

Innovatives Konzept für den Bau des Brenner Basistunnels mit vorgängig hergestelltem Erkundungsstollen

E. Schneider, L. Home, B. Sängler, S. Kolb

Im nachfolgenden Beitrag wird das Konzept dargestellt, nach dem die unterschiedlichen Ausbruchverfahren zum Bau des Brenner Basistunnels ausgesucht und ausgeschrieben wurden.

1 Einleitung

Die Ausschreibung für die Zugangs- und Erkundungsstollen ist der unmittelbare Anlass für die Beschäftigung mit dem Thema. Erstmals behandelt wurde es im Report 2002, der Machbarkeitsstudie für den Brenner Basistunnel [1], auf der die aktuellen Planungen aufbauen. Das damals von Prof. Schneider gemeinsam mit R. Grandori er-

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Eckart Schneider, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck/A Lock Home, President, The Robbins Company, Solon, Ohio/USA
Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Sängler, Geschäftsführer, Robbins GmbH, Göppingen-Voralb/D
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Kolb, Entwicklung und Konstruktion, Robbins GmbH, Göppingen-Voralb/D

arbeitete Konzept für den TBM-Einsatz fand seinen Niederschlag im Bauzeitplan „Innovatives Ausbruchkonzept“.

Die seinerzeit im Kreis der Projektbeteiligten geführten Diskussionen waren auch der unmittelbare Anlass für das Forschungsprojekt TISROCK – „TBM-Tunneling in Squeezing Rock“. Dieses Projekt, das unter dem europäischem Mantel EUREKA! mit deutscher und italienischer Beteiligung durchgeführt und von E. Schneider geleitet wurde, konnte vor Kurzem erfolgreich abgeschlossen werden.

Mit dem Näherrücken der ersten Phase der Projektrealisierung gewinnen folgende Fragen eine erhöhte Bedeutung:

- Welche Abschnitte können bzw. sollen mit TBM aufgeföhren werden?
- Welcher TBM-Typ kann bzw. soll wo eingesetzt werden?
- Welches Ausbausystem soll vorgesehen werden?

Unprofessionell wäre es, die für die Basistunnel in

Innovative Concept for Constructing the Brenner Base Tunnel with previously produced exploratory Tunnel

E. Schneider, L. Home, B. Sängler, S. Kolb

In the following article, the concept is put forward according to which the various excavation methods for producing the Brenner Base Tunnel were selected and dealt with at the tendering stage.

1 Introduction

The tender for the access and exploratory tunnel provides the reason for dealing with the topic in the first place. It was initially examined in the Report 2002, the feasibility study for the Brenner Base Tunnel [1], upon which current planning is based. The concept for the TBM application worked out at the time by Prof. Schneider and R. Grandori was reflected in the "Innovative Excavation Concept" construction schedule.

The discussions that ensued at the time among those involved in the project also prompted the "TISROCK" research project (TBM Tunneling in squeezing Rock). This project, which was known under the title "EUREKA!" in Europe and involved Germany and Italy under the direction of E. Schneider, was recently successfully concluded.

With the first phase of realising the project coming increasingly closer, the following issues have gained in importance:

- Which sections can or should be driven by TBM?
- Where can or should which type of TBM be applied?
- Which lining system should be used?

It would not be professional simply to take over the decision criteria for the base tunnels in Switzerland without reflection. Many new experiences have been made throughout the world in the course of the

Prof. Eckart Schneider, Institute for Design and Material Sciences, Department for Construction Engineering, Construction Industry and Construction Management, Leopold Franzens University Innsbruck/A Lock Home, President, the Robbins Company, Solon, Ohio/USA
Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Sängler, Managing-Director, Robbins GmbH, Göppingen-Voralb/D
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Kolb, Development and Design, Robbins GmbH, Göppingen-Voralb/D

der Schweiz angewendeten Entscheidungskriterien unreflektiert zu übernehmen. Weltweit wurden in den letzten 10 Jahren viele neue Erfahrungen gewonnen. Zudem ist die seinerzeit in der Schweiz getroffene Entscheidung, nur Strecken in annähernd standfestem, d. h. sprödem Gebirge mit TBM aufzufahren und dazu ausschließlich offene TBM zu verwenden, im Rückblick durchaus nicht unumstritten.

Was liegt in diesem Fall näher, als den Versuch zu unternehmen, die Fragestellung unvoreingenommen anzugehen, Entscheidungskriterien für den TBM-Einsatz nachvollziehbar und auf Basis geotechnischer Daten zu entwickeln und dabei die Erfahrung eines der ältesten TBM-Hersteller mit einzubeziehen.

Grundlage der vorliegenden Ausführungen bildet der im Auftrag der BBT erstellte Bericht des Geoteams Brandner-John-Perello, Stand November 2006 [2]. Bei der Auswertung war zu beachten, dass die Angaben im Geotechnischen Bericht 2006 auf den Haupttunnel mit Ausbruchdurchmesser 10,0 m bezogen sind.

2 Nutzen des Erkundungsstollens

Von manchen wird ein Erkundungsstollen hauptsächlich als Kostenfaktor betrachtet und der Nutzen infrage gestellt. Ein lästiges Übel, das allenfalls dazu gut ist, ein *Fait accompli* zu schaffen, um das Projekt voranzutreiben und die öffentliche Meinung positiv zu beeinflussen. Ein Erkundungsstollen kann und soll aber viel mehr bewirken. Bei entsprechender Auslegung liefert er nicht nur die gewünschten Informationen über Geologie und Bergwasserverhältnisse, son-



1 Regelquerschnitt des Haupttunnels mit Erkundungsstollen

1 Standard cross-section of the main tunnel with exploratory tunnel

dern nimmt eine zentrale Rolle im Projektablauf ein. Beim Bau des Brenner Basistunnels könnte er zum Rückgrat des Projekts werden. Dazu ist es notwendig, die Funktionen des Pilotstollens in Abhängigkeit vom Projektablauf klar zu definieren und aufeinander abzustimmen:

■ **Bauphase Erkundungsstollen:** Im Fokus steht die geologische Erkundung mit dem Ziel, ein optimales Vortriebs-, Materialwirtschafts- und Sicherheitskonzept für die Bauphase der Haupttunnel entwickeln zu können.

■ **Bauphase Haupttunnel:** Der Erkundungsstollen übernimmt eine zentrale Rolle im Logistik-, Sicherheits-, Bewetterungs- und Wasserhaltungskonzept. Dadurch wird die Anzahl der Ver- und Entsorgungssysteme in den Haupttunneln reduziert, zumindest aber entflochten, sodass die Vortriebe auf hohe Leistung und hohe Verfügbarkeit optimiert werden können.

Durch die Entflechtung wird eine dem Vortrieb nacheilende gleichzeitige Herstellung der Innenschale ermöglicht.

■ **Nachnutzung:** Der Erkundungsstollen kann nach Fertigstellung der Haupttunnel eine oder mehrere Funktionen übernehmen. Diese sollten bereits bei der Herstellung berücksichtigt werden, sodass Querschnitt und Ausbau opti-

past 10 years. Furthermore, the decision taken in Switzerland at the time only to drive sections in more or less stable, i.e. brittle rock by TBM and only to use open TBMs in the process, is upon reflection not uncontested.

What seems more appropriate in this case than to attempt approach the issue without bias is to develop criteria for deciding on TBM application in a logical manner and on the basis of geotechnical data and to incorporate the experience of one of the oldest TBM manufacturers.

The following submissions are based on the report by the geo-team Brandner-John-Perello drawn up on behalf of the BBT as of November 2006 [2]. When it was assessed, it had to be observed that the data in the 2006 Geotechnical Report relate to the main tunnel with 10.0 m excavated diameter.

2 Use of the exploratory Tunnel

Some regard an exploratory tunnel mainly as a cost factor and question its purpose. A necessary evil, which at the best serves to create a *fait accompli* in order to advance the project and influence public opinion in a positive way. An exploratory tunnel can and should achieve a great deal more. Providing it is designed properly, it can supply the desired information relating

to the geology and groundwater conditions as well as taking over the central role throughout the project. It could become the backbone for building the Brenner Tunnel. In this connection, it is essential that the functions of the pilot tunnel are clearly defined and geared to one another related to the evolution of the project:

■ **Construction phase – exploratory tunnel:** this is focused on the geological exploration with the aim of being able to develop an optimal driving, material management and safety concept for the main tunnel construction phase.

■ **Construction phase – main tunnel:** the exploratory tunnel adopts a central role in the logistics, safety, ventilation and water conservation concept. In this way, the number of supply and disposal systems in the main tunnels is reduced, or at least rationalised so that the drives can be optimised at high performance and high availability.

Thanks to this rationalisation, it also becomes possible to produce the inner shell simultaneously by following up the drive.

■ **Subsequent use:** the exploratory tunnel can take over one or more functions following the completion of the main tunnel. These should be taken into consideration during production so that the cross-section and lining can be geared optimally to the subsequent use.

mal auf die Nachnutzung abgestimmt sind.

■ **Psychologisch:** Der Erfolg der Vortriebe beim Pilotstollen wird über das Bild entschieden, das das Gesamtprojekt nach außen bietet. Ein erfolgreicher, d. h. im Rahmen der Kostenprognose und termingerecht fertig gestellter Pilotstollen wird dem gesamten Projekt Auftrieb verleihen. Ein zäher Auftakt mit vielen Verzögerungen würde das Projekt insgesamt nach unten ziehen.

3 Erkundungsstollen konventionell oder maschinell auffahren?

Wenn man davon ausgeht, dass es wenig Sinn macht, die mit einem Gefälle von 10 bis

12 % geplanten Zugangstunnel mit TBM aufzufahren, stellt sich als Erstes die Frage, ob die Erkundungsstollen konventionell oder maschinell aufgeföhren werden sollen. Dagegen ist die Frage, welcher Maschinentyp für einen maschinellen Vortrieb am besten geeignet ist, erst in zweiter Linie von Bedeutung.

3.1 Randbedingungen

Geologie und Geotechnik

■ Entlang der geplanten Trasse sind hauptsächlich duktile Gebirgsarten zu erwarten. Nur auf 20 % der gesamten Strecke ist mit sprödem Gestein zu rechnen.

■ Im Nordabschnitt – Innsbruck bis Staatsgrenze – sind auf rd. 20 km, im Südabschnitt – Staatsgrenze bis Franzensfeste

■ **Psychological:** the success of the drives for the pilot tunnel will be decisive for the picture that the overall project presents to the outside. A successful, i.e. a pilot tunnel that is produced within the cost framework and according to schedule, will boost the entire project. A tough start with many delays would gradually whittle away at the project's credibility.

3 Exploratory Tunnels driven conventionally or mechanically?

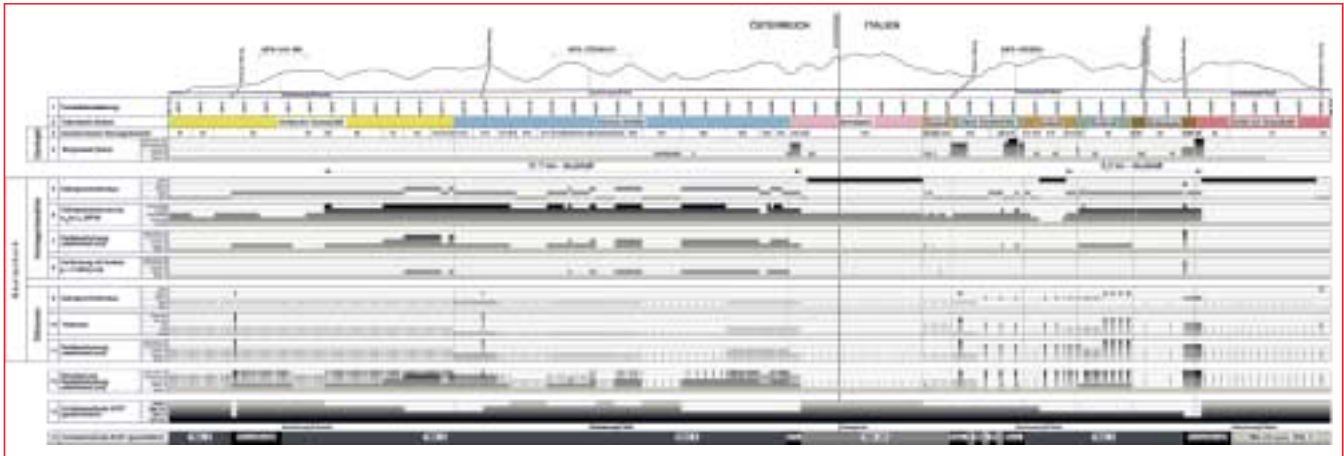
If one assumes that it makes little sense to drive access tunnels with gradients of 10–12 % with TBMs, the question is first raised whether the exploratory tunnels should be driven conventionally or mechanical-

ly. At the same time, the question of which type of machine is most suitable for a mechanised drive is only of secondary importance.

3.1 General Conditions *Geology and Geotechnics*

■ Mainly ductile types of rock are to be expected along the planned route. Brittle rock is only anticipated over 20 % of the entire route.

■ Squeezing conditions are anticipated over some 20 km of the northern section – from Innsbruck to the state boundary – and over roughly 5 km in the southern section – from the state boundary to Franzensfeste. In other words, squeezing rock can be expected over practically 50 % of the entire tunnel route.



2 Übersichtsplan der für TBM-Vortriebe geeigneten Abschnitte

2 General plan of sections suitable for TBM drives

– auf ca. 5 km druckhafte Verhältnisse zu erwarten. Damit ist auf beinahe 50 % der gesamten Tunnellänge mit mehr oder weniger druckhaftem Gebirge zu rechnen.

Bauverfahren

■ Die Frage der technischen Machbarkeit und die Möglichkeit von Kosteneinsparungen durch maschinelle Vortriebe unter den zuvor skizzierten Gegebenheiten sind für die weitere Planung und den Erfolg des Projekts von essenzieller Bedeutung. Nach Einschätzung der Autoren könnte der Erkundungsstollen auf ca. 85 % der gesamten Tunnellänge (einschließlich MFS) mit TBM aufgeföhren werden.

3.2 Erkenntnisgewinn

Geologie und Geotechnik

■ Von besonderer Bedeutung ist der Erkenntnisgewinn durch einen geologischen Aufschluss über die gesamte Länge einschließlich der bautechnisch schwierigen Abschnitte. Dazu gehören, nach Meinung der Autoren, sämtliche Abschnitte im Quarzphyllit und im Bündner Schiefer, somit der gesamte Nordabschnitt bis zum Zentralgneis des Tuxer Kerns. Im Südabschnitt ist ohnehin vorgesehen, den

Erkundungsstollen durchgängig herzustellen.

■ Ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist die Möglichkeit, beim maschinellen Vortrieb neue Techniken auszuprobieren. Neben Neu- und Weiterentwicklungen des Schneidrollen-, Bohrkopf- und Schilddesigns können Innovationen im Bereich folgender Techniken getestet werden: Erkundung, Gebirgsverbesserung, Wiederverwertbarkeit des Ausbruchmaterials, Dokumentation.

■ Die Anwendung neuer Methoden zur geologischen Dokumentation wie Ortsbrust-scanner, Bestimmung der Kornverteilung des Ausbruchmaterials, automatische Probenahme und Dokumentation vom TBM-Förderband können die Nachteile eines TBM-Vortriebs gegenüber einem konventionellen Vortrieb hinsichtlich der geologischen Dokumentation vielleicht nicht zur Gänze kompensieren, sie werden aber wertvolle Erkenntnisse bezüglich der Anwendung und des Nutzens dieser Methoden für den Vortrieb der Haupttunnel liefern.

3.3 Vorteile maschineller Vortrieb Erkundungsstollen

Technisch und wirtschaftlich

■ Mit Ausnahme des nicht zur Gänze kompensierbaren

Construction Method

■ The question relating to the technical feasibility and the possibility of saving costs through mechanised drives under the previously described circumstances are of essential significance for the further planning and the project's success. In the view of the authors the exploratory tunnel could be driven over approx. 85 % of the total tunnel route (including the MFSs) by means of TBMs.

3.2 Findings gained

Geology and Geotechnics

■ The findings gained by geological exploration of the entire length including the technically tricky sections are of cardinal importance. The authors believe that these include all sections passing through quartz phyllite and Bündner slate as well as the complete northern section right up to the central gneiss of the Tux Core. It is intended in any case to produce the exploratory tunnel in its entire length in the southern section.

■ The opportunity to be able to try out new techniques in conjunction with mechanised driving is an advantage that should not be underestimated. Apart from new and further developments of the cutting tools, cutterhead and shield design, in-

novations in the following fields can also be tested: exploration, rock improvement, reutilising the excavated material and documentation.

■ The application of new methods for geological documentation such as face scanners, establishing the grain distribution of the excavated material, automatic sample taking and TBM conveyor belt documentation may not completely be able to offset the disadvantages of a TBM drive vis-à-vis a conventional one but it will provide invaluable recognitions pertaining to the application and advantage of these methods for excavating the main tunnel.

3.3 Advantages of driving the exploratory Tunnel mechanically

Technical and economic

■ With the exception of the disadvantage, which cannot be completely offset – that the gain in geological information in the case of a mechanised drive – especially when a shield machine with follow-up segmental lining is used – will be slightly less than in the case of a conventional one, all the indications are that the exploratory tunnel should be driven mechanically as far as possible.

■ The decisive reason for this is that the main tunnel has to be

Nachteils, dass der Gewinn an geologischen Informationen beim maschinellen Vortrieb – insbesondere bei Verwendung einer Schildmaschine mit nachfolgendem Tübbingausbau – etwas geringer sein wird als bei konventionellem Vortrieb, sprechen alle Indikatoren dafür, den Erkundungsstollen so weit wie möglich maschinell aufzufahren.

■ Der entscheidende Grund liegt darin, dass aus wirtschaftlichen und technischen Gründen (Baukosten und Bauzeit) die Haupttunnel so weit wie möglich mit TBM aufgeföhren werden müssen. Eine gesicherte Basis dafür gibt es nur, wenn die Eignung der geplanten maschinellen Vortriebsverfahren und der vorgesehenen Maschinentypen beim Bau des Erkundungsstollens erprobt werden.

Innovationen

Ein weiterer wesentlicher Nutzen des maschinellen Vortriebs des Erkundungsstollens ist darin zu sehen, dass im Hinblick auf den maschinellen Vortrieb der Haupttunnel Vorhandenes weiterentwickelt und Neues ausprobiert werden kann, z. B.:

- Überschnitt-TBM

- deformationskompatibler Ausbau (COMPEX, Rippentübbinge, Stauchelemente)
- Vorauserkundungsmaßnahmen (Bohrverfahren, Seismik etc.)
- gebirgsverbessernde Maßnahmen (Injektionen)
- Materialbewirtschaftung
- Dokumentation (Betriebs- und Verschleißdaten, Geologie).

Baubetrieblich

Aus baubetrieblicher Sicht sprechen die Abschnittslängen – bis zu 14 km Länge von einem Angriffspunkt aus – dafür, die Erkundungsstollen so weit wie möglich mit TBM aufzuföhren [3]. Für den konventionellen Vortrieb eines Stollens mit 6,0 m Durchmesser bzw. 30 m² Ausbruchquerschnitt gibt es nämlich kaum geeignete Vortriebsgeräte. Die modernen Geräte für konventionellen Vortrieb sind überwiegend für den Ausbruch von Großquerschnitten konzipiert. Dort herrschen wesentlich großzügigere Platzverhältnisse als im Erkundungsstollen. Für den Ausbruch der Kalotte von Straßen- oder Eisenbahntunneln sind im Allgemeinen ein Ausbruchquerschnitt von > 40 m² und eine nutzbare Fahrbahnbreite > 8,0 m vorhanden.

driven by TBM as far as possible for economic and technical reasons (construction costs and construction time). Towards this end, a secure basis can only be provided if the suitability of the planned mechanised excavation method and the types of machine intended to be used can be tried out when the exploratory tunnel is being built.

Innovations

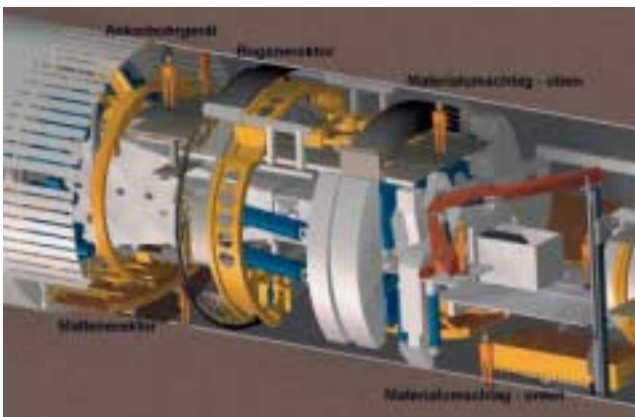
A further good reason for applying a mechanised excavation for the exploratory tunnel is that existing features can be further developed and new ones tried out with regard to the mechanised driving of the main tunnel. For example:

- TBM overbreak
- deformation-compatible lining (COMPEX, rib segments, compression elements)

- advance exploratory measures (drilling methods, seismics etc.)
- measures for improving the rock (grouting)
- material management
- documentation (operational and wear data, geology).

Structural Engineering related

Seen from the structural engineering viewpoint, the section lengths – up to 14 km long from a single point of attack – indicate that the exploratory tunnel should be driven by TBM as far as possible [3]. After all, for driving a tunnel with 6.0 m diameter and a 30 m² excavated cross-section, scarcely any suitable tunnelling equipment is available. Modern equipment for conventional driving is mainly devised for excavating



3 Sicherungsbereich einer modernen TBM-O, hoher Mechanisierungsgrad, optimaler Materialfluss (Robbins GmbH)

3 Safety area of a modern TBM-O, high degree of mechanisation, optimal material flow (Robbins GmbH)

Bauphase Haupttunnel

Die geplante Anordnung des Erkundungsstollens mitig unterhalb der Haupttunnel bietet folgende Möglichkeiten (Bild 1):

- Voraussentwässerung des Gebirges
- Bergwasserabfuhr
- Abtransport des Ausbruchmaterials
- Strom- und Wasserversorgung
- Bewetterung
- gebirgsverbessernde Maßnahmen
- Fluchtweg.

4 Bestimmung der für die TBM-Vortriebe geeigneten Abschnitte

4.1 Geotechnische Kriterien

Es wurde angestrebt, die für einen TBM-Vortrieb geeigneten Abschnitte nachvollziehbar aus den in der geotechnischen Prognose enthaltenen Angaben abzuleiten. Dazu wurde folgende Methode entwickelt: Die wichtigsten Werte, die das Gebirgsverhalten charakterisieren und die für die Vortriebsmethode von Bedeutung sind, wurden in 5 Kategorien eingeteilt und in den Längenschnitt mit unterschiedlichen Grauwerten eingetragen:

- Gebirgsverhaltenstyp
- Gebirgsbeanspruchung am Hohlraumrand (berücksichtigt GSI , σ_{ci} , c , μ , E-Modul)
- Radialdeformation unbehindert
- Störzonen (Mächtigkeit, Orientierung, Häufigkeit)
- Bergwasserzutritte
- Radialdeformation unter Berücksichtigung des Ausbauzustands.

Die getrennt vorliegenden Werte für „normales“ Gebirge und Störzonen werden überlagert. Das Ergebnis ist eine selbsterklärende Darstellung des Gebirgsverhaltens über die gesamte Tunnelänge (Bild 2).

Im Zuge der Bearbeitung zeigte sich, dass eine solche Überlagerung nur für die unbehinderte Radialdeformation (ungestützter Querschnitt) sinnvoll und möglich ist. Dieses Kriterium – seinerzeit als Squeezing potential bezeichnet – wurde auch bei der Entwicklung des im Report 2002 enthaltenen Vortriebskonzepts angewendet. Mit dem geotechnischen Bericht 2006 stand eine wesentlich bessere Unterlage zur Verfügung. Insbesondere sind in diesem Bericht die Störzonen genauer angegeben und charakterisiert als 2002. Die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen sind daher wesentlich zuverlässiger.

4.2 Bergwasser

Die Bergwasserzutritte können die Wahl der Vortriebsmethode ebenfalls beeinflussen. Von besonderer Bedeutung sind Ort und Ausmaß der Bergwasserzutritte jedoch für die Auslegung des Vortriebskonzepts. Abschnitte, in denen große Wasserzutritte erwartet werden, sollten unbedingt steigend aufgeföhren werden. Darüber hinaus sollte zumindest mittelfristig die Abfuhr des Bergwassers ohne Pumpbetrieb möglich sein. Aus diesem Grund sollte der

major cross-sections. There is a great deal more space available there than in an exploratory tunnel. For excavating the crown of road or rail tunnels, generally an excavated cross-section of $>40 \text{ m}^2$ and a useful roadway width of $>8.0 \text{ m}$ are available.

Main Tunnel Construction Phase

The planned central set-up of the exploratory tunnel below the main tunnel possesses the following advantages (Fig. 1):

- advance drainage of the rock
- removal of underground water
- transference of the excavated material
- power and water supply
- ventilation
- rock-improving measures
- escapeway.

4 Determining the Sections suitable for the TBM Drives

4.1 Geotechnical Criteria

An effort was made to arrive at sections suitable for a TBM drive from the data contained in the geotechnical prognoses. Towards this end, the following methods were developed: the most important values, which characterise the behaviour of the rock and which are of signifi-

cance for the excavation method were split into 5 categories and entered in the longitudinal section with different grey values:

- type of rock behaviour
- rock stress at cavity edge (takes GSI , σ_{ci} , c , μ , E-module into account)
- radial deformation unhampered
- fault zones (thickness, orientation and frequency)
- ingressing underground water
- radial deformation taking the support resistance into consideration.

The separate available values for “normal” rock and fault zones are superimposed. The outcome represents a self-exploratory presentation of the rock behaviour over the entire tunnel length (Fig. 2).

It was revealed during the processing stage that such a superimposition is only purposeful and possible for the unhampered radial deformation (unsupported cross-section). This criterion – known at the time as the squeezing potential – was also applied during the development of the driving concept contained in the Report 2002. Thanks to the Geotechnical Report 2006 a far better document became available. In particular, the fault zones are more carefully presented and characterised in this report than was the case in 2002. As a consequence, the conclusions obtained from it are considerably more reliable.

4.2 Underground Water

Ingressing underground water can also influence the choice of driving methods. The location and extent of ingressing underground water are, however, of especial importance for the devising of the driving concept. Sections, in which major inflows of underground water are expected, should undoubtedly be driven on the rise.



4 TBM-S mit Hochleistungsnachläufer nach 94/4/EG (ATEX) (Robbins GmbH)

4 TBM-S with high-performance trailer after 94/4/EG (ATEX) (Robbins GmbH)

Erkundungsstollen nicht nur im Süden bis zum Zentralgneis der Tux-Großvenedigerdecke vorgetrieben werden, sondern auch im Norden durchgehend vom Portal in der Sill Schlucht bis in den Zentralgneis des Tuxer Kerns hergestellt werden. Jede andere Lösung erfordert die Installation aufwändiger Pumpanlagen am Fuße der Zugangsstollen. Hohe Betriebs- und Wartungskosten über unbestimmte Zeit wären eine zwangläufige Folge.

4.3 Ergebnis

Die Auswertung der geotechnischen Parameter erlaubt eine Aussage darüber, welche Vortriebsmethoden – konventionell oder maschinell – für den Erkundungsstollen aus geotechnischer Sicht mög-



5 TBM-DS Abdalajis, Spanien

(Robbins GmbH)

5 TBM-DS Abdalajis, Spain

(Robbins GmbH)

lich sind. Sie sind im Balken Nr. 13 des Längenschnitts dargestellt.

In addition, removal of the underground water without pumping should at least be possible in the medium-term.

As a result, the exploratory tunnel should be driven both in the south to the central gneiss of the Tux-Venetian Platform as well as in the north continuously from the portal in the Sill Chasm right up to the central gneiss of the Tux Core. Any other solution requires the installation of complicated ramp facilities at the foot of the access tunnel.

Inevitably the outcome would be high operational and maintenance costs over an undefined period.

4.3 Result

The evaluation of the geotechnical parameters permits a conclusion to be drawn pertaining to which driving methods – conventional or mechanical – are possible for the exploratory tunnel seen from the geotech-

5 Auswahlkriterien TBM-Typ

5.1 Geotechnische Kriterien

Zur Auswahl des geeigneten TBM-Typs für eine gegebene Situation (Gebirgsverhältnisse) gibt es eine Empfehlung des DAUB [4] von 1997 für den Einsatz von Schildmaschinen. Empfehlungen für die Einsatzbereiche von Tunnelbohrmaschinen im Festgestein enthält die österreichische Projektierungsrichtlinie für den kontinuierlichen Vortrieb von Straßentunneln [5, 6]. Für ein Großprojekt wie den Brenner-Basistunnel sind diese in tabellarischer Form vorliegenden Empfehlungen eine unzureichende Basis für die Maschinenauswahl. Daher wird im Folgenden der Versuch unternommen, einen projektbezogenen Kriterienkatalog zu entwickeln (Tabelle 1).

5.2 Weitere Kriterien

Neben geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Kriterien gibt es noch eine Anzahl weiterer Kriterien, die bei der Wahl des Vortriebsmaschinentyps berücksichtigt werden sollten. In der Tabelle 2 sind in einer Bewertungsmatrix die 3 infrage kommenden Maschinentypen mit weiteren Kriterien dargestellt. Über einen Punkteschlüssel von 0 (geringer Erfüllungsgrad) bis 3 (hoher Erfüllungsgrad) werden die Kriterien bewertet, und über einen Faktor [G] wird die Relevanz für das Projekt gewichtet. Über die Punktzahl wird eine Aussage zur Maschinenauswahl getroffen.

Die Bewertung ergibt einen deutlichen Vorteil zu Gunsten der Schildmaschinen (Tabelle 2), wobei praktisch kein Unterschied zwischen TBM-S und TBM-DS besteht. Die Berücksichtigung sämtlicher Kriterien ermöglicht

Tabelle 1: Projektbezogene Kriterien zur Auswahl der geeigneten Vortriebsmethode

Table 1: Project-related criteria for selecting the suitable driving method

	Keine/No TBM	TBM-S	TBM-DS	TBM-O
Gebirgsverhaltens-typ Rock behaviour type	4-2, 8, 9	2, 3, 4-1, 4-2 eingeschr. limited 5, 6, 10	2, 3, 4-1, 5, 6, 10	2, 3, 4-1, 5 eingeschr. limited 10
Radial-deformation ohne Stützung Radial deformation without support	> 50 cm	< 50 cm	< 25 cm	< 25 cm
Zusätzliche Radial-deformation in Störzonen ohne Stützung Additional radial deformation in fault zones without support	extrem hoch extremely high	hoch (eingeschränkt) high (limited)	mittel average	mittel average
Radial-deformation mit Stützung Radial deformation with support	> 15 cm	< 15 cm	< 5 cm	< 5 cm

eine Aussage darüber, welcher Maschinentyp für einen bestimmten Abschnitt aus ganzheitlicher Sicht empfohlen werden kann (dargestellt im Balken Nr. 14 des Längenschnitts).

5.3 Risikoanalyse

Ein wertvolles Hilfsmittel zur Bestimmung der optimalen Vortriebsmethode und des Maschinentyps bieten vergleichende Risikoanalysen. Weil es den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde, solche Analysen durchzuführen, wurde vorerst darauf verzichtet. Für spätere Projektphasen sind sie aber sehr zu empfehlen.

5.4 Ergebnis

Die ganzheitliche Betrachtung ergibt für den Erkun-

nigen viewpoint. They are presented in bar number 13 of the longitudinal section.

5 Selection Criteria for Type of TBM

5.1 Geotechnical Criteria

In order to choose the suitable type of TBM for a given situation (rock conditions) there is a DAUB [4] recommendation dating from 1997 for the application of shield machines. Recommendations for the fields of application of tunnel boring machines in solid rock are to be found in the Austrian planning guideline for the continuous driving of road tunnels [5, 6]. For a major project such as the Brenner Base Tunnel such recommendations available in tabular form are insufficient for

selecting the machine. As a result, the attempt is made in the following to develop a project-related catalogue of criteria (table 1).

5.2 Further Criteria

Apart from geological, geotechnical and hydrogeological criteria, there are also a number of other criteria, which must be taken into consideration when selecting the type of tunnelling machine. In Table 2, the 3 types of machine in question are presented with other criteria in an evaluation matrix. Via a points' scale from 0 (low degree of fulfilment) to 3 (high degree of fulfilment) the criteria are assessed and the relevance for the project weighted via a factor [G]. The points' total enables a conclusion over the choice of machine to be drawn.

The evaluation results in a clear advantage in favour of the TBMs (Table 2), with practically no difference evident between TBM-S and TBM-DS. By taking all criteria into account it is possible to draw a conclusion relating to which type of machine can be recommended by and large for a certain section (presented in bar No. 14 of the longitudinal section).

5.3 Risk Analysis

Comparative risk analyses represent an invaluable aid for determining the optimal excavation method and the type of machine. As the execution of such analysis would go far beyond the scope of this article, it was decided to do without them for the time being. However, they are highly recommendable for subsequent phases of the project.

5.4 Result

The overall appraisal of the exploratory tunnel (without access tunnel) but including the multi-function stations (MFSS) provides the following result:

dungsstollen (ohne Zugangstunnel, aber einschließlich der Multifunktionsstellen) folgendes Ergebnis:

- Konventioneller Vortrieb
~ 7,0 km
- Vortrieb mit TBM-DS
~ 13,0 km
- Vortrieb mit TBM-S
~ 33,0 km

Die Länge der konventionellen Vortriebe wurde ausschließlich aufgrund der geologisch-geotechnischen und hydrogeologischen Gegebenheiten unter Berücksichtigung der Zwischenangriffspunkte festgelegt. Nach denselben Kriterien wurden die TBM-tauglichen Abschnitte und die dafür geeigneten Maschinentypen bestimmt.

In die endgültige Entscheidung, ob in einem bestimmten Abschnitt TBM-S oder -DS eingesetzt werden, fließen aber nicht nur geotechnische, sondern auch baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte ein. Die Erfahrung, dass mit TBM-DS über weite Bereiche (GVT 2 bis 4-1 und 5) signifikant höhere Vortriebsgeschwindigkeiten erreicht werden können als mit TBM-S, wird vermutlich bei den Überlegungen der Anbieter hinsichtlich der Wahl des Maschinentyps eine wichtige Rolle spielen. Das könnte dazu führen, dass für den Erkundungsstollen über größere Strecken als von den Autoren empfohlen Doppelschildmaschinen vorgeschlagen werden.

6 Vortriebsgeschwindigkeit

Für die Ablaufplanung des Brenner Basistunnels ist eine zuverlässige Prognose der Vortriebsgeschwindigkeit [m/AT] bzw. der Monatsleistung [Σ m/Mo] eine wesentliche Grundlage. Deshalb wurde

mit dem am Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Abteilung Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der Universität Innsbruck entwickelten Expertensystem SimTunnel [7, 8] eine Prognoserechnung für jeden Maschinentyp und die dazugehörigen Ausbausysteme mit mehreren Eingangswerten durchgeführt. Die Eingangswerte Penetration und Verschleiß wurden von Robbins überschlägig ermittelt. Die baubetrieblichen Annahmen stammen von E. Schneider. Die Berechnung wurde für „ungestörte“ Verhältnisse durchgeführt. Der Einfluss der Störzonen sollte in einer gesonderten Betrachtung durch den Ansatz von Stillstandstagen berücksichtigt werden.

In druckhaftem Gebirge ist es von erheblicher Bedeutung, wie lange das Gebirge mit dem Schild in Kontakt ist. Wenn das Gebirge auf dem Schild aufliegt, kann die Mantelreibung so groß werden, dass es zum Verklemmen des Schildes kommt. Ob und wann dieser Fall eintritt, ist abhängig von der Länge des Schildes und der Vortriebsgeschwindigkeit. Klar ist, dass ein längerer Schild diesbezüglich ungünstiger ist.

Bei offenen Maschinen ist die Gefahr des Verklemmens natürlich geringer als bei Schildmaschinen, weil der Bohrkopfmantel deutlich kürzer ist. Es gibt jedoch eine andere Schwachstelle. Dies ist der meist recht große Abstand zwischen dem ersten Einbaubereich für Stützmittel, unmittelbar hinter dem Bohrkopf (Arbeitsbereich A1), und der zweiten Einbaustelle im vorderen Bereich des Nachläufers (Arbeitsbereich A2). Bei geringer Vortriebsgeschwindigkeit und raschem Anwachsen

- conventional drive ~ 7.0 km
- drive with TBM-DS ~ 13.0 km
- drive with TBM-S ~ 33.0 km

The length of the conventional drives was established solely on the basis of the geological, geotechnical and hydrogeological circumstances taking the intermediate points of attack into consideration. The section suitable for TBMs and the types of machines that can be applied were established by the same criteria.

However, engineering and economic aspects are also relevant for taking the final decision as to whether TBM-S or -DS are applied for a certain section. The experience that significantly higher rates of advance can be attained by the TBM-DS over lengthy stretches (GVT 2 to 4-1 and 5) than when using TBM-S will presumably play a signifi-

cant role for the manufacturers regarding the type of machine. This could lead to a situation where the double shield machines proposed by the authors will be recommended for the exploratory tunnel over lengthy stretches.

6 Rates of Advance

A reliable forecast of the daily rate of advance [m/WD] or the monthly rate [Σ m/Mo] represents a substantial basis for planning the Brenner Base Tunnel. As a result, the SimTunnel [7, 8] prognosis calculations for each type of machine and the relevant lining systems with various initial values devised at the Institute for Design and Material Sciences, Department for Construction Engineering, Construction Industry and

Tabelle 2: Weitere Kriterien zur Auswahl des geeigneten Maschinentyps

Table 2: Further criteria relating to the selection of the suitable type of machine

		TBM-O	TBM-O [G]	TBM-S	TBM-S [G]	TBM- DS	TBM- DS [G]	Ge- wich- tung Weight- ing
Maschine/Machine	Verfügbarkeit/Availability	3	9	3	9	3	9	3
	Personalverfügbarkeit Availability of manpower	2	6	3	9	3	9	3
	Bohrkopfverstellung/ Überschnitt Cutterhead adjustment/ Overbreak	2	6	3	9	3	9	3
	Investitionskosten Investment cost	3	3	2	2	1	1	1
	Personalqualifikation Staff qualification	1	2	3	6	3	6	2
	Anforderungen Hilfsbetriebe (DL ...) Demands auxiliary plants (DL)	1	1	3	3	3	3	1
Arbeitsschutz/ Industrial protection	Hygiene/Hygiene	1	2	3	6	2	4	2
	Sicherheit/Safety	0	0	3	9	2	6	3
	Unfallgefahr/Geologisches Potenzial Risk of accident (geological potential)	1	3	3	9	3	9	3
	Unfallgefahr/Vortriebs- potenzial Risk of accident (tunnelling potential)	1	3	3	9	3	9	3
	Staub/Dust	1	2	3	6	3	6	2
	Physik. Belastung Physical load	1	3	3	9	3	9	3
	Lärm/Noise	1	2	3	6	3	6	2
Baubetrieb/ Construction operation	Vortriebsleistung/Rate of advance	2	6	1	3	3	9	3
	Sohltreinigung/Floor cleaning	1	1	3	3	3	3	1
	Wartung/Maintenance	1	1	2	2	3	3	1
	Reinigung/Cleaning	1	1	2	2	3	3	1
	Logistik/Logistics	1	3	3	9	3	9	3
	Abrechnung/Settlement	1	2	2	4	3	6	2
	Felssicherung/Rock supporting	1	3	3	9	3	9	3
	Bauüberwachung Monitoring construction	1	1	3	3	2	2	1
	QC/QS	1	2	3	6	3	6	2
Geologische Risiken Geological risks	Verklemmen/Jamming	3	9	2	6	1	3	3
	Störzonen/Fault zones	3	9	2	6	1	3	3
	Bergwasser/Underground water	3	6	2	4	1	2	2
	Radialdeformationen/ Radial deformations	3	9	2	6	1	3	3
Geologische Erkundung Geological investigation	Vorerkundung Advance investigation	3	9	2	6	2	6	3
	Geologische Dokumentation Geological documentation	3	9	1	3	2	6	3
Summe/Sum total			113		164		159	65

Construction Management of the Faculty for Construction Engineering Sciences at the University of Innsbruck, were undertaken.

The initial values penetration and wear were roughly determined by Robbins. The structural engineering assumptions were supplied by E. Schneider. The calculations were executed for "undisturbed" conditions. The influence of the fault zones is to be taken into account in a special approach taking standstill days into consideration.

In squeezing rock it is of considerable importance just how long the shield is in contact with the rock. If the rock lies on the shield, the skin friction can be so large that the shield jams. Whether and how this actually occurs depends of the length of the shield and the rate of advance. It is obvious that a longer shield is more unfavourable in this respect.

Naturally the risk of jamming is less in the case of open machines than for shield machines as the cutterhead skin is substantially shorter. However, there is a further weak point namely the usually large gap between the installation zone for supporting agents, directly behind the cutterhead (working zone A1) and the second installation point in the front area of the back-up (working zone A2). Given a lower rate of advance and rapid growth of the deformations serious problems can arise here because it is not possible to install additional supporting agents in this zone.

7 Lay-out of the TBM

A representative selection of the geological homogeneous zones was included for the TBM lay-out in keeping with what the authors felt. These are individually from north to south the homogeneous zones N4, N5, N8, N9, N13, N16, N21, N24, N27,

der Verformungen können hier ernsthaftige Probleme entstehen, weil der Einbau zusätzlicher Stützmittel in diesem Bereich nicht möglich ist.

7 Auslegung der TBM

Zur Auslegung der TBM wurde eine nach Ansicht der Autoren repräsentative Auswahl der geotechnischen Homogenbereiche herangezogen. Diese sind im Einzelnen von Nord nach Süd die Homogenbereiche N4, N5, N8, N9, N13, N16, N21, N24, N27, N29, N30, N31, N32, N33, N34, S33, S31, S25, S24, S23, S20, S19, S18, S15, S13, S12, S11, S6, S5, S4, S2. Mit einer Länge von 25 684 m sind somit ca. 50 % der Gesamtlänge erfasst. Die Berechnung der

Maschinendaten erfolgt auf Basis des Rechenmodells der NTNU Trondheim (Project Report I-94 Hard rock Tunnel Boring). Eingangsgrößen sind die einaxiale Druckfestigkeit [UCS], Zugfestigkeit [BTS], Trennflächenabstand [NTH Index], Trennflächenverlauf [NTH Class], Bettungswinkel und der Abrasivitätskennwert [CAI bzw. Quarzanteil]. Die Berechnungen wurden sowohl für eine Maschine mit 17"-Schneidrollen als auch für eine moderne Maschine mit 19"-Schneidrollen [9] durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt und sind unabhängig vom Maschinentyp gültig.

Die gemittelten und ungewichteten Vortriebsgeschwindigkeiten aus den betrachteten Homogenbereichen un-

N29, N30, N31, N32, N33, N34, S33, S31, S25, S24, S23, S20, S19, S18, S15, S13, S12, S11, S6, S5, S4 and S2. In this way, with a length of 25,684 m around 50 % of the total length has been accounted for.

The machine data are calculated on the basis of the NTNU Trondheim (Project Report I-94 Hard Rock Tunnel Boring) computational model. The initial parameters are the uni-axial compressive strength [UCS], tensile strength [BTS], fracture gap [NTH Index], course of fracture [NTH Class], bedding angle and the abrasiveness characteristic value [CAI or proportion of quartz].

The calculations were executed both for a machine with 17" disc cutters as well as a modern machine with 19" disc

cutters [9]. The results are presented in Table 4 and are valid regardless of the type of machine.

The determined and unweighted rates of advance from the considered homogeneous zones only differ slightly in the after-comma range between the TBMs with 17" disc cutters and those with 19" ones. However what is significant is the determined difference the cutter bit replacement, which advocates the application of 19" disc cutters (40% more bits have to be replaced in the case of 17" tools).

When calculating the machine data, the computational model was limited to 6 m/h rate of advance. On account of the largely low rock hardness neither the 19" disc cutters nor the

terscheiden sich zwischen den TBMs mit 17"-Schneidrollen und mit 19"-Schneidrollen nur tendenziell im Nachkomabereich. Signifikant ist jedoch der ermittelte Unterschied der Schneidrollenwechsel, die für den Einsatz von 19"-Schneidrollen sprechen (40 % mehr Schneidrollenwechsel bei 17"-Werkzeugen).

Bei der Berechnung der Maschinendaten wurde das Rechenmodell auf 6 m/h Vortriebsgeschwindigkeit begrenzt. Wegen der überwiegend geringen Gesteinshärte werden weder die 19"-Schneidrollen noch die 17"-Schneidrollen an der Belastbarkeitsgrenze betrieben. Leistungsbegrenzend ist in wenigen Abschnitten das vorgeschlagene Drehmoment am Bohrkopf.

8 Ausbau

Der Balken Nr. 8 im Übersichtsplan Bild 2 zeigt, dass im Erkundungsstollen im Normalfall, d. h. ohne Berücksichtigung des Einflusses von Störzonen, über weite Strecken nur geringe Radialverformungen (<5 cm) auftreten würden. In den ungestörten Bereichen würde daher ein starrer Ausbau – Ausbauwiderstand 2 MPa, das entspricht einer Tübbingdicke von 25 bis 30 cm – ausreichen. In den Störzonen, die im Nord- und Südabschnitt gehäuft auftreten, würde die Tragkraft der Tübbing bei einem starren Ausbau jedoch nicht ausreichen. Sofern es sich um Großstörungen, wie die Ahrentalstörung oder die periadriatische Naht handelt, sollten diese Strecken konventionell nach den Prinzipien der NÖT aufgeföhren werden.

Nachgiebiger Ausbau mit Tübbing

Abschnitte, in denen viele Störzonen über eine große

Länge verteilt auftreten, können – sofern die Störzonen nicht extrem relevant sind – nach Meinung der Autoren mit TBM aufgeföhren werden, wenn ein verformungsverträglicher Tübbingausbau eingesetzt wird. Dazu bieten sich folgende Systeme an:

- COMPEX „Ringspaltverfüllung mit komprimierbarem Mörtel“ [10] oder
- der von L. Vigl vorgeschlagene Fertigteilausbau mit außen liegenden Rippen und dazwischenliegenden Entspannungsräumen [11] oder
- das von K. Kovari [12] zum Patent angemeldete Ausbausystem mit Stauchelementen.

Weil bisher keines dieser Systeme in der Praxis erprobt wurde, wäre es sinnvoll, ihre Praxistauglichkeit beim Bau des Erkundungsstollens auszuprobieren.

Alternative Methoden

Die Alternative, druckhafte Strecken mit offenen Maschinen unter Verwendung eines nachgiebigen Stahlausbaus aus TH-Profilen aufzuföhren, wie das z. B. beim Vereina-Tunnel der Rhätischen Bahn in der Schweiz erfolgreich durchgeführt wurde, scheidet nach Meinung der Autoren aus wirtschaftlichen Gründen aus (ho-

Tabelle 3: Erwartete Vortriebsgeschwindigkeit [m/AT] in Abhängigkeit von Maschinentyp und Penetration

Table 3: Expected rate of advance [m/WD] depending on the type of machine and the penetration

Gesteinsart Type of Rock	Penetration [mm/rev]	Vortriebsgeschwindigkeit [m/AT] Rate of advance [m/WD]		
		TBM-O	TBM-S	TBM-DS
Glimmerschiefer, Quarzite Mica slate, quartzite	5.0	18.8	18.2	23.1
Granite, Granodiorite, Gneise/Granite, granodiorite, gneiss	8.0	22.7	21.6	29.2
Quarzphyllite, Paragneis Quartz phyllite, paragneiss	10.0	23.3	23.0	32.2
Anmerkungen: Die Ermittlung der Vortriebsgeschwindigkeit wurde für folgende Gebirgsverhaltenstypen durchgeführt: Remarks: For determining the rate of advance was undertaken for the following rock behaviour types:				
TBM-O	GVT 3 – Gefügebedingte Ausbrüche – Stützmittel im A1, nur leichter Kopfschutz – keine Behinderung GVT 3 – Structurally related cave-ins – supporting agent in A1 only light head protection – no obstacle			
TBM-S	GVT 3/4-1 – Hohlraumnahe Überbeanspruchung – Tübbingausbau – keine Behinderung GVT 3/4-1 – Excessive stress around cavity – segmental lining – no obstacle			
TBM-DS	GVT 3/4-1 – Hohlraumnahe Überbeanspruchung – Tübbingausbau – keine Behinderung GVT – Excessive stress around cavity – segmental lining – no obstacle			

17" ones were stretched to their limits. In certain sections, the proposed torque at the cutterhead restricts the performance.

8 Lining

The bar No.8 in the overview in Fig. 2 reveals that only slight

Tabelle 4: Maschinendaten

Table 4: Machine data

Schneidrollendurchmesser/Cutter bit diameter	17"	19"
Bohrdurchmesser/Boring diameter [m]	6.0	6.0
Anzahl der Schneidrollen [Stück]/Number of disc cutters [pieces]	42	42
Schneidspurabstand im Brustbereich/Cutting track gap in face area [mm]	76	76
Schneidringbreite [Zoll]/Cutter ring width [inches]	¾	¾
Schneidringquerschnitt Cutter ring cross-section	Constant Cross Section	Constant Cross Section
Schneidrollenwechsel Cutter bit replacement	Back-loading	Back-loading
Vorschub/Schneidrolle/Thrust (cutter bit [kN]	267	312
Gesamtorschub am Bohrkopf/Total thrust at cutterhead [kN]	11 214	13 104
Bohrkopfdrehzahl/Cutterhead rpm [min ⁻¹]	9.6	9.6
Antriebsleistung Bohrkopf/Output cutterhead [kW]	2205	2205

her Stahlpreis, niedrige Vortriebsgeschwindigkeit). Eine Systemankerung mit langen Ankern, wie sie beim konventionellen Tunnelbau zur Beherrschung druckhafter Verhältnisse vorrangig eingesetzt wird, ist bei TBM-Vortrieben nicht machbar. Weder können ausreichend lange Anker eingebaut, noch die optimale (radiale) Richtung eingehalten werden [13].

9 Zusammenfassung


Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Auffahrung des Erkundungsstollens auf ca. 85 % der Gesamtlänge des Brenner-Basistunnels mit TBM möglich ist.

Der Erkundungsstollen sollte nicht nur auf der italienischen, sondern auch auf der österreichischen Seite durchgehend hergestellt werden, damit die bautechnisch schwierigen Abschnitte zu 100 % aufgeschlossen werden und ein freier Abfluss der Bergwässer ohne Pumpbetrieb ermöglicht wird.

Vorrangig sollten Vortriebsmaschinen vom Typ TBM-S (Einfachschild) eingesetzt werden. Abschnittsweise wäre auch die Verwendung von Doppelschildmaschinen TBM-DS möglich, der Einsatz einer offenen Tunnelbohrmaschine ist nur im Erkundungsstollen Aicha bis zur Pustertal-Störung sinnvoll.

Die Entscheidung über die Wahl des TBM-Typs sollte den Bietern nur hinsichtlich Einfach- oder Doppelschild freigestellt werden. In den für die Auffahrung mit offenen Maschinen geeigneten Abschnitten könnten entsprechende Bieteralternativen zugelassen werden.

Die maschinelle Auffahrung druckhafter Strecken erfordert wegen der eingebetteten Störzonen die Verwendung

eines nachgiebigen Ausbaus. Um die vorhandenen Systeme zu evaluieren und gegebenenfalls weiterzuentwickeln, wird die Anordnung von Versuchsstrecken im Erkundungsstollen vorgeschlagen. 

Literatur

- [1] BBT Brenner Basistunnel EWIV: Report 2002 – technisches Projekt und Pläne, Innsbruck.
- [2] BBT Brenner Basistunnel EWIV: Geotechnischer Bericht 2006, Innsbruck.
- [3] E. Schneider: Gedanken eines Praktikers zum Bau alpiner Basistunnel, Eigenverlag i3b, Innsbruck 1997.
- [4] DAUB Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen: Empfehlungen zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen, Tunnel 5/1997.
- [5] Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr: Projektierungsrichtlinie kontinuierlicher Vortrieb von Straßentunneln RVS 9.251, Wien 2003.
- [6] E. Schneider, M. John, W. Leitner: Design guidelines continuous excavation of railway and road tunnels by use of tunnel boring machines, FELSBAU 4/2003.
- [7] W. Leitner: Baubetriebliche Modellierung der Prozesse maschineller Tunnelvortriebe im Festgestein, Books on Demand-GmbH, Norderstedt 2004.
- [8] W. Leitner, E. Schneider: Operational Modelling of advance rates for tunnel boring machines, FELSBAU 6/2005.
- [9] B. Sänger: Disc Cutters for Hardrock TBM 1956–2006 – History and Tendencies of Development, FELSBAU 6/2006.
- [10] E. Schneider et al.: COMPLEX-SUPPORT-SYSTEM Komprimierbarer Ringspaltmörtel zur Bewältigung druckhafter Gebirgsbereiche bei TBM-Vortrieben mit starrem Tübbingausbau, FELSBAU 5/2005.
- [11] A. Vigl: TBM support in squeezing rock – A convergence – compatible segment lining system, FELSBAU 6/2003.
- [12] K. Kovari: Verfahren und Einrichtung zum Stabilisieren eines beim Untertagebau ausgebrochenen Hohlrums, Europäische Patentanmeldung, Patentblatt 2005/33, EP 1 564 369 A1, 2005.
- [13] E. Schneider: Die Wahl der richtigen Stützmittel für kleine Tunnelquerschnitte und Stollen; Vortrag beim Österreichischen Tagungstag 2000, veröffentlicht im Tagungsband des Österreichischen Tagungstages 2000, Salzburg.

radial deformations (<5 cm) would occur in the exploratory tunnel in a normal case, i.e. without taking the influence of fault zones into account.

As a consequence, in the undisturbed zones a rigid lining – support resistance of 2 MPa, corresponding to a segmental thickness of 25–30 cm – would suffice.

In the fault zones, which occur frequently in the north and south sections, the bearing force of the segments in the event of a rigid support would not suffice.

Should major faults such as the Ahrental Fault or the Periadriatic Seam be concerned, these sections should be driven conventionally in accordance with NATM principles.

Yielding Support with Segments

It is the authors' view that sections, which contain a large number of fault zones distributed over a great length, can – providing that the fault zones are not particularly relevant – be driven by TBM, if a deformation-compatible segmental lining is used. The following systems are possible in this case:

- COMPLEX "annular gap filling with compressible mortar" [10] or
- The pre-cast lining with external ribs and relaxation zones located in between them as suggested by L. Vigl [11] or
- The lining system with compressive elements registered as a patent by K. Kovari [12].

As none of these systems has actually been tried out in practice so far, it seems advisable to investigate their suitability in practice during the construction of the exploratory tunnel.

Alternative Methods

The alternative of driving squeezing sections with open machines while applying yielding steel linings made of TH profiles, as e.g. was successfully carried out in the case of the

Vereina Tunnel belonging to the Rhaetian Railway in Switzerland – according to the authors – can be neglected on account of economic reasons (higher steel price, low rate of advance). An anchorage system with long anchors as is mainly applied in conventional tunnelling to master squeezing conditions cannot be used for TBM drives. It is not possible to install sufficiently long anchors nor can the optimal (radial) direction be adhered to.

9 Summary

The investigations have shown that it is possible to drive the exploratory tunnel over approx. 85 % of the total length of the Brenner Base Tunnel using TBMs.

The exploratory tunnel should be produced continuously both on the Italian as well as the Austrian side so that the technically tricky sections are 100% opened up and the underground water can flow off freely without pumping being required.

First and foremost, tunneling machines of Type TBM-S (single shield) should be used. It would also be possible to apply double shield machines TBM-DS for certain sections where as the application of an open tunnel boring machine is only feasible in the Aicha exploratory tunnel up to the Pustertal Fault.

The decision pertaining to the choice of TBM type should be left open to bidders only as far as a single or double shield is concerned. In sections suitable to be excavated with open machines, corresponding alternatives could be submitted by bidders.

The mechanised driving of squeezing sections calls for the utilisation of a yielding support on account of the fault zones embedded in them. In order to evaluate the existing systems and develop them even further if need be, it is proposed to set up test stretches in the exploratory tunnel. 