

Brenner Basistunnel im Bau

Die Bauphase – Phase 3 – beim Brenner Basistunnel wurde am 18. April 2011 gestartet. Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über den bisherigen Stand der Arbeiten.

1 Allgemeines zum Basistunnel

Der Brenner Basistunnel ist im neuen TEN-Strategieplan (2014 bis 2020) als Teil des Nord-Süd-Korridors Nr. 5 Helsinki – Valletta (Sizilien) vorgesehen. Derzeit ist der Brenner Basistunnel als prioritäres Teilstück des TEN-Bahnkorridors von Berlin nach Palermo ausgewiesen.

Beim Brenner Basistunnel wurde die Phase 3 am 18. April 2011 durch einen Beschluss der Gesellschafterversammlung (50 % ÖBB und 50 % TFB: davon 82 % RFI – italienische Eisenbahngesellschaft und 18 % Länder: Südtirol, Trentino, Verona) gestartet.

Beim Brenner Basistunnel handelt es sich um einen flach verlaufenden reinen Eisenbahntunnel. Die Tunnelverbindung zwischen Tulfes (Österreich) und Franzensfeste (Italien) weist eine Länge von 64 km auf, womit die weltlängste unterirdische Eisenbahnverbindung entsteht. Die maximale Längsneigung beträgt in den Hauptabschnitten 6,7 ‰. Mittig unterhalb der beiden Tunnelröhren befindet sich der Erkundungsstollen (Bild 1). Dieser wird zuerst abschnittsweise vor dem Bau der Hauptröhren ausgetrieben, um hauptsächlich das Gebirge zu erkunden. Die Ergebnisse dieser geologischen und hydrogeologischen Erkun-

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr. Konrad Bergmeister, Brenner Basistunnel BBT SE, Innsbruck/A, konrad.bergmeister@bbt-se.com, www.bbt-se.com

dungen werden für den Bau der Haupttunnel genützt. Dadurch können das Baurisiko vermindert und sowohl Baukosten als auch Bauzeiten optimiert werden. Im endgültigen Ausbau wird dieser Erkundungsstollen durchgehend gebaut, sodass er dann als Entwässerungsstollen und bei Notwendigkeit als Dienststollen genützt werden kann.

Brenner Base Tunnel under Construction

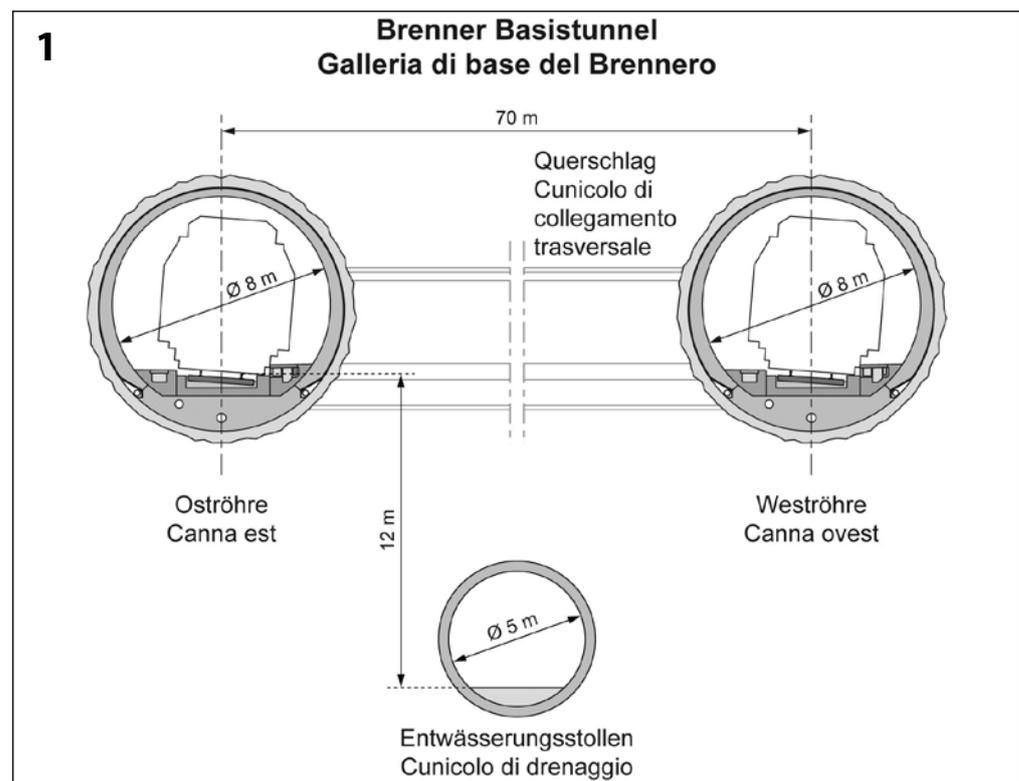
Phase 3 – the construction phase – of the Brenner Base Tunnel was started on 18th April 2011. The following article gives an overview of the state of the art of construction.

1 General information on the Brenner Base Tunnel

The Brenner Base Tunnel, according to the new Strategic planning of TEN-T policy (2014 to 2020), is a part of the future TEN No. 5 corridor Helsinki – Valletta (Sicily). Currently the Brenner Base Tunnel is identified as a priority section of the TEN-rail corridor from Berlin to Palermo.

Phase 3 of the Brenner Base Tunnel was started on 18th April 2011 by a decision of the shareholders' meeting (50 % ÖBB and 50 % TFB: from which 82 % RFI - Italian railway company and 18% from the states of: South Tyrol, Trentino, Verona).

The Brenner Base Tunnel is a low-gradient railway tunnel. The tunnel stretch from Tulfes (Austria) to Fortezza (Italy). At 64 km in length it will be the longest underground railway line in the world. The maximum gradient in



Regelquerschnitt des Haupttunnels mit Erkundungsstollen

Typical cross-section of the main tunnel with exploratory tunnel

Die wichtigsten Kenndaten des Brenner Basistunnels sind:

- Länge: 55 + 9 = 64 km
- Längsneigung: 5,0 bis 6,7 ‰
- Scheitelhöhe des Basistunnels: 795 m ü.d.M.
- Nettoquerschnitt der Haupttunnel mit baulicher Toleranz – konventioneller Vortrieb: 40,4 m²
- Nettoquerschnitt der Haupttunnel mit baulicher Toleranz – maschineller Vortrieb: 42 m²
- Abstand der Querschläge: 300 m

2 Planungen

2.1 Projektübergreifende

Regelplanung – Guide Design

Damit die Planung der verschiedenen Baulose einheitlich erfolgt und die UVP-Vorschriften eingeplant werden können, wird beim Brenner Basistunnel vor der Ausschreibungs- bzw. Ausführungsplanung eine projektübergreifende Regelplanung (guide design) erstellt. Diese wird auf Basis des aktuellen Wissens und der neuesten technologischen Entwicklungen durchgeführt, um eine einheitliche technische Grundlage für die weiteren Ausschreibungs- und Planungsschritte zu schaffen. In einer internationalen Expertengruppe wurden die unterschiedlichen Erfahrungen mit Großprojekten und deren Abwicklungsmodalitäten ausgewertet und in der Folge ein Vorschlag für den Brenner Basistunnel ausgearbeitet. Dadurch soll eine homogene und solide Basis für die Folgeplanungen erarbeitet werden.

Durch die Unterschiedlichkeit der Planungsphilosophien und der länderspezifischen Vorgaben soll im Rahmen der Regelplanung eine einheitliche

Vorgangsweise zur geotechnischen Klassifizierung vorbereitet werden. Dabei fließen auch die Kennwerte aus den Ergebnissen des Erkundungstollens ein. Gezielt sollen die Auswahlparameter festgelegt und die Berechnungsparameter bzw. –methoden wie Squeezing, Gebirgskriechen, elastoplastische Stabilität, Deformationen etc. soweit als möglich festgelegt werden.

Die wesentlichen Elemente dieser gesamtheitlichen Regelplanung sind:

- Überarbeitung der Trassierung mit Einarbeitung sämtlicher Optimierungen und UVP-Vorschriften
- Normative Grundlagen und technische Vorgaben für die losbezogene Ausschreibungs- und Ausführungsplanung
- Einheitliche Bewertungsmatrix für die geotechnische Klassifizierung auf der Grundlage italienischer SIG(1997)- und österreichischer ÖGG-Richtlinien
- Grundsätze für die Bemessung, die konstruktive Durchbildung für eine Lebensdauer von 200 Jahren
- Erstellen von detaillierten Schnittstellen- und Typenplänen
- Toleranzvorgaben (vermessungs- und baumethodenabhängige Toleranzen) unter Berücksichtigung der Folgegewerke
- Vorkehrungen für den bahntechnischen Ausbau

Zusätzlich wird die gesamte Trassierung vom UTM in ein projektbezogenes Koordinatensystem BBT-TM gebracht, das durch eine transversale Mercatorprojektion erzeugt

The future of mobility



InnoTrans 2012

International Trade Fair for Transport Technology
Innovative Components · Vehicles · Systems
18 – 21 September · Berlin · Germany
www.innotrans.com



wird. Damit wird die mittlere Projekthöhe von 720 m orthometrischer Höhe festgelegt, was ca. 770 m ellipsoidischer Höhe entspricht. Das Projekt liegt somit in einem Gebiet ca. 10 km östlich und westlich vom Mittelmeridian. In diesem Fall beträgt die Streckenverzerrung weniger als 2 bis 3 mm/km. Im so geschaffenen Bezugssystem muss keine weitere Rotation durchgeführt werden, da die Meridiankonvergenz einfach zu berechnen ist und der sich daraus ergebende Reduktionseffekt auf die Richtungen unbedeutend ist (der Konvergenzwinkel beträgt ca. 4').

2.2 Ausschreibungs- bzw. Ausführungsplanungen

Im Jahre 2012 erfolgen die Ausschreibungen für die externen Dienstleistungen zu den Ausschreibungs- und Ausführungsplanungen. Im Bauzeitplan sind 2 Hauptausschreibungen für die Ausschreibungs- bzw. Ausführungsplanung vorgesehen und zwar eine für den österreichischen Abschnitt (Erkundungsstollen, Haupttunnel ausgehend von den Baustellen Ahrental und Wolf) sowie eine für den italienischen Abschnitt (Erkundungsstollen, Haupttunnel ausgehend von der Baustelle Mauls). Die Planungen der Randbaulose (Einbindung Bahnhof Innsbruck, Rettungsstollen Umfahrung Innsbruck, Eisackunterquerung und Bahnhof Franzensfeste) und später der bahntechnischen Ausrüstung erfolgen gesondert. Durch die Vergabe der Ausschreibungs- und Ausführungsplanungen an denselben Planer soll gewährleistet werden, dass die Erkenntnisse aus dem Erkundungsstollenprogramm möglichst voll-

ständig in die Planungen der Haupttunnellose einbezogen werden können.

In Österreich wird auf der Grundlage der ÖGG-Richtlinien und der ÖNORM B 2118 zur Ausschreibung der Tunnelbaulose eine Ausschreibungsplanung mit den wesentlichen Projekt-elementen und einer detaillierten Leistungsbeschreibung erstellt und dann baubegleitend die Ausführungsplanung erarbeitet.

In Italien wird auf der Grundlage des staatlichen Dekretes DM 163/2006 zur Ausschreibung der Baulose eine detaillierte Ausführungsplanung erstellt und baubegleitend Detailpläne erarbeitet.

3 Erkenntnisgewinn durch Modellsimulationen

3.1 Geo-hydrogeologische Modellierung

Nördlich des Brenners finden wir zwischen dem Innsbrucker Quarzphyllit und den Zentralgneisen des Brenners den sogenannten „Bündner Schiefer“. Es handelt sich dabei um ein durch die Entstehung der Alpen aus Meeressedimenten entstandenes feinkörniges Gestein. Ein charakteristisches Merkmal stellen die ausgeprägten Schieferungsflächen dar. Die Gesteine kommen hauptsächlich als dunkelgrauer „Schwarzphyllit“ vor, der sich mit kalkreichen Phylliten abwechself.

Die geplante Tunneltrasse quert im Valser- und Pfitschtal den Aquifer des Hochstegenmarmors. Aufgrund der hohen Bedeutung dieses Aquifers wurde ein auf das im Hochstegenmarmor-Grundwasserfließsystem beschränktes 2-D-Simulationsmodell erstellt.

the main sections of the tunnel amounts to 6.7 ‰. The exploratory tunnel is centred beneath the 2 tunnels (Figure 1). It will be built in sections before beginning construction works on the main tubes, mainly to examine and prospect the rock. The results of these geological and hydrogeological tests will be used for the construction of the main tunnel. This reduces construction risk and optimizes construction costs and time. The final outfitting will be realized in the whole exploratory tunnel with the result that it can be converted into a drainage tunnel and, if need be, to a service gallery.

The most important basic features of the Brenner Base Tunnel are:

- Length: 55 + 9 = 64 km
- Gradient: 5.0 to 6.7 ‰
- Apex height of the base tunnel: 795 m a.s.l.
- Net cross-section of the main tunnel with structural tolerance – conventional tunnelling: 40.4 m²
- Net cross-section of the main tunnel with structural tolerance – mechanical tunnelling: 42 m²
- Distance between the connecting side tunnels: 300 m

2 Planning

2.1 Cross border planning design – guide design

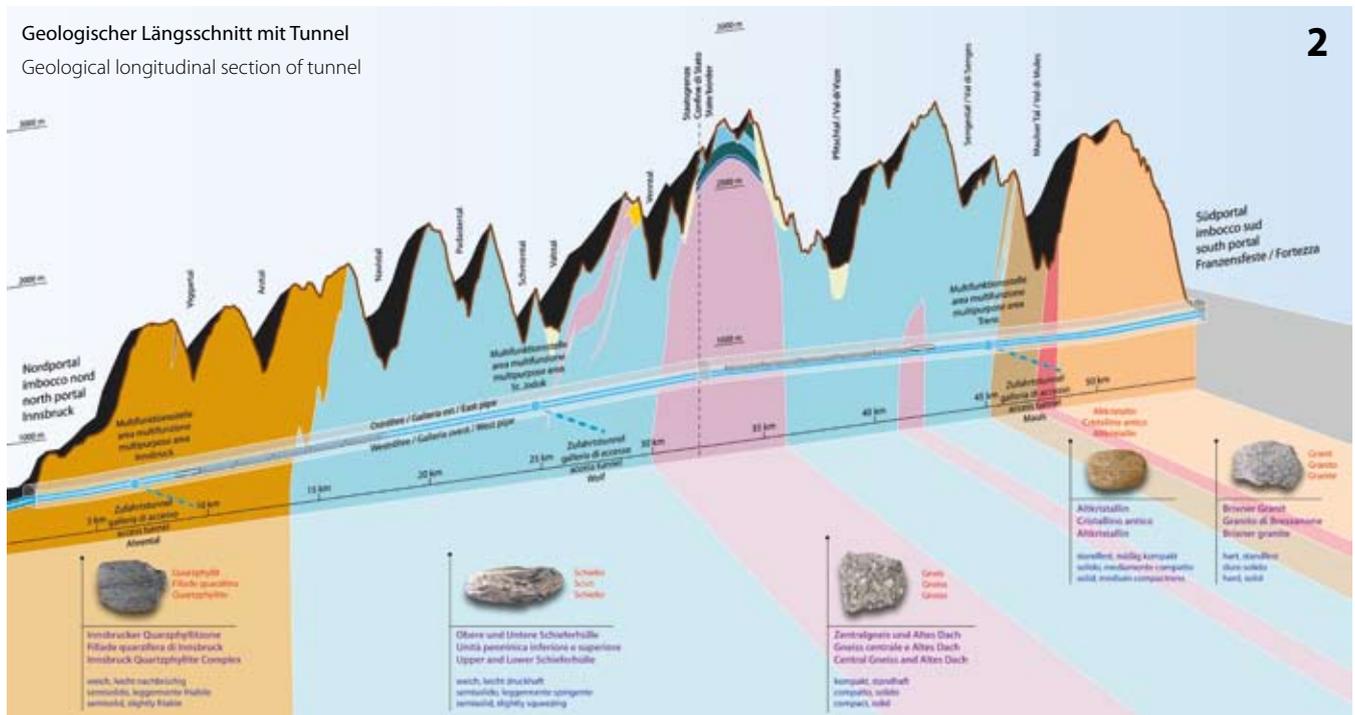
Prior to the planning for tender procedures and the implementation planning, a cross border guide design has to be drawn up, so that the planning of the different lots takes place uniformly and the EIA prescriptions can be included in the planning. It is based on the current level of knowledge and the newest technological developments and represents the point of departure for further

planning for tender procedures and other planning steps. The different experiences obtained in important projects and their methods of management and execution were assessed by a group of international experts and a proposal was subsequently created for the Brenner Base Tunnel. This approach aims to elaborate a homogenous and solid foundation for further planning activities.

Due to the differences in the design philosophies and the country-specific requirements a uniform procedure should be prepared within the planning design for geotechnical classification. Incorporating the characteristic values from the results of the exploratory tunnel. Target should be determining the selection parameters – and methods: as far as possible determining squeezing, rock creep, elasto-plastic stability, deformation, etc.

The key elements of such an “end to end” planning design are:

- Route planning review and adoption of all optimization measures and of the EIA prescriptions
- Normative foundations and technical prescriptions for tender procedures and implementation planning for every lot
- Uniform evaluation matrix for the geotechnical classification based on the Italian SIG (1997) and Austrian ÖGG guidelines
- Assessment principles, constructional design pattern for a working life of 200 years
- Preparation of detailed interface and type plans
- Definition of tolerances (tolerances depending on measurement and construction methods) considering subsequent constructions



Ziel dieser Modellierung ist es, einerseits Erkenntnisse über eventuelle Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung durch die Drainagewirkung der Tunnelröhren zu gewinnen und andererseits die Wirkungsmechanismen von Abdichtungen in Bezug auf möglichst geringe Absenkungen des Grundwasserspiegels zu studieren (Bild 2).

Da die Durchlässigkeiten der benachbarten Gesteinseinheiten geringer sind als jene des Hochstegenmarmors und somit ein Zu- oder Abstrom in die benachbarten Gesteinseinheiten hydrogeologisch vernachlässigbar ist, wurde eine 2-D-Modellierung durchgeführt. Das Modellgebiet beschränkt sich auf die Grundwasserleiter des Hochstegenmarmors und der quartären Talfüllungen. Als Modellfläche wurde der gesamte Bereich des hydrogeologischen Modellschnittes mit der Grundwasserscheide im Norden und der hydraulisch dichten Brennerabschiebung am Südrand ausgewählt. Die Modellbasis

stellt einen hydraulisch dichten Rand dar. Die Modelltiefe wurde mit -500 m ü. A. angenommen. Unterhalb dieser Höhe ist von keiner hydraulischen Wegigkeit mehr auszugehen. Das Modellgebiet wird von den Tunnelröhren durchörtert, weshalb sie in der Modellierung als Querschnitte dargestellt werden.

Die Schichtlagerung des Hochstegenmarmors weist ein Einfallen von 30° bis 45° nach Nordosten auf. Für die Modellbildung wurde der Hochstegenmarmor in die Vertikale projiziert. Um die für die Berechnung der Grundwasserströmungsverhältnisse erforderlichen realen Höhen beizubehalten, wurde das durch die Drehung überhöhte Profil dem tatsächlichen Geländeprofil angepasst.

Für die Talaquifere wurde entsprechend ihrer lithologischen Zusammensetzung die in Tabelle 1 aufgeführte Kf-Zonierung (10 Zonen) vorgenommen. In dieser Tabelle findet sich auch eine Auflistung der restlichen Modellparameter.

- Preparatory measures for the railway equipment installation

Additionally, the whole route planning is recorded in a project co-ordination system: BBT-TM, represented as a transverse Mercator projection. The average project altitude of 720 m of orthometric height is defined, which corresponds to an approximate ellipsoidal height of 770 m. The project area is thus situated in the area about 10 km to the east and west of the central meridian. In the present case, the track distortion is less than 2 to 3 mm per km.

In the reference system thus created, no further rotations are necessary, as the meridian convergence is simple to calculate and the consequent reduction effect on directions is irrelevant (the convergence angle is approximately 4°).

2.2 Tender procedures and implementation planning

The tenders for external services to the tender procedure and im-

plementation planning will take place in 2012. There are 2 major tenders provided in the construction schedule for the tender procedure and implementation planning, namely one for the Austrian section (exploratory tunnel, main tunnel starting from the construction sites Ahrental and Wolf) and one for the Italian section (exploratory tunnel, main tunnel starting from the Mauls construction site). The planning of the boundary lots (integrating Innsbruck Station, rescue tunnel Innsbruck by-pass, Eisack crossing and Franzensfeste Station) and later the railway technical equipment take place separately. By the allocation of the tender procedure and implementation planning to the same planner it should be ensured that the findings from the exploratory tunnel program can be integrated as fully as possible in the planning of the main tunnel lot.

In Austria, a tender procedure planning with the major project elements and a detailed service description will be created on

Bezeichnung	Zone	Parameter	Wert nach Variationen	Variationsbreite
Hochstegenmarmor	1	kf	$2,5 \times 10^7$ m/s	$1 \times 10^7 - 1 \times 10^6$ m/s
Wildlähneral Hang-, Verwitterungsschutt	2	kf	5×10^5 m/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsertal Alluvion	3	kf	1×10^4 m/s	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsertal Bänderton	4	kf	1×10^8 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^6$ m/s
Fluviogalziale Sedimente	5	kf	1×10^6 m/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsertal Tillite	6	kf	1×10^8 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^7$ m/s
Vennental Tillablagerungen	7	kf	1×10^4 m/s	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^7$ m/s
Silltal Alluvion	8	kf	1×10^7 m/s	$1 \times 10^7 - 1 \times 10^4$ m/s
Silltal Bändertone	9	kf	1×10^7 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^7$ m/s
Wipptal Bänderton	10	kf	1×10^5 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^5$ m/s
Durchlässigkeit der Bachbetten (Leakage factor)		c	1×10^4 1/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^3$ 1/s
Grundwasserneubildung		r	357 mm/a	262 - 514 mm/a
Tunnelabdichtung		kf	$2,5 \times 10^9$ m/s	

Tabelle 1: Hydrogeologische Berechnungsparameter

Description	Zone	Parameter	Value according to variations	Range of variation
Hochstegen Marble	1	kf	$2,5 \times 10^7$ m/s	$1 \times 10^7 - 1 \times 10^6$ m/s
Wildlähner valley hillside and weathered debris	2	kf	5×10^5 m/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsler valley alluvion	3	kf	1×10^4 m/s	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsler valley varved clay	4	kf	1×10^8 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^6$ m/s
Fluvioglacial sediments	5	kf	1×10^6 m/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^5$ m/s
Valsler valley tillite	6	kf	1×10^8 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^7$ m/s
Venn valley till deposits	7	kf	1×10^4 m/s	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^7$ m/s
Sill valley alluvion	8	kf	1×10^7 m/s	$1 \times 10^7 - 1 \times 10^4$ m/s
Sill valley varved clay	9	kf	1×10^7 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^7$ m/s
Wipp valley varved clay	10	kf	1×10^5 m/s	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^5$ m/s
Permeability of the stream beds (Leakage factor)		c	1×10^4 1/s	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^3$ 1/s
Groundwater recharge		r	357 mm/a	262 - 514 mm/a
Tunnel sealing		kf	$2,5 \times 10^9$ m/s	

Table 1: Hydrogeological calculation parameters

Zur numerischen Modellierung der Grundwasserströmungsverhältnisse wurde die Methode der Finiten Differenzen verwendet (MODFLOW 2005 der U.S. Geological Survey). Bei der Berechnung wurden 3 Arten von Randbedingungen verwendet.

- **Randbedingung 1. Art (Festpotenzial):** Bei der Modellierung der Tunnelröhren wurde eine mittlere Höhe der Tunnelröhren angesetzt.
- **Randbedingung 2. Art (Strömungsrandsbedingung):** Am oberen Rand des Projektgebietes wurde eine Grundwasserneubildungsrate von 357 mm/a angesetzt. Eine weitere Randbedingung 2. Art stel-

len die übrigen Ränder des Modellschnittes dar; diese wurden als undurchlässige Ränder ohne Durchfluss (sogenannte no flow boundaries) modelliert.

- **Randbedingung 3. Art (Durchlässigkeitsbedingung):** Hier wurde ein bestimmtes Potenzial und eine bestimmte Durchlässigkeit für die 5 Bäche definiert und die Absoluthöhen der Bäche und die Durchlässigkeit der Bachbetten (sogenannter leakage factor) festgelegt.

Bei der Modellierung des Gebirges ohne Tunnel wurden die Durchlässigkeiten variiert,

the basis of the ÖGG guidelines and the ÖNORM B 2118 for the tender for tunnel construction lots and then construction phase of the implementation planning drawn-up.

In Italy a detailed implementation planning will be created and detailed construction plans drawn-up on the basis of State Decree DM 163/2006 for the tender for construction lots.

3 Knowledge gained through model simulations

3.1 Geo-hydrological modelling
The so-called Graubunden Slate can be found north of the Brenner between the Innsbruck

Quarzphyllit and the central gneiss of the Brenner. This is a fine-grained rock arising from the formation of the Alps from marine sediments. A typical feature of this rock is its pronounced schistosity. The rocks mainly appear as dark-grey "black phyllite" alternating with layers of limestone-rich phyllite.

The planned tunnel route crosses the aquifer of the Hochstegen Marble in the Valsler and Pfitsch valley. Due to the great importance of this aquifer, a 2D simulations model confined to the groundwater flow system in the Hochstegen Marble has been produced. The aim of this modelling is, on the one hand to gain knowledge about possible effects of the lowering of groundwater through the drainage effect of the tunnel tubes and to study the effective mechanisms of seals in relation to the lowest possible drawdown of the groundwater table (Figure 2).

2-D modelling was carried out as the permeability of the adjacent rock units is lower than those of the Hochstegen Marble and thus an increase or effluent into the adjacent rock units is hydrologically negligible. The model area is therefore exclusively limited to the groundwater line of the Hochstegen Marble and the quaternary valley sediment. The whole area of the hydrogeological model section with the groundwater divide in the north and the hydraulically sealed Brenner Fault at the southern edge were selected as the model area. The model depicts a hydraulically sealed edge. The model depth was assumed at -500 m a.s.l.; below this level no further hydraulic motion is likely. The model area is crossed from the tunnels, which is why they are represented in the modelling as cross-sections.

um einerseits einen realistischen Bergwasserspiegel zu erhalten und andererseits die Durchflussraten der Bäche wirklichkeitsgetreu nachzubilden. Bei der Variation des leakage factors zeigte sich eine vergleichsweise geringe Sensitivität. Die Festlegung der Durchlässigkeiten hat jedoch eine wesentliche Auswirkung auf die Simulationsergebnisse. So ergaben sich beispielsweise beim Ansatz einer zu hohen Durchlässigkeit des Hochstegenmarmors ($k_f = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) unrealistisch niedrige Grund-

wasserstände. Auch wurden die Durchlässigkeiten der Talfüllungen variiert, um die Bergwasserlinie örtlich in den maßgebenden Punkten an die durch Messungen bestimmten Höhen anzupassen. Das Ergebnis der Variationsrechnung ist als Grundwassergleichenplan in Bild 3 dargestellt.

Eine mögliche Absenkung des Bergwasserspiegels durch die Tunnelröhren wird in Bild 4 dargestellt. Durch eine entsprechende Tunnelabdichtung (Injektionsring: Simulation mittels einer 10 m mächtigen Schicht

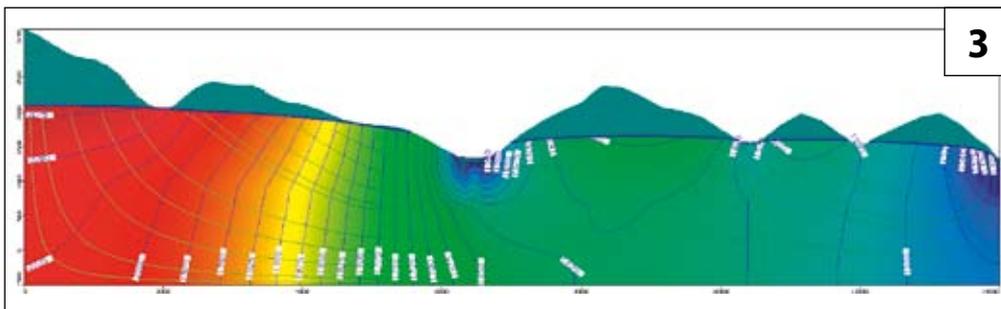
The layering of the Hochstegen Marble has an incline of 30° to 45° to the north-east. For the modelling the Hochstegen Marble was projected in the vertical. In order to maintain the real elevations required for the calculation of the groundwater flow conditions, the profile exaggerated by the rotation was adjusted to the actual terrain profile.

Valley aquifers were made according to their lithological composition listed in Table 1 kf-zoning (10 zones). A listing of the remaining model parameters can also be found in this Table.

For the numerical modelling of groundwater flow conditions, the method of finite differences was used (Modflow 2005 the U.S. Geological Survey). Three types of boundary condition were used in the calculation.

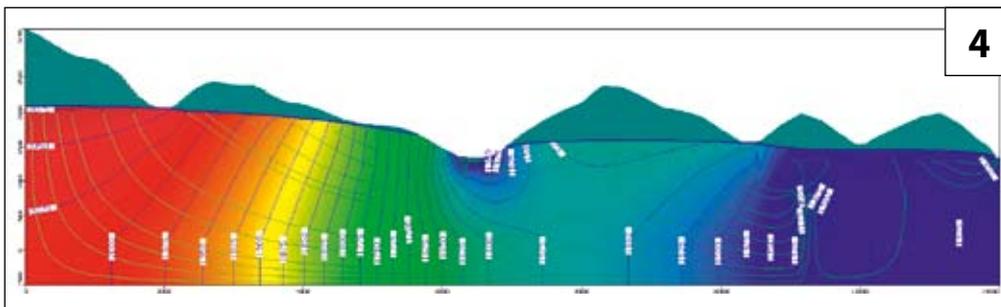
- **Boundary condition 1. Type (fixed potential):** An average height was set when modelling the tunnels.
- **Boundary condition 2. Type (flow boundary condition):** At the upper edge of the project area, a groundwater recharge rate of 357 mm/a was applied. Another second type of boundary condition is represented by the remaining boundaries of the model section; these were modelled as impermeable boundaries without percolation, so-called no flow boundaries.
- **Boundary condition 3. Type (permeability condition):** A specific potential and a specific permeability for the 5 streams are defined here and the absolute levels of the streams as well as the permeability of the stream beds (so-called leakage factor) are determined.

When modelling the rock without a tunnel the permeability is varied, on the one hand to obtain a realistic mountain water table and on the other hand to faithfully reproduce the flow rates of the streams. Comparatively low sensitivity was shown when varying the leakage factor. The determination of permeability, however, has a significant impact on the simulation results. For example, the use of too high a permeability of the Hochstegen Marble ($k_f = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) resulted in unrealistically low groundwater levels. The permeability of the valley sediment was also varied in order to



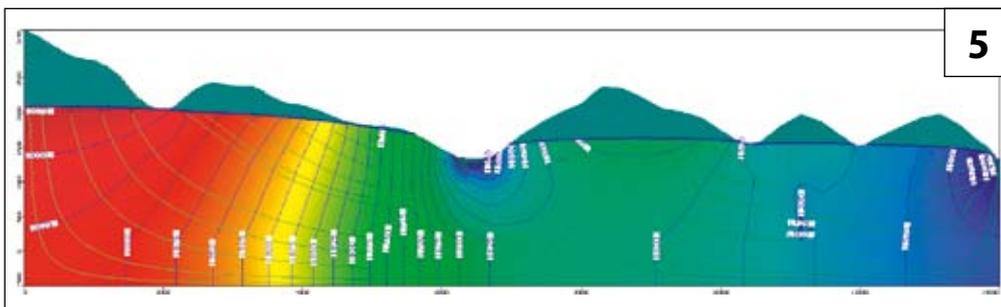
Simulationsergebnisse des Gebirges ohne Tunnel

Simulation results of the rock without tunnel



Simulationsergebnisse des Gebirges mit Tunnel und möglicher Absenkung des Bergwasserspiegels

Simulation results of the rock with tunnels and possible lowering of mountain water table



Simulationsergebnisse des Gebirges mit abgedichtetem Tunnel

Simulation results of the rock with sealed tunnel

	Tiefere Werte	Höhere Werte	Einheit
E-Modul	5000	15000	[MPa]
Reibungswinkel φ	25	35	[°]
Kohäsion c	0,6	1,2	[MPa]

Tabelle 2: Experimentell ermittelte geotechnische Kenndaten

	Lower values	Higher values	Measuring unit
E-Module	5000	15000	[MPa]
Friction angle φ	25	35	[°]
Cohesion c	0,6	1,2	[MPa]

Table 2: Experimentally determined geotechnical characteristics

Radius	2,9	[m]
Poissonzahl	0,2	[-]
Überlagerung	300	[m]
Wichte	26,0	[kN/m ³]

Tabelle 3: Basisdaten für die Gebirgskennlinie

Radius	2.9	[m]
Poisson's ratio	0.2	[-]
Overlying formation	300	[m]
Specific weight	26.0	[kN/m ³]

Table 3: Basic data for the characteristic rock line

um die Tunnelröhren mit einer geringeren Durchlässigkeit als jene des Hochstegenmarmors) kann die Absenkung des Bergwasserspiegels auf ein geringes, vertretbares Maß reduziert werden (Bild 5).

3.2 Geotechnische Modellierung

Im Abschnitt zwischen Innsbruck und dem Ahrental treffen wir den sogenannten Innsbrucker Quarzphyllit an. Er ist ein metamorphes, geschiefertes Gestein, das sich hauptsächlich aus den Mineralen Quarz, Glimmer und

Feldspat zusammensetzt. Dort wurden für das Einreichprojekt die geotechnischen Kenndaten experimentell als Bandbreiten, also obere und untere Werte, ermittelt. Beispielhaft wurden für die Gebirgsart IQP-1QP-1a-e folgende Parameter festgelegt (Tabelle 2).

Für die Berechnung der Gebirgskennlinie wurde das Modell von Sulem/Panet (1987) herangezogen. Sulem /Panet verwenden für ihren Betrachtungen ein MC-Materialmodell. Die Gebirgskennlinie stellt den Zusammenhang zwischen

be able to adjust the mountain water lines locally at the decisive points and the known heights. The result of this variational calculus is depicted in Figure 3 as a groundwater contour plan.

A possible lowering of water levels through the rock tunnels is depicted in Figure 4. Through an appropriate tunnel seal (injection ring: simulation using a 10 m thick layer around the tunnels with a lower permeability than that of the Hochstegen Marble) the lowering of the underground water level is reduced to low, acceptable levels (Figure 5).

3.2 Geotechnical modelling

At the section between Innsbruck and the Ahrental we meet the so-called Innsbruck Quartzphyllite. It is a metamorphic rock in layers consisting mainly of minerals such as quartz, mica and feldspar. Here, the submission project of the geotechnical characteristics were experimentally determined as ranges, i.e. upper and lower values. As an example for the rock type IQP-1QP-1a-e the following parameters were determined (Table 2).

For the calculation of the characteristic rock line the model by Sulem/Panet (1987) was used. For their calculation Sulem/Panet used an MC-material model. The characteristic rock line illustrates the link between the radial displacements of the

tunnel wall and the supporting effect of the inner lining. By installing supporting structures like shotcrete linings or segments, the rock pressure and the lining resistance are balanced out. The rock mass initially has an elastic and then a plastic behaviour right up to the critical area influenced by the supporting pressure of the lining. There is equilibrium at the intersection of both characteristic rock lines (Table 3).

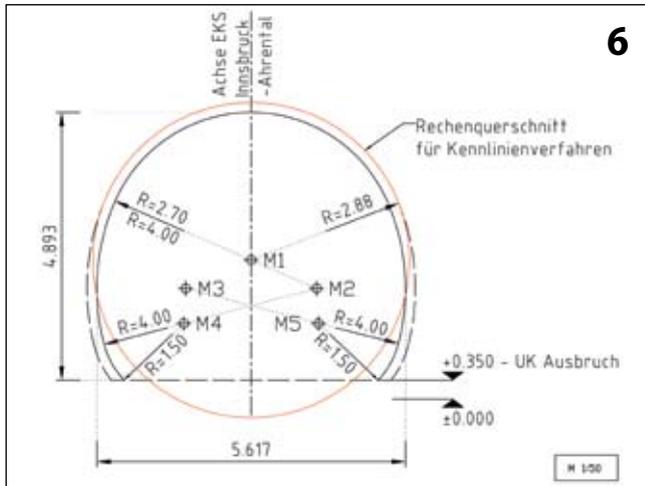
When taking into consideration the ranges of geotechnical characteristics, several characteristic rock lines result from the calculations, as it is shown for the section of the exploratory tunnel Innsbruck-Ahrental (Figure 6, 7). With a rock pressure (supporting pressure) of 1 MPa, radial displacements of the tunnel wall of 2 mm (higher values) to 8 mm (lower values) occur.

The measured deformations in the exploratory tunnel are compared with the characteristic method or by numerical simulations (Flac 2D or 3D) computed quantities. This makes it possible to some extent to describe the rock and more specifically calculate the main tunnel by model simulations.

4 Construction

Of the 200 km (approximate figure with lengths rounded up) in total of tunnels, cross sections, and lateral access, exploratory and main tunnels that are to be built, some 20 km of that figure had been constructed by the end of December 2011. In the process, 11 km were bored using a double-shielded TBM (Aichamules) and the remaining tunnels were excavated conventionally by blasting. So far, there have been no large water inflows recorded and the rock that has

$r_p = r_0 * \left(\frac{2}{k+1} * \frac{(k-1) * p_0 + \sigma_{UCS}}{(k-1) * p_i + \sigma_{UCS}} \right)^{\left(\frac{1}{(k-1)} \right)}$	Plastischer Radius nach Sulem/Panet Plastic radius according to Sulem/Panet
$u_r = \lambda * r_0 * \frac{p_0}{2 * G} * \left(\frac{r_p}{r_0} \right)^2$	Radiale Hohlraumverschiebung nach Sulem/Panet Radial cavity shift according to Sulem/Panet
$\lambda = \frac{1}{(k+1)} * \left(k - 1 + \frac{\sigma_{UCS}}{p_0} \right)$	Stützmittelkoeffizient „ λ “ beschreibt das Fortschreiten der Ortsbrust Proppant coefficient „ λ “ describes the progress of the working face



Standardquerschnitt Erkundungsstollen Innsbruck Ahrental für das Kennlinienverfahren

Standard cross-sectional exploratory tunnel Innsbruck Ahrental for the characteristic method

der radialen Hohlraumrandverschiebung und der inneren Stützwirkung des Ausbaues dar. Durch das Einbringen einer stützenden Sicherungsschale in Form von Spritzbeton oder

been encountered is better than the one the geological studies had envisaged.

All those at aboveground construction sites, except the 2 train stations of Innsbruck and Franzensfeste, have already been constructed. From these points, a total of 4 lateral access tunnels run down to the level of the exploratory tunnel and the rescue tunnel at the Innsbruck bypass (Figure 8).

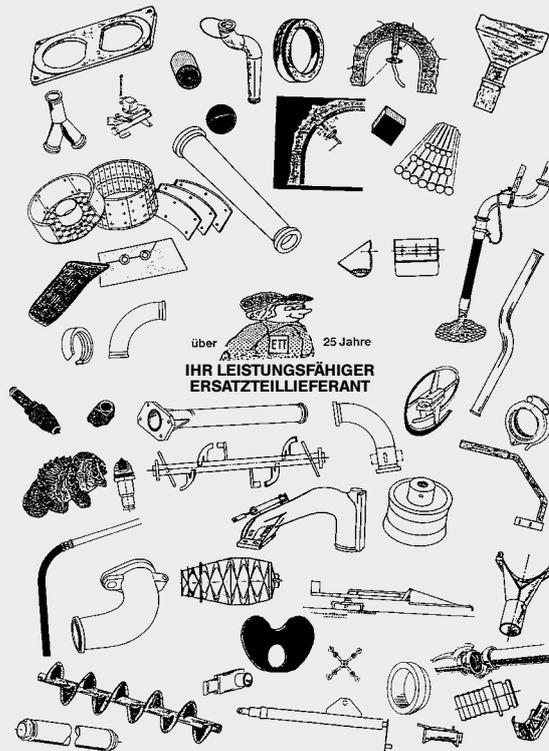
4.1 Construction program in 2011

The construction program for the Brenner Base Tunnel was drawn up in 2010 on the basis of the EIA authorizations and is based on the excavation duration assessed within other compa-

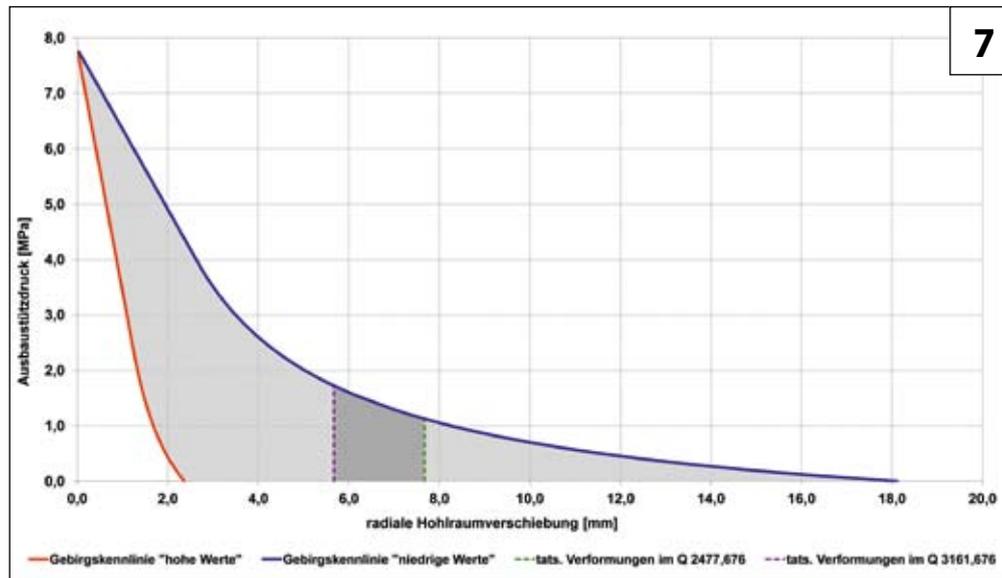
nable projects with due regard to local conditions in terms of construction logistics. After having carried out a detailed analysis, the construction program was drawn up in the form of a time-distance-diagram and discussed with technical experts. Thereby, it was necessary to take account of different excavation methods as well as the terms and deadlines for planning, tendering and awarding activities. The time-distance-diagram comprises all construction activities, starting from structural works up to the beginning of operations and all necessary planning and tendering periods. The Brenner Base Tunnel 2010 construction program was optimized based on new construction logistic expe-

ERSATZTEILE GEGEN MINERALISCHEN VERSCHLEISS

Tunnel
U-Bahnen
Hochhäuser
Brückenbau
Talsperren



Betonpumpen
Nass- und Trockenspritzen
Fahrmischer (auch kpl. Aufbauten)
Zwangsmischer
Becherwerk



Bandbreite der Gebirgskennlinien beim Innsbrucker Quarzphyllit
Range of the characteristic rock line in the Innsbruck "Quartzphyllite"

Tübbing stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem einwirkenden Gebirgsdruck und dem Widerstand des Ausbaues ein. Das Gebirge verhält sich bis zum kritischen Ausbaustützdruck elastisch und danach plastisch. Im Schnittpunkt der beiden Kennlinien herrscht Gleichgewicht (Tabelle 3).

Unter Berücksichtigung der Bandbreiten der geotechnischen Kenndaten ergeben sich ganz unterschiedliche Gebirgskennlinien, wie dies beim Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental aufgezeigt wird (Bild 6, 7). So entstehen bei einem Gebirgsdruck (Ausbaustützdruck) von 1 Mpa ra-

diale Hohlräumverformungen zwischen 2 mm (höhere Werte) und 8 mm (tiefere Werte).

Die gemessenen Verformungen im Erkundungsstollen werden den durch das Kennlinienverfahren bzw. durch numerische Simulationen (Flac 2D bzw. 3D) berechneten Größen gegenübergestellt. Damit gelingt es ansatzweise durch Modellsimulationen das Gebirge zu beschreiben und für den Haupttunnel gezielter zu berechnen.

4 Bau

Von den insgesamt etwa 200 km (Längen aufsummiert) zu errichtenden Stollen, Quer-

rienze und improved geological and hydrogeological know-how. The end of construction of the railway technical equipment is scheduled for 2025 and commissioning planned for December 2026. The construction program is updated annually; the updated construction program 2011 is depicted in Fig. 9.

According to the latest knowledge, it is assumed that about 70 % of the tunnel will be excavated using machinery and about 30 % with conventional methods.

4.2 Mules intermediate access tunnel

The 1.8 km long access tunnel, with a gradient of 8.5 %, was bo-

red south of Mules. The access tunnel was excavated by blasting and work ended in 2009. The excavated cross section is around 105 m². Consolidation took place with fibre-reinforced shotcrete and in partial areas with anchor elements (Superswellex). Excavation by blasting took place full surface: Compact resistant rock was found along approximately 95 % of the tunnel. Rock with structurally related fractures was determined in the remaining 5 %.

4.3 Wolf intermediate access tunnel

In summer 2010, the tunnel portal of the Wolf intermediate access tunnel was created with the passage under the existing Brenner railway. From there a utility and access tunnel, about 700 m in length, branches off in a northerly direction from the Padaster tunnel. The roughly 3.5 km long intermediate access tunnel branches out in a southerly direction with a gradient of 10 %, which will be constructed by blasting through the Graubunden Slate.

4.4 Ahrental intermediate access tunnel

The Ahrental intermediate access tunnel, which is 2.4 km long and slopes downwards by 10.5 %, has been bored conventionally through the Innsbruck Quartzphyllite since the summer



Aktuelle Baustellen
Current construction site

schlägen, Fenster-, Erkundungs- und Hauptstollen wurden bis Ende Dezember 2011 etwa 20 km gebaut. Dabei wurden 11 km mittels einer Doppelschildmaschine (Aicha – Mauls) aufgeföhren und die übrigen Stollen konventionell mit Sprengvortrieb vorgetrieben. Bisher sind keine größeren Wasserzutritte zu verzeichnen und das angetroffene Gebirge ist besser als die geologischen Untersuchungen ergaben.

An allen oberirdischen Baustellen, außer den beiden Bahnhöfen Innsbruck und Franzensfeste, wird schon gebaut. Von diesen Stellen führen insgesamt 4 Fensterstollen in die Tiefe auf das Niveau des Erkundungsstollens bzw. Rettungsstollen bei der Umföhren von Innsbruck (Bild 8).

4.1 Bauprogramm 2011

Das Bauprogramm 2010 des Brenner Basistunnels wurde auf Basis der UVP-Genehmigungen, aufbauend auf ermittelten Ausbruchzeiten von vergleichbaren Projekten unter Berücksichtigung der lokalen baugologischen Möglichkeiten erstellt. Nach einer eingehenden Analyse wurde das Bauprogramm in Form eines Weg-Zeit-Diagramms erstellt und mit externen Fachexperten diskutiert. Notwendig war es dabei neben den verschiedenen Vortriebsmethoden auch die Planungs- und Ausschreibungs- bzw. Vergabezeiten zu berücksichtigen. Das Weg-Zeit-Diagramm umfasst die gesamten Bautätigkeiten vom Rohbau bis zur Inbetriebnahme mit den dazu notwendigen Planungs- und Ausschreibungszeiten. Das Bauprogramm 2010 des Brenner Basistunnels wurde auf Basis neuer baugologischer Erfahrungen und verbesserter geolo-

gischer und hydrogeologischer Erkenntnisse bauwirtschaftlich optimiert. Das Bauende mit der bahntechnischen Ausrüstung ist für 2025 und die Inbetriebnahme mit Dezember 2026 geplant. Jährlich wird das Bauprogramm aktualisiert, weshalb in Bild 9 das aktualisierte Bauprogramm 2011 dargestellt wird.

Auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes kann man davon ausgehen, dass etwa 30 % konventionell und 70 % maschinell vorgetrieben werden.

4.2 Fensterstollen Mauls

Südlich von Mauls wurde der 1,8 km lange Zugangstunnel mit einem Gefälle von 8,5 % im Brixner Granit aufgeföhren. Der Zugangstunnel wurde mittels Sprengvortrieb ausgebrochen und im Jahr 2009 fertig gestellt. Der Ausbruchquerschnitt betrug etwa 105 m². Die Sicherung erfolgte mit faserverstärktem Spritzbeton und in Teilbereichen mit Ankern (Superswellex). Der Tunnel wurde vollflächig im Sprengvortrieb ausgebrochen: Auf einer Länge von ca. 95 % des Tunnels wurde standfestes Gebirge angetroffen. Auf den restlichen 5 % wurde ein Gebirge mit gefügebewehrten Nachbrüchen festgestellt.

4.3 Fensterstollen Wolf

Im Sommer 2010 wurde mit der Unterquerung der bestehenden Brennerbahn das Eingangsportal zum Fensterstollen Wolf geschaffen. Von dort zweigt nördlich ein etwa 700 m langer Zufahrts- und Versorgungstollen, der Padastertunnel ab. Südlich zweigt der etwa 3,5 km lange Fensterstollen mit einem Gefälle von

vom 16. bis 21. April 2012

Paris-Nord Villepinte - Frankreich

INTERMAT

Internationale Ausstellung von Maschinen und Technik für die Bau- und Baustoffindustrie

Together let's build the future

1,500
Aussteller

200,000
Besucher

375,000 m²
Ausstellungsfläche



Follow us with



your smartphone

To read the QR code, download the application compatible with your mobile phone.

Ihr kostenloser Eintrittsausweis auf
www.intermat.fr

CODE:
PROMOALL



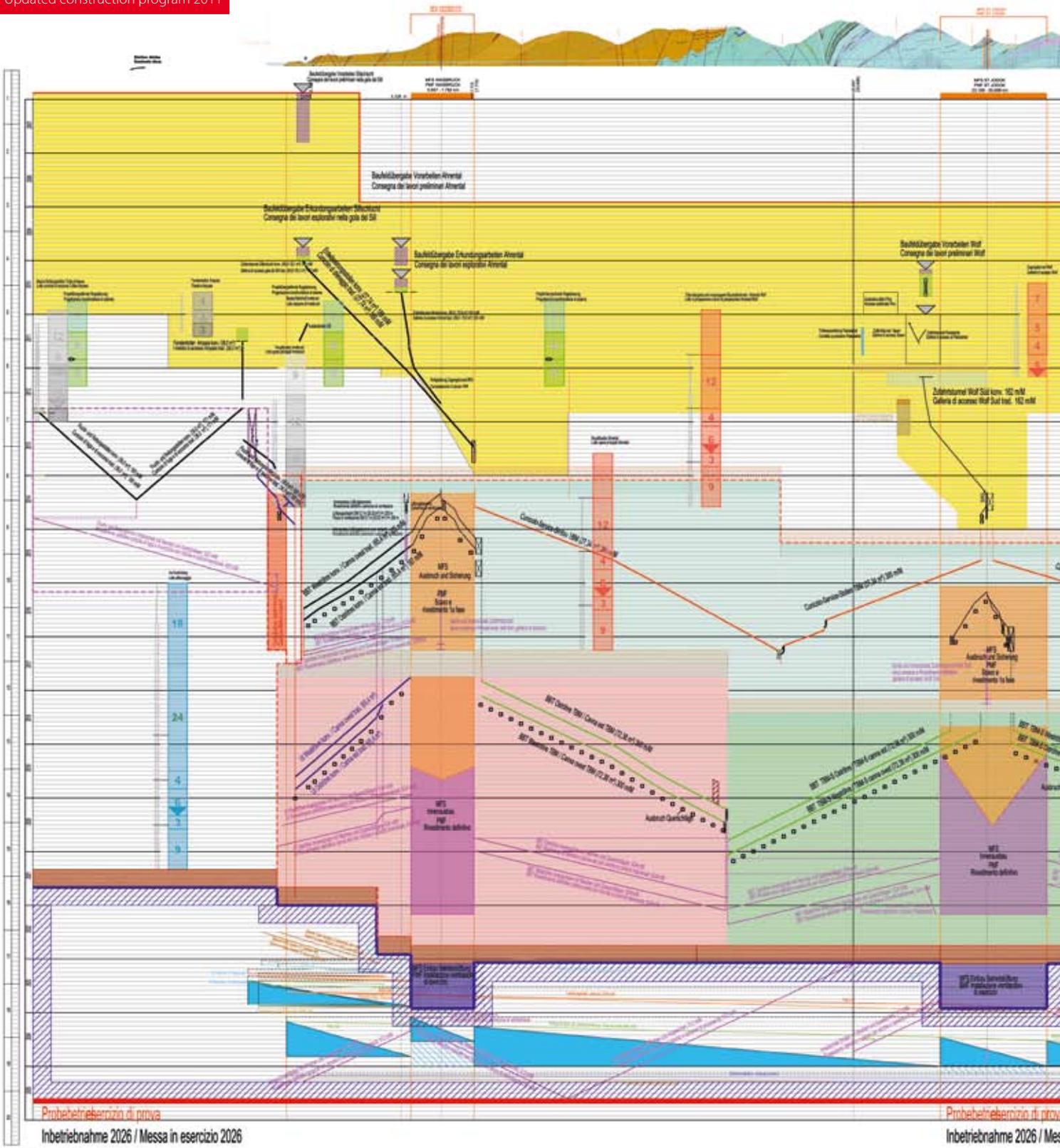
HOTLINE: + 33 (0)1 55 23 71 71

an event by
comexposium
The place to be

IMF GmbH - Ilona Wohra
Worringer Straße 30 - 50668 Köln
Tel: 0221/13 05 09 02
Fax: 0221/13 05 09 01
i.wohra@imf-promosalons.de

Aktualisiertes Bauprogramm 2011
Updated construction program 2011

Bauprogramm Brenner-Basistunnel 2010 / F



Legende / Legend:

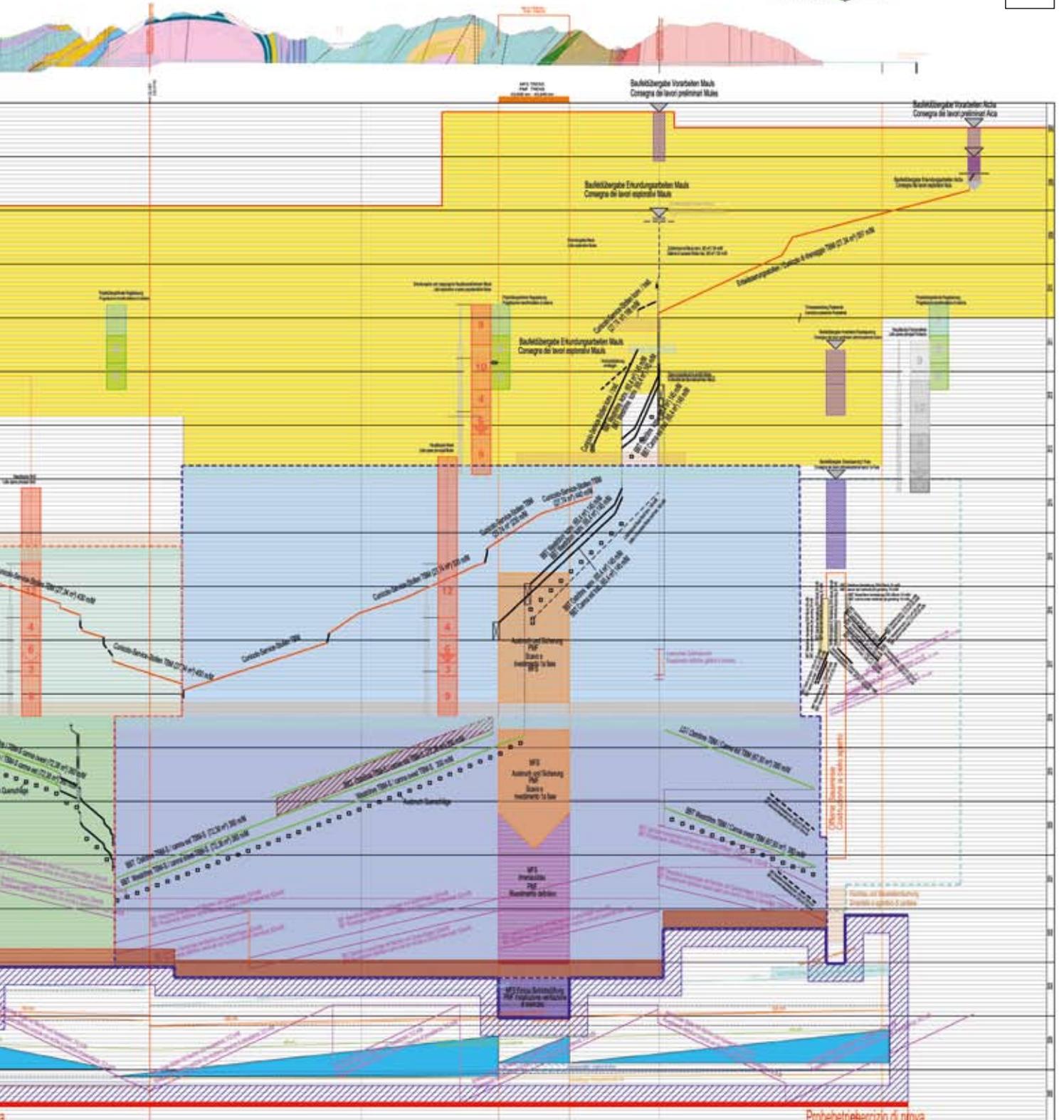
- Phase 2
Fase 2
- Projektübergreifende Regelplanung
Progettazione di sistema transfrontaliera
- Erkundungsbaus Ahrental-Brenner
Lotto esplorativo Ahrental-Brennero
- Erkundungsbaus Mauts-Brenner
Lotto esplorativo Mules-Brennero

Probetriebseröffnung di prova
Inbetriebnahme 2026 / Messa in esercizio 2026

Probetriebseröffnung di prova
Inbetriebnahme 2026 / Messa in esercizio 2026

Programma lavori Galleria di Base del Brennero 2010

9



in esercizio 2026

Prüfbetriebsversuch in 2026
Inbetriebnahme 2026 / Messa in esercizio 2026

- Haupttunnel Ahrental
Lotto principale Ahrental
- Haupttunnel Wolf
Lotto principale Wolf
- Haupttunnel Mauts
Lotto principale Mules
- Eisenbahntechnische Ausrüstung
Attrezzaggio ferroviario

10 % ab, der mittels Sprengvortrieb im Bündner Schiefer errichtet werden wird.

4.4 Fensterstollen Ahrental

Der 2,4 km lange und 10,5 % fallende Fensterstollen Ahrental wird seit Sommer 2010 im Innsbrucker Quarzphyllit konventionell aufgefahen. Der Ausbruchquerschnitt weist etwa 105 m² auf. Nach dem Portal unterquert der Zugangstunnel die Brennerautobahn A13. In diesem Bereich wurde der Tunnel mit einem Rohrschirm gebaut, um dadurch eine Gewölbetragswirkung zu erreichen. Ende 2011 waren etwa 1,5 km mittels Sprengvortrieb vorgetrieben, wobei bei den flachliegenden Quarzphyllitplatten nur geringe Abschlagslängen möglich sind.

4.5 Fensterstollen Ampass

Der Fensterstollen Ampass hat eine Länge von ca. 1.400 m. Der Ausbruchquerschnitt beträgt etwa 35 m². Im Fensterstollen Ampass werden aufgrund des geringen Querschnittes 2 Auswechnischen und 2 Wendnischen aufgefahen. Im September 2011 wurde mit den Bauarbeiten begonnen. Der Portalbereich wurde auf einer Länge von ca. 14 m in Deckelbauweise errichtet. Die Landesstraße L283 verläuft dann auf dieser Deckelplatte. Im März 2012 wird mit dem Sprengvortrieb begonnen. Laut geologischer Prognose stehen auf den ersten ca. 300 m Lockergesteine der Moränenfazies an. Die weiteren ca. 1.000 m sind im Innsbrucker Quarzphyllit aufzufahren.

4.6 Erkundungsstollen Innsbruck - Ahrental

Vom konventionell aufgefahenen Erkundungsstollens Innsbruck – Ahrental wurden

bis Ende Januar 2012 insgesamt etwa 6 km aufgefahen. In einigen Abschnitten war ein erhöhtes Nachbrüchigkeitsverhalten durch flach liegende Schieferung und Verschnitte mit steil stehenden Klüften zu verzeichnen.

4.7 Erkundungsstollen Aicha – Muls

Vom maschinell vorgetriebenem Erkundungsstollen Aicha – Muls wurden etwa 11,5 km ausgebrochen. Derzeit wird in Richtung Norden im Bereich der periadriatischen Naht gearbeitet. Mittels Sondierbohrungen werden die einzelnen Teilabschnitte vorkundet und der Sprengvortrieb bzw. die Erstsicherung entsprechend angepasst.

5 Ausblick

Die Bauphase (Phase III) wurde beim Brenner Basistunnel am 18. April 2011 eingeleitet. Unter Einbindung der Erfahrung von vergleichbaren Tunnelprojekten, mit Unterstützung von numerischen Simulationen zur Erweiterung des Verständnisses und mit fachkundigen, teamfähigen Mitarbeitern sowie mit hervorragenden externen Ingenieurdienstleistern und Bauunternehmen werden wir den Brenner Basistunnel bauen. 

of 2010. The excavated cross section is around 105 m². After the portal, the access tunnel passes under the Brenner highway A13. In this area, the tunnel was constructed with a pipe roof, in order to achieve a load-bearing vault effect. By the end of 2011, some 1.5 km had been excavated by blasting, whereby only short advancements were possible through the flat-lying quartzphyllite slabs.

4.5 Ampass intermediate access tunnel

The Ampass intermediate access tunnel is about 1,400 m long. The excavated cross-section is approximately 35 m². Due to the reduced cross section 2 overtaking niches and 2 niches for turning manoeuvres will be excavated in the Ampass intermediate access tunnel. Work on the construction began in September 2011. The portal area has been constructed with a length of about 14 m as an artificial tunnel. The region road L283 will be relocated over the covering. Blasting will begin in March 2012. According to the geologic forecast, loose rocks of the moraine faces will occur along the first 300 m. The following 1,000 m must be excavated in the Innsbruck Quartzphyllite complex.

4.6 Innsbruck – Ahrental exploratory tunnel

A total of about 6 km were bored from the conventional bored exploratory tunnel Innsbruck – Ahrental up to end January 2012. In some sections an increased fraction behaviour with steep dipping clefs was recorded due to flat-lying foliation and waste.

4.7 Aicha – Muls exploratory tunnel

From the mechanically excavated exploratory tunnel Aicha – Muls approximately 11.5 km was broken out. Work is currently underway to the north in the area of the periadriatic seam. Using exploratory drilling the individual sections are analyzed and the blasting method and/or the first restraining elements and adapted accordingly.

5 Future prospects

The construction phase (Phase III) of the Brenner Base Tunnel was initiated on 18 April 2011. By drawing on experience from similar tunnel projects, the support of numerical simulations for expanding understanding, expert, team-oriented colleagues, and outstanding external engineering service providers and construction companies, we will build the Brenner Base Tunnel. 

Literatur/References

- [1] Bergmeister, K.: Brenner Basistunnel – Der Tunnel kommt. Tappeinerverlag – Lana. 2011, 263 Seiten
- [2] ÖGG – Richtlinie: Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken. Salzburg 2005
- [3] Quick, H.; Bergmeister, K.; Facchin, E.; Michael, J.: Aicha-Muls on the Brenner Base Tunnel – status of the works and results. In: Geomechanics and Tunneling. Ernst & Sohn Company, 2010, p. 520 – 533
- [4] Flora, M.; Purrer, W.; Bergmeister, K.: Characteristics and potential of the NATM, ADECO-RS and mechanized methods of tunneling. In: Geomechanics and Tunneling. Ernst & Sohn Company, 2011, no. 5, p. 489 – 498
- [5] Anderson, M. P. and Woessner, W. W. (1992). Applied Groundwater Modeling. Academic Press, San Diego.
- [6] Harbaugh, A.W. (2005): Modflow-2005, the U.S. geological survey groundwater model – the groundwater process.
- [7] Kinzelbach, W., R. and Rausch, R. (1989): ASM, An Aquifer Simulation Model. IGWMC, Indianapolis-Delft, 1989.
- [8] McDonald, M. G. and Harbaugh, A.W. (1988): Modflow, A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model, U.S. Geological Survey, Open file report 83-875.
- [9] Wen-Hsing Chiang, Wolfgang Kinzelbach and Randolph Rausch (1998): Aquifer simulation model for Windows. Groundwater flow and transport modeling, an integrated program
- [10] Sulem/Panet