

# Innovation im Tunnelbau

## Österreichs größter Hydroschildvortrieb

### Zulaufstrecke Nord zum Brenner Basistunnel Baustellenbericht Hauptbaulos H3-4 Münster/Wiesing

Text | Bernd Raderbauer

Bilder | © Arge H3-4, Kitzbüheler Fotohaus

Grafiken | © Porr Tunnelbau GmbH, Atelier23 Architekten ZT GmbH

Der Karthagerführer Hannibal überquerte 218 vor Christus auf seinem Weg Richtung Rom mit einem gewaltigen Heer die Alpen. Heute quält sich zwischen Österreich und Italien immer mehr Transit- und Individualverkehr durch die ökologisch sehr sensible Alpenregion. Als eine der Lösungen dieser Herausforderungen wird aktuell die neue Unterinntalbahn und in Kürze der Brenner Basistunnel realisiert. In naher Zukunft soll der Güterverkehr der Bahn auf der Zulaufstrecke zum Brenner Basistunnel in einer zweigleisigen Tunnelröhre unterirdisch geführt werden, wobei die Länge der entstehenden Hochgeschwindigkeits-Neubaustrecke 40 km beträgt und Geschwindigkeiten bis zu 250 km/h erlaubt. 32 Kilometer dieser neuen Hochleistungsstrecke werden als Tunnels, Wannens, Galerien und Unterflurtrassen erstellt.

Werksabnahme der Tunnelvortriebsmaschine im Herstellerwerk der Fa. Herrenknecht in Schwanau (D)



#### Einleitung

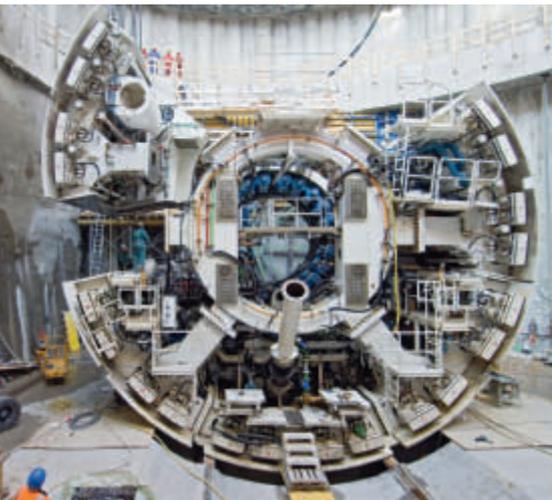
Der Streckenabschnitt durch Österreich ist Teil der TEN-(Transeuropäischen Netzwerk-)Achse 1: Berlin–Palermo, wobei der Bereich zwischen Wörgl und Baumkirchen (Zulaufstrecke Brenner Basistunnel) auf der gesamten TEN-Achse infolge der Überlagerung von innerösterreichischem Ost-West-Verkehr mit dem internationalen Nord-Süd-Verkehr sowie dem Regionalverkehr das höchste Zugaufkommen aufweist.

#### Baulos H3-4

Mit den Arbeiten am Baulos H3-4 wurde die Arbeitsgemeinschaft H3-4, bestehend aus der Porr Tunnelbau GmbH und Max Bögl Austria GmbH, am 7. Februar 2006 von der BEG (Brenner Eisenbahn GmbH) beauftragt.

T.E.N.-Achse 1 (Transit-European-Network-Leitlinie): Berlin–Palermo

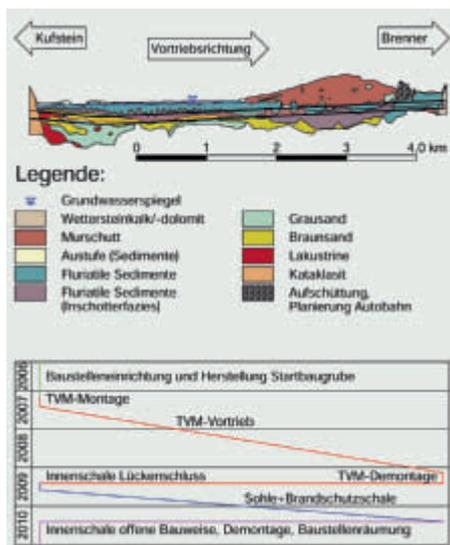




Montage der Tunnelvortriebsmaschine im Startschacht mit den Pressenschuhen der Vortriebspresen am Umfang und dem Förderrohr in der Mitte sowie den Elektromotoren (blaue Kreise in der Mitte)

Einheben des Schneidrades durch einen 800-t-Raupenkran, Hinteransicht des Schneidrades

Vorbereitung für das Einheben des Schneidrades, wobei die Disken (schwarz), die Schälmesser (grau), die Räumer (grau, am Rand) sowie die Öffnungen im Schneidrad erkennbar sind.



Geologischer Längenschnitt und Bauzeitplan

Unter der technischen Federführung der Porr Tunnelbau GmbH wurden dabei realisiert:

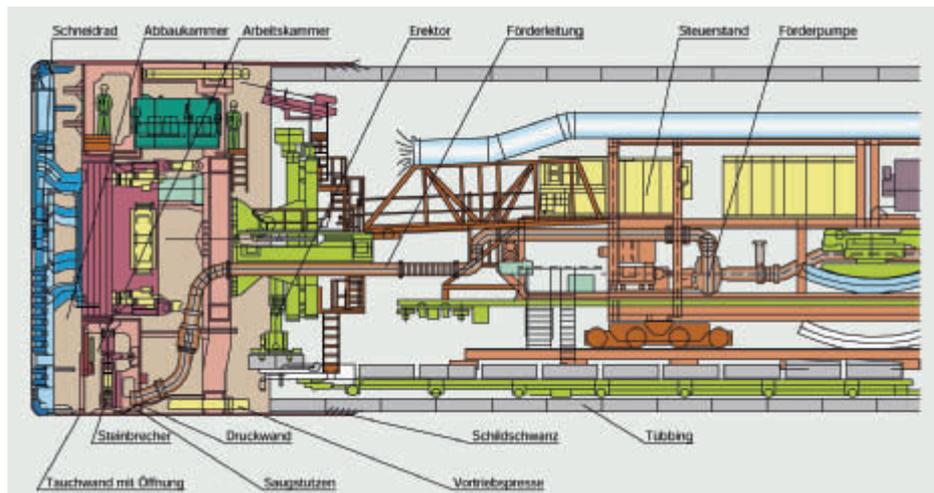
- 5.767,5 m Hauptvortrieb (Schildbauweise, flüssigkeitsgestützte Ortsbrüst (Hydroschild), einschaliger Stahlbetontübbingausbau), Durchmesser 13,03 m, Querschnitt 133,35 m<sup>2</sup>
- Startbaugrube, rund 855 m<sup>2</sup> Grundfläche, etwa 30 m Tiefe, einschließlich 28 m Tunnel in offener Bauweise
- rund 36 m Sprengvortrieb als Lückenschluss zum Los H2-1
- Zielbauwerk
- elf Rettungsschächte und -stollen im Abstand von etwa 500 m

### Bauprogramm

Seit dem Jahr 2003 befinden sich die Hauptbaulose an der Zulaufstrecke zum Brenner Basistunnel im Bau. Im Jahr 2011 wird das gesamte Röhrensystem im Rohbau fertiggestellt sein, danach gilt es, die bahntechnische Ausrüstung abzuschließen. Im Jahr 2012 wird die neue Unterinntalbahn voraussichtlich dem Verkehr übergeben werden.

Im Baulos H3-4 wurde mit den Baustelleneinrichtungsarbeiten und den Bohrpfahlarbeiten für den Startschacht im April 2006 begonnen. Nach der Realisierung der Startbaugrube und des Lückenschlusses wurden die Nachläufer der TVM im Startschacht aufgebaut und in

Prinzipdarstellung Hydroschild Tunnelvortriebsmaschine

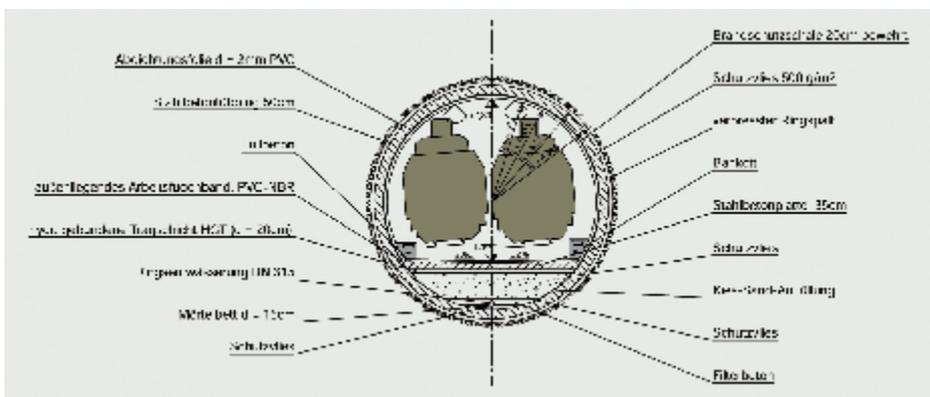


Einheben des Schildschwanzes, die Versteifungen in ihm werden vor Anfahrt der TVM wieder entfernt





Fertig montierte TVM kurz vor dem Andrehen. Zu sehen sind die ersten Tübbingringe (grau) und die Rücksteifkonstruktion, die im Anfangsbereich die Vortriebskräfte ableitet.



Regelquerschnitt

den zuvor aufgefahrenen Lückenschluss verschoben. Anschließend erfolgten die Montage der eigentlichen TVM sowie der Vortrieb.

Nachdem die Vortriebsarbeiten der beinahe 6 km lange Rückzug und die Demontage der TVM abgeschlossen waren, folgten im Haupttunnel die Sohl- und Abdichtungsarbeiten sowie die Herstellung der Brandschutzschale. Die Brandschutzschale wurde im Sommer 2010 abgeschlossen, danach wurde die offene Bauweise innerhalb der Startbaugrube erstellt, die Startbaugrube verfüllt, die Baustelleneinrichtung geräumt und die verwendeten Flächen rekultiviert.

Die elf Rettungsschächte wurden während des Hauptvortriebes fortlaufend abgeteuft. Jeweils im Anschluss fuhr die Rohrvorpressmaschine die Rettungstollen in Richtung Haupttunnel auf. Die Anschlüsse der Rettungstollen an den Haupttunnel erfolgten dann bergmännisch im Schutze von Dichtblöcken.

### Geologie

Die Geologie des Loses H3-4 besteht, abgesehen von den Hartgesteinszonen im Start- und Zielbereich, im Wesentlichen aus grundwassergesättigtem Lockergestein. Ein wesentlicher Faktor war, dass das Grundwasser entlang der Strecke zwischen Startschacht und Zielbereich wenige Meter unter GOK anstand, womit sich der gesamte Hauptvortrieb unter dem Grundwasser befand.

### TVM-Vortrieb

Übersicht Hauptvortrieb	
Methode	Hydroschild-TVM
Beginn Vortrieb	30. Mai 2007
Abschluss Vortrieb	9. Februar 2009
Länge	5.767,50 m
Bester Monat	532,68 m
Bester Tag	32,07 m

Das Vortriebssystem des Haupttunnels besteht im Wesentlichen aus der Vortriebsmaschine inkl. Nachläufer, der Logistik- sowie der Separationsanlage. Aufgrund des vorherrschenden Lockergesteins (Sande, Kiese, Murschutt mit hohen Durchlässigkeiten) hat die Arge H3-4 eine Hydroschildvortriebsmaschine eingesetzt.

Die Hydroschild-TVM arbeitet nach dem Prinzip des aktiven Stützdruckes. Dies bedeutet, dass die Bentonitsuspension als Stützflüssigkeit mit mindestens dem gleichen Druck wie dem des anstehenden Gebirges inkl. Grundwasserdruck an die Ortsbrust gepresst wird.

Das in der unter Druck stehenden Bentonitsuspension rotierende Schneidrad löst bei einer maximalen Drehzahl von 3,15 Umdrehungen pro Minute mit seinen Meißeln, Ripperrn und Schälmessern vollflächig den anstehenden Boden. Am Schneidradumfang sind 16 Schaufeln, sogenannte Räumer, angebracht, die das abgebaute Gebirge aufnehmen und hinter das Schneidrad führen. Durch die sogenannte Tauchwandöffnung, einen Steinbrecher sowie einen Rechen wird die so mit Material aufgeladene Suspension über den Saugstutzen in die Förderleitung gepumpt, wobei gleichzeitig frische Suspension über die Speiseleitung eingebracht wird. Die Bentonitsuspension übernimmt somit sowohl Stütz- als auch Transportfunktion.

Kreiselpumpen treiben die mit Bodenmaterial aufgeladene Bentonitsuspension in der Förderleitung (DN500) durch den gesamten bereits aufgefahrenen Tunnel über die Startbaugrube hinauf zur BE-Fläche und bis zur Separationsanlage. An der Oberfläche in der Separationsanlage angekommen, wird der abgebaute Boden mittels Rüttelsieben, Hydrozyklonen sowie Zentrifugen von der Bentonitsuspension getrennt. Die so aufbereitete Bentonitsuspension wird wieder dem Förderprozess zugeführt, womit ein Bentonitkreislauf entsteht.

Ist ein 2-m-Vortrieb aufgefahren, wird der Vortrieb gestoppt und die Vortriebspressen abschnittsweise zurückgezogen. In dem so entstehenden Freiraum werden die ca. 15 t schweren und 50 cm dicken

Beton-Tübbingsteine mit dem Erektor mittels einer Vakuumsaugplatte an der Tunnelleibung positioniert, mit den Vortriebspresen gesichert und gegeneinander zu einem neuen Ring – ein Tübbingring besteht aus sieben Tübbing- plus einem kleineren Schlusstein, Gesamtgewicht ca. 100 t – verschraubt. Den Abschluss bildet ein keilförmiger Schlusstein, der in seine Position geschoben den Ringschluss, die Dichtheit und Stabilität des Ringes garantiert. Ist die Montage und Verschraubung des Tübbingringes abgeschlossen, beginnt der nächste Vortriebszyklus. So arbeitet sich die Tunnelvortriebsmaschine Ring für Ring ihrem Ziel entgegen.

Aufgrund des vorherrschenden Lockergesteins (Sande, Kiese, Murschutt mit hohen Durchlässigkeiten) hat die Arge H3-4 eine Hydroschildvortriebsmaschine eingesetzt.



Verladen von drei Tübbingsteinen mit in Summe 45 t auf einen Flachwagen im Schacht. Rechts sind die in den Tunnel führenden Förder- und Speiseleitung zu sehen.



1.100-kW-Förderpumpe mit eigens dafür notwendiger Trafostation

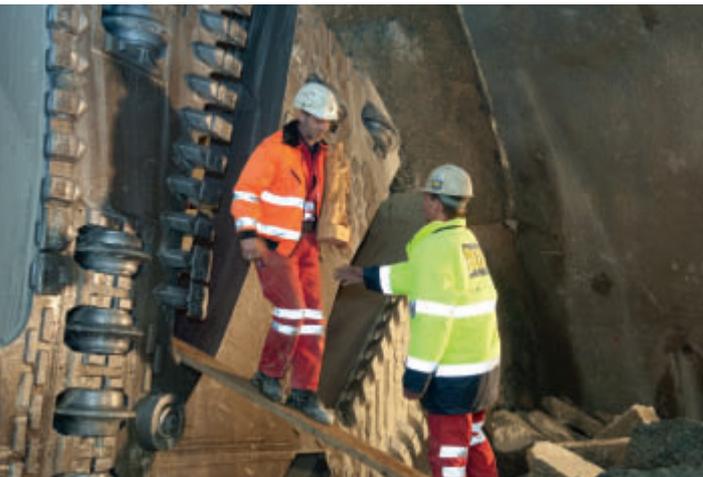
Während der Vortriebsarbeiten erfolgt kontinuierlich die kraftschlüssige Verpressung des entstandenen Ringspaltes (Ausbruchsdurchmesser ist größer als der Außendurchmesser der Tübbingringe, dies u. a. um Kurvenfahrten zu ermöglichen) mit Mörtel, um umgehend eine Bettung der Tübbingröhre zu erreichen und Setzungen an der Oberfläche zu minimieren.

### Herausforderungen im Hydroschildvortrieb

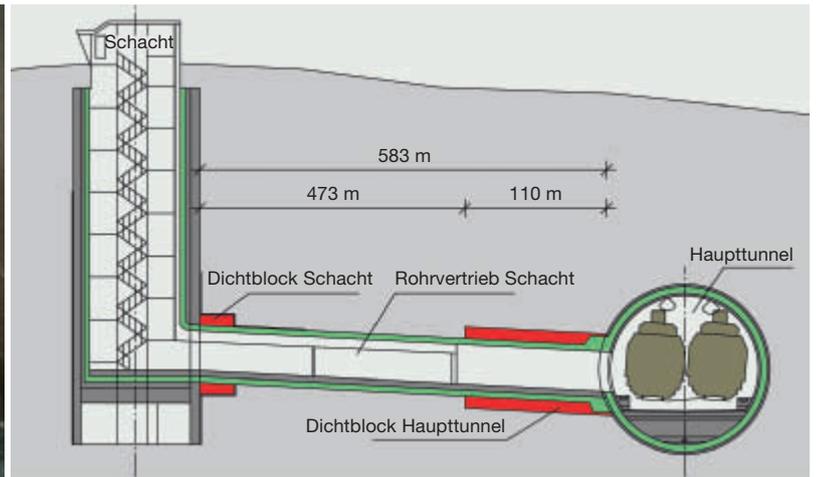
Der Vortrieb H3-4 war eine besondere Aufgabe und gehört mit 13 m Durchmesser weltweit zu den größten bisher ausgeführten Hydroschildvortrieben. Zu lösende Herausforderungen waren unter anderem wechselnde geologische Verhältnisse, Mixed-Face-Bedingungen, Kompaktierungen der Ortsbrust, durchlässige Bodenschichten, hohe Wasser-

Blick auf die TVM während des Versetzens eines Tübbingsteines. Im oberen Bereich sieht man die zurückgefahrenen Pressen, in Kürze wird dort der Tübbingstein versetzt.

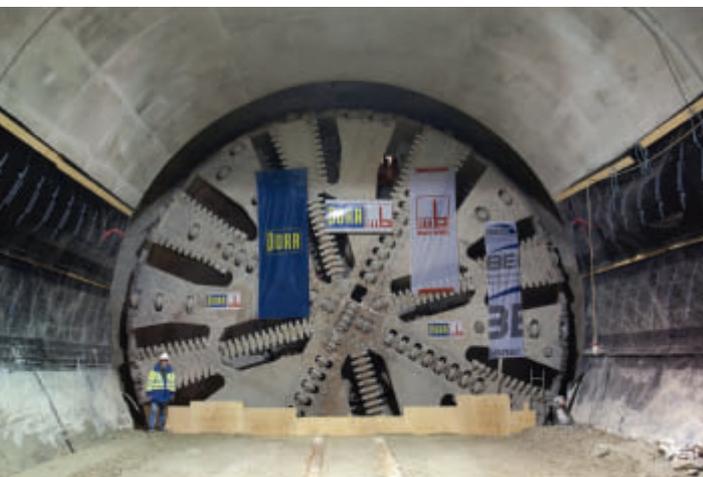




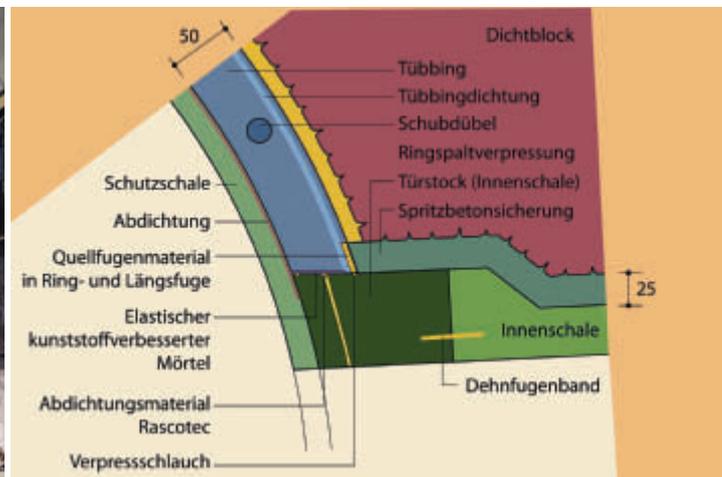
Als Erste durchschreitet den neu geschaffenen Tunnel die Statue der hl. Barbara, getragen von Polier Andreas Resch.



Schematische Darstellung Rettungsschächte und -stollen



Schneidrad in Endposition nach Räumung des Stützkeiles



Anschlussdetail Verbindungsstollen/Haupttunnel

drücke (die Ausbruchsachse lag auf der Vortriebsstrecke bei einer Firstüberlagerung von 12 bis 44 m zwischen 6 und 28 m unter dem Grundwasserspiegel), massive bodenabhängige Verschleißerscheinungen, Verklebungen, Unterquerung des Flusses Inn, der Autobahn, Gashochdruckleitungen sowie der ÖBB-Bestandsstrecke und die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel.

Trotz dieser Herausforderungen erreichte die TMM am 6.2.2009 um 19 Uhr 21 unter dem Schutz der heiligen Barbara und der Tunnelpatin Martina Faymann, Gattin des amtierenden Bundeskanzlers Werner Faymann, nach 597 unfallfreien Vortriebs-tagen im Durchlaufbetrieb millimeterge-nau ihr Ziel.

### Rettungsschächte

Die Rettungsschächte befinden sich in einem Abstand von ca. 500 m entlang der Tunneltrasse des Haupttunnels, weisen einen Innendurchmesser von ca. 8 m auf und sind im Mittel ca. 30 m tief. Da das Grundwasser bereits 2 bis 3 m unter der Geländeoberkante ansteht, liegt die Achse des Verbindungsstollens bis zu 24 m unter dem Grundwasser-niveau. Die gesamten Rettungsschächte wurden als wasserundurchlässige Beton-bauwerke gemäß Richtlinie Weiße Wanne hergestellt und wurden während des Hauptvortriebes fortlaufend abgeteuft.

Die Verbindungsstollen wurden im Rohr-vortrieb mit einer Rohrvortriebsmaschine (RVT; D = 4,83 m) mit flüssigkeitsgestütz-ter Ortsbrust aus den Rettungsschächten

heraus bis zum Zieldichtblock, welche vorab von der Geländeoberfläche aus hergestellt wurden, aufgefahren. Die maximale Länge eines Rohrvortriebes betrug 130 m, die minimale 20 m. Die vorgepressten Rohre mit einer Wanddicke von 40 cm wurden aus Stahlbeton mit einer Zugabe von Polypropylenfasern zur Erhöhung der Brandbeständigkeit her-

Für die Verbindung der Rettungsstollen mit dem Haupttunnel wurden jeweils fünf Tübbingringe im Bereich der Öffnung mit Schubdübel verbunden.

gestellt. Im Schutze des Zieldichtblockes erfolgte dann in zyklisch bergmännischer Bauweise der Vortrieb am Übergang zum bereits erstellten Haupttunnel. Die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel bei den vorliegenden Bedingungen (Lockergestein, bis zu 3 bar Grundwasserdruck) stellten die Verantwortlichen vor eine besondere Aufgabe.

Es wurde eine sehr einfache, höchstgradig effiziente Lösung gewählt, bei der man fünf Tübbingringe im Bereich der Öffnung für die Verbindung der Rettungsstollen mit dem Haupttunnel mit Schubdübel in Form von Stahldornen verband.

Bei der eigentlichen Öffnung wurde der konventionelle Vortrieb des Rettungsstollens im Schutze eines Dichtblockes an den Haupttunnel herangeführt, mit Spritzbeton angeschlossen und dann die Tübbinge des Haupttunnels mittels Seilsägen aufgeschnitten. Mit dem Innenausbau der Rettungsstollen wurde noch der massiv bewehrte Türstock inkl. der komplexen Abdichtungskonstruktion realisiert.

### Innenausbau Haupttunnel

Die Innenausbauarbeiten umfassen in zeitlicher Abfolge die Herstellung von:

- Mörtelbett und Dränrohr
- Filterbeton, Schutzvlies, Schächten
- Kies-Sand-Auffüllung
- hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT)
- Bewehrung und Betonage der Sohlbetonplatte
- Abdichtung Gewölbe
- Bewehrung Brandschutzschale
- Betonage Brandschutzschale
- Firstspaltinjektion, inkl. Betonkosmetik

### Herstellung Abdichtung und Brandschutzschale

Vorab kann festgehalten werden: Die Brandschutzschale ist nicht Bestandteil der tragenden Konstruktion, sondern dient ausschließlich dem Brandschutz, dem Schutz vor Einwirkungen infolge Anprall und der Befestigung der technischen Ausrüstung.

Vor der Betonage der Brandschutzschale wurde die Folienabdichtung im Gewölbe aufgebracht. Im Zuge der glatten und trockenen Tübbinginnenfläche konnte das neuartige Hot-Melt-Verfahren für das Verlegen der Folienabdichtung gewählt werden. Dabei wurden von der Fa. IAT (Innovative Abdichtungs-Technologien) die vlieskaschierten Abdichtungsbahnen mit Heißverklebung mittels speziell für diese Anwendung konzipierten vollautomatischen Verlegemaschinen direkt an der Tübbinginnenseite befestigt. Mit diesem sehr effizienten sowie neuartigen Verfahren konnte in dem engen Arbeitsbereich zwischen Sohlebaustelle und Herstellung der Brandschutzschale die ca. 150.000-m<sup>2</sup>-Abdichtungsfolie verlegt werden, ohne jemals andere Arbeitsbereiche zu interagieren.

---

**Die Folienabdichtung wurde im neuartigen Hot-Melt-Verfahren verlegt.**

---

Vortrieb im Anschlussdichtblock an den Haupttunnel mit der Teilschnittmaschine





Herstellung eines Dichtblockes im Schlitzwandgreiferverfahren, im Hintergrund ist die zweite Schlitzwandeneinheit zu sehen.



Reinigen der Schlitzwandinnenseite des soeben gelenkten Rettungsschachtes



Betonage der Sohlplatte und Abzug dieser mit der Rüttelbohle

Eine besondere Herausforderung stellte die Herstellung der äußerst dünnen (20 cm Dicke bei einem Radius von 5,90 m) bewehrten Brandschutzschale dar. Die geringe statische Wirkhöhe von ca. 11 cm (20 cm Bauteildicke abzüglich der Betondeckung auf beiden Seiten) war eine nicht einfach zu lösende Aufgabenstellung. Als Bewehrungssystem wurden verschiedenste Varianten, von konventionellen Tragbögen bis zu einem Stahlfaserbeton, geprüft und in Versuchen erprobt. Zur Ausführung kam das äußerst innovative System mit den sogenannten „Spannringen“ als Träger der eigentlichen Bewehrung.

Jeder Spannring besteht aus zwei sich überlappenden Bogenteilen, gefertigt aus normalem Rippentorsteel DN20, gebogen auf einen größeren Radius als der Tunnel selbst. Das Verlegeprozedere dieses neuartigen Systems musste von der Arbeitsvorbereitung auf der Baustelle erst entwickelt werden und stellte sich wie folgt dar: Nachdem auf diese zwei Ringteile im Abstand von ca. 75 cm Abstützelemente (diese wurden von

der Arge H3-4 gemeinsam mit einem Lieferanten entwickelt und auf dieser Baustelle erstmals eingesetzt) aufgebracht wurden, konnten diese in die in der Sohle bereits vorgefertigten Löcher gestellt und in der Firste gegeneinander gespannt werden. Das Spannen erfolgte über einen eigens gefertigten Verlegewagen für die Spannringe und resultierte aus einem Auseinanderdrücken der überlappenden Enden der Spannringteile mit anschließender Fixierung durch Seilklemmen. Infolge des Spannvorganges legten sich die Abstützelemente auf die Abdichtung. Auf den so vorgespannten Stahlbogen konnte nun die konventionelle Mattenbewehrung angehängt werden.

---

**Ein System von Spannringen diente als Träger der eigentlichen Bewehrung für die nur 20 cm dicke Brandschutzschale.**

---

Die Brandschutzschale selbst wurde mit zwei je 15 m langen Gewölbeschalungen, d. h. einem Vor- und einem Nachläufer, betoniert. Die Vorläuferschalung stellte jeden zweiten Block her, der Nachläufer schloss die Lücke. Die Gewölbeschalungen wurden von ihrer Konstruktion auf sehr großen Druck ausgelegt. Dies einerseits aufgrund der enormen Betonierleistungen und andererseits da infolge der dünnen Brandschutzschale eine Rezeptur mit einer äußerst hohen Konsistenz (Ausbreitmaß 65) verbaut wurde. Die wesentliche Aufgabe des Brandschutzes

wurde durch Beimischung von Polypropylenfasern in den Beton erreicht. Mit diesem Betonierkonzept konnten in der besten Woche eine Leistung von 210 m Gewölbe und die vollste Zufriedenheit des Auftraggebers erreicht werden.

### Schlussbemerkung

Um das äußerst anspruchsvolle Projekt des Loses H3-4 der Brenner Zulaufstrecke trotz der enormen Herausforderungen qualitäts- und termingerecht realisieren zu können, waren fünf Hauptfaktoren entscheidend:

1. Eine höchst motivierte, internationale und erfahrene Mannschaft, die sowohl im Gesamten als auch durch herausragende Einzelleistungen ausgezeichnet, äußerst zielorientiert als Team agierte und auch vor innovativen Lösungen nicht zurückschreckte
2. Eine funktionierende, klar strukturierte Organisation mit eindeutig kommunizierten Zielen und genau zugeordneten Verantwortungsbereichen, wobei eine Trennung von Ausführung der Arbeit, Logistik, Unterhalt der Geräte und dem Kontakt zum Auftraggeber sowohl personell als auch verantwortlich umgesetzt wurde
3. Das sehr hohe Vertrauen zueinander und eine enorm gute Kommunikation zwischen allen Beteiligten
4. Hervorragendes Inventar
5. Das vorab genau durchdachte leistungsstarke Logistiksystem sowohl während des Vortriebes als auch während des Innenausbaus

Tunnelpatin Martina Faymann und Bundeskanzler Werner Faymann lassen sich vor Ort aus erster Hand über den Stand der Arbeiten informieren.





Im Hot-Melt-Verfahren mit der vollautomatischen Verlegemaschine angeklebte vlieskaschierte Abdichtungsbahnen. Rechts ist noch der Türstock eines Rettungstollens zu sehen.



Schalwagen eines Vorläuferblockes der Brandschutzschale. Die Bewehrung am Nachläuferblock wird nach dem Wegfahren der Vorläuferschaltung geschlossen.



Betonage eines Nachläuferblockes der Brandschutzschale



Tunnelpatin Martina Faymann und Bundeskanzler Werner Faymann besichtigen die aufgefahrene Tunnelröhre, oben ist die Lutte zur Frischluftversorgung zu sehen, in der Sohle links die Förder- und Speiseleitung, in der Mitte das Tunnelgleis und rechts der Laufsteg.

#### Projektdaten:

**Auftraggeber:** BEG (Brenner Eisenbahn GmbH) | **Auftragnehmer:** Arge H3-4 Porr - Bögl | **Vertragsunterzeichnung:** 7. Februar 2006 | **Baubeginn:** April 2006 | **Bauende:** Dezember 2010 | **Länge Haupttunnel:** 5.835,50 m | **Länge TVM:** Vortrieb 5.767,50 m | **Bohrdurchmesser:** Haupttunnel 13,03 m | **Querschnitt Normalprofil Haupttunnel:** 133,35 m<sup>2</sup> | **Ausbruchsvolumen fest:** ca. 850.000 m<sup>3</sup> | **Anzahl Rettungsschächte:** 11 Stk. | **Anzahl verbaute Tübbingringe/-steine:** 2.883 Ringe/23.064 Steine | **Ortbeton-Brandschutzschale:** ca. 32.000 m<sup>3</sup> | **Vergabe-LV Summe netto:** 158 Mio. €

#### Autor:

DI Bernd Raderbauer Executive MBA HSG  
Projektleiter Hauptbaulos H3-4 Münster/  
Wiesing  
Porr Tunnelbau GmbH  
Raderbauer@TunPro.ch  
www.Porr.at