

# Vortrieb im Fels mit einer Hydroschildmaschine

## Baustelle H3-4 der Zulaufstrecke Nord zum Brenner Basistunnel

**Bernd Raderbauer**  
Dipl.-Ing., Executive MBA HSG  
Porr Suisse AG, Altdorf UR

### Zusammenfassung

Um die sehr sensible Alpenregion vom Transitverkehr zu entlasten wird aktuell in Tirol die neue Unterinntalbahnh (Zulaufstrecke zum Brenner Basistunnel) als Teil des Trans Europäischen Netzwerkes Achse 1 Berlin Palermo realisiert.

Der Rohbau eines Teilabschnittes davon (Los H3-4), der von der Arbeitsgemeinschaft H3-4 unter der Federführung der Fa. Porr Tunnelbau GmbH erstellt wird, umfasst einen einröhrigen Zweispur-Eisenbahntunnel mit einer Länge von ca. 6 km. Dabei wurde der grösste Teil mit einer flüssigkeitsgestützten Schildvortriebsmaschine aufgefahren.

Zum Schluss wird für den Lastfall Brand die im Zuge des Vortriebes eingebaute Tübbingauskleidung mit einer kunststoffasferebewehrten Brandschutzschale ertüchtigt. Dem Fluchtwegekonzept für neue Eisenbahntunnel entsprechend kamen entlang der Tunnelstrecke im Abstand von je 500 m noch elf Rettungsschächte in Schlitzwand- und Bohrpfaahlbauweise hinzu. Die Verbindungsstollen wurden mit einer Rohrvortriebsmaschine (DN 4.83 m) und im konventionellen Vortrieb -im Schutze von vorab hergestellten Dichtblöcken- aufgefahren.

Der Vortrieb H3-4 war eine besondere Aufgabe und gehört mit 13 m Durchmesser weltweit zu den grössten bisher ausgeführten Hydroschildvortrieben.

Die Tunnelgradiente liegt vollständig unter dem Grundwasserniveau und vorwiegend in sandigen oder kiesigen Lockerböden mit hohen und stark wechselnden Durchlässigkeiten. Dabei musste die Arbeitsgemeinschaft im Laufe der Jahre einige Herausforderungen meistern, wie wechselnde geologische Verhältnisse von kiesigen über tonige Lockergesteins- bis zu Felsbereichen, "Mixed Face" Bedingungen, Kompaktierungen der Ortsbrust, durchlässige Bodenschichten, hohe Wasserdrücke, massive bodenabhängige Verschleisserscheinungen, Verklebungen, Unterquerungen des Flusses Inn, der Autobahn, Gashochdruckleitungen sowie der ÖBB-Bestandsstrecke und die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel.

Die Bewältigung der wechselnden geologischen Verhältnisse und im Besonderen der Vortrieb im Festgestein soll folgend vorgestellt werden. Drei Aspekte werden näher betrachtet: Das Design der TVM, die Ertüchtigung des Lockergesteins am Beispiel der Mixed-Face-Situation im Zielbereich sowie die geänderte Fahrweise der TVM im Felsgestein, resp. im Übergangsbereich.

Derzeit steht noch die Fertigstellung der Ausbauarbeiten an. Diese schreiten zügig voran, womit eine termingerechte Übergabe auf den Jahreswechsel 2010/11 gesichert ist.



Abb.1: 19.12.2006 Werksabnahme TVM Fa. Herrenknecht

## Allgemeines

Der Karthagerführer Hannibal überquerte 218 vor Christus auf seinem Weg Richtung Rom mit einem gewaltigen Heer die Alpen. Heute quält sich immer mehr Transit- und Individualverkehr durch die ökologisch sehr sensible Alpenregion, woraus enorme Verkehrsprobleme und Umweltbelastungen entstehen. Als eine der Lösungen dieser Probleme wird aktuell die neue Unterinntalbahn und voraussichtlich in Kürze der Brenner Basistunnel realisiert. Diese Streckenabschnitte sind Teil der TEN (Trans Europäisches Netzwerk) Achse 1 Berlin-Palermo, wobei der Bereich zwischen Wörgl und Baumkirchen (Zulaufstrecke Brenner Basistunnel) auf der gesamten TEN Achse das höchste Zugaufkommen aufweist. Diese Zugfrequenz ergibt sich aus der Überlagerung von innerösterreichischem Ost-West-Verkehr mit dem internationalen Nord-Süd Verkehr sowie dem Regionalverkehr.

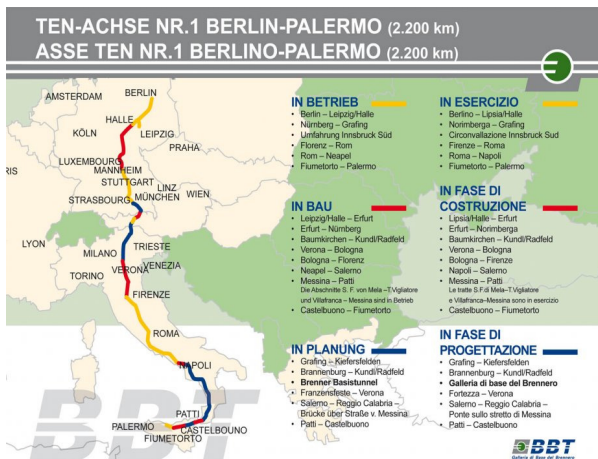


Abb.2: TEN-Achse, BBT

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-Neubaustrasse 40 km beträgt und Geschwindigkeiten bis zu 250 km/h erlaubt. 32 Kilometer dieser neuen Hochleistungsstrecke werden als Tunnels, Wannen, Galerien und Unterflurtrassen erstellt.

## Baulos H3-4

Mit den Arbeiten am Bauloses H3-4 wurde die Arbeitsgemeinschaft H3-4, bestehend aus zwei europäischen Partnern mit je 50% Beteiligung am

7. Februar 2006 von der BEG (Brenner Eisenbahn GmbH) beauftragt. Unter der technischen Federführung der Porr Tunnelbau GmbH werden dabei realisiert:

- 5'767.5m Hauptvortrieb (Schildbauweise, flüssigkeitsgestützte Ortsbrust (Hydroschild), einschaliger Stahlbetontübbingausbau), Durchmesser 13.03m, Querschnitt 133.35m<sup>2</sup>
- Startbaugrube, rund 855m<sup>2</sup> Grundfläche, etwa 30m Tiefe, einschliesslich 28m Tunnel in offener Bauweise
- Rund 36m Sprengvortrieb als Lückenschluss zum Los H2-1
- Zielbauwerk
- Elf Rettungsschächte und -stollen im Abstand von etwa 500m

Über die Startbaugrube erfolgt die Schildanfahrt sowie die Ver- und Entsorgung des gesamten Vortriebes, weshalb die gesamte Baustelleneinrichtung für den Haupttunnelvortrieb mit allen Komponenten des Materialfördersystems, der Werkstatt, der Materiallagerbereiche, der Trafo- und Kompressorenstationen inkl. Krankenschleuse sowie den Büros und Unterkünften im Nahbereich der Startbaugrube situiert ist. Auch die Stahlbetontübbinge werden vor Ort im Nahbereich des Startschachtes auf der Baustelleneinrichtungsfläche in einer Feldfabrik hergestellt.

Projektdate H3-4	
Auftraggeber	BEG (Brenner Eisenbahn GmbH)
Auftragnehmer	Arge H3-4 Porr - Bögl
Vergabe-LV Summe netto	158 Mio. €
Vertragsunterzeichnung	7. Februar 2006
Baubeginn	April 2006
Bauende	Dezember 2010
Länge Haupttunnel	5'835.50m
Länge TVM Vortrieb	5'767.50m
Bohrdurchmesser Haupttunnel	13.03m
Querschnitt Normalprofil Haupttunnel	133.35m <sup>2</sup>
Ausbruchsvolumen fest	ca. 850'000m <sup>3</sup>
Anzahl Rettungsschächte	11Stk.
Anzahl verbaute Tübbingringe/-steine	2'883 Ringe / 23'064 Steine
Ortbeton Brand-schutzschale	ca. 32'000m <sup>3</sup>

## Bauprogramm

Seit dem Jahre 2003 befinden sich die Hauptbaulose an der Zulaufstrecke zum Brenner Basistunnel im Bau, wobei vorab Erkundungsstollen, Anbindungen an das hochrangige Strassennetz, Ufersicherungen sowie ökologische Ausgleichsmassnahmen ausgeführt wurden. Bis 2011 wird das gesamte Röhrensystem im Rohbau fertig gestellt 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 nach hinten in den zuvor aufgefahrenen Lückenschluss verschoben. Anschliessend erfolgte die Montage der eigentlichen TVM. So konnte der Vortrieb mit einer komplett montierten, ca. 100m langen Vortriebsvorrichtung, am 30. Mai 2007 begonnen werden.

Mit Erreichen des vorab hergestellten Zielbauwerkes am 9. Februar 2009 endeten die Vortriebsarbeiten im Haupttunnel.

Nachdem 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 wird im Sommer 2010 abgeschlossen sein, darauf folgend wird die offene Bauweise innerhalb der Startbaugrube erstellt, die Startbaugrube verfüllt, die Baustelleneinrichtung geräumt und die verwendeten Flächen rekultiviert.

## Geologischer Längenschnitt und Bauzeitplan H3-4

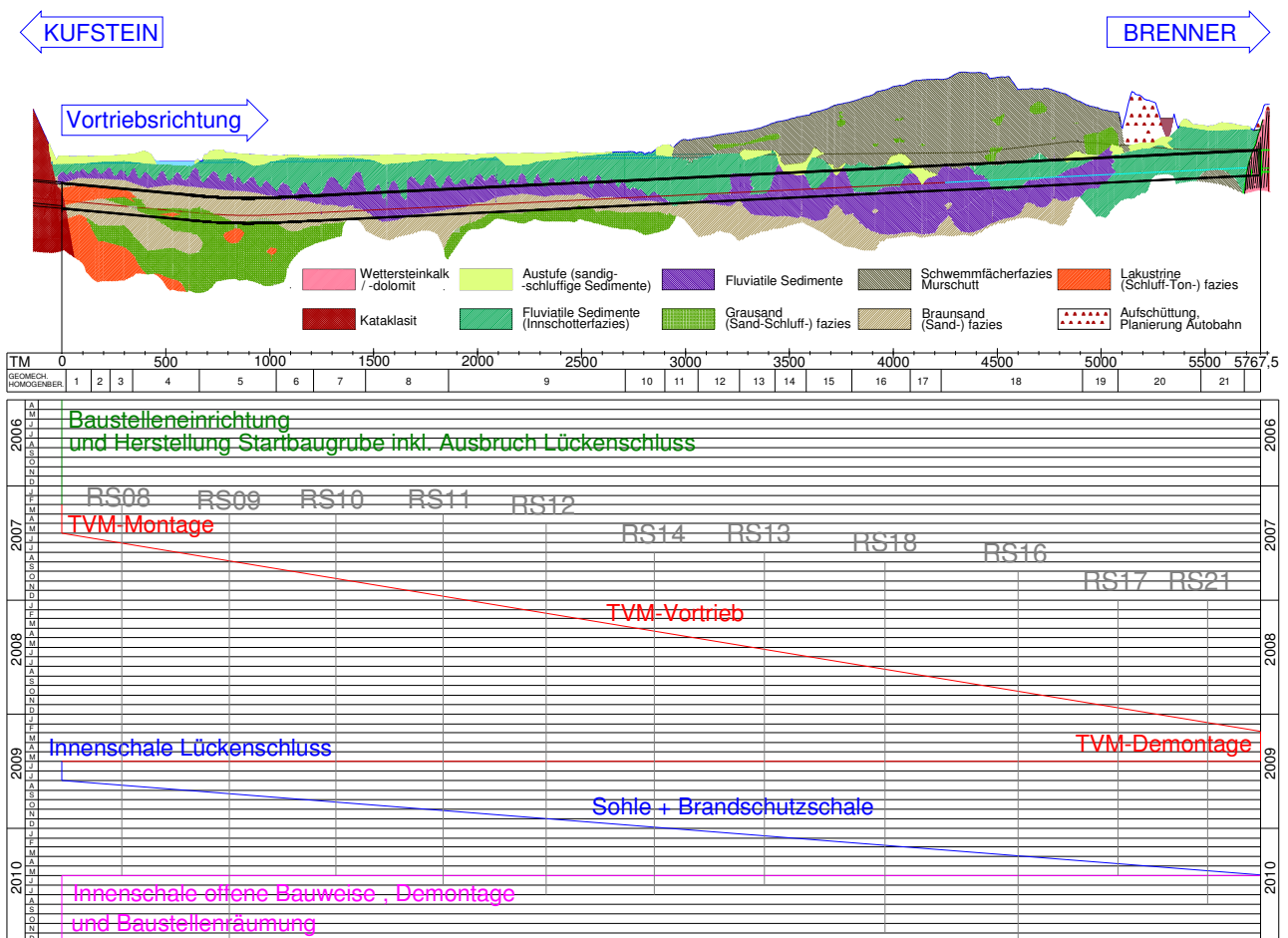


Abb.3: Geologischer Längenschnitt und Bauzeitplan

Die 11 Rettungsschächte wurden während des Hauptvortriebes fortlaufend abgetäuft. Jeweils im Anschluss fuhr die Rohrvorpressmaschine die Rettungsstollen in Richtung Haupttunnel auf. Die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel erfolgten dann bergmännisch im Schutze von Dichtblöcken.

## Geologie

Der im Streckenabschnitt H3-4 aufzufahrende Haupttunnel liegt zum überwiegenden Teil in der alluvialen Talflur des Innals. Im östlichen Bereich wurden grösstenteils fluviatile Sedimente (Kiese) und feinklastische, lakustrine Sedimente (Sande und Schluffe) durchörtert, während im westlichen Bereich des Bauloses die fluviatilen Sedimente des Schwemmfächers von Münster/Wiesing die geologischen Verhältnisse im Tunnelquerschnitt bestimmten.

Das Baulos wird im Bereich der Startbaugrube durch den kataklastischen Dolomit des Matzenköpfels und im Zielbereich durch die Wettersteinkalke des Jenbacher Tiergartens begrenzt.

Die Grundwasserverhältnisse werden primär durch den Inn geprägt, des weiteren haben der Schwemmfächer von Münster/Wiesing und das Rofangebirge massgeblichen Einfluss. Das Grundwasser steht entlang der Strecke zwischen Startschacht und Zielbereich wenige Meter unter GOK an, womit sich der gesamte Hauptvortrieb unter dem Grundwasser befindet.

Die Geologie des Loses H3-4 besteht, abgesehen von den Hartgesteinszonen im Start- und Zielbereich, im Wesentlichen aus grundwassergesättigtem Lockergestein.



Abb.4: BE-Fläche, v.l.n.r.: Startschacht, Portalkran, Tübbinglagerfläche, Tübbingproduktionshalle, Werkstatt- und Magazinhallen, Trafostation, Zentrifugen, Separation, Austragsfläche, Bentonitmischanlage  
 Arge H3-4

## 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

Wie bereits erwähnt wurde der 5'767.50 m lange Haupttunnel von der Startbaugrube ausgehend mit einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) aufgeföhren. Aufgrund des vorherrschenden Lockergesteins (Sande, Kiese, Murschutt mit hohen Durchlässigkeiten) hat die Arge H3-4 eine Hydroschildvortriebsmaschine mit einem Durchmesser von 13.03 m eingesetzt. Zu diesem Zeitpunkt war dies die grösste je in Österreich eingesetzte TVM und eine der Grössten weltweit verwendeten.

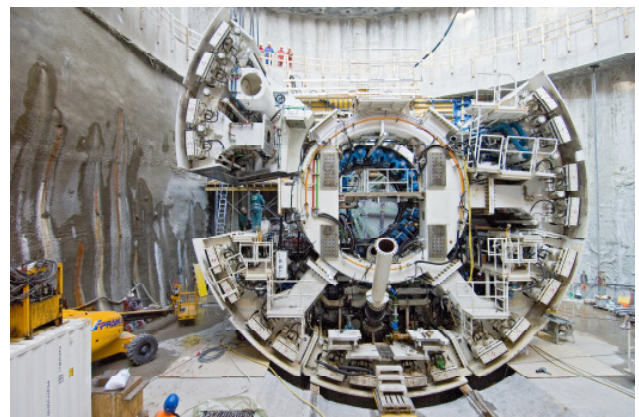


Abb.5: Montage der TVM im Startschacht

Das Vortriebssystem des Haupttunnels besteht im Wesentlichen aus der Hydroschildvortriebsmaschine inkl. Nachläufer, den Logistikanlagen sowie der Separationsanlage, wobei eine derartige Hydroschildvortriebsmaschine aus folgenden Hauptbauteilen besteht:

- dem mit Schälmessern, Rollmeisseln, Rippern und Räumern bestückten Schneidrad
- dem Schild, ausgestattet mit dem Schneidrad-Antrieb, der Tauchwand (trennt die Abbaukammer von der Arbeitskammer), der Druckwand und den Vortriebspresen
- dem Schildschwanz in dessen Schutz der Tübbingring gebaut wird
- dem Erektor zur Positionierung der Tübbingsegmente
- und dem Nachläufer als Aggregatträger, Steuer- und Versorgungseinheit.

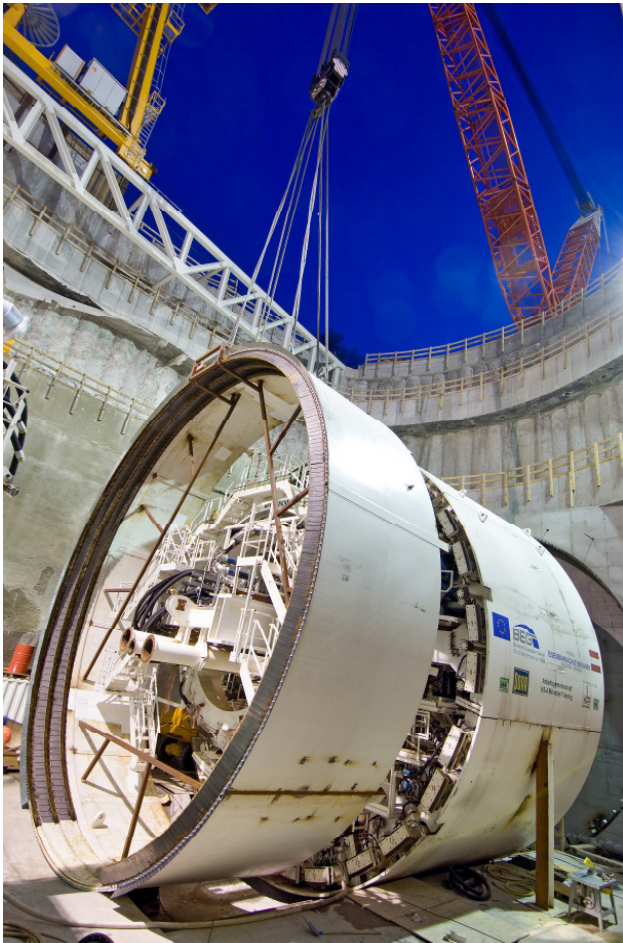


Abb.6: Einheben des Schildschwanzes

## Funktionsweise Hydroschild TVM

Die Hydroschild-TVM arbeitet nach dem Prinzip des aktiven Stützdruckes.



Abb.7: Fertig montierte TVM kurz vor dem Andrehen

Hinter der Abbaukammer befindet sich die Arbeitskammer, die durch die Tauchwand (Wand mit Öffnung im Sohlbereich) von der Abbaukammer getrennt ist.

Über eine Luftblase, in der nur etwa bis zur Hälfte mit Bentonitsuspension gefüllten Arbeitskammer wird der Stützdruck gem. dem Prinzip der kommunizierenden Gefässe geregelt bzw. auf die Ortsbrust übertragen. Somit unterscheidet sich dieses Vortriebsverfahren massiv von den klassischen Hartgesteinsvortrieben, doch musste die TVM auch die Felsbereiche sowie die Dichtblöcke auf der Strecke auffahren können.

## Herausforderungen im Hydroschildvortrieb

Der Vortrieb H3-4 war eine besondere Aufgabe und gehört mit 13 m Durchmesser weltweit zu den größten bisher ausgeführten Hydroschildvortrieben. Wichtige Erfahrungen, Problemlösungen und Optimierungsansätze mussten gefunden und können nun für zukünftige Projekte genutzt werden. Zu lösende Herausforderungen waren unter anderem wechselnde geologische Verhältnisse von kiesigen über tonige Lockergesteins- bis zu Felsbereichen, "Mixed Face" Bedingungen, Kompaktierungen der Ortsbrust, durchlässige Bodenschichten, hohe Wasserdrücke, massive bodenabhängige Verschleisserscheinungen, Verklebungen, Unterquerungen des Flusses Inn, der Autobahn, Gashochdruckleitungen sowie der ÖBB-Bestandsstrecke und die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel.



Abb.8: Blick auf die TVM während dem Versetzen eines Tübingensteines

### Hohe Wasserdrücke

Die Ausbruchsachse lag auf der Vortriebsstrecke bei einer Firstüberlagerung von 12 bis 44 m und zwischen 6 und 28 m unter dem Grundwasserspiegel. Daraus ergab sich der für den Regelvortrieb erforderliche Stützdruck von 0.8 bis 3.0 bar.

Für Werkzeugkontrollen und -wechsel wurde die Bentonitsuspension im Abbauraum bis zur Tunnelachse abgesenkt. Um das Grundwasser zu verdrängen und um die Ortsbrust zu stützen, musste der Arbeitsraum mit Druckluft bis 3.5 bar beaufschlagt werden. Durch die zwei im Schild vorhandenen Personenschleusen gelangte das Personal an die Ortsbrust. Die Belastungen der unter diesem Druck arbeitenden Mannschaft waren enorm, wodurch sich deren tägliche Nettoeinsatzzeit auf unter zwei Stunden reduzierte. Nur durch eine hohe Flexibilität der Mannschaften bzw. des Arbeitszeitmodells konnte diese Aufgabe gelöst werden.

### Verklebungen

Klebrigkeit des Abbaumaterials ist eine der massgeblichen und leistungsbestimmenden Eigenschaften des Baugrundes und stellt eine Vortriebserschweris mit Auswirkungen auf die Vortriebsgeschwindigkeit dar. Diese Verklebungen können in Verbindung mit quarzreichem Lockergestein zudem zu einem massiven Verschleiss am Schneidrad und im Bereich der Abbaukammer führen.

Verklebungen mussten an den verschiedensten Bereichen festgestellt werden, wie an Ortsbrust, in Abbaukammer, Werkzeugkästen, Schneidradöffnungen, Schneidradaufhängung und an der Separation. Derartige Verklebungen haben die verschiedensten Auswirkungen, wie:

- Anstieg Drehmoment, Anpresskraft und Stromaufnahme
- Geringere Vortriebsgeschwindigkeit und Penetration
- Änderung des Löseverhaltens (Aufnahme Bodenkörner in Verklebungen und späteres Lösen des Gemisches, führt zu Pseudogeröllen)
- Erhöhter Verschleiss (längerer Werkzeugweg pro Laufmeter, Schleifpasten)
- Ungewöhnlicher Verschleiss (Blockierer, messerförmiger scharfer Abschleiß der Disken, ausgeschliffene Trägermatrix aus den Werkzeugen)
- Längere Stillstände (manueller Reinigungsaufwand, Druckluftverluste)
- Ständige kurze Wechsel Vortriebsunterbrechung/Vortrieb (z.B. durch Ausfall Separation)
- Überlaufen der Grobsiebe in der Separation

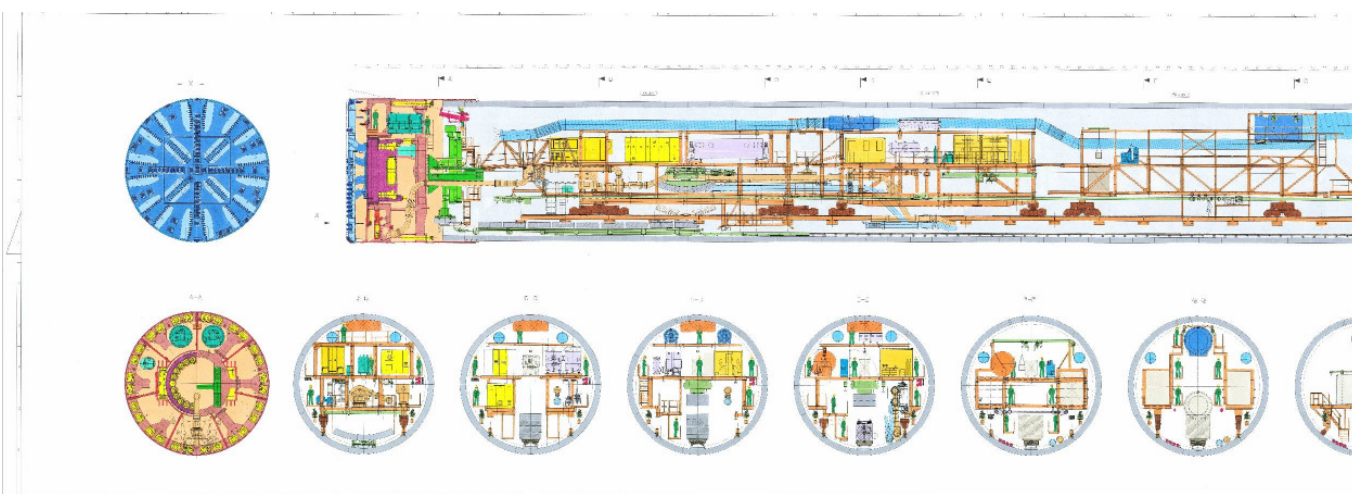


Abb.9: Prinzipdarstellung Hydroschild Tunnelvortriebsmaschine Fa. Herrenknecht

Prinzipiell führen diese Verklebungen zu höheren Stillstandszeiten sowohl auf der TVM als auch in der Separation, einer Verringerung der Vortriebsgeschwindigkeit, einem erhöhten Stromverbrauch uvm.

Lösungen zur Optimierung des Vortriebes bei Verklebungserscheinungen waren das vermehrte Durchführen von Druckluftestiegen, um das Schneidrad, die Diskenkästen, die Schneidradaufhängung usw. zu reinigen und um die Werkzeuge selbst öfter zu kontrollieren bzw. zu wechseln. Auch bei der Separation wurde auf die Reinigung aller Anlagenteile, aber besonders auf die kontinuierliche Reinigung der Grobsiebe, grösstes Augenmerk gelegt. Weiters wurden, um die Auswirkungen des Verschleisses zu reduzieren, bei der Schneidradbestückung spezielle Disken mit breiten Schneidringen und Ripper eingesetzt.

## Unterquerungen

Bereits nach einer Vortriebstrecke von rund 400 m wurde der Flusslauf des Inns auf einer Länge von etwa 250 m unterquert. Dabei betrug die minimale Überdeckung der Tunnelfirste bis zur Sohle des Inns 13m. Im Anschluss wurden zweimal die Autobahn A12 (Inntalautobahn), mehrfach eine Gashochdruckleitung sowie einmal die Gleise der ÖBB Bestandsstrecke unterquert. Im Zuge des hervorragenden Zusammenspiels des Gesamtsystems konnten diese Aufgaben ohne einen Zwischenfall gemeistert werden.

## Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel

Die Anschlüsse der Rettungsstollen an den Haupttunnel bei den vorliegenden Bedingungen (Lockergestein, bis zu 3 bar Grundwasserdruck) stellten die Projektverantwortlichen vor eine besondere Aufgabe.

Da die Rettungsstollenanschlüsse weitestgehend parallel zum Hauptvortrieb herzustellen waren, wurde nach einer Lösung zum Abtragen der Ringkräfte im Bereich der Tübbingöffnungen ohne behindernde Einbauten im Haupttunnel gesucht. Es wurde eine sehr einfache, aber höchstgradig effiziente Lösung mit Schubdübel gewählt. Dabei wurden fünf Tübbingringe im Bereich der Öffnung für die Verbindung der Rettungsstollen mit dem Haupttunnel mit Schubdübel in Form von Stahldornen ausgerüstet. In bereits gefertigte Tübbinge wurden mittels Kernbohrung nachträglich die Öffnungen zum Einsetzen der Dübel gebohrt. Während des normalen Vortriebes, bzw. während des Ringbaues setzte die Vortriebsschicht die Schubdübel ein. Zur Gewährleistung des Kraftschlusses wurden die Dübelöffnungen im Nachgang mit Zementmörtel verpresst. Somit erforderte der am kritischen Weg

liegende Ringbau ein wenig mehr Zeit, aber auf eine nachträgliche Aussteifung der Tunnelröhre zum Öffnen des Anschlusses konnte vollständig verzichtet werden.

Für den eigentlichen Anschluss des Rettungsstollens an die Tübbingröhre wurde dieser als konventioneller Vortrieb 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 Abdichtungsstruktur realisiert.

Alle elf Anschlüsse konnten mit diesem bisher noch nie angewendeten Verfahren äusserst kosteneffizient hergestellt werden.

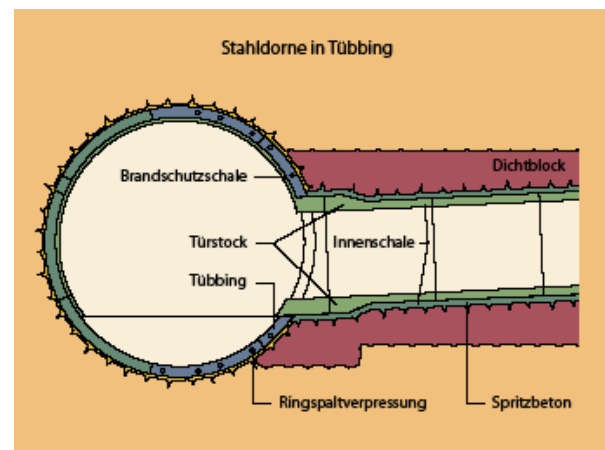


Abb.10: Systematische Darstellung des Anschlusses Rettungsstollen an den Haupttunnel

## Wechselnde geologische Verhältnisse

Die angetroffenen wechselnden geologischen Verhältnisse bedingten den Einsatz einer mit Rollenmeisseln bzw. Rippern und Schälmessern bestückten Hydroschildmaschine. Im Bereich der Startbaugrube lag steil einfallend die Grenze zwischen Fels (Hauptdolomit) und Lockergestein (Kiese, Sand, Seeton). Somit stand zu Beginn des Vortriebes über Teile der Ortsbrust der gewachsene Fels mit darüber liegenden mittels DSV ertüchtigtem Lockergestein an. Vor dem längsten Bereich, der eigentlichen Lockergesteinsstrecke, mussten noch äusserst schluffige Passagen aufgefahren werden. Im Zielbereich des Bauloses erfolgte der Vortrieb wieder im Felsgestein des sogenannten Jenbacher Tiergartens. Weiters mussten die 11 im Schlitzwandverfahren hergestellten Dichtblöcke von der TVM durchfahren werden.

Mit dem beschriebenen komplexen Gesamtvortriebssystem, der vielseitigen, jeweils an die aktuelle Situation angepasste Bestückung des Schneidrads sowie der Separation, den

Ertüchtigungen des Lockergesteins im Übergangsbereich zum Fels und der angepassten Fahrweise der TVM konnten die wechselnden geologischen Verhältnisse bewältigt werden. So war das Schneidrad im Felsgestein, d.h. zu Beginn und am Ende des Vortriebes, vollflächig mit Meisseln bestückt, im mittleren Bereich, trotz der aufzufahrenden Dichtblöcke, grösstenteils mit Rippeln.

Drei Aspekte des Vortriebes im Fels mit einer Hydroschildmaschine sollen im Folgenden näher betrachtet werden:

- Design der TVM
- Ertüchtigung des Lockergesteins am Beispiel des Zielbereiches
- Geänderte Fahrweise der TVM im Felsgestein, resp. im Übergangsbereich

### Design der TVM

Prinzipiell ist festzuhalten, dass im Baulos H3-4 nur kurze Festgesteinsbereiche am Beginn und am Ende vorlagen, womit die TVM mit Schwerpunkt auf Lockergestein konzipiert wurde, aber trotzdem ohne grosse Umbauarbeiten die Festgesteinsbereiche meistern musste.

In dieser Veröffentlichung soll auf die Gedanken resp. den Anforderungen infolge der Festgesteinsbereiche eingegangen werden. Allgemein gilt bei Vortriebsmaschinen für Festgestein:

- Bohrkopf anstelle Schneidrad
- Bohrkopfbestückung nur mit Disken und Räumern (auch Rückräumer)
- Materialabförderung aus dem Zentrum
- nur eine Drehrichtung des Bohrkopfes zur Optimierung des Förderprozesses
- kein Gelenklager
- Charakteristik und Maschinenparameter werden zu einem hohen Mass von der Diskengeschwindigkeit entschieden, d.h. im Festgestein bei 17" Disken max. etwa 150m/min, womit sich über den Durchmesser des Bohrkopfes, resp. der Spur der äussersten Diske die maximale Drehzahl ergibt. Ziel ist eine möglichst hohe Drehzahl für den Bohrkopftrieb, welche mit E-Motoren erreicht werden soll. Bei einem Durchmesser von 13.03m, wie bei dem Baulos H3-4, bedeutet dies eine max. Umdrehung von 3.70U/min.
- Hoher Überschnitt, um ein Festfahren der Vortriebsmaschine zu vermeiden
- Kompensation der Verrollung über Vortriebspresenverstellung
- Vortriebspresen auf Druckring, resp. bei offenen TBMs auf Verspannung
- kleine Vortriebspresen, da keine Stützdruckanforderung

Da es sich auf dem Baulos H3-4 um eine Lockergesteinsvortriebsmaschine handelte und somit die Überlegungen des Maschinendesigns einer Festgesteinsmaschine nicht vollumfänglich umgesetzt werden konnten, musste im Design ein Kompromiss zwischen Locker- und Festgestein gefunden werden. Die allseits bekannten Designelemente einer Lockergesteinsmaschine, wie zwei Drehrichtungen des Schneidrades, abgedichtetes Gelenklager usw., wurden teilweise um Eigenschaften einer Festgesteinsmaschine erweitert, diese waren etwa:

- Bestückung des Schneidrades (kein Bohrkopf) mit sehr vielen Disken, Spacing ca. 10cm. Diese Disken wurden im Lockergestein zu einem grossen Teil durch Ripper ersetzt.
- Relativ geschlossenes Schneidradzentrum, wäre bei reinem Lockergesteinsvortrieb offener, mit Disken versehen
- Hohe Drehzahl des elektrischen Antriebes, mögliche Drehzahl um einiges höhere als für Lockergesteinsvortrieb notwendig
- Montage eines sehr grossen Brechers mit 1m Öffnungsweite
- Genaue Betrachtung der notwendigen Anzahl von Spüldüsen (Man benötigt im Hartgestein bei der reduzierten Vortriebsleistung gegenüber dem Lockergestein nicht die volle Umlaufmenge; der Lösevorgang bei Slurry-Felsmaschinen ist ähnlich, das Absinken in der Kammer ist vielleicht etwas einfacher, aber der Transportvorgang zum Ansaugstutzen und in der Leitung benötigt mehr Schleppspannung)

### Ertüchtigung des Lockergesteins am Beispiel des Zielbereiches

Der Vortrieb trifft am Ende im Felsgestein auf den bereits hergestellten Tunnelabschnitt des Nachbarbauloses H3-6.

In diesem Zielbereich taucht die Felslinie auf einer Länge von ca. 50m in einem schleifenden Schnitt in den Ausbruchquerschnitt des Tunnels ein bis der Vortrieb bei einer ausreichenden Felsüberdeckung endet.

Der Situation im Zielbereich mit dem schleifenden Antreffen der Felslinie wurde mit Injektionsmassnahmen Rechnung getragen. Durch die Injektionen wird sichergestellt, dass ein verfestigter, homogenisierter Bereich über den gesamten Ausbruchquerschnitt aufgefahren wird. Somit wird ein schleifendes Anfahren des Festgesteins und dadurch bedingtes Ausweichen oder Abgleiten der Tunnelvortriebsmaschine verhindert.



Der Injektionsblock hat gleichzeitig die Aufgabe, im Endzustand die unterschiedliche Bettungsverhältnisse zwischen Locker- und Festgestein auszugleichen.

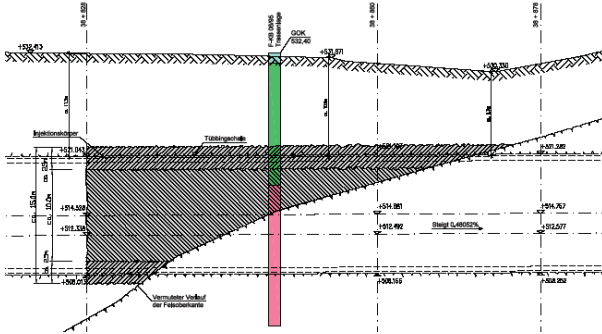


Abb.11: Längenschnitt Tunnelachse, Einfahrtssituation in den Felsbereich

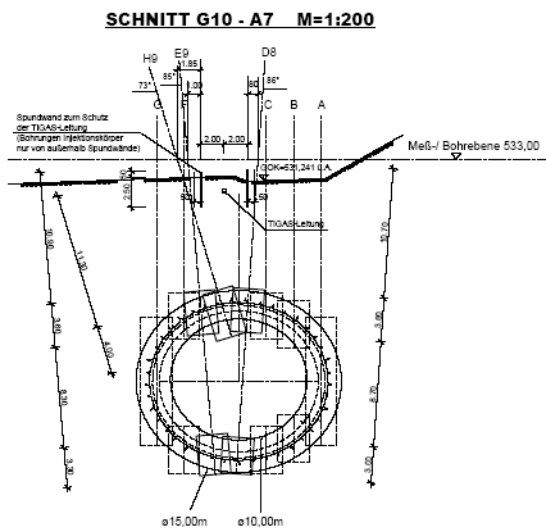


Abb.12: Hochdruckinjektionsring hergestellt im Düsenstrahlverfahren

Für die Herstellung dieses Injektionskörpers im Zielbereich wurde das Düsenstrahlverfahren (DSV) in Verbindung mit einer Auffüllinjektion eingesetzt. Dabei wurde der äussere Ring (Durchmesser ca. 15.00m bis ca. 10.00m) mit DSV - Säulen im Duplex Verfahren hergestellt. Im inneren Kreisquerschnitt (Durchmesser ca. 10.00m) wurde im Zuge wirtschaftlicher Aspekte der Düsvorgang unterbrochen. Es erfolgte die Injektion durch die Verfüllung des anstehenden Bodens mit der bei der DSV verwendeten Zementsuspension (Wasser und CEM II A-M (S-L) 32.5 R). Durch den im Bohrloch anstehenden hydrostatischen Druck während der Bohr- und Ziehzeiten wirkten so mindestens 2bar Injektionsdruck auf den anstehenden Boden im inneren Ring.

Zu erwähnen ist noch, dass die Gestänge der Bohrungen unter keinen Umständen innerhalb der späteren Schildspur verbleiben dürfen. Somit sind bei allfälligen Gestängeverlusten innerhalb der Schildspur diese Gestänge zu bergen.

### Geänderte Fahrweise der TVM im Felsgestein, resp. im Übergangsbereich

Im vollflächig an der Ortsbrust auftretenden Felsgestein können im Betrieb der TVM einige Punkte geändert, bzw. müssen einige Punkte beachtet werden:

- Das Schneidrad ist vollständig mit Disken zu bestücken
- Da eine Ortsbruststützung durch die Bentonitsuspension nicht mehr notwendig ist, kann in der Abbaukammer auch während des Vortriebes das Bentonitniveau abgesenkt werden.
- Aus dem selben Grund kann auch die Beimengung von Bentonit in den Förderstrom reduziert werden
- Es besteht prinzipiell die Möglichkeit mit einem geringem Druck in der Abbaukammer zu fahren, jedoch sind drei untere Grenzwerte zu beachten:
  - Der minimalen Vordruck, resp. Luftpolsterdruck, für die Nassförderung (d.h. wieviel Druck wird benötigt um den ausgebrochenen Boden und die Bentonitsuspension zur ersten Pumpe zu befördern) muss eingehalten werden sowie
  - Der minimale Druck auf die letzten gebauten Ringe durch die Vortriebspresen (Vortriebskraft) muss erreicht werden, damit die Tübbingringe nicht absacken bzw. aufschwimmen sowie die Tunnelvortriebsmaschine überhaupt steuerbar bleibt. Zu bedenken ist dabei, dass die Vortriebskraft eigentlich nur mehr über die Disken an das Gebirge übertragen wird.
- Grosses Augenmerk ist auf die Bettung der Tübbingröhre und den Ringspalzmörtel zu legen. Denn infolge des standfesten Ringspaltes kann der Mörtel leicht über das Schild in die Abbaukammer gedrückt werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass nach dem Auffahren von mehr als 5.5km Tunnel bis zum Zielbereich die Federbleche am Schildschwanz noch vollständig die ihnen zugedachte Aufgabe erfüllen.
- Die Werkzeugkontrollen müssen in kürzeren Abständen als im Lockergestein erfolgen, jedoch besteht die Möglichkeit atmosphärisch einzusteigen

In den seltensten Fällen verläuft jedoch der Wechsel von Locker- auf Festgestein orthogonal zur Achse. Bei dem häufig auftretenden schleifenden Schnitt von Fest- auf Lockergestein, wie dies ebenfalls am Baulos H3-4 der Fall war, ist zusätzlich zu den bereits erwähnten Punkten besonders zu beachten:

- Am Übergang zwischen Fest- und Lockergestein kann es zu vermehrten Gewaltschäden an den Werkzeugen kommen, dementsprechend vorsichtig ist dieser Bereich aufzufahren, d.h. es ist mit einer geringen Penetration vorzutreiben.
- Weiters ist darauf zu achten, dass die Vortriebsparameter auf die durch das Festgestein limitierte Vortriebsgeschwindigkeit abgestimmt sind. Es darf nicht zu einer unkontrollierten Materialentnahme infolge des zwar injizierten aber dennoch weit weniger standfesten Lockerbodens kommen.
- Bei der Steuerung muss massiv darauf geachtet werden, dass die TVM nicht entlang des Festgesteins abgleitet.

## Durchschlag!

Trotz dieser Herausforderungen erreichte die TVM am 6. Februar 2009 unter dem Schutz der heiligen Barbara nach 597 unfallfreien Vortriebstagen ihr Ziel.

Der erfolgreiche Vortrieb im Inntal ist im Zuge vielfältigen Herausforderungen eine mehr als beeindruckende Leistung. In Österreich wurde bis dato kein längerer und grösserer Tunnel mit einer Hydroschildvortriebsmaschine fertig gestellt.



Abbildung 13: Schneidrad in Endposition nach Räumung des Stützkeiles

<b>Daten der Tunnelvortriebsmaschine</b>	
Hersteller	Herrenknecht AG, D
Schildtyp	Hydroschild
Ø Schneidrad	13.03m
Länge Schild (+Schw.)	10.95m
Länge der TVM u. NL	100m
Gewicht TVM u. NL	2'600to
Bohrhub / Hub Vortriebspresen	2.00m / 2.80m
Schneidradumdrehung	bis 3.15U/min, zwei Drehrichtungen
<b>Schneidrad</b>	
Schneidradgewicht	260to
Nom/Max Vortriebskr.	90'515 / 103'446kN
Max. Vorschubkraft / Andruckkraft	28'900kN
Schneidradantrieb	Elektromechanisch, frequenzgesteuert
<b>Abbauwerkzeuge</b>	
Disken	64Stk. Einfachdisk. 6Stk. Doppeldisken
Disken-Typ	17", nach hinten wechselbar
Spacing im Face-Ber.	100mm
Schälmesser	268Stk.
Räumer	16Stk.

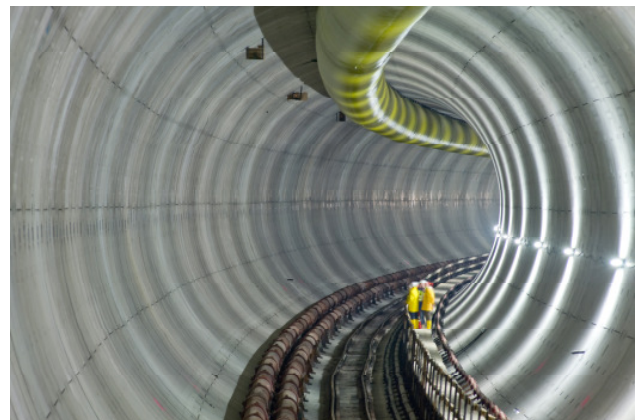


Abb.14: Aufgefahrene Tunnelröhre

## Schlussbemerkung, Ausblick

Um das äusserst anspruchsvolle Projekt des Loses H3-4 der Brenner Zulaufstrecke trotz der enormen Herausforderungen qualitäts- und termingerecht realisieren zu können, waren mehrere Hauptfaktoren entscheidend. Hierzu gehörten vor allem die höchst motivierte, strukturierte und zielorientierte Mannschaft, hervorragendes Inventar (insbesondere die TVM), durchdachte Bauabläufe, inkl. Logistik uvm.

Aktuell wird die Brandschutzschale realisiert, wobei diese Arbeiten zügig voranschreiten, so dass der angedachten Inbetriebnahme im Jahre 2012 von Seiten der Arge H3-4 nichts im Wege steht.