

# tunnel

4  
June

Offizielles Organ der STUVA · Official Journal of the STUVA

2012

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



**bau || || verlag**  
Wir geben Ideen Raum

ITA/WTC 2012: Segmental Ring Design with High Tunnel Diameters  
STUVA Working Group: Report on Tunnel Redevelopment  
Switzerland: Renovation of the Lucerne City Ring

# tunnel 4/12

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



Mit dem Durchschlag des Maschinenvortriebes für den Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel in Cochem/D wurde ein wesentlicher Schritt zur Umsetzung des heute für Eisenbahntunnel geforderten Sicherheitsniveaus vollzogen, Seite 50 ff.

The breakthrough of the mechanised drive for the New Kaiser Wilhelm Tunnel represented an important step towards applying the safety level required nowadays for railway tunnels, see pp 50.

## Title

Großbrandversuch in 2011, dessen Ergebnisse auf der Internationalen SOLIT-Konferenz am 27. und 28. Juni 2012 in Berlin vorgestellt werden.

Major Fire Test undertaken in 2011, which results will be presented on the International SOLIT Conference held on June 27 and 28, 2012 in Berlin.

(Photo: Fogtec)

<b>Aktuelles / Topical News</b>	<b>2</b>
<b>Hauptbeiträge / Main Articles</b>	
<b>Herausforderungen an das Tübbingdesign bei einem Tunneldurchmesser über 19 m</b>	<b>10</b>
Segmental Ring Design – New Challenges with High Tunnel Diameters F. Grübl	
<b>Sachstandsbericht: Sanierung von Eisenbahntunneln</b>	<b>26</b>
Report on Redeveloping Railway Tunnels S. Simon	
<b>Gesamterneuerung Cityring Luzern</b>	<b>38</b>
Total Renovation of the Lucerne City Ring M. Neidhart, F. Koch	
<b>Kaiser-Wilhelm-Tunnel: Unterfahrung der Oberstadt Cochems im EPB-Modus</b>	<b>50</b>
Kaiser Wilhelm Tunnel: Undertunnelling Uptown Cochem in EPB Mode B. Tauch, D. Handke, M. Reith	
<b>Baumaschinen / Construction Equipment</b>	
<b>Druckwasserstollen für Pumpspeicherkraftwerk in Kärnten / A</b>	<b>60</b>
Pressure Water Tunnel for pumped-storage Power Plant in Kärnten / A	
<b>Informationen / Information</b>	
<b>Veranstaltungen</b>	<b>63</b>
Events	
<b>Inserentenverzeichnis</b>	<b>64</b>
Advertising list	
<b>Impressum</b>	<b>64</b>
Imprint	

## Schweiz

**Durchschlag in Limmern**

Im Rahmen des Projektes Linthal 2015 wird die Kapazität der Kraftwerke Linth-Limmern AG durch den Neubau des Pumpspeicherkraftwerks Limmern um 1000 MW vergrößert; zur Zeit erzeugen ihre bestehenden Wasserkraftwerke Muttsee, Tierfehd und Linthal (Kanton Glarus, Ostschweiz) zusammen 480 MW Energie. Zu den Kernstücken des Großprojektes gehören 2 Druckstollen von je 1030 m Länge; sie werden von der Maschinenkaverne (1700 m ü.M.) mit einer Steigung von 40° (84,7%) zur 600 m höher gelegenen Schieberkammer am Muttsee gebohrt; die Trasse verläuft bei Überdeckungen von bis zu 565 m vorwiegend im Quintnerkalk bei Gesteinseigenschaften bis 120 MPa. Das maschinelle bergauf Fräsen dieser Druckschächte ist keine alltägliche Aufgabe für eine Tunnelbohrmaschine (TBM). Bis Mitte Oktober 2011 hatte eine Gripper-TBM (S-575 Herrenknecht AG) mit 5,20 m Bohrdurchmesser

eine der beiden Druckschächte für das neue Pumpspeicherkraftwerk Limmern bei Vortriebsleistungen bis über 130 m/Woche hergestellt. Der Vortrieb für den zweiten Druckschacht hat im Februar begonnen. Im Jahr 2015 will man das neue Kraftwerk in Betrieb nehmen. Um bei der hier großen Steigung ein Abrutschen der TBM beim Umsetzen der Gripper zu verhindern, wurde ein innovatives Sicherheitskonzept entwickelt. Die eingesetzte Vortriebsmaschine (automatisches mechanisches Verkeilen), von denen in jedem Betriebszustand (Vortrieb, Stillstand und Umsetzen) immer mindesten 2 unabhängig von einander aktiv sind; damit kann ein Zurückrutschen der 130 m langen und 800 t schweren Vortriebsvorrichtung sicher verhindert werden – selbst bei einem Ausfall der Energieversorgung und der Hydrauliksysteme. G.B.



## Switzerland

**Breakthrough in Limmern**

Within the scope of the Linthal 2015 project, the capacity of the Linth-Limmern AG Power Station is being augmented by 1,000 MW through adding the Limmern pumped-storage hydro station. At present the existing hydro power plants Muttsee, Tierfehd and Linthal (Canton of Glarus, East Switzerland) provide a joint output of 480 MW. The core elements of this major project are 2 pressure tunnels each 1,030 m long. They are excavated from the machine chamber (1,700 m ASL) to the Muttsee service chamber located 600m higher. The route largely runs through Quintner Lime given rock strengths of up to 120 MPa with overburden of up to 565 m. Cutting these pressure shafts on the rise is no everyday task for a tunnel boring machine (TBM). Until mid-October 2011 a gripper TBM (S-575 Herrenknecht AG) with 5.20 m boring diameter produced one of the 2 shafts for the new Limmern pumped-storage hydro station at rates of in excess of 130 m/week.

Work on excavating the second shaft commenced this February. The new power plant is due to become operational in 2015. An innovative safety concept was developed to combat the pronounced incline to prevent the TBM from slipping when the grippers were being relocated. The tunnelling machine that is deployed possesses 3 tensioning systems (automatic mechanical blocking), of which at least 2 are always operational independent of each other in each operational mode (driving, standstill and tramming). In this way the 130 m long and 800 t heavy tunnelling machine is safely prevented from slipping backwards – even should the power supply and the hydraulic systems fail.

G.B.

**Literatur / References**

- [1] Börker, M.; Ammon, C.; Frey, C. Zugangsstollen I für Kraftwerke Linth-Limmern. Tunnel 8/2010, pp. 25-31

*ELA-Premium-Mietcontainer*  
...sind 1/2 m breiter



**ELA**  
Mobile Räume mieten  
[www.container.de](http://www.container.de)

ELA Container GmbH · Zeppelinstr. 19-21  
49733 Haren (Ems) · Tel: (05932) 5 06-0

info@container.de

VERBUNDEN  
40  
JAHRE  
SEIT 1971

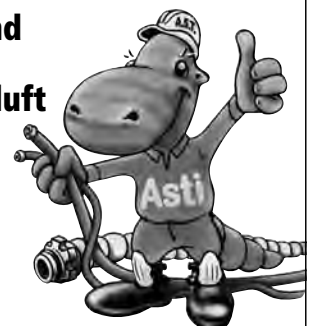


ELA-Kontakt Daten als QR-Code für Ihr Smartphone.

**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](mailto:info@astbochum.de)





## Whatever your challenges are

Im Untertagbau bietet MEYCO® weit mehr als die Maschinen und die Bauchemie für den Spritzbeton. Unsere innovativen Lösungen umfassen auch Injektionen, sowie Produkte für den passiven Brandschutz, zur Wasserabdichtung und für den maschinellen Tunnelvortrieb.

Selbstverständlich unterstützt Sie dabei unser weltweites Expertenteam.

[www.meyco.basf.com](http://www.meyco.basf.com)

 **BASF**

The Chemical Company

BASF Construction Chemicals  
Europe AG  
MEYCO Underground Construction  
Vulkanstrasse 110  
CH-8048 Zürich  
Tel. +41 58 958 22 11  
[www.basf-admixtures.ch](http://www.basf-admixtures.ch)

BASF Construction Polymers GmbH  
Geschäftsbereich Betonzusatzmittel  
Ernst-Thälmann-Str. 9  
D-39240 Glöthe  
Tel. +49 39266 98 310  
[www.basf-cc.de](http://www.basf-cc.de)

BASF Performance Products GmbH  
Niederlassung Krieglach  
Roseggerstrasse 101  
A-8670 Krieglach  
Tel. +43 3855 2371 0  
[www.basf-cc.at](http://www.basf-cc.at)

# Expanding Horizons

# Underground

**MEYCO**



## Schweiz

## Ceneri-Basistunnel: Nordvortrieb in Vigana

Ende Dezember 2011 waren bei dem im Juni 2009 begonnenen Nordvortrieb in Vigana (Camorino) wie vorgesehen 670 m des 15,4 km langen Ceneri-Basistunnels im Sprengvortrieb ausgebrochen; seit Anfang 2012 folgte der Innenausbau dieses Tunnelabschnitts. Zu den inzwischen ausgeführten Vorarbeiten in diesem Bereich gehört die schwierige Unterquerung der Autobahn A2. Am Ceneri-Basistunnel werden ab 2012 nur noch die Vortriebe ab dem Zwischenangriff in Sigirino ausgeführt. Von den rd. 40 km Tunnelröhren usw. waren Anfang 2012 16,8 km

(42,4 %) ausgebrochen; der Innenausbau läuft in beiden Röhren weiter. Die Vortriebsarbeiten sollen bis 2016 beendet sein; danach folgt der Einbau der Bahntechnik. Die Inbetriebnahme des Ceneri-Basistunnels ist für Dezember 2019 geplant – bei voraussichtlich 2,5 Mrd. CHF (rd. 2,1 Mrd. EUR) Investitionskosten. G.B.



## Switzerland

## Ceneri Base Tunnel: North Drive in Vigana

At the end of December 2011, as foreseen 670 m of the 15.4 km long Ceneri Base Tunnel had been excavated by drill+blast for the north drive started in June 2009 at Vigana (Camorino). At the beginning of 2012 work began on the inner lining of this tunnel section. The tricky undercutting of the A2 motorway is numbered among the preliminary opera-

tions undertaken in this sphere. As from 2012 only the drives from the Sigirino intermediate point of attack are to be tackled. At the beginning of 2012, 16.8 km (42.4%) of the roughly 40 km of tunnels had been excavated. The inner lining is being continued in both bores. Driving operations are due to be concluded in 2016. This will be followed by the rail technology. The Ceneri Base Tunnel is scheduled to become operational in December 2019 – involving 2.5 billion CHF (roughly 2.1 billion euros) investment costs. G.B.



### Literatur / References

- [1] Werkvertrag für das Hauptbaulos des Ceneri-Basistunnels vergeben. Tunnel 2/2010, p. 6
- [2] Rossi, D.: Ceneri-Basistunnel. Tunnel 4/2010, pp. 47 – 52
- [3] Bernardi, W.: Ceneri-Basistunnel: Stand der Arbeiten. Tunnel 4/2011, pp. 40-47
- [4] Belloli, A.; Jenni, H.: Hohe Mechanisierung für die konventionellen Hauptvortriebe des Ceneri-Basistunnels. Tunnel 4/2011, pp. 48-54

## Österreich

## Brenner Basistunnel: Erkundung der Periadriatischen Naht

Für den Bau des 64 km langen Brenner Basistunnels wird seit Ende 2011 zur Erkundung der größten Störzone der Alpen, der Periadriatischen Naht, ein etwa 2 km langer Stollen in den nächsten 2 Jahren vorgetrieben; mittels Sondierbohrungen werden die einzelnen Teilabschnitte vorerkundet und der Sprengvortrieb und die Erstsicherungen entsprechend angepasst. Außerdem werden 2 Montagekavernen für die Tunnelbohrmaschinen ausgebrochen sowie ein Verbindungsstollen

zum Hauptstollen zum Abtransport des Ausbruchmaterials während der Bauphase über Förderbänder nach Aicha. Vom Erkundungsstollen Aichamauls wurden bereits 11,5 km maschinell aufgeföhren. G.B.



## Austria

## Brenner Base Tunnel: Exploring the Periadriatic Seam

As from late 2011 a roughly 2 km long tunnel is being driven to explore the largest Alpine fault zone, the Periadriatic Seam, as part of the 64 km long Brenner Base Tunnel project. It will take some 2 years to drive; exploratory drilling will be used to

investigate the individual parts and drill+blast operations and the initial support are to be adapted correspondingly. Furthermore 2 assembly chambers for the tunnel boring machines will be excavated as well as a connecting tunnel for removing the excavated material during the construction phase via belt conveyors to Aicha. 11.5 km has already been excavated by mechanical means from the Aicha-Mauls exploratory tunnel. G.B.



### Literatur / References

- [1] Brenner Basistunnel: Zulaufstrecken und Tunnelanschlag. Tunnel 7/2011, pp. 10-11
- [2] Brenner Basistunnel: Hauptphase gestartet. Tunnel 7/2011, pp. 14-15
- [3] Bergmeister, K.: Brenner Basistunnel im Bau. Tunnel 1/2012, pp. 18-30
- [4] Bergmeister, K.; Zurlo, R.: Der Brenner Basistunnel. BrennerCongress 2012, Innsbruck, pp. 7-18

## Frankreich

**Baubeginn beim Vogesen-Tunnel**

Der 4.019 m lange Tunnel Saverne erhält 2 eingleisige Röhren, die alle 500 m durch Querschläge miteinander verbunden werden. Die Vogesen haben hier ihre schmalste Stelle. Aufgefahren werden die beiden Tunnelröhren nacheinander mit einer Tunnelvortriebsmaschine (EPB-Schild S-670 Herrenknecht) mit einem Bohrkopfdurchmesser von rd. 10 m – jede Tunnelröhre mit 52 m<sup>2</sup> Querschnitt. Der Innendurchmesser der Tunnelröhren beträgt nach dem einschaligen Ausbau mit Tübbing (80 cm, Teilung 7+1) 8,90 m. Baubeginn war Ende Oktober 2011.

Der Tunnel Saverne ist das aufwändigste Bauwerk der derzeit im Bau befindlichen Europäischen Hochgeschwindigkeitsstrecke Ost (LGV Est, Ligne à grande vitesse Est européenne), und zwar der Phase 2 (106 km) die zwischen Baudrecourt und Vendenheim nördlich von Straßburg liegt. Die Baukosten liegen bei 2 Mrd. EUR; die Strecke soll Mitte 2016 in Betrieb gehen. Die Fahrzeit zwischen Straßburg und Paris verkürzt sich dann um 30 Minuten, aber auch die Verbindung zwischen Straßburg und Luxemburg profitiert von der neuen Strecke.

G.B.  


## France

**Construction on the Vosges Tunnel started**

The 4,019 m long Saverne Tunnel will be provided with 2 single-track bores, which will be linked every 500 m by cross-passages. This is where the Vosges range is at its narrowest. The 2 tunnel bores are to be driven one after the other using a tunnelling machine (EPB shield S-670 Herrenknecht) with a roughly 10 m diameter cutterhead – each tunnel bore possesses a 52 m<sup>2</sup> cross-section. The internal diameter of the bores amounts to 8.90 m after being lined with a single segmental shell (80 cm, division 7 + 1). Work started at the end of October 2011.

The Saverne Tunnel is the most complex structure on the European high-speed route (LGV Est, Ligne à grande vitesse Est européenne) currently under construction – part of Phase 2 (106 km) located between Baudrecourt and Vendenheim north of Strasbourg. Construction costs are earmarked at 2 bn euros; the route is due to be opened in mid-2016. As a result travelling time between Strasbourg and Paris will be cut by 30 min. The connection between Strasbourg and Luxembourg will also profit from the new route.

G.B.  




**Wir können es besser. Und wirtschaftlicher.**



**Rowa vereint hohe Kompetenz im Anlagenbau und langjährige Erfahrung im Untertagebau. Intelligente Gesamtlösungen vom Vortrieb bis zur Deponie sind unser Markenzeichen: Sie garantieren eine überdurchschnittliche Betriebssicherheit und eine hohe Wirtschaftlichkeit.**

**Wir können es besser – weltweit. Das Vertrauen unserer Kunden beweist es.**

Rowa Tunnelling Logistics AG, Leuholz 15, CH-8855 Wangen SZ  
 Telefon +41 (0)55 450 20 30, Fax +41 (0)55 450 20 35  
 rowa@rowa-ag.ch, www.rowa-ag.ch

## Deutschland

## Zweite Tunnelstrecke der Wehrhahnlinie in Düsseldorf aufgefahen

Die Wehrhahnlinie, ein 300 Mio. Euro-Projekt, soll als 3,4 km lange U-Bahnstrecke den Innenstadtverkehr von Düsseldorf nach Inbetriebnahme im Jahr 2015 erheblich entlasten, denn sie wird mehrere oberirdisch verlaufende Straßenbahnverbindungen ersetzen. Dazu werden 2,3 km Tunnelröhren mit 8,30 m Innendurchmesser für später 2 Richtungsgleise

maschinell aufgefahen, und zwar nacheinander in 2 Einzelvortrieben (1298/955 m) mit derselben Tunnelvortriebsmaschine (TVM), einem Mixschild mit 9,50 m Durchmesser (S-491 Herrenknecht), 65 m Länge und 1300 t Gewicht. Der Tunnel wird mit Stahlbetontübbingen (45 cm) in 1,50 m breiten Ringen (7+1/Ring) mit konischem Schlusstein ausgebaut.

Die erste Tunnelstrecke verläuft weitgehend unter dem öffentlichen Straßenraum; nach weniger als 7 Monaten erzielte die TVM Ende September 2010 den Durchschlag. Bereits Mitte Dezember 2011 beendete dieselbe TVM den zweiten und letzten Vortriebsabschnitt dieses Projektes mit dem Durchbruch in den Zielschacht Am Wehrhahn; dabei mussten die Wände der

künftigen Bahnhöfe sowie ein zur Sicherung von Gebäuden hergestellter großer Injektionskörper durchfahren und wegen einer in unmittelbarer Nähe später geplanten Tunnelröhre zum Vermeiden von Verformungen auf einer 21 m langen Strecke Stahlübbinge eingebaut werden.

G.B.



## Germany

## Second Tunnel Section for the Düsseldorf Wehrhahn Line driven

The Wehrhahn Line, a 300 million euro Metro project, is intended

to relieve traffic in downtown Düsseldorf once it opens in

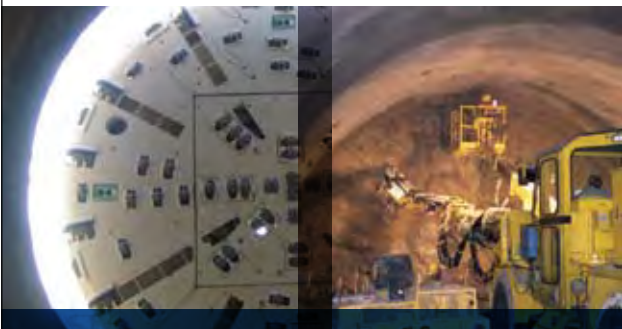
2015, for it will replace several tram routes operating on the surface. For this purpose 2.3 km long tunnel bores, each with 8.30 m diameter are being driven by mechanised means for what will later be 2 directional tracks. They are being excavated one after the other in 2 individual drives (1,298/955 m) with the same tunnel boring machine (TBM), a mix-shield with 9.50 m diameter (S-491 Herrenknecht), 65 m long and weighing 1,300 t. The tunnel is being lined with reinforced concrete segments (45 cm) in the form of 1.50 m wide rings (7+1/ring) with a conic keystone.

The first tunnel section runs largely below public roads. After less than 7 months the TBM broke through at the end of September 2010. By mid-December 2011 the same TBM accomplished the second and final driving section for this project when it entered the Am Wehrhahn target shaft. Towards this end the walls of the future stations as well as a large injection zone produced to safeguard buildings had to be penetrated and steel segments installed along a 21 m long section to avoid deformations on account of a subsequently planned tunnel bore.

G.B.



www.ilf.com



### ENGINEERING EXCELLENCE

ILF is an international engineering and consulting company and helps demanding customers successfully execute major industrial and infrastructure projects.

## TUNNELLING AND GEOTECHNICS

Design, Geology, Geotechnics, Project Management and Construction Supervision of more than 1000 km of tunnels, adits and caverns

### Milestone Projects:

- Gotthard Base Tunnel 57.0 km
- Brenner Base Tunnel 55.0 km
- Wienerwald Railway Tunnel 13.35 km
- Tunnels of the New Railway Line Ebenfeld - Erfurt 38.0 km
- Crossrail Project, Rapid transit / underground system 7.0 km
- Jubilee Line Extension Subway 16.0 km
- Pfänder Tunnel, First and Second Tube 7 km
- Landeck and Strenger Road Tunnel 12.8 km
- Channel Tunnel Crossover-Cavern 252 m<sup>2</sup>
- Sir Adam Beck Hydropower Project, Niagara Tunnel 10.4 km
- Linth-Limmern Hydropower Plant, 1.000 MW
- Atdorf Pumped Storage Plant, 1.400 MW

ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH  
Feldkreuzstrasse 3  
6063 Rum / Innsbruck, Austria  
Phone: +43 / 512 / 24 12 - 0  
Telefax: +43 / 512 / 24 12 - 5900  
Email: info.ibk@ilf.com

ILF Beratende Ingenieure AG  
Badenerstrasse 816  
8048 Zurich, Switzerland  
Phone: +44 435 37 50  
Telefax: +44 435 37 51  
Email: info.zrh@ilf.com

**ILF**  
CONSULTING  
ENGINEERS

### Literatur/References

- [1] Pähler, I.; Danieli, St.: Wehrhahn-Linie in Düsseldorf: Planung, Architektur und Ausführung. Tunnel 4/2010, pp. 53-69
- [2] Erste Tunnelstrecke der Wehrhahnlinie in Düsseldorf aufgefahen. Tunnel 4/2011, p. 18



Sandvik Maschinen für den Sprengvortrieb ...



Kompetenz im Tunnelbau

... und Teilschnittmaschinen

## Sandvik – Ihr zuverlässiger Partner für den Tunnelbau

Gewinnen Sie mit uns den Wettlauf gegen die Zeit!

Gemeinsam finden wir die für Ihre Anwendung passende Vortriebsmethode.

Basierend auf unserem umfassenden Wissen und langjähriger Erfahrung im Tunnelbau mit Sprengvortrieb oder mit Teilschnittmaschinen können wir Sie bestmöglich bei Ihren Tunnelbauprojekten beraten und unterstützen.

Sandvik – Kompetenz im Tunnelbau!

SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION CENTRAL EUROPE GMBH D-45356 ESSEN DEUTSCHLAND  
TEL +49 (0) 201-1785-300 [www.construction.sandvik.com](http://www.construction.sandvik.com)



# Fachmesse Ingenieurbau

Bauwerksinstandsetzung

**econstra**<sup>®</sup>  
expo of construction engineering

Hotline: +49 7422 - 991659 - 0

**MESSE FREIBURG**  
25.-27. Oktober 2012

## Wissen, was läuft!

Genau davon profitieren Sie als **Fachbesucher** auf der **econstra!**

Europas erste Fachmesse für den Ingenieurbau ist die Top-Wissensbörse, von den wertvollen Kontakten ganz zu schweigen.

Heute wissen,  
was morgen läuft.

### Kontakt:

+49 7422 - 991 659-0  
[www.econstra.de](http://www.econstra.de)

[www.sparkdesign.de](http://www.sparkdesign.de)

Nehmen Sie teil an unseren informativen Seminaren mit hochkarätigen Referenten.

**Kongress  
Ingenieurbautage**  
[www.ingenieurbautage.de](http://www.ingenieurbautage.de)

### Deutschland

## Neuer Kaiser-Wilhelm-Tunnel

Der über 4,2 km lange zweigleisige Kaiser Wilhelm-Tunnel (1877) zwischen Cochem und Ediger-Eller musste saniert werden. Deshalb wurde dazu in etwa 15 m Abstand ein neuer Kaiser Wilhelm-Tunnel gebaut, nach dessen Inbetriebnahme wird der Bestandstunnel saniert und danach beide Tunnel eingleisig betrieben.

Mit dem Bau des neuen Tunnels mit einschaligem Tübbingausbau wurde im Mai 2010 am Südportal Ediger-Eller in Richtung Cochem begonnen; der Durchschlag fand am 7. November 2011 nach 547 Tagen und 4.242 m in Cochem statt. Eingesetzt war dafür eine Tunnelvortriebsmaschine

(S-547 Herrenknecht) mit rd. 10 m Bohrkopfdurchmesser. Fast 1 Mio. t Gestein wurde ausgebrochen, auf der Schiene abgefahren und im Westerwald zur Renaturierung einer Tongrube eingesetzt.

Nach Ausbau des neuen Kaiser Wilhelm-Tunnels und Herstellen von 8 begehbaren Stollen (Querschlägen) zum Bestandstunnel werden Ende 2012 die ersten Züge durch den neuen Tunnel fahren. Danach wird der alte Kaiser Wilhelm-Tunnel saniert und ab 2015 dann beide Tunnel eingleisig genutzt. Insgesamt werden rd. 200 Mio. EUR investiert.

G.B.



### Germany

## New Kaiser Wilhelm Tunnel

The more than 4.2 km long twin-track Kaiser Wilhelm Tunnel (1877) between Cochem and Ediger-Eller had to be redeveloped. As a result it was decided to build a new Kaiser Wilhelm Tunnel set some 15 m away. After it is commissioned the existing tunnel will be redeveloped and then both tunnels will be operated on a single-track basis.

Work on building the new tunnel with single shell lining began in May 2010 at the Ediger-Eller south portal in the direction of Cochem; the breakthrough took place in Cochem after 547 days and 4,242 m. For this purpose a tunnelling machine (Herrenknecht S-547) with a cutterhead diameter

of some 10 m was employed. Around 1 m t of rock was excavated, removed via rail and deployed in the Westerwald to renaturalise a clay quarry.

After lining the new Kaiser Wilhelm Tunnel and creating 8 accessible cross-passages connecting with the original tunnel the first trains will pass through the new tunnel at the end of 2012. Subsequently the existing Kaiser Wilhelm Tunnel will be redeveloped and both tunnels will be operated on a single-track basis as from 2015. Altogether some 200 m euros will be invested.

G.B.



### Literatur / References

- [1] Neuer Kaiser Wilhelm-Tunnel, Tunnel 4/2004, p. 6 und 8/2006, p. 9
- [2] Vergabe der Arbeiten zur Erneuerung des Kaiser Wilhelm-Tunnels, Tunnel 5/2009, p. 6
- [3] Baubeginn Neuer Kaiser Wilhelm-Tunnel. Tunnel 6/2010, p. 4

### Neue Ingenieurbau-Messe in Freiburg/D

## econstra mit Angebot im Tunnelbau

Der Ingenieurbau ist eine immer wichtiger werdende Vertiefung aus dem Baubereich, die sich mit Planung und Konstruktion, Erstellung und Erhaltung spezieller technischer Bauwerke beschäftigt. Mit der econstra und dem parallel stattfindenden Kongress der „Ingenieurbautage“ findet vom 25. bis 27. Oktober 2012 in Freiburg erstmals eine Fachveranstaltung für dieses spezielle Aufgabenfeld statt. Schwerpunkt ist neben zahlreichen Themen des Ingenieurbaus besonders die Bauwerkserhaltung. Hierbei stehen insbesondere Themen aus der Infrastruktur, dem Tunnelbau und dem vorbeugenden

Brandschutz im Fokus der Veranstaltungen. Deren Bedeutung werden auch durch die Partner der Messe betont: die Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt), die Bundesanstalt für Wasserbau (BaW), der Verband beratender Ingenieure VBI, die Bundesingenieurkammer und nicht zuletzt das Land Baden-Württemberg, das durch das Verkehrsministerium und die Regierungspräsidien vertreten wird.

Das Programm der Ingenieurbautage ist unter [www.ingenieurbautage.de](http://www.ingenieurbautage.de) zu finden, die Themen der Messe schon heute online unter [www.econstra.de](http://www.econstra.de).



### New Construction Engineering Fair in Freiburg/D

## econstra with Tunnelling Section

Engineering construction is becoming ever more important within the construction branch. It deals with planning and design, production and maintenance of special technical structures. For the first time a specialised event dealing with this particular field of activities will be held in Freiburg from October 25 to 27, 2012 in the shape of the econstra and the accompanying congress on engineering construction.

In addition to numerous engineering construction topics structural maintenance will be accorded priority. Special themes devoted to infrastructure,

tunnelling and preventive fire protection will be honed in on. The partners at the fair such as the Federal Highway Research Institute (BaSt), the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BaW), the VBI, the Federal Chamber of Engineers and of course the Transport Ministry and the regional councils of Baden-Württemberg will also emphasise their significance.

The programme for the civil engineering congress is available by accessing [www.ingenieurbautage.de](http://www.ingenieurbautage.de). The topics dealt with at the fair are already available online under [www.econstra.de](http://www.econstra.de).



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



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

**GROUTING SYSTEMS**

**HÄNY**

Häny AG • Buechstrasse 20 • CH-8645 Jona/Switzerland  
Tel. +41 44 925 41 11 • Fax +41 44 923 62 45 • [info@haeny.com](mailto:info@haeny.com) • [www.haeny.com](http://www.haeny.com)





## Herausforderungen an das Tübbingdesign bei einem Tunneldurchmesser über 19 m

Der Beitrag wurde anlässlich der 38. Jahrestagung der International Tunneling and Underground Space Association und des World Tunnel Congress 2012 in Bangkok/Thailand vorgetragen. Es ist der dritte Vortrag, der im Gedenken an Sir Alan Muir-Wood im Rahmen der Muir-Wood Lecture gehalten wurde und eine besondere Auszeichnung für den Referenten.

### 1 Einleitung

Tübbingringe zur Auskleidung von maschinell vorgetriebene Tunneln sind Stahlbetonfertigteile und bei der Konstruktion sowie Bemessung als solche zu behandeln. Da im Tunnelbau aber gewisse Besonderheiten zu berücksichtigen sind, stellt das Design von Tübbingrin-

gen Anforderungen, die ganz erheblich von denen an sonstige Stahlbetonkonstruktionen abweichen. Vor allem die Festlegung der Einwirkungen im Bau- und Endzustand und die Bettung des Gelenkringes im

Prof. Dipl.-Ing. Fritz Grübl, PSP Consulting Engineers GmbH, München/D  
info@psp-tunnel.de

## Segmental Ring Design – New Challenges with High Tunnel Diameters

The Article was held on the 38<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Tunneling and Underground Space Association and the World Tunnel Congress 2012 in Bangkok/Thailand. It was the third lecture in memory of Sir Alan Muir-Wood presented as the Muir-Wood lecture and it is a very great decoration for the speaker.

### 1 Introduction

Tunnel lining with segmental rings behind TBMs are reinforced concrete elements and must be calculated and designed according to the standards of reinforced concrete constructions.

In tunnelling, however, specific circumstances must be taken in account, which make design much more complicated: The determination of loads during ring erection, advance of the TBM, earth pressure and bedding of the articulated ring, is difficult. The ring model and the design input values must be studied carefully according to the parameters of the surrounding soil.

For utility tunnels and single rail track Metro tunnels, where the ring diameter is smaller than about 8 m, the parameters may be chosen on the "safe side", for example, the full cover can be taken as external load. For bigger tunnel diameters, more realistic soil parameters must be found and inserted in the structural design, otherwise it may be impossible to verify the tunnel lining. Several tunnels with about 15 m external diameter were already built with success. Tunnels and caverns with an diameter near 19 m, with primary shotcrete lining and concrete inner lining, were executed on several projects, too. Now a new project, the Orlovski-



1

Orlovski Tunnel (zweistöckiger Autobahntunnel) mit sechsstöckigem Gebäude

Orlovski Tunnel and a 6 Floor Apartment Building

# Perspektiven unter Tag

Die Amberg Gruppe: Einmalige Kompetenz im Untertagebau



Amberg Engineering AG  
Umfassende Ingenieurkompetenz  
im Untertagebau

Amberg Technologies AG  
Spitzentechnologie in der Mess-  
technik für den Untertagebau:  
Vorauserkundung, Bauwerks-  
überwachung, Vermessung

VersuchsStollen Hagerbach AG  
Forschungs- und Ausbildungs-  
kompetenz / Baustoffprüflabore  
/ Versuchsstollen-Anlage



Amberg Engineering AG  
Trockenloostrasse 21  
CH-8105 Regensdorf  
Telefon +41 44 870 91 11  
Telefax +41 44 870 06 20  
info@amberg.ch  
www.amberg.ch



Amberg Technologies AG  
Trockenloostrasse 21  
CH-8105 Regensdorf  
Telefon +41 44 870 92 22  
Telefax +41 44 870 06 18  
info@amberg.ch  
www.amberg.ch



VersuchsStollen Hagerbach AG  
Polistrasse 1  
CH-8893 Flums Hochwiese  
Telefon +41 81 734 14 14  
Telefax +41 81 734 14 05  
info@hagerbach.ch  
www.hagerbach.ch



Geöffnete Klappbrücke über die Neva  
Open Balance Bridge in St. Petersburg

umgebenden Boden müssen aus den Baugrundkennwerten richtig erkannt und auf das Ringmodell angesetzt werden.

Bei den im Kanal- und U-Bahnbau üblichen Durchmessern von weniger als 7 m und den meist moderaten Überdeckungen können Vorgaben gemacht werden, die auf der „sicheren Seite“ liegen. Bei größeren Durchmessern, beispielsweise für Hochgeschwindigkeits-Bahntunnel oder für mehrspurige Straßentunnel, müssen realistischere Kennwerte in die Konstruktion und die Statik eingeführt werden. Anderenfalls kann es sein, dass der Ring nicht zu bemessen ist oder unwirtschaftliche Abmessungen aus den Berechnungen ermittelt werden. Dazu kommen neuerdings die Schwierigkeiten bei der Bemessung für den Brandfall.

Der bisher größte ausgeführte, maschinell aufgefahrene und mit Tübbingen ausgekleidete Tunnel ist der Jangtse River Tunnel in Shanghai/China mit einem Ausbruchdurchmesser von 15,40 m. Momentan wird in Italien ein noch etwas größerer Autobahntunnel mit 15,50 m Ausbruchdurchmesser hergestellt (Autobahn A1, Bologna-Florenz/Italien, Gal-



Lageplan Orlovski Tunnel mit Zufahrtsrampen  
Plan View of the Orlovski Tunnel

leria Sparvo). Beim größten in Planung befindlichen, maschinell aufgefahrenen Tunnel (Neva-Autobahnunterquerung, Orlovski-Tunnel in St. Petersburg/Russland) wird der Ausbruchdurchmesser ca. 19,20 m betragen. Dies entspricht der Höhe eines sechsstöckigen Gebäudes. Die Ortsbrustfläche beträgt 284 m<sup>2</sup> (Bild 1).

## 2 Projektbeschreibung

Die Neva durchquert St. Petersburg, die zweitgrößte Stadt Russlands mit ca. 5 Mio. Einwohnern, von der Ostsee kom-

Tunnel in St. Petersburg, with an outer diameter of 18,65 m in a non-uniform soft soil strata, is in the design phase. The diameter corresponds to the height of a 6 floor building (Fig. 1).

## 2 Project description

The Neva river crosses St. Petersburg from the Baltic Sea to the harbour area east of the city

costs of approx. 1.4 Billion Euro should be refinanced by tolls.

### 2.1 Geology

The geology in the area of the Neva-crossing consists of quaternary soils, deposited by rivers during melting of the nordic glaciers at the end of the last ice age. Caused by several advances of the glaciers, the underground

and the Ladoga lake. All balance bridges are opened at certain hours, mostly during night time, to allow bigger ships coming over the Baltic Sea to reach the harbour (Fig. 2). During these periods, the Neva cannot be crossed.

The „Orlovski-Tunnel“ would improve the traffic situation reasonably, and connect the separated city areas around the clock. Bridges could be held open for longer periods and improve the continuously growing ship traffic (Fig. 3). It is planned, to build the tunnel as a „Public-Private-Partnership“ project. The building

is partly over consolidated. The strata is shown on the geological section (Fig. 4). The soil parameters in the area and above the tunnel show a very soft ground. The clayey, silty fine sands have a dead weight of  $\gamma \approx 20 \text{ kN/m}^3$ , a Young's modulus  $E \approx 10$  to  $30 \text{ MN/m}^2$ , a Poisson's ratio  $\nu \approx 0,3$  to  $0,4$ , a  $\phi \approx 20^\circ$  and a cohesion  $c \approx 15 \text{ kN/m}^2$ .

## 3 Determination of Loads

### 3.1 Earth Pressure

If a tunnel has an overburden of less than 2 times the diameter,



GUANGZHOU | SACRAMENTO | DELHI

# SWIFT EPB.

At 336 m in one month, a Robbins EPB is tunneling the Guangzhou Metro faster than any of the other 60 TBMs on-site. In Sacramento, a Robbins EPB has achieved a rate of 45 m in 24 hours — while installing PVC-lined concrete segments. And in Delhi, a Robbins EPB has advanced a record 202 m in one week—beating the rates of the other 14 machines on the Metro project.

**Full speed ahead.**

[therobbinscompany.com](http://therobbinscompany.com)  
[sales@robbinstbm.com](mailto:sales@robbinstbm.com)

**Robbins**  
GLOBAL LEADERSHIP. UNCOMMON EXPERIENCE.

mend bis zu den Hafenanlagen im Osten der Stadt und den Lagogasee. Alle Brücken über die Neva werden zu regelmäßigen Zeiten - hauptsächlich nachts - mehrere Stunden geöffnet, um auch großen Schiffen die Durchfahrt zu den Hafenanlagen zu ermöglichen (Bild 2). In diesen Öffnungszeiten kann die Neva bisher nicht überquert werden.

Der geplante „Orlovski-Tunnel“ würde die Verkehrssituation erheblich verbessern und die nachts getrennten Stadthälften verbinden. Nach der Fertigstellung könnten Fahrzeuge rund um die Uhr von einem Ufer der Neva ans andere gelangen (Bild 3). Die Brücken könnten für den ständig anwachsenden Schiffsverkehr länger als bisher geöffnet bleiben. Der Tunnel soll als PPP-Projekt (Public-Private-Partnership) hergestellt werden. Die Baukosten werden auf ca. 1,4 Mrd. Euro geschätzt und sollen sich über Mauteinnahmen rückfinanzieren.

### 2.1 Geologie

Die Geologie im Bereich der Neva-Unterquerung ist geprägt durch quartäre Sedimente die hauptsächlich durch Flussablagerung beim Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher entstanden sind. Durch mehrmaliges Wiedervordringen der Vergletscherung wurden die Böden stark belastet und sind dadurch meist überkonsolidiert. Im geologischen Längsschnitt (Bild 4) sind die unterschiedlichen Schichten dargestellt. Die Bodenkennwerte sind über die ganze Tunnelhöhe und darüber als sehr schlecht zu bezeichnen. Die tonig, schluffigen Feinsande haben überwiegend eine Wichte von  $\gamma \approx 20 \text{ kN/m}^3$ ,

einen E-Modul von  $E \approx 10$  bis  $30 \text{ MN/m}^2$ , eine Querdehnzahl  $\nu \approx 0,3$  bis  $0,4$ , ein  $\varphi \approx 20^\circ$  und eine Kohäsion  $c \approx 15 \text{ kN/m}^2$ .

## 3 Lastannahmen / Bettung

### 3.1 Lastannahmen

Bei der Tiefenlage des Tunnels im Bereich von weniger als 2 Durchmessern wird auf die volle Bodenauflast bemessen. Eine Reduzierung der vertikalen Lasten aufgrund der Silowirkung nach Terzaghi wird für den Endzustand meist nicht zugelassen. Bei ca. 22 m Überdeckung ergaben sich beim Orlovski-Tunnel maximale Auflasten von ca.  $440 \text{ kN/m}^2$ .

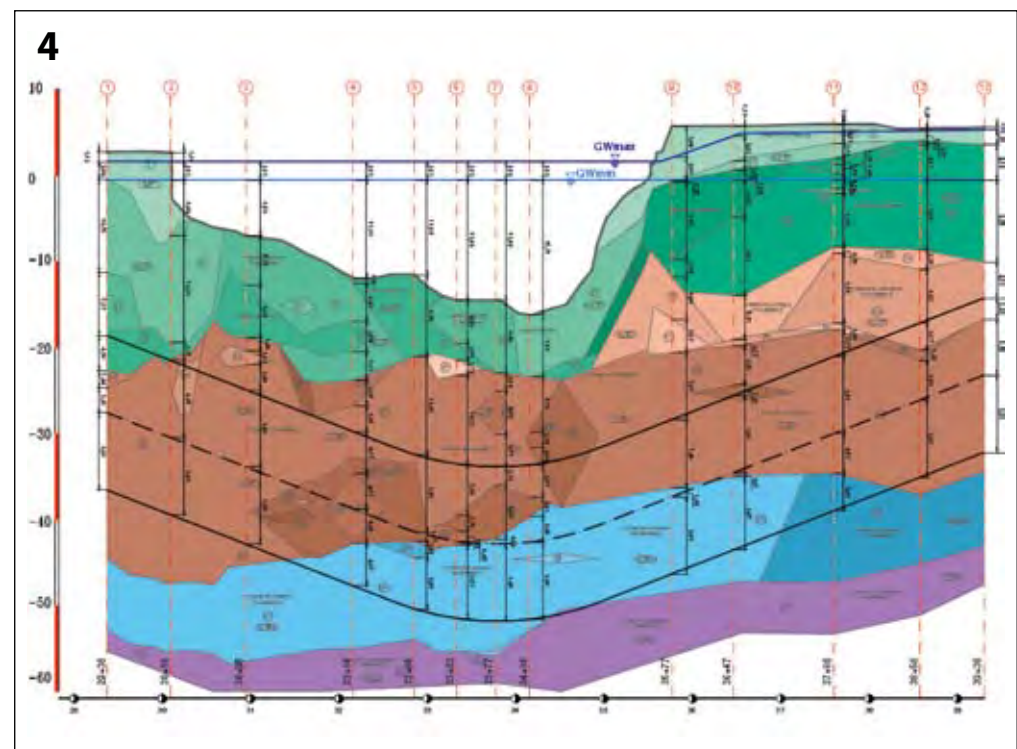
Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente zeigen, dass eine Reduzierung der Lasten um ca. 25 % durchaus möglich wäre. Dies entspricht in etwa der Terzaghi-Abminderung und wurde bei der Bemessung auch genutzt. Die

the full primary earth usually is inserted in the calculations. A reduction of the earth pressure, e.g. by using the Terzaghi theory, often is not allowed for the final state. Calculating the 22 m overburden, the maximal vertical load would be near  $440 \text{ kN/m}^2$ . Finite Element calculations show, that a load reduction of approx. 25 % should be possible. This corresponds with the Terzaghi reduction. This reduced vertical earth pressure was used for the calculations. The full cover was calculated with reduced safety factors.

For huge diameter tunnels with segmental lining, a marginal change of side pressure leads to notable changes of ring bending moments. The side pressure in most of all projects is determined by the soil angle of internal friction  $k_0$  ( $k_0 = 1 - \sin \varphi$ ). Measurements to determine the side pressure factor  $k_0$  are difficult and need elaborated

instrumentation and interpretation. For the Orlovski project the calculated  $k_0$  varies from 0.6 to 0.75. Because of possible over consolidation, a maximal  $k_0 = 1.0$  was calculated, too. Higher values are not realistic, as small soil deformations already lower the  $k_0$ -factor under 1.0.

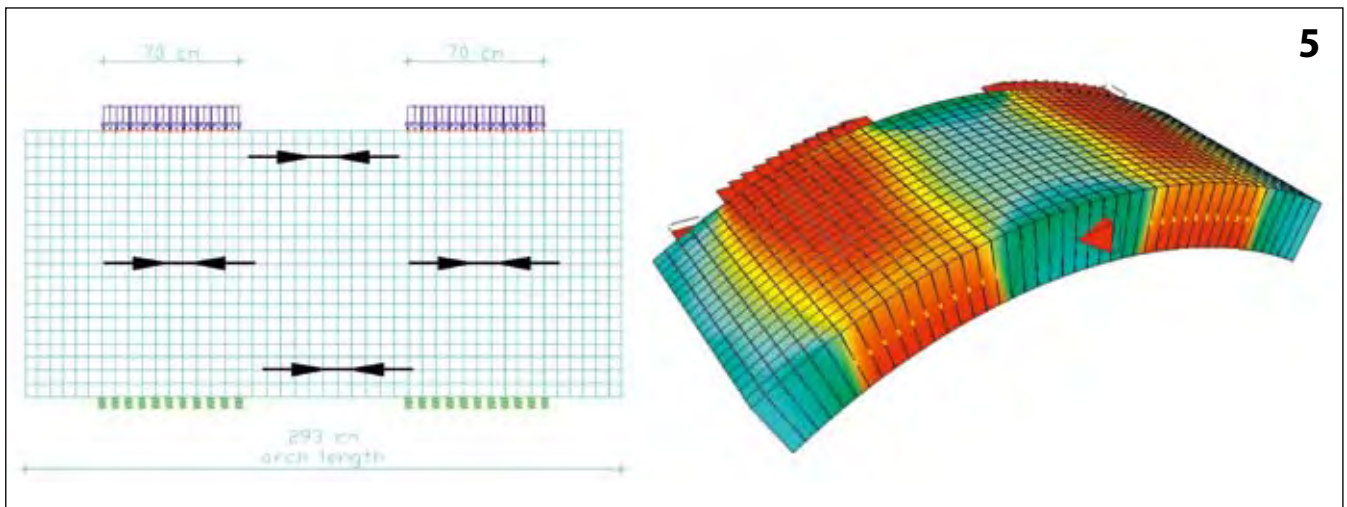
For control calculations with a 2 dimensional Finite Element Method (FEM), the release factor at the tunnel face must be calculated, too. If ground deformations must be limited, the small factor is used. This means, the slurry pressure in the cutting chamber must be high, more than 0.5 bar over the water pressure in the top area of the TBM. Only a small stress release in the ground is possible, the load on the segments is high, ground deformations are low. If higher ground settlements can be accepted, the slurry pressure can be lowered up to water pressure at the face. As a redistribution of



Geologischer Längsschnitt

Geological Longitudinal Section





Ermittlung der Spaltzugspannungen aus Vortriebspresenkräften  
Calculation of Tensile Stresses from Ram Pressure

volle Auflast wurde zusätzlich als Lastfall mit reduzierten Sicherheiten nachgewiesen.

Die horizontale Einwirkung auf den Ring wird über den Seitendruckbeiwert festgelegt. Beim Orlovski-Tunnel konnte der  $k_0$ -Wert nur über den Winkel der inneren Reibung bestimmt werden ( $k_0 = 1 - \sin \varphi$ ). In den relevanten Schichten im Bereich des Tunnels ergaben sich hieraus Seitendruckbeiwerte zwischen 0,6 und 0,75. Aufgrund der möglichen Überkonsolidierung der Böden

wurde auch mit einem Seitendruckbeiwert von 1,0 gerechnet. Höhere Seitendrucke, resultierend aus der Überkonsolidierung der Böden, müssen nicht gerechnet werden. Bei Seitendrucke über  $k_0=1,0$  bauen sich diese bereits bei geringsten Verformungen sofort auf Werte unter 1 ab. Aus der Berechnung ergab sich, dass bereits geringe Variationen des Seitendruckbeiwertes zu großen Unterschieden in den daraus resultierenden Biegemomenten führten.

loads around the tunnel is possible, a high release factor was chosen to calculate the maximal settlements. The earth loads on the lining lowers down to a minimum. For this case, the grouting pressure around the segmental lining may give the maximal load on the ring. Because of uncertain input values, the parameter studies were necessary to find a realistic load determination and to understand the specific interaction between surrounding soil and segmental lining.

### 3.2 Loads during Ring Erection and Advance

Segments already get considerable loads already during transport and ring erection. They are pulled out of the formwork when concrete hardening is in an early stage, and the segments are manipulated during stocking, transport, ring erection and advance. For the dimensioning of reinforcement, the loads during advance are often decisive.

Big tunnel diameters need big TBMs to excavate the tunnel. The foreseen slurry TBM

Stahlübblinge, Wehrbahnlinie, Düsseldorf, Deutschland



Maschinen  
Stahlbau



Dresden  
Niederlassung der Herrenknecht AG

Der Spezialist für Ihren

# Tunnelbau

Weitere Projekte finden Sie auf unserer Homepage [www.msd-dresden.de](http://www.msd-dresden.de)

Tübbingzange, Sochi, Russland





Üblicherweise wird für die Berechnung des Tübbingringes mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) eine zweidimensionale Scheibe berechnet. Auf Grund der Vereinfachungen der zweidimensionalen Scheibenberechnung wird die Lastumlagerung vom primären zum sekundären Spannungszustand nach dem Stützkern- oder Stützlastverfahren durchgeführt. Die Lastumlagerung an der Ortsbrust kann durch eine Abminderung der Steifigkeit des stützenden Kerns oder durch reduzierte Spannungen auf den Restquerschnitt simuliert werden. Zwischen Setzungsberechnung bzw. Lastumlagerungsberechnung und Tunnelbemessung muss dabei unterschieden werden. Um realistische Setzungsbeträge/ Lastumlagerungswerte zu berechnen, müssen Faktoren, wie vorauseilende Umlagerung in Tunnellängsrichtung, Auflockerung der Ortsbrust und Überschnitt der Maschine berücksichtigt werden.

Da hohe zugelassene Verformungen umfangreiche Spannungsumlagerungen im Boden verursachen, sind die verbleibenden Beanspruchungen des Tunnels gering. Beim Einsatz einer TVM mit Ortsbruststützung wird die Entspannung jedoch relativ gering ausfallen. Nach der Schilddurchfahrt wird der Boden aber durch die Ringspaltverpressung wieder vorgespannt. Mit der Aushärtung des Verpressmörtels stellen sich wieder höhere Spannungen und damit Lasteinwirkungen auf den Tübbingring ein. Um dies rechnerisch nachzuvollziehen sollten die Entspannungserscheinungen an der Ortsbrust nur mit geringen Abminderungen der Steifig-

keiten bzw. Kernspannungen in die Berechnung eingeführt werden.

Aufgrund der großen Unsicherheit bei der Festlegung der Kennwerte sowie möglicher Streuungen der Eingangsgrößen waren umfangreiche Parameterstudien erforderlich. Dadurch wurde die Bandbreite der Einwirkungen erfasst und das Verständnis für die spezifische Baugrund-Bauwerk-Interaktion erarbeitet.

### 3.2 Einwirkungen beim Transport und beim Einbau des Tübbingringes

Im Gegensatz zum Spritzbeton und Ortbeton unterliegt

with an excavation diameter of 19.2 m will have 37 double rams with about 7'000 kN advance force, each. The pressure must be absorbed by the segments in a small circumferential joint area. High tensile splitting forces must be taken by special reinforcement (Fig. 5).

### 3.3 Loads from Built-in Components and Traffic

Even in traffic tunnel, the built-in components and traffic loads are not significant for the structural analysis. The multi-level Orlovskitunnel however, has high traffic loads which are transferred to the segmental lining within small areas (Fig. 6). In the soft soil

ground, this may lead to high deformations between the segments and had to be verified in the structural analysis.

## 4 Bedding Assumptions

The longitudinal joints between the segments of a ring react as articulations. Because of the high normal forces, bending moments can be transferred over the joints, but the stability of the ring depends on bedding reactions. The bedding parameters are calculated from the Young's modulus of the surrounding soil. Even if powerful calculation methods exist, e.g.

$$\frac{E_s}{E} = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}$$

FEM-calculations, the determination of correct bedding parameters may be difficult.

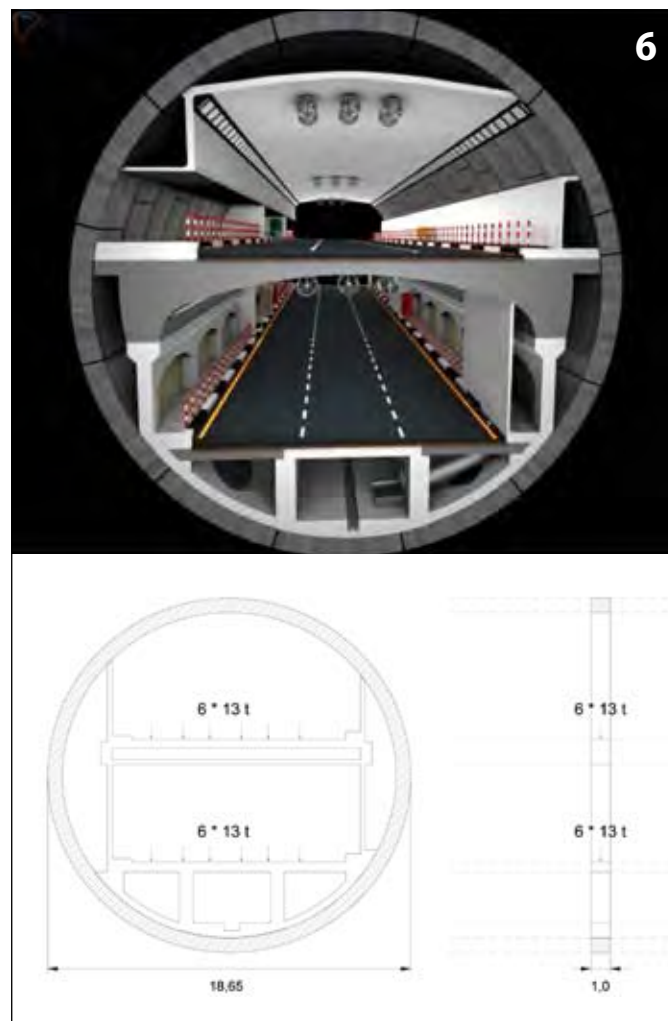
Geotechnical engineers often only provide the Young's Modulus. From this, the stiffness modulus  $E_s$  must be calculated with the Poisson's ratio  $\nu$  (Table 1).

In the clayey loams with  $\nu \approx 0.4$ , the stiffness modulus  $E_s$  is about 2 times higher than the Young's modulus  $E$ ! From the  $E_s$  modulus, the spring stiffness is calculated ( $R$  = system radius of the segmental ring) as follows:

$$c \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] = \frac{E_s}{R}$$

Geotechnical engineers often tend to provide a Young's modulus, which was determined by the lowest measured values.

The experts may not realize, that small layers of soft soil have no influence on the real bedding situation of the lining. Additionally, the face support pressure and the ring grouting pressure pre-stress the surrounding soil and equalises the bedding situation.



Einbauten und Verkehrslasten

Built-in Components and Traffic Loads

der Tübbingring bereits bei der Herstellung, dem Transport und der Montage erheblichen Belastungen. Er wird bereits im sehr jungen Zustand aus der Schaltung gehoben und bewegt.

Für die geometrische Ausbildung und die Bemessung des Tübbingringes mit maßgebend sind die Einwirkungen aus dem Maschinenvorschub. Beim vorgesehenen Vortriebsschild mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust und einem Außendurchmesser von 19,2 m wirken 37 Doppelpressen mit bis zu 7000 kN auf eine begrenzte Fläche in der Ringfuge. Hier entstehen hohe Druckkräfte. Insbesondere die dadurch geweckten Spaltzugkräfte in Längs- und Querrichtung können maßgeblich für die Bewehrung und die Ringdicke werden (Bild 5).

Die Erfassung der Einwirkungen aus Zwängungen im Schildschwanz ist nur schwer vorauszusagen und nachzuweisen. Die Verwendung eines ausreichend konischen Ringes (konisch auf der schildabgewandten Seite!) und einer Schwanzluft von mindestens 4 cm sollten unzulässige Belastungen jedoch vermeiden.

### 3.3 Einwirkungen aus Einbauten und Verkehr

Bei üblichen Verkehrstunneln kann auf den Ansatz von inneren Lasten meist verzichtet werden. Der mehrstöckige Orlovski-Tunnel weist jedoch hohe Verkehrslasten auf, die mittels umfangreicher Einbauten die Lasten konzentriert in den Tübbingring einleiten. Da in den weichen Böden mit geringen Steifemoduli Verformungen möglich sind, mussten die inneren Lasten gesondert ermittelt und in der Statik weiterverfolgt werden (Bild 6).

v	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
$E_s/E$	1,000	1,005	1,023	1,056	1,111	1,200	1,346	1,605	2,143	3,793
				Fels / Rock		Sand		Ton / Clay		

Tabelle 1: Umrechnung E-Modul in Steifemodul  $E_s$

Table 1: Conversion of Young's Modulus E to Modulus of Stiffness  $E_s$

## 4 Bettungsannahmen

Aufgrund der Längsfugen im Tübbingring, die als Gelenke wirken, muss eine ausreichende Bettung die Stabilität des Ringes gewährleisten. Die Bettung errechnet sich aus dem Verformungs- bzw. Elastizitätsmodul des umgebenden Gebirges. Auch wenn die modernen Rechenprogramme, insbesondere diejenigen die nach der Methode der Finiten Elemente arbeiten, eine Vielzahl von Modellen zur Verfügung stellen, ist die Ermittlung der Kennwerte schwierig.

Vom Baugrundgutachter wird meist der E-Modul (Youngs' Modulus) vorgegeben. Aus dem E-Modul wird zur Ermittlung der Federsteifigkeiten der Bettungsfedern mit der Querdehnzahl  $\nu$  in den Steifemodul  $E_s$  umgerechnet.

$$\frac{E_s}{E} = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}$$

Insbesondere in den weichen Schluff- und Tonböden ergibt sich eine deutliche Erhöhung des Steifemoduls gegenüber dem E-Modul des Bodens (Tabelle 1).

Aus dem Steifemodul errechnet sich die Bettungsfederkonstante (für Stabzugberechnungen) mit der Formel ( $R$  = Radius der Tübbingringssystemlinie):

$$c \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = \frac{E_s}{R}$$

Another problem is the determination of the loading, unloading and reloading modulus for the calculation of the segmental ring.

All given soil parameters should be discussed between designer and geotechnical expert to determine realistic values for the final calculations.

## 5 Ring Design

More segments per ring make the ring more flexible, the defor-

mations are lower, the bending moments are higher. Fewer segments give a more rigid ring with smaller deformations but higher bending moments.

For the Orlovski-Tunnel, the influence of different numbers of segments per ring was optimized by calculating the deformations and bending moments for several ring geometries. A 9 + 1 ring (9 normal segments, 1 key) has about 20 % higher bending moments and about 10 % smal-



### Tunneltore von Elkuch Bator.

Für höchste Anforderungen. Strengstens erprobt. Zum Beispiel am Lötschberg und Gotthard Basistunnel.

Zur Sicherheit!



**ELKUCH BATOR**

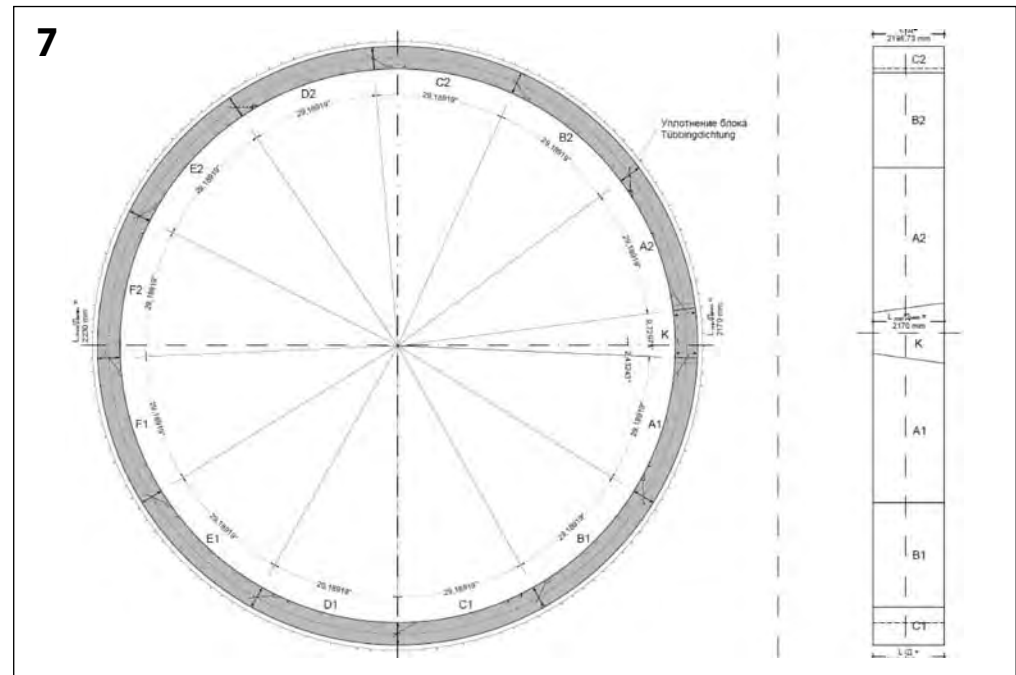
Elkuch Bator | Herzogenbuchsee | www.elkuch.com | T +41 62 956 20 50

Die Baugrundgutachter neigen dazu, geringe Verformungs- und E-Module vorzugeben, um auch „Ausreißer nach Unten“ zu erfassen. Dabei wird häufig übersehen, dass sich dünnere weiche Bodenschichten nicht wirklich auf die Bettungsverhältnisse auswirken. Zudem erzeugt der Stützdruck an der Ortsbrust und der Verpressdruck des Ringspaltmörtels eine Vorspannung des Baugrundes, der im kritischen Bereich nahe der Vortriebsmaschine zu einer weiteren Vergleichmäßigung der Bettungsverhältnisse sorgt.

Die Bestimmung der Entlastungs- und Wiederbelastungsmodule, die bei der Ermittlung der Bettungsfederkonstante anzusetzen sind, bereitet häufig größere Schwierigkeiten. Sie kann aus Triaxialversuchen oder auch Oedometerversuchen ermittelt werden, wird aber meist nur abgeschätzt.

Bei großen Ringdurchmessern mit geringer Überdeckung muss beachtet werden, dass der Ring sich rechnerisch zu einem „stehenden Ei“ verformen kann. Dabei wird auch in der Firste eine Bettung geweckt, die bei den üblichen Ringberechnungen nicht auftritt, und deren Verträglichkeit stets zu überprüfen ist. Gerade bei internationalen Großprojekten ist es angebracht, die Verformungsmodule genau zu hinterfragen und mit den Baugrundingenieuren zu diskutieren.

So wäre der Orlovski-Tunnel mit den ursprünglich vorgegebenen Parametern nicht ausführbar gewesen. Nach ausführlichen Diskussionen konnten jedoch realistische Kennwerte im Einvernehmen festgelegt werden, mit denen der Tübbingring zu bemessen war.



Ringteilung

Tapered Rings

## 5 Ringkonstruktion

Als erster Schritt bei der Konstruktion wird die Ringteilung festgelegt. Wenige Segmente pro Ring ergeben eine größere Steifigkeit, geringere Verformungen aber auch höhere Biegemomente in den Einzelsegmenten. Mehr Segmente pro Ring ergeben entsprechend größere Verformungen und geringere Biegemomente.

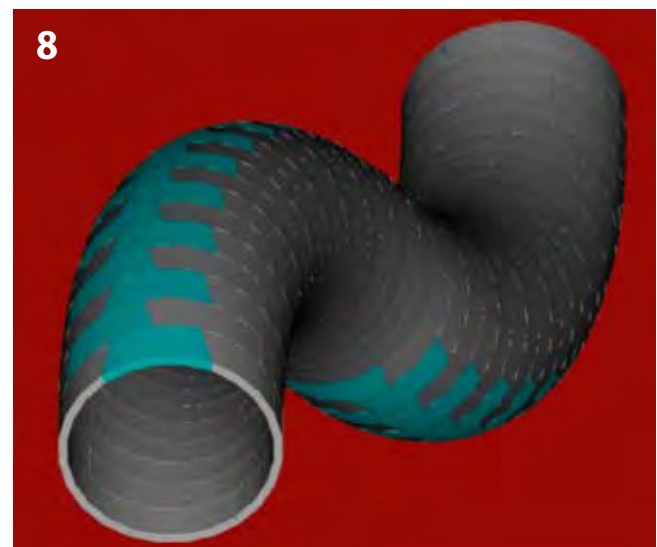
Durch eine Vergleichsrechnung wurde der Einfluss der Anzahl der Tübbinge pro Ring ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei einer Ringteilung 9 + 1 gegenüber dem Ring mit der Teilung 12 + 1 die Biegemomente um ca. 20 % erhöhen, die Verformung aber um ca. 10 % geringer sind. Durch die stärkere Verdrehung in den Längsfugen und die dadurch entstehende ungleichmäßige Druckübertragung können die Längsfugen bei größerer Anzahl Segmente pro Ring nur etwa halb so stark zusammengedrückt werden wie bei einer geringeren Anzahl von Segmenten.

ler deformations than a 12+1 ring. As the rotation in the longitudinal joints for a ring with 13 segments is about 20 % higher than in the 9+1 ring, the allowed transverse forces in the joints are lowered by about 40 %.

But for the big scale rings, the weight of each segment may lead to more segments per ring because of transport limits.

The Orlovski ring, with an external diameter of 18.65 m, a segment thickness of 70 cm and a ring width of 2.2 m, weights 215 t. As the maximum payload of a truck is limited to 18 t, a ring with 12 segments plus a small key was designed (Fig. 7).

For the segment design, only tapered ring should be used. Even for a nearly straight tunnel



Konische Tübbingringe

Tapered Rings



Bei großen Ringen wird die Ringteilung durch das maximale Transportgewicht mitbestimmt. Beim Orlovski-Tunnel mit einem Außendurchmesser von 18,65 m, einer Segmentdicke von 70 cm und einer Ringlänge von 2,20 m wiegt der Ring ca. 215 t. Da ein Lkw dort höchstens 18 t transportieren kann, musste eine Ringteilung von 12 Normalsegmenten plus ein kleiner Schlussstein gewählt werden (Bild 7).

Obwohl der Tunnel annähernd gerade verläuft,

$$\begin{aligned} R_{\min \text{ horizontal}} &= 5000 \text{ m,} \\ R_{\min \text{ vertikal}} &= 6000 \text{ m} \end{aligned}$$

wird der Ring konisch ausgeführt (Bild 8). Die Vortriebsmaschine fährt mit kleineren

Kurven um die Solltunnelachse, realistisch ist eine Auffahrtoleranz von 10 cm. Der Tübbingring muss dieser Schildspur immer zwangungsfrei folgen können. Die schräge Ringseite muss auf der schildabgewandten Seite angeordnet werden, um mit dem neu zu bauenden Ring sofort eine Korrektur einleiten zu können. Der Orlovski-Ring wird als Uniring mit einer Konizität von 60 mm ausgeführt. Die minimale Ringlänge wird in der Schlusssteinachse angeordnet. Damit sind Kurvenradien von ca. 700 m aufzufahren.

Sowohl bei den Längs- als auch bei den Ringfugen hat sich die „glatte Fuge“ durchgesetzt. In den Ringfugen wurde aufgrund der weichen Böden

$$\begin{aligned} R_{\min \text{ horizontal}} &= 5000 \text{ m,} \\ R_{\min \text{ vertikal}} &= 6000 \text{ m} \end{aligned}$$

the TBM is driving curves and the rings must follow the TBM drive. The tapered side should be on the tunnel back side of the ring (in direction of advance) (Fig. 8). It should be big enough to allow a ring erection back to the axis of the TBM tail. So, deformations of the new built ring when passing the tail sealing, will be avoided. If the key segment should always be situated above tunnel spring line, left and right rings are favourable.

Flat circumferential/longitudinal joints are state of the art (Fig. 9). If connectors between rings and segments are used,

they should be flexible and the coupling should not be assured by groove and tongue or pot and cam design. A pot and cam connection was chosen for safety reasons in the soft soils, with a sufficient clearance between both rings of 11 mm.

Coupling between 2 rings is possible by friction under the high longitudinal forces induced by advance pressure and must be calculated. The explicit wish of the client was, that a double sealing gasket inside and outside should be used. This is unusual, 1 sealing gasket near the extrados generally is enough.

For tolerance reasons, intermediate layers of hardboards are clued between the rings.

**GIPO**  
...wir durchbrechen Berge

Stationäre Backenbrechanlage B 1385

**Schweizer Qualität**  
wirtschaftlich – stark – präzise

Für jeden Einsatz die passende Anlage,  
wir beraten Sie gerne!

**GIPO AG**  
Kohlplatzstrasse 15  
CH-6462 Seedorf  
Tel. +41 (0)41 874 81 10  
info@gipo.ch / www.gipo.ch

**Vertrieb Deutschland Nord-Mitte:**  
**TRS GmbH**  
Wilhelmstrasse 5 / D-31582 Nienburg  
Tel. +49 (0 50 21) 887 73 12  
info@gipo-online.de / www.gipo-online.de

zusätzlich eine Nocke-/Topf-Verbindung vorgesehen, die jedoch mit einer ausreichenden Toleranz von 11 mm versehen wurde (Bild 9). Auf ausdrücklichen Wunsch des Auftraggebers wird der Ring mit je einer Kompressionsfugendichtung innen und außen geplant.

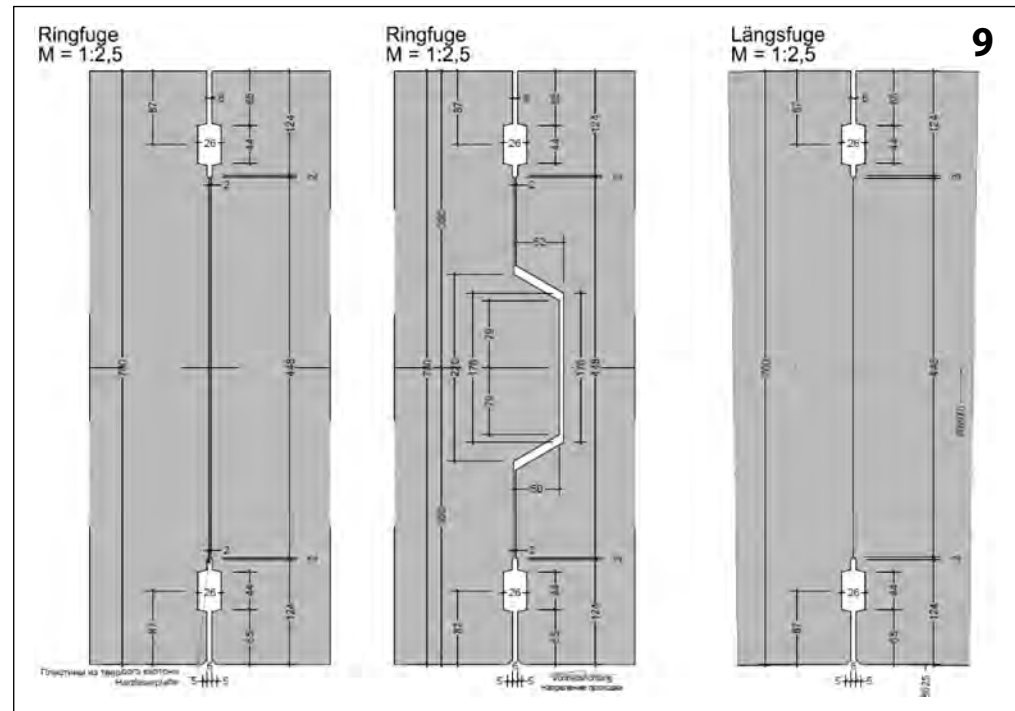
Als Toleranzausgleich in den Ringfugen werden Zwischenlagen aus Hartfaserplättchen verwendet. Bei einigen internationalen Projekten wurde auf die Zwischenlagen verzichtet und Beton auf Beton gebaut. Die Erfahrungen aus diesen Projekten zeigen, dass bei Einhaltung einer hohen Fertigungsgenauigkeit und eines sehr sorgfältigen Ringbaues keine zusätzlichen Abplatzungen oder Risse im Tübbing auftreten.

Auf ausdrücklichen Wunsch des Bauherrn werden an der Ringinnenseite und -außenseite je ein Kompressionsfugenband vorgesehen. Diese doppelte Dichtungsebene wird selten vorgesehen. Ein außenliegendes Band ist im Allgemeinen ausreichend.

## 6 Statische Berechnungen und Bemessung

Der Tübbingring wird üblicherweise als gekoppelter Doppelring mit einem Stabzugrechenprogramm berechnet (Bild 10). Scheibenberechnungen können bisher nur am Einzelring durchgeführt werden, denn die Ringkopplung kann bisher bei den meisten Programmen nicht oder nur sehr aufwändig modelliert werden.

Um die Grenzwerte für die Berechnung zu erfassen wird auch ein biegesteifer Ring und ein Ring mit reduzierter Biegesteifigkeit nach Muir Wood berechnet:



Fugengeometrie

Geometry of Joints

$$I = I_s + I_n \cdot \left(\frac{4}{m}\right)^2$$

- I reduziertes Flächenmoment 2. Grades  
= **0,01057 m<sup>4</sup>/m**
- I<sub>s</sub> Flächenmoment 2. Grades der Kontaktfläche  
= **0,00739 m<sup>4</sup>/m**
- I<sub>n</sub> Flächenmoment 2. Grades des Volltübblings  
= **0,02858 m<sup>4</sup>/m**
- m Anzahl Segmente ohne kleinen Schlussstein  
= **12**

Beim Orlovski-Ring reduziert sich die Biegesteifigkeit des Gelenkringes nach Muir Wood um 63 %. Die hiermit berechneten Biegemomente weichen von der „genauen“ Ringberechnung mit simulierten Drehfedern in den Längsfugen lediglich um ca. 15 % ab.

Bei großen Ringdurchmessern, mit rechnerisch größeren Verformungen, wird die Berechnung nach der Theorie 2.

On several international projects, intermediate layers were not installed and the contact in the circumferential joints was concrete to concrete. Operating experiences show, that the amount of cracks and broken parts of the segments did not increase if production accuracy and exact ring build was achieved.

## 6 Structural Analysis

The segmental ring usually is calculated as a coupled double ring (Fig. 10). In a FEM program, only a single ring can be calculated, as coupling of 2 rings is not possible or very time consuming for most of all calculation programs.

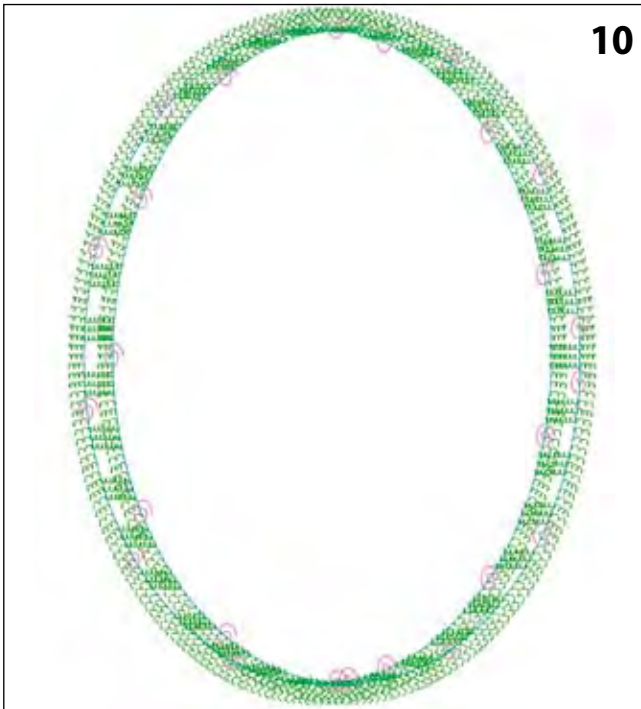
To check extremes, a single ring with articulations and a single rigid ring is calculated, as well as rigid ring with a reduced area-wise moment according to Sir Allen Muir Wood's formula:

$$I = I_s + I_n \cdot \left(\frac{4}{m}\right)^2$$

- I reduced area-wise moment  
= **0,01057 m<sup>4</sup>/m**
- I<sub>s</sub> area-wise moment of the force transmission zone  
= **0,00739 m<sup>4</sup>/m**
- I<sub>n</sub> area-wise moment of complete section  
= **0,02858 m<sup>4</sup>/m**
- m number of segments (small key-segment not counted)  
= **12**

For the Orlovski ring, an area-wise moment reduction of 63 % was calculated with the Muir Wood formula. The calculated bending moments with this Muir Wood reduction only differ approx. 15 % from the moments, calculated with a more precise calculation for an articulated ring with moment springs in the longitudinal joints. In Fig. 11 the internal forces and deformations are shown for a typical load case.

Extensive effort is necessary, to verify the longitudinal and circumferential joints:



System des gekoppelten Ringes (Programm SOFISTiK)  
Coupled Double Ring (Software SOFISTiK)

Ordnung erforderlich. Eventuell können Stabilitätsprobleme auftreten. In Bild 11 sind typische Schnittkraftverläufe für einen maßgeblichen Lastfall dargestellt.

Einen erheblichen Aufwand bereitet die Modellierung der Fugen und – nachfolgend - die dazugehörigen Detailnachweise:

- Nachweis der Teilflächenpressungen
- Nachweis der Spaltzugkräfte und Ermittlung der erforderlichen Bewehrung

Für Tübbingringe kann aufgrund von Versuchsergebnissen

die zulässige Druckspannung in der Kraftübertragungszone auf die dreifache zulässige Betondruckspannung gesetzt werden (Tabelle 2).

In der Berechnung wird die gedrückte Fugenfläche  $h_c$  um die doppelte Exzentrizität (Exzentrizität der Kontaktfläche  $e_c$  + Exzentrizität der Belastung  $e_l$ ) reduziert:

$$h_1 = h_c - 2 \cdot (e_l + e_c)$$

Die Exzentrizität der Belastung ergibt aus den Schnittkräften:

$$e_l = \frac{M}{N}$$

Betonfestigkeitsklasse		C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Druckfestigkeit	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	35,0	40,0	45,0	50,0
Rechnerische Druckfestigkeit	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22,0	25,2	28,3	31,5
Zulässige Druckspannung für Teilflächenpressung	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	66	76	85	95

Tabelle 2: Zulässige Druckspannungen für Teilflächenpressung

dewatering  
groundwater control  
water treatment  
online monitoring  
well drilling

we make it work



info@hw-dewatering.com  
www.hw-dewatering.com

Hölscher Wasserbau GmbH  
Haren, Germany

Branch offices in:  
Austria · Bulgaria · Denmark · Latvia · UAE  
Romania · The Netherlands · United Kingdom



Daraus wird die Druckspannung berechnet:

$$\sigma_d = \frac{N}{h_1} < \sigma_{rd} \quad (\text{Bild 12})$$

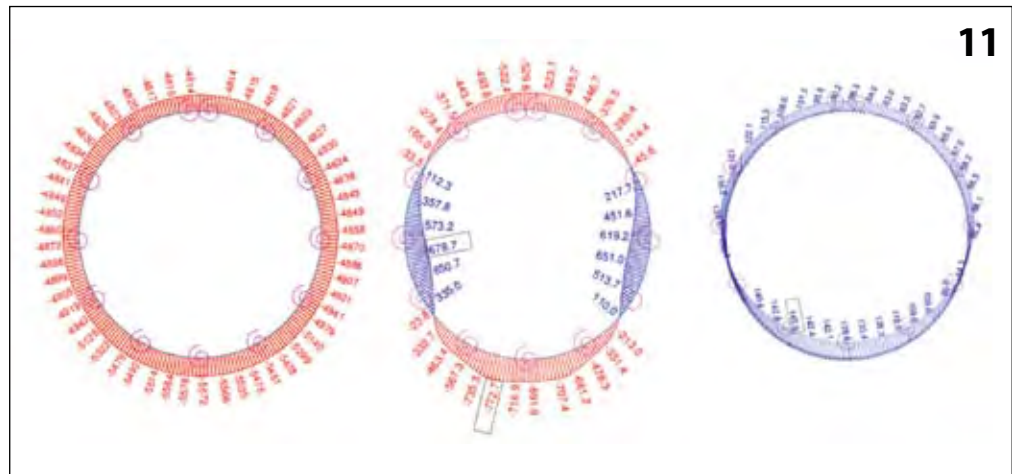
Die Spaltzugkräfte werden mit der größten Normalkraft und dem zugehörigen Biegemoment bzw. dem größten Biegemoment mit der zugehörigen Normalkraft berechnet.

$$F_{sd} = 0,25 \cdot N_d \cdot (1 - h_1/h_s)$$

Die erforderliche Spaltzugbewehrung ergibt sich aus der Formel:

$$a_s = F_{sd} / (f_{yk} \cdot \gamma_s) \quad [\text{cm}^2/\text{m}]$$

Die Spaltzugspannungen und -kräfte in der Ringfuge werden üblicherweise mittels einer Scheibenberechnung am Einzeltübbing ermittelt (Bild 5). Die Spaltzugbewehrung kann daraus analog zur Spaltzugbewehrung in den Längsfugen berechnet werden. Am Ende der statischen Berechnungen und Nachweise werden die Bewehrungspläne konstruiert (Bild 13).



Schnittkräfte N [kN/m], M [kNm/m], Verformungen [mm]  
Internal Forces N [kN/m], M [kNm/m] and Deformations [mm]

### 7 Stahlfaserbewehrte Tübbinge

Beton hat eine hohe Druckfestigkeit, jedoch nur eine geringe Zugfestigkeit, die zudem in den Berechnungen kaum angesetzt werden kann. Durch die Zugabe von Stahlfasern entsteht ein neuer homogener und isotroper Baustoff mit neuen Werkstoffkennwerten. Die Stahlfasern sind im Beton nicht richtungsorientiert, so dass Zugspannungen in allen Richtungen aufgenommen werden können (Bild 14). Zudem erhält der Beton eine hohe Duktilität.

- Verification of partial loaded transverse areas
- Design of reinforcement for splitting forces

For segments, the allowed concrete stress in the partial loaded joints can be set to 3 times the allowed strength for dimensioning (Table 2).

For the calculation, the loaded zone width is reduced by 2 times the eccentricity ( $e =$  eccentricity of contact zone  $e_c +$  eccentricity of load  $e_l$ ) (Fig. 12):

$$h_1 = h_c - 2 \cdot (e_l + e_c)$$

The eccentricity of load results from the internal forces:

$$e_l = \frac{M}{N}$$

Then the stress can be calculated with:

$$\sigma_d = \frac{N}{h_1} < \sigma_{rd} \quad (\text{Fig. 12})$$

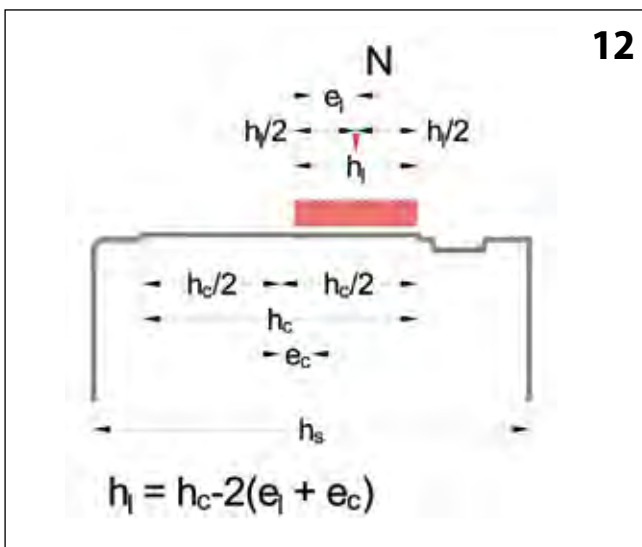
The splitting forces are calculated with the maximal normal force  $N_d$  and the corresponding eccentricity  $e$  as well as for maximal eccentricity  $max\ e$  with corresponding normal force  $N$ .

$$F_{sd} = 0,25 \cdot N_d \cdot (1 - h_1/h_s)$$

Then, the necessary reinforcement results from the formula:

$$a_s = F_{sd} / (f_{yk} \cdot \gamma_s) \quad [\text{cm}^2/\text{m}]$$

The splitting forces in circumferential direction, resulting from ram loads, generally are calculated with a FEM model (Fig. 5). At the end of all structural calculations and verifications, the dimensions of the segmental ring are finally defined and the reinforcement cage is designed (Fig. 13).



Berechnung der Spannung in der teilgepressten Fuge  
Calculation of Stresses in Partial Loaded Joints

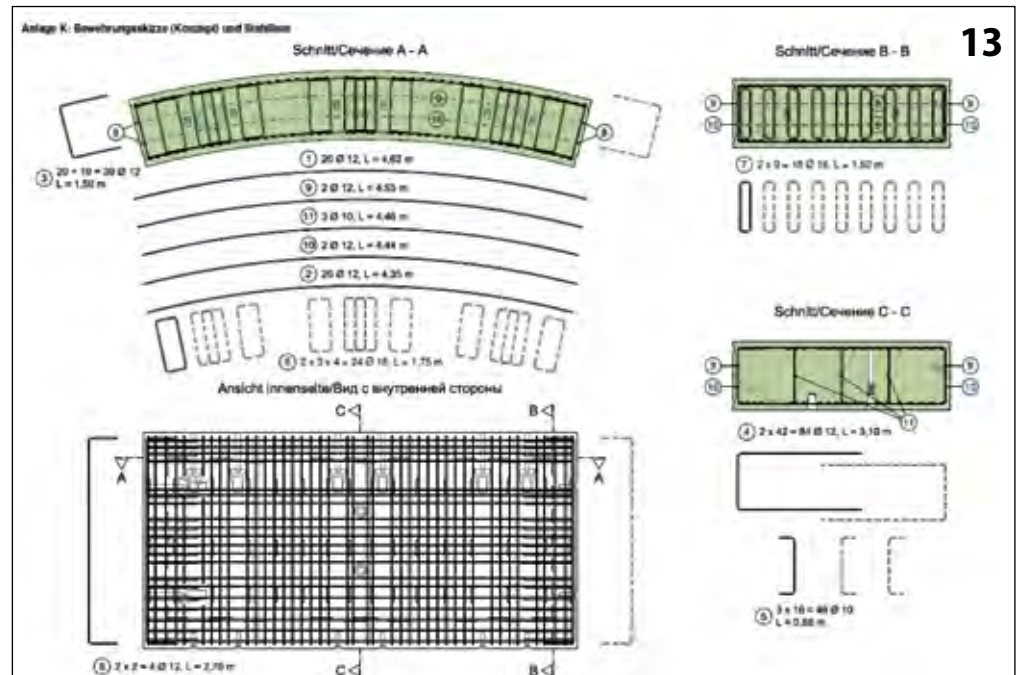
Concrete strength class		C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Compressive strength	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	35,0	40,0	45,0	50,0
Strength for dimensioning	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22,0	25,2	28,3	31,5
Max. strength for partial loaded zones	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	66	76	85	95

Table 2: Allowed Stresses in Partial Loaded Zones

Die Gefahr von Abplatzungen und Rissen während des Transports, dem Einbau und dem Maschinenvorschub geht gegenüber herkömmlich bewehrten Tübbingungen erheblich zurück.

Die Tübbinge können mit ausschließlicher Stahlfaserbewehrung, aber auch mit Stahlfasern in Kombination mit Stabbewehrung, produziert werden. Die verwendeten Stahlfasern sind üblicherweise 40 bis 60 mm lang, haben einen Durchmesser von ca. 1 mm und sind an den Enden zur Verankerung aufgebogen. Der Mindestfasergehalt sollte ca. 25 kg/m<sup>3</sup> betragen, für die meisten Projekte wird ein Fasergehalt von 30 bis 50 kg/m<sup>3</sup> verwendet. Sämtliche Nachweise müssen geführt werden, wobei insbesondere der Spaltzugnachweis häufig Probleme bereitet.

Stahlfaserbewehrte Tübbinge sind üblicherweise nur bei Ringen wirtschaftlich, die keine allzu großen Biegemomente und Teilflächenpressungen erhalten. Muss Stabbewehrung zur Aufnahme der Zugspan-



Bewehrung  
Reinforcement

nungen zugelegt werden, steigen die Produktionskosten sofort erheblich an. Die statischen Nachweise für faserbewehrte Ringe erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Aufsteller, Prüfenieur und Tunnelbausachverständigen. In Deutschland ist eine Zulassung im Einzelfall erforderlich.

### 7 Steel Fibre Segments

Concrete has a high compressive strength, but the tensile strength is low and must be disregarded in the verifications. By adding steel fibers, a new homogenous material with certain material properties is created. Fibers are not oriented within the concrete and take tensile strength in each

direction (Fig. 14). The concrete gets a high ductility. Spalling and cracking during transport, ring erection and advance is reduced distinctly compared with segments with normal reinforcement.

Segments can be produced with steel fibers only, or with a combination „fibers and conven-

[www.pressluft-frantz.de](http://www.pressluft-frantz.de)

**PRESSLUFT  
FRANTZ**  
Baumaschinen- und  
Ersatzteilhandels GmbH

Wir bieten Druckluftlösungen für den Tunnel- und Spezialtiefbau:

- ❑ Druckluftversorgung für maschinellen und konventionellen Vortrieb
- ❑ Druckluftversorgung für Arbeiten in Druckluft
- ❑ OEM-Kompressoren für andere Gerätehersteller

We offer compressed-air solutions for tunnelling and civil engineering:

- ❑ Compressed-air supply for mechanized and conventional tunnelling
- ❑ Compressed-air supply for working in compressed-air
- ❑ OEM compressors for other machine manufacturers



Qualität ist kein Zufall

Quality is no coincidence



Stahlfaserbewehrter Tübbing nach dem Bruch

Steel Fibre Concrete after Breaking

Für den Orlovski-Tunnel wurde der Einsatz von Stahlfasertübbing untersucht, für die hochbeanspruchten Tübinge wäre jedoch ein hoher Anteil an zusätzlicher Stabbewehrung erforderlich gewesen. Somit wurde der Einsatz von Stahlfasern nicht weiter verfolgt.


## 8 Zusammenfassung

Das Tübbingdesign für große Ringdurchmesser verlangt eine enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen al-

len Beteiligten. Die Baugrunderkennwerte, Einwirkungen und Ringabmessungen müssen gemeinsam mit den Bauingenieuren, den Baugrundfachleuten, dem Maschinenhersteller und den Logistikfachleuten festgelegt werden. Während der Planungsphase muss das Ringkonzept laufend auf neue Erkenntnisse angepasst werden.

Wie bereits Sir Allen Muir Wood in seinem Buch „Civil Engineering in Context“ geschrieben hat:

„Das wichtigste Designelement ist deshalb, dass der Entwurf in ständigen Schleifen erfolgt, wobei jede Schleife eine Kommunikation zwischen Menschen oder zwischen Menschen und Computern beinhaltet.“

Am Beispiel Orlovski-Tunnel in St. Petersburg ist zu erkennen, dass Tunneldurchmesser, die noch vor wenigen Jahren für einen Maschinenvortrieb als nicht machbar galten, umgesetzt werden können. Dabei müssen, abgesehen von den maschinentechnischen Herausforderungen, neue Einwirkungsdimensionen auf den Tübbingring beherrscht und die Machbarkeit nachgewiesen werden. 

„tional steel bar reinforcement“. Steel fibers for segmental rings are 40 to 60 mm long with a diameter of approx. 1 mm and are bended up at the ends for anchoring. A minimal fiber content of 25 kg/m<sup>3</sup> is necessary to reach an effect, 30 to 50 kg/m<sup>3</sup> are used for most of all projects. For verification, generally tests are done, however all other structural analysis verifications must be done, too.


Segments with steel fiber reinforcement only are suitable for rings with low bending moments and normal forces. High ram forces and partial loaded joints often demand additional bar reinforcement, which make the production more costly. To use steel fibres in addition or as only reinforcement, may be an option to reduce spalling and broken edges of the segments. Structural analysis for steel fibre reinforcement is not state of the art and needs a close cooperation with other consultants and independent checkers.

The use of steel fibre concrete for the Orlovski rings was examined but for the highly loaded big rings with high bending moments and normal forces, a high amount of bar reinforcement is necessary.

## 8 Resume

Segmental ring design for huge tunnels needs a tight cooperation between all involved experts. Soil parameters and loads must be determined in cooperation with the ground expert, the ring concept together with the TBM manufacturer and the logistic experts. And during the design phase, the concept must be adopted to new findings. As Sir Alan Muir Wood said in his book “Civil Engineering in Context”:

“The most essential element of design to be taught, therefore, is that it constitutes a system, conceptually represented as a series of iterative loops, the loops normally entailing communication between people or between people and computers.”

The Orlovski-Tunnel in St. Petersburg shows, that tunnel diameters, which were considered as „not possible for a TBM advance“ only a few years ago, now can be done. Therefore, aside of technical challenges for the machine construction, new dimensions of loads reacting on the segmental ring must be controlled and the feasibility must be verified. 

### Literatur / References

- [1] Deutsche Bahn AG: Richtlinie Eisenbahntunnel planen, bauen und in Stand halten, Ril 853, gültig ab 01.03.2011
- [2] Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002
- [3] Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung EN 1992-1-2:1995
- [4] DIN EN 1991-1-2: Eurocode 1 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke. Deutsche Fassung von EN 1991-1-2:2002. Fassung September 2003
- [5] DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Oktober 2006
- [6] Leonhardt, Reimann; Betongelenke. Versuchsbericht, Vorschläge zur Bemessung und konstruktiven Ausbildung, DAFStb Heft 175. Berlin, 1965
- [7] Heft 240 des DAFStb „Hilfsmittel zur Berechnung von Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken“
- [8] Dahl, J., Nußbaum, G.: Neue Erkenntnisse zur Ermittlung der Grenztragfähigkeit von Tübbing im Bereich der Koppelfugen. Tunnelbau 1997, S. 291 bis 319
- [9] Tirpitz, E.-R.: Zur Biegesteifigkeit von Tunnelröhren aus Stahlbetontübbing am Beispiel der 4. Röhre des Elbtunnels, Hamburg, 1. Dresdner Baustatik-Seminar, Dresden, 1997
- [10] A.M. Muir-Wood: The circular tunnel in elastic ground; Géotechnique, Volume 25, Issue 1, 01.03.1975, pages 115-127, ISSN: 0016-8505
- [11] Leca, E.; New, B.: Settlements induced by tunneling in Soft Ground. Tunnel-ling and Underground Space Technology 22 (2007) 119–149
- [12] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G.: Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb. 2. Auflage. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- [13] Peck, R. B.: Deep excavation and tunnelling in soft ground. State of the Art Report. Proceedings of the 7th ICSMFE, Mexico (1969) 255-284





„Moderne Infrastrukturprojekte wie Stuttgart 21  
**verwirklichen.** Und **die eigenen Karrierepläne.**  
Bei der DB ProjektBau.“

**Die Deutsche Bahn ist ein führendes Mobilitäts- und Logistikunternehmen. Projektmanagement, Planung und Bauüberwachung von Infrastrukturprojekten in ganz Deutschland – dafür steht unsere Tochter DB ProjektBau GmbH. Mit einem Bauvolumen von bis zu drei Milliarden Euro im Jahr und rund 4.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist die DB ProjektBau der größte Projektmanagement-Dienstleister Europas.**

Zur Realisierung des Großprojekts Stuttgart 21-Wendlingen-Ulm suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt am Standort Stuttgart mehrere kompetente und engagierte

### **Bau- und Elektroingenieure (w/m)**

Im Projektmanagement sind Sie direkter Ansprechpartner für alle am Projekt beteiligten Personen, Behörden und Firmen. Sie stellen die qualitäts-, budget- und termingerechte Planung und Realisierung der übertragenen Projekte sicher und übernehmen Aufgaben im fachspezifischen und vertragsrechtlichen Bereich.

Einstiegsmöglichkeiten in Fach- und Führungspositionen bestehen u. a. in folgenden Bereichen:

- **Tunnel-/Ingenieurtiefbau**  
(Ausschreibungsnummer: 127701)
- **Spezialtiefbau** (Ausschreibungsnummer: 107142)
- **Konstruktiver Ingenieurbau**  
(Ausschreibungsnummer: 127702)
- **Eisenbahntechnik** (Ausschreibungsnummer: 127700)
- **Termin- und Kostenmanagement**  
(Ausschreibungsnummer: 124340)
- **Vertrags- und Nachtragsmanagement**  
(Ausschreibungsnummer: 126750)

### **Ihr Profil:**

- abgeschlossenes Studium des Bau- oder des Wirtschaftsingenieurwesens mit Vertiefungsrichtung Bauwesen oder Elektrotechnik
- fachspezifische Praktika bzw. Berufserfahrung
- gute Kenntnisse in der Anwendung der VOB, VOL und HOAI
- Engagement, Kommunikations- und Teamfähigkeit

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann freuen wir uns über Ihre aussagekräftige Onlinebewerbung, bitte unter Angabe der Ausschreibungsnummer, Ihres möglichen Eintrittstermins und Ihrer Gehaltsvorstellung.

DB ProjektBau GmbH

E-Mail: [Bewerbung-Stuttgart21@deutschebahn.com](mailto:Bewerbung-Stuttgart21@deutschebahn.com)

Fragen zu diesen Stellen beantwortet Ihnen gerne Herr Steffen Brezger (Tel. 0711 93319-355).

Bewerben Sie sich online unter Angabe der Ausschreibungsnummer oder finden Sie weitere Stellenangebote unter [www.deutschebahn.com/stellenboerse](http://www.deutschebahn.com/stellenboerse). Informationen zur DB als Arbeitgeber und zu den vielfältigen Einstiegsmöglichkeiten erhalten Sie unter [www.deutschebahn.com/karriere](http://www.deutschebahn.com/karriere).

## Sachstandsbericht zur Sanierung von Eisenbahntunneln

Die Sanierung und Instandsetzung alter Verkehrstunnel gewinnt seit einigen Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. Im Vergleich zu einem reinen Neubau stellt sie durch die direkte Abhängigkeit vom Eisenbahnbetrieb hohe Anforderungen an die Ingenieure. Um hier Entwicklungsimpulse und Leitideen zu geben, hat sich unter der Leitung der STUVA ein Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ formiert und Anfang 2010 seine Arbeit aufgenommen. Der folgende Beitrag ist ein Sachstandsbericht und spiegelt die Beratungsergebnisse wider.

### 1 Hintergrund und Ziele des Arbeitskreises

Auslöser für den Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ waren die Erfahrungen bei der Durchführung der ersten 2 Projekte zur Profilaufweitung alter Bahntunnel unter rollendem Bahnverkehr. Dies waren die Tunnel Mausemühlen und Jähröder auf der Nahe-Strecke zwischen Bingen und Saarbrücken (Bild 1). Die DB AG hat hierzu ein komplett neues Bauverfahren zur Tunnelerneuerung entwickelt. Dieses bot erstmals eine Lösung, die Tunnelerneuerung im 24h-Betrieb gleichzeitig mit dem Eisenbahnbetrieb durchzuführen. Das Bauverfahren ist gemeinsam mit einer Vorrichtung zur Umsetzung des Verfahrens patentiert worden [1]. Die beiden Projekte haben gezeigt, dass die Möglichkeiten des Verfahrens noch lange nicht ausgeschöpft und an vielen Stellen noch Weiterentwicklungen möglich sind.

**Dipl.-Ing. Stefan Simon**, DB ProjektBau GmbH, Abteilungsleiter Tunnel, Kompetenzmanager für Tunnelbau der DB ProjektBau GmbH, Frankfurt am Main/D, für den STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“

Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollten als Basis weiterer Verbesserungen analysiert und näher untersucht werden, um einerseits einen hohen Mechanisierungsgrad bei den Sanierungsarbeiten zu schaffen und andererseits Planer und Industrie auf Art und Umfang des erwarteten Tunnelsanierungsbedarfs vorzubereiten. Um dies zu gewährleisten, beteiligten sich die bei den beiden genannten Projekten im Bau und

## Report on Redeveloping Railway Tunnels

The renovation and maintenance of old transport tunnels has become increasingly more important in the course of the last few decades. Compared with actually building a new tunnel as such engineers find themselves facing major challenges owing to the fact that rail services must be kept running. As a consequence a Working Group on “Tunnel Redevelopment” was formed under the aegis of the STUVA to provide impulses and recommendations. It started its work in early 2010. The following report is devoted to the progress attained and reflects the outcome of the deliberations.

### 1 Background and Aims of the Working Group

The Working Group on “Tunnel Redevelopment” was prompted by the findings obtained from carrying out the first 2 projects concerned with enlarging the cross-sections of old railway tunnels whilst train services continued to operate. The tunnels concerned were the Mausemühlen and Jähröd on the Nahe route between Bingen and Saarbrücken (Fig. 1). Towards this end

the DB AG developed a completely new method for tunnel renovation. This provided for the first time a solution whereby the tunnel is renovated on a 24 hour basis while train services continue to operate at the same time. The construction method was patented together with equipment for putting the procedure into practice [1]. The 2 projects have shown that the possibilities offered by the method are still far from being exhausted so that further developments are still possible in many cases.

The findings obtained are intended to provide the basis for analysing and more closely scrutinising further improvements. This on the one hand is designed to create a high degree of mechanisation for redevelopment activities and on the other to prepare planners and industry for the nature and extent of the volume of tunnel renovation that is anticipated. For this pur-

#### Mitglieder im Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ sind:

STUVA (D), Deutsche Bahn AG (D), ÖBB-Infrastruktur AG (A), SBB Infrastruktur (CH), Furrer + Frey AG, Bern (CH), gbm, Limburg (D), GTA, Hamminkeln (D), Herrenknecht AG, Schwanau (D), IUB Ingenieur Unternehmung AG, Bern (CH), kpconsult, Hohenthann (D)

#### Members of the “Tunnel Redevelopment” Working Group:

STUVA (D), Deutsche Bahn AG (D), ÖBB-Infrastruktur AG (A), SBB Infrastruktur (CH), Furrer + Frey AG, Bern (CH), gbm, Limburg (D), GTA, Hamminkeln (D), Herrenknecht AG, Schwanau (D), IUB Ingenieur Unternehmung AG, Bern (CH), kpconsult, Hohenthann (D)





*“I sincerely recommend iSURE. Using this tool can easily save up to half a million Euros in just 1 kilometer of tunnel.”\**

TOMMI SALO | PRODUCT LINE MANAGER, TUNNELING JUMBOS | SANDVIK CONSTRUCTION

## Intelligence expanded

Well planned is halfway done. To support you in your daily tunneling work, Sandvik has expanded the intelligent iSURE tunneling excavation management tool to be compatible with not only computer-controlled jumbos but also with instrumented models.

iSURE is designed for the people on site. Even if it is revolutionary in its approach, it still follows the natural way of thinking. The iSURE uses the most critical location of the round – the blast plane – as the basis for the whole planning process. As a result, hole locations, and thus blasting, are optimized. This means excellent accuracy, fast process and high profile quality. Not to mention large-scale savings. Sandvik – understanding underground.

\*Learn more about iSURE at [www.understandingunderground.sandvik.com](http://www.understandingunderground.sandvik.com)





DB ProjektBau GmbH, Frankfurt a.M./D

Jährder Tunnel während der Aufweitung mit der Tunnel-im-Tunnel Methode  
 Jährod Tunnel being enlarged by the Tunnel-in-Tunnel method

in der Planung involvierten Firmen an den Beratungen und technischen Diskussionen im Arbeitskreis. Aus verschiedenen Anfragen und intensiven verfahrenstechnischen Erwägungen wurde schließlich deutlich, dass das bei beiden Projekten zum Einsatz gelangte Bauverfahren auch außerhalb Deutschlands Anwendung finden könnte. Aus diesem Grund sind neben der DB AG auch die Bahngesellschaften aus Österreich und der Schweiz mit einem ebenfalls großen Bedarf an Tunnelsanierungen in die Arbeit des Arbeitskreises einbezogen worden. Allein in Deutschland steht nach jüngsten statistischen Erhebungen der STUVA [2] die Erneuerung bzw. Profilerweiterung von gut 20 km Eisenbahntunneln an.

In der Schweiz wurden die bei der SBB erforderlichen Tunnelsanierungen der nächsten 10 Jahre in einem Tunnelkon-

zept zusammengefasst. Insgesamt sind danach 104 km zur Sanierung vorgesehen. Der Umfang reicht dabei von vereinzelt Maßnahmen am Gewölbe über tiefgreifende Erneuerungen der Struktur bis zum Neubau eines Tunnels mit Optimierung der Linienführung.

Bei den Privatbahnen in der Schweiz stehen ebenfalls Instandsetzungen bzw. sicherheitstechnische Nachrüstungen an. Beispiel hierfür ist der vorgesehene Neubau einer Parallelröhre zum Albulatunnel bei der Rhätischen Bahn. Der bestehende Tunnel kann dann als Fluchtstollen genutzt werden.

Nach einer Sondierung und umfangreichen Bestandsanalyse hat sich der Arbeitskreis deshalb schwerpunktmäßig mit folgenden Themen beschäftigt:

pose the companies involved in the construction and planning of the 2 projects mentioned participated in the Working Group's consultations and technical discussions. It ultimately emerged by dint of pertinent queries and intensive process engineering considerations that the construction method applied for both projects could also be used outside of Germany. As a result apart from the DB AG the railway companies of Austria and Switzerland whose tunnel redevelopment requirements are also high are also included in the Working Group's activities. According to the latest statistical survey undertaken by the STUVA [2] there is a need for the renewal or cross-sectional enlargement of at least 20 km of railway tunnels in Germany alone.

In Switzerland the tunnel renovations needed during the next 10 years were compiled in a SBB tunnel concept. Altogether

this means that accordingly 104 km is to be redeveloped. This takes into account individual measures for the vault by way of extensive structural renovation right up to building a new tunnel involving optimal route alignment.

Swiss private railways also wish to tackle maintenance projects as well as renewing safety technical installations. An example of this is the intended production of a new parallel bore for the Albula Tunnel for the Rhaetian Railway. The existing tunnel can then be used for evacuation purposes.

Following investigations and extensive analyses of the situation the Working Group decided to tackle the following main topics:

- The defining of framework conditions for tunnel redevelopments and renovations divided into: while train ser-

- Der Definition von Rahmenbedingungen für Tunnelsanierungen bzw. Tunnelerneuerungen unterschieden nach Arbeiten über rollendem Rad, unter eingeschränktem sowie ohne Bahnbetrieb. Bei den Arbeiten ohne Bahnbetrieb wird zwischen Teil- oder Totsperrungen unterschieden.
- Tunnelerneuerungen mit Profilaufweitung sowie den Möglichkeiten für den nachträglichen Einbau eines Sohlgewölbes.
- Beschreibung häufig wiederkehrender Problemstellungen bei der Sanierung alter Tunnel in Abhängigkeit von der Art des Ausbaus, wie z.B. Naturstein, Ziegelstein, freistehendes Gebirge.
- Mindestanforderungen an Sanierung bei laufendem Bahnbetrieb, bezogen auf Art und Standsicherheit des umgebenden Gebirges sowie den Bauwerkszustand.
- Zusammenstellen einer repräsentativen Auswahl bereits durchgeführter Tunnelerneuerungs- und Sanierungsverfahren und Aufzeigen von Lösungsansätzen für zukünftige Projektumsetzungen.
- Zusammentragen von technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz (D-A-CH), um standardisierte Verfahren in den Ländern zu ermöglichen.
- Erstellung einer Übersicht der zu beachtenden Rege-
- vices are operating, restricted services or no services at all. As far as the work without train services are concerned a distinction is drawn between partial and total closure.
- Tunnel renovations with enlargement of the cross-section as well as possibilities for the subsequent installation of a base invert.
- Description of frequently recurring problem complexes during the redevelopment of old tunnels depending on the type of support, as e.g. natural stone, brickwork, exposed rock.
- Minimum requirements for renovation given running train services relating to the nature and stability of the surrounding rock as well as the state of the structure.
- Compilation of a representative selection of already executed tunnel renovation and refurbishing methods and pointers for applying solutions to future projects.
- Collation of technical and operational framework conditions in the countries Germany, Austria and Switzerland (D-A-CH) to bring about standardised methods in these countries.
- Drawing up an overview of the regulations to be observed in the 3 countries involved.
- Preview of the technical developments to be expected in tunnel redevelopment and renewal in the years ahead.
- Summary of the results in a manual for tendering and planning.



Do you know  
how much Dräger  
you can find here?

Fire and gas detection systems, refuge chambers, access control systems, long-term breathing protection, escape equipment, safety and health coordination and training in tunnel firefighting: for all the phases of tunnel construction, we can provide you with a carefully coordinated safety concept to protect your staff, equipment and the tunnel itself. [www.draeger.com](http://www.draeger.com)

Dräger. Technology for Life®



lungen in den 3 involvierten Ländern.

- Ausblick auf die zu erwartenden technischen Entwicklungen bei der Tunnel-sanierung und -erneuerung in den nächsten Jahren.
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einer Handlungshilfe für Ausschreibung und Planung.

## 2 Rahmenbedingungen für Tunnelsanierungen

### 2.1 Allgemeines

Der Überbegriff „Tunnelsanierung“ kann eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen bedeuten. Das Spektrum der Sanierungsarbeiten beginnt bei der Verbesserung des Oberbaus durch Einbau einer Festen Fahrbahn, eines Masse-Feder-Systems oder einer Schotterbettverklebung. Am Gewölbe kann es von der bereichsweisen Sanierung der Tunnelauskleidung zur Vermeidung von Abplatzungen bis zu Profilaufweitungen in einzelnen Bereichen des Lichtraumprofils durch Mauerwerksabtrag oder Sohlabsenkung reichen. Hierbei kann zusätzlich ein neues Sohlgewölbe mit oder ohne Fester Fahrbahn eingezogen werden. Weiterhin kann die Tunnelsanierung aus einer Neuverfugung des Mauerwerks oder aus Mauerwerksaustausch, dem Einbau von Betonplomben, dem Auftrag von Spritzbeton sowie der Ankerung des alten Gewölbes bestehen. Zur Stabilisierung des Tunnels kann der Einbau von Spritzbetonrippen oder die Injizierung der Hinterpackung zwischen Gewölbemauerwerk und dem umgebenden Fels erforderlich werden.

Die Baumethoden und Bauverfahren bei der Sanierung,

Erneuerung oder Aufweitung von alten Tunneln sind sehr unterschiedlich. Entscheidend für die Wahl eines geeigneten Bauverfahrens sind neben den technischen Anforderungen besonders die Eingriffe in den Eisenbahnbetrieb durch erforderliche Streckensperrungen während der Bauausführung. In vielen Fällen ist eine Sperrung der Bahnstrecke, auch wenn es nur für eine kurze Zeit ist, nicht oder nur in geringem Umfang möglich. Ob Arbeiten unter Bahnbetrieb stattfinden können, wird maßgeblich durch das verfügbare Tunnelprofil bestimmt.

### 2.2 Rahmenbedingungen in Deutschland

In Deutschland muss die DB AG aufgrund der Vorgaben der Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) bei Neubauten und umfassenden Erneuerungen den Gleisabstand von bisher teilweise nur 3,5 auf 4,0 m vergrößern. Mit der Verbreiterung des Gleisabstandes ergeben sich teils umfangreiche Baumaßnahmen, die unter Umständen durch notwendige Sohlernerneuerungen zusätzlich erschwert werden. Bei der Sanierung des Jähroder und des Mausemühlen Tunnels kam daher erstmalig die sogenannte Tunnel-im-Tunnel (TiT) Methode zum Einsatz [3].

Bei der Erneuerung von Tunnelbauwerken mit einer Länge von über 1000 m muss bei diesen Vollsicherungen oder Erneuerungen aufgrund der Vorgaben der geltenden Sicherheitsrichtlinien der neue Tunnel als Zwei-Röhrenkonzept hergestellt werden. Das bedeutet den Bau einer neuen eingleisigen Röhre in Parallel-lage und Erneuerung der bestehenden alten zweigleisigen

## 2 Basic Conditions for Tunnel Redevelopments

### 2.1 General

The term “Tunnel Redevelopment” can signify a large number of different measures. The spectrum of the redevelopment work starts with improving the superstructure by installing a solid slab track, a mass-spring system or a ballast bed adhesive. As far as the vault is concerned this can range from redeveloping sections of the tunnel lining to avoid spalling right up to enlarging the cross-section in individual sections of the clearance profile by removing masonry or lowering the floor. In this connection a new base invert with or without a solid slab track can be installed. Furthermore tunnel redevelopment can entail repointing the masonry or replacing the masonry, installing concrete seals, placing shotcrete as well as anchoring the old vault. Shotcrete ribs installed or backfill injected between the vault masonry and the surrounding rock can be required to stabilise the tunnel.

The construction methods and processes applied for the redevelopment, renovation or enlargement of old tunnels are extremely varied. In addition to the technical requirements decisive for the choice of a suitable construction method are the interruptions to train services through necessary track closures during the execution of construction. In many cases closure of the rail route even although only for a short time is either completely impossible or can only be accomplished briefly. The available tunnel profile largely determines whether work can progress whilst train services are still running.

### 2.2 Basic Conditions in Germany

In Germany the DB AG is obliged on the given data of the EBO (ordinance regulating the construction and operation of the railways) to enlarge the track distance from in some cases only 3.5 m hitherto to 4.0 m for new and extensive upgrading projects. Widening the track distance results in part in protracted construction measures, which can be made even more difficult by having to renew the floor. As a result the so-called tunnel-in-tunnel (TiT) method was applied for the first time when redeveloping the Jährod and Mausemühlen tunnels [3].

When renovating tunnel structures in excess of 1,000 m the new tunnel must be produced with 2 bores for such total redevelopments or renovations to comply with the regulations now laid down in the valid safety guidelines. This signifies the construction of a new single-track bore parallel to the existing one, which must be renewed through transforming it from a twin-track to a single-track tunnel. These 2 tunnels are then connected every 500 m with cross-passages for evacuation purposes.

### 2.3 General Conditions in Austria

There are also numerous new tunnels being built or planned in Austria as well. These include some 350 km of mainline tunnels including the Brenner Base Tunnel with a total driven length of roughly 110 km. Redevelopment measures devised to improve the substance such as in the Arlberg Tunnel (Fig. 2) or the Tauern Tunnel also take place against the background of improving safety technology.



Röhre als zukünftig ebenfalls eingleisige Röhre. Diese beiden Tunnel werden dann alle 500 m mit Querstollen als Fluchtweg verbunden.

### 2.3 Rahmenbedingungen in Österreich

Auch in Österreich sind zahlreiche neue Tunnel im Bau oder in der Planung. Dazu gehören ca. 350 km Fernbahntunnel einschließlich des Brenner Basistunnels mit einer Gesamtaufahrlänge von allein ca. 110 km. Substanzverbessernde Sanierungsmaßnahmen wie im Arlbergtunnel (Bild 2) oder im Tauern Tunnel erfolgen auch vor dem Hintergrund einer sicherheitstechnischen Aufrüstung. Die Maßnahmen zur Erhöhung



Gleiskörperabtragseinrichtung zur Erneuerung des Arlbergtunnels

Machine for removing the track superstructure during the renovation of the Arlberg Tunnel

der „Tunnelsicherheit“ sind vor rund 10 Jahren – durch die Brandereignisse im Montblanc-

gy. The measures to enhance “Tunnel Safety” were triggered some 10 years ago – owing to

the fire incidents in the Mont Blanc road tunnel (March 1999), in the Tauern motorway tunnel



**fermacell®**  
AESTUVER

## Safety first!

### Baulicher Brandschutz mit maßgeschneiderten Lösungen und überzeugendem Service.

AESTUVER T – eine speziell für den Hochtemperaturbereich entwickelte Brandschutzplatte aus Glasfaserleichtbeton

- schützt Beton zuverlässig vor Brandbelastungen bis 1.350 °C.
- ist frost- und wasserbeständig.
- bietet vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten mit Farben und Beschichtungen.

### Fire safety engineering with tailored solutions and convincing customer support.

AESTUVER T – glass-fibre reinforced light-weight concrete boards specifically developed for high-temperature environments.

- Reliable protection for concrete against effects of fire loads of up to 1,350 °C.
- Frost and water resistant.
- Painting and coating options for customized finishes.



#### Fermacell GmbH

FERMACELL Aestuver  
Düsseldorfer Landstr. 395 · 47259 Duisburg  
Telefon: +49 (0) 203 60880-8141  
Telefax: +49 (0) 203 60880-8140  
E-Mail: info@aestuver.de

[www.aestuver.de](http://www.aestuver.de)

Straßentunnel (März 1999), im Tauern-Autobahntunnel (Mai 1999) und im Eurotunnel unter dem Ärmelkanal (November 1996) – ausgelöst worden.

Ein weiterer Impulsgeber für die Umgestaltung und Teil-Sanierung alter Tunnel sind die österreichischen Arbeitnehmerschutzbestimmungen.

#### 2.4 Rahmenbedingungen in der Schweiz

In der Schweiz werden aufgrund von Entwässerungsschäden und quellenden Gebirgsformationen oftmals Sohlenerneuerungen vorgenommen, in vielen Fällen auch in Verbindung mit einer Sohlabenkung, um den Querschnitt für zukünftigen Huckepackverkehr anzupassen. Bei zweigleisigen Tunneln ist neben der aufwendigen Widerlagerunterfangung des Tunnelgewölbes auch der

Einbau einer Schotterhalterung zur Absicherung des Betriebsgleises notwendig, wenn der Tunnel in Betrieb bleiben soll.

### 3 Technische Verfahren und Methoden zur Sanierung und Erneuerung von Tunnelgewölben

#### 3.1 Gewölbearbeiten

In den letzten Jahren sind Maschinensysteme entwickelt worden, die mehrere Arbeitsschritte miteinander kombinieren. So gab es Kombinationen für Sicherung und Ausbruch bei Gewölbeaufweitungen oder für Aushub und Schutterung bei Sohlarbeiten. Bei den verschiedenen Lösungen spielt neben dem Faktor Wirtschaftlichkeit auch die notwendige Flexibilität während der Tunnelbauarbeiten eine entscheidende Rolle, um auf unvorhergese-

(May 1999) and in the Channel Tunnel (November 1996).

Austria's regulations designed to protect the workforce represent a further source for modifying and partial redevelopment of old tunnels.

#### 2.4 General Conditions in Switzerland

In Switzerland the floor is frequently renovated on account of damage resulting from drainage and heaving rock formations, in many cases also in conjunction with lowering the floor to adjust the cross-section for future piggyback transportation. In the case of twin-track tunnels it is also necessary to install a ballast retention system to secure the operational track if the tunnel is to remain in service quite apart from the complex process of underpinning the tunnel vault abutment.

### 3 Technical Processes and Methods for Re-developing and Renovating Tunnel Vaults

#### 3.1 Vault Work

In recent years mechanised systems have been developed, which combine several working steps. Thus there are combinations for securing and excavating during vault enlargements or for excavating and mucking while working on the floor. For these various solutions apart from the factor of economy the required flexibility during the tunnelling operations plays a decisive role so that unforeseen disturbances during the construction cycle can be reacted to.

Table 1 presents the essential measures during work on the vault in conjunction with the operating conditions. In this connection a distinction

Arbeiten im Tunnel*	unter Betrieb ohne Sperrzeiten			unter Betrieb mit Sperrzeiten		
	1-gleisiger Tunnel	2-gleisiger Tunnel		1-gleisiger Tunnel	2-gleisiger Tunnel	
		wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1-Gleis im Tunnel für die Bauzeit		wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1-Gleis im Tunnel für die Bauzeit
<b>Gewölbesicherung</b>						
bergmännisch						
Vorbruchsicherung durch Stützplatte						
<b>Gewölbesanierung und lokale Aufweitungen</b>						
Anpassung Lichtraumprofil						
Gewölbeertüchtigung						
<b>Gewölbeaufweitung</b>						
Gewölbeabtrag						
<b>Tunnelaufweitung im Fels</b>						
bergmännisch, ggf. mit Sprengungen			TiT			TiT
<b>Gewölbeausbau</b>						
1-schalig						
2-schalig						
Tübbingausbau						
Stand der Technik/Referenzen vorhanden			Umsetzung zukünftig denkbar			
* Bei elektrifizierten Strecken sind die Einschränkungen und Auflagen durch die Oberleitung separat zu prüfen!						

Tabelle 1: Technische Möglichkeiten für Arbeiten im Tunnel bei laufendem Eisenbahnbetrieb

hene Störungen im Bauablauf zu reagieren.

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Maßnahmen bei Gewölbearbeiten in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen dargestellt. Dabei wird zwischen bereits in der Praxis durchgeführten Verfahren (grün) und zukünftig möglichen Einsatzgebieten (blau) unterschieden. Für die Maßnahmen mit den farblich nicht hinterlegten Feldern gibt es derzeit nur ein geringes Optimierungspotential.

**3.2 Gewölbesicherung**

Die klassische Sicherungsmethode, die sowohl als temporäre oder auch als langfristige Sicherung im Fels zur Anwendung gelangt, umfasst den Einsatz von Ankern und Spritzbeton, unter Umständen unterstützt durch Bewehrungsmatten,



Stützplatten in der Firste zur Vorbruchsicherung  
Support plates in the roof to prevent caving

Ausbaubögen oder Rippen. Oftmals wird auch eine Systemankerung eingebracht.

Im Lockergestein oder in Bereichen mit stark zerklüftetem, verwittertem Fels zählen konventionelle, vorseilende

is drawn between methods already carried out in practice (green) and future possible fields of application (blue). Currently there is only a slight potential for optimising the fields, which are not coloured.

**3.2 Securing the Vault**

The classical supporting method, which is used for securing the rock either temporarily as well as long-term, comprises the application of anchors and shotcrete possibly supported by reinforcement mats, support arches or ribs. An anchoring system is also sometimes applied.

In soft ground or in areas with highly fissured, weathered rock normally conventional, advance supporting measures such as grouting and pipe umbrellas, forepoling, lances, freezing or face sealing are applied.

When enlarging a tunnel, support plates can be used to prevent the risk of the old, existing vault collapsing (Fig. 3). As a result in many cases there is no need for advance cuts in conjunction with an anchoring system to secure the vault.

Work in tunnel*	operational without closure times			operational with closure times		
	Single-track tunnel	2-track tunnel		Single-track tunnel	2-track tunnel	
		Alternating track operation	Conversion to 1-track in tunnel for construction period		Alternating track operation	Conversion to 1-track in tunnel for construction period
<b>Vault support</b>						
Mining means						
Support plate against caving						
<b>Redeveloping vault and local enlargements</b>						
Adapting clearance profile						
Improving the vault						
<b>Vault enlargement</b>						
Removing the vault						
<b>Enlarging tunnel in rock</b>						
Mining means possibly blasting			TIT			TIT
<b>Vault support</b>						
1-layer						
2-layer						
Segment lining						
State of technology/references available			Future application feasible			
* The restrictions and regulations in conjunction with the overhead line must be checked separately in the case of electrified routes!						

Table 1: Technical Possibilities for Working in Tunnels with Rail Services in Operation





Abschrämen des alten Mauerwerks mit einer Fräse  
Removing the old masonry with a cutter

Sicherungsmaßnahmen wie Injektions- und Rohrschirme, Vorpfändungen, Spieße, Vereisungen oder Ortsbrustversiegelungen zum Stand der Technik.

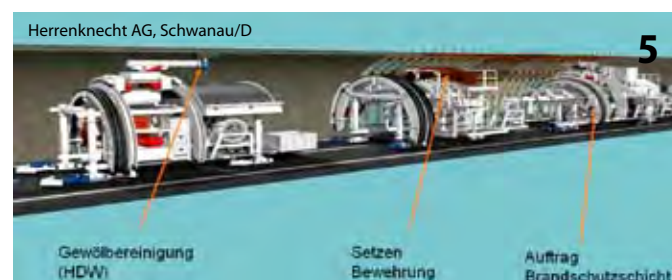
Bei der Tunnelaufweitung kann mittels Stützplatten das Risiko von vorlaufenden Verbrüchen im alten, bestehenden Gewölbe verhindert werden (Bild 3). Auf vorausseilende Sägeschnitte in Verbindung mit einer Systemankerung zur Gewölbesicherung kann hierdurch in vielen Fällen verzichtet werden.

### 3.3 Gewölbesanierung und lokale Aufweitung

Bei Arbeiten zur Gewölbesanierung kommen in der Regel Bauzüge zum Einsatz. Einragungen des Mauerwerks in das Lichtraumprofil werden mit Fräsen abgeschrämt (Bild 4). Der Einsatz von Bauzügen, bei der im Wesentlichen konventionelle Baumaschinenteknik montiert auf Bahnwagen genutzt wird, gilt als weitestgehend ausgereift.

Komplette Maschinensysteme mit Schutzeinhausungen, die das Gewölbe mit einem Hochdruckwasserstrahl abtragen, neue Innenschalen zur Ertüchtigung aufspritzen oder lokal das Profil auffräsen, sind möglich und würden einen zeitweise eingleisigen Bahnbetrieb während der auszuführenden Arbeiten ermöglichen.

Im Hinblick auf die Einhaltung der Brandschutzbestimmungen in Straßentunneln hat die Herrenknecht AG bereits ein System entwickelt, mit dem die Tunnelchale saniert werden kann (Bild 5). Das Maschinenkonzept ist in 3 wesentliche Einheiten untergliedert.



Beispiel zur Sanierung eines Straßentunnels  
Example for redeveloping a road tunnel

### 3.3 Vault Redevelopment and local Enlargement

During vault redevelopment operations construction trains are generally used. Protrusions of the masonry affecting the clearance profile are removed by cutting (Fig. 4). The use of construction trains, in the case of which conventional engineering technology mounted on rail wagons is generally applied, is by and large regarded as at an advanced stage of development.

Complete mechanised systems with protective housings, which remove the vault by means of a high-pressure water jet, spray on new inner shells or cut the profile at a given spot, are possible

and would facilitate single-track rail services for a period whilst the work was being carried out.

With regard to complying with the fire protection regulations in road tunnels the Herrenknecht AG has developed a system by means of which the tunnel shell can be redeveloped (Fig. 5). The machine concept is split up into 3 main units.

The old vault shell is cleaned and partly removed by a water jet, which generates pressure of up to 1,400 bar. Once the reinforcement is installed a shotcrete and fire-protective layer is applied for the new tunnel inner shell. All mechanised components are self-propelled, rationally set up and can be used for road and rail tunnels with various tunnel diameters.

### 3.4 Removing the Vault in old Tunnels supported with Masonry

In twin-track tunnels vault operations and excavations are possible in the wall area depending on the vault thickness through the application of construction trains on the closed track. Work in the apex zone is associated with difficulties on account of insufficient vault stability or the overhead wire on electrified routes. In the event of tunnel vault stability problems and constricted space conditions there is at present no system that can be unrestrictedly applied, which can achieve an enlargement including the removal of rock without interrupting train services.

The essential advantages of a tunnel redevelopment project, during which one of the two tracks is closed, are to be seen in the fact that no modification of the tracks is needed. The operational track that is actually

Die alte Gewölbeschale wird mit einem Wasserstrahl, der bis zu bis 1400 bar Druck hat, gereinigt und teilweise abgetragen. Nach dem Einbringen der Bewehrung erfolgt der Auftrag einer Spritzbeton- und Brandschutzschicht als neue Tunnelinnenschale. Alle Maschinenkomponenten sind selbstfahrend, rationell aufgebaut und können für Straßen- und Bahntunnel mit verschiedenen Tunneldurchmessern verwendet werden.

### 3.4 Gewölbeabtrag in alten Tunneln mit gemauertem Ausbau

In zweigleisigen Tunneln sind Gewölbearbeiten und -ausbrüche im Ulmenbereich je

nach Gewölbedicke durch den Einsatz von Bauzügen in jeweils einem gesperrten Gleis möglich. Mit Schwierigkeiten verbunden sind Arbeiten im Scheitelbereich aufgrund unzureichender Gewölbestabilität oder auf elektrifizierten Strecken durch den Fahrdraht. Bei Standsicherheitsproblemen des Tunnelgewölbes und bei beengten Platzverhältnissen gibt es derzeit kein uneingeschränkt einsetzbares System, das eine Aufweitung einschließlich Felsabtrag ohne Betriebsunterbrechung ermöglicht.

Die wesentlichen Vorteile einer Tunnelanierung, bei der eines der beiden Gleise gesperrt ist, bestehen darin, dass kein Gleisumbau durchgeführt

closed can be used for the logistics for the construction trains. In contrast to this problems arise when securing the vault by installing a partition wall between the tracks and the resultant issue of available space. The need to switch tracks substantially restricts continuous driving.

It is possible to enlarge a railway or road tunnel alternately by setting up a telescopic, radially adjustable cutting arm on a machine assembly suitable either for road or rail. A machine of this type was used in 1990/1991 to remove the masonry in the Hasenberg and Prag Tunnels near Stuttgart (Fig. 6).

From 1982 till 1990, two down-the-hole hammers were applied to remove the high-



Costruzione Macchine Marconi, Bologna/I

6

Gleisgebundene Fräse von Marconi zur wechselseitigen Aufweitung von Trackbound Marconi cutter for enlarging railway tunnels alternately

strength masonry in the Arlberg Tunnel. Both were fitted with a 200 mm core drill and were applied in such a way that the drill holes touched one another at the sides. Nowadays cutters or multirip saws with the subsequent use of hydraulic bits are used for removing the vault

# rascor®



## Wer richtig plant, bleibt trocken.

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

**Rascor International AG**  
**Gewerbstrasse 4**  
**CH-8162 Steinmaur**  
**Telefon +41 (0)44 857 11 11**  
**Telefax +41 (0)44 857 11 00**  
**info@rascor.com**



werden muss. Das jeweils gesperrte Betriebsgleis kann für die Logistik der Bauzüge genutzt werden. Im Gegensatz dazu ergeben sich Probleme bei der Gewölbesicherung durch den Einbau einer Trennwand zwischen den Gleisen und die dadurch bedingten massiven Platzprobleme. Die notwendigen Gleiswechsel schränken einen kontinuierlichen Vortrieb erheblich ein.

Durch die Anordnung eines teleskopierbaren, radial anpassbaren Fräsarmes auf einem straßentauglichen oder gleisgebundenen Maschinengestell ist die wechselseitige Aufweitung eines Eisenbahn- bzw. Straßentunnels möglich. Eine solche Maschine kam in den Jahren 1990/91 beim Mauerwerksabtrag im Hasenberg- und im Pragtunnel bei Stuttgart zum Einsatz (Bild 6).

Zum Lösen von Mauerwerk mit höheren Festigkeiten wurden im Arlbergtunnel in den Jahren von 1982 bis 1990 zwei Imlochbohrhämmer verwendet. Beide waren mit einer 200 mm Stiftbohrkrone bestückt und wurden so angesetzt, dass sich die Bohrlöcher seitlich berührten. Heute kommen für den Gewölbeabtrag bei der Aufweitung eines Tunnels Anbaufräsen oder Mehrblattsägen mit anschließendem Einsatz von Hydraulikmeißeln für den Ausbruch zum Einsatz. Zukünftig denkbar ist der Einsatz von Fräsen oder der Hinterschneidetechnik auf mobilen Arbeitsplattformen zum Lösen oder Profilieren in sehr hartem Fels.

**3.5 Tunnelaufweitung mit einem Tunnelvortriebsportal (Tunnel-im-Tunnel Methode)**  
Erstmalig kam die TiT Methode mit einem Tunnelvortriebs-



Tunnelvortriebsportal für die Aufweitung des Langenauer und Hollricher Tunnels  
Tunnel driving portal for enlarging the Langenau and Hollrich Tunnels

portal bei der Aufweitung des Mäusenmühlen und des Jähroder Tunnels auf der nicht elektrifizierten Nahe-Bahnstrecke von Bingen nach Saarbrücken zum Einsatz. Weitere Einsätze mit optimierten Tunnelvortriebsportalen für die Aufweitung kamen ebenfalls auf der Nahe-Bahnstrecke beim Frauenberger und Kupferheck Tunnel [4] sowie auf der Lahn-Bahnstrecke beim Langenauer und Hollricher Tunnels zum Einsatz (Bild 7).

Während der Ausbruch- und Aufweitarbeiten konnte mit Hilfe von Stützplatten einem voreilenden Verbuch in der alten Gewölbeausmauerung vorgebeugt werden. Eine zusätzliche Ankerung zur Gewölbesicherung konnte dadurch entfallen.

Der Ausbruch des Gewölbes und das Ausräumen der Hinterpackung erfolgten mit Hydraulikhämmern, die seitlich an der Maschine angebracht waren. Ebenfalls seitlich angeordnete verfahrbare Bohrrarme ermöglichten das Bohren von Spre-

when enlarging a tunnel. In future the application of cutters or back-cutting technology on mobile working platforms for loosening or profiling in very hard rock is conceivable.

### 3.5 Tunnel Enlargement with a Tunnel Driving Portal (Tunnel-in-Tunnel Method)

The TiT method was applied for the first time using a tunnel driving portal to widen the Mäusenmühlen Tunnel and the Jährod Tunnel on the non-electrified route along the River Nahe between Bingen and Saarbrücken. Further applications involving tunnel driving portals optimised for the enlargement were also used on the Nahe route for the Frauenberg and Kupferheck Tunnels [4] as well as on the Lahn railway route for the Langenau and Hollrich Tunnels (Fig. 7).

It was possible to avoid caving taking place prematurely in the old vault masonry with the aid of support plates during the excavation and enlargement phase. Thus there was no need for additional anchoring to secure the vault.

The vault was excavated and the backfill removed by means of hydraulic hammers, which were fixed at the side of the machine. Mobile drilling arms that were also attached at the sides made it possible to drill blast holes to loosen the rock. After excavating the rock it was primarily supported from various working platforms on the machine using anchors, reinforcement and shotcrete. Subsequently a profile-free vault formwork car was used to install the in situ inner shell (Fig. 8). It was not necessary to install a base invert when these tunnels were renovated.

## 4 Summary

It was only possible to present a small portion of the extensive work carried out by the Working Group. In this connection, the special issue of "tunnel" published to coincide with the STUVA Conference '11 is referred to. The activities of the Working Group for the first time provide an insight of the level of tunnel redevelopments and renewals in the countries Germany, Austria and






Schalwagen bei der Betonage des Portalblocks und der Portalscheibe am Frauenberger Tunnel  
Formwork car for concreting the portal block and the portal section at the Frauenberg Tunnel

glöchern, um den Fels zu lösen. Nach dem Felsausbruch erfolgte von verschiedenen Arbeitsbühnen auf der Maschine die Primärsicherung des Gebirges mit Ankern, Bewehrung und Spritzbeton. Im Nachgang wurde ein ebenfalls profilfreier Gewölbeschalwagen zum Einbau der Ortbetoninnenschale verwendet (Bild 8). Der Einbau eines Sohlgewölbes war bei den genannten Tunnelerneuerungen nicht erforderlich.

#### 4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag kann nur ein kleiner Teil der umfangreichen Arbeit des Arbeitskreises vorgestellt werden. Aus diesem Grund wird auf das zur STUVA Tagung'11 veröffentlichte Sonderheft von „tunnel“ verwiesen. Die Arbeit des Arbeitskreises gibt erstmalig einen Überblick zum Stand der Tunnelanierungen und Erneuerungen in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz. Sie soll allen im Planungs- und Bauprozess Beteiligten neben den technischen Themen auch ein Verständnis für die bahnspezifischen Randbedingungen vermitteln. Daneben werden anhand einer Vielzahl von Projektbeispielen die Perspektiven für weitere technische Entwicklungen aufgezeigt. Der Bedarf hierfür ist gegeben und wird in den nächsten Jahren weiter steigen. 

Switzerland. It is intended to give all those involved in the planning and construction process an understanding of the rail-specific general conditions in addition to technical topics. Furthermore on the basis of a large number of examples of projects the perspectives for further technical developments are listed. The need as such exists and will continue to grow in the years ahead. 

#### Literatur / References

- [1] Patentschrift 10 2007 014 104; Verfahren zum Aufweiten eines Tunnel und Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens, Erfinder für die DB ProjektBau GmbH: Matthias Breidenstein
- [2] Haack, A.: Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2009/2010), Analyse und Ausblick; Tunnel 29 (2010) 8, pp. 14-24
- [3] Breidenstein, M.: Neues Tunnelbauverfahren zur Streckenmodernisierung unter laufendem Betrieb; Tunnel 26 (2007) 2, pp. 20-30
- [4] Simon, S.: Erneuerung bestehender Eisenbahntunnel bei der Deutschen Bahn mit der Tunnel-im-Tunnel-Methode, Felsbau (2011), pp. 133-138



#### Injektion im Erdreich und unter Bauteilen

- Verfestigen
- Stabilisieren
- Abdichten



#### Vorteile

- je nach Verpresstiefe individuell kombinierbar
- flexible Anordnung der Austrittsbohrungen möglich



#### Anwendervideos unter

[www.desoi.de  
anwendervideos/  
rammverpresslanzen](http://www.desoi.de/anwendervideos/rammverpresslanzen)



**DESOI®**

**DESOI GmbH**

Gewerbestraße 16

36148 Kalbach/Rhön

+49 6655 9636-0

[info@desoi.de](mailto:info@desoi.de) [www.desoi.de](http://www.desoi.de)

## Gesamterneuerung Cityring Luzern

Nach knapp 40 Jahren Betrieb waren die Spuren von Verkehr und Witterung an der A2 in Luzern unübersehbar. Diese Schlüsselstelle im Schweizer Autobahnnetz passieren heute täglich im Durchschnitt über 90 000 Fahrzeuge. Verschiedene Kunst- und Tunnelbauten prägen diesen Autobahnabschnitt. Damit der Verkehr während der Gesamterneuerung tagsüber rollen kann, wird während der Hauptarbeiten zwischen 2011 und 2013 nachts und an rund 25 Wochenenden pro Jahr gearbeitet. Die Verkehrsfläche steht tagsüber dem Individualverkehr ohne Einschränkungen zur Verfügung. Die engen Terminvorgaben, die kurzen Nettoarbeitszeiten nachts und an den Wochenenden und die innerstädtischen Verhältnisse rufen nach schnellen und leisen Bauverfahren. Lassen sich diese beiden Anforderungen kombinieren?

### 1 Projektübersicht

#### 1.1 Bauen im städtischen Siedlungsgebiet

Der Projektperimeter Cityring Luzern umfasst das der Reuss entlang laufende Lehnenviadukt im Norden, den rund 600 m langen Reussporttunnel, die Senti-Brücken mit dem Stadtanschluss sowie den 1,5 km langen Sonnenbergtunnel im Süden. In einer vierjährigen Gesamterneuerung – dem Projekt „Cityring Luzern“ – werden diese auf den heutigen Stand der Technik gebracht. Was sich einfach anhört, ist in der Realität eine planerische, logistische und technische Herausforderung für alle Projektbeteiligten. Denn betroffen von den Arbeiten sind die Stadt Luzern mit

**Matthias Neidhart**, Oberbauleiter Cityring Luzern, INGE City Lu c/o Lombardi AG  
**Franz Koch**, Gesamtprojektleiter Cityring Luzern, ASTRA Filiale Zofingen

rund 80 000 Einwohnern und die ganze Agglomeration mit ca. 200 000 Einwohnern (Bild 1).

Ein baulicher Eingriff solchen Ausmaßes an der A2 hat erhebliche Auswirkungen auf verschiedenste Anspruchsgruppen. Es reicht nicht aus, die Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer in der Stadt und Agglomeration Luzern zu untersuchen. Die zahlreichen weiteren Ansprüche so unterschiedlicher Interessengruppen wie Anwohner, Gewerbe, Veranstalter und Tourismusorganisationen etc. müssen ebenfalls in die Projektplanung einfließen. Ihnen ist eines gemeinsam: Sie wollen

## Total Renovation of the Lucerne City Ring

After being operational for almost 40 years there was no denying the effects that traffic and the weather had exerted on the A2 in Lucerne. This key element of the Swiss motorway network is used by more than 90,000 vehicles on average per day. Various engineering structures characterise this section of motorway. In order to ensure that traffic can continue moving during the total renovation in daytime work will be pursued during the main construction phase between 2011 and 2013 at night and on some 25 weekends per year. The traffic zone is available to motorists during the day without restriction. The narrow deadlines, the short net working time during the night and at the weekends as well as the inner-urban conditions call for speedy and quiet working methods. Can these 2 demands be combined?

### 1 Project Overview

#### 1.1 Constructing in an urban Built-up Area

The City Ring project perimeter consists of the Lehen Viaduct running along the Reuss in the north, the roughly 600 m long Reussport Tunnel, the Senti bridges with the urban link as well as the 1.5 km long Sonnenberg Tunnel in the south. Over a 4-year total renovation period – the “Lucerne City Ring” project – these elements will all be upgraded to comply with the latest standards. It might all sound so simple but it represents a real challenge in terms of planning, logistics and technique for all

those involved in the project. For these operations affect the city of Lucerne with some 80,000 inhabitants and the immediate area with a population of around 200,000 (Fig. 1).

Intervening to such a degree in the A2 possesses far-reaching implications for various interest groups. It is not enough to examine the effects on motorists in the city and the greater Lucerne area. Numerous other considerations as well as interest groups such as residents, commercial enterprises, promoters, tourist organisations etc. must also be represented in the project planning. They all have one thing in common: they want to ensure that their interests are subject to as little interference for as short a



# MAPEI UNDERGROUND TECHNOLOGY TEAM

*Engagement macht den Unterschied*



**Das Mapei Underground Technology Team (UTT) ist Mapei's Antwort auf die Bedürfnisse derer, die in der Welt des Tunnelbaus arbeiten.**

Es ist das Resultat von Mapei's Investitionen in die Forschung und Entwicklung spezifischer Produkte, des Engagements und der Hingabe der Mitarbeiter, welche Professionalität und Erfahrung an den Tag legen.

Wir begleiten Sie von Anfang an bis zum Schluss eines Projektes:

- weltweite Interventionsmöglichkeit
- innerhalb 24 Stunden und während 365 Tagen pro Jahr
- Kostenreduktion



[www.utt-mapei.com](http://www.utt-mapei.com)





eine möglichst kurze und möglichst geringe Beeinträchtigung ihrer Interessen. Diese stehen sich zum Teil aber diametral entgegen und rufen nach unkonventionellen Maßnahmen. Schnell und zugleich leise zu bauen bedingt zahlreiche organisatorische Maßnahmen, welche hier näher beleuchtet werden.

## 1.2 Umfassende Gesamterneuerung

### 1.2.1 Reussport- und Sonnenbergtunnel

Das Kernstück der Hauptarbeiten ist die Instandsetzung des Reussport- und Sonnenbergtunnels. Abschnitt für Abschnitt werden verschiedenste Elemente überholt oder ersetzt. Die wichtigsten Arbeiten sind in Bild 2 ersichtlich. Neben den baulichen Instandsetzungen werden auch die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) im Fahrraum und in den Technikzentralen ersetzt.

### 1.2.2 Senti-Brücken und Lehnenviadukt

Die Brücken zeigen typische Alterserscheinungen. Vor allem die Brückenplatten wurden durch Tausalz stark in Mitleidenschaft gezogen. Undichte Fahrbahnübergänge haben auch bei den Widerlagern zu Betonabplatzungen und Korrosion geführt. Die Brückenlager, undichte Abdichtungen, Entwässerungen und Straßenbelag werden erneuert. Weiter werden neue Lärmschutzwände, Leitschranken sowie Kabelrohrblöcke eingebaut.

## 1.3 Anspruchsvolles Bauprogramm

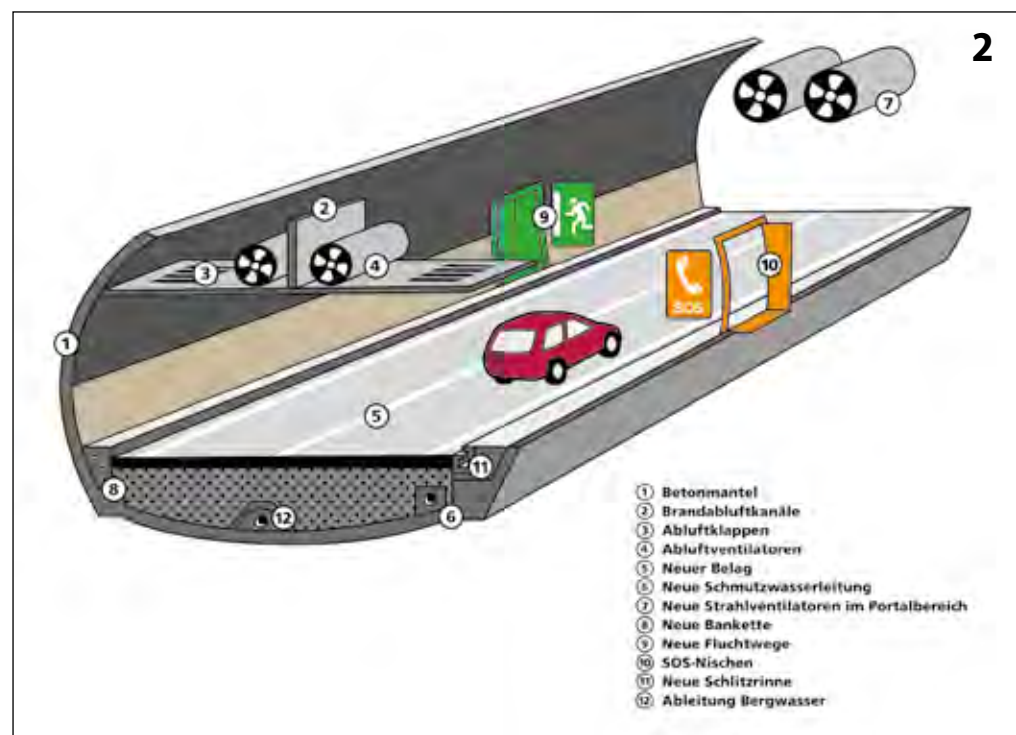
1.3.1 Umfangreiche Vorarbeiten  
Für die Hauptarbeiten mussten im Vorfeld diverse Arbeiten



Gesamtperimeter Cityring Luzern/CH  
Total perimeter Lucern/CH City Ring

ohne Verkehrsbehinderungen getätigt werden. Von 2007 bis 2010 wurden der Reussport- und der Sonnenbergtunnel mit je einem Werkleitungstunnel (WLT) mit knapp 4 m Durchmesser und mehreren Kabeltrassen ausgerüstet. Um die Hauptarbeiten für die bauliche Instandsetzung möglichst nicht durch Einbauten und Kabelanlagen zu behindern, wurden Zuleitungen zu den BSA-Einrichtungen wenn immer möglich in den WLT verlegt. Zusätzlich sind dort die Was-

Arbeiten Bau  
Construction activities



- 1 Betonmantel
- 2 Brandabluftkanäle
- 3 Abluftklappen
- 4 Abluftventilatoren
- 5 Neuer Belag
- 6 Neue Schmutzwasserleitung
- 7 Neue Strahlventilatoren im Portalbereich
- 8 Neue Bankette
- 9 Neue Fluchtwege
- 10 SOS-Nischen
- 11 Neue Schlitzrinne
- 12 Ableitung Bergwasser

time as possible. However these in some cases directly oppose one another and call for contradictory measures. Building quickly with as little noise as possible necessitates a large number of organisational measures, which will be dealt with more extensively as follows.

## 1.2 Extensive total Renovation

### 1.2.1 Reussport and Sonnenberg Tunnels

The core element of the main construction phase involves the redevelopment of the Reus-

sport and Sonnenberg tunnels. All kinds of elements are to be repaired or replaced section by section. Fig. 2 displays the most important activities. Apart from structural redevelopment the operational and safety installations (BSA) in the carriageway zone and in the technical control centre will be replaced.

### 1.2.2 Senti Bridges and Lehnenviadukt

The bridges reveal typical signs of old age. First and foremost the bridge panels have been serious

# ETONIS® – IHR BAUSTEIN FÜR MEHR KOSTENSICHERHEIT IM TUNNELBAU

Bei Tunnelbauprojekten spielt die Kostensicherheit eine entscheidende Rolle. Ein Kernbaustoff ist der Beton. Mit dem innovativen Modifiziermittel ETONIS® verleihen Sie Spritzbeton Eigenschaften, die Bau- und Folgekosten senken.



Ein Schlüsselmerkmal von ETONIS® ist die Verbesserung von Adhäsion und Kohäsion. Sprich, der Spritzbeton haftet an jedem Gestein. Das reduziert den Rückprall signifikant und damit die Materialkosten. Weitaus größer ist der Einfluss von ETONIS® auf den erhärteten Beton. Durch Absenken des Elastizitätsmoduls bei gleichzeitig hohen Druckfestigkeiten verleiht ETONIS® dem Beton duktile Eigenschaften. Das führt zu höheren Zug- und Biegezugfestigkeiten, höherer Bruchdehnung und geringerer Reißneigung. Zugleich ist mit ETONIS® modifizierter Beton beständig gegen CO<sub>2</sub>, Salze und Säuren. Das bringt auch langfristig Kostensicherheit.

Wie Sie mit ETONIS® die Kosten besser im Griff behalten können, erläutern wir Ihnen gerne in einem Gespräch: Infoline +49 8677 83-7979 oder [info.polymers@wacker.com](mailto:info.polymers@wacker.com)  
[www.wacker.com/etonis](http://www.wacker.com/etonis)



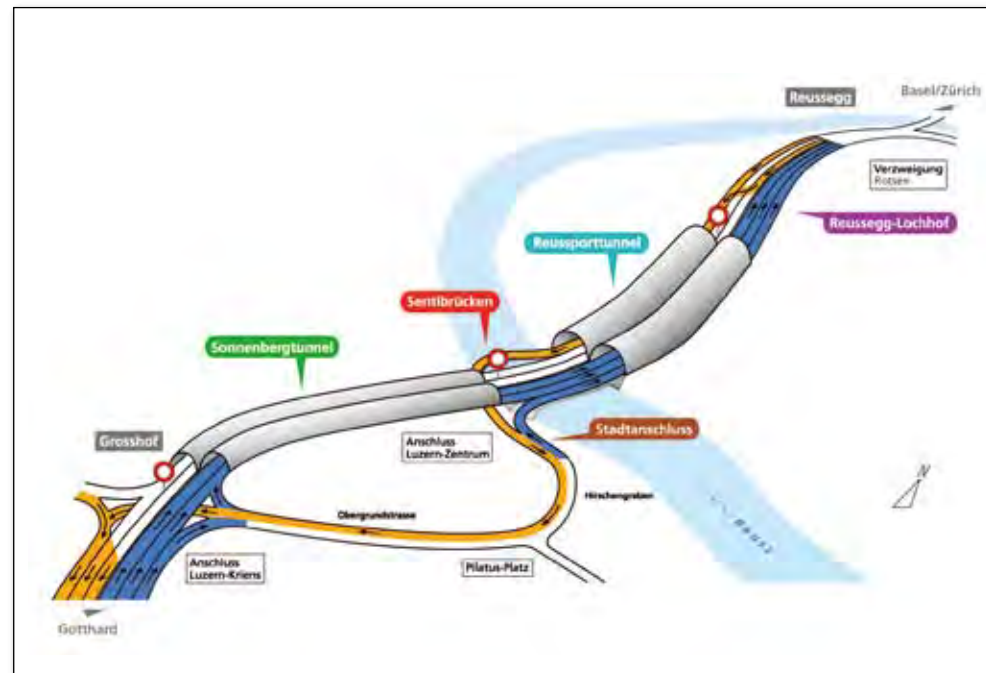
serleitungen für die Trinkwasserversorgung der Stadt Luzern und das Löschwasser für den Tunnel untergebracht. Weitere Vorbereitungsmaßnahmen waren der befahrbare Mittelstreifen und die zurückversetzten Stützmauern nördlich des Reussporttunnels. Auf der betrieblich-technischen Ebene wurden die bestehenden Systeme (Verkehrssteuerung, übergeordnetes Leitsystem, Videoüberwachung) für die spezielle Nutzung in den Bauphasen angepasst und in den Technikzentralen Provisorien eingerichtet, um später die Umschaltung von Energieversorgung und Kommunikationseinrichtungen unterbrechungsfrei ablösen zu können. Die Hauptarbeiten starteten am 2. November 2010.

### 1.3.2 Bauphasen

Die Hauptarbeiten umfassen 5 Bauphasen. In den Phasen 1 und 2 wurden 2011 die Arbeiten in den Tunneln in Fahrtrichtung Norden ausgeführt (Innen- und Außenwand). Im Jahre 2012 fallen dieselben Arbeiten in Richtung Süden an. Bis zum Abschluss der Bauarbeiten Mitte 2013 finden diverse betriebstechnische Tests, Ausbildungsgänge, Übungen der Blaulichtorganisation und Fertigstellungsarbeiten statt. Nach dem Abschluss übernimmt der Betreiber der Autobahnen wieder die betriebliche und technische Verantwortung über diesen Abschnitt.

### 1.4 Kosten

Die gesamten Baukosten belaufen sich auf rund 400 Mio. CHF. Davon machen die baulichen Anlagen rund 2/3 der Summe aus. Die übrigen Kosten verteilen sich auf die Betriebs- und



Verkehrsführung 2012 an Werktagen von 20 bis 6 Uhr (links) und an Sperrwochenenden (rechts)  
Traffic setup 2012 on working days between 8 pm and 6 am (left) and for a weekend closure (right)

Sicherheitsausrüstungen sowie diverse Leistungen für Planer und Spezialisten. Der finanzielle Mehraufwand infolge der Nacht- und Wochenendarbeiten anstelle einer Totalspernung einer Tunnelröhre beträgt rund 100 Mio. CHF. Der Mehraufwand war nötig, um einen Verkehrskollaps auf der A2 und auf dem untergeordneten Straßennetz in der Stadt Luzern zu verhindern.

### 1.5 Sorgfältig abgestimmtes Verkehrsregime

#### 1.5.1 Nachtarbeiten und Wochenendarbeiten

2006 prüften Bund und Kanton Luzern verschiedene Möglichkeiten, um den Individualverkehr aufgrund der Baustellen so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Das Verkehrskonzept „Nachtsperrung Plus“ (Nachtarbeiten plus Wochenendarbeiten) hat sich dabei als Bestvariante erwiesen. Die Umsetzung des Verkehrskonzepts führt zu folgenden

affected by thawing salt. Leaky carriageway joints have also led to spalling and corrosion at the abutments. The bridge bearings, leaky seals, drainage systems and road surfacing are to be renewed. In addition new noise protection walls, crash barriers and cable duct blocks are all to be installed.

### 1.3 Sophisticated Construction Programme

#### 1.3.1 Extensive Preparations

Various activities without hampering traffic had to be undertaken in advance. From 2007 till 2010 the Reussport and Sonnenberg tunnels were each fitted with a works conduit (WLT) with a diameter of almost 4 m and several cable ducts. In order to avoid the main activities for structural renovation being hindered by installations and cable systems as much as possible, cables were laid to the BSA installations when ever possible in the WLT. Furthermore the water pipes for Lucerne's drinking water supply

and the extinguishing water for the tunnel are accommodated there. Further preparatory measures entailed the negotiable central strips and the supporting walls relocated to the north of the Reussport Tunnel. At the operational-technical level the existing systems (traffic guidance, superordinated guidance system, video monitoring) were adapted for their special application during the construction phase and measures undertaken in the technical control centres so that the energy supply and communication facilities can be switched over without any interruption at a subsequent point in time. The main operations commenced on November 2, 2010.

#### 1.3.2 Construction Phases

The main operations embrace 5 construction phases. In phases 1 and 2 work in the tunnels towards the north was executed during 2011 (inner and outer wall). The same activities towards the south are foreseen for 2012.





Rahmenbedingungen für die Verkehrsführung:

- Die Arbeiten werden weitgehend nachts zwischen 20.00 und 6.00 Uhr ausgeführt (Sonnenbergtunnel: jeweils eine Tunnelröhre für den Verkehr gesperrt; Reussporttunnel: Tunnelröhre mit Baustelle jeweils einstreifig befahrbar). Die lokale Verkehrsumleitung erfolgt durch die Stadt Luzern. Tagsüber ist der Streckenabschnitt im Normalbetrieb befahrbar (Bild 2).
- Für Arbeiten, die nicht in einer Nacht erfolgen können (z.B. die Belageinbauten), wird an rund 25 Wochenenden pro Jahr zwischen Freitag 20.00 Uhr und Montag 6.00 Uhr eine Tunnelröhre des Sonnenbergtunnels vollständig für den Verkehr gesperrt (der Reussporttunnel bleibt einstreifig befahrbar). Bei der Sperrung einer Tunnelröhre wird der Verkehr im Gegenverkehr durch die

zweite Tunnelröhre geleitet. In der gesperrten Röhre wird rund um die Uhr gearbeitet. (Bild 3).

Das beschriebene Verkehrsregime kommt in den Jahren 2011 (Arbeiten Fahrbahn Richtung Norden) und 2012 (Arbeiten Fahrbahn Richtung Süden, Bild 3) zur Anwendung. Die Wochenendsperrungen sind auf möglichst verkehrsarme Monate gelegt worden und lassen sich wegen der engen zeitlichen Bauabläufe nicht verschieben. Zur Sicherstellung des Verkehrsflusses in und um Luzern werden umfassende flankierende Maßnahmen umgesetzt.

## 2 Nachts möglichst schnell bauen

### 2.1 Klare Vorgaben schaffen

Um der Forderung „schnelles Bauen“ gerecht zu werden, müssen bereits in frühen Projektphasen folgende wichtige Weichen richtig gestellt werden.

By the time construction activities are over in mid-2013, various operational technical tests, training courses, drills by the emergency services and completion work are scheduled. Once they are concluded the motorway operator again takes over responsibility for this section with regard to the operational and technical side of things.

### 1.4 Costs

The project will cost a total of some 400 million CHF. The structural facilities account for about 2/3rds of this amount. The remaining costs relate to the operational and safety installations as well as various sums accounted for by planners and specialists. The added costs for working at night and during the weekend instead of closing a tunnel bore completely amounts to some 100 million CHF. These added costs were necessary to prevent traffic coming to a standstill on the A2 and the surrounding road network of the city of Lucerne.

## 1.5 Carefully attuned Traffic Setup

### 1.5.1 Working at Night and during Weekends

In 2006 the Swiss state and the Canton of Lucerne examined various strategies for ensuring that motorists were unaffected as little as possible by construction sites. The “night closure plus” (night work plus weekend work) traffic concept emerged as the best solution. Putting this traffic concept into practice led to the following basic conditions for controlling traffic:

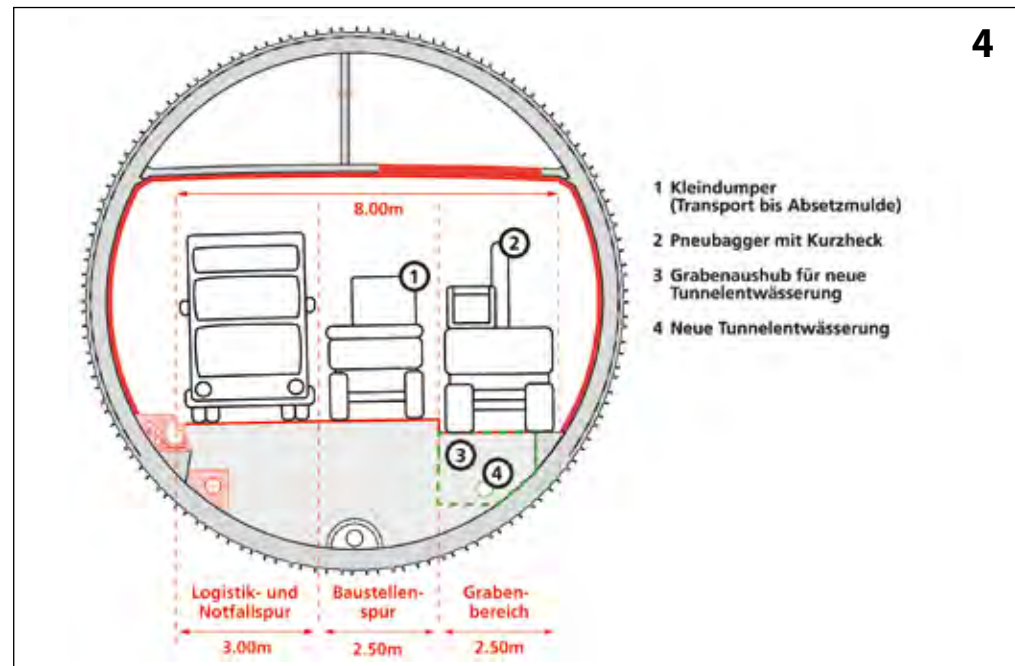
- Work is largely carried out at night between 8 pm and 6 am (Sonnenberg Tunnel: in each case 1 tunnel bore closed for traffic; Reussport Tunnel: tunnel bore with construction site with an accessible single lane in each case). Traffic was diverted locally through the city of Lucerne. During the day the route section can be used normally (Fig. 2).
- For work that cannot be accomplished in the course of a night (e.g. surfacing the carriageway), 1 bore of the Sonnenberg Tunnel is completely closed for traffic on some 25 weekends per year between 8pm on Friday and 6am on Monday (1 lane of the Reussport Tunnel remains open for traffic). When 1 tunnel bore is closed traffic runs bi-directionally through the second tunnel bore. Work in the closed bore progresses around the clock (Fig. 3).

The described traffic setup was applied in 2011 (work on the northbound carriageway) and 2012 (work on the southbound carriageway, Fig. 3). These weekend closures are geared to months when there is relatively little traffic and cannot be postpo-

Die Arbeiten Bau und Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen BSA müssen aufeinander abgestimmt sein. Das Ergebnis dieser Koordinationsarbeit ist ein für alle Unternehmer geltendes Gesamtterminprogramm. Mit über 60 im Einsatz stehenden Unternehmern gilt es, frühzeitig die Starttermine und die Zeitpunkte der Übergabe der einzelnen Zeitfenster Bau/BSA festzulegen. Es werden Meilensteine definiert, welche mittels Anreizsystemen den fristgerechten Abschluss der Zwischenziele sicherstellen. Vor Verkehrsumstellungen und am Ende von witterungsabhängigen Arbeiten müssen zeitliche Reserven zu Gunsten der Bauherrschaft eingeplant werden, welche a priori keinem der Unternehmer zustehen. Die sperrfreien Nächte und Sperrwochenende sind in der Submissionsphase verbindlich festzulegen.

Parallele Arbeiten vom Unternehmer Bau und BSA sind auf ein Minimum zu begrenzen, um gegenseitige Behinderungen möglichst auszuschließen. Für eine umfassende Gesamterneuerung unter hohem zeitlichem Druck sind Vorleistungen unabdingbar. Ein vom Fahrraum losgelöstes Werkleitungstrasse stellt ein zentrales Element solcher Vorleistungen dar. Es ermöglicht vor dem Start der Bauarbeiten den Einzug der Kabel zur provisorischen Erschließung der BSA-Komponenten im Fahrraum und den anschließenden Rückzug der alten Kabelanlagen in den Tunnelbanketten.

Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor bei nächtlichen Baustellen im Verkehrsbereich ist ein auf die Standorte der Installationsplätze abgestimmtes und leistungsfähiges Verkehrser-



Platzverhältnisse im Sonnenbergtunnel  
Space conditions in the Sonnenberg Tunnel

schließungskonzept. Auf den An- und Abtransport-Routen sind der Baustelle vorgelagerte Verkehrsgassen zur Sicherstellung der Logistik einzuplanen.

## 2.2 Zusammenspiel unterschiedlicher Optimierungen

Ist das Verkehrsregime einmal festgelegt, richten sich alle Prozesse nach den darin festgelegten verkehrsfreien Zeiten. Dabei ist es ausgeschlossen, zur Sicherung der Termine länger zu arbeiten. Das tägliche Einrichten und Abbauen der Baustelle und der nachgelagerte Reinigungs- und Kontrollaufwand reduziert die Nettoarbeitszeit am Cityring Luzern auf rund 7 Stunden. Diese kurzen produktiven Zeitfenster stellen die Unternehmer vor anspruchsvolle logistische Aufgaben. Die beengten Platzverhältnisse und das Arbeiten unter Verkehr machen es nahezu unmöglich, zur Leistungssteigerung Personal- und Inventarressourcen aufzustocken. Es sind daher sowohl

ned on account of the narrow time frames available. Extensive accompanying measures are applied to make sure that the flow of traffic in and around Lucerne is unaffected.

## 2 Building as quickly as possible at Night

### 2.1 Creating clear Requirements

In order to comply with "fast building" the following essential requirements must be properly established during early phases of the project.

The activities construction and operational and safety installations BSA must be geared to one another. The outcome of this coordination work represents a general scheduling programme that applies for all the contractors involved. With more than 60 companies participating, it is essential that the starting deadlines and the times for handing over the individual time frames construction/BSA are established. Milestones are

defined, which secure completion of the intermediate targets according to schedule through applying incentive systems. Prior to realigning traffic and at the end of work dependent on the elements time reserves favouring the client must be integrated in the planning, which a priori benefit none of the contractors involved. Nights unaffected by closure and weekends affected by closure have to be established during the submission phase.

Parallel operations by the contractor/construction and BSA must be restricted to a minimum in order to exclude mutual obstruction as far as possible. Prior preparations are essential for extensive total renovation given high time pressure. A utility cable duct detached from the carriageway represents such a central element for these prior preparations. It allows the cables to be installed for the provisional development of the BSA components in the carriageway before construction activities begin and

bei den Baumeisterarbeiten (wie auch bei den Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen BSA) innovative Lösungen gefordert, die durch spezialisiertes Personal geplant und umgesetzt werden müssen. Die folgende Aufzählung zeigt, dass das Optimierungspotential immer sowohl auf Seiten des Projektes wie auch auf Seiten der Ausführung zu suchen ist.

### 2.2.1 Beschleunigende Anpassungen am Projekt

Im Rahmen der Erneuerungsarbeiten wird das Entwässerungssystem in den Tunneln von einem Mischsystem in ein Trennsystem umgebaut. Dies bedingt den Einbau von neuen Schlitzrinnenelementen

inkl. Siphonschächten und den Ersatz von Entwässerungsleitungen. Aufgrund Ihrer Lage im Fahrbahnbereich kann diese Leitung nur während Sperrwochenenden gebaut werden. Die Platzverhältnisse sind im Sonnentunnel aufgrund der schmalen Fahrstreifen, den Leitelementen und der Zwischendecke stark beschränkt (Bild 4). Die Unternehmer sind daher gezwungen, die wichtigsten Arbeitsschritte in der Vorbereitung genauestens zu studieren, um die eigene baustelleninterne Logistik sicherzustellen und stets auch die Notfall- und Logistikspur für Blaulichtorganisationen bzw. Drittunternehmer freizuhalten.

the subsequent removal of the old cable installations in the tunnel verges.

An effective traffic development concept that is geared to the location of the installation yards represents a further important factor of success for nocturnal construction sites on the traffic sector. Traffic lanes leading to the site to secure the logistics have to be planned on the access and exit transport routes

### 2.2 Interlinking different Optimisations

Once the traffic setup has been established, all processes are then geared to the traffic-free periods it contains. In this connection it is not feasible to work longer to secure deadlines. The

daily setting up and dismantling of the site and the ensuing time required for cleaning and inspection reduce the net working time at the Lucerne City Ring to about 7 hours. This short productive time frame presents the contractors with sophisticated logistical tasks. The constricted space conditions and working while traffic is on the move make it practically impossible to increase resources in terms of staff and inventory in order to enhance performance. Thus innovative solutions are needed both for executing construction (as well as for the operational and safety installations BSA), which have to be planned and put into practice by specialised staff. The following list indicates that the optimisa-

 **Implenia**® Die Tunnelbauprofis.





Die terminlichen Vorgaben erfordern, dass pro Wochenende bis zu 350 m Rohrleitung ersetzt werden. Die Arbeitsvorbereitung hat bereits früh gezeigt, dass die Umhüllung und der Einbau der Rohrleitung anzupassen sind: Die Erhärtungszeit des Betons von minimal 6 Stunden kann nicht eingehalten werden. Nach einer Prüfung verschiedener Ausführungsvarianten wurde ein biegeweiches System (PP-Rohr mit Ringsteifigkeitsklasse SN16 verlegt in Betonkies) anstelle der Betonumhüllung in einem Feldversuch getestet und schließlich eingebaut (Bild 5).

### 2.2.2 Leistungssteigerung durch Einsatz innovativer Produkte

Auch der lokale Ersatz der Zwischendecke steht unter hohem Zeitdruck. Im Sonnenbergtunnel muss an 2 Stellen über eine Länge von 22 m die Zwischendecke abgebrochen und neu erstellt werden. Die geringe lichte Höhe der Zwischendecke würde nach Verkehrsfreigabe nur eine äußerst schlanke Schalungskonstruktion erlauben. Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung wurde vom Unternehmer vorgeschlagen, einen schnell härtenden Beton einzusetzen und die Zwischendecke wäh-

tion potential has always to be sought both with regard to the project as well as execution.

#### 2.2.1 Speeded-up Adjustments to the Project

Within the scope of the renovation activities the drainage system in the tunnels will be converted from a mixed system to a separate one. This calls for the installation of new slotted gutter elements including siphon shafts and the replacement of drainage pipes. Such pipes can only be installed during the weekends when the tunnel is closed on account of how they are positioned in the carriageway area. Space conditions in the Sonnenberg Tunnel are severely restricted on account of the narrow driving lanes, the guidance elements and the intermediate ceiling (Fig. 4). As a consequence the contractors are compelled to study the most essential working steps during the preparatory stage in order to secure the on-site logistics and ensure that the emergency and logistics lane is always kept available for emergency services and third-parties.

It is specified that up to 350 m of pipeline has to be replaced per weekend. The work preparations indicated early on that encasing and installation of the pipeline have to be adapted: the concrete setting time of at least 6 hours cannot be adhered to. After testing various alternatives a flexible system (PP pipe with SN16 ring stiffness class was laid in concrete gravel) was tried out in a field test and subsequently installed instead of encasing it with concrete (Fig. 5).

#### 2.2.2 Increasing Performance thanks to innovative Products

Replacing the intermediate ceiling locally is also subject to

enormous time pressure. The intermediate ceiling in the Sonnenberg Tunnel has to be demolished and replaced at 2 points over a length of 22 m. The low clearance height of the intermediate ceiling would only permit an extremely narrow formwork structure after traffic is given the all clear. Within the preparatory run-up the contractor proposed applying a quick-setting concrete and to shutter, concrete and strip the intermediate ceiling during a single weekend when the tunnel was closed. On account of the brief processing time of this concrete (the period during which the concrete is workable) amounting to roughly 3 hours, the police escort the concrete when it is being supplied to the site in the event of a tailback. The application of innovative products and the contractor's detailed planning have revealed that the intermediate ceiling can be replaced within short time frames without leaving installations standing in the carriageway area.

#### 2.2.3 Application of suitable Equipment

The installation of road surfaces carried out at the weekends when the tunnel is closed is also subject to enormous pressure on account of the large quantities and the short time frames involved. The clearance height and the BSA installations do not permit capacious transport containers to be utilised in the Sonnenberg Tunnel so that the surfacing material would have had to be reloaded outside the tunnel. Lorries equipped with transfer devices were applied to secure transportation right up to the machines for laying the surfacing (Fig. 6). A further example of ensuring fast construction is the



Entwässerungsleitungen  
Drainage lines

rend nur einer Wochenendsper-  
rung zu schalen, zu betonieren  
und auszuschalen. Aufgrund  
der geringen Offenzeit dieses  
Betrags (Zeit, in der der Beton  
verarbeitet werden kann) von  
nur rund 3 Stunden wird die  
Betonanlieferung bei einem  
Stauereignis von der Polizei auf  
die Baustelle eskortiert. Der Ein-  
satz innovativer Produkte und  
die detaillierte Planung des  
Unternehmers haben gezeigt,  
dass sich Zwischendecken in  
kurzen Zeitfenstern und ohne  
im Fahrraum verbleibende In-  
stallationsersetzen lassen.

### 2.2.3 Einsatz geeigneter Ge- rätschaften

Die an Sperrwochenenden  
durchgeführten Einbauten  
der Beläge stehen aufgrund  
der großen Einbaumengen  
und den kurzen Zeitfenstern  
ebenfalls unter enormem  
Leistungsdruck. Die lichte  
Höhe und die Einbauten der  
BSA lassen im Sonnenberg-  
tunnel das Aufkippen großer  
Transportgefäße nicht zu, so  
dass der Belag vor dem Tun-  
nel hätte umgeladen werden  
müssen. Um die Transport-  
leistungen bis zum Belagein-  
baufertiger sicherzustellen,  
wurden Lastwagen mit Ab-  
schiebemechanismus ein-  
gesetzt (Bild 6). Ein anderes  
Beispiel zur Sicherstellung des  
schnellen Bauens ist die Wahl  
geeigneter Gerätschaften bei  
den zahlreichen Linienbau-  
stellen. Für unterbruchfreie  
Vorbeifahrten an Arbeitsstel-  
len werden vorwiegend Bag-  
ger mit Kurzheck sowie mit  
abdrehbaren Armkonstrukti-  
onen eingesetzt. Bei den He-  
begeräten und Arbeitsgerüsten  
besteht aus Sicht der Autoren  
noch Innovationspotential für  
Gerätehersteller.

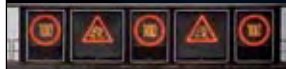
### 3 Nachts möglichst leise bauen

Die nächtlichen innerstädtischen  
Arbeiten haben ihren  
Preis. In den an die Baustelle  
angrenzenden Wohngebieten  
muss mit Lärm gerechnet wer-  
den – beispielsweise in Form  
von Körperschall als Folge von  
Abbrucharbeiten im Tunnel  
oder weil in den Portalberei-  
chen nachts der Paramentbeton  
mit Höchstdruckwasser-  
strahlen (HDW) abgetragen  
werden muss. Die Nähe zu  
den Wohngebieten, das Arbei-  
ten während der Ruhezeiten  
der Anwohner und die über  
Monate andauernden Immissi-  
onen rufen nach umfassenden  
Maßnahmen zur Reduktion des  
Baulärms. Diese Maßnahmen  
sind nicht per se leistungsbe-  
hindernd, wie die folgenden  
Ausführungen zeigen.

Der Grundstein wird mit  
einem Baulärmkonzept gelegt.  
Hohe Bedeutung kommt dabei  
der Definition der Zeitfenster  
für lärmintensive Arbeiten zu.  
Dem Baulärm ist im Rahmen der  
Submissionen entsprechendes  
Gewicht beizumessen, indem  
z.B. vom Unternehmer vorge-  
schlagene lärmreduzierende  
Maßnahmen als Zuschlagkri-  
terium definiert werden oder  
im Leistungsverzeichnis ein An-  
reizsystem für die Einhaltung  
der Vorgaben Lärmschutz aus-  
gesetzt wird.

Als Kontroll- und Steue-  
rungsinstrument werden stati-  
onäre Lärmmessungen an  
exponierten Lagen empfohlen.  
Die Messresultate werden  
wöchentlich ausgelesen, ana-  
lysiert und den Projektbetei-  
ligten zugestellt. Anhand der  
Tagesgrafiken wird die Einhal-  
tung der Arbeitszeiten über-  
prüft. Gleichzeitig können hohe  
Pegelwerte analysiert werden,

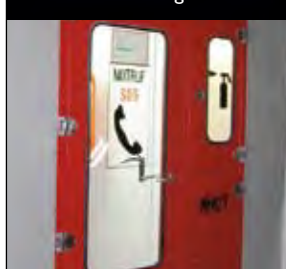
# Elektrotechnische Infrastruktur für Strassen und Tunnel



Hohe Betriebssicherheit



Schutzeinrichtungen



Kommunikation

## Fordern Sie uns bei der Automatisierung von Gewerken inner- und ausserhalb des Strassentunnels

Die Ausrüstung von Verkehrspro-  
jekten und Tunneln stellt besondere  
Anforderungen an die elektrische  
Infrastruktur. Ob es sich um die  
schnelle Vernetzung aller Geräte und  
Systeme, die wirtschaftliche Steuerung  
von Pumpen, Beleuchtung und Belüf-  
tung, die zuverlässige Energieverteilung  
oder die sichere Überwachung aller  
Einrichtungen handelt - wir entwickeln  
für jede Anforderung die optimale  
Lösung. Unsere Spezialisten wissen  
genau, wovon sie sprechen.

Mehr Informationen unter  
Telefon 052 354 55 55 oder  
[www.phoenixcontact.ch](http://www.phoenixcontact.ch)





um so zielgerichtet zusätzliche Schutzmaßnahmen zu ergreifen. HDW-Arbeiten (vor allem beim Einsatz von Handlanzen) verursachen Luftschall von bis zu 80 dBA. Die Arbeiten am Cityring haben gezeigt, dass der Lärm mit provisorischen Einhausungen um 15 dBA reduziert werden kann (Bild 7).

Schwieriger zu kontrollieren ist der Körperschall (Luftschall, der über das Erdreich in die Gebäude abstrahlt). Der Körperschall tritt lokal je nach Abstand, Fundationsart und geologischen Verhältnissen unterschiedlich stark auf. Stationäre Messungen des

Körperschalls können nicht flächendeckend durchgeführt werden und sind aufgrund der Umgebungsgeräusche in den Wohnungen schwierig zu interpretieren. Mit laufenden Optimierungen der Bauverfahren lässt sich aber auch der Körperschall reduzieren. So wurden die teilweise im Bereich des alten Füllbetons liegenden Gräben nicht gespitzt, sondern mit einer Grabenfräse ausgefräst (Bild 8). Dieses Verfahren ermöglichte, die Gräben auch außerhalb der lärmintensiven Zeitfenster zu erstellen. Das wiederum hat einen positiven Einfluss auf die Leistungswerte. Weitere Optimierungen können

choice of suitable equipment for the numerous line construction sites. Excavators with short tails as well as removable arms are mainly applied for uninterrupted passing of working places. The author believes that equipment manufacturers have still a lot to do in evolving hoisting equipment and working platforms.

### 3 Building as quietly as possible at Night

Night work in inner-urban areas has its price. Noise has to be reckoned with in the adjacent residential districts – for instance in the form of air-borne noise caused by demolition work in the tunnel or because the wall concrete has to be removed via high-pressure water jets (HDW) in the portal zones. Proximity to the residential areas, work carried out during the hours of repose for the residents and immissions lasting for months on end call for extensive measures to suppress the noise resulting from construction. These measures are not an obstacle to progress as such as shown in the following.

The foundation is laid by means of a construction noise concept. Towards this end the definition of the time frame for noise-intensive activities is essential. Construction noise must be accorded sufficient importance during the submission stage by e.g. defining noise-suppressing measures put forward by the contractor as an additional criterion or their inclusion in the list of services as an incentive system for adhering to the principles governing noise suppression.

Stationary noise measurements at exposed positions are recommended as a control and guidance instrument. The measurement results are read weekly, analysed and passed

on to those involved in the project. The daily charts enable adherence to working times to be checked. At the same time high level values can be analysed in order to resort to targeted additional protective measures. HDW activities (primarily when hand lances are used) cause air-borne noise of up to 80 dBA. The operations at the City Ring have revealed that noise can be reduced by 15 dBA when temporary encasements are applied (Fig. 7).

Structure-borne noise (air-borne noise which passes into buildings via the soil) is more difficult to control. Structure-borne noise occurs to different degrees locally depending on the distance, type of foundation and geological conditions. Stationary measurements of the structure-borne noise cannot be executed comprehensively and are difficult to interpret in dwellings on account of surrounding noises. However structure-borne noise can also be reduced as construction methods are optimised. Thus in some cases trenches located in the vicinity of the old filling concrete were not sprayed but cut using a trench-digging unit (Fig. 8). This method signified that trenches could also be produced outside of the noise-intensive time frames. This in turn had a positive effect on the performance values. Further optimisations were achieved by rescheduling noise-intensive activities from the night to during the day at weekends.

Communication plays an important role both in conjunction with air-borne noise as well as structure-borne noise. Local residents are provided with information relating to what is scheduled. Within the scope of regular get-togethers at which



Mulde mit Abschiebemechanismus  
Trough with transfer device



Einhausungen HDW  
HDW encasements





Grabenfräse


Trench-digging machine

durch das Verlegen lärmintensiver Arbeiten von der Nacht auf das Wochenende tagsüber erzielt werden.

Sowohl beim Luftschall wie auch beim Körperschall kommt der Kommunikation eine entscheidende Rolle zu. Die Anwohner werden gezielt mit Informationen über die anstehenden Arbeiten informiert. Im Rahmen von regelmäßigen Anlässen für den Erfahrungsaustausch mit den Anwohnern wird der unerlässliche Direktkontakt zwischen der lärmgeplagten Bevölkerung und den Projektbeteiligten gefördert. Dank eines über 24 Stunden besetzten Projekttelefons können die Reklamationen und Anliegen der Bevölkerung rund um die Uhr aufgenommen und beantwortet werden. Die Anrufe liefern wichtige Hinweise

für die Anpassungen von Lärm-schutzmaßnahmen, Baumethoden oder Einflussbereiche.


#### 4 Schlussfolgerungen

Der Cityring Luzern ist in seiner Komplexität kaum zu überbieten. Die verkehrlichen, zeitlichen und umwelttechnischen Rahmenbedingungen fordern allen Projektbeteiligten viel ab. Die Kapazitäten und das Know-how der Planer, der Spezialisten und der Unternehmer sind die Voraussetzung für die Umsetzung eines solchen Vorhabens – genauso wie das Wohlwollen der betroffenen Bevölkerung. Versucht man aber der Vielfalt der Herausforderungen von allen Seiten gebührend Rechnung zu tragen, ist schnelles und zugleich leises Arbeiten inmitten einer Stadt keine Unmöglichkeit. 

findings are discussed with residents, direct contact between the noise-stressed population and those involved in the project is promoted. Thanks to a project telephone manned 24 hours a day any complaints and needs on the part of the population can be dealt with and responded to at all times. Such calls supply important pointers for adjusting noise suppression schemes, construction measures or spheres of influence.

#### 4 Conclusions

The Lucerne City Ring can scarcely be rivalled in terms of its complexity. The basic conditions relating to traffic, chronology and the environment demand a great deal from all those involved in the project. The capacities and the know-how of the planners, the specialists and the contrac-

tors represent the prerequisite for executing such a scheme – as well as the approval of the affected inhabitants of course. However if an attempt is made to come to terms with the large number of challenges in an appropriate manner then it is not impossible to execute speedy and at the same time quiet work in the centre of a city. 

## Kaiser-Wilhelm-Tunnel: Unterfahrung der Oberstadt Cochems im EPB-Modus

Mit Durchschlag des Maschinenvortriebes für den Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel wurde ein wesentlicher Schritt zur Umsetzung des heute für Eisenbahntunnel geforderten Sicherheitsniveaus vollzogen. Der Vortrieb erfolgte im offenen und im geschlossenen Modus. Der vorliegende Beitrag behandelt den tunnelbautechnisch schwierigsten Teilabschnitt, der die Unterfahrung der Oberstadt Cochem im EPB-Modus darstellt. Die tunnelbautechnische Herausforderung war auf eine setzungsarme Unterfahrung der insgesamt alten, z.T. bereits vorgeschädigten Gebäude, ausgerichtet. Erschwerend kamen die geologischen Verhältnisse (Mischbrustverhältnisse) und geringen Fundamentabstände hinzu.

### 1 Stand der Realisierung des Kaiser-Wilhelm-Tunnels

Der bereits 1879 in Betrieb genommene zweigleisig betriebene Kaiser-Wilhelm-Tunnel befindet sich auf der Moselstrecke Koblenz-Perl zwischen Ediger-Eller und Cochem, die einen wichtigen Bestandteil des Trans-europäischen Netzes (TEN) für konventionellen Verkehr bildet.

Aufgrund des baulichen Zustandes und des unzureichenden Sicherheitsniveaus hinsichtlich des Brand- und Katastrophenschutzes ist der Neubau einer zweiten Röhre und die Erneuerung des alten Tunnels erforderlich.

Die Gesamterneuerung des Tunnels ist dazu in 2 Bauphasen aufgeteilt. In der 1. Bauphase

**Dipl.-Ing. Bodo Tauch**, Technischer Projektleiter Kaiser-Wilhelm-Tunnel, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt am Main/D

**Dr.-Ing. Dieter Handke**, Gesellschafter/Projektleiter Schildvortriebsverfahren, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum/D

**Ing. Marco Reith**, Projektleiter, Arge Neuer Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Alpine BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck/A

wird der Alte Kaiser-Wilhelm-Tunnel (AKWT) um eine zweite, parallel geführte Röhre, den Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel (NKWT) ergänzt, eingleisig ausgebaut und in Betrieb genommen. In der 2. Bauphase wird der AKWT außer Betrieb genommen und ebenfalls zu einer eingleisigen Röhre rückgebaut und erneuert.

Beide Röhren werden im Endzustand eingleisig befahren und über 8 Querstollen miteinander verbunden. Damit entspricht der Tunnel dann dem aktuellen Sicherheitsniveau

## Kaiser Wilhelm Tunnel: Undertunnelling Uptown Cochem in EPB Mode

The breakthrough of the mechanised drive for the New Kaiser Wilhelm Tunnel represented an important step towards applying the safety level required nowadays for railway tunnels. The excavation was carried out in open and closed mode. This report deals with the most difficult technical part-section in terms of tunnelling, which resulted in uptown Cochem being undertunnelled in EPB mode. The technical challenge was geared to undercutting old, in some cases already damaged structures with minimal settlements. The geological conditions (mixed face conditions) and short distances between foundations made it even harder.

### 1 Stage reached in accomplishing the Kaiser Wilhelm Tunnel

The 2-track Kaiser Wilhelm Tunnel, which opened back in 1879, is located on the Coblenz-Perl Moselle rail route between Ediger-Eller and Cochem, which is an important component of the Trans-European Network (TEN) for conventional traffic.

On account of the structural state and the insufficient safety level regarding fire and catastrophe protection it was essential to build a second tunnel apart from renovating the old one.

The total redevelopment of the tunnel is divided into 2 phases. In the first construction phase the Old Kaiser Wilhelm Tunnel (AKWT) is augmented by a second bore running parallel, the New Kaiser Wilhelm Tunnel (NKWT), provided with a single track, which is then put into service. In the second construction phase the AKWT is decommissioned and also modified and redeveloped as a single-track tunnel.

Both bores will ultimately be operated with single tracks and connected with each other by means of 8 cross-passages. In this way the tunnel will comply with the latest safety standards in keeping with the guideline issued by the Federal Railways Office (EBA) "Fire and Catastrophe Protection Requirements for

gemäß der Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln“ und auch den europäischen Regelungen der TSI – SRT (Technische Spezifikation für die Interoperabilität – Safety in Railway Tunnels).

Die komplette Inbetriebnahme ist für Dezember 2015 geplant.

Der Maschinenvortrieb für den Bau des 4242 m langen Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnels (1. Bauphase) wurde mit dem Durchschlag am 7. November 2011 erfolgreich abgeschlossen (Bild 1).

Der tunnelbautechnisch schwierigste Teilabschnitt des Maschinenvortriebes beinhaltete die Unterfahrung der Oberstadt Cochem im EPB-Modus (Bild 2). Dabei mussten Gebäudeabstände mit minimal 3,2 m zur Tunnelfirste setzungsfähig unterfahren werden. Die Unterquerung von bebautem Gebiet mit einer derart geringen Überlagerung wurde weltweit erstmalig mit dieser Vortriebsmethode durchgeführt. Erschwerend kam hinzu, dass in diesem Bereich die Mischbrustverhältnisse vorherrschten: einerseits die anstehende Ortsbrust aus Fels und andererseits aus Lockergestein. Der Gebäudezustand der betroffenen Häuser war infolge der ausgeführten Schadensaufnahmen im Zuge der Beweissicherung



Durchschlag TVM Portal Cochem

TBM breakthrough portal Cochem

insgesamt für die Unterfahrung als kritisch zu beurteilen.

Die Konzeption der Schildmaschine war auf die Bewältigung der auf dem überwiegenden Streckenabschnitt anstehenden relativ standfesten Festgesteinszonen ausgerichtet, die im offenen Modus zu bewältigen waren. Maschinentechnisch war aber gleichzeitig die Möglichkeit zur Aufbringung einer aktiven Ortsbruststützung zur Bewältigung von Störzonen und der Lockergesteinszone im Bereich der Oberstadt Cochem eingeplant. Die Maschine wurde daher mit einer Förderschnecke ausgestattet, die zu jedem Zeit-

Building and Operating Railway Tunnels“ and also the European regulations of the TSI – SRT (Technical Specification for Interoperability – Safety in Railway Tunnels).

It is planned to open the completed project in December 2015.

The mechanised drive for producing the 4,242 m long New Kaiser Wilhelm Tunnel (1<sup>st</sup> construction phase) was successfully concluded with the breakthrough on November 7, 2011 (Fig. 1).

The technically most difficult part-section of the mechanised drive in tunnelling terms entailed undertunnelling uptown Cochem in EPB mode (Fig. 2). In

the process buildings at a minimum distance of 3.2 m from the tunnel roof had to be undercut to produce minimal settlements. This was the first time anywhere in the world that this driving method was applied for undertunnelling a built-up area with such slight overburden. This was made all the more difficult by the fact that mixed face conditions existed in this area: on the one hand the prevailing rock face and on the other soft ground. The structural state of the affected houses based on the damage recordings taken during the preservation of evidence was by and large assessed as critical for undertunnelling.

**Concix**<sup>®</sup>

**Die wirtschaftliche und ökologische Alternative zu Stahlfasern.**

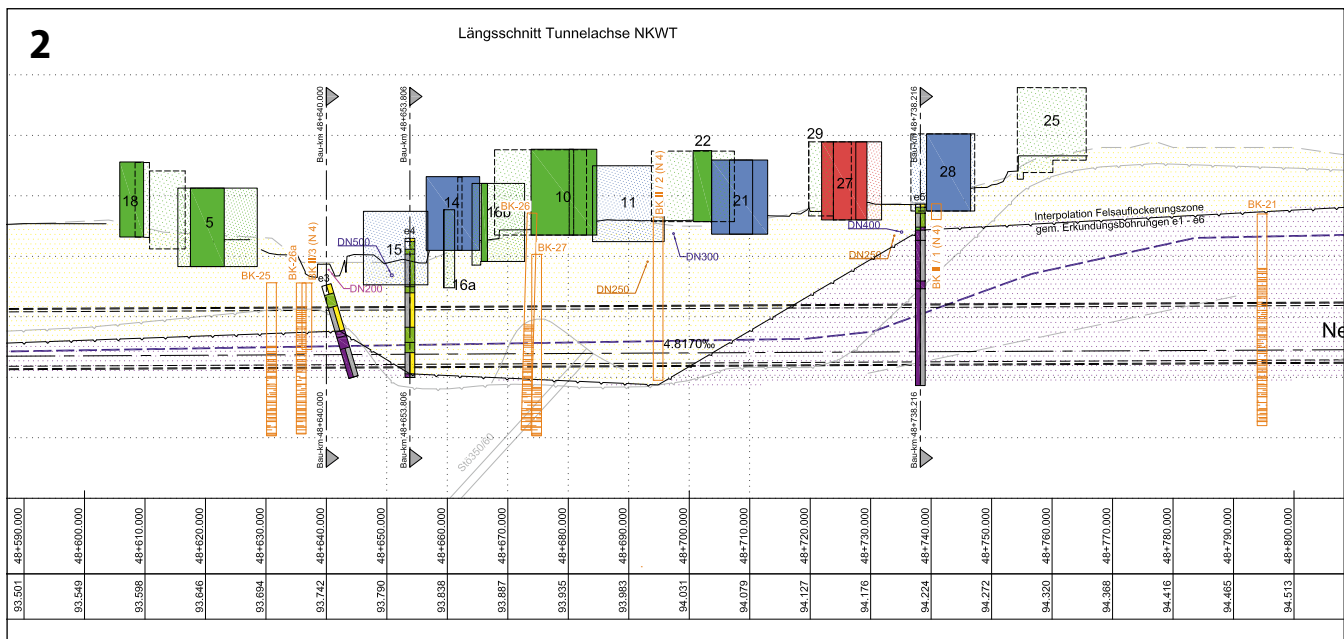
Kein Rost. Keine Korrosion. Kein Kriechen. Keine Verletzungsgefahr. Hervorragendes Arbeitsvermögen. [www.bruggcontec.ch](http://www.bruggcontec.ch)

**BRUGG**

**CONTEC**

Strong fibers.





Oberflächensituation und geologischer Längsschnitt Oberstadt Cochem

Situation on the surface and geological longitudinal section for uptown Cochem

punkt, je nach geotechnischer Anforderung vom offenen Modus auf den druckbeaufschlagten geschlossenen Modus und umgekehrt, umgestellt werden konnte.

Die Vorteile bezogen auf das Verfahren und die Logistik präferierten einen EPB-Schildmaschinentyp (SMV 5 nach DAUB-Klassifizierung) gegenüber einer Schildmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust.

Wie in [1] berichtet, konnten Umstellzeiten von einer Betriebsart auf die andere in kurzer Zeit ohne großen Umbaufwand realisiert werden.

Allgemeine Projektbeschreibungen zum Tunnel, zum Baugrund, Darstellungen zur Maschinenteknik und zu den Vortriebserfahrungen in den Festgesteinsabschnitten sowie den Grenzbereichen beim Übergang von den stabilen Festgesteinszonen zu instabilen, stark zerrütteten Gebirgsabschnitten, sind dem Artikel unter [1] zu entnehmen.

Der vorliegende Beitrag behandelt ausschließlich die Erfahrungen bei der Vorbereitung und Durchführung der Unterfahrung der Oberstadt Cochem.

## 2 Prognostizierte Baugrundverhältnisse im Bereich der Oberstadt Cochem

Der ca. 450 m lange Unterfahrungsbereich der Oberstadt Cochem wird durch Lockergesteinsschichten aus quartärem Hanglehm bzw. Hangschutt in unterschiedlichen Mächtigkeiten geprägt. Diese Böden sind höchst setzungsempfindlich und nehmen bei Wasserzutritt Fließeigenschaften an. Die Schichten sind in eine großflächige Senke eingebettet, die von Festgesteinspartien eingeschlossen werden (Bild 2).

Der Vortrieb im Bereich der Cochemer Oberstadt sollte nach den Prognosevorgaben demnach vom Festgestein schleifend in die Lockergesteinsschichten eintauchen,

The shield machine was devised to cope with the relatively stable solid rock zones encountered along the bulk of the route, which were to be tackled in open mode. However at the same time it was possible in engineering terms to apply an active face support to overcome fault zones and the soft ground zone in uptown Cochem. As a result the machine was equipped with a screw conveyor, which at any time depending on the geotechnical demands could be converted from open mode to pressurised closed mode and vice versa.

The advantages relating to the method and the logistics called for an EPB shield machine type (SMV 5 according to DAUB classification) as opposed to a shield machine with fluid-supported face.

As reported in [1] conversion from one operating mode to the other was accomplished in a short time without major modifications.

General project descriptions on the tunnel, the subsoil, presentations of the mechanical engineering and the findings obtained during excavating in the solid rock sections as well as the transition areas when moving from the stable solid rock zones to instable, highly fissured rock sections, can be derived in the article under [1].

This report deals exclusively with the findings obtained during the preparation and execution stages while undercutting uptown Cochem.

## 2 Forecast Subsoil Conditions under Uptown Cochem

The roughly 450 m long area undercutting uptown Cochem is marked by soft ground layers consisting of quaternary slope loam or slope debris with varying thicknesses. These soils are highly susceptible to settlement and adopt flow characteristics when affected by water. The layers are embedded in an extensive depression, which is enclosed by sections of solid rock (Fig. 2).

bis der Querschnitt vollflächig in den Lockergesteinsschichten zu liegen kommt. Die mixed-face Bedingungen stellen aufgrund der konträren Gebirgseigenschaften erhöhte Anforderungen an die Steuerung der Schildmaschine, die Sicherstellung der Ortsbruststabilität und der Konditionierung dar.

Die Festgesteinseigenschaften sind beim Übergang durch relative standfeste Verhältnisse geprägt, die allmählich in zerrüttete Gesteinszonen übergehen. Kluftsystem und Bankigkeit sowie die Belegung der Schichtflächen mit Ton- oder Schluffbestegen führen zu Harnischflächen, die im Vortrieb eine Sargdeckelbildung begünstigen.

### 3 Geplantes Vortriebskonzept zur Unterfahrung der Oberstadt

Zur Sicherstellung der Ortsbruststabilität und damit Realisierung eines möglichst setzungsarmen Vortriebes sollte der Vortrieb unter der Oberstadt im geschlossenen Modus erfolgen. Die Maschinenkonzeption war hierzu mit weiteren setzungsminimierenden Elementen ausgestattet:

- weitgehend geschlossenes Schneidrad
- Schneidradverschiebung mit der Möglichkeit des Schneidradzurückziehens
- umlaufende Felge/Felgenschneidrad
- Integration von Massenbilanzsystemen für Ausbruch (Bandwaage) und Ringspaltverpressung
- Begrenzung der Konizität und des Überschnittes
- Funktionsfähigkeitskontrollen für die wesentlichen Maschinenkomponenten,

ergänzt durch optische und akustische Warneinrichtungen, um eventuelle Störungen möglichst frühzeitig beheben zu können

- Datenerfassungsanlage zur Überwachung sämtlicher Daten des Maschinenvortriebs mit Online-Datenübertragung
- kontinuierliche Gebäudeüberwachung mit Online-Übertragung und festgelegten Alarm-, Warn- und Grenzwerten.

Maschinentechnisch war für den Bedarfsfall auch die partielle Sicherung des Firstbereiches mittels Injektionsschirm aus der Maschine heraus eingeplant. Hiermit bestand grundsätzlich die Möglichkeit, Sicherungen auch direkt unter den Gebäuden auszuführen, da oberflächennahe Vorkehrungen aufgrund der Gebäudesituation und deren Zugänglichkeit nur schwer umsetzbar waren.

### 4 Ausführungskonzept

Auf der Basis der vorhandenen Baugrundinformationen und des nach Ausschreibungsvorgaben geplanten Vortriebskonzeptes wurde zeitlich weit im Vorfeld der Unterfahrung der Oberstadt Cochem ein mehrstufiges Programm zur Erarbeitung des Ausführungskonzeptes aufgestellt. Das Ausführungskonzept zielte darauf ab, einen geregelten Ablauf und sicheren sowie kontinuierlichen Vortrieb zur Unterfahrung der Oberstadt sicherzustellen.

Wesentliche Elemente des Programms waren:

- Bestandsaufnahme der vorliegenden Baugrund-

According to prognosis specifications the drive under uptown Cochem was intended to dip from the solid rock into the soft ground layers. The mixed-face conditions placed increased demands on controlling the shield machine, safeguarding face stability and conditioning on account of the contrary rock properties.

The solid rock properties are characterised by relatively stable conditions in the transition zone, which gradually change to a shattered rock zone. Fissure systems and thick beds as well as accumulations of clay or silt on bedding planes lead to slickenside surfaces, which favour the

formation of detached blocks during the drive.

### 3 Planned Driving Concept to undercut Uptown Cochem

The drive beneath uptown Cochem was to be executed in the closed mode to secure face stability and in turn to accomplish an excavation with as little settlement as possible. Towards this end the machine was designed with further elements minimising the amount of settlement:

- largely closed cutting wheel
- Cutting wheel displacement with the possibility of retracting the cutting wheel
- Revolving rim (rim cutting wheel).



RODIO GmbH Spezialtiefbau  
Siemensstrasse 2a  
D-86356 NEUSÄSS  
www.rodio.de

GROUND TREATMENT

SPECIALISTS

ACROSS EUROPE



RODIO Geotechnik AG  
In der Luberzen 17  
CH-8902 URDORF  
www.rodio.ch




informationen, ggf. mit Definition weitergehender Erkundungsmaßnahmen

- Analyse der Setzungsverträglichkeit der Gebäude infolge Vortrieb
- Definition von maschinen- und verfahrenstechnischen Vorkehrungen zur Sicherstellung einer störungsfreien Unterfahrt
- Definition von ausfüh-rungs- und baubetrieblichen Vorkehrungen zur Überwachung der Vortriebsarbeiten
- Umsetzung eines übertä-gigen Messkonzeptes durch Permanentbeobachtung der einzelnen Gebäude und Echtzeitübertragung in den Steuerstand der TVM
- Vorversuche zur Konditionierbarkeit und Verminderung der Verklebungsproblematik
- Untersuchung zur Umsetzung von In-Situ-Versuchen bezüglich der Injizierbarkeit des anstehenden Baugrundes
- Ergänzende Untersuchung der Gebäudegeometrien der kritischen Gebäude

#### 4.1 Bestandsaufnahme der Baugrundinformationen

Die Analyse der vorliegenden Baugrunderkundungen dokumentierte, dass die Lage des Felshorizontes mittels zusätzlicher Erkundungsbohrungen zu präzisieren war. Wesentliche Intention war es, eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme über den Verlauf des Felshorizontes und der zugeordneten Mächtigkeit im Auffahrungsquerschnitt zu erlangen. Die begleitend auszuführenden Baugrunduntersuchungen sollten zudem die prognostizierten maßge-

benden Baugrundkennwerte ( $\phi$ ,  $c$ , E-Modul, Kornverteilungskurven, Porosität) und den Schichtenverlauf bzw. den querschnittsbezogenen Aufbau entsprechend den Vorgaben der Ausschreibung korrigieren.

Die 6 zusätzlich ausgeführten Erkundungsbohrungen wiesen aus, dass im Tunnelquerschnitt auf ca. 230 m Länge durchwegs Mischbrustverhältnisse zwischen Festgestein (Tonschiefer, quarzitischer Feinsandstein) und Lockergestein (Hanglehm, Schluff, Hangschutt) vorhanden waren. Für den restlichen Unterfahrbereich lag der Tunnelquerschnitt vollflächig im Festgestein (Bild 2).

Hinsichtlich der Kornzusammensetzung stellte sich analog der Prognose der Hanglehm als ein mit Steinen durchsetzter sandiger Schluff dar, während beim Hangschutt der Schluff lediglich die Zwischen- und Porenräume zwischen den steinigen und kiesigen Kornfraktionen ausfüllt. Bei einem Schluffanteil von  $\geq 10\%$  sind diese Böden stark bewegungsempfindlich und weichen, z.B. durch mehrfaches Befahren, rasch auf. Ab einem Schluffanteil von  $\geq 20\%$  ist der Boden unter Grundwasser bzw. bei Zutritt von Schichtwasser zudem fließempfindlich.

Auf der Basis dieser Kenntnisse wurden Betrachtungen zur Setzungsverträglichkeit der kritischen Gebäude mit geringer Überlagerung ausgeführt. Diese wiesen aus, dass zur sicheren Gebäudeunterfahrung der am stärksten betroffenen Gebäude Zusatzmaßnahmen erforderlich waren. Davon betroffen waren insgesamt ca. 70 m des rund 450 m langen Unterfahrbereiches der Oberstadt Cochem.

- Integration of mass balance systems for extraction (belt weigher) and annular gap grouting
- Limiting the conicity and the overcut
- Functioning controls for the essential machine components, backed up by optical and acoustic alarm signals so that possible faults are remedied as quickly as possible
- Data processing unit to monitor all data from the machine drive with online data transmission
- continuous monitoring of buildings with online transmission and predetermined alarm, warning and limit values.
- Assessment of the available subsoil information if need be with further reaching exploratory measures being defined
- Analysis of settlement compatibility of the buildings affected by the excavation
- Definition of engineering and process technical precautions to provide for undertunnelling free of disturbances
- Definition of precautions in conjunction with execution and construction techniques for monitoring the driving activities
- Introducing a measurement concept on the surface through permanent observation of the individual buildings and real time transmission to the TBM control panel
- Advance tests for conditionability and reducing clogging problems
- Investigating the application of in situ tests with regard to injecting the surrounding subsoil
- Additional examination of the building geometries of the critical buildings.

In mechanical engineering terms partial supporting of the roof zone by means of a grout curtain from the machine was also planned should the need arise. This furthermore made it possible to undertake supporting directly beneath buildings as precautions close to the surface were difficult to execute on account of the location of the buildings and their accessibility.

#### 4 Execution Concept

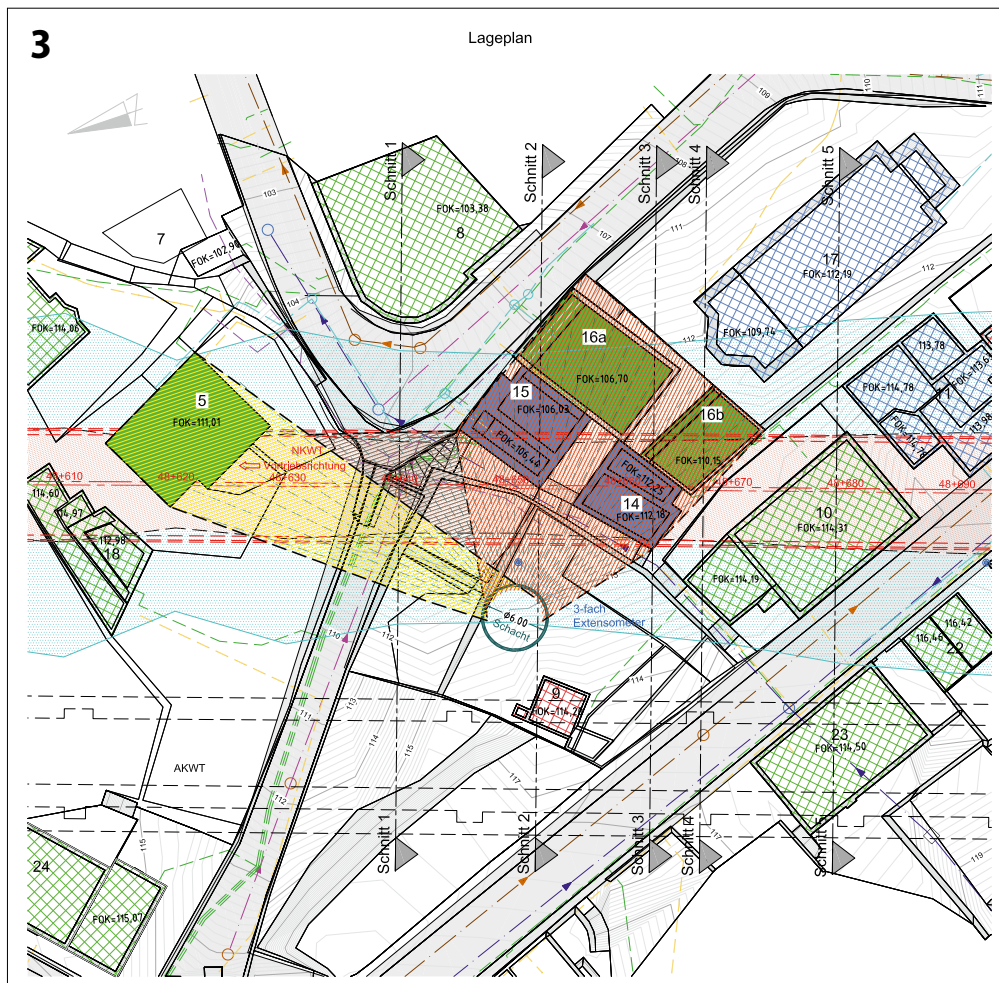
A multi-stage programme for working out the execution concept was drawn up chronologically well in advance of undertunnelling uptown Cochem on the basis of the available subsoil information and the driving concept planned in accordance with the details contained in the tender. The execution concept was aimed at establishing a controlled cycle and a safe as well as continuous drive for undertunnelling uptown Cochem.

The programme's main elements were:

#### 4.1 Assessment of the Subsoil Information

Analysis of the available subsoil information documented that the location of the rock horizon had to be precisely established using additional exploratory drilling. The main intention here was to arrive at a comprehensive as possible assessment of the course of the rock horizon and the related thickness in the excavated cross-section. The accompanying subsoil investigation that had to be carried out should furthermore correct the forecast determining subsoil parameters ( $\phi$ ,  $c$ , E-module, grain-size distribution curves, porosity) and the stratification





Schachtbauwerk mit Injektionsschirm  
Shaft structure with grout curtain

Probeinjektionen zur Untergrundvergütung bestätigen zwar, dass die schluffdominierten Schichten in Analogie zur Prognose schwer injizierfähig waren, der Baugrund aber aufgrund seiner Heterogenität und des Porenvolumens jedoch insgesamt sehr viel Injektionsgut aufnahm.

#### 4.2 Baugrundvergütung

Auf der Basis einer umfassenden Risikobewertung möglicher Zusatzmaßnahmen zur Erhöhung der Gebäudesicherheit und folglich Minimierung von vortriebsbedingten Baugrundverformungen wurde entschieden, den Baugrund im kritischen Gebäudebereich

auf ca. 70 m Vortriebslänge durch einen Injektionsschirm vorseilend zu vergüten. Der als Setzungsbremse agierende Injektionsschirm wurde aus einem gesondert hergestellten Schachtbauwerk von Übertage erstellt und in etwa mittig zwischen Fundamentunterkante und Tunnelfirst angeordnet. Der Schacht wurde von der Lage her zwischen dem Alten Kaiser-Wilhelm-Tunnel und dem Neuen Kaiser-Wilhelm-Tunnel angeordnet (Bild 3). Minimal lagen zwischen First und Fundamentunterkante ca. 3 m.

Der Schacht wurde mit bewehrtem Spritzbeton und einem Verstärkungsring am Schachtkopf hergestellt. Der

and the cross-sectional structure in keeping with the parameters at the tendering stage.

The 6 exploratory drill holes that were additionally produced indicated that mixed face conditions prevailed in the tunnel cross-section over approx. 230 m ranging from solid rock (clay slate, quartzitic fine sandstone) and soft ground (slope loam, silt, slope debris). The tunnel cross-section was completely located in solid rock in the remaining area that had to be undertunnelled (Fig. 2).

As far as the grain composition was concerned in accordance with the prognosis, the slope loam emerged to be sandy silt containing stones whereas in the

case of the slope debris, the silt merely filled the intervening and porous areas between the stony and gravelly grain fractions. Given a silt proportion of  $\geq 10\%$  these soils are highly susceptible to movements and quickly moisten, e.g. when driven over several times. As from a silt proportion of  $\geq 20\%$  the soil is in addition susceptible to flowing in the event of groundwater or ingressing strata water.

Based on these recognitions the settlement compatibility of the critical buildings with shallow overburden was assessed. As a result it was established that additional measures were needed to undercut the most endangered buildings in a safe manner. Altogether around 70 m of the 450 m long undertunnelling section in uptown Cochem was affected.

Test grouting to improve the soil did reveal that the silt-dominated layers were difficult to inject as had been forecast but however the subsoil was able to accept a large amount of grouting material on account of its heterogeneity and pore volume.

#### 4.2 Improving the Soil

Based on an extensive risk evaluation of possible additional measures to enhance the safety of the buildings and in turn minimise subsoil deformations resulting from the excavation, it was decided to improve the subsoil over a length of roughly 70 m in advance of the drive by means of a grout curtain. The grout curtain acting as a brake on settlement was produced from the surface in a specially created shaft structure and set up more or less centrally between the lower edge of the foundations and the tunnel roof. The shaft was positioned between

Schacht hatte einen lichten Durchmesser von 6 m und eine Tiefe von 12,8 m. Ein Aufbau von Wasserdruck wurde durch die Anordnung von Entlastungsbohrungen verhindert. Ein Vortrieb ohne jegliche Vorabsicherungen wurde auf diesem Abschnitt aufgrund der Risiken für die Gebäude ausgeschlossen. Direkte Gebäudeunterfangungen, z.B. infolge Rohrschirmabfangung aus gesonderten Schächten mit Gebäudesicherungen durch Pressenunterfangungen wurden aufgrund der Vielzahl der Angriffspunkte, der Umsteifungen und Verformungen bereits bei der Herstellung ebenso als nicht zielsicher ausgeschlossen.

Als Ziel zur sicheren Unterfahrung wurde ein Vorhebungsmaß von 2 bis 3 mm definiert. Je nach sich einstellender Setzungsmulde sollte zusätzlich die Möglichkeit bestehen, eine Kompensierung der Setzungen mit dem Ziel der Vergleichmäßigung ausführen zu können.

Zur Ausführung gelangte das Soilfrac-Verfahren der Keller Grundbau GmbH. Die aus statischer Sicht formulierten Vorgaben an die Hebungsmäße konnten zielsicher umgesetzt werden.

Für den restlichen Unterfahrungsabschnitt wurden keine Zusatzmaßnahmen getroffen.

#### 4.3 Maschinen- und verfahrenstechnische Vorkehrungen zur Unterfahrung

Grundkonzeption zur sicheren Unterfahrung der Oberstadt war die Realisierung eines kontinuierlichen Vortriebes, d.h. Durchlaufbetrieb bei Tag und Nacht ohne planmäßigen Vortriebsstopp. In ausreichendem Abstand vor der direkten Un-

terfahrung wurden daher folgende Präventivmaßnahmen geplant und umgesetzt:

- Überholung und Funktionsprüfung der gesamten Vortriebsanlage, insbesondere Schneidrad, Förderschnecke, Schaumlanzen für die Zugabe von Zusatzstoffen und Eichung der Bandwaagen. Das Ergebnis wurde in einem gesonderten Abnahmebericht protokolliert. Defizite und Mängel wurden umgehend beseitigt.
- Installation zusätzlicher Schälmesser zur Bewältigung der Hangschutt- und Hanglehmschichten
- Sanierung bzw. Austausch der Grillbars
- Austausch der Schneidrollen durch Spezialschneidrollen mit doppelter Dichtung, hochwertigem Stahl und Fettfüllung zur Verhinderung des Blockierens
- Überprüfung der Druckluftschleuse auf Funktionsfähigkeit.

Zur optimalen Adaptierung des Erdbreis und seiner Eigenschaften an den Baugrund wurden im Vorfeld der Unterfahrung umfangreiche Versuchsreihen zur Verarbeitbarkeit (Konditionierung) und zur Reduzierung von Verklebungserscheinungen durchgeführt. Zusätzlich zu den Laborversuchen wurden 2 Teststrecken unter Vortriebsbedingungen definiert, die der Übertragung auf den Baugrund und Beurteilung im Vortrieb dienten. Für den EPB-Modus selbst standen geotechnisch ungünstige Verhältnisse an, die durch die Mischbrustverhältnisse mit gleichzeitigem Auftreten von Locker- und Festgesteinspartien geprägt waren.

the Old Kaiser Wilhelm Tunnel and the New Kaiser Wilhelm Tunnel (Fig. 3). The minimum distance between the roof and the lower edge of the buildings amounted to approx. 3 m.

The shaft was produced using reinforced shotcrete and a strengthening ring at the shaft head. The shaft had a clear diameter of 6 m and a depth of 12.8 m. Any build-up of water pressure was prevented by setting up relief drill holes.

An excavation without any advance supporting was precluded along this section on account of the risks for the buildings. Direct underpinning of the buildings, e.g. using a pipe umbrella support from special shafts with the buildings being secured by supporting jacks was disregarded as unsuitable even during the production stage owing to the large number of points of attack, restrutting and deformations.

A 2 to 3 mm amount of lift was defined as the goal for safe undercutting. Depending on the resultant settlement trough it also had to be possible to compensate settlement through homogenisation.

The Soilfrac method from the Keller Grundbau GmbH was applied. The parameters regarding the degrees of lift formulated from the static point of view were safety attained.

No additional measures were undertaken for the remaining section to be tackled.

#### 4.3 Engineering and Process Technical Precautions for Undertunnelling

The basic approach for safely undertunnelling uptown Cochem was to accomplish a continuous drive, i.e. continuous operation day and night without any scheduled break in tunnelling.

As a consequence the following preventive measures were adopted at a sufficient gap prior to the undertunnelling measure as such:

- Servicing and inspecting the complete driving installation, particularly the cutting wheel, screw conveyor, foam lances for adding additives and calibrating the belt weigher. The result was recorded in a special report. Deficits and flaws were remedied on the spot.
- Installation of additional cutters to cope with the slope debris and slope loam layers
- Replacement of the grill bars
- Replacement of the cutting rollers by special cutter rollers with double seal, high-grade steel and filled with lubricant to prevent blockage
- Testing the compressed air lock to check how it is functioning.

Extensive test series relating to conditioning (pastosity) and to reduce clogging phenomena were carried out in advance for adapting the earth paste optimally as well as its properties vis-à-vis the subsoil. Furthermore 2 test sections were defined under driving conditions, which served transference to the subsoil and evaluation during the drive in addition to the lab tests. Geotechnically unfavourable conditions existed for the EPB mode itself, which were characterised by the mixed face conditions and the simultaneous occurrence of sectors of soft ground and solid rock.

The tests revealed that the conditioning agent Rheosoil 143 from the BASF AG (anti-clay adhesive) was able to safety fulfill the required demands.

The ground was plasticised to a sufficient extent so that the

Die Versuche wiesen aus, dass das Konditionierungsmittel Rheosoil 143 der BASF AG (Anti-Ton-Additiv) die aufgestellten Anforderungen zielsicher erfüllen konnte.

Der Boden konnte ausreichend plastifiziert werden, um die Abbaukammer vollständig füllen und druckhaltig fahren zu können. Diese Anforderung konnte sowohl im Fest- als auch im Lockergestein nachgewiesen werden. Gleichzeitig konnten Adhäsion und Kohäsion ausreichend reduziert werden. Zur Überwachung der Temperaturentwicklung im Erdbrei wurden zusätzlich 2 Temperaturmessfühler in der Abbaukammer eingebaut. Für den Fall von Schauminjektionen bzw. im Falle des Absonderns von Schaum im Firstbereich wurden Öffnungen zur Firstentlüftung installiert, um so eindeutig definierte Stützdruckverhältnisse auch im Firstbereich zu erzielen.

Die Feinabstimmung Wasser, Bentonit und Schaumzugabe bzw. effektive Druck-

luftzugabe orientierte sich an der Stromaufnahme des Bohrkopftriebes. In Vorversuchen stellten sich Werte von 60 bis 80 % als günstig heraus.

#### 4.4 Vorkehrungen bei Ausführung und Baubetrieb

In Interpretation der Beweissicherung der Gebäude wurde ein vortriebsbegleitendes Baugrund- und Gebäudeüberwachungsprogramm (Schlauchwaagen, Messbolzen) mit den dazugehörigen Warn-, Alarm- und Grenzwerten definiert. Zusätzlich wurde das Verformungsverhalten der Tübbingauskleidung einschließlich der Veränderung der Fugenversatz- und Fugenspaltmaße überwacht. Aufnahme und Übertragung der Messdaten erfolgten automatisch. Der Schildfahrer wurde zudem kontinuierlich über einen separaten Monitor über die Messergebnisse in ausgewerteter Form informiert. Die Datenflut wurde für den Schildfahrer durch integrierte Alarmmel-

extraction chamber could be completely filled and pressure maintained. This requirement was proved both in solid rock as well as soft ground. At the same time adhesion and cohesion were sufficiently reduced. To monitor the temperature development in the earth paste, 2 temperature sensors were additionally installed in the extraction chamber. Openings for ventilating the roof were installed to provide for foam injections or the accumulation of foam in the roof zone, so that clearly defined supporting pressure conditions were also attained in the roof zone.

The fine adjustment of water, bentonite and foam additive and the effective addition of compressed air were geared to the power input for the cutterhead drive. Values of 60 to 80% emerged to be favourable in prior tests.

#### 4.4 Precautions during Execution and Construction Operation

For interpreting the preservation of evidence for the buildings a

subsoil and building monitoring programme (water level gauges, plug gauges) with the corresponding warning, alarm and limit values, was defined. In addition the deformation behaviour of the segmental lining including any changes to the joint packing and joint gap dimensions was monitored. The measurement data were recorded and transmitted by automatic means. Furthermore the shield operator was informed continuously about the measurement results in evaluated form via a separate monitor. For the shield operator the flood of data was reduced to the bare bones by means of integrated alarm annunciators. The valid parameters relating to the drive with regard to the support pressure and the machine parameters (e.g. contact pressure force, torque and rpm of cutting wheel, rate of advance, cutting wheel displacement, overcut, mass balance, power intake for drive, driving jack pressure, mortar grouting pressure, settings for foam unit) were passed on

# Kapyfract



**Beschichtung**

**Brandschutz**



## Tunnelarbeiten



**Instandsetzung**

**Reinigung**





der auf wenige maßgebende Informationen reduziert.

Die vortriebsaktuell gültigen Vorgaben an Stützdruck und Maschinenparameter (z.B. Anpresskraft, Drehmoment und Drehzahl Schneidrad, Vortriebsgeschwindigkeit, Schneidradverschiebung, Überschnitt, Massenbilanz, Stromaufnahme Antrieb, Vortriebspressendruck, Mörtelverpressdruck, Einstellungen Schaumanlage) wurden dem Schildfahrer direkt von der Bauleitung durch Übergabe von gesonderten Arbeitsanweisungen mitgeteilt. Das gesamte Vortriebspersonal wurde durch mehrfach abgehaltene Schulungen und Unterweisung für eine sichere Unterfahrung entsprechend sensibilisiert.

Als Rückfallebene wurden ausreichend Geräte und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) auch für evtl. Zusatzmaßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf der Baustelle vorgehalten.

In mehreren Informationsabenden und in persönlichen Gesprächen wurden die Bewohner in den technischen Umsetzungs- und Realisierungsprozess eingebunden. Die Resonanz war insgesamt positiv.

Sollten trotz aller Vorkehrungen Teilabsenkungen mit Ortsbrustbegehungen erforderlich werden, war der Baugrund vorab bei Überführung vom erdbreigestützten in den druckluftbeaufschlagten Zustand ausreichend mit Bentonit zu tränken.

Gesonderte Störfallkataloge regelten je nach Störfallszenario zusätzlich zu den vorbeugend zu treffenden Maßnahmen auch die Maßnahmen zur Bewältigung. Hierzu war auch geplant, im Bedarfsfall

Nachverpressungen durch die Tübbingröhre auszuführen.

Für den kritischen Unterfahrbereich wurde ein Entscheidungsteam bestehend aus Projektleitung und Bauüberwachung des Bauherrn, der Arge-Bauleitung und den Auftraggeber-Beratern eingerichtet, das vor Ort auf der Baustelle anwesend war. Zusätzlich wurde ein Alarmplan mit dem maßgebenden Meldekette erstellt. Die Unterfahrung erfolgte auf der Basis der vom EBA-Prüfingenieur Dipl.-Ing. Reinhold Maidl geprüften und von der DB ProjektBau GmbH freigegebenen Planunterlagen und Statiken, insbesondere für Stützdruck und Ringspaltverpressung.

### 5 Erfahrungen bei der Ausführung

Durch optimale Abstimmung der Stützdrücke, im Wesentlichen gesteuert über die Druckbeaufschlagung des Erdbreis und Ringspaltverpressdrücke an Baugrund und Gebäudeverformungsverhalten, konnte ein kontinuierlicher reibungsloser Vortrieb realisiert werden und die Setzungen weit unterhalb den Prognosen gehalten werden.

Nachjustierungen bzw. Nachverpressungen zur Setzungskompensierung vom Schacht aus beschränkten sich auf wenige Stellen mit geringen erforderlichen Hebungsmaßen.

Die Übergänge von Fels auf Lockergestein und umgekehrt wurden durch rechtzeitige und sensible Umsetzung der Betriebsmodi offen und geschlossen problemlos mit geringen Baugrundverformungen realisiert. Die Maschinendaten wurden kontinuierlich auf das Baugrundverformungsverhalten

direkt zu dem Schildfahrer durch die Site Management in Form von speziellen Anweisungen. Die gesamte Vortriebsmaschine wurde entsprechend abgestimmt für eine sichere Tunnelung dank einer Reihe von Trainingssitzungen und Briefings.

Genügend Geräte und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) wurden für mögliche zusätzliche Maßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf der Baustelle vorgehalten.

Die Anwohner wurden durch mehrmals abgehaltene Schulungen und Unterweisung für eine sichere Unterfahrung entsprechend sensibilisiert.

Als Rückfallebene wurden ausreichend Geräte und Materialien (Bohrwerkzeuge, Konditionierungsmittel) auch für evtl. Zusatzmaßnahmen (Rohrschirm, Injektionsmaterial, Spritzbeton, Silikatschaum) auf der Baustelle vorgehalten.

In mehreren Informationsabenden und in persönlichen Gesprächen wurden die Bewohner in den technischen Umsetzungs- und Realisierungsprozess eingebunden. Die Resonanz war insgesamt positiv.

Sollten trotz aller Vorkehrungen Teilabsenkungen mit Ortsbrustbegehungen erforderlich werden, war der Baugrund vorab bei Überführung vom erdbreigestützten in den druckluftbeaufschlagten Zustand ausreichend mit Bentonit zu tränken.

Gesonderte Störfallkataloge regelten je nach Störfallszenario zusätzlich zu den vorbeugend zu treffenden Maßnahmen auch die Maßnahmen zur Bewältigung. Hierzu war auch geplant, im Bedarfsfall

ments und statik geprüft durch den EBA-Prüfingenieur Dipl.-Ing. Reinhold Maidl und genehmigt durch die DB ProjektBau GmbH, insbesondere für den Stützdruck und den Ringspaltverpressdruck.

### 5 Findings obtained during Execution

Thanks to optimal adjustment of the support pressures, by and large controlled via the admission of the pressure of the earth paste and annular gap grouting pressures on the subsoil and the deformation behaviour of the buildings, it was possible to accomplish a continuous frictionless excavation so that settlements were kept far below the forecasts.

Subsequent adjusting and regrouting to compensate settlements from the shaft were confined to a few points with only minimal lifting measures being introduced.

The transitions from rock to soft ground and vice versa were accomplished resulting in low subsoil deformations thanks to the proper and sensitive application of the open and closed operating modes. The machine data were continuously compared with the subsoil deformation behaviour. There was no need for chamber inspections with lowering of the earth paste level. The incident scenarios previously defined on the basis of a comprehensive analysis were mastered safely by means of sensitive monitoring and measures resorted to prior to the excavation. A corresponding catalogue of measures as fallback level was defined in addition to the scheduled measures that were to be resorted to. In the case of the scheduled open mode switching to closed mode was foreseen as the fallback level.



Portal Cochem: Neuer (links) und Alter Kaiser-Wilhelm-Tunnel

Portal Cochem: New (left) and Old Kaiser Wilhelm Tunnel


ten abgestimmt. Kammerbehandlungen mit Absenkung des Erdbreininiveaus erübrigten sich. Die vorab auf Basis einer umfassenden Analyse definierten Störfallszenarien konnten durch sensible Überwachung und frühzeitige, bereits vor dem Vortrieb, ergriffene vorbeugende Maßnahmen sicher beherrscht werden. Zusätzlich zu planmäßig zu ergreifenden Maßnahmen war ein entsprechender Katalog von Maßnahmen als Rückfallebene definiert. Im Fall des planmäßig offenen Modus war als Rückfallebene die Umstellung auf den geschlossenen Modus vorgesehen. Weitergehende Rückfallebenen, wie zusätzliche Baugründertüchtigungen, auch aus der Maschine heraus, waren nicht erforderlich.

## 6 Resümee

Die Unterfahung der Cochemer Oberstadt stellte insgesamt hohe Anforderungen sowohl an die Maschinenkonzeption als auch an das Vortriebspersonal. Zur optimalen Adaptierung an Baugrund- und Gebäudeeigenschaften wurde das Aus-

führungskonzept in intensiven Abstimmungsprozessen zwischen Bauherrn (und seinen Beratern) und Auftragnehmer abgestimmt. Die optimale Vorbereitung, Abstimmung sowie partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten war maßgebend für die erfolgreiche und technisch herausfordernde Unterfahung der Oberstadt Cochem (Bild 4).

Resümierend kann festgestellt werden, dass die Unterfahung der Cochemer Oberstadt mit höchstsetzungsempfindlicher Wohnbebauung und minimalen Fundamentabständen von 3 m ohne Probleme im Hinblick auf Standsicherheit der Ortsbrust und Arbeitssicherheit im EPB-Modus durchgeführt werden konnte.

Die Gebäudebeeinträchtigungen konnten auf vereinzelte geringfügige Setzungsschäden in Form von Rissbildungen begrenzt werden. Die Tübbingauskleidung wurde in höchster Qualität ohne Schäden hergestellt und erfüllte im höchsten Maße das Anforderungsprofil an ein wasserdichtes Bauwerk. 


Further-reaching fallback levels such as additional subsoil improvements – also undertaken from the machine – were not required.

## 6 Summary

Undertunnelling uptown Cochem altogether posed high demands both on the machine design and the driving crew. The execution concept was agreed on during the course of intensive discussions between the client (and his advisors) and the contractor to ensure optimal

adaptation to the subsoil and building properties. The optimal preparation, coordination and partner-like collaboration of all those involved in the project were determining for the successful and technically challenging project to undertunnel uptown Cochem (Fig. 4).

In summing up it can be maintained that undertunnelling uptown Cochem with highly sensitive residential buildings and minimal distances to the foundations of 3 m was executed without any problems regarding the stability of the face and industrial safety using the EPB mode.

Buildings were only affected by slight damage caused by settlements in the form of cracks. The segmental lining was produced in the highest quality without damage and fulfilled the requirements posed on a watertight structure to the very utmost. 

### Literatur / References

- [1] Handke, D.; Tauch, B.; Reith, M.: Kaiser-Wilhelm-Tunnel – Maschinenvortrieb im Grenzbereich der Erfahrungen, Geomechanics and Tunnelling 4 (2011), No. 5, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2011
- [2] Handke, D.; Matt, R.; Wilfinger, N.: Maschinen- und verfahrenstechnische Charakterisierung des Gebirges unter dem Einfluss des Interaktionsverhaltens Maschine – Baugrund, Tunnel 30 (2011), Heft 6, pp. 12-23
- [3] Handke, D.: Stand der Schildvortriebstechnik. Felsbau 2011, Heft 2, pp. 110 - 114
- [4] Handke, D.; & Maidl, B.: Bauverfahrenstechnische Prozessabhängigkeiten als Steuerungselemente zur Risikominimierung bei der Realisierung von Schildprojekten – Vorstellung einer Risikostrategie auf der Basis baupraktischer Erfahrungen (Dependencies in the construction process as a control element to minimise risk on shield tunnelling projects). Tunnelbautaschenbuch 2006, pp. 189-220. Essen: Glückauf, 2005
- [5] Hagen, H.; Otten, B.; Maidl, R.; Handke, D.; Pfeifer, A.: Unterfahung des Schnecktals durch den Finnetunnel (The Finne Tunnel crossing beneath the Schnecktal valley). Tunnel 29 (2010), Heft 7, pp 19-32

### Hydraulikzylinder für TBM

## Druckwasserstollen für Pumpspeicherwerk in Kärnten/A



Vorschubzylinder Einbau: Vor Ort werden die über 1.000 kg schweren Vorschubzylinder in die Tunnelbohrmaschine eingebaut

Installation of thrusting cylinders: the more than 1,000 kg heavy thrusting cylinders are installed in the tunnel boring machine on the spot

Mit ohrenbetäubendem Lärm und enormer Kraft presst die gewaltige Tunnelbohrmaschine ihren Bohrkopf ins Gestein der Kärntner Alpen. Wo jetzt noch harter Fels ist, soll schon bald Wasser durch den neuen Druckstollen fließen. Noch sind Erschütterungen und Schmutz allgegenwärtig. An der Stollenbrust herrschen höchste Anforderungen an Mensch und Material. Eine besondere Herausforderung sind die unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten, durch die sich die TBM mit einem Durchmesser von über 7 m arbeiten muss. Hierbei zählt allerhöchste Präzision – auch im Sinne der Sicherheit. Daher setzen die In-

genieure der beauftragten und ausführenden Bau-Arge u.a. auf Hochleistungs-Hydraulikzylinder aus dem Rheinland: Die eingesetzte Tunnelbohrmaschine, die man auf Baudauer vom Maschinenbesitzer G. Hinteregger gemietet hat, ist mit Vorschubzylindern vom Spezialisten Hoven Hydraulik bestückt. Die Stolberger haben die robusten und leistungsfähigen Bauteile für die extreme Anforderung maßgeschneidert.

Notwendig geworden waren Modernisierung und Ausbau der Anlage auch wegen des steigenden Strombedarfs. Die Herausforderungen, die die immer weiter anwachsende Nutzung regenerativer Energie-

### Hydraulic Cylinders for TBM

## Pressure Water Tunnel for pumped-storage Power Plant in Kärnten/A

With a deafening noise and enormous force the giant tunnel boring machine thrusts its cutterhead through the rock of the Austrian Alps. Water is due to flow through the new pressure tunnel in a short time where now there is solid rock. Vibrations and dirt are still omnipresent. The highest demands are placed on man and material at the tunnel face. The varying types of soil through which the TBM with a diameter in excess of 7 m must work its way represent a true challenge. The utmost precision is what counts here – also in terms of safety. As a result the engineers belonging to the responsible building contractor depend among other things on high-performance hydraulic cylinders from the Rhineland: the applied tunnel boring machine, leased from the machine's owner G. Hinteregger for the duration of the excavation, is fitted with thrusting cylinders from the Hoven Hydraulik company. The Stolberg-based specialists have built the robust and powerful components to order for the extreme challenge.

It was necessary to modernise and upgrade the plant on account of the growing demand for power. The challenges, which are posed by the ever growing utilisation of regenerative energy sources, called for sustainable action. For industry as well as private households must be provided with power in the long term in spite of dwindling fossil energy sources. The new pumped storage power plant will provide an output of 430 MW under full load. This signifies an increase in the generation capacity of

the existing power plant group of 40% in turbine mode and 100% in pump mode without additional water resources being required.

### Green Reservoir for sustainable Energy

Pumped storage power plants store energy by making use of the difference in elevation of 2 water basins. If surplus energy e.g. from regenerative sources such as wind or photovoltaic systems is available, water is pumped into the upper reservoir. The plant switches to turbine mode if a peak load occurs in the electricity grid. The water runs back into the lower reservoir and operates a generator in the process. In this way sufficient power is always available for the consumer. The topography of the Alps with bountiful water supplies provides the best prerequisites for operating power plants of this type.

In order to intervene in nature as little as possible, all constructional, mechanical and electrical installations for the new power plant are produced underground. Towards this end an extensive system of caverns, tunnels and other structures is being built. The new pressure tunnel that is being constructed connects the existing Großer Mühldorfer See reservoir with the Gößkar and Galbenbicht reservoirs. The new pressure tunnel is more than 3,000 m long and the 42°-inclined pressure shaft is in excess of 880 m so that an average head of 595 m must be overcome.

A long way then for the applied tunnel boring machine to



quellen stellen, forderten ein nachhaltiges Handeln. Denn sowohl Industrie als auch Privathaushalte müssen trotz schwindender fossiler Energieträger langfristig mit Strom versorgt werden. Das neue Pumpspeicherkraftwerk wird bei voller Auslastung eine Leistung von 430 MW zur Verfügung stellen. Das bedeutet eine Steigerung der Erzeugungskapazität der bestehenden Kraftwerksgruppe um 40% im Turbinen- und um 100% im Pumpbetrieb, ohne dass zusätzliche Wasserressourcen benötigt werden.

### Grüne Speicher für erneuerbare Energie

Indem sie den Höhenunterschied zwischen 2 Wasserbecken nutzen, speichern Pumpspeicherkraftwerke die Energie in Form von Arbeit. Steht überschüssiger Strom z.B. aus regenerativen Quellen wie Wind oder Photovoltaik zur Verfügung, wird Wasser in den oberen Speichersee gepumpt. Tritt im Stromnetz eine Spitzenlast auf wechselt die Anlage in den Turbinenbetrieb. Das Wasser fließt zurück in den unteren Speicher und treibt dabei einen Generator an. So steht jederzeit genügend Strom dem Verbraucher zur Verfügung. Die Topographie der wasserreichen Alpen bietet beste Voraussetzungen für den Betrieb solcher Kraftwerke.

Um den Eingriff in die Natur so gering wie möglich zu halten, werden alle baulichen, maschinellen und elektrischen Einrichtungen des neuen Kraftwerks unterirdisch ausgeführt. Dazu wird ein ausgedehntes Kavernen-, Stollen- und Bauwerkssystem angelegt. Der neu zu errichtende Druckstollen

verbindet die bestehenden Speicher Großer Mühdorfer See mit den Speichern Gößkar und Galbenbichl. Dabei beträgt die Länge des neuen Druckstollens über 3.000 m und die des unter 42 Grad geneigten Druckschachtes über 880 m, wobei eine mittlere Fallhöhe von 595 m überwunden wird.

Ein langer Weg für die eingesetzte Tunnelbohrmaschine, die sich im Vortriebsverfahren durch das harte Gestein arbeitet. Vor Baubeginn galt es, die Leistungsfähigkeit der gebrauchten Maschine auf einen aktuellen Stand zu bringen. Die bisherigen Vorschubzylinder waren aufgrund rauer Arbeitsbedingungen verschlissen und erfüllten nicht mehr die hohen Anforderungen an Leistung und Präzision. Der Maschinenbesitzer Hinteregger wandte sich darum an Hoven. Die Stolberger bieten einen umfangreichen Überholservice – Recylindering genannt – für Hydraulikanlagen und -komponenten an. Dabei werden alle Bauteile, auch von Fremdherstellern, geprüft und vollständig instandgesetzt. Es werden aktuelle Dichtungs- und Führungsmaterialien eingesetzt und alle Gehäusebauteile überholt sowie die Kolbenstange mechanisch nachbearbeitet und neuverchromt.

### Maßgeschneiderte Zylinder bieten mehr Leistung

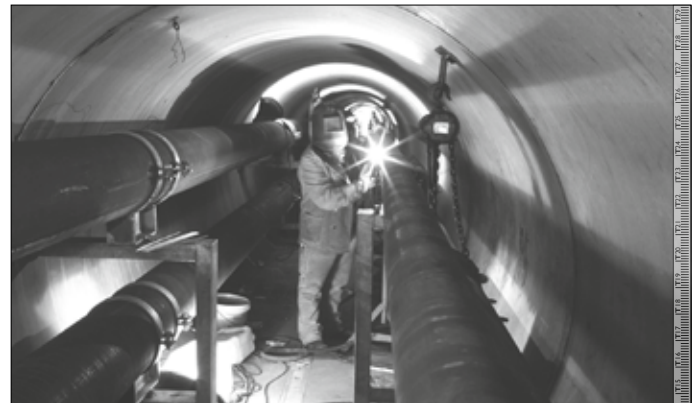
„Die Vorschubzylinder sollten allerdings auch mehr Leistung bieten als bisher. Das war mit einem Recylindering – auch aufgrund des starken Verschleißes – nicht zu realisieren“, erläutert Horst Emme-

cover, which is driving through the solid rock. Prior to the start of construction it was necessary to upgrade the second-hand machine. The existing thrusting cylinders were worn owing to tough working conditions and were no longer able to fulfil the high demands placed on performance and precision. As a result the machine's owner Hinteregger got in touch with Hoven. The Stolberg company provides an extensive maintenance service – known as recylindering – for hydraulic equipment and components. This signifies that all structural parts, also those from other manufacturers, are tested and thoroughly renovated. The latest sealing and guidance materials are applied and all housing

elements serviced and the piston rod reworked mechanically and chrome-plated again.

### Custom-built Cylinders provide more Performance




“The thrusting cylinders should also have provided more performance than hitherto. That could not be achieved by recylindering though – on account of the pronounced wear”, explains Horst Emmerich, Hoven Hydraulik's manager for development and design. “As a consequence we decided jointly to develop and manufacture new cylinders”. The constricted space conditions available represented a challenge for the new design. This called for particularly compact dimen-



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**

rich, Leiter von Entwicklung und Konstruktion bei Hoven Hydraulik. „Deshalb haben wir gemeinsam entschieden, neue Zylinder zu entwickeln und zu fertigen.“ Eine Herausforderung bei der Neukonstruktion waren die knappen Platzverhältnisse in der Anlage. Sie erforderten besonders kompakte Abmessungen. Dank der langjährigen Erfahrung im Bau von unterschiedlichsten Hydraulikkomponenten konnte Hoven jedoch eine intelligente Dimensionierung realisieren. Schutz vor mechanischen Beschädigungen der Kolbenstange durch die Arbeitsbedingungen und die permanente Verschmutzung bietet jetzt eine Nickel-Chrom-Beschichtung sowie ein bewährtes Dichtungskonzept. Das Gehäuse schützt die widerstandsfähige Oberflächenbeschichtung.

### Vollautomatische Anlage unter Tage


Jeder der 4 neu gefertigten Zylinder hat ein Gewicht von 3,36 t. Die Kolben haben einen Durchmesser von 450 mm, die Kolbenstangen messen jeweils 200 mm im Querschnitt. Zusammen leisten sie eine Vorschubkraft von insgesamt 14.300 kN, mit der sie den Bohrkopf unermüdlich ins Gestein treiben. Der Antrieb des Bohrkopfes hat eine Leistung von 1.800 kW. Die Drehzahl lässt sich bis zu 8 U/min stufenlos regeln. Dabei brechen drehend gelagerte Meißelrollen das Gestein aus dem Felsen. Das Ausbruchmaterial fällt über eine spezielle Schaufelkonstruktion auf innenliegende Förderbänder, die vollautomatisch die Kipperzuggarnitur im Nachlaufbereich beladen. Ist der maximale Kolbenstangen-Hub von 1,70 m erreicht, transportiert ein Schutterzug

das Ausbruchmaterial ab und die Tunnelbohrmaschine wird – ebenfalls automatisch – nach vorne bewegt. Für den festen Halt in der Tunnelröhre sorgen insgesamt 32 Hydraulikzylinder, die die gesamte Maschine mit einer Verspannkraft von 22.200 kN im Stollen sichern.

Auch die Maßnahmen zur Gebirgssicherung werden kontinuierlich von der insgesamt 245 m langen und über 1.100 t schweren Vortriebsanlage durchgeführt.

Nach der Inbetriebnahme wird das Pumpspeicherkraftwerk eine Leistung von bis zu 430 MW sowohl im Turbinen- als auch im Pumpbetrieb zur Verfügung stellen können. Das bedeutet eine Abdeckung des durchschnittlichen Spitzenstroms von 215.000 Haushalten. Geplant ist eine jährliche Einsatzdauer von 3.500 Stunden im Turbinenbetrieb und 3.800 Stunden im Pumpbetrieb.

### Über das Projekt

Im Auftrag des Stromanbieters Verbund wird im Bereich der bestehenden Kraftwerksanlagen Malta/Reisseck im österreichischen Bundesland Kärnten ein neues Pumpspeicherkraftwerk errichtet. Als Finanzierungspartner treten neben Verbund die österreichischen Stromgesellschaften Kelag und Energie AG Oberösterreich auf. Die Hauptbauarbeiten werden im Auftrag von Verbund von der Arge PSKW Reisseck II, bestehend aus den G. Hinteregger & Söhne, Salzburg, ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, Leoben, Porr Tunnelbau, Wien und Swietelsky Tunnelbau, Salzburg, ausgeführt. Die Bauarbeiten haben im Jahr 2010 begonnen und sollen bis Ende 2014 abgeschlossen werden. 



Vorschubzylinder Betrieb: Im Einsatz pressen die 4 Vorschubzylinder den Bohrkopf mit insgesamt 14.300 kN in das Gestein

Operation of thrusting cylinders: the 4 advancing cylinders thrust the cutterhead into the rock with a force totalling 14,300 kN

sions. Thanks to many years of experience in building all kinds of hydraulic components Hoven however was able to come up with intelligent dimensioning. A nickel-chrome coating as well as a reliable sealing concept now provides protection against mechanical damage to the piston rod on account of working conditions and permanent contamination. The housing protects the resistant surface coating.

### Fully automatic installation underground


Each of the 4 newly produced cylinders weighs 3.36 t. The pistons are 450 mm in diameter, the cross-section of each piston rod measures 200 mm. Together they engender a thrusting force totalling 14,300 kN, tirelessly advancing the cutterhead through the rock. The cutterhead drive possesses an output of 1,800 kW. The speed can be infinitely varied up to 8 rpm. In the process roller bits rotate to excavate material from the rock. The muck falls over a special bucket structure onto internal belt conveyors, which automatically load the tipper train in the back-up section. Once the maximum piston rod stroke of 1.70 m is reached, a mucking train transports the excavated material away and the tunnel boring machine is advanced – also automatically. A total of 32 hydraulic cylinders, which

brace the entire machine with a tensioning force of 22,200 kN, secure the TBM in the tunnel.

The measures required for securing the rock are also carried out continuously from the altogether 245 m long and more than 1,100 t heavy TBM.

After it is operational the pumped-storage power plant will be able to generate 430 MW both in turbine and pump mode. This signifies that the average peak energy requirement of 215,000 households can be covered. The intention is to operate annually for 3,500 hours in turbine mode and 3,800 in pump mode.

### About the Project

A new pumped-storage power plant is being set up at the existing Malta/Reisseck power plants in the Austrian federal state of Kärnten on behalf of the energy provider Verbund. Apart from Verbund the Austrian power companies Kelag and Energie AG Oberösterreich are financially involved. The main activities will be tackled by the LV PSKW Reisseck II, consisting of G. Hinteregger & Söhne, Salzburg, ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH, Leoben, Porr Tunnelbau, Vienna and Swietelsky Tunnelbau, Salzburg. Work commenced in 2010 and is due to be completed in late 2014. 

### Stand der Technik und Innovationen bei der Tunnelanierung

4. Juni 2012, 10 bis 18 Uhr  
Workshop an der Ruhr-Universität Bochum (RUB)/D  
Veranstalter: RUB und bast  
Ruhr-Universität Bochum  
Veranstaltungszentrum, Saal 3  
Universitätsstraße 150  
44801 Bochum  
Weitere Informationen/  
Anmeldung:  
Tel.: +49 (0) 234/ 3226081  
E-Mail: [tlb-conference@rub.de](mailto:tlb-conference@rub.de)

### Swiss Tunnel Congress 2012 in Luzern

13. Juni 2012 (Colloquium)  
14. Juni 2012 (Congress mit Vortragsveranstaltung und Ausstellung)  
15. Juni 2012 (Exkursionen)  
KKL Kultur- und Kongresszentrum, Luzern/CH  
FGU – Fachgruppe für Untertagbau  
Tagungssekretariat  
Felsenstraße 11  
CH-5400 Baden  
Tel.: +41 (0) 56 / 2002333  
Fax: +41 (0) 56 / 2002334  
E-Mail: [fgu@thomibraem.ch](mailto:fgu@thomibraem.ch)  
[www.swisstunnel.ch](http://www.swisstunnel.ch)

### Safety versus Economics: Cost-efficiency of tunnel safety measures

22<sup>nd</sup> June 2012,  
Rome, Italy  
**ITA COSUF Open Workshop 2012**  
Committee on Operational Safety of Underground Facilities  
Detailed information:  
[www.cosuf.ita-aites.org](http://www.cosuf.ita-aites.org)

### Safety of Life in Tunnels (SOLIT)

27<sup>th</sup> + 28<sup>th</sup> June 2012,  
Berlin/D  
**International Conference on Integration of Fire Fighting Systems**  
Venue:  
Scandic Hotel Berlin at Potsdamer Platz  
Gabriele-Tergit-Promenade 19  
10963 Berlin/D  
Simultaneous Translation  
English/German  
Further details and registration:  
[www.solit.info](http://www.solit.info)

### InnoTrans 2012

18. – 21. September 2012,  
Berlin/D  
Messe Berlin GmbH  
Messedamm 22,  
14055 Berlin  
Kontakt: Kerstin Schulz  
Tel.: +49 (0) 30 / 3038-2032  
Fax: +49 (0) 30 / 3038-2190  
E-Mail: [k.schulz@messe-berlin.de](mailto:k.schulz@messe-berlin.de)  
E-Mail: [innotrans@messe-berlin.de](mailto:innotrans@messe-berlin.de)  
[www.innotrans.de](http://www.innotrans.de)  
[www.virtualmarket.innotrans.de](http://www.virtualmarket.innotrans.de)

### The Tunnel Connects

**First Eastern European Tunnelling Conference**  
18<sup>th</sup> – 21<sup>th</sup> September 2012,  
Budapest, Hungary  
Information:  
Hungarian Tunnelling Society  
Dr. Tibor Horvath, President  
E-Mail: [geovil@geovil.hu](mailto:geovil@geovil.hu)  
[info@ita-hun.hu](mailto:info@ita-hun.hu)  
[www.ita-hun.hu](http://www.ita-hun.hu)

### 8. Österreichischer Tunneltag 2012

10. Oktober 2012, Salzburg/A  
**61. Geomechanik-Kolloquium 2012**  
**50 Jahre NATM**  
11. + 12. Oktober 2012,  
Salzburg/A  
Exkursion: 13. Oktober 2012  
Österreichische Gesellschaft für Geomechanik  
Bayerhamerstraße 14,  
5020 Salzburg/A  
Tel.: +43 (0) 662 / 875519  
Fax: +43 (0) 662 / 886748  
E-Mail: [salzburg@oegg.at](mailto:salzburg@oegg.at)  
[www.oegg.at](http://www.oegg.at)

### econstra 2012

**Fachmesse für Ingenieurbau und Bauwerksinstandsetzung**  
25. – 27. Oktober 2012,  
Freiburg im Breisgau,  
Informationen:  
Neue Messe Freiburg  
Hermann-Mitsch-Straße 3 /  
Europaplatz 1  
79108 Freiburg im Breisgau  
Tel.: +49 (0) 761 / 3881-3120  
Fax: +49 (0) 761 / 3881-3006  
E-Mail: [info@messe.freiburg.de](mailto:info@messe.freiburg.de)  
[www.econstra.de](http://www.econstra.de)

### Vormerktermin: Deutsches tunnel-Forum 2012

Dienstag, 6. November 2012  
(Ort wird noch bekannt gegeben)  
Mittwoch, 7. November 2012  
(Ort wird noch bekannt gegeben)  
jeweils von 9.30 bis 16.45 Uhr  
Seminarreihe zum Thema  
**Design-Aspekte bei Verkehrstunneln**  
**2012: Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss**  
**2013: Licht, Farbe und soziale Sicherheit**  
**2014: Architektur und Technik**  
Veranstalter: tunnel und STUVA  
Leitung:  
Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack  
Informationen, Programm und Anmeldung:  
[Roland.Herr@Bauverlag.de](mailto:Roland.Herr@Bauverlag.de)



## Inserentenverzeichnis / Advertising list

Advertisers	Internet	Page
A.S.T. Bochum GmbH, Bochum/D	www.astbochum.de	2
Amberg Engineering AG, Regensburg/CH	www.amberg.ch	11
BASF Construction Chemical (Europe), Zürich/CH	www.construction-chemicals.basf.com	3
Brugg Contec AG, Romanshorn/CH	www.bruggcontec.com	51
Desoi GmbH, Kalbach/D	www.desoi.de	37
Dräger Safety AG & Co. KGAA, Lübeck/D	www.draeger.com	29
ELA Container GmbH, Haren/D	www.container.de	2
Elkuch Bator AG, Herzogenbuchsee/CH	www.elkuch.com	17
Fermacell GmbH, Calbe/Saale/D	www.aestuver.de	31
Gipo AG, Seedorf/CH	www.gipo.ch	19
Häny AG, Jona/CH	www.haeny.com	9
Herrenknecht AG, Schwanau/D	www.herrenknecht.de	U2
Hölscher Wasserbau GmbH, Haren/D	www.hoelscher-wasserbau.de	21
ILF Beratende Ingenieure GmbH, Rum/A	www.ilf.com	6
Implenia Bau AG, Aarau/CH	www.implenia.com	45

Advertisers	Internet	Page
Kapyfract AG, Schlatt/CH	www.kapyfract.ch	57
Mapei Suisse SA, Sorens/CH	www.mapei.ch	39
Maschinen- und Stahlbau Dresden AG, Dresden/D	www.msd-dresden.de	15
Phoenix Contact AG, Tagelswangen/CH	www.phoenixcontact.ch	47
Pressluft-Frantz GmbH, Frankfurt/D	www.pressluft-frantz.de	23
Rascor International AG, Steinmaur/CH	www.rascor.com	35
Rodio Geotechnik AG, Urdorf ZH/CH	www.rodio.org	53
Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen/CH	www.rowa-ag.ch	5
Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH, Essen/D	www.sandvik.com	7
Sandvik Mining and Construction Finland Corp., Tampere/FIN	www.sandvik.com	27
STRABAG AG, Tunnelbau Schweiz, Erstfeld/CH	www.strabag.ch	U4
TechnoBochum, Bochum/D	www.techno-bochum.de	61
The Robbins Company, Kent/USA	www.TheRobbinsCompany.com	13
Wacker Chemie AG, München/D	www.wacker.com	41

**bau | | verlag**

We give ideas room to develop

www.bauverlag.de

**tunnel** 31. Jahrgang / 31<sup>st</sup> Year  
www.tunnel-online.info

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

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

**Chefredakteur / Editor in Chief:**  
Dipl.-Ing. Roland Herr  
Phone: +49 (0) 5241 80-88730  
Fax: +49 (0) 5241 80-9650  
E-Mail: roland.herr@bauverlag.de  
(verantwortlich für den redaktionellen Inhalt/  
responsible for the editorial content)

**Redaktionsbüro / Editors Office:**  
Ursula Landwehr  
Phone: +49 (0) 5241 80-1943  
E-Mail: ursula.landwehr@bauverlag.de  
Gaby Porten  
Phone: +49 (0) 5241 80-2162  
E-Mail: gaby.porten@bauverlag.de

**Layout:**  
Sören Zurheide  
E-Mail: soeren.zurheide@bauverlag.de

**Anzeigenleiter / Advertisement Manager:**  
Christian Reinke  
Phone: +49 (0) 5241 80-2179  
E-Mail: christian.reinke@bauverlag.de  
(verantwortlich für den Anzeigenteil/  
responsible for advertisement)  
Rita Srowig  
Phone: +49 (0) 5241 80-2401  
E-Mail: rita.srowig@bauverlag.de  
Maria Schröder  
Phone: +49 (0) 5241 80-2386  
E-Mail: maria.schroeder@bauverlag.de  
Fax: +49 (0) 5241 80-62401

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 30 vom 1.10.2011  
Advertisement Price List No. 30 dated 1.10.2011 is currently valid

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

Italien/Italy:  
Vittorio Camillo Garofalo  
ComediA di Garofalo, Piazza Matteotti, 17/5,  
I-16043 Chiavari  
Phone: +39-0185-590143,  
Mobil: +39-335 346932,  
E-Mail: vittorio@comediasrl.it

Russland/CIS:  
Dipl.-Ing. Max Shmatov, Event Marketing Ltd.  
PO Box 150 Moskau, 129329 Russland  
Phone: +7495-7824834,  
Fax: +7495-7377289,  
E-Mail: shmatov@event-marketing.ru

USA/Canada:  
Detlef Fox, D. A. Fox Advertising Sales, Inc.  
5 Penn Plaza, 19<sup>th</sup> Floor, New York, NY 10001  
Phone: 001-212-896-3881,  
Fax: 001-212-629-3988,  
E-Mail: detleffox@comcast.net

**Geschäftsführer / Managing Director:**  
Karl-Heinz Müller  
Phone: +49 (0) 5241 80-2476

**Verlagsleiter Anzeigen und Vertrieb /  
Director Advertisement Sales:**  
Dipl.-Kfm. Reinhard Brummel  
Phone: +49 (0) 5241 80-2513

**Herstellungsleiter / Production Director**  
Olaf Wendenburg  
Phone: +49 (0) 5241 80-2186

**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 (0) 5241 80-90884  
E-Mail: leserservice@Bauverlag.de  
Fax: +49 (0) 5241 80-690880

### Marketing & Vertrieb / Subscription and Marketing Manager:

Michael Osterkamp  
Phone: +49 (0) 5241 80-2167  
Fax: +49 (0) 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** € 147,00

**Studenten / Students** € 88,20  
**Ausland / Other Countries** € 157,20  
(die Lieferung per Luftpost erfolgt mit Zuschlag/  
with surcharge for delivery by air mail)

**Einzelheft / Single Issue** € 24,00  
(inklusive Versandkosten / including postage)  
**eMagazine** € 98,50

**Mitgliedspreis STUVA / Price for STUVA members**  
Inland / Germany € 109,80  
Ausland / Other Countries € 117,60

**Kombinations-Abonnement Tunnel und THIS  
jährlich inkl. Versandkosten:**  
€ 188,40 (Ausland: € 195,00)

**Combined subscription for  
Tunnel + THIS including postage:**  
€ 188,40 (outside Germany: € 195,00).

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 Ver-

vielfältigung 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 Bauerlag are to be found in full at www.bauverlag.de

**Druck/Printers:**  
Merkur Druck, D-32758 Detmold

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



# tunnel *now as* *eMagazine!*

## Your advantages at a glance:

- available worldwide
- benefit from the lucid presentation in the familiar layout of the printed issue
- easy full text search
- straightforward navigation on individual pages or items
- the provided links enable you to obtain more details on corresponding topics in a jiffy
- no delays due to protracted dispatch



**Subscribe  
now -  
98.50 EUR  
per year!**



Go online wherever you are!

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





# STRABAG

## STRABAG AG Tunnelbau Schweiz

Bifang 4, CH-6472 Erstfeld

Telefon +41 41 882 11 11

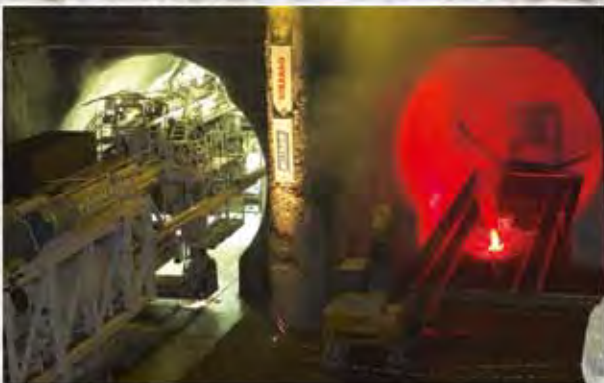
Telefax +41 41 882 11 10

E-Mail [tunnelbau-schweiz@strabag.com](mailto:tunnelbau-schweiz@strabag.com)

Internet [www.strabag.ch](http://www.strabag.ch)

Internet [www.agn-erstfeld.ch](http://www.agn-erstfeld.ch)

**WIR SCHAFFEN RAUM FÜR KOMMENDE GENERATIONEN**








## SEATTLE: TOP PERFORMANCE TWICE OVER AT CAPITOL HILL.

For the extension of the underground city train in Seattle, Washington – the so-called University Link – the construction site teams from “Traylor Bros./Frontier-Kemper JV” celebrated a double success with two Herrenknecht EPB Shields. With “Togo” and “Balto” (Ø 6,560mm) the team crossed the target line at Capitol Hill in March and April 2012 respectively, three months earlier than scheduled.

On the route from University of Washington, the TBMs excavated twin tunnels of 3.5 kilometers each beneath the busy Highway 520, under the Montlake Ship Canal and below Seattle’s densely populated city center with its historic buildings in some parts. The EPB Shields equipped with Herrenknecht technology mastered this challenge rapidly and safely. Now, the city of Seattle is looking forward to having a quicker link between the university and downtown, less traffic on the streets and better air.

SEATTLE   USA	
<b>PROJECT DATA</b>	<b>CONTRACTOR</b>
 <b>S-560, S-561</b> 2x EPB Shields Diameter: 2x 6,560mm Installed power: 608kW Tunnel length: 2x 3,478m Geology: Clay, silt and sand	Traylor Bros. Inc., Frontier-Kemper Constructors Inc.

