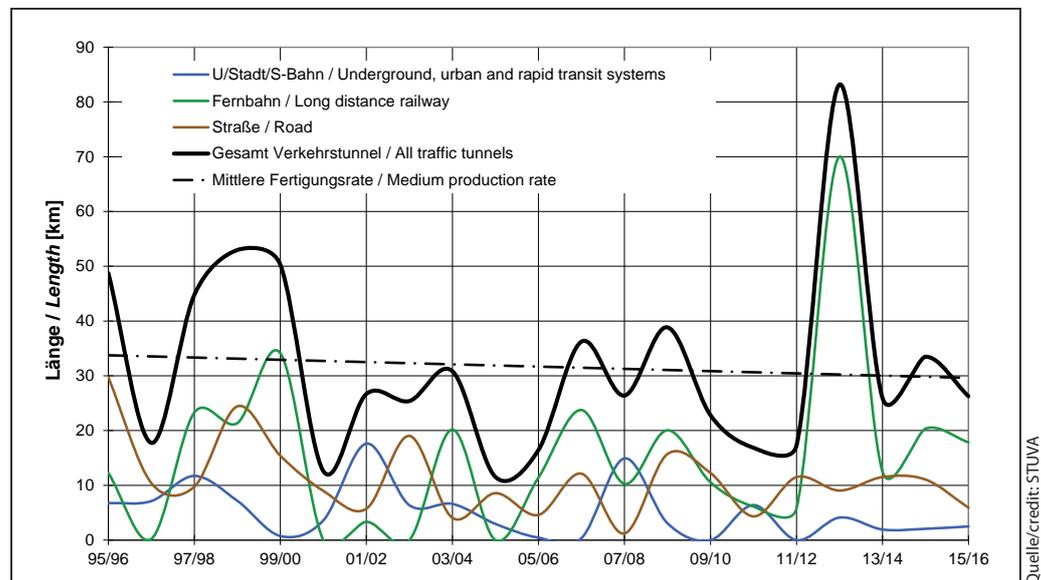
Bei einer Bewertung des Zahlenmaterials in Tabelle 3 fällt auf, dass sich das Planungsvolumen bei den **Verkehrstunneln** durch Vergabeeffekte insgesamt weiter abschwächt. Bei den **U-, Stadt- und S-Bahntunneln** ist erneut eine deutliche Zunahme der Projektierungen zu verzeichnen, wobei die öffentliche Hand auf der anderen Seite in kaum nennenswertem Umfang Projekte vergeben hat (vgl. auch Tabelle 1). Dies ist in erster Linie auf die weiter angespannten kommunalen Finanzhaushalte zurückzuführen. Unter den geplanten Projekten ragt nach wie vor das

## 2 Planned Tunnelling Projects (Future Requirements)

The results of the survey relating to confirmed tunnel projects and those due to be awarded in the near future are naturally of special interest to the construction industry and consultants. Table 3 shows the award period starting in 2016.

Examination of the data in **Table 3** clearly indicates that the planning volume for transportation tunnels has shown a further decrease.

There has again been a substantial increase in the number of **Underground, urban and rapid transit tunnels** without the state actually commissioning a substantial number of projects (please also see Table 1). This can mainly be attributed to the dearth of public funds. In this context, the planned volume for the city of Munich, comprising just about 30 km, is conspicuous among the projects still planned.



5 Vergabeverlauf im Verkehrstunnelbau der letzten 20 Jahre bezogen auf die Auffahrlänge  
Course of awards in tunnel construction during the last 20 years, related to driven length

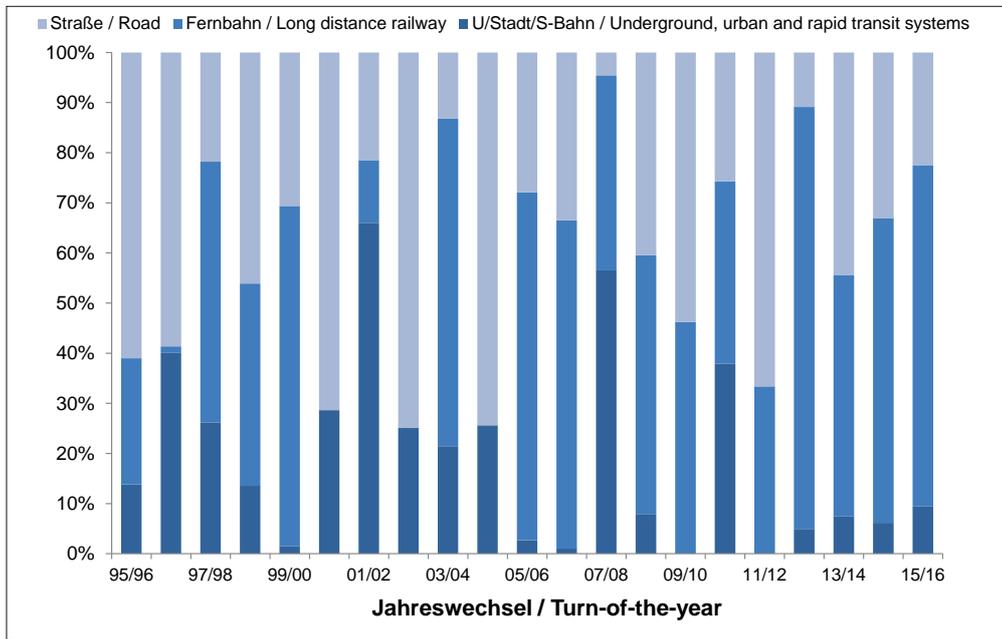
DESOI GmbH  
Gewerbestraße 16  
D-36148 Kalbach/Rhön

Tel: +49 6655 9636-0  
Fax: +49 6655 9636-6666  
info@desoi.de | [www.desoi.de](http://www.desoi.de)

**DESOI**<sup>®</sup>  
Hersteller von Injektionstechnik

## INJEKTIONSTECHNIK IM TUNNELBAU





Almost 10 km of tunnels are being planned for the Hamburg Metro (currently at the pre-planning stage). Approx. 4.4 km are planned for Frankfurt/Main, some 4.0 km in Stuttgart, for urban railways and rapid transit systems. Further tunnel construction schemes, albeit accounting for less than 3 km in each case, are scheduled for the cities of Nuremberg, Berlin, Düsseldorf and Dortmund.

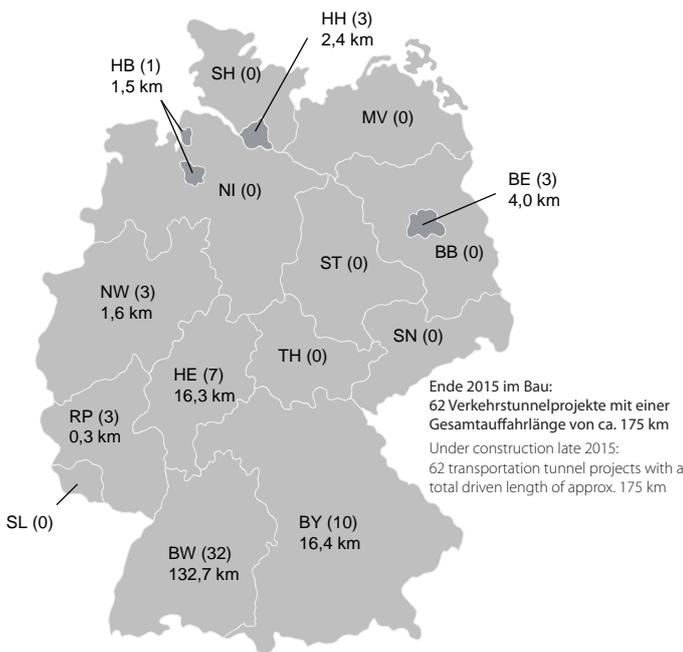
Regarding the planned volume of **main-line rail tunnels**, it should be noted that the bulk is accounted for by the tunnels approved for the new/upgraded Karlsruhe–Basle rail line (driven length: some 19 km). Some 8 km of tunnels are planned in conjunction with the new Rhine/Main–Rhine/Neckar route and the upgraded Nuremberg–Ebensfelde section. A further 5 km of main-line tunnels are still to be awarded for the Stuttgart 21 rail hub project.

The planned volume of projected **road tunnels** has again decreased slightly, due primarily to a lack of awards (please see Table 1). On account of the German state’s revamped planning requirements,

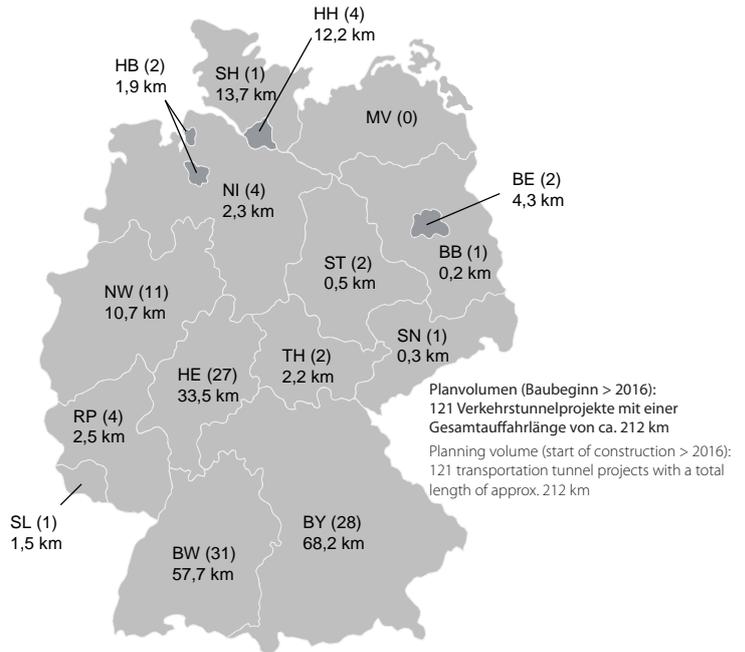
6 Vergabemäßige, auf die Länge bezogene Anteile der Verkehrsträger im Verkehrstunnelbau der letzten 20 Jahre  
 Transportation tunnel construction during the last 20 years: Contract-related and length-related proportions concerning the mode of transport

Planvolumen der Stadt München mit knapp 30 km heraus. In Hamburg sind knapp 10 km Tunnelstrecke für die U-Bahn projektiert (z. T. in Vorplanung). In Frankfurt/Main sind ca. 4,4 km, in Stuttgart gut 4,0 km Tunnelstrecke für Stadtbahn und S-Bahn

Planvolumen der Stadt München mit knapp 30 km heraus. In Hamburg sind knapp 10 km Tunnelstrecke für die U-Bahn projektiert (z. T. in Vorplanung). In Frankfurt/Main sind ca. 4,4 km, in Stuttgart gut 4,0 km Tunnelstrecke für Stadtbahn und S-Bahn



7 Längenmäßige Zuordnung der im Bau befindlichen Verkehrstunnel auf die Bundesländer (vgl. Tabelle 2); in Klammern jeweils die Anzahl der gemeldeten Verkehrstunnelprojekte  
 Length-related classification according to federal states (please see Table 2) for transportation tunnel projects under construction, with the number of registered transportation tunnel projects given in brackets



8 Längenmäßige Zuordnung der geplanten Verkehrstunnel auf die Bundesländer (vgl. Tabelle 4); in Klammern jeweils die Anzahl der gemeldeten Verkehrstunnelprojekte  
 Length-related classification of planned transportation tunnels according to federal states (please see Table 4), with the number of registered transportation tunnel projects given in brackets

Quelle/Credit (3): STUVA

geplant. Weitere Tunnelbaumaßnahmen mit insgesamt jeweils weniger als 3 km Länge sind in den Städten Nürnberg, Berlin, Düsseldorf und Dortmund vorgesehen.

Beim Planvolumen an **Fernbahntunneln** entfällt knapp die Hälfte (Vortrieblänge gut 19 km) auf bereits planfestgestellte Tunnelbauwerke im Zuge der ABS/NBS Karlsruhe–Basel. Weitere jeweils ca. 8 km Tunnel sind im Zuge der NBS Rhein/Main–Rhein/Neckar und der ABS Nürnberg–Ebensfelde geplant. Weitere 5 km Fernbahntunnel warten im Projekt Bahnknoten Stuttgart 21 auf die Vergabe. Das Planvolumen bei den **Straßentunneln** hat sich weiter moderat verringert, was in erster Linie auf Vergabeeffekte zurückzuführen ist (vgl. Tabelle 1). In Folge der geänderten Bedarfsplanungen des Bundes hatte sich das Planvolumen bereits in den Vorjahren deutlich verringert.

Die in Tabelle 3 aufgeführten gut 111 km an geplanten Straßentunneln haben in der Regel mindestens das Stadium der Planfeststellung erreicht. Das trifft in jedem Fall für die Tunnel im Zuge der Bundesfernstraßen, d. h. für alle in der Baulast des Bundes stehenden Projekte zu.

Technische Einzelheiten zu den in Tabelle 3 erfassten Tunneln gehen aus den zugehörigen Detailtabellen [4] hervor. Sie sind vom Grundsatz her in gleicher Weise gegliedert wie die in

the scheduled volume has dipped considerably in recent years.

The 111 km of planned road tunnels listed in Table 3 have at least generally reached the planning approval stage. This applies principally to the tunnels on federal trunk roads, i.e. those for whose construction the federal government is responsible.

Technical details relating to the tunnels contained in Table 3 are available from the relevant detailed tables [4]. Essentially, these are structured in the same manner as the statistics on tunnel projects which are in the process of implementation, as presented in chapter 1. The same approach was selected to identify and differentiate the individual tunnel projects. However, the letter "Z" (*zukünftig*) has been added to make quite clear that the tunnel construction scheme in question is a "future" one. As a consequence, no details are provided concerning the responsible construction companies, whereas these can be found in the statistics on current tunnel projects.

Generally speaking, as far as assessing the detailed data relating to future tunnel projects is concerned, it must be observed that alterations can occur during the planning approval and award stages, above all, due to special proposals, relating primarily to the tunneling method. Various clients expressly pointed this out. Alterations can of course also result with respect to the probable starting and completion dates for projects.

# A.S.T. Bochum

**Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik**

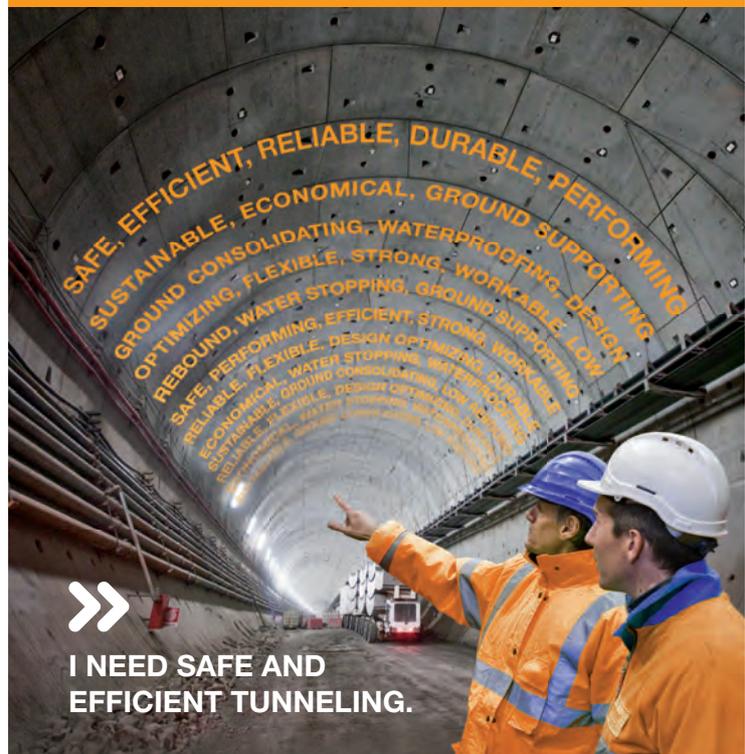
**Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik für Beton, Wasser und Pressluft**

**A.S.T. Bochum GmbH**  
Kolkmannskamp 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



**MASTER®  
BUILDERS**  
SOLUTIONS



**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.master-builders-solutions.com](http://www.master-builders-solutions.com)

**BASF**  
We create chemistry

Abschnitt 1 erläuterten Tabellen der in Ausführung befindlichen Tunnelprojekte. Für die kennzeichnende und unterscheidende Nummerierung der einzelnen Tunnelprojekte wurde dieselbe Systematik gewählt. Ergänzt ist nur der jeweils vorangestellte Kennbuchstabe „Z“ zur Verdeutlichung, dass es sich um „zukünftige“ Tunnelbaumaßnahmen handelt. Dementsprechend fehlen auch Angaben zu den ausführenden Baufirmen, wie sie in der Statistik der laufenden Tunnelprojekte enthalten sind.

Allgemein ist bei einer Bewertung der Detailangaben zu den künftigen Tunnelbauprojekten zu beachten, dass sich im Zuge der Planfeststellung bzw. der Vergabe z. B. aufgrund von Sondervorschlägen Änderungen vor allem in der Frage des anzuwendenden Vortriebsverfahrens ergeben können. Hierauf wurde von verschiedenen Bauherren ausdrücklich hingewiesen. Änderungen können sich natürlich auch bezüglich der voraussichtlichen Anfangs- und Endtermine der Bauausführung einstellen.

Für die Bauindustrie und die planenden Ingenieure ist bezüglich der künftigen Tunnelprojekte wiederum von besonderem Interesse, in welcher Region diese sich schwerpunktmäßig befinden. Entsprechende Angaben enthalten **Tabelle 4** und **Bild 8** mit einer Gliederung nach den Bundesländern.

### 3 Laufende und geplante Grundsanierungen von Tunneln

Bei alten **Eisenbahntunneln** stehen in den kommenden Jahren z. T. umfangreiche Teil- und Vollsanierungen an. Diese Maßnahmen erfordern in der Regel ganz besondere organisatorische und logistische Überlegungen, vor allem, wenn sie bei laufendem Bahnbetrieb durchzuführen sind [7]. Beispiele bereits durchgeführter Vollsanierungen sind der Frauenberger und der Kupferheck Tunnel auf der Nahestrecke Bingen–Saarbrücken sowie die Tunnel Langenau und Hollerich auf der Lahnstrecke Wetzlar–Niederlahnstein bei Nassau. Diese Strecken gingen in den Jahren 1860 bzw. 1862 in Betrieb. Neben den laufenden Grundsanierungen über eine Gesamtlänge von derzeit etwa 6 km sollen in näherer Zukunft weitere knapp 13 km grundsaniert werden. Auch bei den **Straßentunneln** sind zunehmend bauliche Maßnahmen erforderlich, einerseits um die Grundsubstanz zu erhalten, andererseits um den betriebs- und sicherheitstechnischen Anforderungen gerecht zu werden. Dies kann z. B. eine Betonsanierung der Innenauskleidung oder der nachträgliche Bau eines Flucht- oder Rettungsstollens sein [8]. Zum Umfragezeitpunkt wurden etwa 4 km Straßentunnel grundsaniert bzw. baulich nachgerüstet. Die Sanierung bzw. Nachrüstung weiterer knapp 12 km Straßentunnelstrecke ist konkret geplant.

Einzelheiten zu laufenden Grundsanierungen sind im Tabellenteil „GS“ bzw. „ZGS“ für geplante Grundsanierungen zusammengestellt. 

Bundesland Federal state	Tunnellängen Length [km]				Anteil Shares [%]
	ZUS	ZB	ZS	Gesamt	
<b>BW</b> Baden-Württemberg	4,044	25,018	28,686	57,748	27,3 %
<b>BY</b> Bayern/Bavaria	32,348	7,502	28,325	68,175	32,2 %
<b>BE</b> Berlin	2,086	0,000	2,200	4,286	2,0 %
<b>BB</b> Brandenburg	0,000	0,000	0,150	0,150	0,1 %
<b>HB</b> Bremen	0,000	0,000	1,881	1,881	0,9 %
<b>HH</b> Hamburg	9,600	0,000	2,610	12,210	5,8 %
<b>HE</b> Hessen/Hesse	4,395	12,923	16,203	33,521	15,8 %
<b>MV</b> Mecklenburg-Vorpommern/ Mecklenburg-West Pomerania	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0 %
<b>NI</b> Niedersachsen/ Lower Saxony	0,000	0,000	2,320	2,320	1,1 %
<b>NW</b> Nordrhein-Westfalen/ North Rhine Westphalia	2,210	0,000	8,450	10,660	5,0 %
<b>RP</b> Rheinland-Pfalz/ Rhineland Palatinate	0,000	0,000	2,452	2,452	1,2 %
<b>SL</b> Saarland	0,000	0,000	1,500	1,500	0,7 %
<b>SN</b> Sachsen/Saxony	0,000	0,000	0,300	0,300	0,1 %
<b>ST</b> Sachsen-Anhalt/Saxony-Anhalt	0,000	0,000	0,457	0,457	0,2 %
<b>SH</b> Schleswig Holstein	0,000	0,000	13,668	13,668	6,5 %
<b>TH</b> Thüringen/Thuringia	0,000	0,000	2,179	2,179	1,0 %
<b>Alle Bundesländer</b> <b>All Federal States</b>	<b>54,683</b>	<b>45,443</b>	<b>111,381</b>	<b>211,507</b>	<b>100,0 %</b>

**Tabelle 4** Regionale Zuordnung der zum Jahreswechsel 2015/16 projektierten Verkehrstunnel (künftiger Bedarf)

**Table 4** Regional distribution of the transportation tunnels projected at the turn of the year 2015/16 (future requirement)

It is also of interest for the construction industry and the consultants involved to be aware of the regions for which implementation of the planned tunnel projects is mainly scheduled. **Table 4** and **Fig. 8** show the relevant details, categorised by federal states.

### 3 Current and future Tunnel Modernisation Plans

To an increasing extent, partial and complete refurbishing schemes are now being scheduled for old **rail tunnels** in the years ahead. Generally speaking, such measures call for special organisational

#### Literatur/References

- [1] <http://www.ita-aites.org>
- [2] Haack, A.: Tunnelbauvolumen in der Bundesrepublik Deutschland; Straßen- und Tiefbau 33 (1979) 10, S. 33-40
- [3] Schäfer, M.: Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2014/2015), Analyse und Ausblick; Tunnel 34 (2015) 8, S. 22-33
- [4] <http://www.stuva.de/?id=statistik>
- [5] Aktuelle statistische Angaben des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zum Tunnelbau im Zuge der Bundesfernstraßen (Stand Frühjahr 2016)
- [6] Unterirdisches Bauen Deutschland 2010 – Underground Construction Germany 2010; Hrsg. von der STUVA und dem Deutschen Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB) zur STUVA-Tagung ,09 in Hamburg, Dez. 2009
- [7] Sachstandsbericht „Sanierung von Eisenbahntunneln“; erstellt vom STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“; Hrsg.: DB AG, ÖBB AG, SBB AG, STUVA e.V.; 1. Dez. 2011; Bauverlag BV GmbH, Gütersloh.
- [8] Sachstandsbericht „Instandsetzung von Straßentunneln“; erstellt vom STUVA-Arbeitskreis „Tunnelinstandsetzung“; Hrsg.: ASFINAG, ASTRA, STUVA e.V.; 1. Dez. 2015; Ernst & Sohn Verlag GmbH, Berlin.

Detaillierte Tabellen der zum Jahreswechsel 2015/16 im Bau befindlichen Tunnelprojekte können auf den Internet-Seiten der STUVA abgerufen werden: [www.stuva.de/?id=statistik](http://www.stuva.de/?id=statistik)

Detailed tables for the tunnel projects under construction at the turn of the year 2015/16 can be obtained from STUVA's internet pages: [www.stuva.de/?id=statistik](http://www.stuva.de/?id=statistik)

and logistical provisions, particularly if these projects are to be implemented without causing disruption to rail traffic [7]. Recent examples of this are provided by the complete renovation of the Frauenberg and Kupferheck tunnels on the Nahe valley line between Bingen and Saarbrücken as well as the Langenau and Hollerich tunnels on the Lahn valley line between Wetzlar and Niederlahnstein at Nassau. These lines were originally opened in 1860 and 1862 respectively. In the near future, comprehensive modernisation and/or cross-sectional enlargement of some 13 km of tunnel is scheduled in addition to the around 6 km already being accomplished.

Refurbishing measures are increasingly becoming more essential for **road tunnels** as well, first of all to protect the basic structure, quite apart from complying with operational and safety technical requirements. This can involve replacing the concrete for the inner lining or subsequently adding an evacuation or rescue tunnel [8]. At the time of the survey roughly 4 km of road tunnels were in the process of being redeveloped or retrofitted. Modernisation or retrofitting of a further 12 km or so of road tunnels has been definitely planned.

Details on ongoing renovation schemes are compiled in the table section "GS" or "ZGS" relating to scheduled renovations. 

## 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, sift-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](mailto:europe@flexco.com)



Partners in Productivity

[www.flexco.com](http://www.flexco.com)



**BAUER MASCHINEN**

**Separationstechnik für die Entwässerung und Abscheidung von Feststoffpartikeln aus Bohrspülungen - Alles aus einer Hand!**

- Komplette Separationsanlagen
- Siebmaschinen und Hydrozyklone
- Dekanterzentrifugen
- Kammerfilterpressen
- Flockmittellöseanlagen
- Eindicker und Rührwerksbehälter
- Pump- und Fördertechnik

MAT Mischanlagentechnik  
Zweigniederlassung der BAUER Maschinen GmbH  
Tel.: +49 8323 9641-0, Fax: +49 8323 9641-650  
[mat@mat-oa.de](mailto:mat@mat-oa.de), [www.mat-oa.de](http://www.mat-oa.de)

## Entwicklung neuer Messtechnologien für maschinelle Vortriebe

Effiziente Messtechnologien sind eine essenzielle Voraussetzung für die erfolgreiche Abwicklung von Tunnelgroßprojekten. Die aktuelle Realisierung solcher Projekte befeuert die Entwicklung neuer Messtechnologien und die Optimierung vorhandener. Gegenwärtige Innovationen fokussieren speziell den Vortriebsbereich von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM). Im Beitrag näher betrachtet werden daher ein Verfahren zur kontinuierlichen Diskenkraftmessung, die geologische 3D-Dokumentation der TVM-Ortsbrust mittels eines Kamerasystems und ein 3D-Laserscannersystem für das Monitoring des Tübbingausbaus. Die neuen Messtechnologien bieten ein reiches Forschungsfeld und tragen zu einem tieferen Verstehen der Interaktion zwischen TVM und Gebirge bei.

## New Measuring Technologies for mechanised Tunnelling

Efficient measuring technologies represent an essential prerequisite for successfully concluding tunnel projects. Ongoing accomplishment of such projects spurs on the development of new measuring technologies and the optimisation of existing ones. Current innovations focus particularly on the driving area of tunnel boring machines (TBMs). This article thus concentrates on a method for the continuous measurement of cutting disc forces, the geological 3D documentation of the TBM face, using a camera system, and a 3D laser scanner system for monitoring the tunnel lining. The new measuring technologies provide a rich field of research and contribute towards a deeper understanding of the interaction between TBM and rock.

---

**Dipl.-Ing. Robert Wenighofer, Dipl.-Ing. Paul Gehwolf**, Lehrstuhl für/Chair of Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Österreich/Austria  
**Gerhard Six BSc**, ARGE Tulfes Pfons, Strabag AG, Österreich/Austria  
**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler**, Lehrstuhl für/Chair of Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Österreich/Austria

---

### Einleitung

Bei Großprojekten wie Koralmtunnel, Semmering-Basistunnel oder Brenner Basistunnel kommen verstärkt Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) zum Einsatz, da sich mit ihnen höhere Vortriebsgeschwindigkeiten erreichen lassen. Die Verwendung von TVM birgt jedoch immer noch einiges an Optimierungspotential. Dieses beinhaltet beispielsweise eine verbesserte Überwachung der Schneidprozesse und -werkzeuge, eine objektivere, digitale Dokumentation der Ortsbrust und die bessere, weil flächenhafte Erfassung von Verformungen des Tübbingausbaus. Der gegenständliche Beitrag stellt neue Messtechnologien zur Hebung dieser Potentiale vor und legt deren Nutzen dar.

### Diskenkraftmessung

Die zunehmende Optimierung der Schneidprozesse für die erfolgreiche und wirtschaftliche Abwicklung gegenwärtiger großer, maschinell vorgetriebener Tunnelbauprojekte beinhaltet vermehrt eine messtechnische Überwachung der

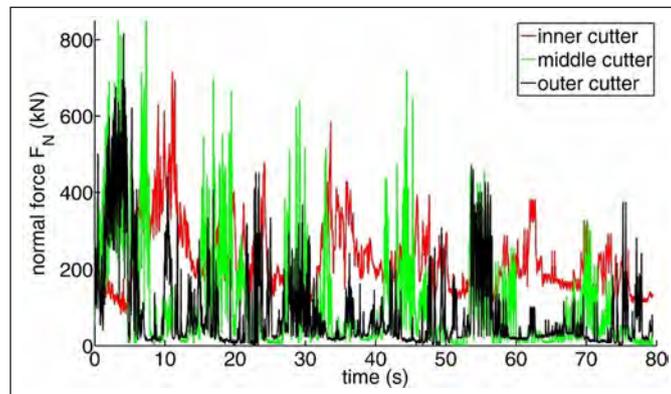
### Introduction

Tunnel boring machines (TBMs) are increasingly being applied for major projects such as the Koralm, Semmering Base or Brenner Base Tunnels, as they permit higher rates of advance to be achieved. However, the use of TBMs still involves ample optimisation potential. This relates for example to improved monitoring of the cutting process and the tools involved, a more objective, digital documentation of the face as well as better and more comprehensive evaluation of the deformations of the tunnel lining. This report puts forward new measuring technologies devised to increase this potential and points out its advantages.

### Measuring Disc Forces

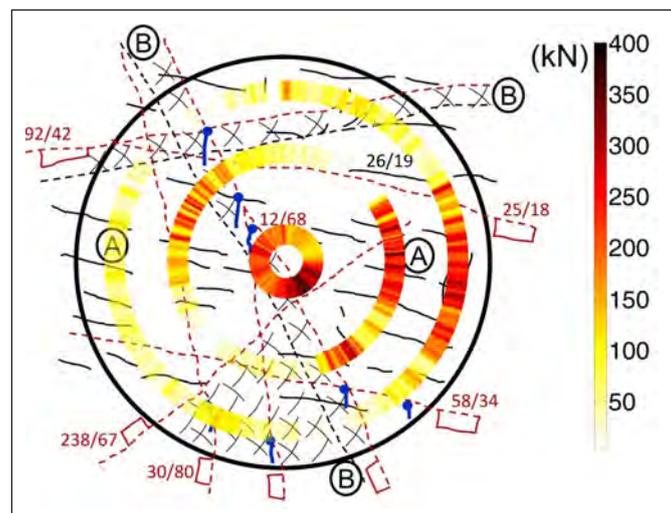
Increasing optimisation of the cutting processes for the successful and economic accomplishment of current major, mechanised tunnelling projects involves measurement technical monitoring of the cutting tools to an ever greater extent. Cutter discs represent the most important extraction tools for TBMs in hard rock. They roll in

Schneidwerkzeuge. Disken sind die wichtigsten Abbauprozesse von TVM im Hartgestein. Sie rollen in konzentrischen Kreisen über die Ortsbrust, bewirken auf Grund der Anpressdrücke Risse im Gebirge und somit den Lösevorgang. Jüngste Forschungsarbeiten an der Montanuniversität Leoben führten zur Entwicklung von Schneidkraftmesssystemen für mit Disken ausgestattete Vollschnittmaschinen. Diese stellen kontinuierlich Messwerte der an den Disken auftretenden Kräfte bereit. Erst mit Bekanntheit der auf die Disken einwirkenden Belastungen können Faktoren für Lebensdauer und Materialermüdung von Schneidwerkzeugen bestimmt und Verschleißprognosen weiterentwickelt werden [1] [2]. Für die Abschätzung der Diskenkräfte wird herkömmlicherweise die globale Vorschubkraft der Hauptvorschubpressen unter Berücksichtigung der Schildmantelreibung auf die Anzahl der Disken aufgeteilt. Zugleich zeigen in situ Tests unregelmäßige Belastungen der Disken im Schneidprozess an [3] [4]. Diese Erkenntnis wird durch die Daten der Messungen bestätigt, die am Baulos KAT2 des Koralmtunnels durchgeführt wurden. Sie zeigen eine hohe Streuung auftretender Diskenkräfte, die ein Vielfaches der nominellen Last erreichen (Bild 1) [2]. Die gemessenen Diskenkräfte werden zur Charakterisierung des Gebirges verwendet. Beispielsweise kann anhand vorhandener Penetrationsmodelle wie des CSM-Modells oder nach Gehring auf die einaxiale Druckfestigkeit rückgeschlossen werden [1]. Testmessungen von Entacher [2] unterstützen zudem die ingenieurgeologische Dokumentation der Ortsbrust. Vergleiche der Diskenkräfte und der Ortsbrustkartierung liefern eindeutige Korrelationen, die sich auch in Schneidversuchen wiederfinden. So übersteigen die Schneidkräfte senkrecht auf die Schieferung/Schichtung jene parallel dazu. Dieses Faktum spiegelt Bild 2 wider, wo höhere Diskenkräfte quer zur eingetragenen Schieferung hervortreten. Zerlegte Zonen, markiert mit B, weisen geringe bis gar keine Belastungen der Disken auf. In den aktuellen Forschungen betreffend das Diskenkraftmonitoring übernimmt die



1 Kraftverläufe dreier mit Messsensorik bestückter Disken der in-situ-Messung am Baulos KAT2 des Koralmtunnels

Force paths of three discs fitted with measurement sensors for in situ measurement in the Koralm Tunnel, contract section KAT2



2 Ergebnisse der Schneidkraftmessung, bezogen auf die hinterlegte Ortsbrustkartierung

Results of cutting force measurement superimposed on the face mapping

en bestätigt, die am Baulos KAT2 des Koralmtunnels durchgeführt wurden. Sie zeigen eine hohe Streuung auftretender Diskenkräfte, die ein Vielfaches der nominellen Last erreichen (Bild 1) [2]. Die gemessenen Diskenkräfte werden zur Charakterisierung des Gebirges verwendet. Beispielsweise kann anhand vorhandener Penetrationsmodelle wie des CSM-Modells oder nach Gehring auf die einaxiale Druckfestigkeit rückgeschlossen werden [1]. Testmessungen von Entacher [2] unterstützen zudem die ingenieurgeologische Dokumentation der Ortsbrust. Vergleiche der Diskenkräfte und der Ortsbrustkartierung liefern eindeutige Korrelationen, die sich auch in Schneidversuchen wiederfinden. So übersteigen die Schneidkräfte senkrecht auf die Schieferung/Schichtung jene parallel dazu. Dieses Faktum spiegelt Bild 2 wider, wo höhere Diskenkräfte quer zur eingetragenen Schieferung hervortreten. Zerlegte Zonen, markiert mit B, weisen geringe bis gar keine Belastungen der Disken auf. In den aktuellen Forschungen betreffend das Diskenkraftmonitoring übernimmt die

concentric circles over the face, cause cracks in the rock due to contact pressure thus triggering the loosening process. Recent research work at the Montanuniversität Leoben led to the development of cutting force measuring systems for full-face excavation machines equipped with discs. These provide continuous measuring values for the forces acting on the discs. Factors relating to the service life and material fatigue of cutting tools can first be ascertained and wear predictions further developed only after the loads acting on the discs are known [1] [2]. To estimate the disc forces normally the global thrusting force of the main thrusting jacks less the shield jacket friction is divided by the number of discs. At the same time in situ tests indicate irregular loads affecting the discs during the cutting process [3] [4]. This recognition is confirmed by the data from the measurements, carried out in contract section KAT2 of the Koralm Tunnel. They revealed a high spread for the disc forces that occurred, far in excess of the nominal load (Fig. 1) [2].

The measured disc forces are applied to characterise the rock. For example, the uni-axial compressive strength can be determined on the basis of existing penetration models such as the CSM model or according to Gehring [1]. In addition, test measurements by Entacher [2] back up the engineering geological documentation for the face. Comparisons of the disc forces and the face mapping provide definitive correlations, which are also reflected by cutting tests. Thus the cutting forces perpendicularly to the schistosity/stratification exceed those parallel to them. This fact is shown in Fig. 2, where high disc forces occur at right angles to the registered schistosity. Fragmented zones, marked with B, reveal only slight or no disc loads. In the current research projects relating to disc monitoring, face documentation takes over a kind of "translating" role for the disc characteristics.

## Face Monitoring

The stage of development for the engineering geological documentation of the face lies behind that of conventional driving in the

Ortsbrustdokumentation gewissermaßen die Rolle einer „Übersetzung“ der Kraftverläufe.

### Ortsbrustmonitoring

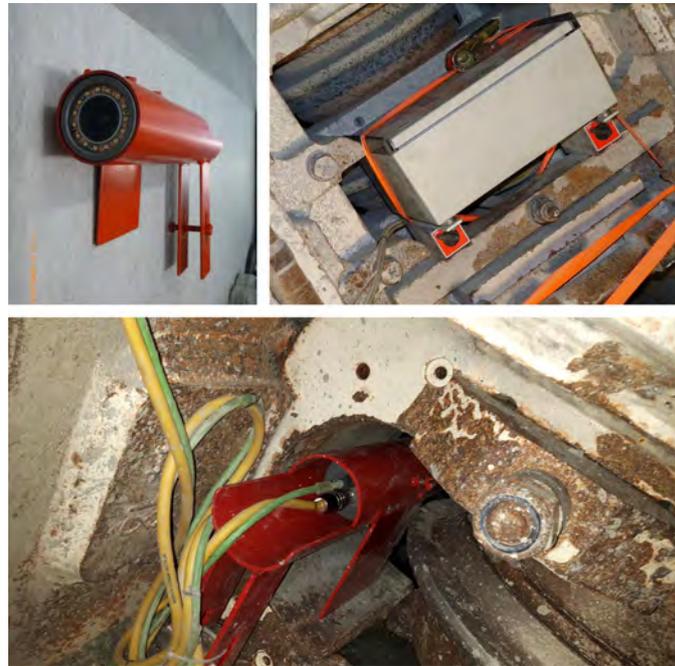
Der Entwicklungsstand der ingenurgeologischen Dokumentation der Ortsbrust liegt im kontinuierlichen Vortrieb infolge der Sichtbehinderungen hinter jener des konventionellen Vortriebs zurück. Der Bohrkopf verfügt über nur wenige Öffnungen zur Ortsbrust, was die Aussagekraft der ingenurgeologischen Kartierung durch den Geologen für die ganze Ortsbrust erheblich einschränkt.

Die kürzlich eingetretene Entwicklung von kamerabasierten Aufnahmesystemen verbessert die Situation. Die Prozessierung digitaler Aufnahmen spannt sich dabei von Stitchingmethoden (Zusammensetzung von Einzelaufnahmen) bis zur fotogrammetrischen Auswertung. Bei den ersten Systemen erfolgten Aufnahmen bei rotierendem Bohrkopf mit nur einer Kamera und überwiegend aus den Mannlöchern, weswegen nur geringe Anteile der Ortsbrust erfassbar waren [5] [6] [7].

Für die Anforderung möglichst großflächiger Ortsbrustaufnahmen wird in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der Geodata GmbH, Leoben, ein Mehrkameranystem entwickelt, das durch die Positionierung in den Diskenkästen hinsichtlich der Zahl der möglichen Kameras flexibel, in der Bauweise leicht und zudem montagefreundlich ist.

Die Aufnahmeeinheit setzt sich aus einer Steuereinheit (**Bild 3**, rechts oben) und einer Kameraeinheit (Bild 3, unten und links oben) zusammen. Die Steuereinheit wird für die Dauer einer Aufnahme in den Kästen der Doppeldisken untergebracht, um ein konstantes Bezugssystem für die Bohrkopffrotation zu erhalten. Der eingesetzte Kameratyp erzielt einen Öffnungswinkel von zirka 85 Grad. Optik und Beleuchtung im Verbund erlangen eine Schärfentiefe, die die Notwendigkeit den Bohrkopf zurückziehen minimiert. Für die Montage der Kamera in der Halterung genügt das Auskratzen der Diskenkästen. Die Mitnahme gewichtigen Materials zur Montage bzw. zur Wasserreinigung unterbleibt. Bild 3 zeigt das Kamerasystem, montiert am nach einer Diskenkontrolle gewaschenen Bohrkopf.

Für die Aufnahmen werden Wartungsschichten sowie weitere Vortriebspausen genutzt. Dies verleiht der Montagefreundlichkeit besondere Bedeutung. Dabei wird der Bohrkopf (**Bild 4**, rechts)



3 Am Bohrkopf montiertes Kamerasystem mit Steuereinheit (rechts oben) und Kameraeinheit (links oben und unten)

Camera system mounted in the cutter head with control unit (above right) and camera unit (above left and below)

Quelle/Credit: [20]

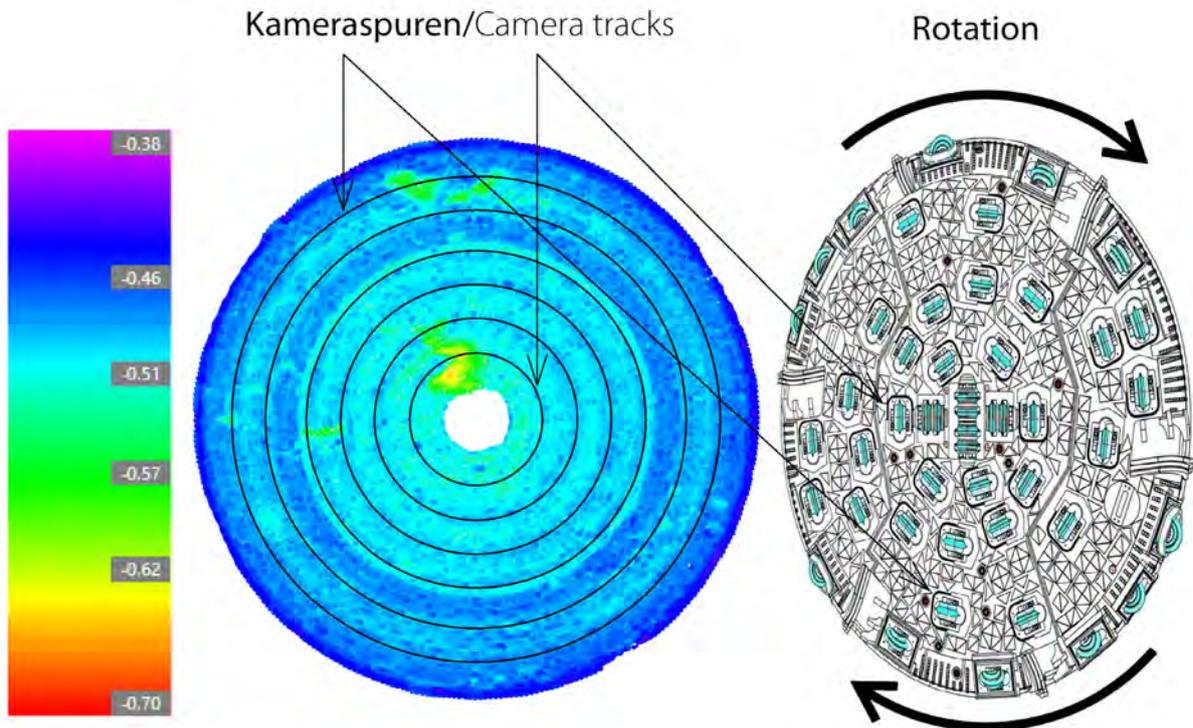
continuous tunnelling process on account of restrictions to visibility. The cutter head possesses only a few openings to the face, something which substantially restricts the validity of engineering geological mapping by geologists for the entire face.

The situation has been improved by the recent introduction of camera-based recording systems. In this connection, the processing of digital images ranges from stitching methods (combining individual images) right up to photogrammetric evaluation. Initial systems involved images taken while the cutter head was rotating using only a single camera largely shot from manholes so that only small sections of the face could be included [5] [6] [7].

In order to obtain as large as possible face images, a multi-camera system is being developed in collaboration with the Geodata GmbH, Leoben. This system is flexible regarding the number of possible cameras through its positioning in the disc housings. Furthermore, it is not particularly heavy and easy to assemble.

The recording device consists of a control unit (above right in **Fig. 3**) and a camera unit (Fig. 3, below and above left). The control unit is accommodated in the housings for the double discs for the duration of the recording so that a constant reference system is obtained for the cutter head rotation. The type of camera used possesses an aperture angle of around 85 degrees. The optics and lighting jointly attain a depth of field, which minimises the need for retracting the cutter head. For assembling the camera in the holder, the disc housings must first be scraped out. There is no need to transport heavy assembly material or material in order to clean with water. Fig. 3 displays the camera system, assembled on a cutter head, which was washed following the discs being checked.

Maintenance shifts as well as other breaks during tunnelling are used for the pictures. This stresses the significance of ease of assembly. For this purpose, the cutter head (**Fig. 4**, right) is rotated manually and the camera mounted in a further disc housing after each rotation. The sequence of the disc housings can be chosen ergonomically as required. Generally disc housings from neighbouring extraction chambers are chosen. The shot frequency of two images per second complies with photogrammetric demands with the images overlapping by 60 % of the given camera tracks (Fig. 4, left) in the inner disc housings as well as the outer ones [8]. The overlapping of the images between the different camera tracks can be varied according to the distance from the face.



Quelle/credit: Wenighofer

- 4 Links: farbcodierte Reliefdarstellung der Ortsbrust gemäß Farbskala in [m], Kameraspuren (schwarze konzentrische Kreise) und beginnender Kaliberbereich am Rand (dunkelblau); rechts: Bohrkopf mit blau eingefärbten Disken. Die Pfeile deuten auf die möglichen Montageorte der Kameraeinheit hin  
Left: colour-coded relief presentation of the face in keeping with colour scale in [m] left, camera tracks (black concentric circles) and incipient rim area at the edge (dark blue); right: cutter head with blue coloured discs. The arrows indicate possible assembly points for the camera unit

im manuellen Modus gedreht und nach jeder Drehung die Kamera in einem weiteren Diskenkasten montiert. Die Reihenfolge der Diskenkästen kann arbeitsergonomisch gewählt werden. In der Regel handelt es sich dabei um Diskenkästen benachbarter Abbaukammern. Die Aufnahmefrequenz von zwei Bildern je Sekunde erfüllt die Anforderungen der Fotogrammetrie von 60 Prozent Überlappung der Bilder der jeweiligen Kameraspuren (Bild 4, links) in den inneren Diskenkästen sowie bei den äußeren [8]. Die Überlappung der Bilder zwischen den einzelnen Kameraspuren lässt sich je nach Abstand von der Ortsbrust variieren.

Die Prozessierung der Bildsequenzen bedient sich der gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich der UAV (= Unmanned Aerial Vehicle). Softwarepakete wie PhotoScan [9] oder ORIENTAL [10] verfügen über eine ausgeprägte Automatisierbarkeit. Sie erlauben eine durchgehende Auswertungskette – vom Laden von Kameraparametern und Bildern über deren Verknüpfung bis zum Export

Current developments in conjunction with the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) relate to processing the image sequences. Software packages such as PhotoScan [9] or ORIENTAL [10] are capable of a high degree of automation. They cater for a continuous utilization chain – from loading camera parameters and images by way of interlinking right up to the export of orthophotos (Fig. 5, left as well as right providing details) and a digital elevation model (Fig. 4, left) without the help of an editor. This reduces the necessary amount of time for preparing processing to a few minutes.

A photogrammetric evaluation is essential for establishing the orientation of discontinuities and volume of local rock failures. It facilitates a largely objective engineering geological assessment of the face and makes cavities evident in the first place (Fig. 6, above). Once their location and depth are identified, the cutter head's asymmetric load can be examined. As the set-up of the discs is known, large-area recordings of the face make it possible to establish which and how many discs on the cutter head are not engaged simultaneously,

# RELUX<sup>®</sup>

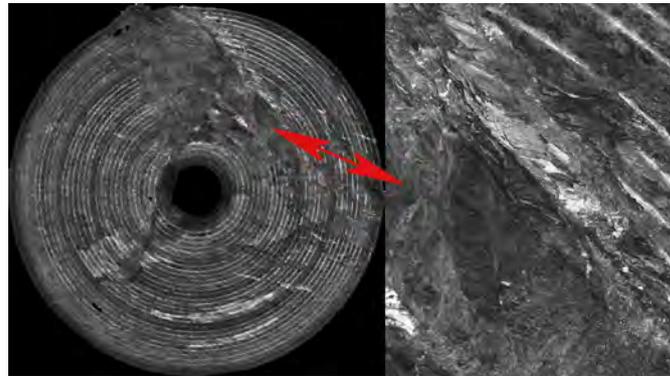
ReluxTunnel payware for professional tunnel lighting calculation and simulation [www.relux.com](http://www.relux.com)

von Orthofotos (**Bild 5**, links sowie rechts als Detail) und eines digitalen Geländemodells (Bild 4, links) ohne Zutun eines Bearbeiters. Dies begrenzt die Bearbeitungszeiten für die Vorbereitung der Prozessierung auf wenige Minuten.

Für eine Bestimmung der Raumstellung von Diskontinuitäten und Ausbruchsvolumina ist eine fotogrammetrische Auswertung unumgänglich. Sie ermöglicht eine weitgehend objektive ingenieurgeologische Beurteilung der Ortsbrust. Erst durch sie treten Ausbrüche hervor (**Bild 6**, oben). Die Feststellung ihrer Lage und Tiefe lässt eine Untersuchung der asymmetrischen Belastung des Bohrkopfs zu. Da die Konstellation der Disken bekannt ist, erlauben großflächige Ortsbrustaufnahmen zu bestimmen, welche und wie viele Disken des Schneidkopfs sich simultan nicht im Eingriff befinden, also die Ortsbrust nicht berühren. Dies bewirkt eine abrupt wechselnde und erhöhte Beanspruchung der restlichen Disken (Bild 6, unten). Diese Auswertungsmöglichkeiten vertiefen das Verständnis der von der Diskenkraftmessung erhaltenen Kraftverläufe.

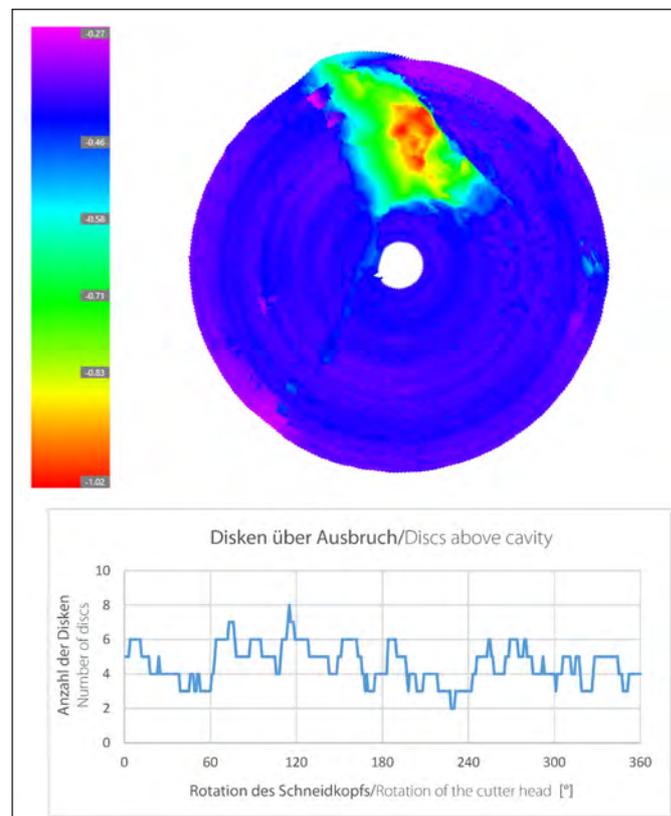
### Tübbingscanner

Bei der Errichtung großer Tunnelprojekte (Koralmtunnel, Brenner Basistunnel) kommen vermehrt Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) zum Einsatz, um höhere Vortriebsleistungen zu erzielen. Abhängig vom Gebirgsverhalten kann ein Ausbau mit Tübbingen erfolgen. Bei diesen handelt es sich um Betonfertigteile mit Fertigungstoleranzen im Bereich von Zehntelmillimetern, die im Schild der TVM zu einem Ring zusammengesetzt werden. Mit Verlassen des Schildes, der Aufnahme des Gebirgsdrucks und unvollständiger Bettung kann es zu Deformationen des Rings kommen. Zu deren Messung gibt es bisher kaum befriedigende



5 Orthofoto der vollen TVM-Ortsbrust als Ergebnis der photogrammetrischen Auswertung (links) mit Detail (rechts)

Orthophoto of the full TBM face as the result of photogrammetric evaluation (left) with details (right)



6 Oben: Ortsbrustaufnahme aus Bild 5 als farbcodierte Reliefdarstellung (Höhenmaßstab in [m] links oben); unten: Anzahl der auf Grund des Ausbruchs simultan nicht im Eingriff befindlichen Disken über eine volle Drehung des Schneidkopfs

Above: face images from Fig. 5 as colour-coded relief presentation (elevation scale in [m] above left); below: number of discs simultaneously not intervening over a full rotation of the cutter head owing to a cavity

in other words are not in contact with the face. This prompts an abruptly changing and increased strain on the remaining discs (Fig. 6, below). These evaluation possibilities serve to consolidate the understanding of the irregular loads obtained by measuring the disc forces.

### Segment Scanner

Tunnel boring machines (TBMs) are increasingly being used for major tunnel projects (Koralmtunnel, Brenner Base Tunnel) in order to attain higher rates of advance. Depending on the rock conditions, segments may be used for the tunnel lining. These are precast parts made of concrete with production tolerances amounting to only a few tenths of a millimetre, which are installed to form a ring in the TBM shield. Once a ring vacates the shield and has to bear the rock pressure while being embedded incompletely, it can be affected by deformations. So far there have been scarcely any satisfactory means for measuring them. Random measurements e.g. carried out with measuring tapes, laser distance measuring units and total stations generally fail to provide worthwhile results relating to deformations [11] [12].

However, 3D laser scanners are suitable for measuring deformations in continuously driven tunnels with segmental linings. Advanced developments in 3D laser technology regarding the scan rates that can be attained and the quality of point determination provide additional

benefits for the spatial and areal evaluation of the segmental lining. The stiffness of this system is substantially governed by the interaction of longitudinal and ring joints as well as the individual segments [13] [14].

Test measurements are carried out on the segment test stand at the Montanuniversität Leoben to assess the suitability of 3D laser scan-

Lösungen. Punktueller Messungen wie z. B. mit Maßbändern, Laserdistanzmessgeräten und Totalstationen erbringen wenig zufriedenstellende Aussagen über Verformungen [11] [12].

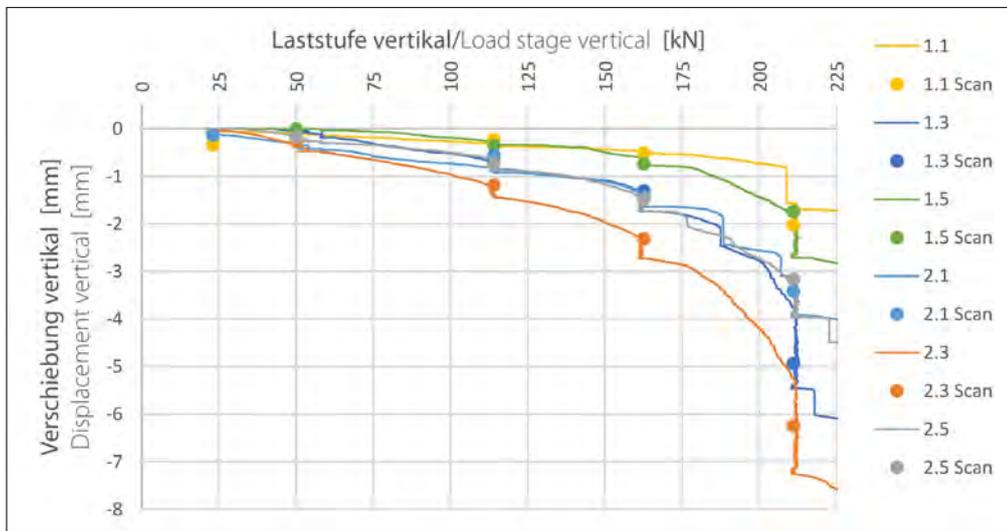
Zur Verformungsmessung im kontinuierlich vorgetriebenen Tunnel mit Tübbingausbau eignen sich hingegen auch 3D-Laserscanner. Weiterentwicklungen in der 3D-Laserscanningtechnik hinsichtlich der erreichbaren Aufnahmezeiten und der Qualität der Punktbestimmung schaffen einen Mehrwert für die räumliche und flächenhafte Erfassung des Tübbingausbaus. Dessen Systemsteifigkeit wird von der Zusammenwirkung von Längs- und Ringfugen sowie den Einzelsegmenten wesentlich bestimmt [13] [14]. Um die Eignung von 3D-Laserscannern zur Verformungsmessung an einzelnen Segmenten festzustellen, werden Testmessungen am Tübbingprüfstand der Montanuniversität Leoben durchgeführt (**Bild 7**). Dieser Prüfstand erlaubt die kontrollierte Belastung einzelner Segmente unter Laborbedingungen mit bis zu 4 MN Horizontal- und 2 MN Vertikalkraft. Die Messdatenerfassung des Prüfstands umfasst unter anderem Seilzugensensoren zum Monitoring der Tübbingverformung sowie ein automatisches, auf einer Lineareinheit geführtes Kamerasystem zur Dokumentation der Rissentwicklung an der Stirnseite des Segments. Die Datenerfassung mündet in einer Echtzeitauswertung der Tübbingschnittkräfte [15] [16] [17]. Dadurch stehen Referenzmesssysteme zum

erners für messende Verformungen auf einzelnen Segmenten (**Fig. 7**). This test stand permits individual segments to be subject to load under lab conditions with up to 4 MN horizontal and 2 MN vertical force. The measurement data collated on the test stand include draw wire displacement sensors for monitoring the segment deformation as well as an automatic camera system guided on a linear unit to document crack development on the front face of the segment. Data collection culminates in a real time evaluation of the segment internal forces [15] [16] [17]. In this way, reference measurement systems are available to be compared with results from 3D laser scanning (**Fig. 8**). The load is kept constant while the measurements with the laser scanner are executed.

Fig. 8 displays the high degree of accordance of the measured vertical segment displacement between the draw wire sensors 1.1 to 2.5 (continuous lines) and the applied 3D laser scanner – Zoller & Fröhlich Imager 5010X (points on the appropriate load stage). 1.1, 2.1, 1.5 and 2.5 are located in the proximity of the segment holders, 1.3 and 2.3 in each case in the apex of the segment on the left and right front face. The vertical displacement includes that of the test stand as well as that of the ring segment itself. It can be seen from sensors 1.3 and 2.3 that the deflection of the segment can be ascertained both with draw wire sensors and 3D laser scanners. At load stage > 200 kN, the segment experiences an evident sustained



7 Tübbingprüfstand der Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Subsurface Engineering  
Segment test stand at the Montanuniversität Leoben, Chair of Subsurface Engineering



8 Vergleich vertikaler Verschiebungen, gemessen mit Seilzugsensoren und dem 3D Laserscanner Z&F Imager 5010X

Comparing vertical displacements, measured with draw wire displacement sensors and the 3D laser scanner Z&F Imager 5010X

Vergleich mit Ergebnissen des 3D-Laserscannings zur Verfügung (Bild 8). Während der Messungen mit dem Laserscanner wird die Belastung konstant gehalten.

Bild 8 stellt den hohen Übereinstimmungsgrad der gemessenen vertikalen Tübbingverschiebung zwischen den Seilzugsensoren 1.1 bis 2.5 (durchgehende Linien) und dem eingesetzten 3D-Laserscanner Zoller & Fröhlich Imager 5010X gegenüber (Punkte an jeweiliger Laststufe). 1.1, 2.1, 1.5 und 2.5 befinden sich nahe den Tübbingschuhen, 1.3 und 2.3 jeweils im Scheitel des Tübbings an der linken und rechten Stirnseite. Die vertikale Verschiebung

plastic deformation on the test stand during the period when the scan was recorded, at a time when no increase in load is occurring. This cannot be assessed with the 3D laser scanner when a 3D all-round scan is being performed.

Thanks to the high degree of accordance, for the first time a continuously mounted segment scanner travelling on the TBM, based on a 3D laser scanner, is being used, which records the static situation after each ring is installed, by means of an all-round scan (Fig. 9). In this way, the lining in the roof and wall areas is documented [12]. A high degree of automation is desirable for the evaluations

owing to the fast rates of advance that can be attained and the correspondingly large number of scans. This relates for instance to the compilation of an automatic joint misalignment protocol or the comparison of cross-sections with the desired geometry stemming from reference and comparative scans. In this respect, the evaluation can serve quality assurance and deformation monitoring.

The development work in a joint research project with the Geodata GmbH, Leoben, is aimed at obtaining a concept of a knowledge-based model for the segment as a structural element, containing information relating to its dimensions, spatial layout in the cylindrical



9 Flächenhafte 360-Grad-Aufnahme eines Tübbingscanners

Areal 360 degree recording by a segment scanner

schließt sowohl jene des Prüfstands als auch die des Tübbing-segments selbst ein. An den Sensoren 1.3 und 2.3 ist erkennbar, dass die Durchbiegung des Segments mit Seilzugsensoren und 3D Laserscanner gleichermaßen bestimmt werden kann. Bei der Laststufe > 200 kN erfährt der Tübbing auf dem Prüfstand augenfällig eine anhaltende plastische Deformation in der Zeit der Scanaufnahme, wo keine Lasterhöhung stattfindet. Diese kann während der Aufnahme eines 3D Rundumscans mit dem 3D Laserscanner nicht erfasst werden.

Aufgrund des hohen Übereinstimmungsgrades wird erstmals ein dauerhaft montierter, auf der TVM mitfahrender Tübbingscanner, basierend auf einem 3D-Laserscanner eingesetzt, der mit einem Rundum-Scan die statische Situation nach jedem Ringbau erfasst (**Bild 9**). Der Ausbau im First- und Kämpferbereich wird auf diese Weise dokumentiert [12]. Auf Grund der erreichbaren Vortriebsgeschwindigkeiten und der damit großen Anzahl von Scans ist ein hoher Automatisierungsgrad der Auswertungen wünschenswert, wie die Erstellung eines automatischen Fugenversatzprotokolls oder die Gegenüberstellung von Querschnitten mit der Sollgeometrie aus Referenz- und Vergleichsscans. Die Auswertung kann dabei der Qualitätssicherung und dem Deformationsmonitoring dienen.

lining as well as possible distortions affecting neighbouring rings. It is formulated as an association of various characteristics present in the laser scans. Evaluation algorithms of knowledge-based models can be divided up into data processing, geometry detection, segmentation and quantification in keeping with their function. They lead to a reduced amount of time being required for processing and evaluation [18].

The **data processing** involves calculation methods for thinning out the scan data. In this connection, in addition to the definition of a ROI (= Region of Interest), calculation methods such as the extraction of contour lines are applied, as are also used in ALS (= Airborne Laser Scanning) [19]. Thanks to this step the amount of points of a scan is thinned out to less than one half percent of the initial amount of points.

The **geometry detection** comprises the calculation methods for combining parts of the point cloud that correspond to geometrical primitives, such as lines or areal elements. In this case, the ring joint is formulated as a contour that repeats itself at known intervals whereas a line tracking algorithm is used to detect the longitudinal joints.

**Segmentation** leads to a specification of areas in scans such as for example the individual ring based on the ring joint. In this step the

Am Lehrstuhl für Subsurface Engineering,  
der Montanuniversität Leoben ist eine/sind

### Senior Lecturer Stelle(n) für Geotechnik und Tunnelbau

mit den Schwerpunkten *Statik und Bemessung* sowie *Boden- und Felsmechanik*

ab voraussichtlich Februar 2017 in einem auf 4 Jahre befristeten Arbeitsverhältnis in der Gehaltsgruppe B1 nach Uni-KV, monatl. Mindestentgelt exkl. Szlg.: € 2.696,50 für 40 Wochenstunden (14 x jährlich), tatsächliche Einstufung erfolgt lt. anrechenbarer tätigkeitsspezifischer Vorerfahrung, zu besetzen.

**Voraussetzungen:** Abgeschlossenes Masterstudium im Fachbereich Bauingenieurwesen oder Maschinenbau, sehr gute Kenntnisse in Statik und Bemessung, Boden- und Felsmechanik, pädagogische Eignung und entsprechendes Interesse am Lehrbetrieb, gute Englischkenntnisse, Teamfähigkeit und Motivation sind erforderlich.

**Erwünschte Zusatzqualifikationen:** Erfahrungen in der Mess- und Regeltechnik, Programmierkenntnisse, Erfahrung mit numerischen Berechnungen, CAD-Kenntnisse

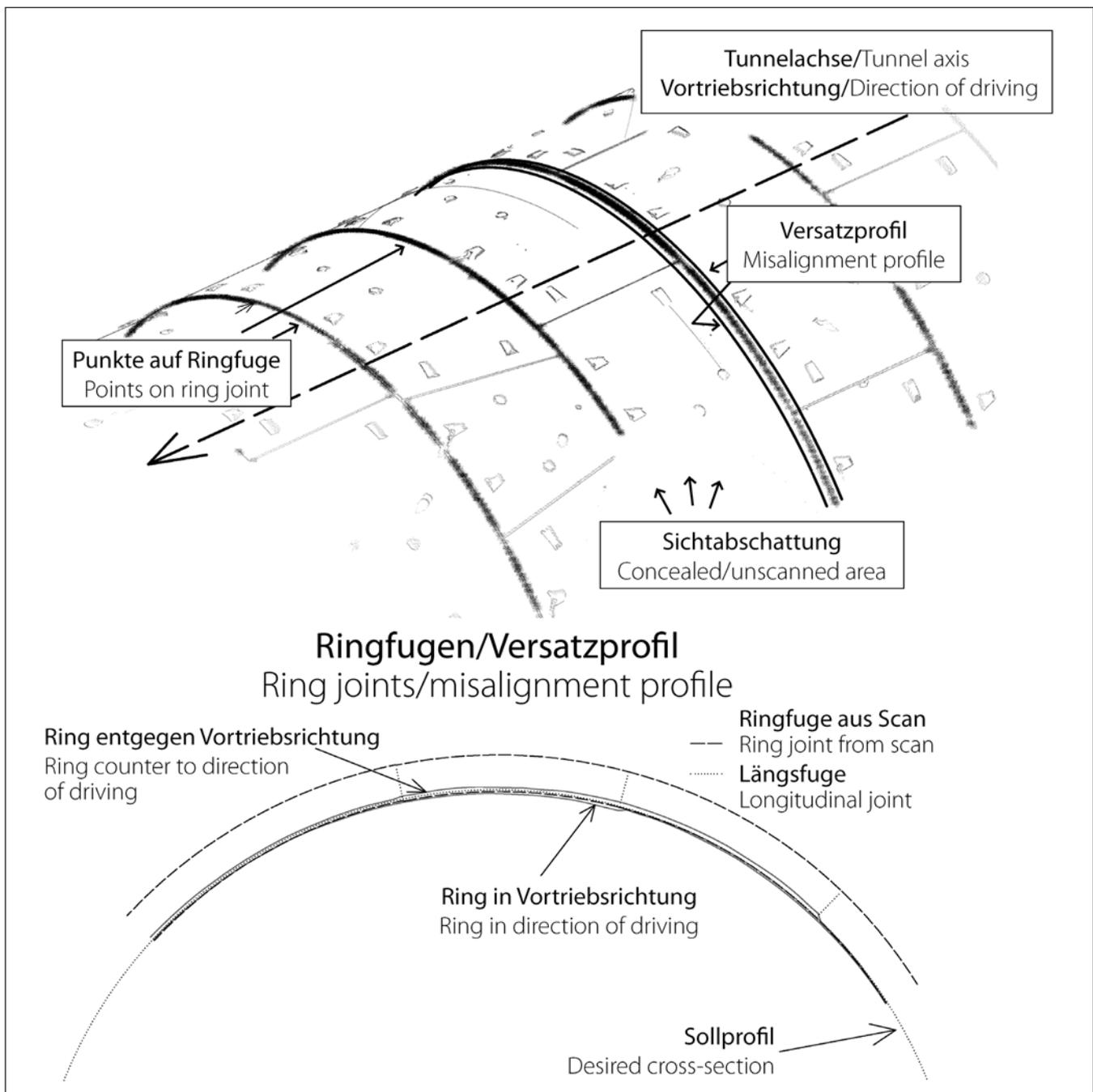
**Aufgaben und Möglichkeiten:** Vorbereitung und Abhaltung von Lehrveranstaltungen mit den Schwerpunkten Statik und Bemessung sowie Boden- und Felsmechanik, Mitarbeit insbesondere im Bereich der Entwicklung experimenteller Untersuchungen, Anfertigung einer Dissertation, Publikation von wissenschaftlichen Arbeiten, Akquirierung von und Mitarbeit in interessanten Projekten aus der Grundlagen- und angewandten Forschung.

Die Montanuniversität Leoben strebt eine Erhöhung des Frauenanteiles an. Frauen werden bei gleicher Qualifikation wie der bestgeeignete Mitbewerber vorrangig aufgenommen.

**Ende der Bewerbungsbefrist: 20.01.2017**

Bewerber und Bewerberinnen werden ersucht, ihre Unterlagen per e-mail an den Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Robert Galler, Erzherzog-Johann Straße 3/III, A-8700 Leoben, subsurface@unileoben.ac.at zu übermitteln.





Quelle/credit: [20]

10 Oben: Hellgrau dargestellte extrahierte Konturen des Tübbingausbaus, Schwarz liegen extrahierte Ringfugen vor; unten: Automatisiert extrahierte Darstellung des oben mit Versatzprofil bezeichneten Querschnitts beiderseits der Ringfuge. Die Versätze sind überhöht

Above: extracted contours of the segmental lining presented in light grey, extracted ring joints shown in black; below: automated extracted presentation of the cross-section at both sides of the ring joint shown above with misalignment profile. The misalignments are exaggerated

Die Entwicklungsarbeiten in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der Geodata GmbH, Leoben, zielen auf die Konzeption eines wissensbasierten Modells vom Bauelement Tübbing ab, das Informationen über dessen Abmessungen, räumliche Anordnung im zylindrischen Ausbau sowie mögliche Verdrehungen benachbarter Ringe enthält. Es ist als Assoziation verschiedener in den Laserscans vorhandener Merkmale formuliert. Auswertelgorithmen wissensbasierter Modelle lassen sich in eine

intersection points resulting from the longitudinal and ring joints are determined.

**Quantification** includes all calculation specifications for establishing alignments such as e.g. linear and areal geometries. These adopt a control function in scan evaluation, as lines representing identified longitudinal joints can only adopt certain angles relating to the tunnel axis. In this step, a CAD model for the longitudinal and ring joint intersection points is matched and tested for permissible rotations

Datenprozessierung, eine Geometriedetektion, eine Segmentierung und eine Quantifizierung entsprechend ihrer Funktion einteilen. Sie führen zu einem verringerten Zeitaufwand für Bearbeitung und Auswertung [18].

Die **Datenprozessierung** beinhaltet die Rechenmethoden der Ausdünnung der Scandaten. Dabei kommen neben der Definition einer ROI (= Region of Interest) Rechenmethoden wie die Extraktion von Konturlinien zum Einsatz, wie sie auch im ALS (= Airborne Laser Scanning) Anwendung finden [19]. Mit diesem Schritt wird die Punktmenge eines Scans auf weniger als ein halbes Prozent der anfänglichen Punktmenge ausgedünnt.

Unter dem Schritt der **Geometriedetektion** subsumieren sich die Rechenmethoden zur Vereinigung von Teilen der Punktwolke, die geometrischen Primitiven wie Linien oder flächenhaften Elementen entsprechen. Die Ringfuge wird darin als eine sich in bekannten Abständen wiederholende Kontur formuliert, während zur Detektion der Längsfuge ein Linienverfolgungsalgorithmus genutzt wird. Die **Segmentation** führt zu einer Spezifikation von Bereichen in Scans, wie beispielsweise dem einzelnen Ring, anhand der Ringfuge. In diesem Schritt werden die sich aus Ring- und Längsfugen ergebenden Schnittpunkte ermittelt.

Die **Quantifizierung** schließt alle Rechenvorschriften zur Bestimmung von Ausrichtungen wie z. B. linien- oder flächenhafter Geometrien ein. In der Scanauswertung übernehmen diese eine Kontrollfunktion, da gefundene Längsfugen repräsentierende Linien nur gewisse Winkel zur Tunnelachse einnehmen können. In diesem Schritt wird ein CAD-Modell der Längs- und Ringfugenschnittpunkte gematcht und auf zulässige Verdrehungen gegenüber angrenzenden Ringen überprüft. Nach Kenntnis der Ringfugenposition können aus dem Scan beiderseits der Fuge Punkte extrahiert und der Versatz ermittelt werden. Die Ovalisierung kann durch Vergleich mit einem Sollprofil ermittelt werden.

in relation to neighbouring rings. Once the position of the annular gap is known, points can be extracted at both sides of the joint from the scan and a misalignment can be determined. Ovalisation can be assessed by comparison with a desired cross-section.

**Fig. 10**, above displays the contours of a 3D scan with longitudinal and ring joints (pale grey) as well as the points detected on the ring joints (black). The position of the exaggerated profile in Fig. 10, below, is shown in Fig. 10, above, in the form of an arc at both sides of the ring joint at the centre of the figure. The gaps to the tunnel axis are scanned at both sides of the ring joint and subsequently the joint misalignments determined from the point cloud.

In order to establish the orientation of a segmental element to those neighbouring it, the segmental element is considered as part of a cylindrical shell surface. **Fig. 11** shows the results of longitudinal joint detection (thick black lines) for four neighbouring rings by means of two comparative scans by the accompanying segment scanner, with segments T1 and T2 undergoing a cylinder fit. The cylinder fit theoretically approximates the segment lining with the mathematical model of a cylinder. This can be carried out over the entire visible lining. Cylinder fits can also be undertaken on individual segments, the radii and cylinder axes can be determined as well as their orientation to each other. Fig. 11 displays the fitted radii of both segments for each scan; the difference in angle of the axes amounts to 0.2 degrees. The change in radius can now be taken to assess the deflection of the ring segment in question. It should be taken into account in this case that a change in radius amounting to roughly 8 mm merely signifies a deflection of 1 mm for the segment.

3D scans are well established in as-built documentation. They can be efficiently applied in mechanised drives with automated evaluation algorithms in view of the numerous measurements for documenting the deformation, structural tolerances and orientations of the individual segments, and can be related to the machine data as well.

**PROFIL**  
BUCHHANDLUNG IM BAUVERLAG  
**fachbuchtipp**

Profil –  
Buchhandlung im Bauverlag

Bauverlag BV GmbH  
Avenwedder Str. 55  
33311 Gütersloh  
Tel: +49 5241 8049161  
Fax: +49 5241 806016

profil@bauverlag.de  
www.profil-buchhandlung.de

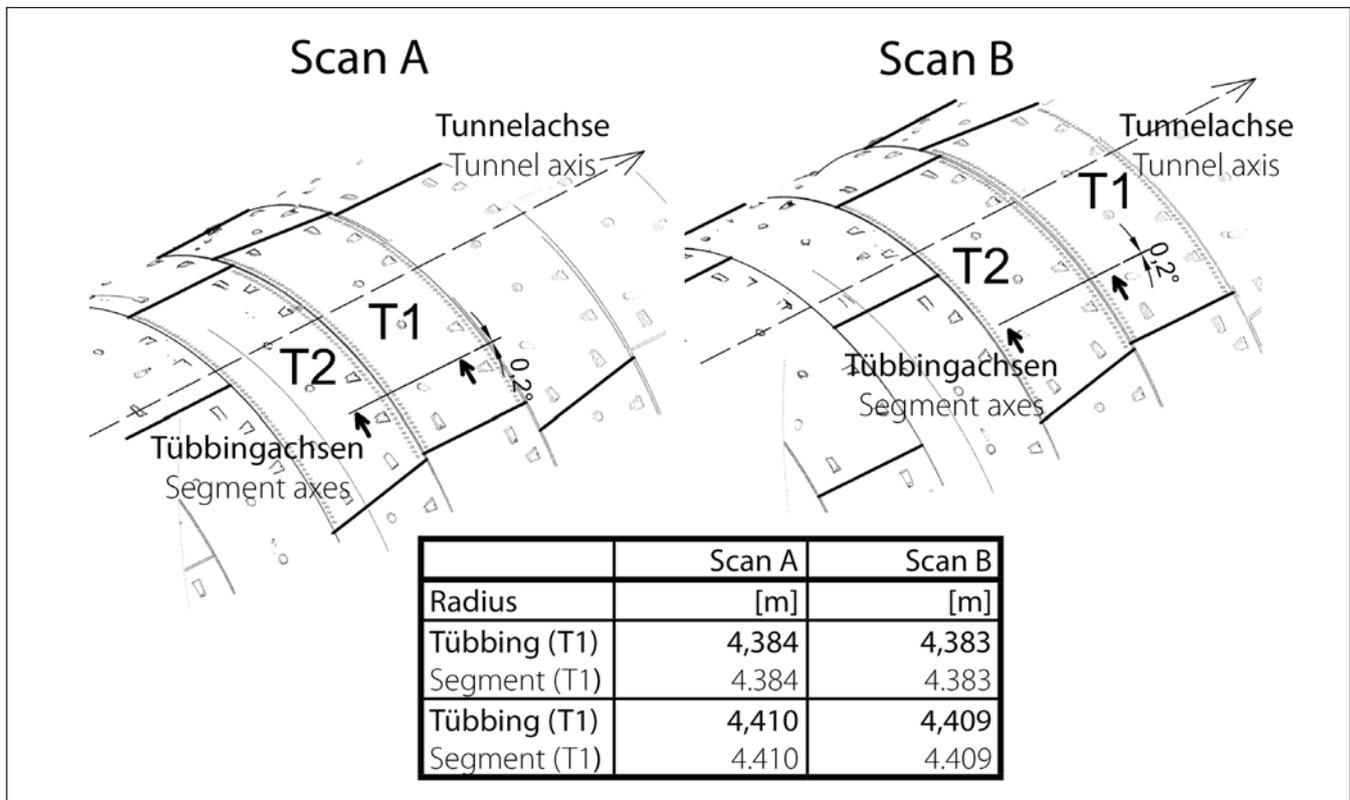


## Tunnelling Switzerland

Hrsg.: Georg Anagnostou, Heinz Ehrbar  
Gebunden, 450 S., zahlr. Abb. u. Fotos, durchgehend farbig  
30 cm, 1985 g, englisch  
2013 vdf Hochschulverlag  
ISBN 978-3-7281-3547-6  
EUR 66,00

„Tunnelling Switzerland“ stellt die Errungenschaften der letzten 15 Jahre auf allen Gebieten des Untertagebaus anhand von mehr als 90 Projekten vor. Die einzelnen Bauwerke werden jeweils auf einer Doppelseite in Wort und Bild vorgestellt. Dazu kommen Informationen zur Geologie, zu Bauherrschaft, Projektierungsbüros und Unternehmerschaft.

Bestellen Sie online unter: [www.profil-buchhandlung.de](http://www.profil-buchhandlung.de)



Quelle/Credit: [20]

**11** Automatisierte Extraktion der Längsfugen im Bereich von vier Ringen und Annäherung der Segmente T1 und T2 via Zylinderfit (Radien und Winkeldifferenz zwischen den Tübbingachsen)

Automated extraction of the longitudinal joints in the proximity of four rings and approximation of the segments T1 and T2 via cylinder fit (radii and difference of angle between the segment axes)

**Bild 10**, oben zeigt die Konturen eines 3D-Scans mit Längs- und Ringfugen (blasses Grau) sowie die auf den Ringfugen detektierten Punkte (schwarz). Die Lage des überhöhten Profils in Bild 10, unten, ist in Bild 10, oben, als Bogen beiderseits der Ringfuge in der Bildmitte wiedergegeben. Beiderseits der Ringfuge werden die Abstände auf die Tunnelachse abgefragt und daraus die Fugenversätze aus der Punktwolke ermittelt.

Um die Raumstellung eines Tübbingelements zu den benachbarten zu ermitteln, wird das Tübbingelement als Teil einer zylindrischen Mantelfläche betrachtet. **Bild 11** zeigt die Ergebnisse der Längsfugendetektion (dicke schwarze Linien) für vier betrachtete Ringe anhand zweier Vergleichsscans des mitfahrenden Tübbingsscanners, worin die Tübbinge T1 und T2 einem Zylinderfit zugeführt werden. Der Zylinderfit nähert rechnerisch den Tübbingausbau mit dem mathematischen Modell eines Zylinders an. Dieser kann am gesamten einsehbaren Ausbau durchgeführt werden. Auch einzelne Tübbingsegmente lassen sich zylindrisch fitten, die Radien und Zylinderachsen können ermittelt sowie deren Orientierung in Bezug zueinander gesetzt werden. In Bild 11 sind die gefitteten Radien beider Tübbinge für jeden Scan angegeben; die Winkeldifferenz ihrer Achsen beträgt 0,2 Grad. Die Radienänderung kann nun zur Beurteilung der Durchbiegung des betrachteten Tübbingsegments herangezogen werden. Dabei ist im vorliegenden Fall zu beachten,

## Outlook

The new measurement technologies that have been presented are located directly on the interface between rock and TBM. They are able to provide an invaluable contribution either alone or in combination for the better understanding of the interaction between machine and rock. Their successful utilisation is dependent on extensive automation and their inclusion in existing tunnelling documentation tools. As a consequence they will be able to supply profound and above all, objective input data for decisions relevant for construction



dass eine Radiusänderung von zirka 8 mm eine Durchbiegung des Segments von nur 1 mm bedeutet.

3D-Scans sind in der Bestandsdokumentation bestens etabliert. Sie können in maschinellen Vortrieben mit automatisierten Auswertelgorithmen angesichts der zahlreichen Messungen zur Dokumentation der Verformung, Bautoleranzen und Raumstellungen der einzelnen Tübbinge effizient eingesetzt und in Bezug zu den Maschinendaten gesetzt werden.

### Fazit/Ausblick

Die vorgestellten neuen Messtechnologien sind unmittelbar an der Schnittstelle zwischen Gebirge und vortreibender Maschine angesiedelt. Sie vermögen für sich und in kombinierter Anwendung einen wertvollen Beitrag zu einer besseren Kenntnis der Wechselwirkung zwischen Maschine und Gebirge zu leisten. Ihre erfolgreiche Nutzung setzt ihre weitgehende Automation und die Einbettung in vorhandene Vortriebsdokumentationstools voraus, von wo sie profunde und vor allem objektive Eingangsdaten für baurelevante Entscheidungen liefern können. 



### TUNNELLING THE GOTTHARD

Das Jahrhundert-Projekt  
auf 720 Seiten

Blick ins Buch auf  
[www.tunnel-online.info/erfolgsgeschichte](http://www.tunnel-online.info/erfolgsgeschichte)



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

### Literatur/References

- [1] S. Barwart, Entwicklung eines Schneidkraftmesssystems für diskenbestückte Tunnelvortriebsmaschinen, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2015.
- [2] M. Entacher, Measurement and interpretation of disc cutting forces in mechanized tunnelling, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2013.
- [3] Samuel, A. E., Seow, L. P., „Disc Force Measurements on a Full-Face Tunnelling Machine,” International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech. Abstracts, pp. 83– 96, No. 2, 1984.
- [4] Zhang, Z. X., Kou, S., Tan, X., Linqvist, P. A., „In-situ Measurements of Cutter forces on Boring Machine at Äspö Hard Rock Laboratory, Part 1, Laboratory Calibration and In-Situ Measurements,” Rock Mechanics and Rock Engineering, pp. 39–61, Vol. 36, 2003.
- [5] M. Henzinger, Geotechnische Dokumentation der Ortsbrust eines TBM-Vortriebs mittels moderner messtechnischer Methoden. Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2013.
- [6] Schuller, E., Galler, R., Barwart, St., Wenighofer, R., „The transparent face - development work to solve problems in mechanized hard rock tunnelling,” Geomechanics and Tunnelling, pp. 200–210, 8, No. 3, 2015.
- [7] Gaich, A., Pötsch, M., „3D images for digital tunnel face documentation at TBM headings – Application at Koralmtunnel lot KAT2,” Geomechanics and Tunnelling, pp. 210–221, 9, No.3, 2016.
- [8] Konecny, G., Lehmann, G., Photogrammetrie, Berlin: De Gruyter, 1984.
- [9] Agisoft LLC, „PhotoScan Python Reference, Release 1.2.5,” 2016.
- [10] Karel, W., Doneus, M., Verhoeven, G., Briese, C., Ressel, C., Pfeifer, N., „ORIENTAL-Automatic Geo-Referencing and Orthorectification of Archaeological Aerial Photographs,” ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 175–180, 2013.
- [11] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Tübbingssysteme aus Beton, Wien, 2009.
- [12] K. Chmelina, „Neue Entwicklungen bei Steuerleitsystemen für Tunnelbaumaschinen,” Allgemeine Vermessungsnachrichten, pp. 219–225, 2016.
- [13] Arnau, O., Molins, C., „Experimental and analytical study of the structural response of segmental tunnel linings based on an in situ loading test. Part 2: Numerical simulation,” Tunnelling and Underground Space Technology, Bd. 26, pp. 778– 788, 2011.
- [14] Nuttens, Th., Stal, C., De Backer, H., Schotte, K., Van Bogaert, Ph., De Wulf, A., „Methodology for the ovalization monitoring of newly built circular train tunnels based on laser scanning: Liefkenshoek Rail Link (Belgium),” Automation in Construction, pp. 43, 1–9, 2014.
- [15] Gehwolf, P., Monsberger, Ch., Barwart, St., Wenighofer, R., Galler, R., Lienhart, W., Haberler-Weber, M., Moritz, B., Barwart, Ch., Lange, A., „Deformation measurements of tunnel segments at a newly developed test rig,” Geomechanics and Tunnelling, pp. 9, 3, 180–187, 2016.
- [16] J. Pogats, Autonomous crack detection on ring joint surfaces of tubing elements, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2016.
- [17] N. Klug, Entwicklung und Programmierung einer Software zur Erfassung, Verarbeitung und Visualisierung von Messdaten eines Tübbingprüfstandes, Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 2016.
- [18] Q. Truong, Knowledge-based 3D point clouds processing, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2013.
- [19] C. Briese, Breakline Modelling from Airborne Laser Scanner Data, Dissertation, Technische Universität Wien, 2004.
- [20] Wenighofer, R., Chmelina, K., Galler, R., Neue Messtechnologien für TBMs und ihr Nutzen, Berg Huettenmaenn Monatsh (2016)

## Thames Tideway Tunnel: Upgrade für Londons Abwassersystem

Zur Verbesserung der Wasserqualität investiert Londons Wasser- und Abwasserbetrieb, Thames Water, in einen dreistufigen Ausbau seines Abwassersystems. Nach einer Aufrüstung seiner Kläranlagen und der Inbetriebnahme des Lee Tunnels, einem kombinierten Abwasser-Rückhaltespeicher-Tunnel im Osten der Stadt, folgt nun mit ca. 4,2 Milliarden britischen Pfund Investitionsvolumen das größte Vorhaben, der Thames Tideway Tunnel. Dieser soll ab 2023 Abwässer von 34 der größten Einleitstellen Londons auf einer Länge von 25 km sammeln, stauen und in den Lee Tunnel einleiten. Der vorliegende Artikel beschreibt die Hauptbaumaßnahmen und Besonderheiten des Thames Tideway Tunnels, insbesondere des Loses West.

## Thames Tideway Tunnel: Upgrade for London's Wastewater System

London's water and wastewater system provider, Thames Water, is improving its water quality through a three-stage upgrade. After redeveloping its clarification plants and opening the Lee Tunnel, a combined facility for storage and the conveyance of sewage mixed with rainwater in the east of the city, now the Thames Tideway Tunnel is being tackled. It is the biggest project, entailing investments of ca. 4.2 billion pounds sterling. As from 2023, it is intended to carry sewage from 34 of London's largest combined sewer overflows over a length of 25 km, store and transfer it to Lee Tunnel. This article describes the main construction measures and special features of the Thames Tideway Tunnel, particularly the West Section.

**Dipl.-Ing. Oliver Gerstmann**, Joint Venture BMB (BAM Nuttall, Morgan Sindall and Balfour Beatty) – Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Tunnelbau, Frankfurt am Main, Deutschland/Germany

**Dipl.-Ing. Stephan Fleischmann**, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Tunnelbau, Frankfurt am Main, Deutschland/Germany

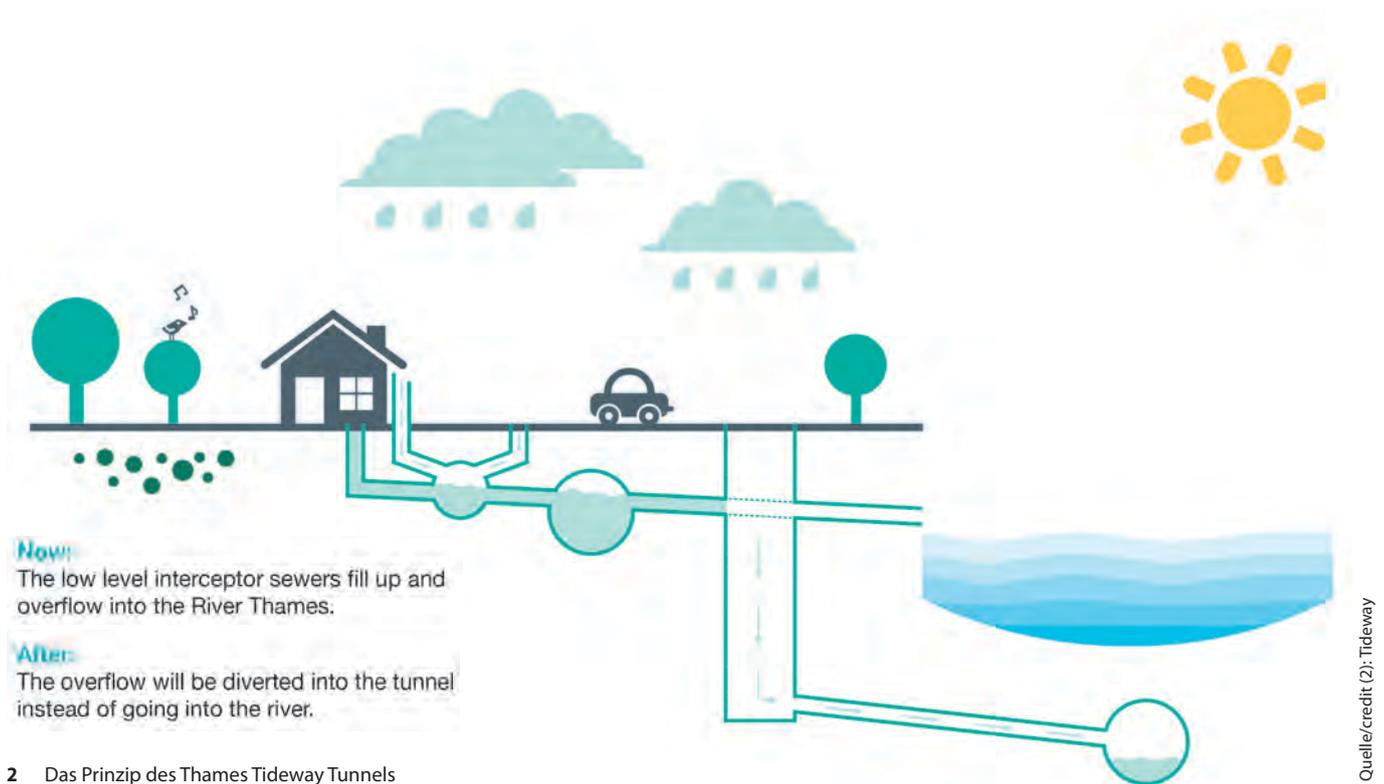


Quelle/Credit: Otto Herschan/Getty



- 1 In den Jahren 1859 bis 1865 wurde in London ein Kanalsystem bestehend aus sechs Hauptsammlern mit einer Gesamtlänge von 160 km und 1800 km Straßenkanalisation gebaut. Das Foto links zeigt Joseph Bazalgette (oben rechts) auf der Baustelle des Northern Outfall Sewer unterhalb der Abbey Mills Pumpwerks; das rechte Bild zeigt erneute Bauarbeiten am Northern Outfall Sewer im Jahr 1902

A sewer system was built in London between 1859 and 1865 comprising six main canals with a total length of 160 km and 1800 km of street sewer channels. The left photo shows Joseph Bazalgette (top right) on the construction site of the Northern Outfall Sewer below the Abbey Mills Pumping Station; the picture on the right shows construction works at the Northern Outfall Sewer in the year 1902



2 Das Prinzip des Thames Tideway Tunnels  
The principle of the Thames Tideway Tunnel

## Das Abwassersystem vom 19. Jahrhundert bis heute

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts wurde Londons stark ansteigende Abwassermenge unbehandelt und offen entlang der Straßen bis in die Themse geleitet. Die Themse war zu diesem Zeitpunkt wenig mehr als ein toter Abwasserfluss und stellte ein großes Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung dar. Diese Art der Abwasserentsorgung führte zu mehreren Cholera-Epidemien und fand im Sommer 1858 als „Der Große Gestank von London“ (The Great Stink of London) ihren Weg in die Geschichtsbücher. Erst als in jenem Jahr die Parlamentarier sich durch den „Großen Gestank“ in ihrer Arbeit in Westminster derart beeinträchtigt fühlten, dass deren Unterredungen abgebrochen wurden, beschloss man die Planung und den Bau eines neuen Kanalnetzes (Bild 1, links). Damit beauftragt wurde das „Metropolitan Board of Works“ bzw. die „Metropolitan Commission of Sewers“ unter der Leitung von Joseph Bazalgette. In den Jahren 1859 bis 1865 wurden sechs Hauptsammler mit einer Gesamtlänge von 160 km und 1800 km Straßenkanalisation gebaut, die das kombinierte Ab- und Regenwasser aus dem weitverzweigten Kanalnetz aufnahmen und lediglich durch Freispiegelabfluss und mehrere Pumpanlagen östlich hinter London wieder in die Themse abführten.

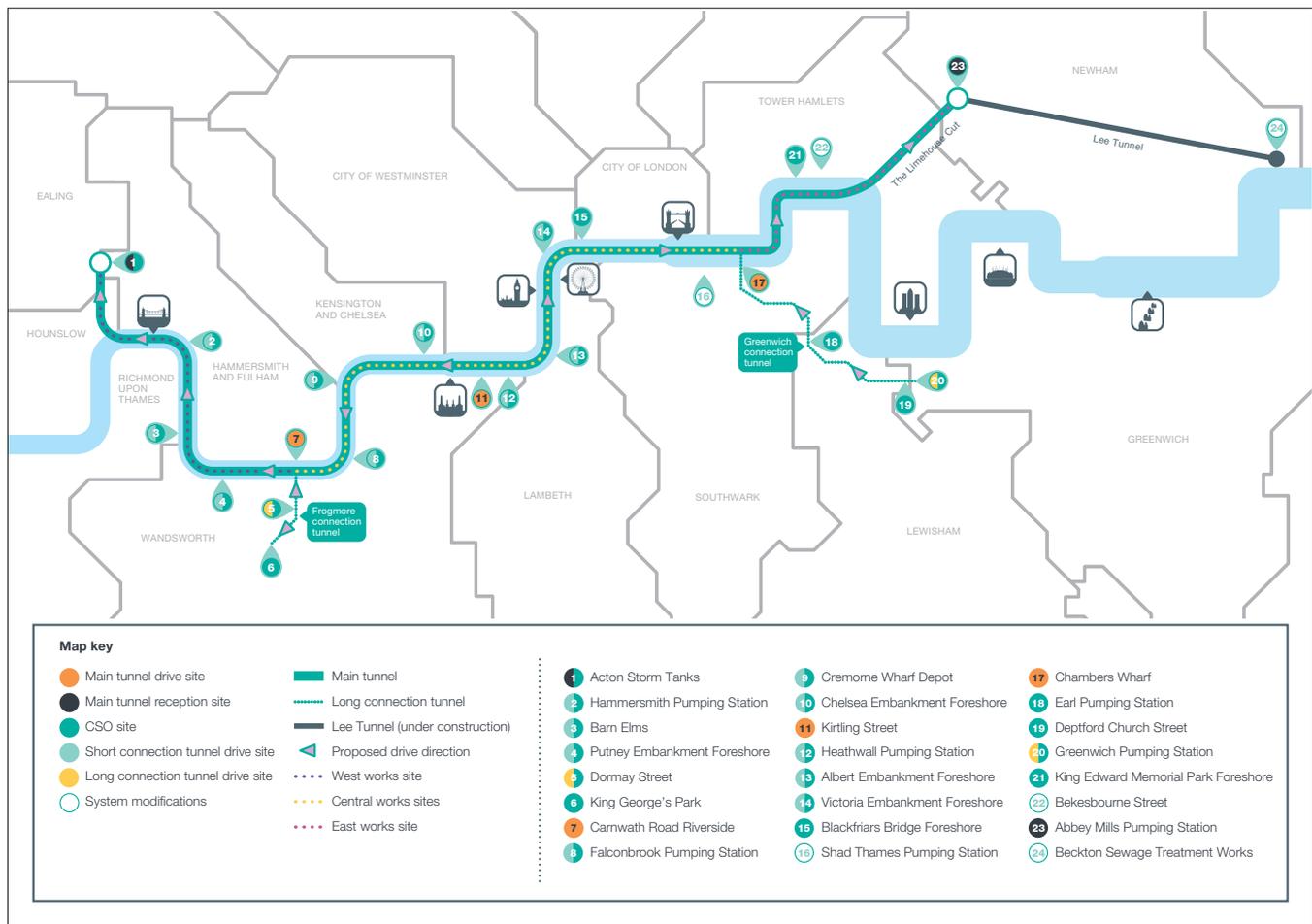
Ab 1900 wurde das Abwassersystem um Kläranlagen ergänzt. 1850 betrug Londons Population rund 2 Millionen Einwohner. Bazalgettes Abwassersystem wurde für eine ansteigende Einwohnerzahl von bis zu 4 Millionen ausgelegt. Zur Vermeidung von Rückstau und unkontrolliertem Überlauf des Kanalnetzes in die Stadt London wurden 57 Einleitstellen des kombinierten Regen- und Abwassers, die sogenannten CSOs (Combined Sewer Overflows), entlang beider Themseufer angelegt. Diese CSOs entlasten das Mischwassersystem bei Starkregenereignissen durch ein kontrolliertes

## The Sewage System from the 19<sup>th</sup> Century until Today

Until the mid-19<sup>th</sup> century, London's growing volume of sewage ran off conspicuously along the streets prior to draining into the River Thames. At the time, the River Thames was nothing more than a dead river transporting raw sewage. This significant health risk resulted in many deaths due to cholera outbreaks. In 1858, "The Great Stink of London" found its way into the history books. Only when the members of parliament had to interrupt their work at Westminster that year, was it actually decided to go ahead with the design and implementation of a new sewer system for London (Fig. 1, left). The Metropolitan Board of Works and its subsidiary the Metropolitan Commission of Sewers under the superintendence of Joseph Bazalgette were commissioned to tackle the task.

Between 1859 and 1865, Bazalgette had six main canals with a total length of 160 km and 1800 km of street sewer channels built. These collected London's combined sewer and rain runoff from the widespread network and led it via free flow canals and pumping stations further downstream behind the eastern fringes of London back into the Thames.

From 1900, the sewer network was upgraded by the installation of treatment plants. In 1850, London's population amounted to approx. 2 million. Bazalgette had the foresight to design his system for up to 4 million citizens. The sewer system incorporated 57 combined sewer overflows (CSOs) along both banks of the Thames, preventing overflows and backlogs upstream back into the City of London by allowing the sewage diluted by rain water to overflow in a controlled fashion at these various points into the River Thames. Bazalgette's new sewer network reduced the mortality rate drastically and allowed the gradual installation of a separate fresh water



### 3 Thames Tideway Tunnel (Gesamtübersicht)

General overview of the Thames Tideway Tunnel project

Überlaufen des durch Regenwasser verdünnten Abwassers an den Einleitstellen in die Themse. Durch den Bau von Bazalgettes Abwassersystem sank die Sterberate und London bekam Zug um Zug saubereres Frischwasser. Bazalgettes Abwassersystem ist heute (nun bei ca. 8 Millionen Einwohnern Londons) weiterhin im Betrieb. Vor über 150 Jahren entworfen, kamen die Einleitstellen lediglich ein- bis zweimal im Jahr zum Einsatz. Mittlerweile ist das System etwa 50-mal jährlich überlastet und entlässt somit fast wöchentlich unbehandeltes (wenn auch durch Regenwasser verdünntes) Abwasser an den Einleitstellen in die Themse. Durch die Einleitung von unbehandeltem Abwässern in Kombination mit Regenwasser wurde die EU Richtlinie zur Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) verletzt, so dass die Europäische Kommission 2004 ein Vertragsverletzungsverfahren gegen seinen Mitgliedsstaat einleitete. 2012 stellte der Europäische Gerichtshof eine Vertragsverletzung seitens des Vereinten Königreiches gegen die Richtlinie fest. Aufgrund des EuGH-Urteil bestand spätestens zu diesem Zeitpunkt Handlungsbedarf.

### Anpassung des Abwassersystems

Zur Verbesserung der Wasserqualität hat Londons Wasser- und Abwasserbetrieb, Thames Water, als erste von drei Maßnahmen

supply for London's citizens. Bazalgette's original sewer network is still in operation today – now that London has grown to nearly 8 million inhabitants.

Designed more than 150 years ago, the CSOs effectively only came into use once or twice per annum. Today the sewer network reaches its capacity approx. 50 times annually, which means that on average untreated wastewater (albeit diluted by rain water) is discharged into the Thames weekly. The discharge of untreated wastewater combined with rain water into the river breaches the EU Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD 91/271/EEC), as a result of which the European Commission initiated proceedings against the UK in 2004. In 2012, the European Court of Justice ruled that the UK had breached the directive, resulting in a need for action.

### Adapting the Sewage System

In order to improve the Thames' water quality, Thames Water has invested 675 million pounds sterling – as a first of three measures – in upgrading its wastewater treatment plants along the Thames. The second move was the construction of the Lee Tunnel, at a cost of 635 million pounds. The Lee Tunnel became operational in early 2016. It connects Abbey Mills Pumping Station with Bepton Wastewater Treatment Plant in the east of London. The 6.9 km long

675 Millionen britische Pfund in die Aufrüstung seiner Kläranlage entlang der Themse investiert. Die zweite Maßnahme, der Lee Tunnel, schlug mit ca. 635 Millionen Pfund zu Buche und wurde Anfang 2016 in Betrieb genommen. Er verbindet das Abbey Mills Pumpwerk mit der Beckton Kläranlage im Osten der Stadt London. Der 6,9 km lange Abwassertunnel mit einem Innendurchmesser von 7,2 m wird dazu beitragen, dass bis zu 16 Millionen m<sup>3</sup> Abwässer nun nicht mehr direkt in den Fluss Lee (ein Zufluss der Themse) eingeleitet wird, sondern über die Kläranlage gereinigt in die Themse gelangt.

Das dritte und größte Vorhaben in dieser Reihe, der Thames Tideway Tunnel, ist auf 4,2 Milliarden Pfund veranschlagt. Der Thames Tideway Tunnel, wird Abwässer von 34 der größten Einleitstellen (CSOs) Londons auf einer Länge von 25 km sammeln, stauen und in den Lee Tunnel einleiten. Der Haupttunnel mit einem Innendurchmesser von bis zu 7,2 m wird in einer Tiefe von ca. 30 m in Acton beginnen, in östliche Richtung durch Londons Innenstadt unterhalb der Themse verlaufen (Bild 2) und in ca. 70 m Tiefe beim Lee Tunnel im Abbey Mills Pumpwerk enden (siehe Übersicht in Bild 3).

### Der Kunde – Tideway

Das Thames Tideway Tunnel Projekt wird durch die neu gegründete Zweckgesellschaft als „Bazalgette Tunnel Limited (BTL)“ finanziert, gebaut und betrieben. BTL handelt unter dem öffentlichen Namen „Tideway“. Anteilseigner von BTL sind u. a. Allianz, Amber Infrastructure, Dalmore Capital und DIF. Mehr als 1,7 Millionen britische Rentner sind durch ihre Altersvorsorgefonds zumindest indirekt beteiligt. Finanziert wird das Projekt auch durch die Wasser- und Abwassergebühren der Kunden von Thames Water. Der Beitrag der Gebühren zum Tideway-Projekt beträgt im Durchschnitt derzeit ca. 13 Pfund und wird zum Ende der Baumaßnahme auf ein Maximum von 25 Pfund pro Haushalt und Jahr ansteigen.

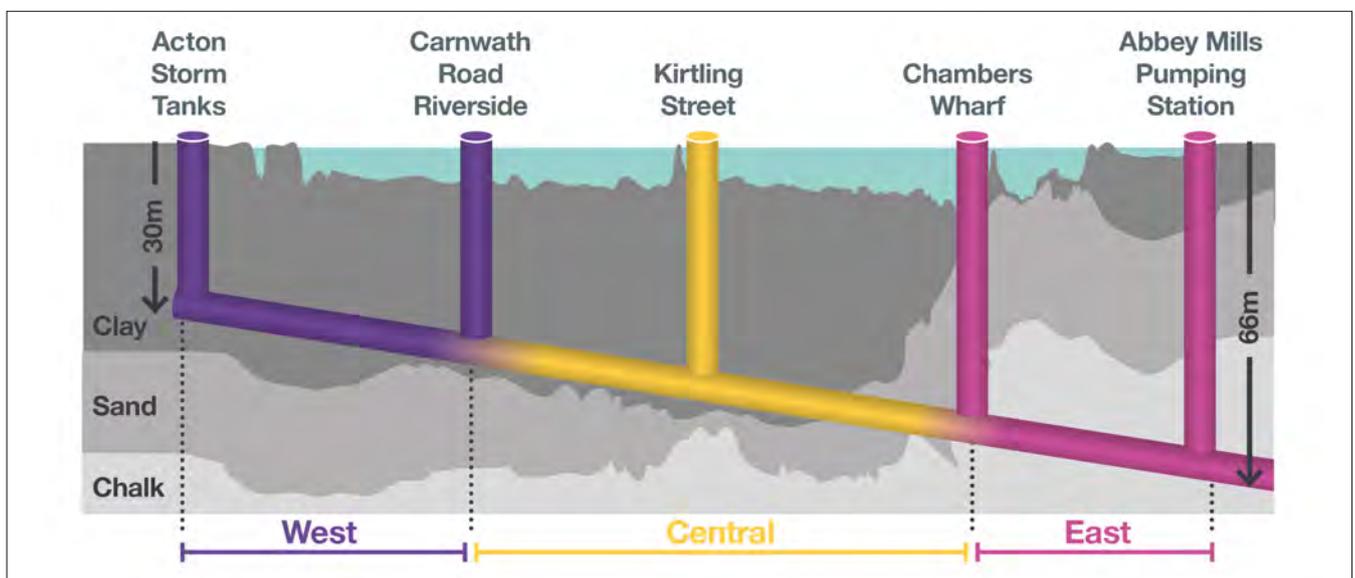
Lee Tunnel with an internal diameter of 7.2 m contributes to reducing the runoff of the annual sewage water into the River Lee, a tributary of the Thames, by 16 million m<sup>3</sup>, which will now be discharged as treated water into the Thames.

The third and biggest project in this series is the Thames Tideway Tunnel at a cost of 4.2 billion pounds. The Thames Tideway Tunnel will collect the sewer runoff from 34 of London's largest CSOs. It has a length of 25 km and will discharge into the completed Lee Tunnel. The main tunnel will have an inner diameter of 7.2 m and start at a depth of approx. 30 m in Acton. From there the tunnel follows the course of the Thames (Fig. 2) through and under London's central business district and terminating at a depth of 70 m at Abbey Mills Pumping Station (general overview in Fig. 3).

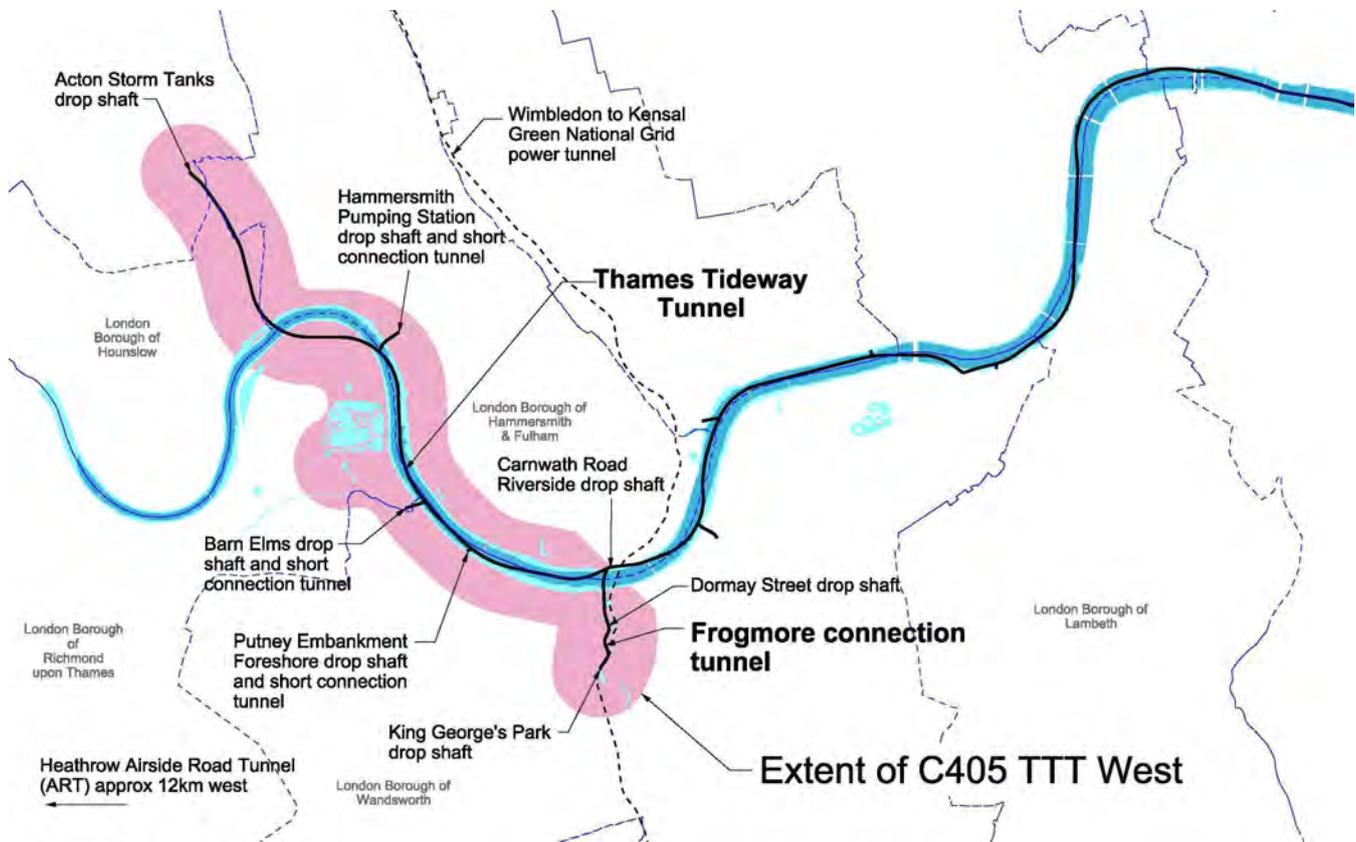
### The Client – Tideway

The Thames Tideway Tunnel Scheme is financed, managed and operated by "Bazalgette Tunnel Limited (BTL)" publicly known as "Tideway". Majority shareholders of BTL are Allianz, Amber Infrastructure, Dalmore Capital und DIF. More than 1.7 million pensioners participate through their pension funds. Also contributing to financing the scheme are Thames Water's customers currently charged a yearly fee of 13 pounds, which will reach a maximum of 25 pounds per household per annum by the end of construction.

Tideway is adamant in emphasizing that the Thames Tideway Tunnel is more than just another infrastructure project. Great effort is undertaken to ensure that the project is understood as a legacy for future generations presenting a positive image to public perception. Themed as "Reconnecting London with the River Thames", Tideway highlights the objectives ecology, health and safety, economy, people, and place. Following in the footsteps of former prestigious projects, such as the London Olympics in 2012, Crossrail and the Lee Tunnel, standards have been raised even further to follow up on what was previously achieved.



4 Längsschnitt durch das Gesamtprojekt Thames Tideway  
Longitudinal section of the complete Thames Tideway project



5 Übersicht Thames Tideway Tunnel, Los West  
Overview of Thames Tideway Tunnel, West Section

Tideway unterstreicht, dass das Projekt sehr viel mehr ist als lediglich der Bau und der Betrieb einer Infrastruktur. Große Anstrengungen werden unternommen, damit das Projekt als ein Vermächtnis für zukünftige Generationen verstanden wird. Dem Auftraggeber ist sehr an einem positiven Image des Projekts in der öffentlichen Wahrnehmung gelegen. Unter dem Motto „Reconnecting London with the River Thames“ werden die Themen Ökologie, Gesundheit und Arbeitssicherheit, Ökonomie, Bevölkerung und Standort als Verbesserungsziele angesprochen. In den Fußstapfen Londons vorhergehender Vorzeigeprojekte Olympia 2012, Crossrail und Lee Tunnel folgend, wird der Anspruch an den Thames Tideway Tunnel nochmals erhöht.

### Ökologie

Die Themse soll wieder sauberer werden und so eine erhöhte Artenvielfalt der Tier- und Pflanzenwelt zurück erhalten.

### Gesundheit und Arbeitssicherheit

Anhand mehrerer Einweisungen durchläuft jeder Mitarbeiter des Projektes ein mehrstufiges Einweisungsprogramm, welches erstrangig an das individuelle persönliche Verhalten eines Jeden appelliert. Dadurch verspricht man sich eine erhöhte Arbeitssicherheit und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit aller Beteiligten. Zum Schutz aller Projektbeteiligten gilt hinsichtlich der Gesundheit und Arbeitssicherheit das Motto der „Null-Toleranz“ („Zero harm“).

### Ecology

The Thames is to be cleaned up in order to restore the variety of its fauna and flora.

### Health and Safety

Every employee involved in the project (workers and staff members) will undergo a series of inductions. By addressing each and everybody's responsibility a change in attitude is intended to contribute towards more trust and thereby a safer working environment. The motto is "zero harm" especially in the field of health and safety.

### Economy

London relies on a functioning infrastructure and on a reliable waste water system to stay internationally competitive. The city expects ever-expanding growth. The overall value of the River Thames has not yet been fully realised, neither economically nor recreationally. The aim is to rejuvenate the use of the river in future. The local economy, the existing know-how and its expansion are to be accorded priority.

### People

Construction of the Thames Tideway Tunnel will create 4,000 new jobs at its peak and it is expected that up to 5,000 additional jobs will benefit indirectly. The project initiated an apprenticeship scheme thereby helping to combat the youth unemployment rate and a

### Ökonomie

London bedarf einer funktionierenden Infrastruktur und damit auch eines leistungsfähigen Abwassersystems um weiterhin auf dem internationalen Märkten wettbewerbsfähig zu bleiben. Man erhofft sich ein stetiges Wachstum der Stadt. Die Nutzung der Themse ist derzeit sowohl aus ökonomischer Sicht als auch in Bezug auf Erholung und Freizeitgestaltung nicht ausgelastet und soll zukünftig diesbezüglich wiederbelebt werden. Lokal ansässige Firmen und Betriebe werden vorrangig gefördert, und durch das Projekt wird das vorhandene Know-How weiter ausgebaut.

### Bevölkerung

Der Bau des Thames Tideway Tunnel verschafft in der Hauptbeschäftigungszeit bis zu 4000 direkte und 5000 weitere indirekte Arbeitsplätze. Das Projekt hat die Bekämpfung der Jugendarbeitslosigkeit als weiteres Ziel benannt und wird in Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden Ausbildungsprogramme fördern. Die an die Themse angrenzenden Kommunen werden unterstützt und aufgefordert, sich an Aufräumarbeiten und an der Entwicklung von Freizeitangeboten entlang der Themse zu beteiligen.

### Standort

Der Trend, sich dem Fluss wieder zuzuwenden, soll fortgeführt werden. Stadtentwicklungsprojekte entlang der Themse sollen florieren, neue Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen und helfen, die Kommunen sicherer zu gestalten und Kriminalitätsraten zu senken.

### Projekt Thames Tideway

Der Bau des Thames-Tideway-Tunnel-Projekts ist aufgeteilt in drei geographisch voneinander getrennte Bauabschnitte: West, Mitte und Ost (**Bild 4**). Der Bauabschnitt West erstreckt sich von Acton in Londons Westen nördlich der Themse bis nach Battersea. Von dort verläuft der Bauabschnitt Mitte weiter in Richtung Osten bis in Stadtteil Southwark nahe der Tower Bridge. Dort setzt der Bauabschnitt Ost an; er verläuft Richtung Newham, wo er an den Lee Tunnel anschließt.

### Der Bauabschnitt West

Im August 2015 wurde das Joint Venture (JV) BMB mit der Planung und der Erstellung des Bauabschnitts West mit einem Auftragsvolumen von 416 Millionen britischen Pfund beauftragt. BMB steht für die integrierte Arbeitsgemeinschaft zwischen BAM Nuttall, Morgan Sindall und Balfour Beatty. Mit an Bord ist auch der deutsche Tunnelbauspezialist Wayss & Freytag als Partner von BAM Nuttall; beide Unternehmen sind Töchter der niederländischen Royal BAM Group. Die Planungsleistung ist aufgeteilt zwischen der beauftragten Planungs-Arge Arup/Atkins und UnPS. Während sich Arup/Atkins der Hydraulik und der diversen Zulaufbauwerke annimmt, ist UnPS mit der Planung der Schächte und der Tunnel beauftragt.

### Vertragsform

Der Kunde hat für das Projekt Option C der im Vereinigten Königreich inzwischen weit verbreiteten Vertragssammlung des NEC 3

scheme to employ former convicts. The bordering communities will be integrated in the project e.g. by supporting initiatives such as river cleaning projects and sponsoring recreational activities along the Thames.

### Place

The trend of reconnecting London with the river will be continued. Urban development along the Thames is to flourish and new development potentials have been identified. This is intended to upgrade the communities and make them safer with less crime.

### The Thames Tideway Tunnel Scheme

The construction of the Thames Tideway Tunnel is divided into three contracts: West, Central and East (**Fig. 4**). The West Section is situated between Acton in west London, north of the Thames, and Battersea. The Central Section connects to the west and leads to Southwark, near Tower Bridge. The East Section starts there; it runs towards Newham, where it links up with the Lee Tunnel.

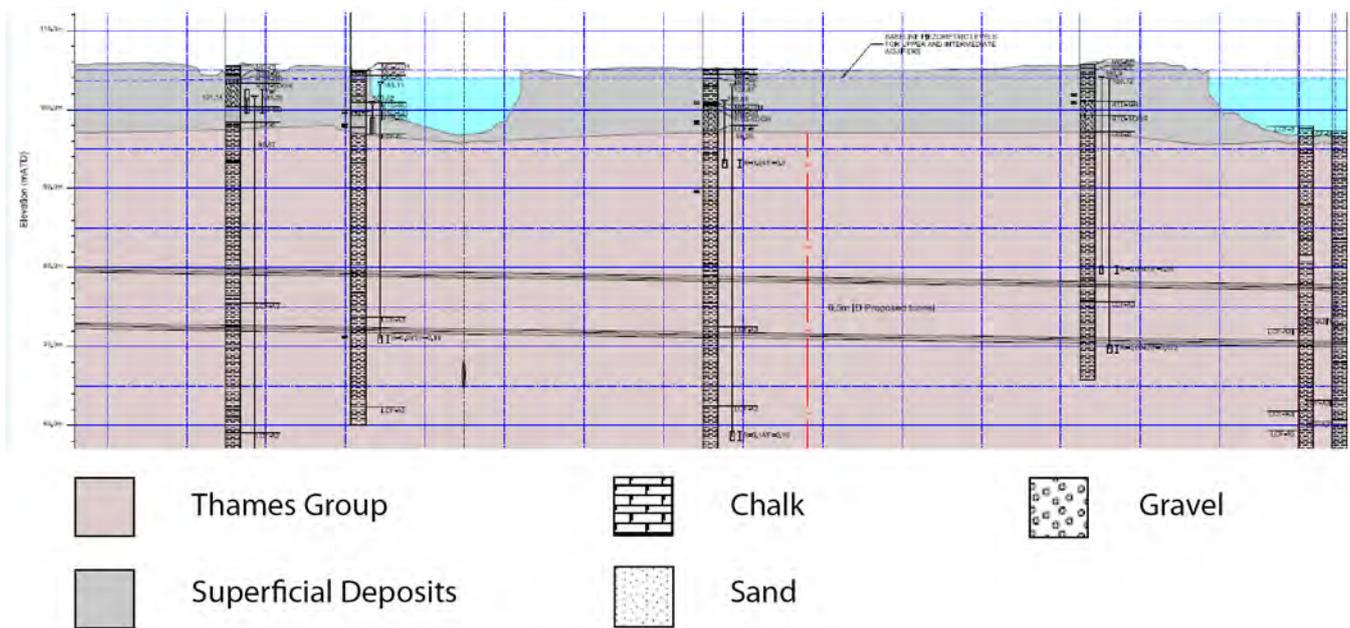
### West Section

In August 2015, a three-way joint venture between BAM Nuttall, Morgan Sindall and Balfour Beatty was awarded the contract for the delivery of Tideway's West Section at a contract value of 416 million pounds sterling. Each partner has an equal third share in the joint venture and it is fully integrated. The German tunnelling specialist Wayss & Freytag as partner of BAM Nuttall is also involved in the project; both companies are subsidiaries of the Dutch Royal BAM Group. A joint venture between Arup and Atkins delivers the hydraulic and structural design to the joint venture, while UnPS contributes the shaft and tunnel design.

### Form of Contract

For this project the client has chosen option C of the NEC (New Engineering Contract), a collection of agreements, which has gained in popularity in the United Kingdom. This form of contract is known as a "Target Price Contract", signifying that during the construction phase the actual costs are calculated with commensurate surcharges. After construction is concluded, this sum is checked against a previously determined target price. The JV BMB was initially commissioned in keeping with the calculated and offered construction costs including surcharges (site overheads, risk and profit). The contractually fixed price represents the target price. Deviations from the contractual construction services must be registered in the form of so-called "compensation events" and "early warnings". Applications for exemptions recognised by the client increase or reduce the previously agreed target price. If additional or deviating services are not recognised, these "disallowed costs" do not alter the target price. The contractor's monthly partial payments must be based on traceable and verifiable costs.

The selected form of contract is marked by the continuous exchange of periodic costs and enables swift incorporation of any deviations from the original contractual target in the cost projection. Long-term legal disputes once the project has been completed are thus generally avoided.



6 Exemplarischer geotechnischer Längsschnitt  
Exemplary geotechnical longitudinal section

(New Engineering Contract) gewählt. Bei dieser Vertragsform handelt es sich um einen sogenannten „Target-Price-Contract“ – ein Vertrag, bei dem in der Bauphase zunächst nach tatsächlichen Kosten mit Zuschlag abgerechnet und nach Bauende diese Summe gegen einen zuvor definierten Zielpreis abgeglichen wird. Das JV BMB wurde zunächst zu den kalkulierten und angebotenen Baukosten inklusive Zuschlägen (Baustellengemeinkosten, Wagnis und Gewinn) beauftragt. Der vertraglich fixierte Preis stellt den Zielpreis dar. Durch sogenannte Kompensationsereignisse („compensation events“) und frühzeitige Anzeige („early warnings“) sind beim Kunden Abweichungen vom geschuldeten Bausoll anzumelden. Vom Kunden anerkannte Abweichungsanträge erhöhen oder reduzieren den zuvor vereinbarten Zielpreis. Werden zusätzliche oder abweichende Leistungen nicht anerkannt, verändern diese nicht anerkannten Kosten („disallowed costs“) den Zielpreis nicht. Die monatlichen Abschlagsrechnungen des Auftragnehmers müssen auf der Basis nachweisbarer und belegbarer Kosten gestellt werden.

Diese gewählte Vertragsform zeichnet sich durch den kontinuierlichen Austausch der periodischen Kosten aus und ermöglicht eine schnelle Einarbeitung etwaiger Abweichungen vom ursprünglichen Vertragssoll in die Kostenhochrechnung. Langfristige juristische Auseinandersetzungen am Ende der Projektfertigstellung werden dadurch in der Regel vermieden.

### Der Hauptsammler

Der westliche Teil des Hauptsammlers (Bild 5) mit einem Innendurchmesser von 6,50 m und einer Länge von 6950 m beginnt in Acton bei den bereits bestehenden Regenauffangbecken, die derzeit ungereinigt in eine der Einleitstellen (Acton Storm Relief CSO) entleeren. An dieser Stelle wird der Tunnel in einem typischen Jahr bei durchschnittlich 29 Überlaufereignissen rund

### The main Tunnel

The western main tunnel (Fig. 5), with an inner diameter of 6.5 m and a length of 6,950 m will – once completed – start collecting sewage and rain-runoff from Acton Storm Tanks. The tunnel will pick up the complete discharge from the Acton Storm Relief CSO, relieving the system of 310 000 m<sup>3</sup> resulting from 29 events for a typical year. The tunnel runs initially under a residential area before joining the Thames' river course just west of Hammersmith Bridge until Carnwath Road in Fulham. Along its route the main tunnel is fed by further CSOs: First of all, by Acton's storm relief facility, then at the Hammersmith Pumping Station on the north bank of the Thames, followed by Barn Elms and then at Putney Bridge on the south bank. The sewage from the discharge points in King George's Park and at Dormay Street will be transferred to the main tunnel through a new connecting tunnel, the Frogmore-Tunnel, with an internal diameter of 2.60 m. This will link with the main canal at the Carnwath Road shaft, where the Central Section connects upstream. The western segment of the main tunnel will be driven through London Clay (Fig. 6) from the Carnwath Road shaft in a western direction until the Acton shaft has been reached using an EPB-TBM made by Herrenknecht. Tunnelling is scheduled to start in late 2017.

### River Logistics

Accomplishing the project calls for reducing road transport to a minimum by utilising the Thames. 4.2 million tonnes of material and plant are to be transported on the river, thereby eliminating some 262 000 lorry trips on London's highly congested roads. The challenge here lies in the tidal movement of the river: at high tide the clearance under the numerous bridges is very low and at low tide there is very little clearance under the keel of the vessels. Specifically for this function and for this project, the joint venture has

310 000 m<sup>3</sup> Abwässer aufnehmen. Der Tunnel wird von Acton in südliche Richtung unterhalb bewohntem Gebiet verlaufen und westlich der Hammersmith Brücke auf den Flussverlauf der Themse bis zur Carnwath Road in Fulham treffen. Entlang der Route wird der Tunnel Abwässer aus bestehenden Einleitstellen aufnehmen: Zunächst von Actons Regenauffangbecken, dann an der Hammersmith Pumpstation am Nordufer der Themse, im weiteren Verlauf bei Barn Elms und an der Putney Brücke am Südufer. Das Abwasser aus den Einleitstellen im King George's Park und an der Dormay Street wird dem Haupttunnel durch einen neuen Anschlusstunnel mit einem Innendurchmesser von 2,60 m, dem Frogmore-Tunnel, zugeführt. Dieser wird auf den Hauptkanal am Schacht Carnwath Road treffen, wo sich flussabwärts der Bauabschnitt Mitte anschließt.

Der westliche Teil des Haupttunnels wird vom Schacht Carnwath Road in Richtung Westen bis zum Schacht Acton mit einer TVM mit Erddruckstützung des Herstellers Herrenknecht durch den Londoner Ton aufgefahren (**Bild 6**). Vortriebsbeginn ist für Ende 2017 vorgesehen.

### Material- und Aushublogistik per Schiff

Der baustellenspezifische Straßenverkehr wird durch die Themse als nutzbare Wasserstraße auf ein Minimum beschränkt. Insgesamt sollen 4,2 Millionen Tonnen an Material (Tübbing, Aushubmaterial etc.) auf dem Fluss transportiert werden, wodurch Londons ohnehin stark befahrenes Straßennetz von 262 000 Lkw-Fahrten befreit wird.

Die Herausforderung der Schiffstransporte besteht jedoch im Tidenhub der Themse. Während Hochwasser ist die Durchfahrts Höhe unter den zahlreichen Brücken Londons beschränkt, und während Niedrigwasser verbleibt nur wenig Wasser unterm Kiel. BMB hat eigens für dieses Projekt zwei Schlepper akquiriert, die sowohl in flachen Gewässern navigieren können und auch durch niedrige Abluft- und Geräuschemissionen den ökologischen Anforderungen der Stadt Londons entsprechen. Die Gezeiten werden minutiös in den Bauablauf integriert, und die Transporte auf dem Wasserweg sind eng mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

### Primäre und sekundäre Tunnelauskleidung

Die Tunnelauskleidung besteht aus der sog. primären Auskleidung, dem Tübbingausbau, und der sekundären Auskleidung. Als Optimierungsvorschlag hat das Joint Venture geplant, den Tübbingausbau in Form von acht Trapezoiden (anstatt der vormals vorgesehenen Links-/Rechts-Universalringe) mit einer Dicke von 350 mm herzustellen. Vorgesehen ist ein Innendurchmesser von 7,1 m bei einer Ringlänge von 1,7 m. Des Weiteren soll eine verankerte Tübbingdichtung zum Einsatz kommen.

Die herkömmliche Tübbingverschraubung soll durch Führungsschienen (guiding rods) in den Längsfugen bzw. durch Kunststoffverdübelung in den Ringfugen (locking dowels) ersetzt werden. Neben einer Erhöhung der Arbeitssicherheit durch das Wegfallen der Dübeltaschen wird dadurch auch eine höhere Ringbaugeschwindigkeit erwartet. Der trapezoide Tübbingausbau soll in

acquired two tugs designed to navigate in shallow waters and meeting London's high requirements on noise and air quality standards. The falling and rising tide will be integrated meticulously into the project's programme and the river transports will be closely coordinated with the public authorities.

### Primary and secondary Tunnel Lining

The tunnel lining will consist of a primary lining (tunnel segments) and a secondary lining for increased durability.

During an optimisation process, the joint venture proposed using boltless trapezoidal rings, 350 mm thick, as an alternative to the originally intended universal left/right rings. An internal diameter of 7.1 m given a ring length of 1.7 m is foreseen. The segments will be equipped with a single cast-in gasket.

Instead of bolts, the longitudinal joints will be provided with guiding rods, while the ring joints will be fitted with locking dowels. The expected results are a higher rate for installing the rings as well as an improved industrial safety through eliminating the bolt pockets. The trapezoidal segment lining in conjunction with the selected locking system is intended to assure a qualitatively high-grade support for the sewage tunnel.

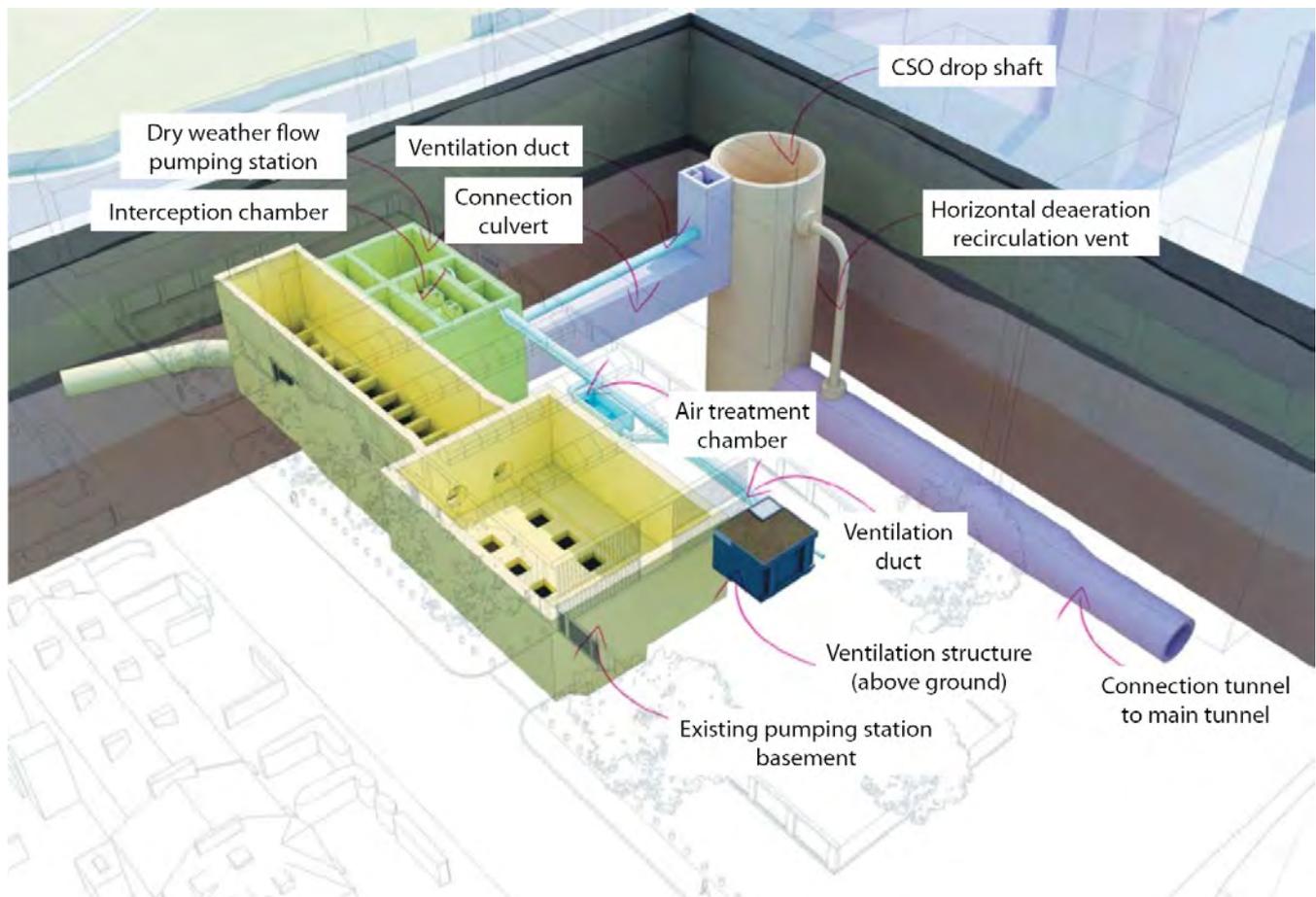
The secondary lining is designed for additional durability for the project's 120 year design life. A decision has yet to be made whether the secondary lining will consist of precast segments or a steel fibre reinforced concrete (SFRC) shell with a thickness of 300 mm.

### Frogmore Connection Tunnel

The Frogmore connection tunnel consists of two tunnel sections, each 550 m long: a first tunnel drive southwards from Dormay Street to King George's Park and a second tunnel drive northwards from Dormay Street connecting to the main tunnel at the Carnwath Road shaft. The tunnel will be constructed using a single EPB-TBM. The tunnel lining will consist of a six-piece trapezoidal segmental lining (inner diameter 2.85 m; segment thickness 180 mm to 230 mm), complemented by a 125 mm thick secondary SFRC lining.

### More than just a Tunnel – The Combined Sewer Outfalls (CSOs)

Bazalgette's historic CSOs form the connection to the new Thames Tideway Tunnel scheme. **Fig. 7** illustrates in highly simplified form the discharge from the existing sewer system into the future one. The interception chamber transfers the outflow with a 90° turn into an underground culvert and further through a valve chamber, where the runoff into the new system will be electronically controlled. A vortex inside the drop shaft will discharge into a connecting tunnel towards the main tunnel. Above ground, the air will be treated and discharged through a ventilation chimney. In this case, London's particularly dense population structure represents a special challenge with regard to the space available, odour nuisance around highly expensive residential buildings and integrating the Tideway infrastructure into urban planning (in some cases in park facilities and in others right in the middle of new and existing residential areas).



Quelle/credit: Tideway

7 Innenansicht einer Einleitstelle (CSO)  
Inside a CSO

Verbindung mit dem gewählten Dübelsystem für einen qualitativ hochwertigen Ausbau des Abwassertunnels sorgen.

Die sekundäre Innenschale gewährleistet eine geplante Lebensdauer des Abwassertunnels von 120 Jahren. Die Entscheidung steht noch aus, ob die Innenschale mit Betonfertigteilen ausgekleidet oder eine Ortbetonschale mit einer Dicke von 300 mm ausgeführt wird

### Frogmore Verbindungstunnel

Der Frogmore Tunnel besteht aus zwei 550 m langen Tunnelstrecken, die jeweils vom Schacht Dormay Street zunächst nach Süden zum Schacht King George Park und danach mit derselben EPB-TBM in Richtung Norden zum Carnwath Road Schacht aufgefahren werden. Vorgesehen ist ein Innendurchmesser von 2,85 m mit einer Tübbingdicke von 180 bis 230 mm mit sechs Trapezoiden pro Ring. Die innenseitige Auskleidung wird durch eine 125 mm starke Ortbetonschalung ergänzt.

### Mehr als nur ein Abwassertunnel – Die Einleitstellen

Die bestehenden Einleitstellen verbinden Bazalgettes historisches Abwassersystem mit dem neuen Tideway Tunnel. **Bild 7** verdeutlicht – stark vereinfacht – das Einleitsystem in den neuen Abwasserkanal.

### Proposed Construction Sequence

The three main sections West, Central and East, were awarded to the corresponding JVs in 2015; in the meantime they have reached the planning and approval stage. Preparatory work takes place during 2016 prior to the tunnel sections being driven from 2017 to 2019. Construction work incorporating the corresponding inner linings and the furnishing of the shafts is to be finished by 2021. A test phase will be embarked on in 2022 prior to the project being finally opened in 2023.

Work on the West Section began at the Carnwath Road construction site in May 2016. BMB will setup its headquarters on the site installation yard. It is intended to begin tunnelling for the main collector towards the west at the end of 2017; a year later the machine is scheduled to be greeted at its destination, the Storm Tanks in Acton. During the fourth quarter of 2016 reinforcement work was carried out on the river bank walls at the Carnwath Road yard, prior to a temporary landing stage being set up for supplying segments and for dispatching muck. Soil investigations have been concluded and demolition of the existing halls and office buildings had progressed so far that the advance site personnel could set up shop in an on-site container facility in autumn 2016.

BMB took over the Hammersmith Pumping Station and Putney Bank building areas in the third and fourth quarters of 2016. All further

Die Auffangkammer übernimmt den Abfluss und führt diesen in einem 90-Grad-Bogen einem unterirdischen Kanal zu. Der Zufluss in den neuen Kanal wird elektronisch in der Schieberkammer kontrolliert. Im Fallschacht übernimmt die Drallkammer den Zufluss in den Wirbelfallschacht. Über eine Toskammer am Fuße des Schachtes fließt das Abwasser in den Verbindungstunnel in den neuen Hauptkanal. An der Oberfläche wird die Abluft behandelt und über einen Schornstein der Umgebung zugeführt. Hierbei stellt die besonders dichte Bevölkerungsstruktur Londons hinsichtlich verfügbarem Platz, Geruchsbelästigung im Bereich der sehr teuren Wohngebäude, Integration der Tideway-Infrastruktur in die Stadtentwicklung (teilweise in Parkanlagen und teilweise mitten in neue und bestehende Wohnanlagen) eine besondere Herausforderung dar.

### Vorgesehener Bauablauf

Die drei Hauptlose West, Mitte und Ost wurden 2015 an die entsprechenden Argon vergeben; mittlerweile befinden sich diese nun in den Planungs- und Genehmigungsphasen. 2016 finden die vorbereitenden Maßnahmen statt, bevor die Tunnelabschnitte in den Jahren 2017 bis 2019 aufgeföhren werden. Bis 2021 werden die Bauarbeiten mit den jeweiligen Innenschalen und Ausstattungen der Schächte abgeschlossen sein. Nach einer Testphase im Jahr 2022 soll die endgültige Inbetriebnahme 2023 erfolgen. Die Arbeiten am Bauabschnitt West wurden im Mai 2016 an der Baustelle Carnwath Road aufgenommen. Auf dieser Baustelleneinrichtungsfäche wird sich BMB mit seinem Hauptquartier niederlassen. Vortriebsbeginn des Hauptsammlers ist von hier in Richtung Westen für Ende 2017 vorgesehen; ein Jahr später soll die Maschine dann am Zielpunkt, bei den Regenauffangbecken in Acton in Empfang genommen werden.

Im vierten Quartal 2016 fanden auf der Fläche Carnwath Road Verstärkungsmaßnahmen der Flussuferwände statt, schließlich wird hier eine temporäre Anlegestelle für die Anlieferung der Tübbinge und für das Verschiffen des Aushubs eingerichtet. Die Bodenerkundungen sind abgeschlossen, und die Abbrucharbeiten der vorhandenen Hallen und Bürogebäude sind soweit fortgeschritten, dass sich das erste Baustellenpersonal im Herbst 2016 in einer Baustellen-Containeranlage einrichten konnte.

Im dritten und vierten Quartal 2016 wurden die Bauflächen Hammersmith Pumpstation und das Putney-Ufer von BMB übernommen. Im Jahr 2017 beginnen sukzessive alle weiteren Bauarbeiten an den Baustellen Dormay Street, King George's Park und Barn Elms. BMBs „kleine“ TBM für den Anschlussstunnel Frogmore beginnt ihre Arbeit Anfang 2018, zunächst vom Startschacht Dormay Street in Richtung Süden, zum Übergabeschacht im King George's Park. Anschließend wird mit derselben TBM der Tunnel wieder von Dormay Street, dieses Mal nordwärts, zum Hauptschacht Carnwath Road, mit einem Verlauf unterhalb der Themse aufgeföhren.

Bis Ende 2019 werden die Tunnelarbeiten inklusive der Innenschalen abgeschlossen sein, und nach einem weiteren Jahr, Ende 2020, werden die verbleibenden Schächte und Oberflächenarbeiten zum Abschluss gebracht

construction activities are due to commence successively in 2017 at the Dormay Street, King George's Park and Barn Elms sites.

BMB's "small" TBM will begin tackling the Frogmore connecting tunnel in early 2018, initially from the Dormay Street starting shaft towards the south, to the transfer shaft in King George's Park. Subsequently the same TBM will again drive the tunnel from Dormay Street, this time towards the north, to the Carnwath Road main shaft, passing below the Thames in the process.

Tunnelling activities including the inner linings are due to be completed by the end of 2019. After a further year in late 2020, the remaining shafts and surface operations will be finished. 



**Tunnel 2017**

**2. Deutscher Tunnelkongress**

für  
**Betriebstechnik  
Sicherheit & Telematik  
am  
22./23. März 2017  
in Hamburg**

Programm und Anmeldung: [www.tunnel2017.de](http://www.tunnel2017.de)

**ITS Germany e.V.**  
Deutsche Gesellschaft für Intelligente Transportsysteme

## Dänemark

## MAT-Aufbereitungstechnik für Microtunnelling-Projekt unter dem Hafen von Kopenhagen



Quelle/credit (2): MAT

Die Separationsanlage vom Typ BE-425-60 auf der Baustelleneinrichtungsfläche für den Fernwärmehafen Kopenhagen neben dem Startschacht. Im Hintergrund ist die im Container eingehauste Zentrifuge positioniert

The separating plant (Type BE-425-60) on the site installation yard for the distance-heating tunnel in Copenhagen next to the starting shaft. In the background, the centrifuge housed in the container is visible

Wie die meisten Hauptstädte Europas leidet auch Kopenhagen in Dänemark unter stark beengten Platzverhältnissen und einer schwierigen Verkehrssituation. Als HOFOR Fjernvarme P/S, der örtliche Energieversorger in Kopenhagen, im Mai 2014 den „Fernwärmehafen unter dem Hafen von Kopenhagen“ ausschrieb, musste er bereits die besonderen örtlichen Bedingungen im Stadtzentrum berücksichtigen und vor allem bei der Baustelleneinrichtung und beim Entsorgungskonzept den Bedürfnissen einer modernen und in Umweltbelangen sensitiven Großstadt wie Kopenhagen Rechnung tragen.

### Fernwärmehafen in Microtunnelling-Bauweise

Gegenstand der Baumaßnahme war die Herstellung eines Fernwärmehafens unter dem Hafen von Kopenhagen in einer Tiefenlage von 24 m und mit einem Innendurchmesser von 3 m, bei einem Außendurchmesser von 3,6 m. Die gesamte Haltungslänge betrug 321 m. Bei der erwarteten Geologie handelte es sich um Kalkstein und Feuerstein mit einer Druckfestigkeit des Gesteins bis zu 30–40 Mpa. Der Spülkreislauf zur Förderung des Materials wurde mit ca. 200–250 m<sup>3</sup>/h gefahren.

Ende August 2014 wurde der Auftrag an das Konsortium NCC/SMET vergeben, und im Januar 2016 konnte das Fernwärmehafen-Projekt unter dem Kopenhagener Hafen erfolgreich zum Abschluss gebracht werden. Bei der Firma NCC handelt es sich um ein namhaftes Bauunternehmen aus Schweden, welches auch

## Denmark

## MAT Materials Preparation Technology for Microtunnelling Project below the Port of Copenhagen



Aus dem Vorratssilo (rechts) wird der Bentonit über eine Förderschnecke in die Suspensionsmischanlage SKC-60-C transportiert (links). Die Bentonitsuspension wird im dahinter zu sehenden Rührwerksbehälter zwischengelagert und über eine Druckleitung in den Tunnel gepumpt

The bentonite slurry is transported from the supply silo (right) via a screw conveyor into the slurry mixing plant – SKC-60-C (left). The mixed slurry suspension is temporarily stored in the agitator tank to be seen in the background and subsequently pumped for use in the tunnel via a pressure line

Copenhagen is the political and economic core of Denmark; it is the capital and the seat of government. Like most of Europe's capitals it also suffers from space constraints and tricky traffic conditions, something which makes executing major construction measures a real infrastructural challenge. As HOFOR Fjernvarme P/S, the local energy provider in Copenhagen, invited tenders for the "Distance-heating Tunnel under the Port of Copenhagen" in May 2014, the particular local conditions within the city centre had to be taken into consideration. Furthermore, the needs of a modern and environmentally-sensitive capital city like Copenhagen had to be considered above all, for setting up the construction site and the disposal concept.

### Distance-heating Tunnel produced by Microtunnelling

The object of the construction measure was the construction of a distance-heating tunnel under the Port of Copenhagen at a depth of some 24 m with 3 m internal diameter, given an external diameter of 3.6 m. The total column length amounted to 321 m. The geology to be expected involved limestone and flintstone with a rock compressive strength of up to 30–40 Mpa. The flushing system to transport the material was operated at roughly 200–250 m<sup>3</sup>/h. At the end of August 2014, the NCC/SMET Consortium was commissioned to undertake the project and the "Distance-heating Tunnel under the Port of Copenhagen" scheme was successfully completed in January 2016. The NCC is a leading construction company from

erfolgreich in Dänemark aktiv ist. Die Firma SMET Tunnelling N.V. hat ihren Sitz in Belgien und ist bereits seit Jahrzehnten spezialisiert auf dem Gebiet des maschinellen Tunnelbaus.

### Aufbereitungstechnik von MAT

Bereits in der Planungsphase der Baumaßnahme sah man sich innerhalb der Firma SMET hinsichtlich der Aufbereitungstechnik nach geeigneten technischen Lösungen um. Nach reiflicher Prüfung aller am Markt verfügbaren Optionen und nach Bewertung der technischen und kommerziellen Aspekte entschied sich das Konsortium NCC/SMET letztlich für das Angebot der deutschen Firma MAT aus Immenstadt im Allgäu, da hier eine komplexe und eng miteinander verzahnte Systemlösung aus einer Hand eingekauft werden konnte, die sowohl Trenntechnik als auch Mischtechnik beinhaltet.

Die MAT Mischanlagentechnik ist eine Zweigniederlassung der Bauer Maschinen GmbH und spezialisiert auf die Entwicklung und Herstellung von Misch- und Trenntechnik für den Spezialtiefbau. Bereits in den frühen 1990er Jahren wurden – damals noch unter dem Namen Bauer, später dann unter MAT – die ersten Entsandungs- oder Separieranlagen für den Einsatz im Microtunneling gebaut.

Sweden, which is also actively engaged in Denmark. The company of SMET Tunnelling N.V. has its headquarters in Belgium and has specialised in the field of mechanised tunnelling for decades on end.

### MAT Materials Preparation Technology

During the planning stage of the construction project, those responsible within the SMET Company were involved in searching for suitable technical solutions with regard to materials preparation technology. After due consideration of all options available on the market and evaluation of the technical and commercial aspects, the NCC/SMET Consortium ultimately opted for the proposal forwarded by the German MAT Company from Immenstadt in the Allgäu. This meant that a complex and closely integrated system solution could be purchased from a single source, including both separation technology as well as mixing technology.

The MAT Mischanlagentechnik is a subsidiary of the Bauer Maschinen GmbH and specialises in developing and producing mixing and separation technology for special underground engineering. The first desanding or separating plants were built back in the early 1950s for application in microtunneling – initially under the name Bauer and subsequently under that of MAT.



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)2 34/5 88 73-73  
Fax +49 (0)2 34/5 88 73-10  
info@techno-bochum.de  
www.techno-bochum.de

 **TechnoBochum**



## OGSiD SSB Data Recording System - die innovative Software für den Tunnelbau

### Die Features im Überblick:

- Segmenttracking
- Logistische Überwachung von der Fertigung bis hin zum Einbau
- Rückverfolgung jedes einzelnen Segments und Zugriff auf alle qualitätsrelevanten Daten
- Identifikation via Scanner (Barcode/RFID)
- Integrierte Foto-Dokumentation der Fehlstellen und Reparaturen
- Für internationale Einsätze und Großprojekte konzipiert



Hohenfelder Straße 17-19 • 56068 Koblenz  
Telefon: +49 (0) 261/91 59 5-0 • info@ogs.de • www.ogs.de

## Gesamtkonzept für Zubereitung der Bentonitpflung und Abscheidung der Feststoffe

Beim Fernwärmehunnel-Projekt in Kopenhagen entschied man sich für die Anschaffung eines kompletten Baukastens an Komponenten, mit dem sowohl die Zubereitung der Bentonitpflung (für die Rohrstrangschmierung und als Fördermedium für das Bohrklein im Spflungskreislauf) als auch die Abscheidung der Feststoffe von 75 mm bis zu  $< 1 \mu\text{m}$  gewährleistet war. Das Ziel war es, möglichst während der Vortriebsarbeiten kein Fahrwasser tauschen zu müssen. Jede Abfahrt zur Entsorgung von gesättigter Bohrsuspension hätte eine zusätzliche Belastung des innerstädtischen Verkehrs bedeutet. Zum Einsatz kam eine Separationsanlage vom Typ BE-425-60 mit einem vorgeschalteten Grobsieb GS-425-V sowie einer Desilter-Erweiterung BDS-250-30K mit entsprechender Speisepumpe. Mit dieser Technik lassen sich Partikel von 75 mm bis ca.  $30 \mu\text{m}$  aus der Bohrspflung separieren. Für den Bereich von  $30 \mu\text{m}$  bis  $< 1 \mu\text{m}$  entschied man sich für den Einsatz einer Dekanterzentrifuge BD-60 mit vorgeschalteter Flockmittelstation FA-1000. Die BD-60 sowie auch Ihre „große Schwester“ BD-90 wurden von MAT speziell für den Tunnelbau und Spezialtiefbau entwickelt. Aufgrund ihrer großen Kapazität in Verbindung mit dem hohen Verschleißschutz sind sie besonders geeignet für die Aufbereitung von Bohrspflungen. Abgerundet wurde das MAT-Konzept durch eine Suspensionsmischanlage SKC-60-C als integrierte Containerlösung. Hierbei ist die Mischanlage in einem geschlossenen 10' ISO-Container fest eingebaut, was den Lärm- und Witterungsschutz verbessert.

## Suspensionsmischanlage

Die SKC-60-C Durchlaufmischanlage ist speziell dafür gebaut, aus Bentonit und Wasser kontinuierlich eine fließfähige Suspension herzustellen. Für die bestmögliche Dispergierung der Mischungsbestandteile wird im Mischer neben den durch die Mischwerkzeuge verursachten Kräften auch die durch die Pumpwirkung hervorgerufene turbulente kinetische Strömungsenergie genutzt. Das Mischsystem sorgt somit für optimale Homogenität, kolloidale Aufbereitung und hohe Mischleistungen bei kurzen Mischzeiten. Der Trockenbentonit wird über eine Förderschnecke (Typ FS-193/4500) vom Silo mittels Zellenradschleuse in den Mischer dosiert. Die Drehzahl der Zellenradschleuse kann entsprechend der gewünschten Suspensionsdichte eingestellt werden. Die Wasserzugabe wird mittels Absperrschieber und über die Anzeige am Durchflussmengenähler reguliert.

Die angesetzte Suspension aus der Mischanlage wird im Rührwerksbehälter ST-V26 zwischengespeichert und über eine Doppelplungerpumpe in den Spalt zwischen Rohrstrang und umliegenden Boden gepumpt. Der Füllstand im Rührwerksbehälter wird über zwei Füllstandsonden überwacht. Sie sind mit der Steuerung der Mischanlage verbunden und verhindern somit ein Überlaufen des Rührwerksbehälters bzw. stellen die Befüllung bei Erreichen eines Mindestniveaus sicher. Die beiden vertikal angeordneten Rührwerke im Behälter sorgen für eine kontinuierliche Durchmischung der Suspension und verhindern somit auch eine Entmischung bei längeren Entnahmeunterbrechungen. 

## Overall Concept for Preparing Bentonite Fluid and Separating solid Substances

In the case of the distance-heating project in Copenhagen, it was decided to procure a complete set of modular components, by means of which preparation of the bentonite circulating fluid (for lubricating the pipe column and as a pumpable medium for the cuttings in the flushing circuit) as well as removal of solid substances of 75 mm up to  $< 1 \mu\text{m}$  was assured. The aim was to operate a closed circuit, in other words to avoid replacing any bentonite slurry if possible during tunnelling. Each attempt to dispose of saturated drilling fluid would have signified the imposition of an additional load on inner urban traffic and had to be avoided if at all possible.

A separation plant – Type BE-425-60 with a preconnected coarse sieve – GS-425-V as well as a desilter extension – BDS-250-30K with corresponding feeder pump was applied. Thanks to this system it is possible to separate particles of 75 mm up to approx.  $30 \mu\text{m}$  from the drilling fluid. It was decided to use a decanter centrifuge – BD-60 with a preconnected mixing and dosing plant for flocculants – FA-1000 for the  $30 \mu\text{m}$  to  $< 1 \mu\text{m}$  range. The BD-60 as well as its “big sister” B-90 was especially devised by MAT for tunnelling and special underground engineering. Thanks to their large capacity in conjunction with high wear protection, they are particularly suited for preparing drilling fluids. The MAT concept is rounded off by a slurry mixing plant – SKC-60-C in the form of an integrated container solution. In this case the mixing plant is installed in a closed 10' ISO container, something that improves noise and weather protection. Generally the mixing plant is available as a standardised version in an open container frame.

## Slurry Suspension Mixing Plant

The SKC-60 continuous mixing plant is especially constructed in order to create a constantly flowable slurry from bentonite and water. In order to provide the best possible dispersion of the mixing components, turbulent kinetic flow energy is used caused by pumping in addition to the forces resulting from the mixing tools in the mixer. The mixing system thus caters for optimal homogeneity, colloidal disintegration and high mixing rates given short mixing periods.

The dry bentonite is fed into the mixer via a screw conveyor (Type FS-193/4500) from a silo via a cellular wheel feeder. The feeder's speed can be set in accordance with the required slurry density. The adding of water is regulated by means of gate valves and via the display on a flow meter. The suspension used from the mixing plant is temporarily stored in the agitator tank – ST-V26, from where it is pumped via a double plunger pump into the gap between the drilling column and the surrounding soil. The filling level in the agitator tank is monitored by two level meters. These level meters are each connected with the mixing plant's control unit and thus prevent the agitator plant from overflowing and regulate its content once a minimum level is reached. The two vertically arranged agitators in the container cater for continuous mixing of the slurry thus preventing demixing should there be lengthy breaks in transferring the fluid. 

*Dipl.-Bauing., M.Eng. Timo Seidenfuss – Vertrieb/Sales, MAT Mischanlage-technik, Immenstadt im Allgäu, Deutschland/Germany*

## Deutschland

## 45. Geomechanik-Kolloquium in Freiberg: Teilnehmer aus 17 Ländern

Am 11. November 2016 fand in Freiberg, Deutschland, das 45. Geomechanik-Kolloquium mit 230 Teilnehmern aus 17 Ländern statt. Diese traditionsreiche Veranstaltung wird vom Lehrstuhl Felsmechanik an der TU Bergakademie Freiberg in bewährter Zusammenarbeit mit dem Verein Freiburger Geotechniker (VGF) sowie dem IfG Leipzig durchgeführt. In diesem Jahr fungierte die Central South University (China) als Mitorganisator. Bereichert wurde die Veranstaltung durch acht ausstellende Firmen. Die Vorträge beinhalteten die Themen Tunnelbau, Endlagerung und Bergbau, wobei es stets um innovative technische Verfahren oder numerische Berechnungsansätze ging. Die Autoren kamen aus China, Deutschland, Österreich, Schweden, Schweiz, Tschechien und Vietnam und ermöglichten den Teilnehmern einen tieferen Einblick in die Herangehensweisen in verschiedenen Teilen der Welt. Die Veranstaltung wurde mit dem Fachschaftsabend beendet, den die Teilnehmer zur intensiven fachlichen und privaten Diskussion nutzten. Die Vorträge in überwiegend englischer Sprache sind als Institutspublikation Nr. 2016-2 veröffentlicht worden.

Am Vortag nutzten bereits 60 Personen die Gelegenheit an einem gemeinsam von der Firma Itasca und dem Lehrstuhl Felsmechanik durchgeführten Seminar teilzunehmen. Dabei wurden die neuesten Itasca-Softwareentwicklungen inklusive einiger Anwendungen und Empfehlungen zur Nutzung vorgestellt und mit den Teilnehmern diskutiert. Die nächste Veranstaltung wird im November 2018 in Zusammenhang mit den Feierlichkeiten zu „50 Jahre Geotechnikausbildung in Freiberg“ stattfinden. 

## Germany

## 45<sup>th</sup> Geomechanics Colloquium in Freiberg: participants from 17 countries

On 11 November 2016, the 45<sup>th</sup> Geomechanics Colloquium took place in Freiberg, Germany, with 230 participants from 17 countries. This traditional event is organised by the Chair of Rock Mechanics of the TU Bergakademie Freiberg in the proven successful collaboration with the Association of Freiberg Geotechnicians (VGF) and the IfG Leipzig. This year, the Central South University, China, was a co-organiser. The event was further improved by the presence of eight companies as exhibitors. The talks covered the subjects of tunnelling, long-term disposal and mining, all concerning innovative technical processes or numerical calculation methods. The authors came from China, Germany, Austria, Sweden, Switzerland, the Czech Republic and Vietnam and provided a deep insight into the procedures in various parts of the world for the participants. The event was closed with the Fachschaftsabend meeting of the students of the department, which the participants used for intensive technical and private discussions. The talks were mostly held in English and are being published as Institute Publication No. 2016-2.

On the day before, 60 people had already taken the opportunity to take part in a seminar held by the company Itasca together with the Chair of Rock Mechanics. The latest software developments from Itasca were presented together with a few applications and recommendations for use. The next event will be held in November 2018 as part of the celebrations of “50 years of geotechnical education in Freiberg”. 



230 Teilnehmer aus 17 Ländern nahmen im November am 45. Geomechanik-Kolloquium mit Fachausstellung in Freiberg teil

230 participants from 17 countries took part in the 45<sup>th</sup> Geomechanics Colloquium with specialist exhibition in Freiberg in November

## Forum Injektionstechnik 2016

Als Fortführung der erfolgreichen Veranstaltung 2014 brachte das zweitägige Forum Injektionstechnik 2016 als Treffpunkt der Branche Bauherren, Fachplaner, ausführende Unternehmen und die Zulieferindustrie zusammen. An der begleitenden Fachausstellung beteiligen sich diesmal 20 Aussteller und Sponsoren, um über die neuesten Entwicklungen zu informieren. Die hohe Relevanz des Themas Injektionstechnik ließ sich an der hervorragenden Beteiligung ablesen: Die Veranstalter – die Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen (STUVA), der Bauverlag und das Ingenieurbüro IBE Ingenieure – konnten am 9. und 10. November 185 Teilnehmer im Maternushaus in Köln begrüßen.

## Forum on Injection Technology 2016

Following up the successful event in 2014, the 2016 Forum on Injection Technology brought together clients, designers, responsible contractors and the supply industry over two days. The accompanying trade fair attracted 20 exhibitors and sponsors this time around, providing details on latest developments. The high relevance of the topic of injection technology can be seen from the outstanding level of participation. The organisers – the Research Association for Tunnels and Transportation Facilities (STUVA), the Bauverlag and the consultants IBE Ingenieure – were able to welcome 185 participants to the Maternushaus in Cologne on November 9 and 10.

Marvin Klostermeier, Redakteur/editor *tunnel*

Ein derart großer Zuspruch, so erklärte STUVA-Geschäftsführer Dr.-Ing. Roland Leucker zur Eröffnung, sei im Vorhinein nicht absehbar gewesen. Gegenüber 70 Teilnehmern im Jahr 2014 sei dies eine wirklich beachtliche Steigerung. Rund 85 % der Teilnehmer kamen aus Deutschland, gefolgt von insgesamt über 10 % aus der Schweiz und Österreich. Selbst Teilnehmer aus Italien, Luxemburg und Tschechien waren anwesend.

„Aber nicht nur hinsichtlich der Teilnehmerzahl fühlen wir uns in unserer Auffassung bestätigt, dass ein solches Forum in der Fachwelt benötigt wird“, so Leucker weiter. „Viele Ingenieurbauwerke haben mittlerweile ein Alter erreicht, bei dem eine Grundsanierung erforderlich wird. So sind beispielsweise die ältesten Eisenbahntunnel in Europa bereits über 175 Jahre in Betrieb. Zur Behebung von Schäden an der Abdichtung bei solchen Bauwerken kommt regelmäßig die Injektionstechnik zur Anwendung.“

As STUVA CEO Dr.-Ing. Roland Leucker pointed out during the opening ceremony, such a wide response had not been evident during the run-up to the event. As opposed to 70 people taking part in 2014, this was undoubtedly a substantial increase. Some 85 % of the participants were from Germany, followed by more than 10 % from Switzerland and Austria. There were also

those taking part, who hailed from Italy, Luxembourg and the Czech Republic.

As Leucker went on to say: “our conviction that such a forum is necessary among expert circles did not solely apply to the number of participants. Many engineering structures have in the meantime reached an age at which a thorough redevelopment is necessary – as for example the oldest rail tunnels in Europe, which have now been in operation for over 175 years. Injection technology is applied regularly to remedy damage affecting the waterproofing of such structures”.



Branchentreffpunkt: Für Fachgespräche bot sich im Rahmen der Ausstellung reichlich Gelegenheit

Get-together for the industry: there was plenty of time for talking shop during the fair



Quelle/Credit (2): Marvin Klostermeier

Erfolgreiche Veranstaltung: 185 Teilnehmer verzeichnete das zweitägige Forum Injektionstechnik im Kölner Maternushaus am 9. und 10. November 2016  
 Successful event: 185 participants attended the 2-day forum on Injection Technology in Cologne's Maternushaus on November 9 and 10, 2016

Auch im Baugrund selbst stellen Injektionen zunehmend das Mittel der Wahl und dabei oft die einzige technisch machbare oder wirtschaftlich sinnvolle Möglichkeit dar. Zudem hätten sich in den letzten Jahren in der Injektionstechnik weitreichende neue Entwicklungen ergeben. Diese wurden in den Vorträgen thematisiert und waren auch Bestandteil der Ausstellung.

### Injektionstechnik in Tunnelbau und -sanierung

Insgesamt 16 Vorträge wurden im Rahmen der fünf Schwerpunkthemen „Baugrundabdichtung international“, „Bauwerksertüchtigung“, „Regelwerke und Recht“, „Baugrundertüchtigung“ sowie „Bauwerksabdichtung“ gehalten. Die Leitung der verschiedenen Sessions übernahmen wechselweise Dipl.-Ing. Jörg de Hesselle, Inhaber des Unternehmens IBE-Ingenieure, und Dr.-Ing. Christian Thienert, Geschäftsbereichsleiter „Tunnelbau & Bautechnik“ bei der STUVA.

### Internationale Projekte

Zahlreiche Vorträge des Forums nahmen direkten Bezug auf Herausforderungen und Problemstellung bei Tunnelprojekten. Im Themenblock der internationalen Projekte der Baugrundabdichtung referierte Andreas Heizmann von der Marti Geotechnik GmbH über „geotechnische und ausführungstechnische Aspekte von Abdichtungsinjektionen bei großem Wasserandrang in Druckwasserstollen“. Bei Einfach- oder Doppelschildtunnelvortriebsmaschinen (TVM) mit kleinen Durchmessern und

Injections are also increasingly being selected for tackling ground problems and in some cases represent the sole technically feasible or economically purposeful possibility. In addition, extensive new developments have resulted in injection technology in recent years. These were dealt with in the papers and were also a part of the fair.

### Injection Technology in Tunnelling and Tunnel Renovation

A total of 16 lectures were presented within the scope of the main groups of topics „International Ground Sealing“, „Improving Structures“, „Codes of Standards and Legislation“, „Improving the Ground“ and „Waterproofing Structures“. The various sessions were alternately chaired by Dipl.-Ing. Jörg de Hesselle, owner of the IBE-Ingenieure company, and Dr.-Ing. Christian Thienert, who is in charge of the „Tunnelling and Construction Technology“ division at the STUVA.

### International Projects

Numerous papers at the forum dealt directly with challenges and problem complexes connected with tunnelling projects. During the group of topics dealing with international projects relating to sealing the ground, Andreas Heizmann from the Marti Geotechnik GmbH looked at „Geotechnical and technical Aspects in Execution of Waterproofing Injections given major Presence of Water in Pressure Water Tunnels“. Heizmann explained that in the case of double or single shield tunnel boring machines (TBMs) with a small diameter

Tübbingauskleidung, erläuterte Heizmann, sind während des Vortriebs die Möglichkeiten für vorausseilende ebenso wie nachträgliche Injektionen des Gebirges stark eingeschränkt. Abdichtungen gegen starke Wasserzutritte mit hohen Wasserdrücken erfordern die Herstellung eines Injektionsrings, um den wirksamen Wasserdruck um den Stollen zu reduzieren und so die Auskleidung zu entlasten. Im vorgestellten Beispiel kam es im Zuge des TBM-Vortriebs zu einem Wassereintrich von ca. 370 l/s. Eine Absenkung des Grundwasserspiegels war die Folge, die zum Austrocknen von Quellen und Brunnen sowie zu Setzungs-schäden an der Geländeoberfläche führte. Die durchgeführten Injektionsarbeiten waren innerhalb eines halben Jahres erfolgreich abgeschlossen. Zu den Problemstellungen gehörten unter anderem der Aufbau des Bohrergerätes und der Injektionsanlagen in beengten Platzverhältnissen, Drainagebohrungen in der Sohle, Fugenabdichtungen und Injektionen in den Ringspalt. Nach diesen Vorarbeiten konnten die Felsinjektionen, teilweise in Bereichen mit fließendem Wasser, durchgeführt werden, bis der Wassereintrich im kritischen Bereich auf 20 l/s reduziert war. „Polyurethaninjektionen in heiße Druckwasserquellen beim Straßentunnel Vaðlaheiði in Island“ lautete das Vortragsthema von Ruben Schmid, Geschäftsführer des Abdichtungsunternehmens Rascor. Seit August 2012 wird ein zweispuriger Straßentunnel von 7200 m Länge im Norden von Island im Sprengvortrieb durch den Berg Vaðlaheiði gebaut. Der Tunnel durchstößt eine Zone von Heißwasser-Quellen mit Temperaturen von über 60 °C.

and a segmental lining, possibilities for injecting the ground either in advance or following up are severely restricted during tunnelling. Waterproofing against pronounced ingressing water with high water pressures require the creation of an injection ring in order to reduce the effective water pressure around the tunnel and to relieve the lining. In the example presented, a water inburst of approx. 370 l/s was the outcome during the TBM drive. The result was the lowering of the groundwater level, leading to sources and wells drying out as well as damage resulting from subsidence on the ground surface. The injection operations that were undertaken were successfully accomplished within six months. The problems faced included the setting up of the drilling rig and the grouting facilities within a constricted space, drainage holes drilled in the floor, waterproofing the joints and injections in the annular gap. Once these preliminary activities had been completed, rock grouting was undertaken, in some cases in places with flowing water, until the ingressing water was reduced to 20 l/s in the critical area.

“Polyurethane injections in hot pressurised Water Springs for the Vaðlaheiði Road Tunnel in Iceland” was the caption for the paper presented by Ruben Schmid, CEO of the waterproofing company Rascor. Since August 2012, a two-lane road tunnel with a length of 7200 m through the Vaðlaheiði mountain in the north of Iceland has been under construction by means of drill+blast. The tunnel penetrates a hot water spring zone with temperatures in excess of 60 °C. On account of the large amounts of water that prevailed, it was not possible to complete waterproofing solely by using



Quelle/credit (6): Marvin Klostermeier

Der erste Tag des Forums Injektionstechnik wurde mit einer festlichen Abendveranstaltung beschlossen

The first day at the Forum on Injection Technology closed with a festive gala evening



Dipl.-Ing. Andreas Heizmann,  
Marti Geotechnik GmbH



Dr.-Ing. Martin Wittke,  
WBI GmbH



Dipl.-Ing. Joachim Meier,  
Implenia Spezialtiefbau GmbH



Dipl.-Ing. Hendrick Schällicke,  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Kirschke GmbH  
& Co. KG

Durch die großen anfallenden Wassermengen konnte die Abdichtung nicht allein mit den ursprünglich geplanten Zementinjektionen erfolgen. Die Injektion einer quer zum Tunnel verlaufenden Kluft sollte mit Polyurethanharzen ausgeführt werden. Als problematisch erwies sich die hohe anstehende Temperatur, wodurch das Material keine längeren Injektionsstrecken zurücklegen konnte. Daher wurden für diesen speziellen Einsatz individuelle Formulierungsanpassungen des Injektionsgutes vorgenommen.

### Baugrundertüchtigung

Für das Projekt Stuttgart 21 werden rund 15 km Tunnel im quellfähigen, anhydritführenden Gipskeuper aufgefahren. Um Wasseraustritte in diese Schichten und dadurch bedingte Quellvorgänge zu verhindern bzw. zumindest zu begrenzen, werden Abdichtungsinjektionen im klüftigen Fels durchgeführt, wie Dr.-Ing. Martin Wittke, WBI GmbH, in seinem Vortrag darlegte. Diese Injektionen haben das Ziel, die durch den Tunnelbau entstandenen Auflockerungszonen, die im Vergleich zum Ausgangszustand eine erhöhte Durchlässigkeit besitzen, abzudichten. Mit den Injektionen müssen Durchlässigkeitsbeiwerte von ca.  $10^{-7}$  m/s erreicht werden. Damit das Gebirge durch die Injektionen nicht aufgerissen wird und somit zusätzliche Wege für das Wasser geschaffen werden, müssen die Injektionsdrücke begrenzt werden. Vor diesem Hintergrund müssen niedrigviskose Injektionsmittel wie beispielsweise Acrylatgele zur Anwendung kommen.

Der Vortrag von Dipl.-Ing. Joachim Meier, Projektleiter Bohr- und Injektionstechnik bei Implenia Spezialtiefbau, befasste sich mit der Kompensationsinjektion bei innerstädtischen Bauprojekten. Sie wird im Rahmen namhafter aktueller U-Bahnprojekte vermehrt als flankierende Maßnahme eingesetzt. Die Bohr- und Injektionstechnik wurde im vergangenen Jahrzehnt gemeinsam mit modernster Messtechnik und Datenverwaltung fortentwickelt, sodass heute ein technisch ausgereiftes Verfahren zur minimal-invasiven Sicherung größerer Areale zur Verfügung steht. Wie jedes Verfahren hat auch die Kompensationsinjektion – neben vielen Vorteilen, Möglichkeiten und Chancen – ihre Risiken und Grenzen, die anhand von Anwendungserfahrungen mit verschiedenen Böden und anspruchsvoller Bausubstanz im Vortrag aufgezeigt wurden.

cement injections as originally planned. A cleft running parallel to the tunnel was to be injected with polyurethane resin. The high prevailing temperature proved to be a problem as the material was unable to cater for grouted sections that matched requirements. As a consequence, individual formulas for the injection agent for this special application were produced.

### Ground Improvement

Around 15 km of tunnels are to be driven in swelling anhydrite gypsum keuper for the Stuttgart 21 project. Waterproofing injections are being executed in fissured rock in order to prevent water escaping into these layers or at least to restrict it. This was the topic of a lecture delivered by Dr.-Ing. Martin Wittke, WBI GmbH. These injections are aimed at sealing the loosening zones resulting from tunnelling, which possess greater permeability compared to the original status. Permeability coefficients of roughly  $10^{-7}$  m/s must be attained by the grouting process. Injection pressures must be restricted to ensure that the rock is not destroyed by grouting thus creating additional paths for the water. Against this background low-viscosity grouting agents such as acrylate gels have to be used.



Dr.-Ing. Roland Leucker, Geschäftsführer der STUVA, die gemeinsam mit dem Bauverlag und dem Ingenieurbüro IBE-Ingenieure das Injektionsforum veranstaltete, eröffnete ein hochklassiges und informatives Vortragsprogramm mit reger Publikumsbeteiligung

Dr.-Ing. Roland Leucker, CEO of the STUVA, which staged the Injection forum jointly in conjunction with the Bauverlag and the consultants IBE-Ingenieure, opening a high-class, informative lecture programme with active audience participation



Quelle/Credit: Marvin Klostermeier

Ruben Schmid von der Rascor International AG referierte über Polyurethaninjektionen in heiße Druckwasserquellen bei einem großen isländischen Straßentunnelprojekt

Ruben Schmid of Rascor International presented a paper on "Polyurethane Injections in hot pressurised Water Springs" for a major Icelandic road tunnel project

### Bauwerksabdichtung

Undichte Bauwerksfugen sind bei im Grundwasser liegenden Betonkonstruktionen ein weit verbreitetes Problem, legte Dipl.-Ing. Hendrik Schälücke vom Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Dieter Kirscke dar. Hiervon betroffen sind auch mit TVM hergestellte Tübbingröhren. Bei erforderlichen Nachdichtungsinjektionen stellt die gezielte Nachdichtung mit Fugenband eine effektive Alternative zu den aufwendigen Betonbohrungen dar, die üblicherweise für Fugennachdichtungen hergestellt werden müssen. Dieses Abdichtungsverfahren nutzt den direkten Weg über die Bauwerksfuge. Diese wird mit Hilfe einer speziellen Injektionsbohrnadel durchbohrt, für eine Fugenspaltinjektion bzw. eine Hinterlegung der Fugendichtung. Die Nadel verbleibt nach Beendigung der Injektionsarbeiten als verlorenes Werkzeug im Bohrloch der Fugendichtung und verschließt dieses dauerhaft und druckdicht.

### Forum Injektionstechnik 2018

Das nächste Forum Injektionstechnik findet am 21. und 22. November 2018 im Maternushaus in Köln statt. 

[www.forum-injektionstechnik.de](http://www.forum-injektionstechnik.de)

The paper presented by Dipl.-Ing. Joachim Meier, project manager for drilling and injection technology with Implenia Spezialtiefbau, honed in on compensation grouting for inner urban construction projects. It is being applied increasingly in conjunction with important current metro projects as a supporting measure. In the past decade, drilling and injection technology has been further developed together with measurement technology and data administration so that today a minimally invasive technique for securing major areas is available. Just like every other process, compensation grouting possesses advantages, opportunities and chances – as well as risks and limits, which were demonstrated in the lecture by dint of examples of applications with different types of soil and sophisticated structures.

### Waterproofing Structures

Leaky structural joints represent a widespread problem in the case of concrete structures set in groundwater, explained Dipl.-Ing. Hendrik Schälücke from the consulting engineers Prof. Dr.-Ing. Dieter Kirsckke. Tunnels with segmental lining created by TBMs are also affected. Targeted subsequent sealing by means of joint strips for necessary follow-up injections represents an effective alternative to the complex process of drilling through concrete normally applied for resealing joints. This waterproofing method makes use of the direct path via the structural joint. It is drilled through using a special injection drill needle for injecting the joint gap or backfilling the joint seal. The needle is abandoned in the drill hole after grouting is completed, providing permanent and pressure-tight closure.

### 2018 Forum on Injection Technology

The next Forum on Injection Technology will be held on November 21 and 22, 2018 in the Maternushaus in Cologne. 

## MC-Bauchemie

## Betontrennmittel-Emulsion der neuesten Generation

Mit Ortolan Extra 772 KS hat MC-Bauchemie eine neue umweltfreundliche Betontrennmittel-Emulsion auf Mineralölbasis auf den Markt gebracht, die über einen integrierten Korrosionsschutz verfügt. Sie ist speziell für den Einsatz bei nicht saugenden Stahlschalungen im Fertigteiltbau entwickelt worden und sowohl für unbeheizte als auch für beheizte Schalungen bis + 70 °C geeignet. Die gebrauchsfertige und niedrigviskose Betontrennmittel-Emulsion sorgt für eine hervorragende Trennwirkung und hochwertige, glatte Betonoberflächen. Ortolan Extra 772 KS ist zudem leicht spritzbar und geruchsarm sowie schnell biologisch abbaubar.

Fertigteilwerke setzen häufig noch lösemittelhaltige Betontrennmittel ein, um möglichst einwandfreie Betonoberflächen zu erzielen. Diese sorgen zwar meist für die gewünschten Ergebnisse, haben aber auch unschöne Nebenwirkungen. Sie sind nach der Gefahrstoffverordnung kennzeichnungspflichtig, sehr geruchsintensiv und belasten die Umwelt sowie die Arbeiter vor Ort. Aus diesen Gründen sind sie nicht mehr Stand der Technik.

### Umwelt- und anwenderfreundlich

Mit Ortolan Extra 772 KS schützt man hingegen nicht nur die Schalung und schont den Anwender und die Umwelt, sondern man erzielt damit auch exzellente Betonoberflächen. Die wässrige, mineralölbasierte und lösemittelfreie Betontrennmittel-Emulsion der neuesten Generation der MC ist sehr geruchsarm und schnell biologisch abbaubar. Sie erfüllt geltende Prüfkriterien nach OECD 301 F. Die Wassergefährdungsklasse entspricht WGK 1. Der in Ortolan Extra 772 KS enthaltene Korrosionsschutz hemmt die Rostbildung. Die hochwirksamen Grundöle pflegen die Schalung und verlängern bei regelmäßiger Nutzung deren Lebensdauer.



Diese Tübbinge sind das Ergebnis des Einsatzes von Ortolan Extra 772 KS. Neben ihrer Trennwirkung überzeugt die Betontrennmittel-Emulsion mit einem wirksamen Korrosionsschutz, sowie Verarbeiter- und Umweltfreundlichkeit

These segments are the result of using Ortolan Extra 772 KS. Aside from its separation performance, the concrete release emulsion has an effective corrosion inhibitor and also offers operative and environmental compatibility

## MC-Bauchemie

## Latest Generation of Concrete Release Emulsion

MC-Bauchemie has introduced a new environmentally friendly, mineral oil-based concrete release emulsion onto the market in the form of Ortolan Extra 772 KS with integrated corrosion inhibitor. Developed especially for use with non-absorbent steel formwork in the precast concrete segment, it is suitable for both unheated and heated moulding applications up to + 70 °C. This read-to-use, low-viscosity agent ensures outstanding separation to leave high-quality, smooth concrete surfaces. Ortolan Extra 772 KS also offers easy sprayability, minimal odour and rapid biodegradability.

When aiming for component surfaces that are as free of defects as possible, precast factories are still putting their faith in solvent-based concrete release agents. Although these products usually deliver the required results, they also have unwanted side effects. It is mandatory to label them as hazardous in accordance with dangerous goods legislation, they are pungently odorous and they constitute a burden both on the environment and on the workers having

to handle them. With such poor environmental compatibility and lacking occupational hygiene, they are no longer state-of-the-art.

### Environmental Friendliness and occupational Safety

With Ortolan Extra 772 KS, on the other hand, precast manufacturers not only get excellent concrete surfaces, they can also count on effective protection for their people, their formwork and the environment. As an aqueous, mineral oil-based and solvent-free concrete release emulsion – MC's latest generation in this line – Ortolan Extra 772 KS has little odour and is rapidly biodegradable. It meets relevant test criteria according to OECD 301 F. Its water hazard class corresponds to Germany's WGK 1 (lowest grade). And the corrosion inhibitor incorporated within the emulsion prevents rusting.

### Selbstnivellierender, wasserfester Trennfilm für glatte Betonoberflächen

Die besondere Zusammensetzung der Betontrennmittel-Emulsion sorgt dafür, dass nach dem Aufsprühen ein selbstnivellierender Ölfilm entsteht, der einen vollständigen Auftrag sichert. Nach dem Verdunsten der Wasseranteile bleibt auf der Schalungsoberfläche ein sehr dünner hochwirksamer, wasserfester Trennfilm zurück, der für helle, glatte und porenfreie Betonoberflächen sorgt. Gleichzeitig minimiert die Emulsion Betonrückstände auf der Schalung. Die Haftung von Nachfolgebeschichtungen auf dem Beton wird zudem nicht beeinträchtigt. Für die Anwendung empfiehlt der Hersteller die MC Spezialspritze, mit der die Emulsion einfach, sicher und schnell appliziert werden kann. 

[www.mc-bauchemie.com](http://www.mc-bauchemie.com)

The highly effective base oils protect the formwork and, with regular use, will extend mould service lifetimes.

### Self-levelling, water-resistant Separating Film

The special composition of this concrete release emulsion also ensures that, once applied by spraying, it forms a self-levelling oil film to fully cover the metal surface. When the water components have evaporated, the formwork surface is left with a very thin yet highly effective and water-resistant separating film that yields a bright, smooth and porosity-free concrete finish with minimal concrete residue left on the formwork. Yet the release agent does not adversely affect the adhesion of subsequent coatings on the concrete. As an application tool, the manufacturer recommends the special MC sprayer for a quick, easy and reliable film coating. 

#### Sika Deutschland

### Weiterentwickeltes Klebesystem für KDB-Abdichtungsübergänge

Die grundlegenden Abdichtungsvarianten von Straßen- oder Eisenbahntunnelbauwerken beschränken sich auf wasserundurchlässige Betonkonstruktionen und/oder Betonkonstruktionen mit Kunststoffdichtungsbahnen (KDB). Oftmals wird ein Wechsel der Abdichtungsart innerhalb eines Bauwerks erforderlich. So auch beim Anschluss von Querstollen mit KDB an Tübbingröhren. In solchen Querstollen sind häufig Technik- und Betriebsräume untergebracht, weshalb bei Eisenbahntunneln der Deutschen Bahn hierfür die Dichtigkeitsklasse „vollständig trocken“ nach DB Richtlinie 853, Modul 4101 „Abdichtung und Entwässerung“ zu gewährleisten ist. Nach aktuellem Stand der Technik kann dieser Anforderung nur mit einer Abdichtung aus KDB Rechnung getragen werden – idealerweise in Kombination mit einem wasserundurchlässigen Innenschalenbeton.

Wechsel im Abdichtungssystem werden auch innerhalb einer bergmännischen Bauweise erforderlich. Hier greift die DB Richtlinie 853, Modul 4101: Bei Bergwasserdrücken über der Tunnelsohle von mehr als 30 m Wassersäule ist die bis dahin allein zulässige WU-Betonschale durch eine Abdichtung mit KDB und außen liegenden Schottfugenbändern zu ergänzen. Der Wechsel zu einer KDB kann aber auch durch Tunnelabschnitte mit stark betonangreifendem Baugrund oder aggressiven Bergwässern begründet sein.

### Sikaplan Tape für druckwasserdichte Abdichtungsübergänge

Der wasserdichte Abdichtungsübergang von KDB auf Tübbingröhren wird bislang üblicherweise mit Klemmschienen erbracht,

#### Sika Deutschland

### Bonded Tape Sealing Solution for Plastic Membrane Transitions

The waterproofing of road or rail tunnels generally consists of waterproof concrete and/or concrete construction with a plastic waterproofing membrane. A change of the type of waterproofing within a structure is often necessary, for example at the junction of cross passages with membrane waterproofing to segment lining tubes. Technical and operating rooms are often housed in such cross passages, which is why the German rail tunnel guidelines of DB requires the waterproofing class “completely dry” for cross passages according to DB guideline 853, Modul 4101 “Waterproofing and drainage”. According to the current state of the technology, this requirement can only be provided with a waterproofing membrane, ideally in combination with waterproof inner lining concrete.

Changes of waterproofing system are also necessary in drill and blast tunnels, in which case the DB guideline 853, Modul 4101 is applicable. If the groundwater pressure is more than 30 m head of water above the tunnel invert, the waterproof concrete construction that is permissible up to this figure has to be supplemented by a waterproofing membrane with external bulkhead of adhesive tapes. The change to a waterproofing membrane can however also be necessary due to a tunnel section in ground that is very aggressive to concrete or in aggressive groundwater.

### Sikaplan Tape for waterproofing Transitions to resist pressurised Water

Watertight junctions of waterproofing membranes to segment lining tubes have normally been carried out with clamped rails until now, with the membrane being pressed against the concrete surface through intermediate layers. Especially under very high

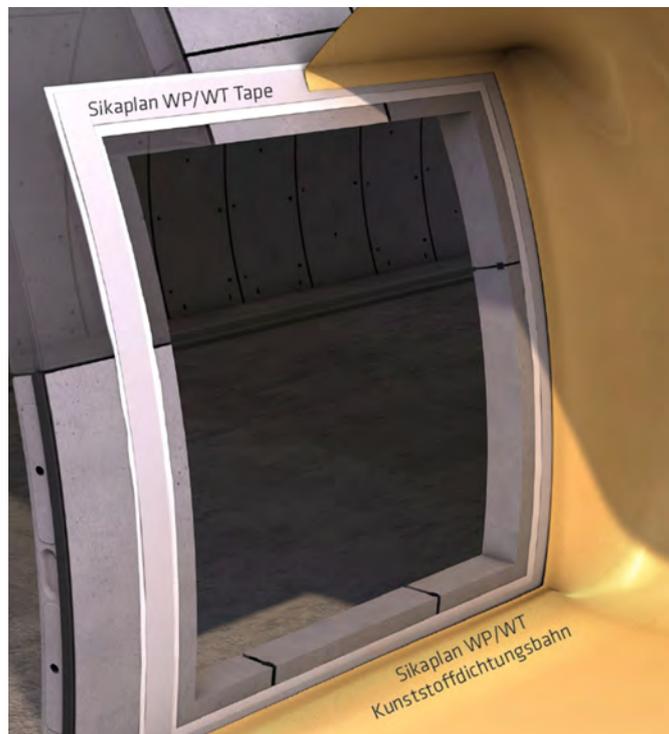
womit die KDB unter Verwendung von Zwischenlagen gegen die Betonoberfläche gepresst wird. Vor allem bei sehr hohen Wasserdrücken oder komplizierten Bauteilformen stellt diese Bauweise eine große planerische und ausführungstechnische Herausforderung dar.

Das weiterentwickelte Klebesystem der Sika Deutschland GmbH vereinfacht die Erstellung entsprechender Abdichtungsübergänge erheblich: Durch zügige Verarbeitbarkeit bei verbesserter qualitativer Ausführung lassen sich wirtschaftliche Vorteile erzielen. Das System besteht aus einem Tape, wahlweise auf Basis von weichgemachtem Polyvinylchlorid (PVC-P) oder flexiblem Polyolefin (FPO). Damit ist eine Kompatibilität mit der jeweils verwendeten KDB gegeben.

Das 20 cm breite Sikaplan Tape wird mit einem abgestimmten Epoxidharzmörtel auf die vorbereitete WU-Betonoberfläche appliziert. Nach dem Aushärten erfolgt die vollflächige

Heißluftverschweißung der KDB mit der Tape-Oberfläche. So entsteht ein druckwasserdichter Abdichtungsübergang zwischen WU-Betonbauteilen und Betonkonstruktionen mit KDB. Neben dem bewährten Sikaplan WT Tape-System auf FPO-Basis bietet Sika nun auch eine Ausführung aus PVC-P mit der Produktbezeichnung Sikaplan WP Tape an. Diese Klebesysteme werden bislang ausschließlich vom Stuttgarter Bauchemie-Hersteller Sika angeboten. Sie eignen sich für ein breit gefasstes Einsatzspektrum und für komplizierte Bauteilformen.

Sowohl das Sikaplan WT Tape wie auch das Sikaplan WP Tape haben erfolgreich eine so genannte „In-situ-Wasserdruckprüfung“ als Funktionsnachweis des Verbundkörpersystems Beton-Kleber-Tape bei einem akkreditierten Prüfinstitut bestanden. Bei stufenweiser Erhöhung des statischen Wasserdrucks erzielte man eine Wasserdichtigkeit bis zu einem permanenten Prüfdruck von 12,0 bar. 



Insbesondere beim Anschluss von Querschlägen mit KDB an Tübbingröhren kommt das Sikaplan WP/WT-Tape für dichte Abdichtungsübergänge zwischen Beton und Kunststoffdichtungsbahnen zum Einsatz. Neben dem bewährten WT Tape-System auf FPO-Basis bietet Sika nun auch das WP Tape aus PVC-P an

Particularly for the connection of cross passages with waterproofing membranes to segment lining tubes, Sikaplan WP/WT Tape can be used for a sealed waterproofing transition between concrete and waterproofing membrane. In addition to the proven WT Tape system based on FPO, Sika is now offering the WP Tape of PVC-P

water pressure or if the shape of the structure is complicated, this construction method is a great challenge for designers and contractors.

The further developed tape sealing system from Sika Deutschland GmbH considerably simplifies the construction of appropriate waterproofing transitions: the fast processing with an improved quality of construction can achieve economic advantages. The system consists of a tape, which is available based on plasticised polyvinyl chloride (PVC-P) or flexible polyolefin (FPO). This can ensure compatibility with the membrane being used.

The 20 cm wide Sikaplan Tape is applied to the prepared waterproof concrete substrate with a matched epoxy resin mortar. After hardening, the membrane is completely welded to the surface of the tape with hot air. This creates a waterproofing transition capable of resisting pressure between the waterproof concrete elements and the concrete construction with waterproofing

membrane. In addition to the proven WT Tape system based on FPO, Sika is now offering a PVC-P version with the product description Sikaplan WP Tape. These adhesive systems have so far been offered solely by the Stuttgart manufacturer of construction chemicals Sika. They are suitable for a wide spectrum of applications and for complicated construction shapes.

Both Sikaplan WT Tape and Sikaplan WP Tape have successfully passed a so-called "in-situ water pressure test" at an accredited testing institute as a functional verification of the composite body system of concrete-adhesive-tape. The static water pressure was increased in steps until the permanent test pressure of 12.0 bar was reached. 

Quelle/credit: Sika Deutschland

Schweiz

## Tunnelling the Gotthard – Erfolgsgeschichte GBT

Für Jahrhunderte war das Gotthard-Massiv eine fast unüberwindbare Barriere in den Alpen – seit dem 11. Dezember 2016, der offiziellen Inbetriebnahme des Basistunnels durch die SBB, wird es mit dem Zug nur noch 20 Minuten durch den Berg dauern. Der Gotthard-Basistunnel (GBT), am 1. Juni 2016 feierlich in Gegenwart europäischer Spitzenpolitiker eröffnet, ist nach knapp 20 Jahren Planung und Bau offen für alle Bahnreisenden. Als Teil des NEAT-Transitkonzeptes sowie des europäischen Güterverkehrskorridors A (Rotterdam–Genoa) gilt der Basistunnel als ein Jahrhundertbauwerk für Europa.

Die Planungs- und Baugeschichte des GBT hat Maßstäbe für den modernen Tunnelbau gesetzt. Von den Innovationen in der Vortriebstechnik, den Beton- und Abdichtungssystemen sowie der Materialbewirtschaftung profitieren Tunnelbau-Projekte in aller Welt. Um dieses Wissen und diese Praxiserfahrungen für die Nachwelt zu sichern, hat die Fachgruppe für Untertagbau (FGU) mit dem Fachbuch „Tunnelling the Gotthard“ eine in dieser Form einzigartige Dokumentation des Projektes herausgegeben. Über 100 Projektbeteiligte schildern spezifische Fachperspektive und Analyse. Eingeteilt in 18 Themenkomplexe behandeln die Artikel unter anderem Schwerpunkte wie das politische Umfeld in den 1980er Jahren, übergeordnete Managementprozesse, die Planung und Ausarbeitung des Projektes, die Ausschreibung und die Bauausführung – mit allen Gesichtspunkten von der Logistik und Vermessung über Materialbewirtschaftung, Rohbau-Ausrüstung und Bahntechnik bis hin zu Umweltfragen.

Nach der Veröffentlichung der deutschsprachigen Ausgabe zu den Eröffnungsfeierlichkeiten in Juni 2016, liegt nun, passend zur offiziellen Inbetriebnahme des GBT, auch die englischsprachige Ausgabe dieser großen Projektdokumentation vor. 

### Blick ins Buch unter:

[www.tunnel-online.info/erfolgsgeschichte](http://www.tunnel-online.info/erfolgsgeschichte)

### Tunnelling the Gotthard

Herausgegeben von der FGU Fachgruppe für Untertagbau

720 Seiten, gebunden, Lesebändchen, Stecktasche mit Beilagen (Schematische Gesamtübersicht, Effektives Bauprogramm, Geologisches Befundprofil längs der Oströhre), 2935 g  
ISBN 978-3-033-05485-1 (Deutsch)  
ISBN 978-3-033-05803-3 (Englisch)

### Vertrieb:

Profil – Buchhandlung im Bauverlag  
Telefon: + 49 5241/80-88957  
E-Mail: [profil@bauverlag.de](mailto:profil@bauverlag.de)  
[www.profil-buchhandlung.de](http://www.profil-buchhandlung.de)

Switzerland

## Tunnelling the Gotthard – Success Story GBT

For centuries, the Gotthard Massif has been an almost insurmountable barrier in the Alps – but since 11 December 2016, the official opening of the base tunnel for services by the SBB, it will now only take 20 minutes for a train to pass through the mountain. The Gotthard Base Tunnel (GBT), which was ceremonially opened on 1 June 2016 in the presence of leading European politicians, is now open for rail travellers after more than 20 years of design and construction. As part of the NRLA transit concept and the European goods traffic corridor A (Rotterdam–Genoa), the base tunnel is a construction work of the century for Europe.

The design and construction history of the GBT has set standards for modern tunnel building. Tunnelling projects all over the world will profit from the innovations in tunnelling technology, concrete and waterproofing systems and materials management. In order to ensure this knowledge and practical experience for posterity, the Swiss Tunnelling Society (STS) has now published the reference book „Tunnelling the Gotthard“, a documentation of the project that is unique in this form. More than 100 people involved in the project describe specific specialist perspectives and analyses. Divided into 18 themed sections, the articles deal with subjects including the political environment in the 1980s, high-level management processes, the design and management of the project, tendering and construction – with all points of view including logistics and surveying, materials management, M&E installation and railway equipment to environmental questions.

After the publication of the German edition for the opening ceremonies in June 2016, the English edition of this major project documentation is now available in time for the official start of services in the GBT. 

### View sample pages under:

[www.tunnel-online.info/success-story](http://www.tunnel-online.info/success-story)

### Tunnelling the Gotthard

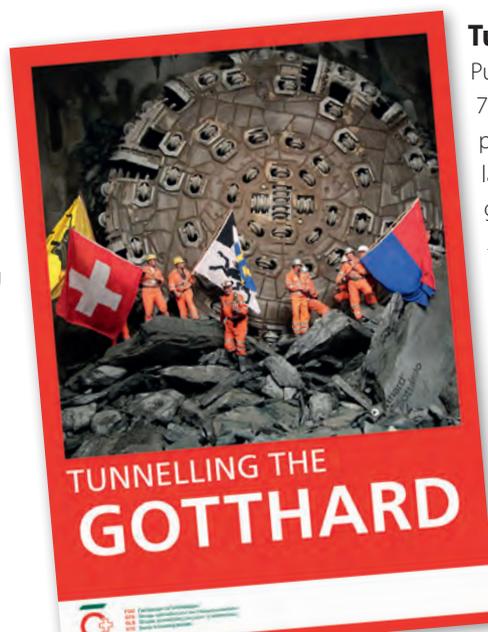
Published by the STS Swiss Tunnelling Society  
720 pages, hardback, marker ribbon, end pocket with supplements (schematic general layout, effective construction programme, geological findings along the east tunnel)  
2935 g

ISBN 978-3-033-05485-1 (German)

ISBN 978-3-033-05803-3 (English)

### Buy the Book at:

Profil – Buchhandlung im Bauverlag  
Telephone: + 49 5241/80-88957  
Email: [profil@bauverlag.de](mailto:profil@bauverlag.de)  
[www.profil-buchhandlung.de](http://www.profil-buchhandlung.de)



## 6. Stuttgarter Tunnel-Baurechtsseminar

*Bauzeitmodelle und Bauablaufstörungen im Tunnelbau*

IBZ „Eulenhof“, Universität Stuttgart, Deutschland  
18.01.2017

### Kontakt:

Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Kron  
Universität Stuttgart  
Institut für Baubetriebslehre  
Tel.: +49 711/685-66159  
ibl@ibl.uni-stuttgart.de  
www.ibl.uni-stuttgart.de /  
weiterbildung/sfdp/stbs2017

## 24<sup>th</sup> Annual Microtunneling Short Course

University of Colorado,  
Boulder, CO, USA  
07.–09.02.2017

### + Pilot Tube Seminar (06.02.)

### Kontakt:

Benjamin Media  
Tel.: +1 330/467 7588  
Fax: +1 330/468 2289  
conferences  
@benjaminmedia.com  
microtunnelingshortcourse.com

## 24. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium

Justus-Liebig-Haus,  
Darmstadt, Deutschland  
16.03.2017

### Kontakt:

TU Darmstadt, Institut für Geotechnik  
Dipl.-Ing. Sebastian Fischer  
Tel.: +49 6151/16 22 827  
Fax: +49 6151/16 22 813  
fischer@geotechnik.tu-darmstadt.de  
www.geotechnik.tu-darmstadt.de

## Tunnels – Safety & Fire Protection 2017

Amsterdam  
23.–24.03.2017

### Kontakt:

Enigma Consulting Group  
Bilina Patt  
Tel.: +44 203 769 7910  
Fax: +44 207 183 0083  
bilina@enigma-cg.com  
www.enigma-conferences.com

## 32. Christian Veder Kolloquium

*Zuelemente in der Geotechnik – Nägel, Anker, Zugpfähle*  
20.–21.04.2017

TU Graz, Hörsaal P1; Graz,  
Österreich

### Kontakt:

Institut für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz  
Tel.: +43 316 873-6234  
Fax: +43 316 873-6232  
cvk.tugraz.at

## SEE tunnel Zagreb 2017

*7<sup>th</sup> International Symposium on Tunnels and Underground Structures in South-East Europe*  
04.–05.05.2017,  
Sheraton, Zagreb, Croatia

### Kontakt:

Promovere ltd.  
Tel.: +385-1-6130-063  
sanela.kovacevic@promovere.hr  
promovere.hr/congress

## Münsteraner Tunnelbau-Kolloquium 2017

Fachhochschulzentrum FHZ,  
Münster, Deutschland  
11.05.2017

### Kontakt:

Institut für unterirdisches Bauen, FH Münster  
Tel.: +49 251/83-651 53  
Fax: +49 251/83-651 52  
tunnel@fh-muenster.de  
www.fh-muenster.de/tunnel

## Swiss Tunnel Congress 2017

Kultur- und Kongresszentrum (KKL), Luzern, Switzerland  
30.05.–01.06.2017

### Kontakt:

Tagungssekretariat, Thomi Bräm  
Tel.: +41 56 200 23 33  
Fax: +41 56 200 23 34  
fgu@thomibraem.ch  
www.swisstunnel.ch

## World Tunnel Congress 2017

Edvard Grieg Hall, Bergen,  
Norway  
09.–16.06.2017

### Kontakt:

NFF – Norwegian Tunnelling Society  
Tel.: +47 67/57 11 73  
nff@nff.no  
www.tunnel.no  
www.wtc2017.com

## Eurock 2017

*ISRM International Symposium Human Activity in Rock Masses*  
Clarion Congress  
Hotel, Ostrava, Czech Republic  
20.–22.06.2017

### Kontakt:

Symposium Secretariat  
BOS. org Ltd.  
Tel.: +420 595 136 808  
Fax: +420 475 205 169  
ostrava@bos-congress.cz  
www.eurock2017.com

## Shotcrete for Underground Support XIII

*New Developments in Rock Engineering, Tunnelling, Underground Space and Deep Excavation*  
*An ECI Conference Series*  
Kloster Irsee, near Augsburg,  
Germany  
03.–06.09.2017

### Organized by:

Engineering Conferences International (ECI) and the Institute for Underground Engineering (IuB), University of Applied Sciences Münster  
**Deadline for abstracts for oral presentations:**

15.01.2017

### Deadline for abstracts for poster presentations:

31.01.2017

www.engconf.org/conferences/civil-and-environmental-engineering/

## 66. Geomechanik Kolloquium 2017

Salzburg Congress, Salzburg, Austria

12.–13.10.2017

### Contact:

Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG)

Tel.: +43 662/87 55 19

Fax: +43 662/88 67 48

Salzburg@oegg.at

www.oegg.at

## The Value is Underground

15<sup>th</sup> International AFTES Congress

Palais des Congrès, Paris, France

13.–15.11.2017

+ ITA Tunnelling Awards 2017 (15.11.)

+ Shaping the Future (16.11.)

Underground architecture and urban development

### Contact:

AFTES – L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain

Tel.: +33 1/44 58 2-743

Fax : +33 1/44 58 2-459

www.aftes.asso.fr

## Südbahntagung 2017

30.11.2017

Montanuniversität Leoben, Österreich

### Kontakt:

robert.galler@unileoben.ac.at

robert.hermann@unileoben.ac.at

ac.at

## STUVA-Tagung 2017/ STUVA Conference 2017

ICS Internationales Congresscenter Stuttgart, Germany

06.–08.12.2017

### Contact for participants:

Stefanie Posch

STUVA e. V.

Tel.: +49 221/5 97 95-11

s.posch@stuva.de

### Contact for exhibitors:

Heiko Heiden

deltacom projektmanagement GmbH

Tel.: +49 40/35 72 32-0

heiden@

deltacom-hamburg.de

www.stuva-conference.com

## bau | | verlag

We give ideas room to develop

www.bauverlag.de

tunnel 35. Jahrgang / 35<sup>th</sup> 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:**  
Heike Telocka  
Phone: +49 5241 80-1943  
E-Mail: heike.telocka@bauverlag.de  
Gaby Porten  
Phone: +49 5241 80-2162  
E-Mail: gaby.porten@bauverlag.de

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

**Advertisement / Head of Sales:**  
Jens Maurus  
Phone: +49 5241 80-89278  
Fax: +49 5241 80-60660  
E-Mail: jens.maurus@bauverlag.de  
(verantwortlich für den Anzeigenteil/  
responsible for advertisement)

**Head of International Sales**  
Ingo Wanders  
Phone: +49 5241 80-41973  
Fax: +49 5241 80-641973  
E-Mail: Ingo.Wanders@bauverlag.de

**Head of Digital Sales**  
Axel Gase-Jochens  
Phone: +49 5241 80-7938  
Fax: +49 5241 80-67938  
E-Mail: Axel.Gase-Jochens@bauverlag.de

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 34 vom 1.10.2015  
Advertisement Price List No. 34 dated 1.10.2015 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  
Ediconsult Internazionale S.r.l.  
Signora Paola Pedevilla  
Piazza Fontane Marose, 3  
16123 Genova  
Tel.: +39 010 583 684 / Fax: +39 010 566 578  
e-mail: costruzioni@ediconsult.com

USA/Canada:  
Detlef Fox, D. A. Fox Advertising Sales, Inc.  
5 Penn Plaza, 19<sup>th</sup> 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** € 165,00  
**Studenten / Students** € 97,00  
**Ausland / Other Countries** € 175,00  
**Einzelheft / Single Issue** € 27,20  
(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:**  
€ 214,80 (Ausland: € 221,54)

**Combined subscription for Tunnel + THIS including postage:**  
€ 214,80 (outside Germany: € 221,54).  
(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:**  
Bösmann Medien und Druck GmbH & Co. KG, D-32758 Detmold

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



# tunnel

The international trade magazine  
for underground construction

tunnel  
eMagazine

only

€ 99

(8 issues)

image – © ÖBB/Gerhard Berger

Receive each tunnel issue as a PDF file.  
Get free access to all published tunnel  
editions since 2010.

**tunnel** – The technical and practice-orientated magazine  
dealing with all information about subsurface constructions.

Learn about

- Planning and designing
- Realization of projects
- Technical developments
- Maintenance and renovation  
of subsurface constructions
- Tunneling equipment



[www.tunnel-online.info/emag](http://www.tunnel-online.info/emag) phone +49 5241 8090884 [readerservice@bauverlag.de](mailto:readerservice@bauverlag.de)

Jetzt anmelden

# SWISS TUNNEL CONGRESS 2017

## Fachtagung für Untertagbau

Der Swiss Tunnel Congress ist die führende Veranstaltung in der Schweiz für den schweizerischen und internationalen Tunnelbau, mit tiefgehenden und umfangreichen Informationen aus erster Hand: Experten berichten auf dem diesjährigen 16. Kongress kritisch, offen und praxisnah über komplexe Problemstellungen, Erfahrungen und Lösungsstrategien bei aktuellen Tunnelbauprojekten.

**30. Mai bis 1. Juni 2017 in Luzern**

### Colloquium, 30. Mai

Erhaltung und Erneuerung von Verkehrstunnels

### Fachtagung, 31. Mai

Referate zu schweizerischen und internationalen Tunnelbauprojekten: Eppenbergtunnel, Sanierungstunnel Belchen, Gubristtunnel, Bözbergtunnel, Kollaps bei der Stadtbahn Köln, Alaskan Way, Semmering Basis-tunnel, Alvorlandtunnel, Oslo-Ski

### Exkursionen, 1. Juni

Baustellen: Riedberg Tunnel, Belchentunnel, Eppenbergtunnel, Schlossparking Thun, Albulatunnel

Informationen zum Tagungsprogramm und Anmeldung:

[www.swisstunnel.ch](http://www.swisstunnel.ch)



Quelle/credit: Basler & Hofmann AG/Stefan Kubli, mit Genehmigung Marti AG, Bern



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