

www.tunnel-online.info

tunnel

7

November

Offizielles Organ der STUVA · Official Journal of the STUVA

2016

Norris Cut Protection Tunnel in Florida | 8
Rastatt Tunnel – Findings after Driving 1000 m | 10
LDSM and HDSM Concept for Variable Density TBMs | 18



bau | | | verlag
Wir geben Ideen Raum

JOSEPH PARIS
AYAT GROUP
7, BOULEVARD GENERAL KOENIG 48100 NANTES

HERRENKNECHT



Tunneling Systems

Greatness

The Herrenknecht EPB shield S-900 (Ø 15.87 m) is currently the largest tunnel boring machine in Europe. It will soon be ready to bore the 7,528 meter long **Santa Lucia Tunnel** in the Apennines.

pavimental

Together

More than **225 kilometers** of high-class road tunnels have been built globally, using cutting-edge Herrenknecht tunnelling technologies.

Contractor:
› Pavimental S.p.A. (Gruppo Atlantia)

Client:
› Autostrade per l'Italia S.p.A.

Pioneering Underground Technologies

› www.herrenknecht.com



tunnel 7/16

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



Für die Variable-Density-TBM (VD-TBM) von Herrenknecht wurde ein Stützmedium mit erhöhter Dichte entwickelt, welches den Übergang von flüssig zu pastös zuverlässig abdeckt – das High Density Support Medium (HDSM). Foto: Montage der ersten VD-TBM S-774 im Startschacht Cochcrane in Kuala Lumpur, Malaysia, im März 2013

For the Variable Density TBM (VD-TBM) from Herrenknecht a support medium with an increased density has been developed, which reliably covers the transition from fluid to pasty – the High Density Support Medium (HDSM). Image: Assembly of the first VD-TBM S-774 in the launching shaft at Cochcrane in Kuala Lumpur, Malaysia, in March 2013

Quelle/credit: TLB, Britta Schoesser

(Seite/page 18)

Title

Fliegende Schildfahrt beim Vortriebsbeginn der Oströhre des Tunnels Rastatt

Flying shield start-up to commence excavating the Rastatt Tunnel's east tube

Quelle/credit: IMM

(Seite/page 10)

Nachrichten / News

2

Hauptbeiträge / Main Articles

Tunnel Rastatt – Erfahrungen nach 1000 m Vortrieb

10

Rastatt Tunnel – Findings after Driving 1000 m

Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff MBA; Dipl.-Ing. Thomas Grundhoff

Entwicklung des LDSM- und HDSM-Konzepts für Variable-Density-TBM

18

Development of LDSM and HDSM Concept for Variable Density TBMs

Dipl.-Ing. Michael Straesser; Dipl.-Ing. Gusztav Klados;

Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes; Dr.-Ing. Britta Schoesser

Baubetrieb / Construction Management

Obervermuntwerk II: Tauchmotorpumpen zur Sicherung des Tunnelvortriebs

38

Obervermuntwerk II: Submersible Motor Pumps to secure the Tunnel Drives

Fachtagungen / Conferences

34. Baugrundtagung

42

34th „Baugrundtagung“ Conference

InnoTrans: International Tunnel Forum

44

STUVA-Nachrichten / STUVA News

47

Informationen / Information

Veranstaltungskalender / Event Calendar

55

Impressum / Imprint

56

USA

TBM-Veteran bohrt 28 km Abwassertunnel in Indianapolis



Quelle/credit (2): Robbins

Der Bohrkopf für die Robbins-TBM (Durchmesser 6,2 m), die im September die Vortriebsarbeiten für die DigIndy-Tunnel aufgenommen hat. Mit Beendigung dieser Aufgabe wird der TBM-Veteran mehr als 51 km Tunnel geschaffen haben

The cutterhead for the 6.2 m diameter Robbins TBM currently boring the DigIndy tunnels. The veteran Main Beam TBM will have bored more than 51 km once complete with its tunnels in Indianapolis

Eine der am längsten im Einsatz befindlichen Robbins TBMs begann Anfang September 2016 ihr umfangreichstes Projekt. Die Main-Beam-Maschine der Shea-Kiewit Arbeitsgemeinschaft (S-K JV) mit einem Durchmesser von 6,2 m wird den 8,5 km langen White-River-Tunnel auffahren – der erste Tunnel in der nächsten Etappe des ‚DigIndy‘-Abwassertunnelprojektes unter Indianapolis in Indiana, USA. Die Maschine wird darüber hinaus die Lower-Pogues-Run-, Fall-Creek- und Pleasant-Run-Tunnel bohren – ein Arbeitsumfang der insgesamt durch ca. 28 km Kalk- und Dolomitgestein führt.

Hartgesteins-TBM 1980 hergestellt

Die wiederaufgebaute (überholte) Robbins Hartgesteins-TBM wurde bereits für den Bau der 12,5 km langen Hauptöhre mit dem Namen Deep Rock Tunnel Connector (DRTC) in Indianapolis verwendet. Dies war jedoch bei weitem nicht der erste Einsatz der Maschine: Ursprünglich 1980 gefertigt, wurde sie beim New York Second Avenue U-Bahn-Projekt sowie bei Projekten in Massachusetts und Kanada eingesetzt.

Mit Fertigstellung des DigIndy-Netzwerkes wird diese Maschine über 51 km Tunnel gebohrt haben – und damit eine der am härtesten arbeitenden Robbins TBMs sein, die je in Betrieb genommen wurden. „Das Alter der Maschine beunruhigte uns nicht. Es war

USA

Veteran TBM is boring 28 km of Wastewater Tunnels in Indianapolis

In early September 2016, one of the longest-running Robbins TBMs embarked on its most extensive project yet. The Main Beam machine with a diameter of 6.2 m, owned by the Shea-Kiewit (S-K) JV, is boring the 8.5 km long White River Tunnel as the first in the next phase of the DigIndy wastewater tunnels below Indianapolis, Indiana, USA. In addition to that work, the machine will bore the Lower Pogues Run, Fall Creek, and Pleasant Run Tunnels – a scope of work totaling about 28 km through limestone and dolomite rock.

Hard Rock TBM built in 1980

The rebuilt Robbins hard rock TBM had already been used in Indianapolis on the 12.5 km long main tunnel, called the Deep Rock Tunnel Connector (DRTC). However, the DRTC was far from the TBM's first job. Originally built in 1980, it has been used on New York City's Second Avenue Subway, as well as projects in Massachusetts and Canada. Once the machine has completed the DigIndy network of tunnels, it will have bored more than 51 km of tunnel – making it one of the hardest working Robbins TBMs ever put into service. "The age of the machine wasn't a concern for us, it was a positive. We knew it could perform in harder, abrasive rock," said Stuart Lipofsky, Project Manager for S-K JV.

eher von Vorteil da wir wussten, dass diese in härterem, abrasiverem Gestein gut zurechtkommt," sagte Stuart Lipofsky, Projektmanager des S-K JV.

Fertigstellung der Tunnel geplant für 2024

Nach einer Überholung, die einen Austausch von Motoren, Getrieben, elektrischer Installationen und anderer Teile beinhaltet, startete die Maschine aus dem 67 m tiefen 'White River'-Schacht. In der letzten Septemberwoche 2016 hatte die TBM über 300 m des White-River-Tunnels gebohrt.

Nach zirka 1,6 km ist eine Abzweigung der Vortriebsstrecke nach Osten vorgesehen, um den 2,7 km Lower-Pogues-Run-Tunnel unter dem Stadtzentrum von Indianapolis zu bohren. Die Maschine wird anschließend zum Verzweigungspunkt zurückgezogen, um den White-River-Tunnel in nördlicher Richtung zu komplettieren. Der Transport des Abraums erfolgt durch Robbins-Endlosbänder – ein System, das erfolgreich im Rahmen des DRTC Projekts eingesetzt wurde. Dem Flusslauf des White River folgend, winden sich der Tunnel durch zum Teil enge Kurven mit Radien von 300 m. Das S-K JV muss bis 2021 den White-River- und den Lower-Pogues-Run-Tunnel für die Eigentümer, die Citizen Energy Group, fertigstellen; bis 2024 sollen alle Tunnel vorgetrieben sein. „Der Bauzeitenplan erlaubt, nur eine TBM zu verwenden, und wir glauben, dass wir unser Ziel damit erreichen. Hinsichtlich der Finanzierung war dies zudem kostengünstiger als der Einsatz zweier Maschinen“, sagte Dan Martz, Vice President von J.F. Shea. Das von der US-Umweltschutzbehörde EPA beauftragte Projekt soll die Anzahl von Überläufe ungeklärten Abwassers reduzieren und zur Reinigung von Nebenflüssen entlang des White Rivers beitragen. 



Die TBM wurde vom 67 m tiefen White-River-Schacht aus gestartet um sowohl den Lower-Pogues-Run- als auch den White-River-Tunnel zu bohren

The TBM was launched from the 67 m deep White River shaft, and will bore both Lower Pogues Run and White River Tunnels before excavating the rest of the DigIndy network

Completion of DigIndy Tunnels scheduled for 2024

The machine was launched from the 67 m deep White River shaft following a refurbishment that included new motors, gearboxes, electronics, and other elements. As of the last week of September 2016, the TBM has bored over 300 m of the White River Tunnel. About one mile into the tunnel, the drive will bifurcate eastwards to bore the 2.7 km Lower Pogues Run Tunnel in front of Lucas Oil Stadium in downtown Indianapolis. The machine will then be backed up

to the bifurcation point before continuing north for completion of the White River Tunnel. As the machine bores, Robbins continuous conveyors remove muck in an extensive system that was highly successful at the DRTC. Much of the conveyor structure remains the same for the new tunnels. The conveyors will wind through curves as sharp as 300 m in radius, as the tunnels follow the path of the White River overhead.

The S-K JV has until 2021 to complete the White River and Lower Pogues Run tunnels for local owner Citizens Energy Group, and until 2024 to complete all the tunnels. The use of only one TBM was seen as a positive: "The schedule allowed us to run with one TBM and we feel we can do it. It also was a less costly option than running two machines in terms of the owner funding the project," said Dan Martz, vice president for J.F. Shea. Once complete, the EPA-mandated deep tunnel project will reduce the amount of raw sewage overflows and clean up tributaries along the White River. 



Massgeschneiderte Lösungen für Sicherheitstore im Bahn- und Strassentunnelbau

Unsere Sicherheitstore im Gotthard Basistunnel halten extremen Belastungen stand und erfüllen höchste Ansprüche an Sicherheit und Dauerhaftigkeit. Über 700 Türen und Tore von Elkuch Bator sorgen nach Betriebsaufnahme des Jahrhundertbauwerkes für die Sicherheit von Menschen und Gütern. **Mit Sicherheit – Elkuch Bator.**

Sicher.
Dauerhaft.



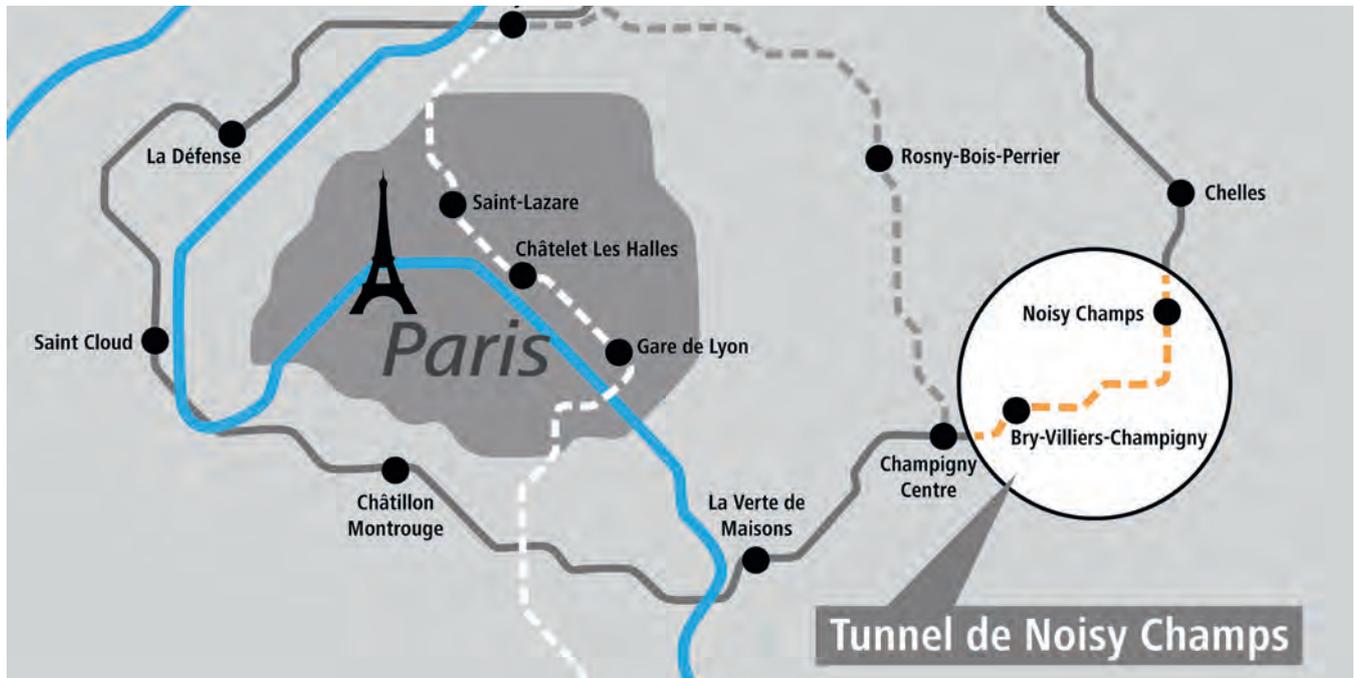
ELKUCH BATOR

Frankreich

Linie 15 Süd: Zweiter Auftrag für Implemia beim Grand Paris Express

France

Line 15 South: 2nd Grand Paris Express Contract for Implemia



Quelle/credit: Implemia

Gesamtansicht des Grand Paris Express: Der dem Konsortium, zu dem auch Implemia gehört, zugeschlagene Bauabschnitt „Lot T2C“ für den Tunnel von Noisy – Champs im südlichen Abschnitt der Linie 15

Overview of the Grand Paris Express: the consortium to which Implemia belongs has won the contract to build the highlighted “Lot T2C” Noisy – Champs Tunnel on the southern part of Line 15

Nach dem Gewinn des Bauabschnitts „Lot GC01“ Ende Juni 2016 (Baubeginn im Oktober) konnte sich Implemia am 30. September einen zweiten großen Infrastrukturauftrag des Projekts Grand Paris Express sichern: den Bauabschnitt „Lot T2C“ für den Tunnel von Noisy – Champs im Rahmen der Linie 15 Süd im Südosten von Paris. Auch diesen Grand-Paris-Express-Auftrag wird Implemia gemeinsam mit den Konsortialpartnern NGE, Demathieu & Bard (beide Frankreich) und Pizzarotti (Italien) ausführen.

In Auftrag gegeben und finanziert wird das Projekt durch die Société du Grand Paris (SGP), die für die Planung und den Bau zuständige öffentliche Einrichtung. Der „Grand Paris Express“ ist ein aus sechs fahrerlosen U-Bahn-Linien bestehendes Verkehrsnetz mit rund 200 km neuer Tunnelstrecken sowie knapp 70 neuen unterirdischen Bahnhöfen, für das im Lauf des kommenden Jahres noch weitere Bauabschnitte vergeben werden. Der Auftrag beinhaltet zwei Startschächte südlich von Noisy – Champs, den Ausbruch des 4,7 km langen Tunnels Richtung Bry – Villiers – Champigny (ohne Bahnhöfe), den Ausbruch des 2,2 km langen Verbindungstunnels zur Wartungs- und Logistikstation (SMR) sowie ein großes unterirdisches Verzweigungsbauwerk und acht Zwischenschächte. Der Gewinn des Projekts bedeutet laut Implemia einen weiteren wichtigen Baustein in der Umsetzung der Strategie des Unternehmens außerhalb der Heimmärkte. 

Having already won the contract for the “Lot GC01” section of the Grand Paris Express project at the end of June 2016 (for which construction was scheduled to begin in October), Implemia secured a second order today: the “Lot T2C” Noisy Champs Tunnel section of Line 15 South in the south-east of Paris. As with the first, Implemia will carry out this second major Grand Paris Express infrastructure order together with its consortium partners NGE, Demathieu & Bard (both France) and Pizzarotti (Italy). The whole project is being commissioned and funded by Société du Grand Paris (SGP), which is the public body responsible for planning and building the new transport network made up of six driverless subway lines. It includes around 200 km of new tunnels and almost 70 new underground stations. Further construction lots will be awarded over the course of the next year. The latest order includes two start shafts south of Noisy – Champs, the excavation of a 4.7 km long tunnel towards Bry – Villiers – Champigny (excluding stations), excavation of a 2.2 km tunnel link to the maintenance and logistics station (SMR), as well as a large underground branch-off structure and eight intermediate shafts. Implemia considers the award of this contract as another important step forward in the implementation of the company’s strategy outside its home markets. 

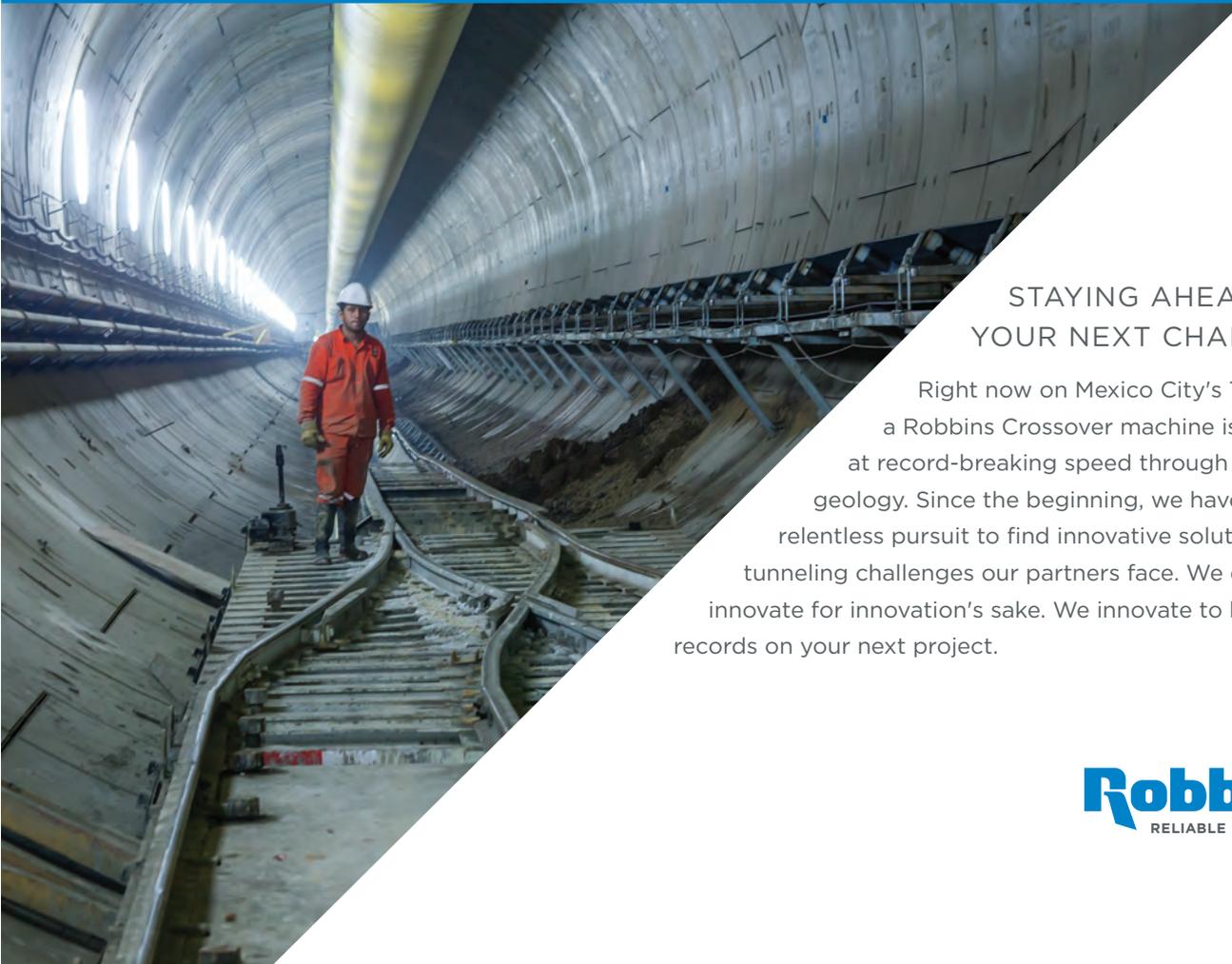


NATIONAL RECORD OF
57 METERS
IN A SINGLE DAY

TÚNEL EMISOR PONIENTE II, MEXICO CITY



FOCUSED
FORWARD



STAYING AHEAD OF YOUR NEXT CHALLENGE

Right now on Mexico City's TEP II project, a Robbins Crossover machine is excavating at record-breaking speed through varying geology. Since the beginning, we have been on a relentless pursuit to find innovative solutions to the tunneling challenges our partners face. We don't innovate for innovation's sake. We innovate to break records on your next project.



Specialist for
tunneling
equipment
and
logistic systems

www.msd-dresden.de
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



Schweiz

Sanierung der Axenstrecke mit neun Tunneln startet 2017

Die SBB nutzt die Zeit zwischen der Eröffnung des Gotthard- und des Ceneri-Basistunnels, um die Zulaufstrecken zu den Tunneln auszubauen und zu erneuern – so auch auf der Axenstrecke, wo das seeseitige Gleis saniert und ausgebaut wird. Anfang Oktober 2016 starteten dort die Vorarbeiten. Die zweigleisig befahrene Strecke zwischen Brunnen und Flüelen bildet einen wichtigen Zugang zum Gotthard-Basistunnel. Damit die Linie langfristig befahren werden kann, musste die SBB die Erneuerung des seeseitigen Gleises noch vor 2030 einplanen; das bergseitige Gleis war bereits 2008/2009 umfassend saniert worden.

Die eigentliche Sanierung der Axenstrecke erfolgt ab Januar 2017 in drei Etappen und dauert bis Dezember 2019. Im Rahmen des Projekts

saniert die SBB insgesamt neun Tunnel mit einer Gesamtlänge von knapp 6 km. Dabei werden die bestehenden Ingenieurbauten (Portale, Gewölbe, Widerlager, Entwässerungen) sowie die gesamte Bahntechnik mit Fahrbahn, Kabelanlagen und Fahrleitung erneuert. In den zwei längsten Tunnel werden die Selbstrettungsmaßnahmen erweitert und modernisiert. Der Morschach-Tunnel wird seit Sommer 2016 für den Transport von Containern mit 4 m Eckhöhe ausgebaut. Damit wird die gesamte Axenstrecke Vier-Meter-tauglich. Die Kosten des gesamten Projekts belaufen sich auf rund 120 Millionen Schweizer Franken. Nach der Sanierung kann der Axen-Abschnitt bis 2070 für den Bahnbetrieb weitergenutzt werden. 

Switzerland

Redeveloping the Axen Route with 9 Tunnels to begin in 2017

The SBB is using the time between the opening of the Gotthard and the Ceneri Base Tunnels to upgrade and renew the access routes to the tunnels. This also includes the Axen route, where the track nearest the lake is to be redeveloped and upgraded. Preliminary operations started there in early October 2016. The two-way route between Brunnen and Flüelen forms an important access to the GBT. In order to ensure that the route is suitable for long-term use, the SBB was compelled to plan to renew the track nearest the lake prior to 2030; the track at the mountain side had already been comprehensively renovated in 2008/2009. The renovation process as such for the Axen route will commence in January 2017 in three stages and is due to be completed in December 2019. Within the scope of the project, the SBB will redevelop a total of nine tunnels with an overall length of almost 6 km. Towards this end, the existing engineering

structures (portals, arches, abutments and drainage systems) as well as the entire rail technology with track, cable systems and overhead wire are to be renewed. In the two longest tunnels, the self-rescue facilities will be expanded and updated. The Morschach Tunnel has been modified to cope with containers with up to 4 m corner height since the summer of 2016. This will mean that the entire Axen route will be suitable for transporting 4 m high loads. The total project is estimated to cost around 120 million Swiss francs. Once redeveloped, the Axen route will be able to fulfil its purpose for rail operations up until 2070. 

Deutschland

Baubeginn beim S-21-Tunnel Untertürkheimer Kurve

Die DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH hat Mitte Oktober 2016 in Untertürkheim mit dem Bau des S21-Tunnels Untertürkheimer Kurve begonnen. Im ersten Bauschritt werden der Trog gebaut, in dem die Bahnstrecke in den Tunnel geführt wird, sowie der Anfangsbereich, der in offener Bauweise hergestellt wird. Zur Sicherung der dafür notwendigen Baugruben werden Spundwände in den Boden eingebracht. Das Baufeld, für das Gütergleise zurückgebaut wurden, befindet sich inmitten des Gleisfeldes des Güterbahnhofs.

Die weitere Strecke des insgesamt des 1080 m langen Tunnels wird in bergmännischer Bauweise in der Spritzbetonmethode gebaut. Der Tunnel Untertürkheimer Kurve erhält zwei eingleisige Röhren. Die Tunnelröhren werden als Kreisquerschnitt mit einem lichten Radius von 4,05 m hergestellt. Das statisch günstige Kreisprofil wird gewählt, weil im Durchfahrungsbereich des unausgelaugten Gipskeupers hohe Wasserdrücke bis zu 35 m Wassersäule und aufgrund stellenweise schlechter Geologie hohe Gebirgsdrücke anstehen. In vergleichsweise kurzen Abschnitten durchfährt die Tunnelröhre ausgelaugten Gipskeuper. Wegen geringer Überdeckung und der schlechten Gebirgsqualität sowie aus bautechnischen Gründen wird das Kreisprofil beibehalten. 

Germany

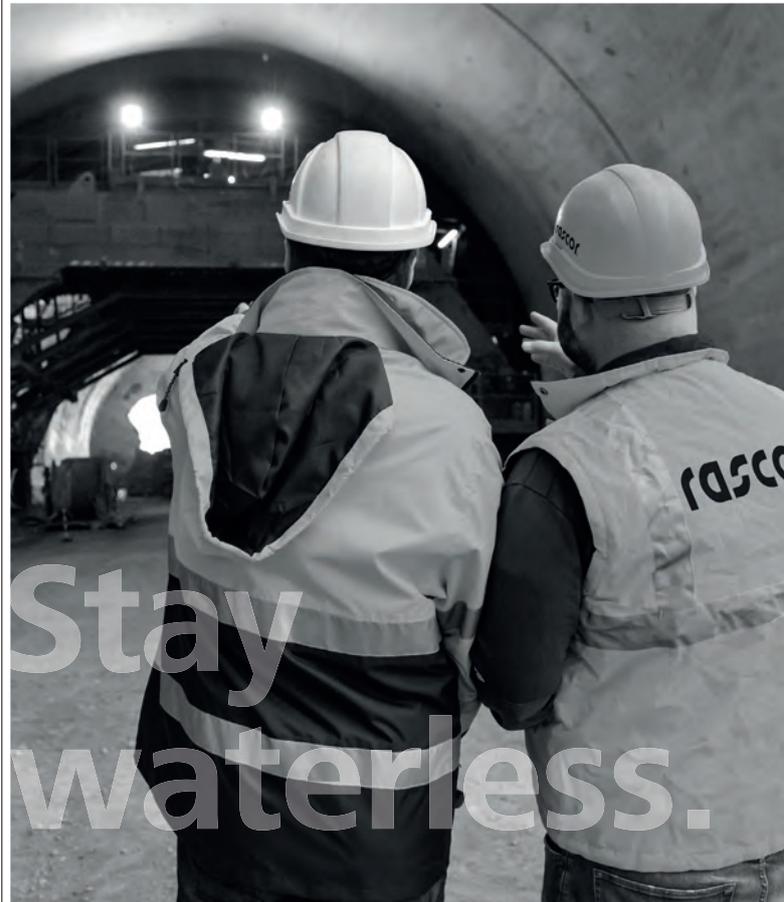
Construction started on S-21 Tunnel “Untertürkheimer Kurve”

The DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH began building the S-21 Tunnel “Untertürkheimer Kurve” at Untertürkheim in mid-October 2016. The first construction phase entails producing the trough for the rail line passing through the tunnel together with the start-up section by means of cut-and-cover. Pile walls are installed in the soil for securing the necessary construction pits. The construction area, which required the removal of tracks being used for goods traffic, is situated in the middle of the system of tracks at the goods station.

The rest of the altogether 1080 m long tunnel will be built using the shotcreting method. The “Untertürkheimer Kurve” Tunnel will consist of two single-track tubes. These tubes are to be produced with a circular cross-section with a clear radius of 4.05 m. The statically favourable circular cross-section has been chosen as high water pressures with a water column of up to 35 m prevail in the area passing through unleached gypsum keuper and on account of the high rock pressures occasionally encountered owing to poor geology. The tubes pass through unleached gypsum keuper in relatively short sections. The circular cross-section is retained for technical reasons as well as owing to the shallow overburden and the poor rock quality. 

rascor®

Pioniere der Bauabdichtung



Als Pioniere in der Abdichtungstechnik entwickeln wir Produkte für die höchsten und trockensten Ansprüche Ihrer Tunnelprojekte – denn Trockenheit heisst auch Sicherheit! Lösungsorientierte und massgeschneiderte Abdichtungskonzepte sichern den Erfolg!

**Rascor Tunnel- und
Spezialtiefbau GmbH**
Ratsgasse 6
D-97688 Bad Kissingen

Telefon +49 (0)971 130 2738
Telefax +49 (0)971 133 6251
info@rascor.com
www.rascor.com

USA

Norris Cut Projekt: Tunnelbau an der Küste Floridas

USA

Norris Cut Projekt: Tunneling at Florida's Coast



Der im Durchmesser nur 12 m große Startschacht auf Virginia Key sparte Platz. Die HCS-Maschine musste den Vortrieb aufgrund dessen jedoch im Rohrvortrieb mit Hilfe eines Presserahmen-Adapters beginnen

The launch shaft on Virginia Key with a diameter of only 12 m saved space. As a result, however, the HCS machine had to begin the drive in pipe jacking mode using a jacking frame adapter

In Südflorida hat das Bauunternehmen Bessac im Februar 2016 die Arbeiten am Norris Cut Tunnel in schwierigster Geologie abgeschlossen. Norris Cut ist eine schmale Zufahrt in die Biscayne Bay unmittelbar südlich des Schifffahrtskanals zum Seehafen von Miami. Innerhalb von zehn Monaten wurden mit einer speziell designten Maschine, einem „Herrenknecht Combined Shield“ (HCS, Durchmesser 3,13 m) unter höchsten Sicherheitsmaßnahmen auf 1613 m ein Schutztunnel vorgetrieben. Im fertigen Tunnel wird eine neue Abwasserleitung verlegt. Sie ersetzt das alte, nach einem halben Jahrhundert Betriebszeit schlichtweg marode Rohr.

Den Auftrag für das Design-Build-Projekt mit einem Vertragswert von 72 Millionen US-Dollar hatte das Miami-Dade Water and Sewer Department im Januar 2014 an das Unternehmen Nicholson Construction vergeben. Als Generalunternehmer setzte Nicholson das Projekt in enger Zusammenarbeit mit der auf Tunnelbau spezialisierten Schwesterfirma Bessac und dem Planungsunternehmen Arup um.

Spezielle Absicherung gegen Überflutung

Der Baugrund ebenso wie die Projektumstände am Norris Cut waren alles andere als Standard. In der karstigen, wasserdurchlässigen Geologie bestand nicht nur das Risiko einer Überflutung der Tunnelvortriebsmaschine. Die anspruchsvoll zu durchtunnelnde Fort Thompson Formation ist außerdem mit sandgefüllten Hohlräumen durchzogen. Die Ortsbrust neigte aus diesem Grund zu Instabilität.

In February 2016 construction company Bessac completed work on the Norris Cut protection tunnel in extremely difficult geology in South Florida. Norris Cut is a shallow inlet between Fisher Island and Virginia Key, just south of the Main Channel to the Port of Miami. In just ten months and using a customized machine designed especially for the mission, a "Herrenknecht Combined Shield" (HCS, diameter 3.13 m), 1613 m were tunnelled adhering to the highest safety standards. A new sewer line was installed in the finished tunnel – after half a century in use the old pipe was simply worn out. The Miami-Dade Water and Sewer Department had awarded Nicholson Construction the 72 million dollar design-build contract in January of 2014. Nicholson served as the General Contractor for the project, working closely with sister company and tunnel construction manager Bessac and tunnel design firm, Arup.

Safeguard Measures against Flooding

The ground conditions and project circumstances of the mission at Norris Cut were anything but standard. Not only did the karstified, permeable geology pose the risk of flooding the machine. The complex Fort Thompson Formation to be tunnelled through is also full of sand-filled cavities. The tunnel face was therefore prone to instability. For this reason the construction of the protection tunnel for a new sewer line between Virginia Key and Fisher Island required the flexibility and special safety features of the HCS machine. Available in slurry mode as well as in EPB mode depending on the requirements, the HCS offered the necessary adaptability to changeable ground conditions.

Aus diesem Grund erforderte der Bau des Schutztunnels für eine neue Abwasserleitung zwischen Virginia Key und Fisher Island eine flexible Maschine mit außergewöhnlichen Sicherheitsfeatures. Das HCS bot die notwendige Anpassungsfähigkeit an wechselhafte Bodenverhältnisse und war, je nach Anforderung, im Slurry-Modus wie auch im Erddruckschildverfahren nutzbar. Zusätzlich musste während des Vortriebs der vordere Maschinenbereich jederzeit zugänglich sein, um so etwa einen Werkzeugwechsel zu gewährleisten. Für maximale Sicherheit wurde eine Druckwand mit Taucherwanne eigens für das Projekt entwickelt. Dank der Druckwand zwischen den vorderen beiden Maschinenteilen und dem dadurch ermöglichten Überdruck an der Ortsbrust können Abraum und Wasser nicht in die Maschine eindringen. Sollte es bei hohen Wasserdrücken trotzdem zu einer Überflutung kommen, ermöglicht die Taucherwanne ein sicheres Einschleusen in den überschwemmten Bereich.

Letztendlich mussten die Sicherheitsreserven nicht ausgeschöpft werden. Weder das ausgeklügelte Schleusensystem noch der EPB-Modus der HCS-Maschine kamen zum Einsatz. Der Boden war wie erwartet sehr wasserdurchlässig, aber dank des passenden Bohrkopfdesigns und den entsprechenden Schneidrollen konnte der Kunde mit nur einem Wartungsstopp auskommen, welcher nach einer neuartigen Bodenbehandlung von der Tunnelbohrmaschine aus unter Druckluft durchgeführt wurde.

Baubeginn im Rohrvortrieb

Die TVM „Dorsey“ startete im April 2015 den Vortrieb nahe der Kläranlage auf Virginia Key. Vom ersten Meter an zeichnete sich das Projekt durch seine speziellen Anforderungen aus: Um Platz zu sparen, war der Startschacht mit 12 m Durchmesser recht knapp bemessen. Die Nachläufer der HCS-Maschine fanden zu Beginn keinen Platz und konnten erst nach 70 Vortriebsmetern nacheinander eingesetzt werden. Die TVM wurde auf den ersten Metern daher mit Hilfe eines vom Kunden entwickelten Pressenrahmen-Adapters im Rohrvortrieb vorgepresst, der weitere Tunnel anschließend mit Tübbing ausgebaut.

In einer Tiefe von bis zu 21 m unter dem Meeresspiegel grub sich die Maschine in den nächsten Monaten voran. Der Durchbruch erfolgte nach 227 Arbeitstagen am 16. Februar 2016 auf Fisher Island. Bis Ende 2016 soll die neue 60“ Druckrohrleitung im fertigen Schutztunnel verlegt sein und in Betrieb genommen werden. Der erfolgreiche Vortrieb beim Norris Cut Projekt hat die Grenzen des Möglichen im floridianischen Tunnelbau vorangetrieben und zu seiner Weiterentwicklung beigetragen: „Das Projekt hat Maßstäbe gesetzt für Arbeiten im Untergrund von Florida und Lösungen aufgezeigt für tiefliegende Abwasserleitungen in der porösen Fort Thompson Formation,“ bestätigte Bernard Theron, Präsident von Bessac. 

Additionally, the front area of the machine had to be accessible at all times during the excavation to allow for tool changes, for instance. For maximum safety a bulkhead with a dive pit was developed especially for the project. Thanks to the bulkhead between the front two machine parts and the overpressure thus enabled, muck and water cannot penetrate into the machine at the tunnel face. Should high water pressures nevertheless lead to flooding, the dive pit allows safe locking into the flooded area.

In the end the safety reserves were not needed. Neither the sophisticated lock system nor the EPB mode were used. The ground was highly permeable as expected, however the proper design of the cutterhead and the appropriate disc cutters necessitated only one maintenance stop, performed under compressed air after an innovative ground treatment from the TBM.

Construction started in Pipe Jacking Mode

The TBM „Dorsey“ began the drive near the treatment plant on Virginia



Quelle/credit (2): Herrenknecht

Key in April 2015. Right from the start the project was characterized by its special requirements: to save space, with a diameter of 12 m the launch shaft was rather small. At the beginning there was no room for the HSC machine's back-ups and they were only able to be used one by one after 70 m of tunnelling. For the first section the TBM was therefore pushed forward in pipe jacking mode using a jacking frame adapter developed by the customer, the rest of the tunnel was then lined with concrete segments.

At a depth of up to 21 m below sea level, the TBM dug its way forward in the months that followed. After 227 working days came the breakthrough on Fisher Island on February 16, 2016. By the end of the year the new 60“ discharge pipeline is due to be installed in the finished protection tunnel and put into operation. “The project has set standards for work in Florida's underground and showed solutions for deep sewer lines in the porous Fort Thompson Formation,“ said Bernard Theron, President of Bessac. 

In February 2016 the TBM reached the target shaft on Fisher Island around 1.6 km away in less than ten months. In late 2016 a new 60“ sewer line, installed in the segmentally lined protection tunnel, will replace the old, worn-out line and transport wastewater from Fisher Island to the treatment plant on Virginia Key

Tunnel Rastatt – Erfahrungen nach 1000 m Vortrieb

Der Vortrieb der ersten Röhre des Tunnels Rastatt auf der Aus- und Neubaustrecke Karlsruhe–Basel wurde Ende Mai 2016 planmäßig aufgenommen. Nach dem sogenannten fliegenden Start der Tunnelvortriebsmaschine (TVM) und der Durchörterung des sich an die Baugrube anschließenden DSV-Dichtblocks, konnte die ARGE Tunnel Rastatt (Ed. Züblin AG und Hochtief Solutions AG) den Regelvortrieb aufnehmen. Nach knapp 100 m Vortrieb wurde die Bundesstraße 36 erfolgreich unterquert und im Anschluss die Vereisungsstrecke der Federbachniederung bewältigt. Mit einer durchschnittlichen Bruttovortriebsleistung von 11 m pro Tag wurden die ersten 1000 m bis Mitte September 2016 aufgeföhren. Der vorliegende Artikel setzt den Projektbericht aus tunnel 1/2016 zum Bau des rund 4,3 km langen Bahntunnels Rastatt fort.

Rastatt Tunnel – Findings after Driving 1000 m

Work started on the first tube of the Rastatt Tunnel on the new/upgraded Karlsruhe–Basel rail route at the end of May 2016 as scheduled. After the so-called “flying shield start-up” for the tunnel boring machine (TBM) and penetrating the jet grouted sealing block adjoining the construction pit, the Tunnel Rastatt JV (Ed. Züblin AG and Hochtief Solutions AG) was able to commence standard operation. After 100 m had been driven, the federal highway 36 was successfully undertunnelled and then the frozen section in the Federbach low-lying area accomplished. The first 1000 m was excavated by mid-September at an average gross rate of advance of 11 m per day. This article follows up on the project report contained in tunnel 1/2016 on building the roughly 4.3 km long Rastatt rail tunnel.

Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff MBA, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum, Deutschland/Germany
Dipl.-Ing. Thomas Grundhoff, Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH, Ettlingen/Grundhoff GmbH, Neuss, Deutschland/Germany

Vortriebsstart in der Oströhre

Der Vortriebsstart für die Oströhre des Tunnels Rastatt erfolgte Ende Mai 2016 aus der Startbaugrube östlich von Ötigheim in den sich direkt anschließenden DSV-Dichtkörper. Hier wurde kurz vor dem Austritt der TVM in den gewachsenen Boden die erste Druckluftintervention durchgeführt, um die Funktionsfähigkeit der Aggregate zu überprüfen und auch den Verschleißzustand der Abbaugeräte sowie des Schneidrads infolge der prinzipiell erhöhten Abrasivität des Dichtkörpers zu kontrollieren. Die Funktionsfähigkeit konnte bestätigt werden. Optisch ließ sich kein maßgeblicher Verschleiß feststellen.

Die Anfahrt der Herrenknecht-TVM erfolgte als sogenannte fliegende Schildanfahrt nach einem Patent der Hochtief AG (**Bild 1**). Dabei wurde die TVM über einen Druckring, der über Zugstangen an der Baugrubenkonstruktion rückverankert und mit Hydraulikspindeln bestückt war, vorgeschoben. Aus statisch-konstruktiven Aspekten war die Gesamtpressenkraft hierbei auf 23 000 kN

Start of Driving in the east Tube

The driving of the Rastatt Tunnel’s east tube commenced at the end of May 2016 from the starting pit to the east of Ötigheim into the adjoining jet grouted sealing block. Prior to the TBM entering natural soil, this is where the first compressed air intervention took place in order to check the functional capacity of the aggregates and control the state of wear of the cutting tools as well as the cutting wheel on account of the in principle increased abrasiveness of the sealing block. The functional capacity was confirmed. No wear giving rise to concern was determined visually.

The Herrenknecht TBM began operating with a so-called flying shield start-up in accordance with a Hochtief AG patent (**Fig. 1**). In the process, the TBM was thrust forward via a pressure ring, which was back-anchored against the construction pit by means of rods and fitted with hydraulic spindles. For this purpose, the total thrusting force was restricted to 23 000 kN for static-structural reasons. After advancing for roughly 7 m, the pressure ring’s final position was



Quelle/credit (2): IMM

1 Fliegende Schildanfahrt beim Vortriebsbeginn der Oströhre des Tunnels Rastatt
Flying shield start-up to commence excavating the Rastatt Tunnel's east tube

begrenzt. Nach einem Vorschub von etwa 7 m war die Endstellung des Druckrings erreicht. Der weitere Vorschub erfolgte über die Vortriebspresen – zuerst ca. 75 cm bis in die Verpressstellung, in der der Ringspalt zwischen Lippendichtung, Schlauchdichtung, Stahlbau und Tübbing mit Mörtel verpresst wurde. Mit Aushärten des Mörtels wurde die Abdichtung der Startbaugrube gegen das außerhalb anstehende Grundwasser sichergestellt. Nach weiteren ca. 1,7 m Vortrieb wurde der Regelvortrieb mit Austritt des Schneidrads aus dem Dichtblock aufgenommen. Bei dem System der fliegenden Schildanfahrt kann auf aufwendige Rücksteifkonstruktionen sowie den Bau einer Blindröhre (ca. 8–9 Tübbingringe in der Startbaugrube) und deren Rückbau prinzipiell verzichtet werden (Bild 2).

B36-Unterquerung mit separatem Vortriebskonzept

Der Vortrieb der ersten 21 Ringe erfolgte planmäßig und mit einer stabilen Bentonitsuspension, deren Fließgrenze zwischen 15 und 45 N/mm² lag und damit ideale Eigenschaften für eine sichere Stützdruckübertragung aufwies. Im weiteren Vortrieb nahm die Fließgrenze jedoch bis auf Werte von unter

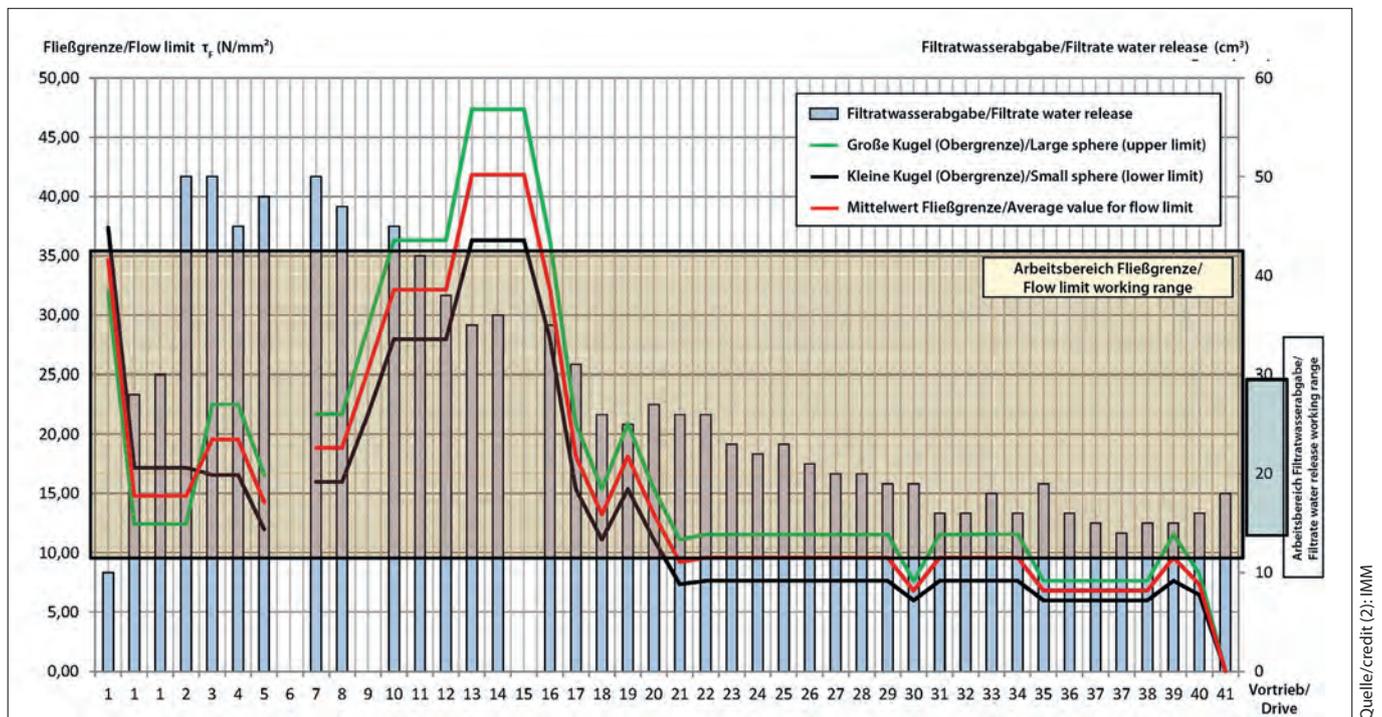
attained. Further progress was achieved via the thrust cylinders – first of all, roughly 75 cm until the grouting position was reached, in which the annular gap between the lip seal, hose seal, structural steel and segment was grouted. Once the mortar set, the starting pit was waterproofed against the prevailing groundwater outside. After driving for roughly 1,7 m the standard operation was commenced with the cutting wheel emerging from the sealing block. Generally speaking, when the flying shield start-up is applied there is no need for complicated bracing structures or the construction of a blind tube (approx. 8–9 segment rings within the starting pit) and its subsequent removal (Fig. 2).



2 Bei der fliegenden Schildanfahrt kann auf aufwendige Rücksteifkonstruktionen sowie den Bau einer Blindröhre in der Startbaugrube verzichtet werden
When the flying shield start-up is used, there is no need for complicated bracing structures or the construction of a blind tube in the starting pit

Undertunnelling the B36 with separate Driving Concept

The first 21 rings were driven according to schedule and with a stable bentonite suspension, with a flow limit of between 15 and 45 N/mm², which thus possessed ideal properties for safe transference of supporting force. As driving progressed, however, the flow limit dropped to values beneath 10 N/mm² (Fig. 3) and was thus no longer or only partially suitable as a supporting agent for active face support.



Quelle/credit (2): IMM

3 Entwicklung der rheologischen Parameter der eingesetzten Bentonitsuspension im Verlauf des Vortriebs

Developing the rheological parameters of the applied bentonite suspension during the excavation

10 N/mm² ab (Bild 3) und war damit nicht mehr bzw. nur noch bedingt als Stützmedium für eine aktive Ortsbruststützung geeignet. Die Versuche mit mehrmaligem vollständigem Austausch des Suspensionsvolumens blieben erfolglos, da bereits nach nur einem weiteren Vortriebshub die notwendigen rheologischen Eigenschaften nicht mehr erreicht wurden. Auch der Einsatz von mit Polymeren angereicherter Suspension führte zu keinem Erfolg. Die Ursachenanalyse, unter anderem in Form von zusätzlichen Bodenproben und deren Untersuchung, lieferte keine eindeutigen Ursachen. Grundsätzlich können Kontaminationen, z. B. mit erhöhten Calciumchlorid-Konzentrationen, zu einem vollständigen Verlust der Scherfestigkeit bei ansonsten weitestgehend gleichbleibenden Parametern führen. In solchen Fällen kann die Zugabe von natriumhaltigen Verbindungen wie Soda (Na₂CO₃ in Konzentrationen von 50–2500 g pro m³ Suspension) eine Regeneration bzw. Reaktivierung der Suspension ermöglichen. Entsprechende Hinweise auf die Wirksamkeit dieser Maßnahme konnten bereits in einem kleinmaßstäblichen Baustellenversuch bestätigt werden.

Mit Vortriebshub 44 begann die Unterfahrung der Bundesstraße B36, für die im Rahmen eines separaten Vortriebskonzepts zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahmen unter Beteiligung der ausführenden ARGE, des Bauherrn, der Bauüberwachung und der TVM-Berater erarbeitet und festgelegt wurden. Hiermit wurde der sich bis dahin mehrfach aufgetretenen Instabilität der Suspension Rechnung getragen. Als wesentliche Sicherheitsstrategien für den Vortrieb wurde eine angepasste Vermessung (5 m Messpunkt-Abstand, Sechs-Stunden-Rhythmus, nivellistische Messungen), die Sperrung der B36 und eine engmaschige Überwachung der

Attempts to completely replace the suspension volume remained unsuccessful as the necessary rheological properties could not be attained after advancing a further stroke. The application of suspension enriched with polymers also failed. An analysis of the causes, among other things in form of additional soil samples and examining them, provided no obvious reasons. Essentially, contaminations, e. g. involving increased calcium chloride concentrations, can lead to a complete loss of shearing strength whilst the other parameters remain the same. In such cases, the addition of compositions containing sodium such as sodium carbonate (Na₂CO₃ in concentrations of 50–2500 g per m³ of suspension) can facilitate regeneration or reactivation of the suspension. Corresponding indication of the efficacy of this measure were confirmed during a small-scale site test. Undertunnelling the B36 federal highway began with driving stroke 44. Here additional quality assurance measures involving the responsible JV, the client, construction supervision and the TBM consultants had been worked out and applied as part of a separate driving concept. In this way, the instability of the suspension, a factor that had already occurred on several occasions, was acknowledged. An adapted surveying programme (measuring points at 5 m gaps, six-hour pattern, levelling measurements), closure of the B36 and thorough monitoring of the mechanical-technical parameters (supporting pressure, suspension level, mortar grouting) were defined as essential safety strategies for driving. Furthermore, special permission was granted for applying special bentonite that included additives (added via an injection pump directly on the TBM. Fig. 4) in a water conservation area. After driving for five days, undertunnelling was completed successfully without any settlements worth mentioning or further anomalies. Traffic started flowing after all parameters had



4 Pumpenstation (Injektionspumpe) auf der TVM für die Zugabe von Bentonit direkt in die Abbaukammer

Pumping station (injection pump) on the TBM for adding bentonite directly to the excavation chamber

maschinentechnischen Parameter (Stützdruck, Suspensionsspiegelniveau, Mörtelverpressung) definiert. Darüber hinaus wurde eine Sondergenehmigung für den Einsatz von Spezialbentonit mit Additivzusätzen (Zugabe über Injektionspumpen direkt auf der TVM, **Bild 4**) in einem Wasserschutzgebiet erlangt. Nach fünf Tagen Vortrieb konnte die Unterfahrung ohne nennenswerte Setzungen oder weitere Auffälligkeiten erfolgreich abgeschlossen werden. Die Verkehrsfreigabe erfolgte nach gemeinschaftlicher Bewertung sämtlicher Parameter. Die tatsächlichen Suspensionskennwerte konnten unter Zugabe des Spezialbentonits weitgehend im verfahrenstechnischen Arbeitsbereich eingestellt und aufrechterhalten werden.

Mit den weiteren Vortrieben stabilisierten sich die Suspensions-eigenschaften, jedoch werden bis dato immer wieder Vortriebe mit Werten außerhalb des Arbeitsbereichs durchgeführt. Die Ursachenforschung bezüglich möglicher Kontaminationen, etwa im Baugrund oder im Anmachwasser der Bentonitsuspension, wird fortgesetzt.

Unterquerung des Vereisungsdachs

Zwischen Tunnelmeter 390 und 580 wurde das Frostdach (**Bild 5**) im Bereich der Federbachniederung, die als FFH-Gebiet (Fauna-Flora-Habitat) eingestuft ist, unterquert. Der dachförmige Gefrierschirm ist im Rahmen einer Variantenuntersuchung als das Verfahren mit den voraussichtlich geringsten Eingriffen in das FFH-Gebiet ermittelt worden. Notwendig war die Maßnahme zur Aufnahme der Auftriebskräfte im Bauzustand und zur Stabilisierung der Ortsbrust. Die Dachkonstruktion wurde mittels Schrägbohrungen von der Geländeoberkante aus erstellt, um die

been jointly discussed. The actual suspension reference values could be confined largely to the process technological working range and maintained thanks to the addition of the special bentonite.

As driving progressed the suspension properties stabilised, however, until now several excavation sections are still being accomplished with values outside the working range. Analysis of the causes with regard to possible contamination in the soil or in the mixing water for the bentonite suspension is continuing.

Underpassing the frozen Roof

Between tunnel metre 390 and 580, the frozen roof (**Fig. 5**) in the Federbach low-lying area, which is classified as a FFH (flora fauna habitat) nature conservation area, was underpassed. The roof-shaped frozen zone was determined as the method least likely to affect the FFH area within the scope of a study of alternatives. The measure was essential to contain the uplift forces during construction and to stabilise the face. The roof structure was produced by means of inclined drill holes from the ground surface to safeguard against suspension blowouts and cave-ins, which would compromise the active face support of the TBM. The roof can be ventilated in a controlled fashion via valves. Driving beneath the frozen roof took place according to schedule given minimum overburden of 4.2 m. In this connection, no negative effects on the shield drive or anomalies were established. The driving parameters revealed no significant changes; mortar grouting achieved the desired values.

Evaluating the Excavation and Process Data

Owing to the sophisticated geological and operational marginal conditions, the client commissioned verification and analysis

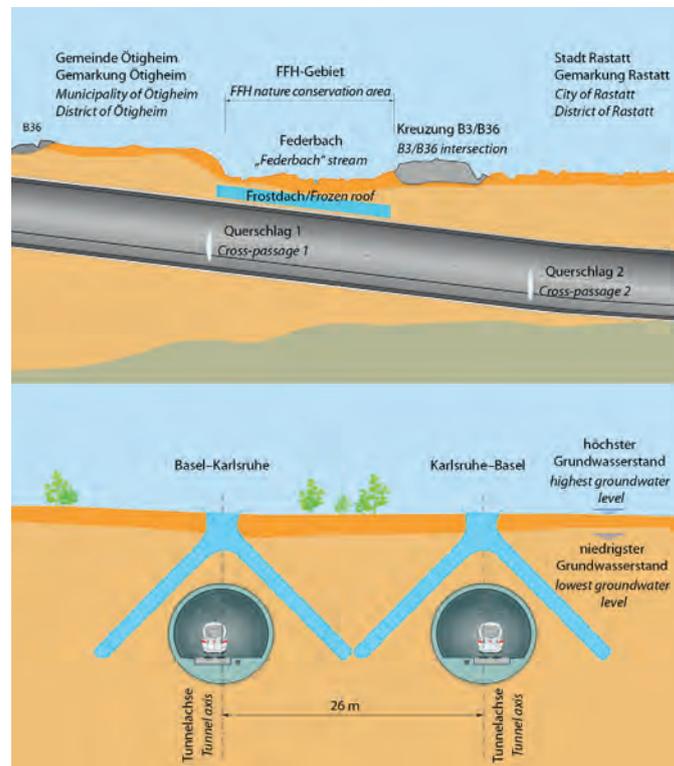
Aufbruchssicherheit bei der aktiven Stützung der TVM zu gewährleisten. Über Ventile kann das Dach kontrolliert entlüftet werden. Der Vortrieb unterhalb der Vereisung wurde bei Minimalüberdeckungen von 4,2 m planmäßig durchgeführt. Dabei konnten keine negativen Auswirkungen auf den Schildvortrieb oder Auffälligkeiten festgestellt werden. Die Vortriebsparameter zeigten keine signifikanten Veränderungen; die Mörtelverpressung erreichte die Soll-Werte.

Vortriebs- und Prozessdatenauswertung

Aufgrund der anspruchsvollen geologischen sowie baubetrieblichen Randbedingungen hat der Bauherr für die gesamte Schildfahrt eine Beweissicherung und Analyse für den Einsatz der TVM in Form eines Prozesscontrollings beauftragt. Diese Prozessüberwachung wird in Kombination mit einer maschinen- und verfahrenstechnischen Beratung zu sämtlichen Fragestellungen des Schildvortriebs und zu vertraglich-technischen Aspekten (Fachberatung TVM) durchgeführt.

Als primäre Zielsetzung wurde die Echtzeitanalyse der Maschinendaten mit Blick auf die Interaktion zwischen Baugrund, Bauwerk und TVM definiert. Im Sinne der Störfallprävention sollen hierbei kritische Vortriebszustände wie Ortsbrustinstabilitäten, Verschleiß- und Verklebungseffekte oder Beschädigungen des Ausbaus frühzeitig erkannt werden, so dass mit geeigneten Gegensteuerungsmaßnahmen schädliche Auswirkungen auf Sicherheit, Qualität, Zeit und Kosten auf ein Minimum reduziert werden können und eine Optimierung der Schildfahrt erreicht wird. Mit der Installation eines Prozesscontrollings sollen darüber hinaus die Belange einer vollständigen und dauerhaften Dokumentation des Vortriebs erfüllt werden.

Die Ergebnisse der Echtzeitanalyse, also die ingenieurtechnische Interpretation der Maschinendaten inklusive Abgleich mit statischen und baubetrieblichen Vorgabewerten, werden in Form von kommentierten und mit den maßgebenden Parameterkurven ergänzten Stellungnahmen dokumentiert. Auffällige oder unplausible Prozessdaten, etwa bei der Ausbruchmassen- und Verpressmengenbilanzierung oder Überschreitungen von Soll-Werten für Pressendrucke etc., werden während des Vortriebs sowohl visuell als auch automatisch über voreingestellte Warn- und Alarmwerte kenntlich gemacht. Über Detailanalysen werden die Grundlagen



5 Vereisungsdach für den Vortrieb an der Federbachniederung
Frozen roof for excavation in the Federbach low-lying area

for the application of the TBM in the form of process controlling for the entire shield drive. This process monitoring is undertaken in combination with mechanical engineering and procedural consultation on all issues pertaining to shield driving and contractual-technical aspects (TBM expert support).

The real time analysis of the machine data regarding the interaction between soil, structure and TBM was defined as a primary objective. In this case, critical driving states such as face instabilities, wear and clogging effects or damage to the segmental lining were to be identified at an early stage so that suitable counter-measures could be applied to reduce harmful effects on safety, quality, time and costs to a minimum and achieve optimisation

of the shield drive. Furthermore, by installing a process controlling system the needs for a complete and sustainable documentation of the excavation could be fulfilled.

The results of the real-time analysis, in other words the mechanical engineering interpretation of the machine data including comparison with static and operational reference values, are documented in the form of back-up statements expressed as commentaries and containing the appropriate parameter curves. Process data that stick out or seem implausible, say with regard to excavated mass and grout quantity balancing or exceeding desired values for thrusting pressures etc. are revealed visually as well as automatically via preset warning and alarm values during the excavation. The principles for collating technical responses to the causes and the presentation of recommendations for how to proceed further are provided by detailed data analyses. Within the scope of regular TBM and tunnel inspections as well as consultations with the client and the joint venture the results are discussed and strategies for solutions developed.

The process data documented so far for the TBM largely reveal constant setting parameters, which for the most part correspond with the specifications. The control processes as well as active parameters (rpm, rate of advance) are adjusted within narrow limits; the supporting pressure was set at the statically required level. No major fluctuation ranges were observed. Grouting mortar also only fluctuated slightly from the theoretical desired value of 12.5 m³/ring. There were no discernible thrusting force peaks.

für die Abfassung von fachtechnischen Stellungnahmen zu den Ursachen und für die Darstellung von Empfehlungen für das weitere Vorgehen geschaffen. Im Rahmen von regelmäßigen TVM- und Tunnelbegehungen sowie Besprechungen mit der Bauüberwachung, dem Auftraggeber und der Arbeitsgemeinschaft werden die Ergebnisse diskutiert und Lösungsstrategien entwickelt. Die bislang dokumentierten Prozessdaten der TVM weisen überwiegend konstante Einstellparameter auf, die weitestgehend den Vorgaben entsprechen. Die Steuerungsvorgänge sowie Aktivparameter (Drehzahl, Vortriebsgeschwindigkeit) werden in engen Grenzen justiert; der Stützdruck wurde auf das statisch notwendige Niveau eingestellt. Größere Schwankungsbreiten waren nicht feststellbar. Die Mörtelverpressung schwankt ebenfalls nur gering um den theoretischen Sollwert von 12,5 m³/Ring. Markante Pressenkraftspitzen ließen sich nicht feststellen.

Ausbauqualität und Verschleiß der Abbauwerkzeuge

Die bisher eingebauten Bauwerksringe (**Bild 6**) weisen durchgehend eine sehr gute Einbau- und Oberflächenqualität auf. Neben den akkuraten Vortriebs- und Montagearbeiten ist für den einwandfreien Ausbau mit Tübbingen insbesondere die Reduzierung von Aufschwimmeffekten direkt benachbarter Ringe (Versatz) erforderlich. Als Leitgrößen sind hier das Ansteifverhalten des Mörtels (Dränierung, Hydratisierung) und die Haltekräfte der TVM (Vortriebspresenkraft) in allen Bauphasen zu nennen. Beide Aspekte konnten bis dato beim Tunnel Rastatt so abgestimmt werden, dass ein Aufschwimmen wirksam reduziert und daraus



Quelle/credit: IMM

6 Fertiggestellter Rohbauabschnitt des Tunnels Rastatt
Completed carcass section of the Rastatt Tunnel



Quelle/credit: Ingenieurgemeinschaft
Bauüberwachung Tunnel Rastatt

7 Ortsbrust-/Schneidraddokumentation während einer planmäßigen Druckluftintervention

Face/cutting wheel documentation during a scheduled compressed air intervention

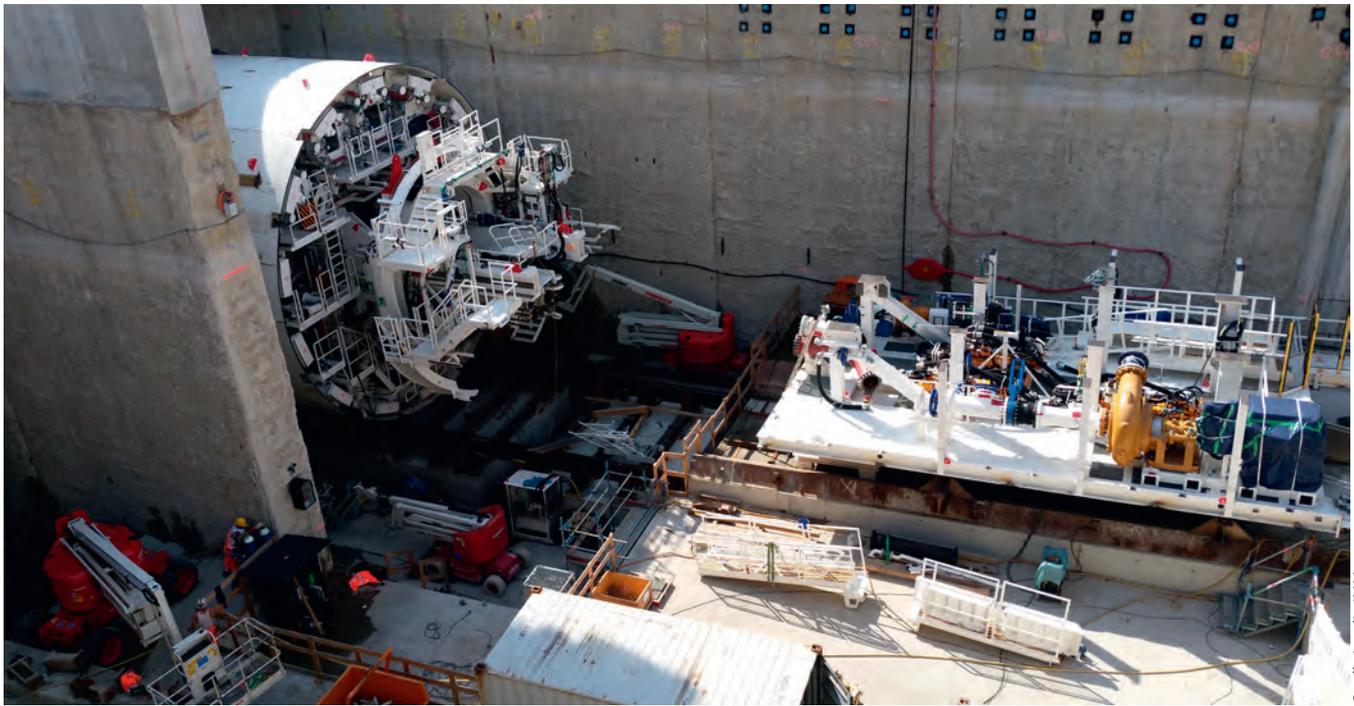
Quality of segmental Lining and Wear of the Excavation Tools

The structural rings installed so far (**Fig. 6**) possess outstanding assembly and surface quality. Apart from the accurate driving and assembly operations, it is particularly essential to reduce the flotation effects of rings (misalignment) directly adjacent to one another to ensure the perfect installation of segments. The stiffening behaviour of the mortar (drainage, hydration) and the retaining forces of the TBM (thrusting cylinder force) during all construction phases should be mentioned as reference parameters here. So far in the case of the Rastatt Tunnel, both aspects were harmonised in such a way that flotation could be effectively reduced and any resultant damage prevented. Overall, for the first 460 rings only 14 cracks, six major incidents of spalling and six leaky joints were determined. This results in a failure quota of 5 % relating to the number of structural rings that were installed.

Within the final metres of the drive increased wear on the excavation tools was established within the framework of scheduled compressed air interventions (**Fig. 7**). Particularly in the gauge area of the cutting wheel the roller bits and in some cases the cutters had to be replaced on several occasions. In addition to conventional tools, reinforced discs and discs with different diameters as well as cutting ring widths were applied. Generally the influences on the excavation capacity of the tools are manifold and among other things often correlate with clogging effects caused by the roller bits. Currently, far-reaching considerations relating to the choice of tools are proceeding.

Preparations for the west Tube

After concluding the final assembly work on the TBM and back-up units (**Fig. 8**), excavation of the Rastatt Tunnel's west tube commenced at the end of September 2016. The second TBM and the tunnelling process have to comply with the same quality and safety demands, which were defined for the east tube. Thus in May 2016, an extensive inspection of how the shield machine conformed to the specifications in the tender had taken place combined with a



Quelle/Credit: IMM

8 Montage der TVM für die Weströhre. Der zweite Vortrieb startete Ende September 2016
Assembling the TBM for the west tube. The second drive began at the end of September 2016

resultierende Beschädigungen vermieden wurden. Im Gesamtergebnis wurden für die ersten 460 Ringe lediglich 14 Risse, sechs größere Abplatzungen und sechs undichte Fugen festgestellt. Daraus ergibt sich ein Beschädigungsanteil von 5 % bezogen auf die Anzahl der eingebauten Bauwerksringe.

Innerhalb der letzten Vortriebsmeter wurde im Rahmen von planmäßigen Druckluftinterventionen (**Bild 7**) ein erhöhter Verschleiß der Abbauwerkzeuge festgestellt. Insbesondere im Kaliberbereich des Schneidrads mussten schon mehrfach die Rollenmeißel und teilweise auch die Schälmesser getauscht werden. Zum Einsatz kommen neben den konventionellen Werkzeugen auch aufgepanzerte Disken und Disken mit unterschiedlichen Durchmessern sowie Schneidringbreiten. Die Einflüsse auf die Abbaueffizienz der Werkzeuge sind grundsätzlich vielfältig und korrelieren häufig unter anderem mit Verklebungseffekten infolge Zermahlungsprozessen durch die Rollenmeißel. Derzeit werden weitergehende Überlegungen zum Werkzeugbesatz durchgeführt.

Vorbereitungen für die Weströhre

Nach Abschluss der letzten Montagearbeiten an TVM und Nachläufereinheiten (**Bild 8**) konnte Ende September 2016 auch der Vortrieb für die Weströhre des Tunnels Rastatt gestartet werden. Die zweite TVM und der Tunnelbau müssen denselben Qualitäts- und Sicherheitsmaßstäben gerecht werden, die für die Oströhre definiert wurden. In Kombination mit einer maschinen- und verfahrenstechnisch orientierten TVM-Inspektion hatte daher im Mai 2016 im Herstellerwerk eine umfangreiche Überprüfung der Konformität der Schildmaschine mit den Ausschreibungsanforderungen stattgefunden. Anhand verschiedener Funktionstests

TBM inspection geared to mechanical engineering and procedural aspects. On the basis of various functional tests, the driving capability was determined. The various technical requirement areas were examined and documented using checklists. Within the scope of the quality assurance system process technical key activities were discussed and the drawing up of working and procedural instructions for the contractor decided on for quality-assured execution. Shortly before driving operations began for the west tube, the fundamental agreements and the technical requirements were again checked within the framework of a kick-off session.

Summary and Outlook

During the accomplishment of the project, challenging marginal conditions such as e.g. undertunnelling the B36 and the frozen roof in the low-lying Federbach area had to be mastered. The supporting suspension's stability was lacking at times. Analysis of the causes has still to be completed. The driving parameters were confined within narrow limits so that a steady shield drive was the order of the day. The next challenges relate to undertunnelling a three-track rail line as well as the overcoming of the first sections driven under industrial and residential areas. At the end of the shield drive, underpassing the Rhine Valley Railway involving a 200 m long drive in a closed frozen zone lies ahead. ◻

konnte die Vortriebsbereitschaft festgestellt werden. Mit Hilfe von Checklisten wurden die verschiedenen technischen Anforderungsbereiche überprüft und dokumentiert. Im Rahmen des Qualitätssicherungssystems wurden verfahrenstechnische Schlüsselaktivitäten diskutiert und für deren qualitätsgesicherte Durchführung die Aufstellung von Arbeits- und Verfahrensanweisungen durch den Auftragnehmer Bau beschlossen. Kurz vor Beginn der Vortriebsarbeiten der Weströhre wurden die grundsätzlichen Vereinbarungen und die technischen Anforderungen nochmals im Rahmen eines Kick-Off-Gesprächs überprüft.

Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Realisierung des Projekts mussten bereits herausfordernde Randbedingungen, wie z. B. die Unterquerungen der B36 und des Frostdachs in der Federbachtalung, bewältigt werden. Die Stabilität der Stützsuspension war phasenweise nicht gegeben. Die Ursachenanalyse ist noch nicht abgeschlossen. Die Vortriebsparameter ließen sich in engen Grenzen halten, so dass insgesamt eine ruhige Schildfahrt absolviert werden konnte. Die nächsten Herausforderungen sind die Unterquerung einer dreigleisen Bahnstrecke sowie die Bewältigung der ersten Vortriebsabschnitte unter Industrie- und Wohnbebauung. Zum Ende der Schildfahrt erfolgt die Rheintalbahn-Unterquerung mit 200 m Vortrieb im geschlossenen Eiskörper. 

Literatur/References

- [1] Grundhoff, T.; Edelhoff, D. (2016): „Tunnel Rastatt: Hohe Anforderungen an den maschinellen Tunnelbau“, tunnel 1/2016
- [2] Handke, D.; Edelhoff, D. (2016): „Qualitätssicherungselemente und Risikomanagementstrategie für den maschinellen Tunnelbau – Vom Maschinenkonzept zum Prozesscontrolling“, Geomechanics and Tunneling 9 (2016), No. 3
- [3] Grundhoff, T.; Klar, S. K. (2015): „ABS/NBS Karlsruhe–Basel – Realisierung des Streckenabschnitts 1 und Besonderheiten beim Bau des Rastatter Tunnels“, Geomechanics and Tunneling 8 (2015), No. 2
- [4] Praetorius, S.; Schöber, B. (2016): „Bentonithandbuch, Ringspalt-schmierung für den Rohrvortrieb“, Ernst & Sohn Verlag, Berlin

Tunnelling Logistics

Services

Equipment

rowa 

Schneller, sicherer und wirtschaftlicher bauen

www.rowa-ag.ch

Entwicklung des LDSM- und HDSM-Konzepts für Variable-Density-TBM

Die Variation der Konsistenz des Stützmediums zwischen Bentonitsuspension und Erdbrei in Abhängigkeit vom aktuell durchfahrenen Baugrund ist das wesentliche Merkmal der Variable-Density-TBM (VD-TBM) von Herrenknecht. Für diesen speziellen Maschinentyp wurde ein Stützmedium mit erhöhter Dichte entwickelt, welches den Übergang von flüssig zu pastös zuverlässig abdeckt – das High Density Support Medium (HDSM). Bei ihrem ersten Einsatz für das Klang Valley MRT-Projekt in Kuala Lumpur durchörterten die VD-TBMs verkarsteten Kalkstein. Dieser besteht gleichzeitig aus Bereichen von Festgestein und Lockergestein. Mithilfe der HDSM kann die Ortsbruststützung in dieser ansonsten schwierig zu beherrschenden Geologie zuverlässig aufrechterhalten werden.

Development of LDSM and HDSM Concept for Variable Density TBMs

The capability to vary the density of the support medium between bentonite suspension and remoulded earth depending on the currently excavated ground is the essential feature of the Variable Density TBM (VD-TBM) from Herrenknecht. Especially for this type of machine, a support medium with an increased density has been developed, which reliably covers the transition from fluid to pasty – the High Density Support Medium (HDSM). On their first application for the Klang Valley MRT-Project in Kuala Lumpur, the VD-TBMs bored through karstic limestone in mixed face conditions with hard rock and soft ground. With the aid of the HDSM, the face support can be reliably maintained in otherwise problematic geology.

Dipl.-Ing. Michael Straesser, Projektmanager Herrenknecht, Traffic Tunnelling, Schwanau, Deutschland/Germany

Dipl.-Ing. Gusztav Klados, Director – Tunnels, Management, MMC Gamuda KVMR, Kuala Lumpur, Malaysia

Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb/
Institute for Tunnelling and Construction Management, Bochum, Deutschland/Germany

Dr.-Ing. Britta Schoesser, Senior Researcher, Head of Bentonite Laboratory, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb/Institute for Tunnelling and Construction Management, Bochum, Deutschland/Germany

1 Einleitung

Der maschinelle Tunnelvortrieb im stark durchlässigen Baugrund und in extrem heterogener Geologie entlang der Vortriebstrasse verlangt vom eingesetzten Stützmedium eine zuverlässige Übertragung des Stützdrucks auf die Ortsbrust.

Grundsätzlich stehen für sehr variable Baugrundverhältnisse sogenannte Multi-Mode-TBM's zur Verfügung, die sowohl im erddruckgestützten als auch im flüssigkeitsgestützten Modus fahren können. Der Wechsel vom Erddruck- zum Hydro-Modus erfordert hier allerdings einen technisch aufwändigen Umbau, der nur in speziell gelagerten Fällen einen wirtschaftlichen Einsatz der TBM erlaubt. Für das Klang Valley Mass Rapid Transport-Projekt (KVMRT) in Kuala Lumpur, Malaysia, steht mit der VD-TBM erstmalig eine Vortriebstechnik zur Verfügung, welche die Vorteile beider Verfahren kombiniert und den Übergang von der einen in die andere Betriebsart unter voller Beibehaltung einer sicheren Stützdruckkontrolle ohne Kammereinstieg ermöglicht [3].

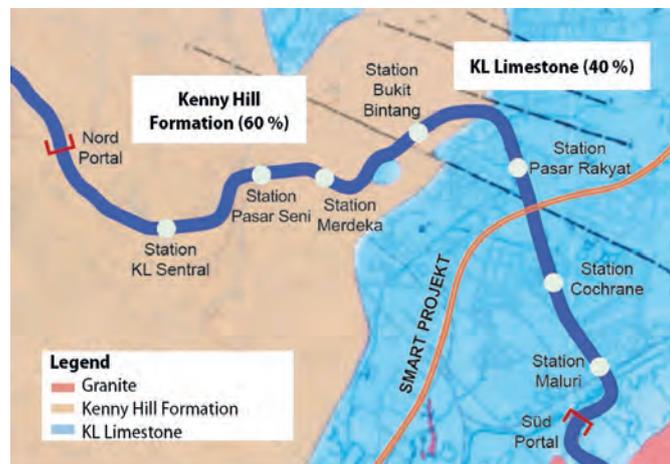
1 Introduction

Mechanised tunnelling in highly permeable ground with extremely heterogeneous geology along the alignment demands that the support medium used can reliably transfer the support pressure to the tunnel face.

Basically, the so-called multi-mode TBMs, which can be driven both in earth pressure and slurry support modes, are available for use in very changeable ground conditions. The changeover from earth pressure to hydro mode does however demand a technically elaborate conversion, which only permits the economic use of such machines in special cases. For the Klang Valley Mass Rapid Transport Project (KVMRT) in Kuala Lumpur, Malaysia, the VD-TBM is being used for the first time, a tunnelling technology combining the advantages of both processes which enables the transition from one mode to the other while fully maintaining safe control of support pressure without any need for interventions in the excavation chamber [3]. The Klang Valley MRT Project intends the construction of three new

Das Klang Valley MRT-Projekt sieht den Neubau von drei U-Bahn-Linien mit einer Gesamtlänge von 150 km vor. Der erste Bauabschnitt, die „SBK Linie“ von Sungai Buloh nach Kajang, hat eine Länge von 51 km. Der mittlere Streckenabschnitt von 9,5 km verläuft im Untergrund durch teilweise stark verkarsteten Kalkstein (Karstic Limestone) der Klasse IV–V und durch die Kenny Hill Formation (**Bild 1**). Die Kenny Hill Formation ist ein eher bindiges Bodenmaterial, das von EPB-TBMs durchfahren wird. Im Karstic Limestone mit oberflächennahem Grundwasserstand wurde der Vortrieb von VD-TBMs realisiert.

Der Kuala Lumpur Karstic Limestone mit seinen besonderen Eigenschaften in Kombination mit einem hohen Grundwasserstand ist ein technisch schwieriger und anspruchsvoller Baugrund. Die Höhenlage dieser Formation kann sehr schnell zwischen steilen Gipfeln und tiefen Tälern wechseln. Zusätzlich gibt es Kavernen, die vollständig oder teilweise mit pastösem Bodenmaterial gefüllt und durch Auswaschungen entstanden sind, deren Größe sehr unterschiedlich sein kann. Das weit verzweigte Kluftnetzwerk erstreckt sich sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Zudem treten im Baugrund starke geologische Wechsel



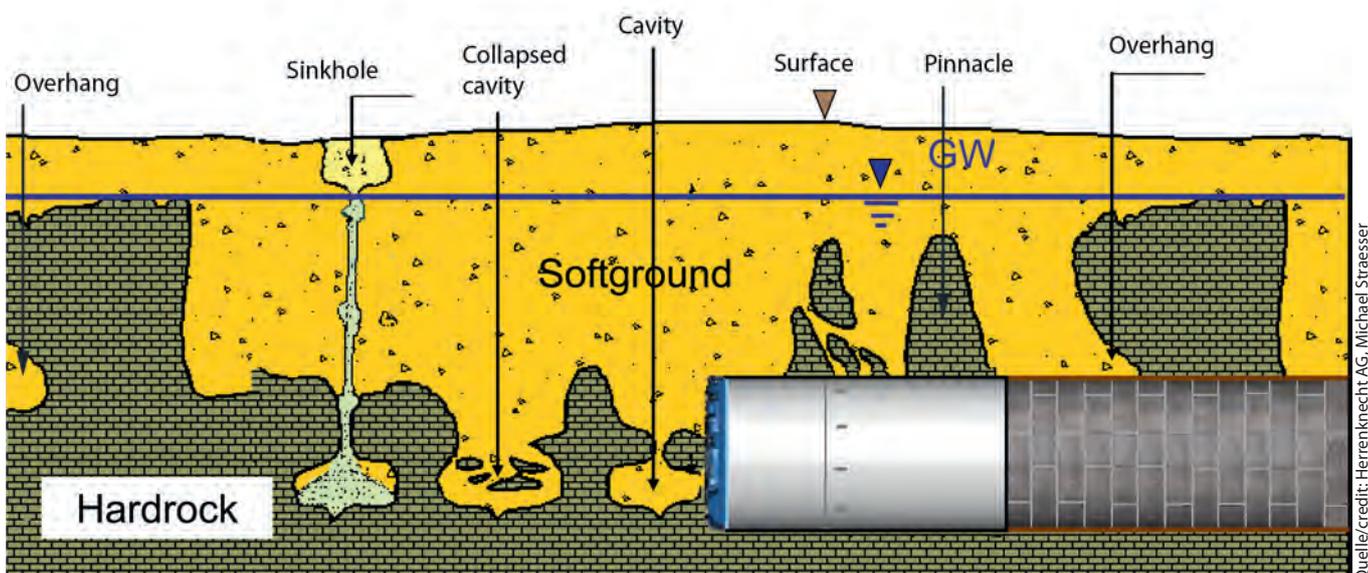
1 Geologischer Überblick für den unterirdischen Streckenabschnitt der „Blue Line“ von Sungai Buloh nach Kajang des Klang Valley MRT Projekts in Kuala Lumpur, Malaysia

Geological overview of the underground section of the Blue Line from Sungai Buloh to Kajang of the Klang Valley MRT Project in Kuala Lumpur, Malaysia

underground railway lines with a total length of 150 km. The first construction section, the „SBK Line“ from Sungai Buloh to Kajang, has a length of 51 km. The central section of the route with a length of 9.5 km runs below ground through partially highly karstic limestone in Classes IV–V and through the Kenny Hill Formation (**Fig. 1**). The Kenny Hill Formation is a rather cohesive soil, which was driven by EPB-TBMs. In the karstic limestone with the water table near the surface, the tunnel was bored by VD-TBMs.

The Kuala Lumpur Karstic Limestone with its particular properties in combination with the

high groundwater table represents technically difficult and challenging ground conditions for tunnelling. The rockhead of this formation can change very quickly between steep peaks and deep valleys. There are also completely or partially soil pasty filled caverns created by dissolution, whose size can vary considerably. The widely branched network of crevices extends in both vertical and horizontal directions. The ground can also show sudden changes, sometimes without recognisable warning signs, so that not all parts of the tunnel alignment could be investigated in advance. The geological formation is thus only predictable to a very limited extent, and the usual practice of extrapolating between the findings in individual



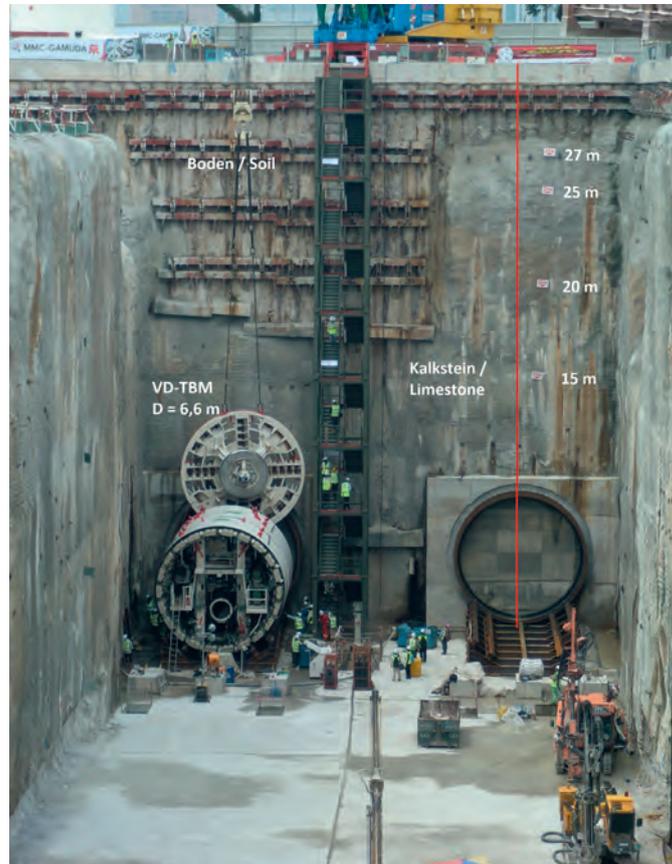
2 Herausforderungen für die Vortriebstechnik bei der Durchörterung des verkarsteten Kalksteins in Kuala Lumpur, Malaysia, Wechsel zwischen Locker- und Festgestein (Mixed-face Bedingungen)

Challenges for tunnelling technology to bore through the karstic limestone in Kuala Lumpur, Malaysia; alternation between soft ground and hard rock (mixed-face conditions)

teilweise ohne erkennbare Anzeichen auf, so dass nicht alle Bereiche der Vortriebstrasse vorab erkundet werden konnten. Somit ist die geologische Formation nur sehr begrenzt vorhersehbar, und die sonst weit verbreitete Interpolation zwischen den einzelnen Erkundungsbohrungen kann hier nur bedingt angewendet werden. Im Karstic Limestone findet der Vortrieb unter Mixed-Face-Bedingungen statt, d. h. der Baugrund besteht gleichzeitig aus Festgesteins- und Lockergesteinsbereichen (**Bild 2 + 3**). In diesen äußerst schwierigen Bedingungen wurden zwei wesentliche Herausforderungen für den Vortrieb identifiziert:

- 1) Die TBM fährt einen mit teilweise breiigem Feinmaterial oder mit Wasser gefüllten Hohlraum des weitverzweigten Kluftnetzwerks an. Das breiige Material fließt in die Abbaukammer, das flüssige Stützmedium wird verdrängt, entweicht durch das Kluftnetzwerk und tritt als Suspensionsausbläser an der Geländeoberfläche aus. Der Stützdruck in der Abbaukammer der TBM ist nicht kontrollierbar, teilweise muss der Druck reduziert werden, um den Suspensionsaustritt zu stoppen.
- 2) Die TBM fährt einen lokal instabilen Bereich bestehend aus flüssigem Feinmaterial im Baugrund an. Das Bodenmaterial beginnt unkontrolliert zu fließen, zunächst in die Abbaukammer und evtl. weiter in nahe Kavernen im anstehenden Kalkstein. Der Volumenentzug des Bodens setzt sich bis zur Geländeoberfläche fort, es entstehen Tagbrüche.

Mit dem Ziel, diese schwierigen Situationen zu beherrschen, wurde für den Vortrieb mit der VD-TBM das Konzept des High Density Support Medium (HDSM) entwickelt. Durch die erhöhte Dichte sollen geringere Eindringtiefen im Vergleich zu herkömmlichen Bentonitsuspensionen erreicht werden, um unkontrollierte Stützmittelverluste zu reduzieren. Gleichzeitig wird durch den höheren Dichtewert eine geringere theoretische Steighöhe der HDSM bei gleichem Betrag der Stützkraft an der Ortsbrust erzielt. Hierdurch ergibt sich eine höhere Sicherheit gegen das Aufbrechen unter Suspensionsstützung („Bentonit ausbläser“). Bei den weitverzweigten Kluft- und Karsthohlräumen



3 Montage der ersten Variable-Density-TBM S-774 mit einem Außendurchmesser von 6,6 m im Startschacht Cochcrane in Kuala Lumpur, Malaysia, im März 2013

Assembly of the first Variable Density TBM S-774 with an outside diameter of 6.6 m in the launching shaft at Cochcrane in Kuala Lumpur, Malaysia, in March 2013

Quelle/credit: TLB, Britta Schoesser

boreholes is not very suitable here. In the karstic limestone, tunnelling is subject to mixed-face conditions, with the ground consisting of hard rock and soft ground zones simultaneously (**Fig. 2 + 3**).

Under these extremely problematic conditions, two essential challenges for tunnelling were identified:

- 1) The TBM drives into a cavity of the widely branched network of crevices partially filled with pasty fine material or water. The pasty material flows into the excavation chamber, the fluid support medium is displaced, escapes through the network of crevices and emerges on the surface as a suspension blowout. The support pressure in the excavation chamber of the TBM cannot be controlled and the pressure may have to be lowered in order to stop the escape of suspension.
- 2) The TBM drives into a locally unstable area consisting of fluid fine material in the

ground. The soil begins to flow uncontrollably, first into the excavation chamber and then possibly into caverns in the surrounding limestone. The volume of soil removed continues to the surface and leads to cave-ins.

In order to overcome such difficult situations, the High Density Support Medium (HDSM) concept was developed for tunnelling with the VD-TBM. The increased density is intended to achieve a reduction of penetration depths compared to conventional bentonite suspensions in order to reduce uncontrolled loss of support medium. At the same time, a lower theoretical rise height of the HDSM is achieved for the same contribution of support force to the tunnel face due to the higher density. This results in greater safety against bursting of the suspension support, called bentonite blowouts. With the extensive system of crevices and karst cavities in the ground in Kuala Lumpur, this reduces the danger of suspension emerging at the surface.

The intention of HDSM application is to considerably decrease the risk of support fluid loss at the face through a planned and directly controllable increase of the density of the support medium, and thus to improve the support behaviour in highly heterogeneous,

des Baugrunds in Kuala Lumpur kann somit die Gefahr eines Suspensionsaustritts an der Geländeoberfläche reduziert werden.

Zielstellung beim Einsatz der HDSM ist es, durch eine planbare und direkt steuerbare Erhöhung der Dichte des Stützmediums das Risiko für Verluste von Stützflüssigkeit an der Ortsbrust deutlich zu reduzieren und dadurch das Stützverhalten im stark heterogenen, durchlässigen Baugrund zu verbessern. Dies wird über den Wechsel der Konsistenz des Stützmediums von *flüssig* (Bentonitsuspension beim Hydro-Modus) zu *pastös* (Erdbrei beim EPB-Modus) erreicht, hierdurch kann das Stützmedium an die Anforderungen aus der vorhandenen Geologie angepasst werden. Für diesen Übergangsbereich galt es, das geeignete Stützmedium zu entwickeln.

2 Konzept von LDSM und HDSM

Grundsätzlich ergibt sich der Wertebereich des Stützmediums mit erhöhter Dichte aus dem Grenzbereich zwischen den Standardwerten für den klassischen Hydro- und Erddruckschild. Der Erdbrei beim EPB-Schild ist idealerweise von weicher bis breiiger Konsistenz, gegebenenfalls unter Zugabe von Schaumkonditionierung. Die Dichte des konditionierten Bodens beträgt hierbei etwa $1,5\text{--}1,8\text{ t/m}^3$. Die Dichte einer frischen Bentonitsuspension liegt typischerweise zwischen $1,02\text{--}1,03\text{ t/m}^3$. Im Förderkreislauf lädt sich die Suspension durch feinkörnige Böden, die in der Separation nicht vollständig getrennt werden können, weiter auf. Ab einer Obergrenze von $1,25\text{--}1,30\text{ t/m}^3$ wird ein Teil aus dem Förderkreislauf geschleust und durch eine frische Bentonitsuspension ersetzt. Das Stützmedium mit erhöhter Dichte soll somit den Dichtebereich zwischen $1,30$ und $1,70\text{ t/m}^3$ verlässlich abdecken und alle Anforderungen an eine zuverlässige Übertragung des Stützdrucks an der Ortsbrust erfüllen.

Mit Einführung der VD-TBM wurden die Begriffe Low Density Support Medium (LDSM) und High Density Support Medium (HDSM) geprägt, um die jeweils eingesetzten Stützmedien besser unterscheiden zu können. Die LDSM ist eine herkömmliche, beim Hydroschildvortrieb eingesetzte Bentonitsuspension. Die Eigenschaften der LDSM werden durch die physikalischen Parameter Dichte und Stabilität sowie die rheologischen Parameter Fließgrenze und Viskosität definiert. Eine HDSM ist ein Stützmedium mit erhöhter Dichte. Die Basis bildet eine Standard-Bentonitsuspension, deren Dichte durch Zugabe von inerten, chemisch nicht aktiven Feststoffen gezielt angehoben wird. Diese sollen sich homogen in der Suspension verteilen, dürfen keine Inhaltsstoffe haben, die die Suspensionsqualität negativ beeinflussen, und müssen die Suspensionskonsistenz über einen langen Zeitraum aufrechterhalten. Die Qualität der HDSM wird ebenfalls über die Parameter Dichte, Stabilität, Fließgrenze und Viskosität bewertet.

Für die Entwicklung der HDSM wurden umfangreiche Untersuchungen im Labor der Ruhr-Universität Bochum (RUB) und auf der Baustelle des Klang Valley MRT-Projekts in Kuala Lumpur, Malaysia, durchgeführt, über die nachfolgend berichtet wird.

permeable ground. This is achieved by changing the consistency of the support medium from *fluid* (bentonite suspension in hydro mode) to *pasty* (remoulded earth in EPB mode), permitting the support medium to be adapted to the requirements of the prevailing geology. A suitable support medium then had to be developed for this transition area.

2 Concept of LDSM and HDSM

Basically the range of values of the support medium with increased density derives from the border between the standard values used with the classic slurry and earth pressure shield machines. The remoulded earth used with EPB machines is ideally of a soft to pasty consistency, with the addition of foam conditioner if necessary. The density of the conditioned soil in this case is about $1.5\text{--}1.8\text{ t/m}^3$. The density of a fresh bentonite suspension typically lies in the range $1.02\text{--}1.03\text{ t/m}^3$. In the pumped circuit, the suspension then takes up fine-grained soil, which cannot be fully separated in the separation plant. When an upper limit of $1.25\text{--}1.30\text{ t/m}^3$ is reached, part of it is drawn off from the pumped circuit and replaced by fresh suspension. The support medium with increased density should therefore reliably cover the range of densities between 1.30 and 1.70 t/m^3 and fulfil all the requirements for reliable transfer of support pressure to the face.

With the introduction of the VD-TBM, the terms Low Density Support Medium (LDSM) and High Density Support Medium (HDSM) are now used to better differentiate the support medium used. LDSM is a conventional bentonite suspension as used in slurry shield tunnelling. The properties of LDSM are defined through the physical parameters density and stability and the rheological parameters yield point and viscosity. A HDSM is a support medium with increased density. It is based on a standard bentonite suspension, whose density has been intentionally increased by the addition of inert, chemically inactive solid materials. These should distribute themselves homogeneously in the suspension but cannot have any content, which could negatively affect the quality of the suspension, and must maintain the suspension consistency over a longer period. The quality of a HDSM is also evaluated with the parameters density, stability, yield limit and viscosity.

For the development of HDSM, extensive investigations were carried out in the laboratory of the Ruhr University Bochum (RUB) and on the construction site of the Klang Valley MRT Project in Kuala Lumpur, Malaysia. These investigations are reported below.

2.1 Requirements for the Support Medium

In a slurry shield machine, temporary support to the tunnel face is provided by a bentonite suspension/LDSM under pressure. The viscosity of the LDSM and the associated reduced flow capability lower the risk that support medium is lost through sudden uncontrolled escape into the surrounding ground. The slightly higher density of the LDSM compared to that of water means that the overpressure of the support medium at the top of the face is low and blowouts are thus avoided [1]. The stability of the face is maintained by a suspension rheology (yield point, viscosity)

2.1 Anforderungen an das Stützmedium

In einem Hydroschild wird die temporäre Stützung der Ortsbrust durch die unter Druck stehende Bentonitsuspension/ LDSM gewährleistet. Infolge der Viskosität der LDSM und der damit verbundenen geringeren Fließfähigkeit wird das Risiko herabgesetzt, dass ein Verlust des Stützmittels durch plötzliches, unkontrolliertes Abfließen in den Baugrund stattfindet. Die etwas höhere Dichte der LDSM gegenüber der Dichte von Wasser führt dazu, dass der in der Firste anstehende Überdruck des Stützmediums gering ist und somit

Ausbläser vermieden werden [1]. Die Standsicherheit der Ortsbrust wird durch eine an die geotechnischen Randbedingungen angepasste Suspensionsrheologie (Fließgrenze, Viskosität) und einen ausreichend hohen Stützdruck in der Abbaukammer aufrechterhalten. Letzteres wird durch die Fähigkeit des Stützmittels erreicht, im Baugrund einen Mechanismus zu entwickeln, der es ermöglicht, den Stützdruck auf das Korngerüst des Bodens in Form von effektiven Spannungen zu übertragen.

Für den Hydroschildvortrieb sind derzeit drei Mechanismen zur Stützdruckübertragung in Abhängigkeit von der Hohlraumgröße im Baugrund bekannt [5, 7]:

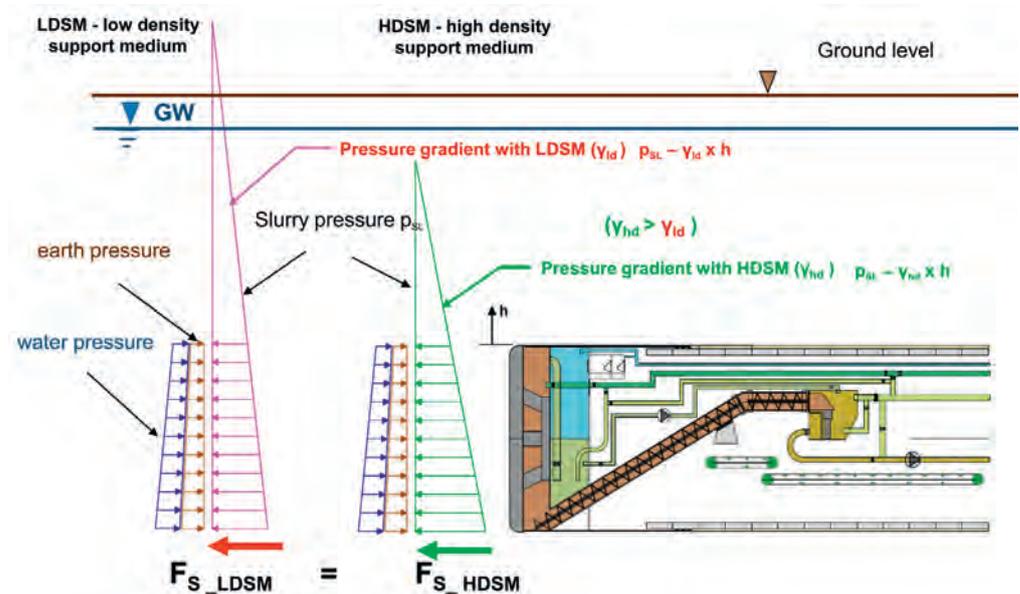
- 1) äußere Filterkuchenbildung im feinkörnigen Lockergestein,
- 2) reine Eindringung bei grobkörnigen Lockergestein und
- 3) innere Filterkuchenbildung im mittelgroben Lockergestein.

Für einen stark durchlässige Baugrund jenseits vom groben Lockergestein (Kies) und stark geklüfteten oder verkarsteten Festgestein ist ein Stützmedium erforderlich, das im Baugrund einen geeigneten Übertragungsmechanismus entwickelt.

Ausgehend von den Vortriebsbedingungen im Karstic Limestone werden folgende Anforderungen an die Eigenschaften der HDSM zur Realisierung einer zuverlässigen Stützdruckübertragung formuliert.

Zielparameter: hohe Dichte

Die Druckverteilung des anstehenden Erd- und Grundwasserdrucks im Baugrund verläuft linear mit der Tiefe zunehmend. Dieser Verlauf wird ebenfalls vom Druckgradienten in der flüssigkeitsgefüllten Abbaukammer abgebildet. Über das Druckluftpolster in der Arbeitskammer wird der Stützdruck so eingestellt, dass dieser, einen Sicherheitsfaktor berücksichtigend, geringfügig über dem anstehenden Erd- und Grundwasserdruck liegt. Diesem



4 Druckgradienten des Stützdrucks in der Abbaukammer für die LDSM und HDSM

Pressure gradients of the support pressure in the excavation chamber for LDSM and HDSM

adapted to the prevailing geotechnical conditions and a sufficiently high support pressure in the excavation chamber. The latter is achieved through the capability of the support medium to develop a mechanism in the ground, which enables the support pressure to be transferred into the grain structure of the soil in the form of effective stresses.

For slurry shield tunnelling, three mechanisms are currently known for the transfer of support pressure depending on the size of the cavities in the surrounding ground [5, 7]:

- 1) external filter cake formation in fine-grained soils,
- 2) pure penetration in coarse-grained soils and
- 3) internal filter cake formation in medium-coarse soils.

For ground with higher permeability than coarse-grained soil (gravel) and heavily fissured or karstic rock, a support medium is required that can develop a suitable transfer mechanism.

Starting from the tunnelling conditions in the karstic limestone, the following requirements were formulated for HDSM in order to provide reliable support pressure transfer.

Target Parameter: high Density

The pressure distribution of the prevailing earth and groundwater pressure increases linearly with depth. This curve is also reproduced by the pressure gradients in the fluid-filled excavation chamber. The compressible air cushion in the working chamber is used to set the support pressure to be slightly above the prevailing earth and groundwater pressure, including a safety factor. This positive pressure difference is compensated by the static imposed load from the cover depth. If this imposed load is reduced by decreasing density or increased permeability of the ground, the risk of blowout or heave increases. The support medium then breaks out of the excavation chamber at the weakest point of the ground.

Überdruck steht zur Kompensation die statische Auflast aus der Erdüberdeckung zur Verfügung. Wird diese Auflast durch eine abnehmende Wichte oder erhöhte Durchlässigkeit des Baugrunds vermindert, so steigt das Risiko von Ausbläsern oder Aufbrüchen. Das Stützmedium bricht dann an der schwächsten Stelle des Baugrunds aus der Abbaukammer.

Durch die Verwendung einer HDSM verläuft der Druckgradient in der Abbaukammer bei insgesamt höheren Werten flacher (**Bild 4**). Die Druckordinaten im Firstbereich sind etwas geringer im Vergleich zur LDSM, dadurch erhöht sich auch die Sicherheit gegenüber Suspensionsausbläsern und Bodenaufbrüchen. Gleichzeitig vermindert sich die maximale theoretische Steighöhe der HDSM im Baugrund, falls es doch zu einem Aufbruch kommen sollte. Dieses wurde exemplarisch von [10] anhand von numerischen Simulationen untersucht. Dieser Effekt kann auch für das Unterfahren von Bereichen mit einer geringen Überdeckung genutzt werden um den Nachweis der Aufbruchssicherheit zu erfüllen. Durch die hohe Dichte der Stützflüssigkeit ergibt sich bei gleichbleibender Gesamtstützkraft eine geringere Druckordinate im Firstbereich. Dieser Wert hat direkten Einfluss auf den Nachweis der Aufbruchssicherheit. Ein geringerer Wert erhöht hier die Sicherheit oder ermöglicht ein Unterfahren ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. Ballastierung.

Durch die hohe Dichte ist das HDSM außerdem in der Lage, beim Anfahren eines mit breiigem Feinmaterial gefüllten Hohlraums in der Abbaukammer zu verbleiben; d. h. es wird nicht durch das Feinmaterial verdrängt, und der Stützdruck kann weiterhin aufrecht und kontrollierbar gehalten werden.

Zielparameter: hohe Viskosität

Durch die Zugabe von inerten Feststoffen erhöht sich der Feinanteil der Suspension und die HDSM wird insgesamt zähflüssiger. Dieses Fließverhalten wird als Viskosität bezeichnet und wird durch die innere Reibung benachbarter Schichten untereinander verursacht [7]. Je größer die Viskosität, desto stärker die Bindung zwischen den Molekülen und desto geringer die Fließfähigkeit.

Durch die reduzierte Fließfähigkeit bei der HDSM wird die Gefahr des plötzlichen Stützmittelverlusts durch unkontrolliertes Abfließen in ein weitreichendes Poren- oder Klufnetzwerk deutlich herabgesetzt. Gleichzeitig helfen die feinen Partikel in der HDSM kleinere Poren oder Klüfte durch sukzessive Anlagerung mechanisch zu verstopfen bzw. zu verschließen.

Zielparameter: hohe Fließgrenze

Mit Erhöhung der Viskosität durch Zugabe von Feinstoffen steigt gleichzeitig die Fließgrenze der HDSM an. Je höher die Fließgrenze einer Suspension, desto höher ist das Maß der übertragbaren Schubspannungen auf das Korngerüst des Bodens [7]. Somit wird eine Stagnation der HDSM im stark durchlässigen Baugrund, wie grobes Lockergestein (Kies) und stark geklüftetes/verkarstetes Festgestein, bereits bei einer deutlich geringeren Penetrationstiefe erreicht.

With the use of an HDSM, the pressure gradient curve is flatter with altogether higher values (**Fig. 4**). The pressure ordinates in the crown are slightly shorter compared to LDSM, which also increases safety against suspension blowout and soil heave. At the same time, the maximum theoretical rise height of the HDSM in the ground reduces in case heave does occur. Some examples were investigated in numerical simulations [10]. This effect can also be exploited for locations with shallow cover in order to comply with the verification of safety against heave. For a constant support force, the high density of the support fluid results in a smaller pressure ordinate in the crown. This value has a direct effect on the verification of safety against heave. A low value here increases the factor of safety or enables passing through a zone with shallow cover without additional safety measures such as ballasting.

With its higher density, HDSM is also capable of remaining in the excavation chamber when the machine drives into a cavity filled with pasty fine-grained material, i.e. it is not displaced by the fine material, the support pressure can be maintained and remains controllable.

Target Parameter: high Viscosity

Through the addition of inert solids, the fines content in the suspension is increased and the HDSM becomes altogether more viscous. This viscosity is caused by internal friction between adjacent layers [7]. The higher the viscosity, the stronger is the bonding between the molecules and the lower is the flow capability.

Through the reduced ability of HDSM to flow, the danger of a sudden loss of support medium through uncontrolled escape into an extensive network of pores or fissures is considerably reduced. At the same time, the fine particles in the HDSM help to mechanically block or clog smaller pores or fissures through successive accumulation.

Target Parameter: high Yield Point

With the increased viscosity of the HDSM due to the addition of fines, the yield point of the HDSM also rises. The higher the yield point of a suspension, the higher is the magnitude of the shear stresses that can be transferred to the grain structure of the soil [7]. This achieves a stagnation of the HDSM in highly permeable ground, such as coarse soil (gravel) and highly karstic rock, at a much smaller penetration depth. When the suspension parameters are intentionally increased, the suitability of HDSM for pumping still has to be ensured, since it acts not only as a support but also as a transport medium to carry the excavated soil material to the separation plant at the launching shaft without depositing large quantities of spoil in the discharge pipeline.

2.2 Development in the Laboratory and Transfer to the Tunnel Site

In the support pressure calculation, the values of density and yield point of the support medium are input parameters. However, this approach does not consider the actual flowing properties of the support agent. These include the penetration behaviour into the surrounding ground and the capability of transferring the support pressure applied in the excavation chamber to the face in the form of effective stresses.

Bei allen angestrebten hohen Suspensionskennwerten ist immer auch die Pumpbarkeit der HDSM zu gewährleisten, da diese als Stütz- und Fördermittel agiert und das abgebaute Bodenmaterial bis zur Separation am Startschacht transportiert, ohne das sich größere Abraumengen in der Förderleitung ablagern.

2.2 Entwicklung im Labor und Übertragung auf die Vortriebsbaustelle

In Stützdruckberechnungen werden die Werte der Dichte und Fließgrenze des Stützmediums einbezogen. Allerdings berücksichtigen diese Ansätze nicht die tatsächlichen Fließeigenschaften des Stützmittels. Dazu gehört auch das Eindringverhalten in den Baugrund und die Fähigkeit, den in der Abbaukammer aufgebrauchten Stützdruck auf die Ortsbrust in Form von effektiven Spannungen zu übertragen.

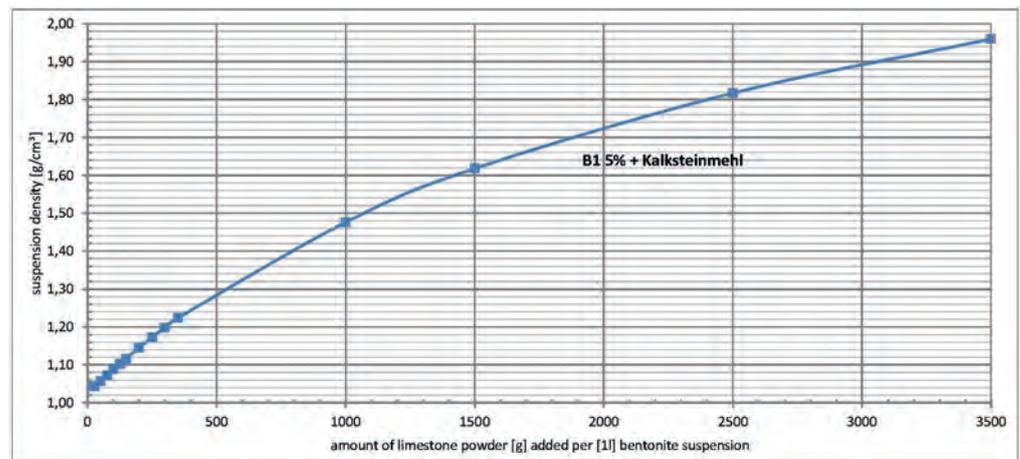
Da es sich bei der HDSM um eine Neuentwicklung handelt, musste überprüft werden, ob auch hier die Parameter Partikelgröße und Fließgrenze entscheidend sind und wie die HDSM mit dem Baugrund interagiert. Hierzu wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm erarbeitet, das die physikalischen und rheologischen Eigenschaften von LDSM und HDSM bestimmt und zusätzlich die Fähigkeit des Stützmediums bewertet, mit dem Baugrund einen Mechanismus zur zuverlässigen Stützdruckübertragung zu entwickeln. Im ersten Schritt der Versuche wurde zunächst untersucht, welches Füllmaterial geeignet ist eine Suspension mit einer hohen Dichte zu erzeugen. Es wurden hierbei Suspensionen mit Barit und mit Kalksteinmehl als Füllmaterial hergestellt und untersucht. Beide Stoffe sind geeignet, aber aus Kostengründen hat sich das Versuchsteam für die weiteren Untersuchungen auf Rezepturen mit Kalkstein als Füllstoff geeinigt.

Für die Laborversuche an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) wurden folgende Materialien gewählt:

- Bentonit B1 von IBECO/Imerys (Kornrohddichte 2,65 g/cm³)
- Kalksteinmehl von HeidelbergCement AG (Kornrohddichte 2,71 g/cm³)
- Sand und Kies in definierten Korngrößenbereichen von Euroquarz (Kornrohddichte 2,65 g/cm³)

Für den Einsatz auf der Baustelle in Kuala Lumpur standen folgende Materialien zur Verfügung:

- Bentonit Mapebent CBS2 von MAPEI (Kornrohddichte 2,65 g/cm³)
- Limestone-Powder Mappedrill IF 555P von MAPEI Malaysia (Kornrohddichte 2,7 g/cm³)
- Sand und Kies in definierten Korngrößenbereichen (Kornrohddichte 2,65 g/cm³)



5 Dichteentwicklung der HDSM [g/cm³] auf Basis einer LDSM B1 5% durch Zugabe von Kalksteinmehl [g/1l LDSM]

Density development of HDSM [g/cm³] based on an LDSM B1 5% through the addition of limestone powder [g/1l LDSM]

Quelle/credit: TLB

Since HDSM is a new development, it had to be investigated whether the parameters particle size and yield point were decisive in this case and how the HDSM interacts with the ground. For this purpose, an extensive test programme was developed, which determined the physical and rheological properties of LDSM and HDSM and also evaluated the capability of the support medium to develop a mechanism with the ground for reliable support pressure transfer. The first stage of the tests investigated which filler materials are suitable to produce a suspension with a high density. Suspensions were prepared with barite and limestone powder as filler materials and investigated. Both materials are suitable but for economic reasons the test team agreed to use mixes with limestone as filler for the further investigations.

For the laboratory tests at the Ruhr University, Bochum (RUB), the following materials were selected:

- Bentonite B1 from IBECO/Imerys (bulk grain density 2.65 g/cm³)
- Limestone powder from HeidelbergCement AG (bulk grain density 2.71 g/cm³)
- Sand and gravel in defined grading fractions from Euroquarz (bulk grain density 2.65 g/cm³)

The following materials were available for use on the construction site in Kuala Lumpur:

- Bentonite Mapebent CBS2 from MAPEI (bulk grain density 2.65 g/cm³)
- Limestone powder Mappedrill IF 555P from MAPEI Malaysia (bulk grain density 2.7 g/cm³)
- Sand and gravel in defined grading fractions (bulk grain density 2.65 g/cm³)

In order to determine the maximum achievable density, limestone powder was added to the base LDSM B1 5% (1 l) in the following addition quantities: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 1000, 1500, 2500 and 3500 g. The density of the suspension was then determined in each case (Fig. 5). Quantities greater than 3500 g cannot

Zur Bestimmung der maximal möglichen Dichte wird der Basis-LDSM B1 5% (1 l) Kalksteinmehl zugegeben, sodass folgende Zugabemengen erreicht werden: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 1000, 1500, 2500, und 3500 g. Es wurde jeweils die Dichte der Suspension ermittelt (**Bild 5**). Zugabemengen größer als 3500 g sind nicht herstellbar, da sich das Kalksteinmehl nicht mehr unterrühren lässt.

Die Ermittlung der rheologischen Parameter der LDSM und HDSM erfolgte mit

- Dichtemessglas und Waage (Parameter: Dichte für Bestimmung des Stützdruckgradienten in der Abbaukammer [g/cm^3] bzw. [t/m^3])
- Marsh-Trichter nach DIN 4127 [4] (Parameter: Auslaufzeit in [s] für 1 l als Indikator für die Viskosität)
- Kugelharfe nach von Soos gemäß DIN 4127 [4] (Parameter: statische Fließgrenze in [N/m^2] nach 1 min Ruhephase)
- Rotationsviskosimeter FANN 35S nach API 13B [2] (Parameter: Bingham-Fließgrenze in [N/m^2], scheinbare Viskosität in [mPas], plastische Viskosität in [mPas], Gelstärke in [Pa] nach 10 s und 10 min, Thixotropie-Wert)
- Filterpresse nach DIN 4127 [4] (Parameter: Dicke des Filterkuchens in [mm], Abgabe an Filtratwasser in [ml])

Die stark durchlässige, verkarstete Geologie in Kuala Lumpur erforderte eine zusätzliche Strategie, um mithilfe der HDSM an der Ortsbrust eine Zone reduzierter Durchlässigkeit zu schaffen, in der letztlich die Übertragung des Stützdrucks realisiert werden kann. Es wurde entschieden, mögliche Hohlräume über zusätzliche Partikel in der HDSM gezielt mechanisch zu verstopfen. Zu diesem Zweck wird die HDSM mit Sand oder Kies aufgeladen. Diese Partikel werden dann an der Ortsbrust über die Suspension gezielt in die offenen Poren oder Klüfte getragen. Dort setzen sich die Sand- oder Kiespartikel an Engstellen (bottle necks) fest und verstopfen durch Anlagerung weiterer Partikel zunehmend den Hohlraum. Die Suspension stagniert in dieser Zone und der Stützdruck wird auf die Ortsbrust übertragen.

„Carrying Capacity“ – Tragvermögen

Als zusätzliche Eigenschaft wurde vom Versuchsteam der Begriff „Carrying Capacity“ geprägt, um das Tragvermögen der HDSM gegenüber aufgeladenen Partikeln zu beschreiben. Zur Bewertung der Carrying Capacity hat sich im RUB-Labor und auf der Baustelle folgende Vorgehensweise bewährt:

Die HDSM wird mit dem gewünschten Dichte-Wert von

be added since the limestone powder can no longer be mixed in. The determination of the rheological parameters of LDSM and HDSM was performed with

- Pycnometer and scales (parameter: density for the determination of the support pressure gradients in the excavation chamber [g/cm^3] or [t/m^3])
- Marsh funnel according to DIN 4127 [4] (parameter: run-out time in [s] for 1 l as an indicator of the viscosity)
- Ball-harp rheometer from von Soos according to DIN 4127 [4] (parameter: static yield limit in [N/m^2] after 1 min rest period)
- Rotational viscosimeter FANN 35S according to API 13B [2] (parameters: Bingham yield point in [N/m^2], apparent viscosity in [mPas], plastic viscosity in [mPas], gel strength in [Pa] after 10 s and 10 min, thixotropy value)
- Filter press according to DIN 4127 [4] (parameter: thickness of the filter cake in [mm], loss of filtrate water in [ml])

The highly permeable, karstic geology in Kuala Lumpur demands an additional strategy in order to use HDSM to create a zone of reduced permeability at the face, through which the support pressure can be transferred. It was decided to intentionally block possible cavities with additional particles in the HDSM. For this purpose, the HDSM was loaded with sand or gravel. These particles are then carried into the open pores or fissures through the suspension at the face, where the sand or gravel particles set solid in bottlenecks and increasingly block the cavity through accretion of further particles. The suspension stagnates in this zone and the support pressure is transferred to the face.

Carrying Capacity

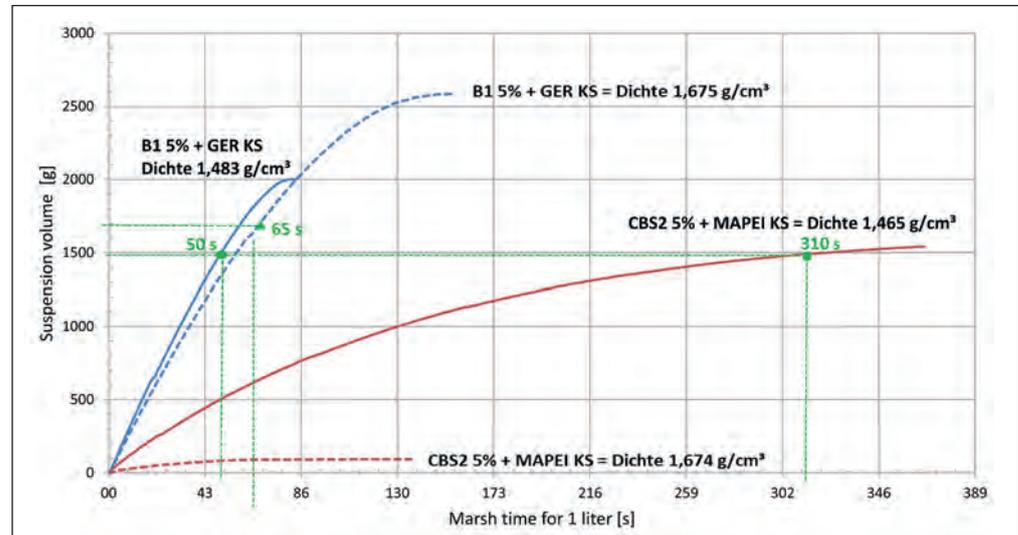
As an additional property, the test team used the term carrying capacity to describe the capacity of HDSM to carry the loaded particles. In order to evaluate the carrying capacity, the following procedure proved successful in the RUB laboratory and on site:

Test H6 Sand 16 ... 25.5 mm	Test H13 Sand 25.5 ... 36 mm
	
Test H6: Density 1,7 g/l 275 g auxiliary grain size B (2 ... 4 mm) Soil sample E (16 – 25 mm) Effective face support pressure in the test 2.93 bar	Test H13: Density 1,8 g/l 125 g auxiliary grain size C (5.6 ... 8 mm) Cylinder Ø 270 mm Soil sample F (25,5 – 36 mm) Effective face support pressure in the test 2.75 bar

6 Ergebnisse der Injektionsversuche (exemplarisch)
Results of the injection tests (examples)

- 7 Vergleich der Auslaufzeiten für HDSM mit Dichten von $1,5 \text{ t/m}^3$ und $1,7 \text{ t/m}^3$ bestehend aus den Produkten *B1 5% + GER Kalksteinmehl* (blaue Linie) und *CBS2 5% + KL Kalksteinmehl* (rote Linie)

Comparison of the drainage times for HDSMs with densities of 1.5 t/m^3 and 1.7 t/m^3 consisting of the products *B1 5% + GER limestone powder* (blue line) and *CBS2 5% + KL limestone powder* (red line)



Quelle/Credit (2): TLB

$1,5 / 1,6 / 1,7 / 1,8 / 1,9 \text{ t/m}^3$ hergestellt. Hierbei kamen im Labor die Kombination aus *B1 + GER Kalksteinmehl* und auf der Baustelle in Kuala Lumpur die Produkte *CBS2 + KL Limestone* zum Einsatz. Zugabe werden drei Sande mit definierten Korngrößenbereichen. Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit der Sande wurden in Kuala Lumpur nicht identische, aber vergleichbare Korngrößenbereiche wie in Bochum verwendet. Die Sande werden in definierter Menge zur HDSM gegeben, homogen vermischt und die Suspension in einen Messzylinder aus Glas gefüllt. Die Beobachtung zeigt, ob sich eine Tragfähigkeit gegenüber der Zusatzkörnung entwickelt oder nicht. Wenn die Sandpartikel sich nahezu vollständig auf dem Zylinderboden absetzen, existiert keine Carrying Capacity der HDSM gegenüber der Zusatzkörnung. Bei Ausbildung einer Carrying Capacity bleibt die Zusatzkörnung homogen in der HDSM verteilt, die Partikel werden in Schwebelage gehalten.

Die Interaktion der HDSM mit dem Baugrund wurde anschließend experimentell im RUB-Labor untersucht, um das Eindringverhalten und die Fähigkeit, den in der Abbaukammer aufgebrachtene Stützdruck auf die Ortsbrust in Form von effektiven Spannungen zu übertragen, besser einschätzen zu können. Bei den Injektionsversuchen wurde die HDSM in wassergesättigtes, grobkörniges Lockergestein (Kies) unter definierten Randbedingungen (Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Porosität und Durchlässigkeit) injiziert. Die Sieblinien der Lockergesteine und die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte nach Darcy zeigt **Bild 13**. Die Entwicklung des Injektionsdrucks, die Eindringtiefe in den Boden und das verdrängte Wasser wurden während des Versuchs kontinuierlich aufgezeichnet (**Bild 6**). Ziel der Versuchsreihe ist es, die einzelnen HDSM mit oder ohne Zusatzkörnung hinsichtlich ihrer Eignung als Stützmedium zu testen.

3 Ergebnisse der Labor- und Baustellenversuche

Im Rahmen der Stützdruckberechnungen sind Dichte und Fließgrenze der LDSM und HDSM die grundlegenden Parameter für die Ermittlung der Druckgradienten des Stützdrucks in der Abbaukammer. Die experimentelle Bestimmung dieser Parameter ist

The HDSM is first produced with the desired density of $1.5 / 1.6 / 1.7 / 1.8 / 1.9 \text{ t/m}^3$. In the laboratory, a combination of *B1 + GER limestone powder* and on site in Kuala Lumpur the products *CBS2 + KL Limestone* were used. Three sands were added with defined grain size fractions. Due to the different availability of sands in Kuala Lumpur, comparable grain fractions of different sands than those used in Bochum were used. The sands were added to the HDSM in defined quantities, homogeneously mixed and the suspension filled into a glass measuring cylinder. Observations showed whether the carrying capacity for the additional aggregate had developed or not. If the sand particles almost completely settle on the base of the cylinder, then the HDSM does not have the carrying capacity for the additional aggregate. With the formation of a carrying capacity, the additional aggregate remains homogeneously distributed in the HDSM, with the particles being held in suspension.

The interaction of the HDSM with the ground was then investigated experimentally in the RUB laboratory in order to be able to better estimate the penetration behaviour and the capability of transferring the support pressure applied in the excavation chamber to the face in the form of effective stresses. In the injection tests, the HDSM was injected into water-saturated, coarse-grained soil (gravel) under defined boundary conditions (grading distribution, consolidation, porosity and permeability). The grading curves of the soils and the permeability values determined according to Darcy are shown in **Fig. 13**. The development of the injection pressure, the penetration depth into the soil and the displaced water were continuously recorded during the test (**Fig. 6**). The aim of the test series was to test the individual HDSM with or without additional aggregate for its suitability as a support medium.

3 Results of the Laboratory and Site Tests

In the support pressure calculations, the density and the yield point of the LDSM and HDSM are the basic parameters for the determination of the pressure gradient of the support pressure in the excavation chamber. The experimental determination of these parameters is regulated in standards. For practical use on site, the flow capability,

normativ festgelegt. Für den baupraktischen Einsatz sind darüber hinaus die Fließfähigkeit, Pumpbarkeit und das Eindringverhalten des Stützmediums in den Baugrund von Bedeutung. Hierfür stehen keine standardisierten Versuche zur Verfügung.

Aus diesem Grund entschieden sich die Autoren, die Fließfähigkeit und Pumpbarkeit der HDSM indirekt aus den Versuchen mit dem Marsh-Trichter abzuleiten. Der Marsh-Trichter wird mit 1,5 l Suspension gefüllt und die Auslaufzeit für 1 l Suspension in [s] angegeben. Um das Fließverhalten zu verdeutlichen, wurde das Gewicht der auslaufenden Suspension über die Zeit von einer Waage aufgezeichnet. Die getesteten HDSM mit Dichten von 1,5 t/m³ und 1,7 t/m³ bestehen aus B1 + GER Kalksteinmehl und CBS2 + KL Limestone die Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.

Grundsätzlich wird die Marsh-Zeit als relatives Maß für die Viskosität gesehen. Durch die Zugabe von Kalksteinmehl steigt die Viskosität der HDSM deutlich an. Bei gleichen Dichte-Werten zeigen die B1-HDSM und die CBS2-HDSM deutlich unterschiedliches Fließverhalten. Mit einer Dichte von 1,5 t/m³ erreicht die B1-HDSM eine Marsh-Zeit von 50 s und läuft fast vollständig aus dem Marsh-Trichter aus (1,5 t/m³ für 1,5 l entspricht einer Masse von 2250 g, erreichte Auslaufmasse der HDSM ca. 2000 g, somit verbleiben etwa 250 g im Trichter). Die CBS2-HDSM mit Dichte 1,5 t/m³ läuft aufgrund einer höheren Viskosität deutlich langsamer aus dem Marsh-Trichter. Die Marsh-Zeit für 1 l beträgt 310 s. Die HDSM läuft nicht vollständig aus, es verbleiben etwa 650 g an HDSM im Trichter (siehe Bild 7).

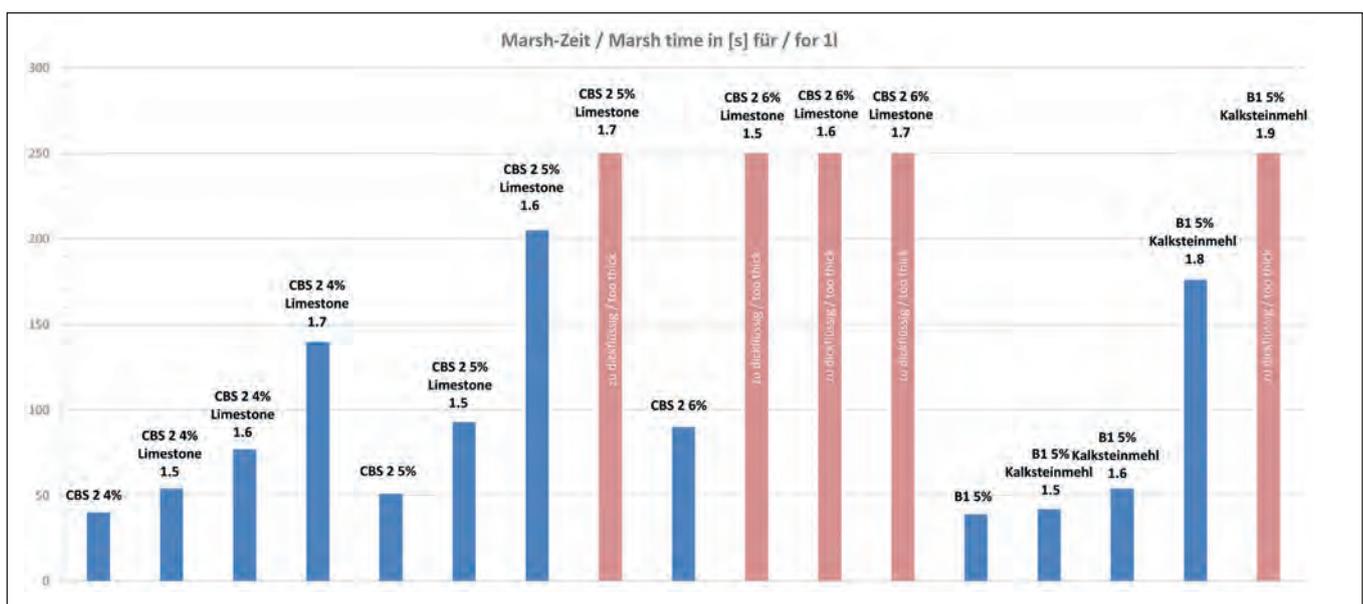
Die Marsh-Zeit der B1-HDSM mit einer Dichte von 1,7 t/m³ beläuft sich auf 65 s. Die Suspension läuft nahezu vollständig aus dem Trichter aus (1,7 t/m³ bei 1,5 l entspricht einer Gesamtmasse von 2550 g). Die CBS2-HDSM mit derselben Dichte ist insgesamt zu zähflüssig,

suitability for pumping and penetration behaviour of the support medium into the ground are also significant, although no standardised tests are available for these.

For this reason, the authors decided to derive the flow capability and suitability for pumping of HDSM directly from the tests with the Marsh funnel. The Marsh funnel was filled with 1.5 l of suspension and the run-out time for 1 l of suspension in [s] was given. In order to clarify the flow behaviour, the weight of the suspension running out was recorded against time with scales. The tested HDSMs with densities from 1.5 t/m³ to 1.7 t/m³ consist of B1 + GER limestone powder and CBS2 + KL Limestone; the results are shown in Fig. 7.

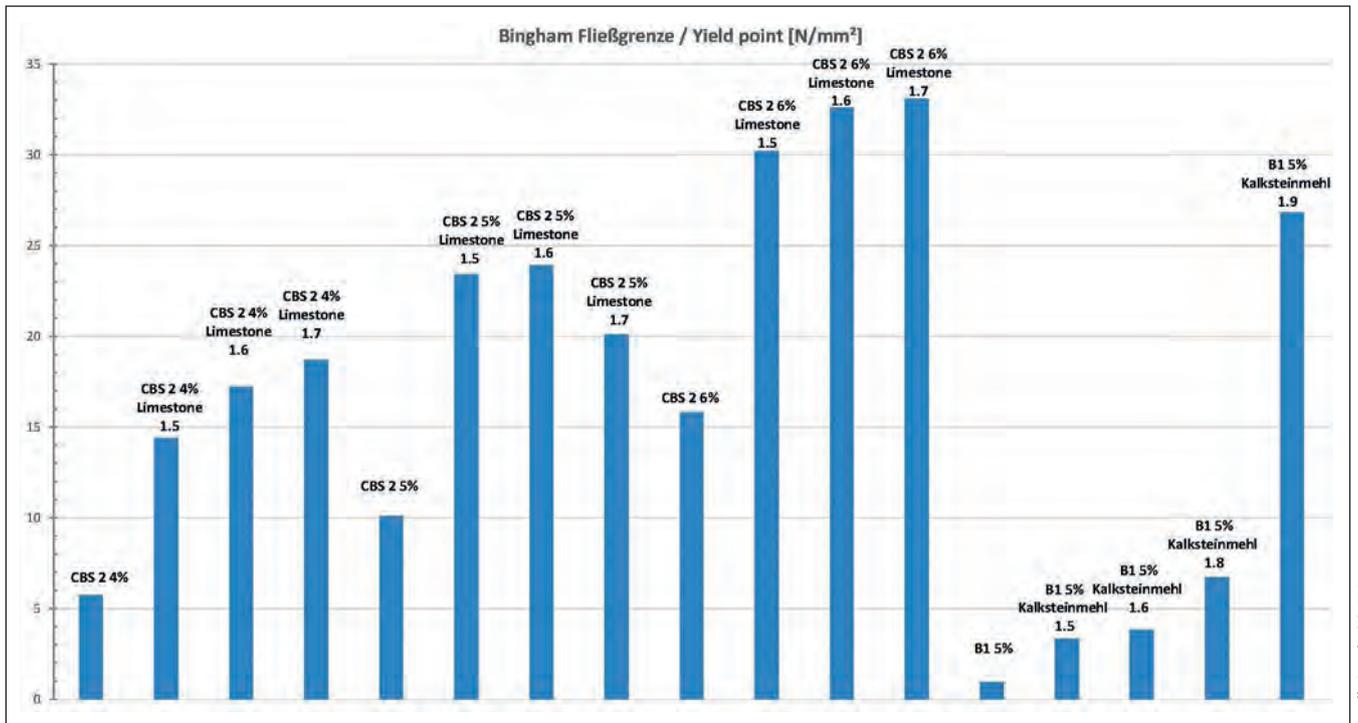
The Marsh time is basically seen as a measure of the viscosity. Through the addition of limestone powder, the viscosity of the HDSM increases considerably. With the same density values, the B1 HDSM and the CBS2 HDSM show considerably different flow behaviours. With a density of 1.5 t/m³, the B1 HDSM has a Marsh time of 50 s and runs out of the Marsh funnel almost completely (1.5 t/m³ for 1.5 l corresponds to a mass of 2250 g; actual run-out mass of the HDSM about 2000 g, so only 250 g remain in the funnel). The CBS2 HDSM with a density of 1.5 t/m³ runs out of the Marsh funnel considerably more slowly due to its higher viscosity; the Marsh time for 1 l is 310 s. The HDSM does not run out completely, with about 650 g of HDSM remaining in the funnel (see Fig. 7).

The Marsh time of the B1 HDSM with a density of 1.7 t/m³ is 65 s. The suspension runs out of the funnel almost completely (1.7 t/m³ with 1.5 l, corresponding to a total mass of 2550 g). The CBS2 HDSM with the same density is altogether too viscous, and only a small amount drops out of the Marsh funnel. These results deliver valuable information for the better evaluation of the flow capability and to estimate the suitability for pumping.



8 Vergleich der Marsh-Zeiten für 1 l Suspension nach DIN 4127 für LDSM und HDSM, bestehend aus den Produkten CBS2 + KL limestone powder und B1 + GER Kalksteinmehl (rot markierte Balken zeigen Suspensionen, die nicht aus dem Marsh-Trichter auslaufen)

Comparison of the Marsh times for 1 l suspension according to DIN 4127 for LDSM and HDSM consisting of the products CBS2 + KL limestone powder and B1 + GER limestone powder (red marked bars show suspensions, which did not run out of the Marsh funnel)



Quelle/credit (2): TLB

9 Vergleich der Bingham-Fließgrenzen ermittelt mit dem Rotationsviskosimeter gemäß API 13B für LDSM und HDSM, bestehend aus den Produkten CBS2 + KL limestone powder und B1 + GER Kalksteinmehl

Comparison of the Bingham yield point determined with the rotational viscometer according to API 13B for LDSM and HDSM consisting of the products CBS2 + KL limestone powder and B1 + GER limestone powder

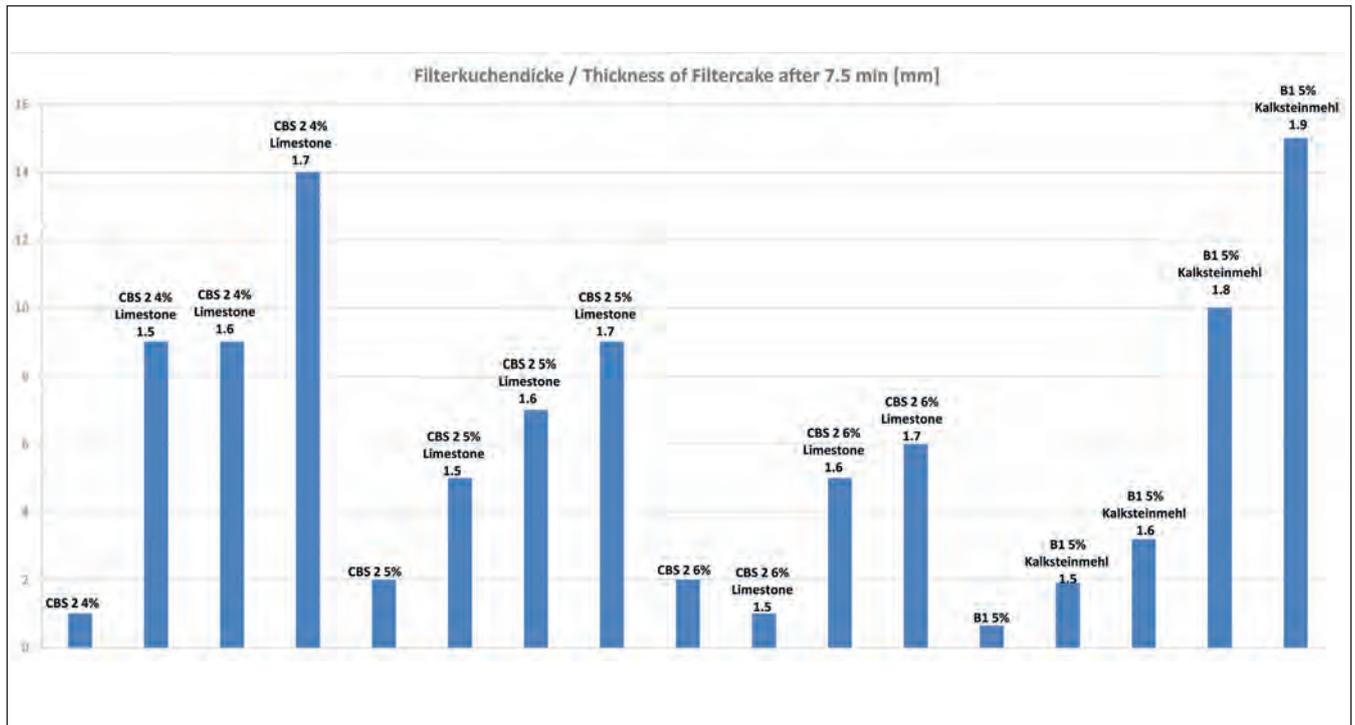
nur ein kleiner Mengenanteil tropft aus dem Marsh-Trichter. Diese Ergebnisse liefern wertvolle Informationen, um die Fließfähigkeit besser zu bewerten und die Pumpbarkeit einzuschätzen.

In einer zweiten Messreihe wurden die Marsh-Zeiten für die LDSM- und HDSM-Mischungen im Detail bestimmt (Bild 8). Die HDSM-Suspension mit dem Produkt CBS2 wurden auf Basis unterschiedlicher LDSM mit Dichten von 40 / 50/ 60 kg/m³ (das entspricht 4 / 5 / 6 %) Feststoffgehalt an Bentonit hergestellt. Auf Basis der drei LDSM wurde durch Zugabe von KL Limestone die HDSM-Dichte auf 1.5 / 1.6 / 1.7 t/m³ angehoben. Hier zeigt sich deutlich der Einfluss der Feststoffgehalte der Basis-LDSM auf die Werte der HDSM mit vergleichbaren Dichten: Je höher der Feststoffgehalt an Bentonit in der LDSM, desto höhere Marsh-Zeiten werden bei gleichen Dichte-Werten der HDSM erzielt. Wie die Ergebnisse in Bild 8 zeigen, gelingt es nicht, eine fließfähige HDSM auf Basis einer LDSM mit 60 kg/m³ herzustellen. Eine deutliche Abnahme der Fließfähigkeit zeigen die HDSM-Mischungen auf Basis einer B1 50 kg/m³ LDSM und durch Zugabe von GER Kalksteinmehl erzeugten HDSM-Dichten von 1,8 und 1,9 t/m³. Die B1-HDSM mit 1,5 und 1,6 t/m³ Dichte zeigen Marsh-Zeiten, die sich im üblichen Rahmen einer Suspension bewegen. Aus den Versuchen wird folgende Grundregel abgeleitet: Je geringer der Feststoffgehalt an Bentonit in der LDSM, desto fließfähiger bleibt die HDSM auch bei höheren Dichte-Werten.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Bingham-Fließgrenzen mit dem Rotationsviskosimeter nach API 13B zeigt Bild 9. Durch

In a second series of tests, the Marsh times for LDSM and HDSM mixes were determined in detail (Fig. 8). The HDSM suspension with the product CBS2 was prepared on the basis of different LDSMs with densities of 40 / 50 / 60 kg/m³ (this equals 4 / 5 / 6 %) solid content of bentonite. Using the three LDSMs as a basis, KL Limestone was added to raise the HDSM densities to 1.5 / 1.6 / 1.7 t/m³. In this case, the influence of the solid content of the base LDSM on the values of the HDSMs with comparable densities are noticeable: the higher the solid content in the base LDSM, the higher are the Marsh times for the same densities of the HDSM. As is shown by the results in Fig. 8, the attempt to prepare a flowing HDSM based on an LDSM with 60 kg/m³ was not successful. A clear decline of the flow capability is also shown by the HDSM mixes based on a B1 50 kg/m³ LDSM with the addition of GER limestone powder to give HDSM densities of 1.8 und 1.9 t/m³. The B1 HDSMs with 1.5 and 1.6 t/m³ densities show Marsh times, which are typical for a suspension. The following basic rules were derived from the tests: the lower the solid content in the LDSM, the more capable of flowing the HDSM remains, even at higher density values.

The results of the determination of the Bingham yield points with the rotational viscometer according to API 13B are shown in Fig. 9. Addition of limestone powder considerably increases the yield point of the HDSM. Also in this case, the tendency was confirmed that a higher bentonite concentration of the LDSM led to higher yield points of the HDSM prepared from it with the same density values of 1.5 / 1.6 / 1.7 t/m³.



10 Vergleich der Filterkuchendicke aus dem Filterpressversuch bei 7 bar für 7,5 min nach DIN 4127 für LDSM und HDSM, bestehend aus den Produkten CBS2 + KL limestone powder und B1 + GER Kalksteinmehl

Comparison of the filter cake thickness from the filter press test at 7 bar for 7.5 min according to DIN 4127 for LDSM and HDSM consisting of the products CBS2 + KL limestone powder and B1 + GER limestone powder

die Zugabe des Kalksteinmehls wird die Fließgrenze der HDSM deutlich angehoben. Auch hierbei bestätigt sich die Tendenz, dass eine höhere Bentonit-Konzentration der LDSM zu höheren Fließgrenzen bei der daraus hergestellten HDSM bei gleichen Dichte-Werten von 1,5 / 1,6 / 1,7 t/m³ führen.

Die Ergebnisse in Bild 9 deuten auch auf einen Unterschied der verwendeten Bentonite B1 und CBS2 hin. Bei CBS2 handelt es sich um einen polymermodifizierten Bentonit auf Basis eines natürlichen Natrium-Bentonits. Die rheologischen Eigenschaften des CBS2 werden durch die Zugabe von speziellen Polymeren gezielt gesteuert. Bei B1 handelt es sich um einen natürlichen Natrium-Bentonit. Für die Fließgrenze der LDSM bestehend aus CBS2 mit Feststoffgehalten von 40 / 50 / 60 kg/m³ werden deutlich höhere Werte ermittelt als für die Fließgrenze der LDSM aus B1 50 kg/m³. Entsprechend erreichen die HDSM Mischungen auf Basis der B1 50 kg/m³ LDSM bei gleichen Werten für die Dichte von 1,5 / 1,6 / 1,7 t/m³ eine bessere Fließfähigkeit als die HDSM auf Basis der CBS2-LDSM.

Mithilfe der Filterpresse wird die Neigung der Suspension untersucht, sich in die Bestandteile Wasser und Feststoff zu trennen, und somit die Stabilität bewertet. Eine stabile Suspension entmischt sich niemals von selbst; eine instabile Suspension entmischt sich selbstständig und kann nahezu komplett in ihre Bestandteile getrennt werden [7]. Der Filterpressversuch wird unter Druck von 7 +/- 0,35 bar über eine Zeit von 7,5 min nach DIN 4127 [4] oder über eine Zeit von 30 min nach API 13B [2] durchgeführt. **Bild 10**

The results in Fig. 9 also indicate a difference between the bentonites B1 and CBS2 that were used. CBS2 is a polymer-modified bentonite based on a natural sodium bentonite. The rheological properties of CBS2 are intentionally controlled by adding special polymers. B1 is a natural sodium bentonite. Considerably higher values were determined for the yield limit of the LDSM consisting of CBS2 with solid contents of 40 / 50 / 60 kg/m³ than for the yield limit of the LDSMs prepared from B1 50 kg/m³. Accordingly, the HDSM mixes based on B1 50 kg/m³ LDSM, with the same density values of 1.5 / 1.6 / 1.7 t/m³, showed better flow capability than HDSM based on the CBS2 LDSM.

The filter press is used to investigate the tendency of the suspension to separate into its constituents; water and solids, and thus evaluate the stability. A stable suspension never separates on its own; an unstable suspension on the other hand can separate independently and can be separated almost completely into its constituents [7]. The filter press test is performed under a pressure of 7 +/- 0.35 bar for a time of 7.5 min according to DIN 4127 [4] or for a time of 30 min according to API 13B [2]. **Fig. 10** shows the values of the filter cake thickness in [mm] of the tested LDSM and HDSM mixes of CBS2 + KL Limestone and of B1 + GER limestone powder.

Fig. 10 shows a tendency of the filter cake thickness to increase with increasing density for the HDSM based on the product CBS2 + KL Limestone. Since the addition of limestone powder also increases the total content of solids in the HDSM, more solids can generally be filtered in the filter press test. However, the filter cake thickness

zeigt die Werte der Filterkuchendicke in [mm] der getesteten LDSM und HDSM Mischungen von *CBS2 + KL Limestone* und von *B1 + GER Kalksteinmehl*.

Bild 10 zeigt eine tendenzielle Zunahme der Filterkuchendicke mit steigender Dichte der HDSM basierend auf dem Produkt *CBS2 + KL Limestone*. Da sich durch die Zugabe an Kalksteinmehl auch der Gesamt-Anteil an Feststoff in der HDSM erhöht, kann grundsätzlich mehr Feststoff im Filterpressversuch abgefiltert werden. Allerdings nimmt die Filterkuchendicke bei gleichen Dichte-Werten der HDSM mit steigender Bentonit-Konzentration in der Basis-LDSM ab: Je höher der Bentonitanteil der LDSM, desto stabiler die HDSM. Die B1-HDSM zeigt bei Dichte-Werten von 1,5 / 1,6 t/m³ sehr moderate Werte für die Filterkuchendicke. Diese nehmen für B1-HDSM mit 1,8 / 1,9 t/m³ deutlich zu.

Grundsätzlich ist beim Filterkuchen eine dünne, flexible Membran erwünscht, zur flächenhaften Übertragung des Stützdrucks auf die Ortsbrust. Da die HDSM primär für den Vortrieb im stark durchlässigen Locker- und Festgestein entwickelt wurde, ist anzunehmen, dass sich diese Form der Stützdruckübertragung aufgrund der großen Hohlräume nicht ausbildet. Das Maß der Filterkuchendicke ist somit als sekundäres Qualitätskriterium der HDSM zu bewerten. Wichtig ist, dass die Stabilität der HDSM über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt. Nur so kann beim Vortrieb mit HDSM ein plötzliches Wegfließen des Stützmediums aus der Abbaukammer bzw. ein Komplett-Austausch mit dem anstehenden Bodenmaterial verhindert wird. Grundsätzlich muss ein Mittelmaß zwischen Filterkuchendicke und erforderlicher Dichte gefunden werden.

Bild 11 zeigt die Ergebnisse der Carrying Capacity Tests aus dem Labor der Ruhr-Universität mit den Produkten *B1 + GER Kalksteinmehl*. Die HDSM wurde mit auf Basis der LDSM aus B1 50 kg/m³ + zusätzlichem Kalksteinmehl auf Dichten von 1,5 / 1,6 / 1,7 / 1,8 / 1,9 t/m³ angehoben und mit den drei Zusatzkörnungen (1–2 mm, 2–4 mm, 5,6–8 mm) mit zunehmender Menge vermischt. In einer weiteren Versuchsreihe wurde die HDSM mit einer Dichte von 1,5 t/m³ auf Basis verschiedener LDSM mit Feststoffgehalten von B1 mit 50 / 60 / 70 / 80 / 90 / 100 kg/m³ hergestellt und anschließend mit Zusatzkörnung aufgeladen. In den Versuchen zeigen sich folgende Trends: Die Tragfähigkeit gegenüber der Zusatzkörnung (Carrying Capacity) wird bestimmt durch deren Korngröße und zugegebenen Menge. Die Carrying Capacity der HDSM nimmt mit steigender Dichte zu. Bei gleicher Dichte von 1,5 t/m³ hat die HDSM eine höhere Carrying Capacity, die auf Basis einer LDSM von 60 kg/m³ und höher hergestellt wird.

Bild 12 zeigt die Ergebnisse der Carrying Capacity Tests von der Baustelle in KL mit den Produkten *CBS2 + KL Limestone*. Die HDSM wurde auf der Basis von drei verschiedenen LDSM mit Feststoffgehalten an Bentonit von 40 / 50 / 50 kg/m³ durch Zugabe des Kalksteinmehls auf die Dichten 1,5 / 1,6 / 1,7 t/m³ angehoben und mit den Zusatzkörnungen (< 1 mm, 1,2–2,4 mm, 2,4–4,8 mm) mit zunehmender Menge vermischt. In den Versuchen werden beide Trends nochmal bestätigt: Die Carrying Capacity nimmt bei gleicher Basis-LDSM und steigender HDSM-Dichte zu. Bei gleicher

reduces with increasing bentonite concentration in the base LDSM for the same density values of the HDSM: the higher the bentonite content of the LDSM, the more stable is the HDSM. The B1 HDSM shows very moderate values of filter cake thickness at density values of 1.5 / 1.6 t/m³. These values increase considerably for B1 HDSM with 1.8 / 1.9 t/m³.

In principle, the ideal filter cake is a thin, flexible membrane providing full-surface transfer of support pressure to the face. Since HDSM has primarily been developed for tunnelling in highly permeable soil or rock, it has to be assumed that this form of support pressure transfer will not develop due to the presence of large cavities. The magnitude of the filter cake thickness should therefore be considered as a secondary quality criterion of the HDSM; it is more important that the stability of the HDSM is maintained over a longer time period. On a tunnel drive using HDSM, this is the only way that a sudden outflow of the support medium from the excavation chamber or a complete exchange with the prevailing soil material can be prevented. Generally, a balance has to be found between the filter cake thickness and the required density.

Fig. 11 shows the results of the carrying capacity tests from the laboratory of the Ruhr University with the products *B1 + GER limestone powder*. The HDSM was prepared on the basis of an LDSM of B1 50 kg/m³ + additional limestone powder to give densities of 1.5 / 1.6 / 1.7 / 1.8 / 1.9 t/m³ and mixed with three additional aggregates (1–2 mm, 2–4 mm, 5.6–8 mm) with increasing quantity. In a further series of tests, HDSM was prepared with a density of 1.5 t/m³ on the basis of various LDSMs with solid contents of B1 of 50 / 60 / 70 / 80 / 90 / 100 kg/m³ and then loaded with additional aggregates. The following trends were shown in the tests: the carrying capacity of additional aggregate is determined by their grain size and the quantity added. The carrying capacity of an HDSM increases with increasing density. With the same density of 1.5 t/m³, HDSMs based on LDSMs with 60 kg/m³ and more show a higher carrying capacity.

Fig. 12 shows the results of the carrying capacity tests on site in KL with the products *CBS2 + KL Limestone*. The HDSM was prepared from three different base LDSMs with solid contents of bentonite of 40 / 50 / 60 kg/m³, increased in density to 1.5 / 1.6 / 1.7 t/m³ and mixed with increasing quantities of additional aggregates (< 1 mm, 1.2–2.4 mm, 2.4–4.8 mm). In these tests, the same two trends were confirmed once more: the carrying capacity increases with the same base LDSM and increasing HDSM density. With the same density, HDSMs based on LDSMs with a higher solid content of bentonite develop a higher carrying capacity.

The carrying capacity of the HDSM for material excavated from the face can be derived indirectly from the results of the carrying capacity tests. The additional aggregate should increase the density of the support suspension, which then has an effect on the curve of the pressure gradient. At the same time, this should also increase the quantity of stopping grains in the suspension, which reduces suspension flowing out through coarse structures in the soil. In the laboratory, this aggregate had to be added; in practical use, the aggregate is added by excavation.

Dichte entwickeln die HDSM eine höhere Carrying Capacity, deren Basis-LDSM einen größeren Feststoffgehalt an Bentonit hat. Aus den Ergebnisse der Carrying Capacity Tests lässt sich das Tragvermögen der HDSM gegenüber dem abgebauten Material an der Ortsbrust indirekt ableiten. Die Zusatzkörnung soll zum einen die Dichte der Stützsuspension erhöhen, die sich wiederum auf den Verlauf des Druckgradienten auswirkt. Gleichzeitig soll durch diese Aufnahme Stopfkorn in der Suspension angereichert werden, was das Abfließen der Suspension über gröbere Bodenstrukturen reduziert. Im Labor musste diese Körnung zugegeben werden; in der praktischen Anwendung soll dies durch den Aushub erfolgen.

Die Carrying Capacity zeigt hier, welche Korngrößen in Schwebelage gehalten und welche sich absetzen werden. Der positive Einfluss von Stopfkorn auf die Stützwirkung wurde an Hand der Injektionsversuche nachgewiesen.

Für die Injektionsversuche im Labor der Ruhr-Universität Bochum wurde die LDSM B1 5% durch die Zugabe von Kalksteinmehl modifiziert und auf Dichten von 1,5 / 1,6 / 1,7 / 1,8 / 1,9 t/m³ angehoben. Um den Einsatzbereich der HDSM zielgerichtet zu erweitern, wurden ausgewählten Suspensionen spezielle Zusatzkörnungen

The carrying capacity shows which grain sizes can be held in suspension and which will settle. The positive influence of the stopping grains on the support effect was demonstrated in the injection tests. For the injection tests in the laboratory of the Ruhr University Bochum, a LDSM B1 5% was modified with the addition of limestone powder, increasing the density to 1.5 / 1.6 / 1.7 / 1.8 / 1.9 t/m³. In order to intentionally enlarge the scope of application of the HDSM, special additional aggregates (sand/gravel) were added to selected suspensions and then injected into coarse-grained soil. For the evaluation of the injection tests, three categories were laid down:

- 1) Small penetration depth (< 50 cm) with very good support pressure development (≥ 2.0 bar)
- 2) Limited penetration depth with moderate support pressure development (≥ 0.8 bar)
- 3) Theoretically infinite penetration depth without support pressure development (< 0.5 bar)

Each test was evaluated into the appropriate category and finally the scope of application of the individual HDSM was defined and summarised. This means that the appropriate HDSM can be selected for the prevailing geology.



TUNNELLING THE GOTTHARD

Das Jahrhundert-Projekt
auf 720 Seiten



Blick ins Buch auf

www.tunnel-online.info/erfolgsgeschichte



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



Innovativer – Kompetenter – Zuverlässiger

Gemeinsam stärker im Tunnelbau

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

- | | | |
|---|-----------|----------------|
|  | Pressluft | compressed air |
|  | Wasser | water |
|  | Beton | concrete |



Salweidenbecke 21
44894 Bochum, Germany
Tel. +49 (0)234/58873-73
Fax +49 (0)234/58873-10
info@techno-bochum.de
www.techno-bochum.de

 **TechnoBochum**

LDSM	HDSM [kg/m ³]	Sand A 1-2 mm										Sand B 2-4 mm										Sand C 5,6-8 mm											
		Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM										Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM										Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM											
		20	100	150	200	250	300	350	400	500	600	1200	20	100	150	200	250	300	350	400	500	600	1200	20	100	150	200	250	300	350	400	500	600
B1 50 kg/m ³	1,5																																
B1 50 kg/m ³	1,6																																
B1 50 kg/m ³	1,7																																
B1 50 kg/m ³	1,8																																
B1 50 kg/m ³	1,9																																
B1 50 kg/m ³	1,5																																
B1 60 kg/m ³	1,5																																
B1 70 kg/m ³	1,5																																
B1 80 kg/m ³	1,5																																
B1 90 kg/m ³	1,5																																
B1 100 kg/m ³	1,5																																

Quelle/credit (2): TLB

11 Ergebnisse der Carrying Capacity Tests für HDSM bestehend aus den Produkten B1 + GER Kalksteinmehl und den Zusatzkörnungen Sand A (1–2 mm), Sand B (2–4 mm) und Kies C (5,6–8 mm) (Mengenangaben Sand in g/1,0 l Suspension): Rot = keine Carrying Capacity; Grün = Carrying Capacity

Results of the carrying capacity tests for HDSM consisting of the products B1 + GER limestone powder and the additional aggregates Sand A (1–2 mm), Sand B (2–4 mm) and Gravel C (5.6–8 mm) (Quantity of sand in g/1.0 l suspension): Red = no carrying capacity; Green = carrying capacity

(Sand/Kies) zugegeben und anschließend in das grobkörnige Lockergestein injiziert. Für die Bewertung der Injektionsversuche wurden drei Kategorien festgelegt:

- 1) geringe Eindringtiefe (< 50 cm) bei sehr gutem Stützdruckaufbau ($\geq 2,0$ bar)
- 2) begrenzte Eindringtiefe bei moderatem Stützdruckaufbau ($\geq 0,8$ bar)
- 3) theoretisch unendliche Eindringtiefe ohne Stützdruckaufbau (< 0,5 bar)

Jeder Versuch wurde mit der entsprechenden Kategorie bewertet und abschließend wurden die Einsatzbereiche der einzelnen HDSM definiert und zusammengefasst. Somit kann in Abhängigkeit der anstehenden Geologie die entsprechende HDSM gewählt werden. Grundsätzlich überzeugen die HDSM-Rezepturen durch ihre Injektionserfolge, d. h. gute Stützwirkung ($\geq 0,8$ bar) bis sehr gute Stützwirkung ($\geq 2,0$ bar), im grobkörnigen Lockergestein (Körnungslinien Kies B, C, D gemäß Bild 13) mit zunehmender Dichte. Eine Steigerung des Einsatzbereichs in stark durchlässigem, grobkörnigem Bodenmaterial (Körnungslinien Kies D, E, F gemäß Bild 13) wird durch die Zugabe von Zusatzkörnungen in der HDSM erreicht. Hierbei ist die Größe der Zusatzkörnung auf die vorhandene Größe des Porenraums im Lockergestein anzupassen. Exemplarisch werden folgende Ergebnisse genannt:

- Die HDSM erreicht ohne Zusatzkörnung ab einer Dichte von $1,9 \text{ t/m}^3$ Stützdrücke $\geq 3,0$ bar im Kies C (5,6–8 mm)
- Eine deutliche Steigerung der erreichbaren Stützdrücke $\geq 3,0$ bar in den Böden ab Kies D (8–16 mm) wird durch die Zugabe von Zusatzkörnungen Sand 0 (0–1 mm) und Sand A (1–2 mm) erzielt
- Die HDSM ab einer Dichte von $1,7 \text{ t/m}^3$ mit Zusatzkörnung B (2–4 mm) erreichen hohe Stützdrücke $> 2,5$ bar im Kies E (16–25 mm)
- Im Kies F (25–63 mm) kann mit einer HDSM von $1,8 \text{ t/m}^3$ und Zusatzkörnung B (2–4 mm) ein guter Stützdruck aufgebaut werden. Eine Stützdruckerhöhung wird durch die Zusatzkörnung Kies C (5,6–8 mm) möglich.

Generally, the HDSM recipes achieve injection success, i.e. good support effect (≥ 0.8 bar) to very good support effect (≥ 2.0 bar), in coarse-grained soils (grading curves for Gravel B, C, D in Fig. 13) with increasing density. An expansion of the area of application into highly permeable, coarse-grained soils (grading curves for Gravel D, E, F in Fig. 13) is achieved with the addition of supplementary aggregates to the HDSM. In this case, the grain size of the supplementary aggregate has to be adapted to suit the prevailing size of the pores in soil. The following can be given as examples:

- From a density of 1.9 t/m^3 the HDSM achieves support pressures ≥ 3.0 bar in Gravel C (5.6–8 mm) without additional aggregate
- A considerable increase of the achievable support pressures ≥ 3.0 bar in soils from Gravel D (8–16 mm) is achieved by the addition of additional aggregate Sand 0 (0–1 mm) and Sand A (1–2 mm)
- The HDSMs from a density of 1.7 t/m^3 with additional aggregate B (2–4 mm) reach high support pressures > 2.5 bar in Gravel E (16–25 mm)
- In Gravel F (25–63 mm), a good support pressure can be developed with an HDSM of 1.8 t/m^3 and additional aggregate B (2–4 mm). An increase of support pressure is possible with the additional aggregate Gravel C (5.6–8 mm).

In general, the suitability of LDSM was demonstrated in medium and coarse sands, of HDSM in fine to medium gravel, and HDSM with additional aggregate in coarse gravels (Fig. 13). Standardised grain fractions were used for the tests in the laboratory in order to ensure the reproducibility of the tests.

4 Experience with Tunnelling

At the end of May 2013, the first Variable Density TBM started work on the Klang Valley MRT Project at Cochrane station. By the middle of November 2013, another three machines had been assembled and started one after the other in this station. The Variable Density TBM was the first use of this design, so there was no practical experience of the new technology before the start of the first machine. In order to restrict the number of innovations, the known Mixshield LDSM mode was selected for the first 100 m [3].

LDSM	HDSM [kg/m ³]	Sand KL < 1 mm										Sand KL 1,2-2,4 mm										Sand KL 2,4-4,8 mm											
		Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM										Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM										Amount/Menge [g] of/an Sand in 1 l HDSM											
		10	50	75	100	125	150	175	200	250	300	600	10	50	75	100	125	150	175	200	250	300	600	10	50	75	100	125	150	175	200	250	300
CBS2 40 kg/m ³	1,5																																
CBS2 40 kg/m ³	1,6																																
CBS2 40 kg/m ³	1,7																																
CBS2 50 kg/m ³	1,5																																
CBS2 50 kg/m ³	1,6																																
CBS2 50 kg/m ³	1,7																																
CBS2 60 kg/m ³	1,5																																
CBS2 60 kg/m ³	1,6																																
CBS2 60 kg/m ³	1,7																																

12 Ergebnisse der Carrying Capacity Tests für HDSM bestehend aus den Produkten CB2 + KL limestone powder und den Zusatzkörnungen Sand KL (<1 mm), Sand KL (1,2–2,4 mm) und Sand KL (2,4–4,8 mm) (Mengenangaben Sand in g/1,0 l Suspension): Rot = keine Carrying Capacity; Grün = Carrying Capacity

Results of the carrying capacity tests for HDSM consisting of the products CB2 + KL limestone powder and the additional aggregates Sand KL (<1 mm), Sand KL (1.2–2.4 mm) and Sand KL (2.4–4.8 mm) (Quantity of sand in g/1.0 l suspension): Red = no carrying capacity; Green = carrying capacity

Generell wurde die Eignung der LDSM in Mittel- und Grobsanden, der HDSM für Fein- bis Mittelkiese und der HDSM mit Zusatzkörnung für Grobkiese nachgewiesen (Bild 13). Für die Versuche im Labor wurden genormte Körnungen verwendet, um die Reproduzierbarkeit der Versuche zu gewährleisten.

4 Erfahrungen beim Vortrieb

Ende Mai 2013 erfolgte der Start der ersten Variable-Density-TBM beim Klang Valley MRT-Projekt in der Station Cochrane. Bis Mitte November 2013 wurden zeitlich versetzt drei weitere Maschinen in dieser Station montiert und gestartet. Die Variable-Density-TBM wurde in dieser Konzeption zum ersten Mal eingesetzt, so dass bis zum Start der ersten Maschine keine praktischen Erfahrungen mit der neuen Technologie vorlagen. Um die Anzahl der Neuerungen zu begrenzen, wurde auf den ersten 100 m der bekannte Mixshield-LDSM-Modus gewählt [3].

Die Technologie der neuen TBM hatte in mehreren Punkten Änderungen erfahren (z. B. Materialförderung und Steuerung des Stützdrucks), die zunächst in einem bekannten Modus getestet wurden. Nach den positiven praktischen Erfahrungen auf den ersten Metern wurde im nächsten Schritt auf den neuen

The technology of the new TBMs had been changed in many ways (e.g. material conveyance and control of the support pressure), which were first tested in a known mode. After the positive experience in the first metres, the next step was to convert to the new HDSM mode. In this operating mode, the highest possible densities should be maintained in the excavation chamber in order to improve the support behaviour. HDSM suspension was also used in this mode. The suspension was prepared above ground in a mixing plant specially developed and built for the particular requirements of the HDSM. The mixes that had been developed and tested in the laboratory were mixed in much larger quantities in this plant under site conditions. In addition to the mixing plant, each VD-TBM also has a large storage tank, where the ready mixed HDSM is stored ready for use in order that a sufficient stock is available at all times. The suspension is pumped to the excavation chamber by a pump controlled from the TBM and a separate pipeline as required. The mixing plant in Kuala Lumpur could prepare the necessary HDSM mixes with a density of 1.7 t/m³ in regular site operation.

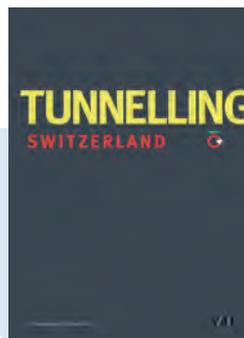
For HDSM tunnelling operations, a density of the support medium of about 1.5 t/m³ was specified in the crown of the excavation chamber. In order to control and monitor this value, the system installed to



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

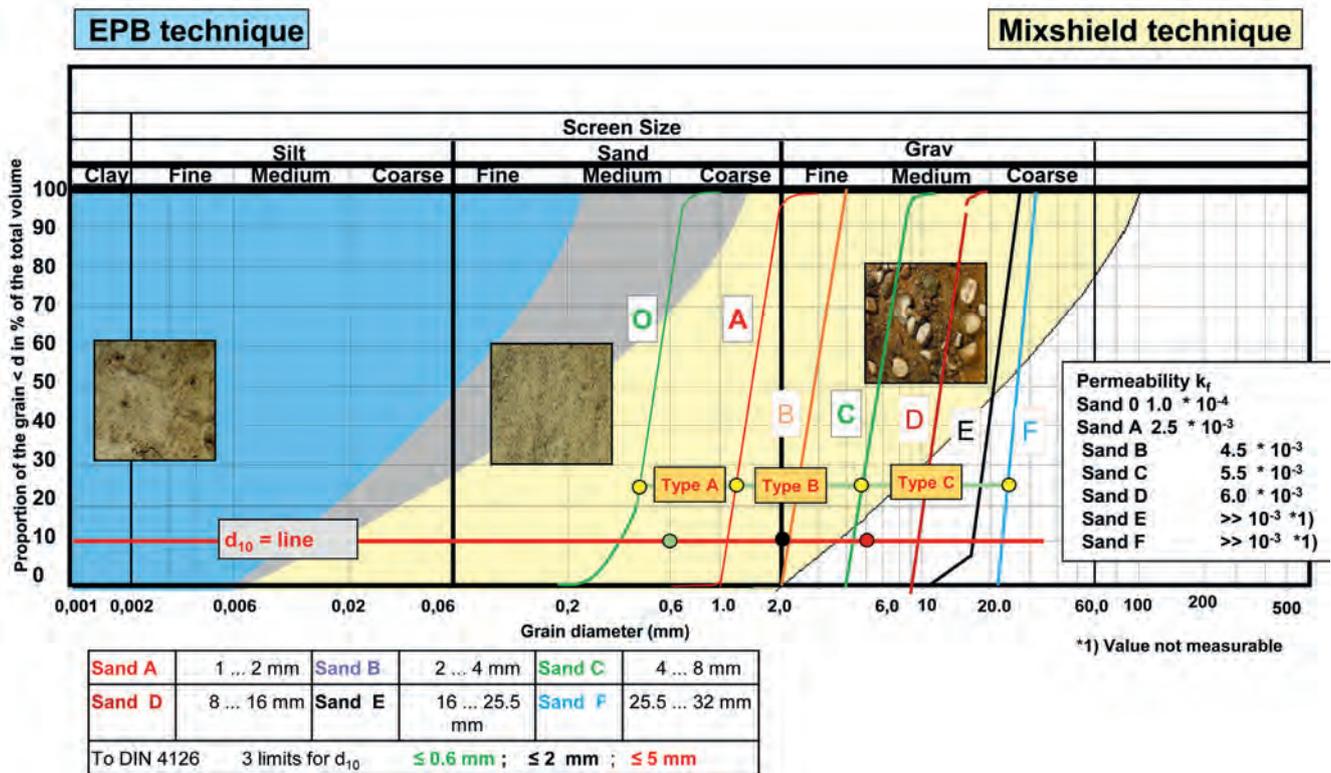


Tunnelling Switzerland

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 Unternehmenschaft.

Bestellen Sie online unter: www.profil-buchhandlung.de



Quelle/credit: TLB/Herrenknecht

13 Einsatzbereich der getesteten HDSM für ausgewählte Körnungslinien im Injektionsversuch
Scope of application of the tested HDSM for selected grading curves in the injection tests

HDSM-Modus umgestellt. In dieser Betriebsart sollen zur Verbesserung des Stützverhaltens möglichst hohe Dichten in der Abbaukammer erreicht werden. In diesem Modus wurde auch die HDSM-Suspension eingesetzt. Diese wurde Übertage in einer eigenen Mischanlage hergestellt, die speziell für die besonderen Anforderungen der HDSM entwickelt und konstruiert worden war. Die im Labor entwickelten und getesteten Mixturen werden mit dieser Anlage unter Baustellenbedingungen in deutlich größeren Mengen angemischt. Zusätzlich zur Mischanlage gibt es in jeder VD-TBM einen großen Vorratstank. Dort wird fertig gemischte einsatzbereite HDSM gelagert, damit jederzeit genügend Vorrat vorhanden ist. Über eine Pumpe, angesteuert von der TBM, und eine separate Leitung wird die Suspension im Bedarfsfall in die Abbaukammer gepumpt. Mit der Mischanlage in Kuala Lumpur konnten die erforderlichen HDSM-Mixturen mit einer Dichte von $1,70 \text{ t/m}^3$ im regulären Baustellenbetrieb hergestellt werden. Für den HDSM-Vortrieb galt die Vorgabe, im Firstbereich der Abbaukammer eine Dichte des Stützmediums von ca. $1,50 \text{ t/m}^3$ zu erreichen. Für die Kontrolle und Überwachung dieses Wertes wurde das im oberen Bereich der VD-TBM installierte Messsystem für die Dichte in der Abbaukammer benutzt. Über diese Einrichtung konnten die Werte permanent während des Vortriebs kontrolliert und nachverfolgt werden. Über Entnahme von Proben aus der Messleitung und Messungen im Labor konnten die Messdaten auf Richtigkeit überprüft werden. Die geforderten Dichten wurden im Vortrieb über den Anteil Eigenmaterial aus dem Aushub und

measure the density in the excavation chamber in the upper part of the VD-TBM was used, which enabled the values to be permanently controlled and followed during the tunnel drive. The measured data could also be checked by taking samples from the measurement pipe and measuring in the laboratory. The required densities were reached during the tunnel drive partly with excavated material and with the addition of LDSM and HDSM [3]. The required density of 1.5 t/m^3 in the crown of the excavation chamber could be achieved without any process-related impairment of the performance, so this operating mode was selected as the method of tunnelling to be used in the extremely karstic limestone [3].

4.1 Tunnelling Mode "Mixshield HDSM"

The VD-TBM offers with the variation of the support medium the option of using four different operating modes without major conversion work (Fig. 14). In addition to the already known processes, the "Mixshield HDSM mode" is a new development. This raised questions, how and to what extent the laboratory results can be transferred to practice on site or what influence the HDSM could have on the face support and the running tunnel drive. It is currently difficult to evaluate and check the effectiveness of tunnelling in Mixshield HDSM mode since there are no appropriate comparisons. In addition, in contrast to the investigations in the RUB laboratory, the geological conditions are not always known. The base in the karstic limestone is formed of limestone, and there is no precise information about the presence of fissures, crevices or caverns. Also unknown were their

durch Zugabe von LDSM und HDSM erreicht [3]. Die geforderte Dichte von $1,50 \text{ t/m}^3$ im Firstbereich der Abbaukammer konnte ohne verfahrensbedingte Leistungseinbußen erreicht werden, daher wurde diese Betriebsart als Vortriebsmethode für den extrem verkarsteten Kalkstein gewählt [3].

4.1 Vortriebsmodus „Mixshield HDSM“

Die VD-TBM bietet durch die Variation des Stützmediums die Möglichkeit vier verschiedene Vortriebsmodi ohne große Umbauarbeiten zu nutzen (**Bild 14**). Neben den bisher bekannten Verfahren ist der Modus „Mixshield HDSM“ neu entwickelt worden. Hier entstanden Fragen, wie und in welchem Umfang die Laborergebnisse auf die Praxis des Tunnelvortriebs übertragbar sind oder welchen Einfluss die HDSM auf die Ortsbruststützung und den laufenden Vortrieb haben könnte. Die Effektivität des Vortriebs im Mixshield-HDSM-Modus zu bewerten und zu überprüfen, ist aktuell noch schwierig, da entsprechende Vergleiche fehlen. Zudem sind – im Gegensatz zu den Untersuchungen im RUB-Labor – die geologischen Randbedingungen nicht immer bekannt. Die Basis im Karstic Limestone wird eben vom Kalkstein gebildet, genaue Informationen hinsichtlich des Auftretens von Klüften, Spalten oder Kavernen fehlen. Auch deren Größe, die Art des Füllmaterials und die Vernetzung und Verbindung untereinander waren nicht bekannt. Zwar konnten Karsterscheinungen beim Aushub der Stationen und bei Erkundungsbohrungen direkt lokalisiert werden, auf der Tunnelstrecke war dies jedoch über weite Abschnitte nicht möglich.

4.2 Vorteile von HDSM

Zusammenfassend kann nach Beendigung der Vortriebsarbeiten festgestellt werden, dass sich die Mixshield-HDSM-Vortriebsmethode erfolgreich in dieser speziellen Geologie bewährt hat. Ein Vergleich der beiden Projekte SMART-Tunnel und KVMRT Line 1 (beide in Kuala Lumpur, beide im Karstic Limestone) zeigt deutlich den Unterschied und die Vorteile von HDSM:

- Bei den Vortrieben für den SMART-Tunnel mit zwei Mixschilden im LDSM-Modus, gab es auf einer Länge von 9,0 km 41 Vorfälle (Ausbläser, Tagbrüche, Senkungen). Bei den verschiedenen Vortrieben für die KVMRT Line 1 gab es auf 7,5 km Länge nur zwei Vorfälle. Dies bedeutete eine Reduzierung um ca. 95 % [11].

size, filling material and their connectivity or connection to each other. Karst phenomena could indeed be directly localised during the excavation of the stations and from investigation boreholes, but this was not possible for large parts of the tunnel route.

4.2 Advantages of HDSM

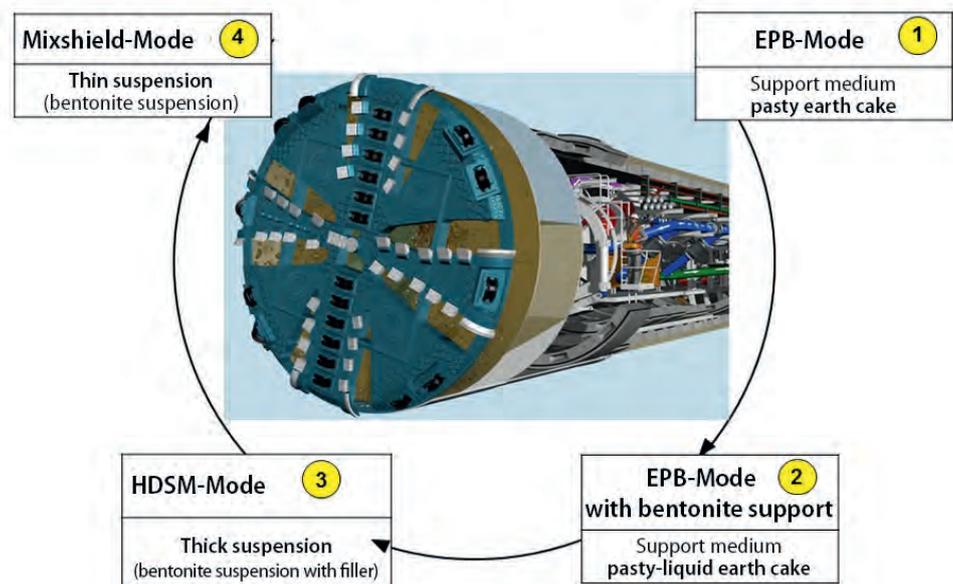
In summary, it can be stated after the completion of tunnelling works that the Mixshield HDSM method of tunnelling proved successful in this particular geology. A comparison of the two projects SMART Tunnel and KVMRT Line 1 (both in Kuala Lumpur, both in the Karstic Limestone) clearly show the differences and advantages of HDSM:

- During tunnelling works on the SMART Tunnel with two Mixshields in LDSM mode, there were 41 separate “incidents” (blowouts, sinkholes, settlement) in a distance of 9.0 km. On the various tunnel drives for KVMRT Line 1, there were only two incidents in a distance of 7.5 km, which represents a reduction by about 95 % [11].

There were also further events, which can be mentioned to demonstrate the effectiveness of the HDSM suspension:

- On the section from Cochrane Station to Maluri Station, there was a deep, very large excavation for a multi-storey building complex just a few metres to the side of the tunnel alignment. During tunnel excavation parallel to this construction pit, there was a sudden massive loss of suspension of up to $400 \text{ m}^3/\text{h}$. At first, it was not clear where the suspension was flowing until it was discovered emerging into the construction pit. Immediate pumping of HDSM into the excavation chamber of the VD-TBM stopped the leak within a short time and the tunnel excavation could be continued

Working modes with the different support media



14 Vortriebsmodi der Variable-Density-TBM
Tunnelling modes of the Variable Density TBM

Zusätzlich gab es weitere Ereignisse, anhand derer die Wirksamkeit der HDSM-Suspension nachgewiesen werden konnte.

- Auf dem Streckenabschnitt von der Station Cochrane zur Station Maluri befand sich wenige Meter seitlich von der Tunneltrasse eine tiefe, sehr große Baugrube für einen mehrgeschossigen Gebäudekomplex. Beim Vortrieb parallel zu dieser Baugrube kam es plötzlich zu massiven Suspensionsverlusten von bis zu 400 m³/h. Zunächst war nicht bekannt wohin die Suspension abfloss, bis der Austritt in der Baugrube entdeckt wurde. Durch das sofortige Einpumpen von HDSM in die Abbaukammer der VD-TBM wurde die Leckage innerhalb kurzer Zeit gestoppt, und der Vortrieb konnte mit den regulären Stützdrücken fortgesetzt werden. Eine Reduzierung des Stützdrucks oder sonstige Abdichtungsmaßnahmen waren nicht erforderlich [11].
- Desweiteren kam HDSM beim Verschließen von Klüften und Spalten in der Ortsbrust zur Anwendung, um einen Einstieg in die Abbaukammer für den Wechsel von Abbauwerkzeugen zu ermöglichen [11].

Ein wichtiger Aspekt beim Einsatz der HDSM ist die Überprüfung der LDSM/HDSM-Eigenschaften vor Ort auf der Baustelle mit den lokalen Bestandteilen und unter In-situ-Bedingungen. Die HDSM-Qualität wird durch das Anmachwasser und die gewählten Bentonit- und Kalksteinmehl-Produkte ebenso beeinflusst wie durch die Mischtechnik und die Umgebungsbedingungen (zum Beispiel Temperatur). Darüber hinaus sind Bentonite und Kalksteinmehle Naturprodukte, deren Eigenschaften selbst innerhalb einer Produktpalette erheblich schwanken können.

Es ist daher unumgänglich, die Verträglichkeit der verwendeten lokalen Materialien wie Kalksteinmehl und Basis-LDSM zu überprüfen. Dabei sollte das Kurzzeit- und Langzeitverhalten hinsichtlich Stabilität bzw. Absetzverhalten genau untersucht werden. Aus diesen Gründen kann eine ungeprüfte „1:1-Übertragung“ der hier vorgestellten Rezepturen auf andere Einsatzfälle nicht empfohlen werden – auch wenn möglicherweise kurzfristig Kosten einzusparen wären.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Entwicklung der HDSM werden alle vorab formulierten Anforderungen an das Stützmedium für den Einsatz in der VD-TBM erfüllt. Die zur Sicherung der Ortsbruststabilität notwendigen Parameter *hohe Dichte*, *hohe Viskosität* und *hohe Fließgrenze* werden von den HDSM-Rezepturen unter Beibehaltung der Fließfähigkeit und der Pumpbarkeit zuverlässig erbracht. Für verschiedene Vortriebsszenarien wurden speziell geeignete HDSM-Rezepturen konzipiert.

Durch die enge Zusammenarbeit zwischen dem TBM-Hersteller Herrenknecht, dem ausführenden Bauunternehmen MMC Gamuda und dem Labor der Ruhr-Universität Bochum konnten theoretisch erprobte Wissensansätze in experimentelle Untersuchungen überführt werden. Diese Ergebnisse wurden anwendungsbezogen

with the regular support pressures. No reduction of the support pressure or other sealing measures were necessary [11].

- HDSM was also used to close fissures and cleavage in the tunnel face in order to enable the use of compressed air in the excavation chamber to change cutting tools [11].

One important aspect of the use of HDSM is testing of the properties of the LDSM/HDSM on site, with the local constituents and under in-situ conditions. The quality of HDSM is influenced by the mixing water, the selected bentonite and limestone powder products and also by the mixing technology and environmental conditions (e.g. temperature). In addition, bentonite and limestone powder are natural products, whose properties can fluctuate considerably even within a product range.

It is therefore essential to test the compatibility of the local materials used such as limestone powder and base LDSM. The short- and long-term behaviour concerning stability and settlement should be carefully tested. For this reason, unevaluated transfer of the exact same recipes described here to other applications cannot be recommended, even if this would lead to short-term cost savings.

5 Summary and Outlook

The development of HDSM fulfilled all the requirements for a support medium that had been formulated in advance for use with the VD-TBM, the parameters that are necessary to ensure face stability – *high density*, *high viscosity* and *high yield point* – were produced reliably by the HDSM recipes while maintaining flow capability and suitability for pumping. Especially suitable HDSM recipes were also developed for various tunnelling scenarios.

Through the close collaboration between the TBM manufacturer Herrenknecht, the contractor MMC Gamuda and the laboratory of the Ruhr University Bochum, the theoretically tested findings of the experimental investigations could be transferred to practical application. The findings were then further developed for application and finally successfully applied in practical tunnelling under difficult geological conditions.

Acknowledgement

The team of authors would like to express their thanks to: Sati Bhogal, Ng Hau Wei and Lim Hui Yan from MMC Gamuda Werner Burger and Günter Richter from Herrenknecht Tobias Bucher from Institute for Tunnelling and Pipeline Construction at Ruhr University Bochum



weiterentwickelt und anschließend unter schwierigen geologischen Bedingungen erfolgreich in die Vortriebspraxis umgesetzt.

Danksagung

Das Autorenteam dankt:

Sati Bhogal, Ng Hau Wei, Lim Hui Yan von MMC Gamuda

Werner Burger und Günter Richter von Herrenknecht

Tobias Bucher vom Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr Universität Bochum



Literatur/References

- [1] Anagnostou, G., Kovari, K. (1994). The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnels. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 165–174.
- [2] API 13B-1 (2009): Recommended Practice for Field Resting of Water-Based Drilling Fluids. 4th Edition, American Petroleum Institute.
- [3] Burger, W.; Straesser, M.; Schoesser, B. (2014): Variable Density Maschine: Eine hybride Schildmaschine aus Erddruck- und Flüssigkeitsschild, in: Taschenbuch für den Tunnelbau 2015, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Seiten 188-229.
- [4] DIN 4127 (2014): Erd- und Grundbau – Prüfverfahren für Stützflüssigkeiten im Schlitzwandbau und deren Ausgangsstoffe. Deutsches Institut für Normung.
- [5] Kilchert, M; Karstedt, J. (1984). Schlitzwände als Trag- und Dichtungswände – Standsicherheitsberechnungen von Schlitzwänden nach DIN 4126. Volume 2. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin/Köln.
- [6] Mueller-Kirchenbauer, H. (1977). Stability of slurry trenches in inhomogeneous subsoil. Proceedings of 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, Tokyo.
- [7] Praetorius, S.; Schöber, B. (2016): Bentonithandbuch – Ringspalt-schmierung für den Rohrvortrieb. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.
- [8] Walz, B. (1989). Grundlagen der Flüssigkeitsstützung von Erdwänden. In: Tagungsband 10, Christian-Veder-Kolloquium, Graz.
- [9] Walz, B.; Pulsfort, M. (2001): Skript Spezialgrundbau – Teil A: Schlitzwandbauweise. Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal.
- [10] Zizka, Z.; Thewes, M. (2015): Excavation with Slurry Shield deploying High Density Slurry – Consequences for the face stability. In: Proceedings International Conference and Exhibition of Tunnelling and Underground Space (ICETUS 2015) IEM Kuala Lumpur, Malaysia, March 3–5.
- [11] Klados, G. (2015): Exploring the Tunnelling Experience in the Most Difficult Karstic Limestone Conditions KVMRT UG SBK Line, Malaysia. Conference 2nd Annual Underground Space Engineering. Driving Innovation: Redefining Tunnels & Underground of the Future, Singapore, 28–29 April.

A.S.T. Bochum

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik

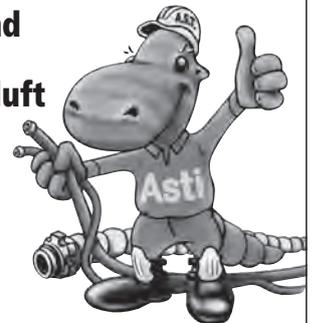
Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik für Beton, Wasser und Pressluft

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



SÖNDGERATH PUMPEN

Eine Wellenlänge voraus



Bewährt unter härtesten Bedingungen

Die rauen Anforderungen im Bergbau und im Tunnelbau stellen an den eingesetzten Arbeitsgeräten höchste Voraussetzungen und maximale Betriebszuverlässigkeit. Seit mehr als 40 Jahren sind unsere Pumpen für diese bedingungslose Zuverlässigkeit weltweit bekannt.



SÖNDGERATH PUMPEN GmbH
Zur Schmiede 7
45141 Essen · Germany

Telefon +49 (0)201.766906
Telefax +49 (0)201.761587
E-Mail: info@sptpumpen.de
www.spt-pumpen.de

Obervermuntwerk II

Leistungsfähige Tauchmotorpumpen zur Sicherung des Tunnelvortriebs

Mit dem Pumpspeicherkraftwerk Obervermuntwerk II soll bis zum Jahr 2018 eines der ehrgeizigsten Kraftwerksbauten Europas fertiggestellt werden. Das im Mai 2014 begonnene Bauprojekt im österreichischen Bundesland Vorarlberg wird das zweitgrößte Kraftwerk der Vorarlberger Illwerke AG werden. Damit werden nicht nur nationale und europäische Klimaschutzziele unterstützt. Ziel des Vorhabens ist laut Betreiber die Bereitstellung von zusätzlicher Regelernergie und entsprechenden Kapazitäten für die Aufnahme von Strom zur Zwischenspeicherung

Ausgangssituation

Die Wasserspeicher Silvretta und Vermunt werden seit 1943 zur Energiegewinnung genutzt. Das vorhandene Kraftwerk Obervermunt I ist jedoch relativ klein. Darüber hinaus wird die bestehende Druckrohrleitung innerhalb der nächsten Dekade das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.

Mit dem Pumpspeicherkraftwerk Obervermuntwerk II wird das Ziel verfolgt, zusätzliche Regelernergie und Kapazitäten zur Verfügung zu stellen. Hierzu müssen keine neuen Wasserressourcen bewilligt werden. Es kann auf bereits bestehende Kapazitäten der Speicher Silvretta und Vermunt zurückgegriffen werden. Mit diesem Projekt peilt die Vorarlberger Illwerke AG einen Wirkungsgrad von 80 % bei der Pumpspeicherung an.

Die beide Kraftwerke Obervermunt I und II sollen in Zukunft parallel betrieben werden. Zur Energiegewinnung nutzen beide Anlagen das Gefälle zwischen den Wasserspeichern und den Kraftwerken. Ein rund 3 km langer Druckstollen, der Silvrettastollen, verläuft vom Einlaufbauwerk Silvretta bis zu einem Druckschacht. Das Gefälle beträgt hier ca. 9 %. Rund 500 m vor dem mit 48 Grad geneigten Druckschacht zweigt ein 1300 m langer Druckstollen zum bestehenden Werk I ab. Beide Werke verfügen also über eine gemeinsame Triebwasserführung.



Blick auf die Baustelle Obervermuntwerk II

View of the Obervermuntwerk II site

Obervermuntwerk II

Powerful submersible Motor Pumps to secure the Tunnel Drives

The pumped storage hydropower plant Obervermuntwerk II should be completed in 2018 to become one of the most ambitious power stations in Europe. The construction project in the Austrian state of Vorarlberg was started in 2014 and will become the second largest plant of the Vorarlberger Illwerke AG. This will not only support national and European climate aims; the intention of the project according to the operator is to provide additional regulating energy and the corresponding capacities for the acceptance of electricity for intermediate storage.

Starting Situation

The Silvretta and Vermunt reservoirs have been in use for electricity generation since 1943, but the existing Obervermunt I hydropower plant is relatively small. The current penstock pipeline will also have reached the end of its life in the next decade.

The pumped storage hydropower plant Obervermuntwerk II has the objective of providing additional regulating energy and capacities. No new water sources have to be approved for this purpose; the existing capacities of the Silvretta and Vermunt reservoirs can be exploited. With this project, the Vorarlberger Illwerke AG is looking at an efficiency of 80 % for pumped storage.

The two power plants Obervermunt I and II should be operated in parallel in the future. For electricity generation, both facilities will use the head between the reservoirs and the powerhouses. A headrace tunnel about 3 km long, the Silvrettastollen, runs with about 9 % decline from the Silvretta intake structure to a pressure shaft. About 500 m before the 48 ° inclined pressure shaft at, a 1300 m long pressure tunnel branches off to the existing Obervermuntwerk I. Both hydropower plants thus have a common headwater system.

After passing the Silvretta pressure shaft the headwater is run through a distributor pipe to the turbines of the Obervermuntwerk II.



Eine SPT Tauchwasserpumpe wird positioniert

A SPT submersible pump is positioned



Quelle/Credit (3): Söndgerath

Selbst für ein ungeübtes Auge ist das sand- und kieshaltige, mit Betonit und Bohremulsionen versetzte Bergwasser zu erkennen.

Even an untrained eye can see that the groundwater is contaminated with sand and gravel, bentonite and drilling emulsion.

Über die an den Druckschacht Silvretta anschließende Verteilerrohrleitung wird das Triebwasser zu den Turbinen des Obervermuntwerkes II geleitet. Alle technischen Anlagen sind unterirdisch angeordnet. Der Zugang erfolgt über einen ca. 810 m langen Zugangsstollen. Sämtliche Vortriebsarbeiten erfolgten konventionell in Sprengvortrieb. Lediglich beim Wasserschloss wurde der rund 300 m tiefe Vertikalschacht zunächst mittels Raiseboring auf einen Durchmesser von 3 m gefräst, bevor die Aufweitung des Schachtes bis zu seinen vorgesehenen Dimensionen im Sprengvortrieb vorgenommen werden konnte.

Große Schmutzwassermengen beim Vortrieb

Am 21. Mai 2016 wurden die Vortriebsarbeiten für den Silvretastollen mit dem Durchschlag auf Höhe des Schützenschachtes abgeschlossen. Bei den Vortriebsarbeiten fielen große Schmutzwassermengen an. Diese setzen sich aus dem Bergwasser und dem Brauchwasser (für Bohrarbeiten etc.) zusammen.

Das Bergwasser schwemmte häufig Feinteile aus dem Gestein mit und rann entlang der Fahrbahn von der Ortsbrust bis zum nächsten Pumpensumpf. Dabei wurden zusätzliche Gesteinsortimente mitgespült, und es entstand ein Schlamm-Wasser-Gemisch. Das Medium war also keineswegs homogen. Je nach Witterung und den anstehenden Arbeiten war es mehr oder

All technical facilities are housed underground. They are connected to an access adit about 810 m long. All tunnelling works were excavated conventionally by drill and blast; only the 300 m deep vertical shaft of the surge tank was first cut by raise boring to a diameter of 3 m before being enlarged to its intended dimensions by drill and blast.

Large Quantities of dirty Water from Tunnelling

On 21 May 2016, the tunnelling works in the Silvretastollen were completed with the breakthrough at the level of the sluice gate shaft. The tunnelling works produced large quantities of dirty water comprising groundwater and service water (for drilling etc.).

The groundwater often washed fine material out of the rock mass and ran along the haul road from the face to the next pumping sump. Other rock types were also flushed out and a mud-water mixture was produced. The medium was thus in no way homogeneous. Depending on the weather conditions and the works underway at the time, the waste water was contaminated more or less with mud and rock sediments.

The dirty water could not be soaked away on site. It had to be pumped from the tunnel to the water treatment works, sometimes a considerable distance. These facilities, starting with a settlement basin, served to separate the sediments from the water phase. Only after the treatment

weniger mit Schlämmen und Gesteinssedimenten belastet. Das Schmutzwasser konnte nicht vor Ort versickern und musste daher über teilweise erhebliche Förderstrecken von den Vortriebsstollen zu den Wasseraufbereitungsanlagen gefördert werden. Diese Anlagen mit vorgeschaltetem Absetzbecken dienen dazu, die Sedimente von der Wasserphase zu trennen. Erst nach diesem Aufbereitungsvorgang und nach Anpassung des pH-Wertes durfte das gereinigte Wasser in Vorfluter abgeleitet werden. An die im Einsatz befindlichen Schmutzwasserpumpen wurden – vor allem durch den Gletscherschliff – hohe Anforderungen gestellt.



SPT Pumpen verfügen über einen eingebauten Motorschutz und sind absolut trockenlaufsicher
SPT pumps have built-in motor protection and can be run dry absolutely safely

Quelle/Credit (2): Söndgerath

Hohe Anforderungen an die Pumpentechnik

Wird ein Tunnel oder Stollen aufgeföhren, so müssen Pumpen, Pumpensümpfe und Förderleistungen für die prognostizierten Wassermengen mit einem Sicherheitszuschlag für die Streubreite versehen werden. Durch anfallendes Bergwasser im Ortsbrustbereich ergibt sich häufig liegendes Wasser. Dadurch werden alle an der Ortsbrust auszuföhrenden Arbeiten mehr oder weniger stark erschwert.

In Vertikal- oder Schrägschächten kann die Situation sehr schwierig werden. Beim Sprengvortrieb bilden die Bohrungen in gewisser Weise eine hydrologische „Vorerkundung“. Tritt bereits aus dem Bohrloch Wasser aus, ist nach dem Abschlag ein erhöhter Anfall des Mediums zu erwarten. Das bei den Arbeiten aus dem Gestein austretende Bergwasser wird zunächst in Rigolen abgeleitet. Von dort aus wird es mittels Tauchmotorpumpen zu den Absetzbecken gefördert.

Das sand- und kieshaltige Schmutzwasser ist mit Schlamm, Schlick, Bohremulsionen, Bentonit und ähnlichen problematischen Gemischen versetzt. Beim Silvrettastollen kam erschwerend hinzu, dass bei steigendem Vortrieb ca. 80 bis 120 l/s in Spitzen sogar bis 150 l/s anfielen. Das sind höchste Anforderungen an eine Schmutzwasserpumpe.

Die mit den Bauarbeiten beauftragte Arbeitsgemeinschaft Jäger-Porr-Hinteregger-ÖSTU erteilte den Auftrag zur Lieferung der gesamten Pumpentechnik an Söndgerath Pumpen GmbH, Essen.

Eingesetzte Pumpentechnik

Durch die vom Unternehmen angebotene Typenvielfalt stand für den jeweiligen Einsatzfall die optimale weil wirtschaftlichste Pumpe

process and the correction of the pH value could the treated water be discharged into the stream. The requirements for the sludge pumps used were very stringent, above all due to the glacial polish.

A great Challenge for Pumping Technology

When a tunnel is excavated, then pumps, pumping sumps and pumping capacity have to be provided for the forecast water quantities with a safety margin to cover fluctuations. Groundwater at the face often leads to lying water, which makes all works at the face more or less difficult. In vertical and inclined shafts, the situation can become very challenging. In drill and blast tunnelling, drilling provides a certain hydrological “probing”. If water already emerges from the drillhole, increased ingress can be expected after the round is fired. The groundwater produced during excavation is first collected in temporary ditches, from where it is pumped by submerged sludge pumps to the settlement basin.

Beside sand and gravel, the dirty water contains, mud, drilling emulsion, bentonite and other problematic mixtures. In the Silvrettastollen, there was the additional difficulty that the rising advance encountered water quantities of about 80 to 120 l/s, and even peaks up to 150 l/s. That is a demanding task for a sludge pump.

The contracting joint venture Jäger-Porr-Hinteregger-ÖSTU awarded an order for the delivery of the entire pump equipment to the company Söndgerath Pumpen GmbH, Essen, Germany.

Pumping Technology used

Thanks to the range of types offered by the company, the available pumps were optimal and the most economical. The dirty water



SPT-R Schmutzwassertauchpumpen verfügen über ein Rührwerk für die Förderung problematischer Sand-Wasser-Gemische

SPT-R submersible sludge pumps are fitted with an agitator for the pumping of problematic sand-water mixtures

zur Verfügung. Das auf den Baustellen anfallende Schmutzwasser variierte in Qualität und Quantität; insbesondere die Feststoffkonzentration schwankte sehr stark. Je nach örtlichen Gegebenheiten und Baustellensituation lag sie zwischen 10 und 30 Vol.-%. Mit einer Standardpumpe war diese Aufgabenstellung nicht zu lösen. Hier mussten flexible Antworten gefunden werden.

Bei den auf der Baustelle eingesetzten Tauchmotorpumpen handelte es sich überwiegend um die sogenannte SPT bzw. SPT-R Serie. Sie sind in der Lage, problematisches Schmutzwasser zu fördern. Dazu sind die Pumpen der „R-Serie“ mit einem auf die Welle montierten Rührwerk versehen, das die Fließfähigkeit des Mediums entscheidend verbessert. Bei allen Pumpen dieser Baureihe ist das Gehäuse und die Saugplatte aus verschleißfestem Chromstahl gefertigt. Das Laufrad und (soweit vorhanden) der Rührkopf bestehen aus einem speziellen Chromstahl. Die Edelstahlwelle verfügt über wartungsfreie, gekapselte Kugellager und doppelte mechanische Gleitring-Dichtungen. Wellenschutzhülse und Laufradscheibe sind für diesen Einsatzfall aus einem sehr harten Material hergestellt und damit nochmals technisch verbessert. Alle zwei- bzw. vierpoligen Motoren sind absolut trockenlaufsicher. Ihre Leistung ist wählbar von 1,5 bis 22 kW, wobei alle Pumpen für einen Kraftstromanschluss vorgesehen sind. Rund 150 Schmutzwasserpumpen der SPT, SPT-R und SHL Serie für unterschiedliche Einsatzfälle waren auf der Baustelle verfügbar, denn je nach Baufortschritt kam es immer wieder darauf an, flexibel und schnell auf neue, teilweise unerwartete Anforderungen zu reagieren. ☀

produced on site varied in quality and quantity, particularly the solids concentration fluctuated greatly. According to the local conditions and site situation, this could be between 10 and 30 % by volume. This task could not be dealt with by a standard pump; flexible answers had to be found.

The submersible motor pumps used on site were predominantly from the SPT or SPT-R series. These pumps can pump problematic dirty water. For this purpose, the “R series” pumps are equipped with an agitator mounted on the shaft, which decisively improves the flow properties of the medium. In all pumps of this series, the housing and the suction plate are made of wear-resistant chrome steel. The impeller and (if fitted) agitator head are made of a special chrome steel. The stainless steel shaft has maintenance-free, sealed ball bearings and double mechanical floating ring seals. The shaft protection housing and impeller disc are made of very hard material for this application, a further technical improvement. All two- and four-pole motors can safely run dry. Their power can be set from 1.5 to 22 kW, with all pumps being fitted with a three-phase power supply.

About 150 sludge pumps of the SPT, SPT-R and SHL series were available on site for the various applications, since it always had to be possible to react flexibly and quickly to any new and sometimes unexpected challenge. ☀

Deutschland

34. Baugrundtagung

Im September 2016 fand die 34. Baugrundtagung der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik) mit begleitender Fachausstellung Geotechnik in der Stadthalle Bielefeld statt. Rund 1200 Teilnehmer informierten sich an den zwei Hauptveranstaltungstagen über die aktuellen Problemstellungen und Herausforderungen im Fachgebiet Geotechnik. Zu den Themenschwerpunkten des praxisnahen Vortragsprogramms gehörte auch das Fachgebiet des Tunnelbaus mit diversen Vorträgen, von denen hier einige kurz vorgestellt werden:

Cityringen Kopenhagen

Dieser Vortrag befasste sich mit komplexen Gebäudesicherungsmaßnahmen für den Tunnelvortrieb in der dänischen Hauptstadt, wo seit 2011 das bestehende U-Bahn-Netz erweitert wird. Mit dem „Cityringen“ entsteht dort ein neuer, 15,5 km langer U-Bahn-Ring. Am neuen Kreuzungsbahnhof Kongens Nytorv verläuft der Tunnelvortrieb oberhalb bestehender Tunnelröhren und unterquert die vorhandene Bebauung mit geringem Abstand. Als Sicherungselemente für den Gebäudebestand kommen Kompensationsinjektionen und Düsenstrahlkörper zur Anwendung. Die historische Bebauung wird mit Hilfe eines automatischen Schlauchwaagenmesssystems überwacht.

Abwasserkanal Emscher

Das größte Einzelprojekt im Rahmen des Emscher-Umbaus im deutschen Ruhrgebiet ist der Abwasserkanal Emscher (AKE) von Dortmund bis Dinslaken. Neben der Errichtung von über 150 Baugruben mit Durchmessern bis zu 28 m und Aushubtiefen bis 40 m (die zum größten Teil zu Betriebschächten ausgebaut werden) lag die Hauptaufgabe in der Erstellung von rund 51 km Abwasserkanal im Rohrvortriebsverfahren. Der Hauptkanal mit Innendurchmessern von 1,6–2,8 m wird dabei in Haltungslängen von bis zu 1200 m aufgeföhren. Neben der Vorstellung des Projekts und der Baugrundverhältnisse wurden die maßgeblichen Planungselemente zur Festlegung der maximal möglichen Vortriebslängen erläutert. Darüber hinaus wurden Erfahrungen aus Bauausführung und Vortriebsüberwachung dargestellt: Bis zu 10 Vortriebsmaschinen waren bei diesem Projekt parallel im Einsatz, sodass bis zu 2100 m Kanal pro Monat hergestellt werden konnten. 2018 soll der AKE in Betrieb genommen werden.

Steinbühl Tunnel: Tunnelbau im Karst

Der gut 4,8 km lange, zweiröhriige Steinbühl Tunnel wird im Rahmen des Bahnprojekts Stuttgart–Ulm errichtet. Er liegt im teilweise stark verkarsteten Gebirge der Schwäbischen Alb. Die tunnelbautechnische Herausforderung „Karst“ hat die Planung, Ausführung und die Konstruktion der Innenschale geprägt. Im Vortrag wurde berichtet, wie sich dieses geologische Phänomen während des Vortriebs im Vergleich zur Prognose dargestellt hat und wie das letztlich im Vortrieb gut umgesetzte Erkundungskonzept entwickelt wurde.

Germany

34th „Baugrundtagung“ Conference

The 34th Geotechnics Conference „Baugrundtagung“ of the German society for geotechnics DGGT with accompanying specialist exhibition took place in September 2016 in Bielefeld. About 1200 participants informed themselves at the two main conference days about current problems and challenges in the field of geotechnics. The subjects covered at the practically oriented programme of talks included the field of tunnelling, with various talks, of which four are presented briefly here:

Cityringen Copenhagen

This talk was concerned with the complex building protection measures for the tunnel drive in the Danish capital, where works have been underway on the extension of the underground rail network since 2011. The „Cityringen“ will be a new underground ring 15.5 km long. At the new crossing station Kongens Nytorv, the tunnel passes over existing tunnels as well as beneath existing buildings with little spacing. Compensation grouting and jet grouting are being used as measures to protect these buildings; historic buildings will be monitored using an automatic water level system

Emscher Sewer

The largest individual project in the course of the Emscher rebuilding in the Ruhr area in Germany is the Emscher sewer (AKE) from Dortmund to Dinslaken. In addition to the construction of more than 150 construction shafts with diameters up to 28 m and up to 40 m deep (mostly to be used as operating shafts), the main work was the construction of about 51 km of sewer by pipe jacking. The main sewer with an internal diameter of 1.6–2.8 m is being jacked in runs of up to 1200 m. In addition to a presentation of the project and the ground conditions, the essential design elements for the decision of the maximum jacked length were explained. Experience from construction and tunnelling supervision was also described: up to 10 tunnelling machines worked in parallel on this project so that up to 2100 m of sewer could be constructed per month. The AKE should go into operation in 2018.

Steinbühl Tunnel: Tunnelling in Karst

The twin-bore Steinbühl Tunnel is a good 4.8 km long and is being built as part of the Stuttgart–Ulm railway project. It lies in the sometimes heavily karstified ground of the Swabian Alps. The challenge of tunnelling in karst was the main feature of the design, construction and lining of the tunnel. The talk reported how this geological phenomenon was encountered in the course of the tunnel drive in comparison to the forecast and how the investigation concept, which was quite successfully implemented for the tunnel drive, was developed.

Albula Tunnel II: Grouting and Ground Freezing

After more than 110 years of rail operation in the Albula Tunnel, the operator Rhätische Bahn in 2010 decided to build a new tunnel. With



Quelle/credit: Marvin Klostermeier

Rund 1200 Teilnehmer besuchten die 34. Baugrundtagung der DGGT mit begleitender Fachaussstellung Geotechnik in Bielefeld

About 1200 participants visited the 34th geotechnics conference "Baugrundtagung" of the DGGT with accompanying Geotechnics exhibition in Bielefeld

Albulatunnel II: Injektion und Bodenvereisung

Nach mehr als 110 Jahren Bahnbetrieb des Albulatunnels beschloss die Rhätische Bahn 2010 den Neubau: Mit 5,86 km Länge wird der Albulatunnel II mit einem Abstand von etwa 30 m parallel zum bestehenden Tunnel aufgeföhren. Er erreicht nach ca. 1,2 km ab dem Portal in Preda eine geologische Störzone, die Raibler-Rauwacke, deren Durchföhren bei einer Überlagerung von 200 m als zentrales Problem des Projekts gilt. Teil dieser Raibler-Schichten ist der sogenannte „Abschnitt III“, eine Formation aus „schwimmendem Gebirge“, die aus siltigem Feinsand unter drückendem Wasser gebildet wird. Zur Sicherung dieser rund 20 m mächtigen Zone wurden aus einer Kaverne heraus 55 Injektionsbohrungen, 47 Vereisungsbohrungen sowie 24 Kontroll- und Drainagebohrungen bis in eine Tiefe von 58 m horizontal entlang des Tunnelausbruchprofils durch die Störzone vorgenommen. Aufgrund des anstehenden Wasserdrucks von bis zu 5,0 bar innerhalb der Störzone sowie zur Minimierung des Sedimentaustrages während des Bauvorgangs wurden alle Bohrungen im Schutz von Preventern und Absperrschiebern ausgeföhrt. Zur Herstellung des 2,5 m mächtigen, entlang des Ausbruchprofils verlaufenden Eiskörpers wurden Vereisungsanlagen mit einer Gesamtkühlleistung von 420 kW innerhalb der Kaverne installiert. Im Sommer 2016 wurde das Aufgeföhren in Angriff genommen, um im Spätherbst den Vortrieb starten zu können.

Baugrundtagung 2018

Die 35. Baugrundtagung findet vom 26. bis 28. September 2018 im Internationalen Congresscenter (ICS) Stuttgart statt. 

a length of 5.86 km, the Albulatunnel II is being built at a spacing of about 30 m parallel to the existing tunnel, which should serve as a safety tunnel in the future. About 1.2 km from the portal in Preda, it reaches a geological fault zone, the Raibler-Rauwacke, tunnelling through which under an overburden of 200 m is seen as the central problem of the construction project. Part of these Raibler beds is the so-called „Section III“, a formation of running ground formed of silty fine sand under water pressure.

In order to provide pre-support in this 20 m thick zone, 55 grouting holes, 47 ground freezing holes and 24 control and drainage holes up to 58 m deep were drilled horizontally along the tunnel excavation profile and through the fault zone from a cavern. Due to the water pressure of up to 5 bar in the fault zone and in order to minimise the flushing of sediment during construction, all holes were drilled under the protection of preventers and shut-off valves. In order to form the 2.5 m thick frozen body along the excavation profile, a ground freezing plant with a total cooling capacity of 420 kW was installed in the cavern. Freezing operation was started in summer 2016 in order to be able to start tunnelling in late autumn.

Conference 2018

The 35th "Baugrundtagung" will take place from 26 to 28 September 2018 in the International Congress Center (ICS) in Stuttgart. 

Marvin Klostermeier, Redakteur/Editor tunnel

InnoTrans 2016

Tunnel Foren der STUVA: BIM im Tunnelbau, Sicherheit in unterirdischen Bahnstationen

Die elfte InnoTrans konnte am 23. September nach vier Messtage die bisher besten Bilanz ihrer Geschichte ziehen, mit neuen Höchstwerten für Aussteller- und Fachbesucherbeteiligung. Rund 145 000 Fachbesucher aus über 140 Ländern kamen für die diesjährige Weltleitmesse für Verkehrstechnik nach Berlin; auf dem Messegelände präsentierten sich 2955 Aussteller aus 60 Ländern.

International Tunnel Forum der STUVA

BIM im Tunnelbau

Auch auf der diesjährigen InnoTrans wurde an zwei Tagen

das „International Tunnel Forum“ der STUVA (Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V.) veranstaltet, moderiert von STUVA-Geschäftsführer Dr.-Ing. Roland Leucker. Knapp 100 Teilnehmer besuchten das erste Forum zum Thema „BIM – Ein Mehrwert für den Tunnelbau?“ im CityCube. Im Forum wurde diskutiert, wie diese Planungsmethode unter den besonderen Randbedingungen des unterirdischen Bauens sinnvoll eingesetzt werden kann.

Laut Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer, Bereichsleiter Tunnelbau bei der Ed. Züblin AG, sollte ein BIM-Modell bereits in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung vom Auftraggeber erstellt werden und nicht erst vom ausführenden Unternehmer. Ein paralleles oder nachträgliches digitales Modellieren neben einer 2D-Planung bezeichnete Dipl.-Ing. Dirk Schaper, Geschäftsführer der Hochtief Vicon GmbH als „BIM-Spielen“. Nur wenn BIM in die Planung voll integriert werde, lohne sich der zusätzliche Aufwand, so Schaper. Dieser Mehraufwand in der Entwurfsphase liegt laut Dipl.-Ing. Marko Žibert (Head of Tunnelling and Geotechnics, Partner, ELEA iC d.o.o. Civil Engineering and Consulting) in einem Bereich von 20 bis 30 Prozent.

BIM kann man nicht auf einmal implementieren, sondern nur Schritt für Schritt, angefangen bei der „little closed BIM“-Anwendung bis hin zum „big open BIM“, was letztendlich das große Ziel sei, so Žibert. Für die verschiedenen Disziplinen des Tunnelbaus erhofft er sich durch die BIM-Anwendung eine Koordination, die Inkonsistenzen schon in der Planung auflösen kann. BIM könne hier zudem helfen, internationale Standards zu schaffen, die dem Tunnelbau noch fehlen.

InnoTrans 2016

STUVA Tunnel Forums: BIM in Tunnelling, Safety & Security in underground Train Stations



Quelle/Credit: Marvin Klostermeier

Die Messehalle 5² der InnoTrans in Berlin war dem Ausstellungssegment „Tunnel Construction“ vorbehalten. Insgesamt besuchten rund 145 000 Fachbesucher die Verkehrstechnik-Messe

Exhibition hall 5² at the InnoTrans in Berlin was reserved for the „Tunnel Construction“ fair segment. Altogether, around 145 000 trade visitors attend the transport technology fair

The 11th InnoTrans wound up after four action-crammed days on September 23 with its best ever result. New records were recorded for exhibitor and trade visitor participation. Some 145 000 trade visitors from more than 140 countries attended this year's leading fair for transport technology in Berlin; 2955 exhibitors from 60 countries displayed their products on the fairgrounds.

STUVA International Tunnel Forums BIM in Tunnelling

The „International Tunnel Forum“ of the STUVA (Research Association for Tunnels and

Transportation Facilities Inc.) was again a feature over two days at this year's fair. It was presented by STUVA CEO Dr.-Ing. Roland Leucker. Almost 100 participants attended the first forum on „BIM – an added Value for Tunnelling?“ in the CityCube. At the forum, discussions concentrated on how this planning method can be appropriately applied given the special marginal conditions presented by underground construction. According to Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer, in charge of the tunnelling division with the Ed. Züblin AG, a BIM model should be created during the design and approval planning phase by the client and not subsequently by the responsible contractor. Dipl.-Ing. Dirk Schaper, CEO of the Hochtief Vicon GmbH described parallel or subsequent modelling alongside 2D-planning as „playing with BIM“. According to Schaper going the extra mile is only worthwhile providing that BIM was completely integrated in the planning. This extra effort lies within a range of 20 to 30 percent according to Dipl.-Ing. Marko Žibert (head of tunnelling and geotechnics, partner, ELEA iC d.o.o. Civil Engineering and Consulting). BIM cannot be implemented immediately but has to be introduced step-by-step, starting with the „little closed BIM“ application right up to „big open BIM“, which Žibert maintains should be the ultimate goal. It is hoped that by applying BIM, coordination will be achieved for the various segments of tunnelling so that inconsistencies can be resolved at the planning stage. Furthermore, BIM can also help create international standards in this respect, which are lacking in tunnelling.

The Deutsche Bahn BIM pilot projects are regarded by Dipl.-Ing. (ETH) Heinz Ehrbar, head of management for major projects with the DB Netz AG as a „great opportunity“ to consolidate know-how and lay



Quelle/credit: Marvin Klostermeier

Die Diskussionspartner beim International Tunnel Forum der STUVA zum Thema BIM im Tunnelbau (von links): Dipl.-Ing. Marko Žibert, Dipl.-Ing. Dirk Schaper, Dipl.-Ing. (ETH) Heinz Ehrbar, Dr.-Ing. Roland Leucker und Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer

The discussion partners at the STUVA International Tunnel Forum on BIM in Tunnelling (from the left): Dipl.-Ing. Marko Žibert, Dipl.-Ing. Dirk Schaper, Dipl.-Ing. (ETH) Heinz Ehrbar, Dr.-Ing. Roland Leucker and Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer

Die BIM-Pilotprojekte der Deutschen Bahn sieht Dipl.-Ing. (ETH) Heinz Ehrbar, Leiter Management Großprojekte bei der DB Netz AG, als „Riesenchance“ um Know-How aufzubauen und die Grundlagen für die BIM-Anwendung in Deutschland zu legen. In einem Zeitraum von fünf Jahren könne er sich gut vorstellen, technologisch mit an der Spitze zu sein – wobei derzeit die Anwendung von BIM im Vereinigten Königreich noch immer als das Paradebeispiel gelte. Die Expertenrunde war sich darin einig, dass auch BIM nicht als Allheilmittel erhalten kann und weder schlechte Verträge noch konfliktbeladene Partnerschaften automatisch harmonisieren kann. Auch wenn BIM im Tunnelbau noch in der Entwicklungsphase stecke, ist sich Heinz Ehrbar sicher, dass diese Entwicklung sogar „schneller vorangetrieben wird, als wir das jetzt glauben“. Dass BIM zukünftig eine entscheidende Rolle im Tunnelbau spielt, wurde grundsätzlich nicht mehr in Frage gestellt.

Sicherheit in unterirdischen Bahnhöfen

Das zweite Tunnel Forum am 22. September widmete sich der Frage „Unterirdische Bahnhöfe – Ein besonderes Sicherheitsrisiko?“

the foundation for applying BIM in Germany. He feels that within a period of five years, the country could be among the leaders in this field of technology – although at present the application of BIM in the UK must be taken as the benchmark.

The round of experts agreed that BIM cannot be seen as a cure-all capable of automatically resolving mediocre contracts or conflict-laden partnerships. Although BIM is still in its infancy in tunnelling, Heinz Ehrbar is certain that this development can indeed be “advanced faster than we believe at present”. No one questioned the decisive role that BIM will play in tunnelling.

Underground Stations – a special Safety and Security Risk?

The second tunnel forum on September 22 dealt with the question of “Underground Stations – a special Safety and Security Risk?”. In addition to operational-technical safety, personal security has increasingly come to the fore in recent decades. Current developments in this field were discussed as well as the possibilities offered for design, which are already available for new structures or redevelopments. Roland Leucker responding to the question of what made an

RELUX[®]

ReluxTunnel payware for professional tunnel lighting calculation and simulation www.relux.com



Quelle/Credit: netzwerkarchitekten

Großen Anklang beim Publikum des Forums „Unterirdische Bahnhöfe – Ein besonderes Sicherheitsrisiko?“ fanden die Gestaltungen der U-Bahn-Stationen für die Düsseldorfer Wehrhahn-Linie, präsentiert von Dipl.-Ing. Jochen Schuh, netzwerkarchitekten, Darmstadt. Im Bild: Station Pempelforter Straße.

Greatly appreciated by the public attending the forum "Underground Stations – a special Safety and Security Risk?": the concepts of the Underground stations on the Düsseldorf Wehrhahn Line (the image shows the station Pempelforter Straße), presented by Dipl.-Ing. Jochen Schuh, netzwerkarchitekten, Darmstadt

Zusätzlich zur betrieblich-technischen Sicherheit („Safety“) ist dabei in den vergangenen Jahrzehnten auch die persönliche Sicherheit („Security“) immer mehr in den Vordergrund gerückt. Die aktuellen Entwicklungen auf diesem Gebiet wurden ebenso erörtert wie die gestalterischen Möglichkeiten, die bei Neubauten oder Sanierungen von Bahnhöfen bereits zur Verfügung stehen. Bei der Frage, was denn einen unterirdischen Bahnhof eigentlich unsicher mache, erklärte Roland Leucker, müsse man zwischen realer und gefühlter Sicherheit unterscheiden. Neben Einflussfaktoren wie Präsenz von Personal und Polizei sowie technischen Einrichtungen wie Videoüberwachung und Notrufstationen, habe auch die Architektur der Station einen Einfluss, der nicht zu unterschätzen sei. Han Admiraal, Vorsitzender des „ITA Committee on Underground Space“ (ITACUS) wies auf die psychologischen Aspekte einer offenen Architektur hin, die in sichtbarer Verbindung mit der Oberfläche steht. Eine drückende, geschlossene Atmosphäre sei ein entscheidender Einflussfaktor, der die Menschen von der Nutzung unterirdischer Transportsysteme abhalten könne, einfach aus dem subjektiven Gefühl der Unsicherheit heraus. Neben der Beleuchtung und der Klimaregelung seien auch optimierte Orientierungshilfen notwendig: „Wer nicht weiß, wohin er gehen soll, wird sich unwohl fühlen“, so Admiraal einfach und einleuchtend

Neben der Vorstellung der modernen technischen Sicherheitseinrichtungen der U-Bahnen in Berlin (Dr. Carsten Jacobsen, Mitglied der Bereichsleitung, Berliner Verkehrsbetriebe) und im französischen Lyon (Dr. Eric Premat, Deputy Head, CETU) präsentierte Dipl.-Ing. Jochen Schuh (netzwerkarchitekten, Darmstadt) beispielhafte Gestaltungen von sechs U-Bahn-Stationen der Wehrhahnlinie in Düsseldorf, in denen, so Schuh, psychologischen Sicherheitsaspekten mit Design und Kunst begegnet wird. 

Marvin Klostermeier, Redakteur/Editor tunnel

underground station non-secure, explained that a distinction had to be drawn between actual and envisaged security. Apart from factors of influence such as the presence of staff and police as well as technical facilities such as video monitoring and emergency call stations, the station's architecture also exerts an influence, which must not be underestimated. Han Admiraal, chairman of the "ITA Committee on Underground Space" (ITACUS) pointed to the psychological effects of open architecture, which are visibly linked to the surface. An oppressive, confined atmosphere represents a decisive factor of influence, which can prevent people from using underground transportation systems, simply because they do not feel secure. Alongside lighting and climate control, optimised signposting is necessary: "Anyone unaware of where he must go will feel uncomfortable", Admiraal declared simply and plausibly.

Apart from presenting modern technical safety facilities of the Berlin metro system (Dr. Carsten Jacobsen, member of the divisional management, Berlin Verkehrsbetriebe) and in French Lyon (Dr. Erich Premat, deputy head, CETU), Dipl.-Ing. Jochen Schuh (netzwerkarchitekten, Darmstadt) put forward concepts for six Underground stations on the Düsseldorf Wehrhahn Line, in which, Schuh asserted, psychological safety aspects are responded to through design and art. 

Beratung**Nord-Süd Stadtbahn Köln:
Moderner Brandschutz in
unterirdischen Anlagen**

Um die Sicherheit der Fahrgäste bei einem Feuer in einer unterirdischen Anlage bestmöglich zu gewährleisten, sind spezielle Maßnahmen erforderlich. Wie moderner Brandschutz in solchen Anlagen aussehen kann, haben die Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) und die Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen mbH (STUVAtec) bei der Nord-Süd Stadtbahn in Köln in enger und konstruktiver Zusammenarbeit aufgezeigt.

Herausforderung Tunnelbrand

Mögliche Brände in Tunneln, U-Bahn-Stationen und unterirdischen Anlagen stellen für die Brandschutzgutachter eine Herausforderung dar. Denn unter der Erde herrschen besondere Rahmenbedingungen: Feuer und Brandgase streben der Thermik folgend nach oben, genau in die Richtung, in die gefährdete Personen flüchten müssen.

50 Jahre Erfahrung in Beratung und Forschung

Die Anforderungen an den Brandschutz in deutschen U- und Stadtbahntunnelanlagen werden grundlegend in der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) sowie in deren zugehörigen Technischen Regeln festgelegt. Entscheidend ist jedoch

Consulting**North-South Urban Light Railway
in Cologne: modern Fire Protection
in underground Facilities**

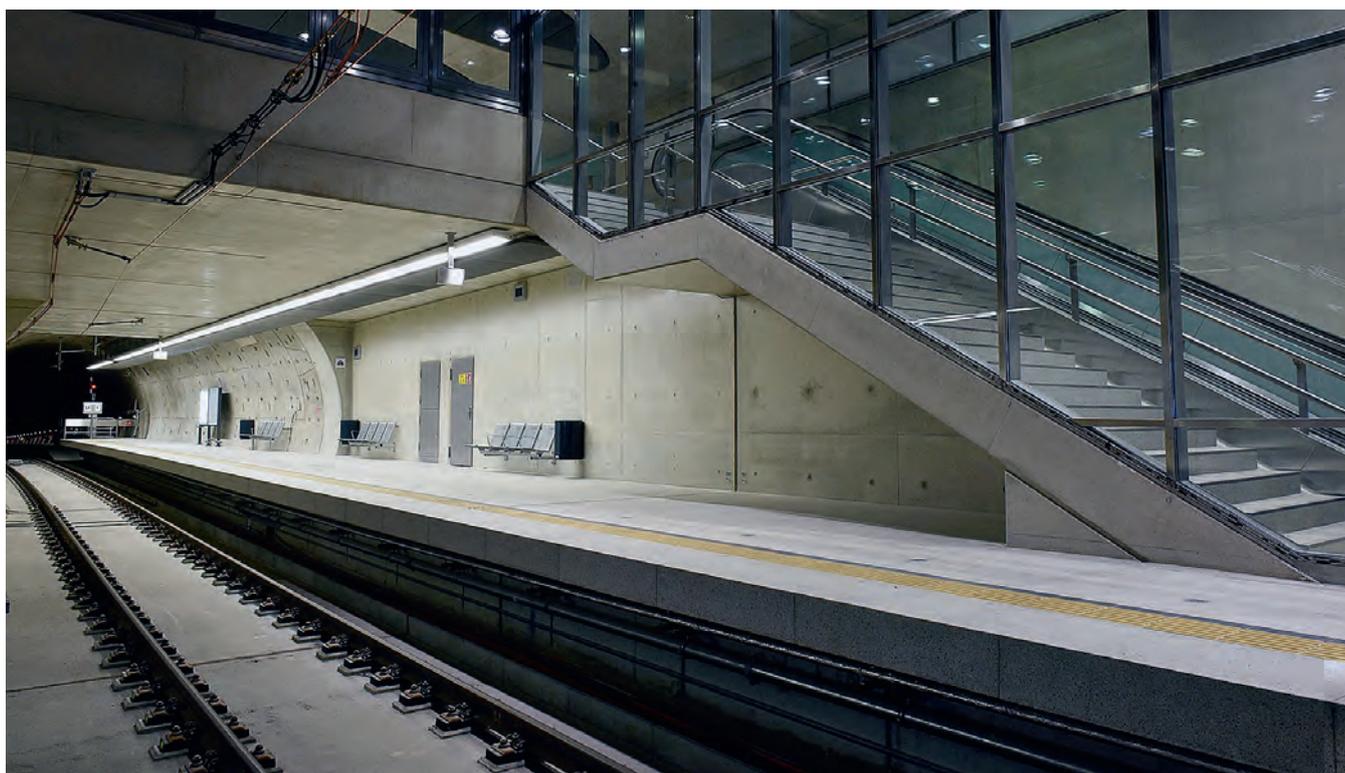
Special measures are required in order to provide passengers with the greatest possible protection should fire occur in an underground facility. In close collaboration Cologne Transport (Kölner Verkehrs-Betriebe AG/KVB), and the Research Association for Tunnels and Transportation Facilities mbH (STUVAtec) have developed a feasible application of modern fire protection for the North-South Urban Light Railway in Cologne.

Tunnel Fire as a Challenge

Possible fires in tunnels, Metro stations and underground transportation facilities represent a challenge for those charged with fire appraisal. After all, special marginal conditions prevail under the surface: fire and smoke gases follow a thermal path leading upwards, precisely in the direction in which endangered persons have to flee.

50 Years of Experience in Consulting and Research

The requirements posed on fire protection in German Metro and urban transport facilities are essentially determined in the Tram Construction and Operation Ordinance (BoStrab) as well as in the relevant technical regulations. However, adaption to the given structural situation is decisive. In this respect, the STUVAtec experts in



Quelle/Credit: Klaus Berg, KVB

1 Mit einer Brandschutzverglasung geschützte Treppenanlage der Nord-Süd Stadtbahn Köln

A stairway belonging to the North-South Urban Light Railway in Cologne provided with fire-protective glazing

die Adaption auf die jeweilige Bauwerkssituation. Hier besitzen die Fachleute der STUVAtec in Köln vertiefte Kenntnisse aus nahezu 50 Jahren Erfahrung in der Beratung und Forschung zu Fragen des Brandschutzes in unterirdischen Anlagen. Gemeinsam mit den Verantwortlichen der KVB haben sie auch beim Neubau der Nord-Süd Stadtbahn in Köln umfangreiche Brandschutzmaßnahmen für Fahrgäste realisiert und gleichzeitig bestmögliche Voraussetzungen für den Einsatz von Rettungsdiensten in Haltestellen und Streckentunneln geschaffen.



2 Heruntergefahrte ausfahrbare Rauchschrürze ohne Führungsschiene
Functional extensible smoke curtain without guide rail

Intensiver Dialog mit Bauherr und Bauwerksplaner

Die Arbeit der STUVAtec beginnt dabei üblicherweise mit einer Räumungsberechnung und einer Brandsimulation für die betreffende unterirdische Anlage. Aus der Räumungsberechnung ergibt sich die Zeitspanne, in der alle Personen das Freie erreicht haben. Die Brandsimulation ermittelt die Dauer, innerhalb derer die Haltestelle verraucht und ein sicherer Aufenthalt für Personen nicht mehr gewährleistet ist. Sie erfolgt in Form einer mathematisch-numerischen Computersimulation (CFD-Simulation, Computational Fluid Dynamics) auf Basis der vorliegenden Haltestellenelemente. Aus der Gegenüberstellung dieser beiden ermittelten Zeitspannen wird ersichtlich, ob die Nutzer innerhalb der Selbstrettungsphase einen – zumindest temporär – sicheren Bereich und in der Folge das Freie erreichen können. Ergebnisse der Simulationen, dass dies nicht möglich ist, muss überlegt werden, welche baulichen oder anlagentechnischen Maßnahmen umgesetzt werden können, um die festgelegten Schutzziele zu erreichen.

An dieser Stelle tritt die STUVAtec in einen intensiven Dialog mit dem Bauherrn und dem Bauwerksplaner. Es wird in konstruktiver Abstimmung herausgearbeitet, welche Möglichkeiten unter den konkreten Umständen denkbar sind und welche sich davon architektonisch integrieren lassen. So war es zum Beispiel bei der Nord-Süd Stadtbahn Köln im weiteren Planungsprozess gewünscht, die Anzahl der im Rahmen der Planfeststellung vorgesehenen ausfahrbaren Rauchschrürzen zu reduzieren, da diese einen hohen Wartungsaufwand erfordern und somit kostenintensiv sind. Kompensiert wurde diese Reduzierung zum einen durch eine Brandschutzverglasung der Treppenanlagen (**Bild 1**) und zum anderen durch den Einsatz fester Rauchschrürzen.

Optimierung ausfahrbarer Rauchschrürzen

Ausfahrbare Rauchschrürzen, die verdeckt montiert werden und erst im Brandfall in ihre Bestimmungslage fahren, erfordern normalerweise seitliche Führungsschienen, um die

Cologne possess deep-seated experience going back almost 50 years in consultation and research on issues of fire protection in underground facilities. In conjunction with the responsible representatives of the KVB, they also accomplished extensive fire protection measures for passengers of the North-South Urban Light Railway in Cologne. At the same time, the best possible prerequisites for deploying emergency services in stations and running tunnels were created.

Quelle/Credit: STUVA

Intensive Dialogue with Client and Project Designer

In these circumstances, STUVAtec's work normally starts with an evacuation calculation and a fire simulation for the underground facility concerned. The evacuation calculation provides the time frame during which all persons affected will have reached safety. The fire simulation establishes the period, within which the station becomes filled with smoke so that persons can no longer occupy the premises without being harmed. It is executed in the form of a mathematical-numerical computer simulation (CPD simulation – Computational Fluid Dynamics) based on the existing station designs. By comparing the two determined time frames, it becomes evident whether users can reach a – at least temporary – safe area within the self-rescue phase and then get into the open. Should the simulations show that this is not the case, it must be considered which structural or technical measures have to be resorted to in order to attain the targeted protective aims.

At this point, the STUVAtec enters an intensive dialogue with the client and project designer. A constructive plan is worked out regarding the possibilities that can be applied under the given circumstances and can consequently be integrated in architectural terms. Thus for example, in the case of the Cologne Urban Light Railway it was requested during the ongoing planning process to reduce the number of extendible smoke curtains originally foreseen in the plan approval proceedings, as they require a high degree of cost-intensive maintenance. This reduction was compensated by firstly providing protective glazing for the stairways (**Fig. 1**) and secondly by applying permanent smoke curtains.

Optimisation of extendible Smoke Curtains

Extendible smoke curtains, which are assembled in a concealed position, prior to reaching their intended position in the event of fire, usually require guide rails at the side in order to confine leakage areas caused by construction to a minimum. As it was not possible to set up pillars with integrated guide rails at all points, a solution had to be found, which allowed the gap between two abutting smoke curtains to be kept as small as possible. This was accomplished

konstruktionsbedingten Leckageflächen auf ein Minimum zu reduzieren. Da die Anordnung von Pfeilern mit integrierten Führungsschienen nicht an allen Stellen möglich war, musste eine Lösung gefunden werden, den Spalt von zwei aneinanderstoßenden Rauchschrürzen so gering wie möglich auszubilden. Dies gelang in enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller durch eine Optimierung der Rauchschrürzenkästen, um die Rauchschrürzentücher nahe genug aneinanderführen zu können (**Bild 2**). Darüber hinaus wurde mit einem für diesen Einsatzzweck neu entwickelten Scharnier eine Verbindung benachbarter Ballastschienen ermöglicht. Dieses Scharnier lässt eine geringe Bewegung der beiden verbundenen Rauchschrürzen in vertikaler und horizontaler Richtung zu, um mögliche Asynchronitäten beim Ausfahren auszugleichen. Es verhindert aber gleichzeitig, dass die benachbarten Rauchschrürzen auseinandependeln können.

Ingenieurmäßige und ökonomische Lösung im Blick

Mit der Herausgabe der Technischen Regeln für Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen (TRStrab BS) im Juni 2014 ist die Erstellung eines Brandschutzkonzeptes und die brandschutztechnische Aufrüstung auch für Bestandsanlagen verpflichtend. Diese Aufgabe ist anspruchsvoller als beim Neubau, denn bei der Nachrüstung muss mit den Randbedingungen der bestehenden Anlage gearbeitet werden. In diesem Fall wird von der STUVAtec ebenfalls zuerst mit einer Räumungsberechnung und einer Brandsimulation begonnen. Werden die definierten Schutzziele nicht erreicht, prüft die STUVAtec zunächst die Möglichkeiten, die sich mit relativ einfachen Mitteln umsetzen lassen. Erst wenn diese nicht ausreichen, müssen gegebenenfalls auch umfangreichere Maßnahmen mit Eingriffen in den Rohbau umgesetzt werden. So kann zum einen versucht werden, die raucharme Schicht länger aufrechtzuerhalten. Dies geschieht zum Beispiel durch die Installation von zusätzlichen Rauchschrürzen oder die Einhausung von Treppenanlagen mit Brandschutzverglasungen und Brandschutztüren. Zum anderen kann aber auch eine Verkürzung der Räumungszeit sinnvoll sein, indem den Menschen eine schnellere Flucht ermöglicht wird. Dies kann beispielsweise durch eine Verbesserung der Beschilderung erreicht werden. Die STUVAtec hat dabei stets eine ingenieurmäßige und ökonomische Lösung im Sinne des Betreibers im Blick. Voraussetzung ist jedoch immer die Erfüllung des Gesamtsicherheitsniveaus und die Zustimmung der Technischen Aufsichtsbehörde. Entsprechende ganzheitliche Brandschutzkonzepte für neue und bestehende Stadtbahnhaltestellen sowie Sicherheitskonzepte für die zugehörigen Streckentunnel wurden von der STUVAtec beispielsweise auch für die Projekte „Kombilösung Karlsruhe“, „Wehrhahn-Linie Düsseldorf“ und „Mobilitätsdrehscheibe Augsburg“ entwickelt. Außerdem hat die von der Deutschen Bahn zertifizierte STUVAtec Brandschutzkonzepte für die 2. S-Bahn-Stammstrecke München und Stuttgart 21 sowie viele weitere Anlagen der DB erstellt. 

in close collaboration with the manufacturer through optimising the smoke curtain boxes to such an extent that the smoke curtain fabrics could be placed close enough together (**Fig. 2**). Furthermore, it was possible to connect adjoining ballast rails thanks to a specially developed joint. This joint permits the two connected smoke curtains to move slightly both vertically and horizontally to compensate for possible asynchronities during the extension phase. At the same time the joint prevents neighbouring smoke curtains from swinging apart.

Engineering and economic Solution targeted

According to the technical regulations for fire protection in underground operational facilities (TRStrab BS) from June 2014, it is necessary to draw up a fire protection concept and provide technical fire-protective equipment also for existing facilities. This task is more complicated than in the case of new facilities for retrofitting has to contend with the conditions prevailing in the existing facility. In this case too, STUVAtec first starts with an evacuation concept and a fire simulation. Should the defined protective aims not be accomplished, the STUVAtec first examines the opportunities that can be fulfilled using relatively straightforward means. Should these turn out to be insufficient, more extensive measures involving the structural status must be applied. For instance, an attempt can be made to maintain the low-smoke layer for a longer period of time. This is achieved by installing additional smoke curtains or enclosing stairways with fire-protective glazing and fire-protective doors. Alternatively, it might also make sense to reduce the evacuation period by enabling people to escape more quickly. This can be achieved for instance, by improving the signs on display.

The STUVAtec is at all times concerned with arriving at an engineering and economic solution suitable for the operator. However, the prior condition is always to attain the overall safety level and the approval of the technical supervisory authority.

The STUVAtec has for example completed corresponding holistic fire protection concepts for new and existing urban transit stations and safety concepts for the appropriate running tunnels for the “Combined Solution Karlsruhe”, “Wehrhahn Line Düsseldorf” and “Mobility Hub Augsburg”. Furthermore, STUVAtec is certified by the Deutsche Bahn and has developed fire protection concepts for the 2nd S-Bahn Main Line in Munich, for Stuttgart 21 as well as for many other systems. 

**Mago -Tunnelbau-
Spezialplatten**
Lastverteilungsplatten
für den Tunnelbau



**Mago -Tunneling-
Specialboards**
Load distribution plates for
Tunnel constructions

In folgenden Objekten erfolgreich eingesetzt/
in the following objects successfully used:

**Katzenberg-Tunnel, Efringen-Kirchen,
City-Tunnel, Leipzig
Finne-Tunnel, Weimar
Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Cochem
U-Bahn-Linie 4, Hamburg
Brenner-Zulaufstrecke Nord
Sluiskil-Tunnel, Terneuzen (NL)
Stadtbahn-Tunnel, Karlsruhe
Boßlertunnel, Wendlingen-Ulm
Koralmtunnel KA T3, Steiermark
Bahn-Tunnel, Rastatt
U-Bahn-Erweiterung, Kopenhagen**

Fordern Sie Prüfzertifikate und Zeugnisse an.
Request for test-certificates and for reports.
www.holz michael.de/info@holz michael.de
Telefon: (+49) 0441/219855-0 Fax: -29

Forschung und Entwicklung

Neuer Versuchsstand für Ringspaltmörtel

Eine richtig ausgeführte Ringspaltverpressung beim Tübbingtunnel ist eine Grundvoraussetzung für einen qualitativ hochwertigen Tunnelausbau. Sie liefert aber auch einen entscheidenden Beitrag für eine hohe Vortriebsleistung beim maschinellen Vortrieb. Um die Ringspaltverpressung weiter zu optimieren hat die STUVA in Köln eine komplexe und ausgeklügelte Anlage für Versuche mit Ringspaltmörteln entwickelt. Damit unterstreicht die renommierte Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen einmal mehr ihre Bedeutung im Bereich Forschung und Entwicklung rund um Bauweisen für unterirdische Verkehrsanlagen.

Komplexe Ringspaltmörtelmischungen

Der Ringraum zwischen Tübbingausbau und umgebendem Gebirge, der durch den notwendigen Überschneidung der Tunnelvortriebsmaschine entsteht, wird mit Ringspaltmörtel verfüllt. Dieser besteht normalerweise aus Zuschlagkörnung, Zement, Wasser und gegebenenfalls Zusatzmitteln. Die richtige Mischung basiert auf Erfahrungswerten und wird zumeist nach dem Trial-and-Error-Verfahren auf der Baustelle experimentell verbessert. In den vergangenen Jahren ist die Entwicklung von Ringspaltmörteln – insbesondere durch Sonderprodukte wie Mehrkomponentenmörtel – immer komplexer geworden. Denn mittlerweile kommen viele Ersatzstoffe und Zusatzmittel zum Einsatz, die bislang hochwertigen Konstruktionsbetonen vorbehalten waren:

Research and Development

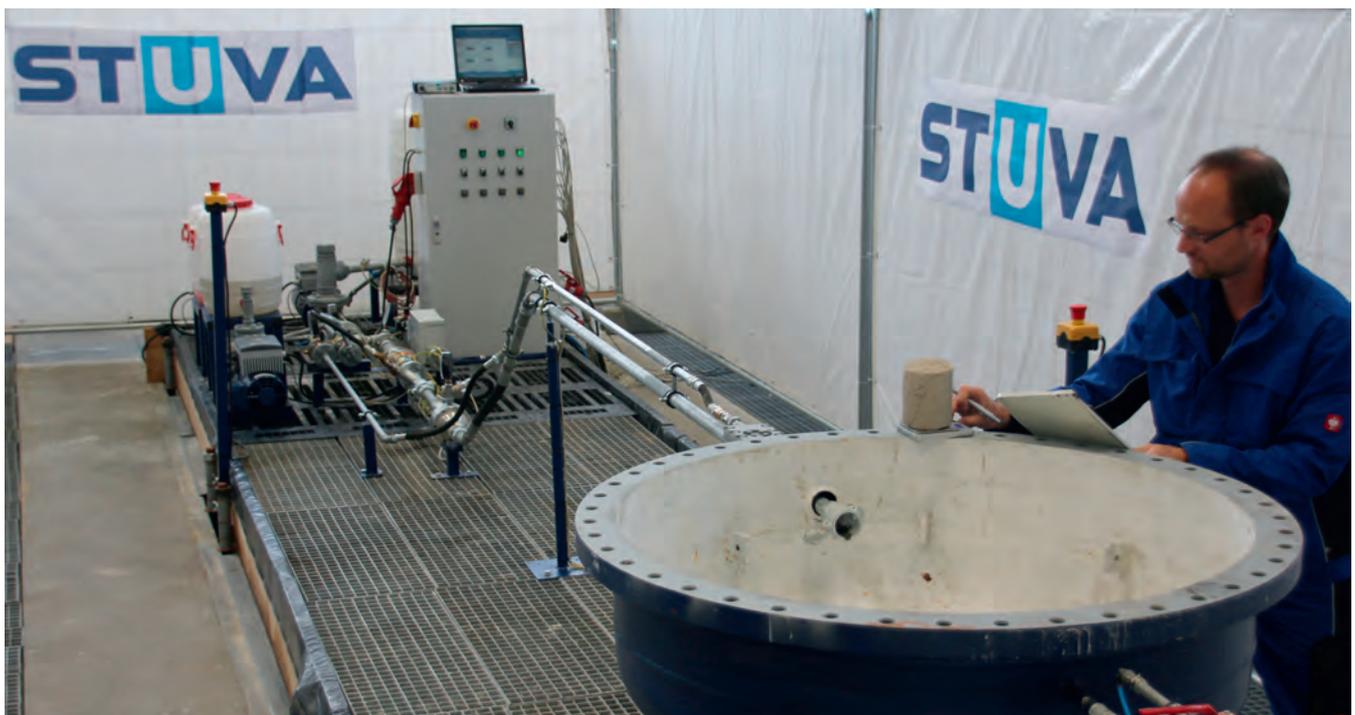
New Test Stand for annular Gap Mortars

A qualitatively high-grade tunnel lining requires the tunnel segment annular gaps to be properly grouted. At the same time, this provides a decisive contribution to a high rate of advance during mechanised excavation. The STUVA in Cologne has devised a complex and intricate unit for testing annular gap mortars in order to ensure that annular gap grouting is further optimised. In this way, the renowned Research Association for Tunnels and Transportation Facilities has again emphasized its significance in the field of R + D for constructing underground transportation facilities.

Complex annular Gap Mortar Mixes

The annular gap between the segment lining and the surrounding soil, which results from the necessary overcut caused by a tunnel boring machine, is filled with annular gap mortar. Usually this comprises aggregate, cement, water and if need be, additives. The correct mix is based on reference values and is normally improved experimentally on-site by trial and error.

In recent years, the development of annular gap mortar – particularly using special products such as multi-component mortars – has become increasingly complex. After all, in the interim many substitutes and additives are being used, which were previously only applied for high-grade structural concretes:



1 Der neue Versuchsstand für Ringspaltmörtel
The new test stand for annular gap mortars



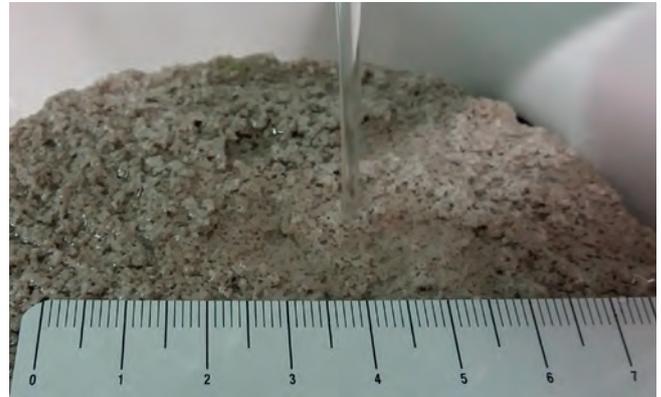
2 Komplexe Fördertechnik und genaue Messwertaufnehmer garantieren reproduzierbare Ergebnisse

Complex conveying technology and precise measurement elements assure reproducible results

- Flugaschen und Gesteinsmehle,
- Beschleuniger zur Erhöhung der Frühfestigkeit,
- Schaumbildner zur Beeinflussung von Porosität und Dichte oder
- Viskositätsmodifizierer (VMA, Viscosity Modifying Admixtures) und Fließmittel zur Anpassung der Fließfähigkeit.

Breites Spektrum an Testparametern

Mit Hilfe des neuen STUVA-Versuchsstands für die Ringspaltverpressung (**Bild 1**) können nicht nur konventionelle Ringspaltmörtel untersucht, sondern auch der Einfluss der einzelnen Komponenten für innovative Entwicklungen systematisch analysiert werden. So sind gezielte Optimierungen möglich, die im Rahmen von Baustellenversuchen zu umfangreich oder zu zeitaufwändig wären. In der Anlage können beispielsweise sämtliche Mörtelkomponenten volumen- und druckmäßig aufeinander abgestimmt und messtechnisch überwacht werden (**Bild 2**). Derzeit ist die Testanlage der STUVA auf vier Komponenten ausgelegt: dem Mörtel bzw. der Zementleimkomponente können bis zu zwei Additivströme sowie druck- und volumendosiert Druckluft zugegeben werden. Der Versuchsstand ist modular aufgebaut, sodass Bauteile einfach gegeneinander ausgetauscht werden können. Dazu zählen etwa die Verpresspumpen, die Querschnitte der Förderleitung oder auch die Additiv-Zugabeeinrichtungen. Auch der Querschnitt und die Länge der Lisenen, durch die der Mörtel beim Vortrieb in den Ringraum gedrückt wird, sind einfach zu variieren. Diese Lisenen münden in der Versuchsanlage in einen Druckkessel: Hier wird der Gegendruck im realen Ringraum durch einen künstlichen Druck im Kessel simuliert, der sich aktiv beeinflussen lässt. Zusätzlich können in den Kessel Filterelemente eingebaut werden, um die Gebirgsdurchlässigkeit zu modellieren und die Auswirkungen der Mörtel Eigenschaften auf das Dränierungsverhalten – mit dem Ziel einer frühen Festigkeitsentwicklung – zu untersuchen. Eine Besonderheit stellt ferner die Möglichkeit zur Herstellung von Probekörpern dar: diese können nicht nur unter atmosphärischen Druckbedingungen, sondern auch unter Gegendrücken von bis zu 10 bar entnommen werden.



3 Der neu entwickelte Ringspaltmörtel ist extrem wasserdurchlässig

The newly developed annular gap mortar is extremely water permeable

- Fly ashes and rock flours,
- Accelerators to enhance the early setting strength,
- Foamers to influence porosity and density or
- Viscosity modifying admixtures (VMA) and plasticizers to adjust flowability.

Wide Range of Test Parameters

Thanks to the new STUVA test stand for annular gap grouting (**Fig. 1**) it is possible to examine conventional annular gap mortars. In addition, the influence of the individual components for innovative developments can be analysed systematically. In this way, targeted optimisations are feasible, which would otherwise be too complicated or time-consuming within the scope of site tests. The unit makes it possible for example to ensure that all mortar components are geared to one another in terms of volume and pressure and monitored metrologically (**Fig. 2**). Currently the STUVA test unit is geared to four components: the mortar or cement components can have up to two additives fed to them as well as compressed air dosed according to pressure and volume.

The test stand has a modular setup so that components can easily be replaced if need be. These include the grouting pumps, the delivery line cross-sections and also the additive feeding devices. Furthermore, the cross-section and lengths of the grout supply lines, through which the mortar is injected into the annular space during the excavation, can easily be varied. At the test stand these grout supply lines lead into a pressure tank. Here the counter-pressure in the actual annular space is simulated by means of artificial pressure, which can be actively influenced.

Furthermore, filter elements can be installed in the pressure tank so that the rock permeability is modelled and to investigate the effects of the mortar characteristics on the drainage conditions – aimed at early strength development. A special feature here involves the creation of specimens: these can be obtained under atmospheric pressure conditions as well as given counter-pressures of up to 10 bar.

Anwendungsbeispiel: Wasserdurchlässiger Ringspaltmörtel

Derzeit wird mit finanzieller Unterstützung durch das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) auf der neuen Anlage ein wasserdurchlässiger Ringspaltmörtel entwickelt. Der Einsatz eines derartigen Spezialmörtels bietet sich beim Tunnelbau im Festgestein immer dann an, wenn hohe Gebirgswasserdrücke auftreten und somit eine druckdichte Ausführung der Tunnelschale wegen der hohen Lasten aus Wasserdruck zu sehr dicken Tunnelschalen führen würde. Das Gebirgswasser wird dann durch den wasserdurchlässigen Mörtel (**Bild 3**) außen an der tragenden und wasserdichten Tübbingschale vorbei- und am Fußpunkt der Schale abgeführt – ähnlich wie bei der sogenannten Regenschirmabdichtung in der Spritzbetonbauweise. Bei der Entwicklung eines solchen Mörtels ist zu beachten, dass dieser trotz hoher Wasserdurchlässigkeit noch gut pumpbar sein muss – zwei Anforderungen, die allerdings in direkter Konkurrenz zueinander stehen. Die bisher erzielten Ergebnisse sind sehr vielversprechend. 

Example of Application: Water-permeable annular Gap Mortar

At present, a water-permeable annular gap mortar is being developed using the new test unit with the financial support of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). The application of a special mortar of this kind is always given during tunnelling in hard rock with high underground water pressures (on account of the high water pressures pressure-tight execution of the tunnel shell would lead to an excessively thick shell). The underground water is conducted through the water-permeable mortar (**Fig. 3**) externally passing the supporting, watertight segmental lining and run off at the bottom of the lining – in similar fashion to so-called umbrella seals employed during shotcreting. When a mortar of this kind is developed, it must be observed that it remains easily pumpable in spite of the high water permeability – two requirements, which actually directly oppose each other. The results obtained so far are highly promising. 

Jubililar

Dipl.-Ing. Edgar Schömig 60 Jahre

Dipl.-Ing. Edgar Schömig feierte Anfang Oktober 2016 seinen 60. Geburtstag. Schömig ist Mitglied im Vorstand der Ed. Züblin AG und der STRABAG AG Österreich. Zudem ist er Technischer Unternehmensbereichsleiter Tunnelbau und International der STRABAG SE. Seit dem Jahr 2005 ist er im Vorstand der STUVA tätig und zuletzt 2013 von der Mitgliederversammlung für weitere vier Jahre in seinem Amt bestätigt worden. Darüber hinaus engagiert sich Schömig seit 2003 im Deutschen Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) und war von 2003 bis 2011 auch Vorsitzender der Bundesfachabteilung Unterirdisches Bauen im Hauptverband der deutschen Bauindustrie. Das STUVA-Team sendet herzliche Glückwünsche zu diesem Ehrentag. Wir freuen uns über die vielen Ideen und Anregungen, die Edgar Schömig in die STUVA-Arbeit einbringt und sind froh ihn zum STUVA-Kreis zählen zu dürfen. Bei dieser Gelegenheit sagen wir ganz herzlich Danke für sein Engagement für die Belange der STUVA und das unterirdische Bauen. 



Dipl.-Ing. Edgar Schömig

Jubilarian

Dipl.-Ing. Edgar Schömig turned 60

Dipl.-Ing. Edgar Schömig celebrated his 60th birthday at the beginning of October 2016. Schömig is member of the Ed Züblin AG board and the STRABAG Österreich board. In addition he heads the STRABAG SE company division for tunnelling and international activities. Since 2005, he has been a member of the STUVA board. In 2013, he was confirmed in office for a further four years by the general assembly. Furthermore, Schömig has been involved in the German Tunnelling Committee (DAUB) since 2003 and was chairman of the federal department for underground construction of the Central Federation of the German Construction Industry from 2003 to 2011.

The STUVA team would like to convey their best wishes to mark the occasion. We have been delighted by the many ideas and suggestions that Edgar Schömig has contributed to the STUVA's activities and are glad to number him among our associates. We take

advantage of this opportunity to express our deep gratitude for his engagement on behalf of the STUVA and underground construction. 

Veranstaltung

STUVA-Tagung 2017 in Stuttgart: Internationales Forum für Tunnel und Infrastruktur

Vom 6. bis 8. Dezember 2017 ist die internationale Gemeinschaft der Tunnelbauer wieder eingeladen zur STUVA-Tagung. Im Zusammenhang mit dem Mega-Projekt Stuttgart-Ulm wurde als Veranstaltungsort für das Jahr 2017 erneut Stuttgart ausgewählt. Bei der letzten STUVA-Tagung 2015 in Dortmund trafen sich 1850 Tagungsteilnehmer aus der ganzen Welt, und 165 ausstellende Fachfirmen präsentierten ihre Produkte und Leistungen im Rahmen der STUVA-Expo auf rund 6000 m² Ausstellungsfläche.

Fachvorträge, STUVA-Expo und Exkursionen

Die tagungsbegleitende Ausstellung findet parallel zur Vortragsreihe statt. Nach der erfolgreichen Einführung in 2015 gliedert sich die Vortragsreihe wieder in die zwei Segmente „Tunnelbau“ und „Tunnelbetrieb“, mit zusammen mehr als 60 Fachvorträgen an zwei Veranstaltungstagen. Der dritte Tag bietet mit einer Reihe von Fachexkursionen Gelegenheit zur vertieften Einsichtnahme in die Baustellen des Projektes Stuttgart-Ulm und weiterer thematisch verbundener Exkursionsziele in Stuttgart und Umgebung. Auf Grund ihrer herausragenden Bedeutung für

Event

2017 STUVA Conference in Stuttgart: International Forum for Tunnels and Infrastructure

The international tunnelling community will again assemble to attend the STUVA Conference from December 6 to 8, 2017. In conjunction with the Stuttgart-Ulm mega project, Stuttgart was once again selected as the venue for the gathering in 2017. 1850 conference participants from all over the world visited the previous STUVA Conference in Dortmund in 2015. Furthermore, 165 firms exhibited their products and services within the scope of the STUVA Expo covering around 6000 m² of floor space.

Lectures, STUVA Expo and Excursions

The exhibition accompanying the conference is held parallel to the series of lectures. After being successfully introduced in 2015, the series of papers is divided into two segments “Tunnelling” and “Tunnel Operation”, involving more than 60 lectures delivered over two days. Day 3 offers a series of excursions, which enables those taking part to consolidate their

knowledge of the construction sites of the Stuttgart-Ulm project and further locations dealing with related topics in Stuttgart and its environs. On account of its outstanding significance for the



Kategorie	Frühbucher	Normal
	Anmeldung bis 30.09.2017 ⁽¹⁾	Anmeldung ab dem 01.10.2017 ⁽¹⁾
STUVA-Mitglieder ⁽²⁾	390,- €	440,- €
Nicht-Mitglieder	490,- €	540,- €
Studenten ⁽³⁾	50,- €	50,- €
Festabend (Inkl. Essen und Getränke; Preis inkl. 19 % Ust.)	75,- €	75,- €

⁽¹⁾ Eingang der Anmeldung bei der STUVA; bei Vor-Ort-Registrierung erheben wir einen Aufschlag in Höhe von 30 Euro auf den Normaltarif.
⁽²⁾ Mitarbeiter von Firmen/Institutionen, die STUVA-Mitglied sind.
⁽³⁾ Kopie des Studentenausweises ist vorzulegen.

Der Mitglieder-Tarif wird ausschließlich Beschäftigten von STUVA-Mitgliedsfirmen gewährt. Bei ungerechtfertigter Inanspruchnahme erfolgt eine entsprechende Nachforderung. Mitgliedsfirmen, die mehr als 15 Teilnehmer registrieren, wird ab dem 16. Teilnehmer auf Anfrage im Nachgang ein zusätzlicher Rabatt in Höhe von 10 % auf die Tagungsgebühr gewährt. Vertretern der Fachpresse kann auf Anfrage und gegen Vorlage des Presseausweises kostenfreier Zutritt zu den Vortragsveranstaltungen sowie zur Fachausstellung gewährt werden (jeweils eine Person je Verlag).

Category	Early bookers	Normal
	Registered by 30.09.2017 ⁽¹⁾	Registered from 01.10.2017 ⁽¹⁾
STUVA-members ⁽²⁾	390,- €	440,- €
Non-members	490,- €	540,- €
Students ⁽³⁾	50,- €	50,- €
Gala evening (incl. food and drinks; price incl. 19 % VAT)	75,- €	75,- €

⁽¹⁾ Receipt of registration by STUVA; registration at venue entails a surcharge of 30 euros added to the regular tariff
⁽²⁾ Members of companies/institutions, which are STUVA members
⁽³⁾ Please provide copy of student ID card

The members' tariff is exclusively granted to employees of STUVA member companies. An extra charge will subsequently be levied on non-entitled participants. Member firms registering more than 15 participants are entitled to an additional discount amounting to 10 % of the conference fee as from the 16th participant. This discount is granted on request, following the event. Members of the trade press are admitted free-of-charge to the series of lectures as well as to the exhibition upon request after displaying a press card (one person per organisation).

die Branche begleiten das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) und die International Tunnelling and Underground Space Association (ITA) die STUVA-Tagung weiterhin als ideale Unterstützer.

Call for Papers im Dezember 2016

Anfang Dezember dieses Jahres wird der „Call for Papers“ an die Mitglieder der STUVA versendet. Das Programmheft erscheint voraussichtlich im Juni 2017, und zu diesem Zeitpunkt wird auch die Online-Anmeldung freigeschaltet. Informationen zur Veranstaltung finden Sie unter www.stuva-tagung.de und www.stuva-expo.de. Auf diesen Webseiten können Sie sich bereits jetzt für die Zusendung des Tagungsprogramms registrieren oder Ausstellerunterlagen anfordern. 

Kontakt für Teilnehmer Contact for participants

Stefanie Posch
STUVA e. V.
Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln/Cologne, Germany
Phone: +49 (221) 5 97 95-11
E-Mail: s.posch@stuva.de

industry, the STUVA Conference will continue to be backed by the Federal Ministry for Transport and Digital Infrastructure (BMVI), the Federal Highway Research Institute (BASt), the German Tunnelling Committee (DAUB) and the International Tunnelling and Underground Space Association (ITA).

Call for Papers in December 2016

The “call for papers” will be sent to STUVA members in early December this year. The programme is due to be released in June 2017 at the same time as the online registration facility is opened. You can find out more about the event by accessing www.stuva-tagung.de and www.stuva-expo.de. You can now register to receive the conference programme or request exhibition documents via these websites. 

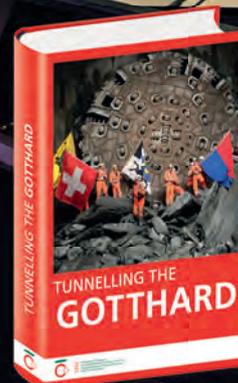
Kontakt für Aussteller Contact for exhibitors

Heiko Heiden
deltacom projektmanagement GmbH
Gertigstr. 59
22303 Hamburg, Germany
Phone: +49 (40) 35 72 32-0
E-Mail: heiden@deltacom-hamburg.de

GOTTHARD BASE TUNNEL – THE LONGEST RAILWAY TUNNEL IN THE WORLD

The key structure of the new transalpine rail link through Switzerland and a testimony to the competence, performance, far-sightedness and innovation vigour of Switzerland:

57 km long  152 km tunnel system  Rock overburden of 2,300 metres  28.2 million t of excavated material – fives times as much as the pyramid of Cheops  Construction period of more than 20 years: 1992–2015 Tunnel boring machines: open gripper machines, more than 400 m long Innovation in tunnelling technology, concreting and waterproofing systems and material handling Precision work: deviations in centimetres for the main breakthrough on 15 October 2010 Opening: 1 June 2016 – on schedule Start of regular services: December 2016 In the future: 325 trains per day



Tunnelling the Gotthard

Published by the STS
Swiss Tunnelling Society

about 700 pages, hardcover
page marker ribbon, book
pocket with inserts

Gütersloh 2016

ISBN: 978-3-033-05803-3

Workshop: Tunnelbau in Störungszonen

Technische Universität Graz,
Österreich
25.11.2016

Kontakt:

Tel.: +43 316/873-8114
tunnel@tugraz.at
www.tunnel.tugraz.at

24th Annual Microtunneling Short Course

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

+ Pilot Tube Seminar (06.02.)**Contact:**

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

Contact:

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

SEE tunnel Zagreb 2017

7th International Symposium on Tunnels and Underground Structures in South-East Europe
04.–05. 05.2017,
Sheraton, Zagreb, Croatia

Contact:

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

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner
Institut für unterirdisches Bauen,
FH Münster
tunnel@fh-muenster.de
www.fh-muenster.de/tunnel

 **BGL** 2015
BAUGERÄTELISTE

NEU

NEUAUFLAGE 2015

Jetzt neu

Die BGL Baugeräteleiste mit den Mittleren Neuwerten 2014 – als Buch, Online-Version und csv-Daten

BGL 2015 Online

immer auf dem neuesten Stand
EUR 299,00 p.a.

Bestellen bei Profil-Buchhandlung im Bauverlag

Bauverlag BV GmbH
Avenwedder Straße 55
33311 Gütersloh

Tel.: 05241 80 88957
profil@bauverlag.de
www.profil-buchhandlung.de/bgl

JETZT BESTELLEN!

 **PROFIL**
BUCHHANDLUNG IM BAUVERLAG

 **DIE DEUTSCHE BAUINDUSTRIE**
BAUEN UND SERVICES

bau|||verlag
Wir geben Ideen Raum

Swiss Tunnel Congress 2017

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

Contact:

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

Contact:

NFF – Norwegian Tunnelling Society

Tel.: +47 67/57 11 73

nff@nff.no

www.tunnel.no

www.wtc2017.com

Shotcrete for Underground Support XIII

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
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

STUVA-Tagung/ 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

bau | | verlag

We give ideas room to develop

www.bauverlag.de

tunnel 35. Jahrgang / 35th 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, 19th Floor, New York, NY 10001
Phone: 001-212-896-3881,
Fax: 001-212-629-3988,
E-Mail: detleffox@comcast.net

Geschäftsführer / Managing Director:

Karl-Heinz Müller
Phone: +49 5241 80-2476

Verlagsleiter / Publishing Director:

Markus Gorisch
Phone: +49 5241 80-2513

Abonnentenbetreuung & Leserservice /

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

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

Marketing & Vertrieb /

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

Bezugspreise und -zeit / Subscription rates and period:

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

Inland / Germany	€ 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 Bauerlages 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 (IWW) Printed in Germany
H7758



tunnel eMagazine



TO ORDER

CALL US

+49 5241 80-90884

OR SEND US AN EMAIL

customer-service@bauverlag.de

Subscribe
NOW!

tunnel

Official Journal of the STUVA



Taixi High Speed Railway Tunnel (L: 4850 m, D: 12.14 m)

Cutting tools



17", 19", 21" disc

Inserted Blade Cutter

Center Single Cutter



CREG Underground Solution

+ China:
 Contact: 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
 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
 Phone: +49 2431 9011 533
 Address:
 CREG TBM Germany GmbH
 Jülicherstraße 10-12
 41812 Erkelenz
 Germany