

Selection of tunnelling methods at the Gotthard Base Tunnel

Wahl der Vortriebsmethoden am Gotthard-Basistunnel

For the construction of the longest rail tunnel in the world, the selection of the optimal method of tunnelling was of considerable importance. Not only the ground properties were decisive for the decision but also other constraints, like for example the environmental requirements or the access to intermediate starting points. In two of the five sections, the employer had essential grounds for the specification of tunnelling method, but in three of the five sections, there were no essential grounds in the view of the employer. The selection of tunnelling method was therefore decided by economic criteria as the result of competition between the international bidders in the tendering phase. In the end, TBMs were used in all three sections.

1 Initial situation

1.1 Project aims

The Gotthard Base Tunnel is being built as part of the Swiss NEAT concept (Neue Eisenbahn AlpenTransversale), which is intended to achieve the following:

- The transfer of most of the goods traffic from road to rail,
- Halving of the journey time between the north and the south of Switzerland,
- Integration of the north-south axis of the Swiss rail network into the future modern European high-speed rail network.

1.2 Project requirements

In the implementation of the project aims, all the fixed and open project aims had to be fulfilled.

The fixed project requirements are requirements without any scope for handling for the parties involved in the project. This includes in particular compliance with laws, regulations, agreements or conditions to the railway approval permit.

In contrast to this, the open project requirements offer a certain scope for manoeuvre for the parties involved in the project. The open project requirements include the ensuring of functionality, the maintenance of cost and schedule limits, the implementation of environmental and occupational safety aims and the problem-free overcoming of the project organisation and the processes.

The project requirements influence the selection of the tunnelling method considerably [1].

Für den Bau des derzeit längsten Eisenbahntunnels der Welt war die Auswahl der optimalen Vortriebsmethode für den Projekterfolg von entscheidender Bedeutung. Nicht nur die Baugrundeigenschaften waren maßgebend für die Wahl, sondern viele andere Randbedingungen auch, z.B. die Anforderungen aus dem Umweltschutz oder aber die Zugänglichkeit zu Zwischenangriffen. Bei zwei von fünf Abschnitten hatte der Bauherr zwingende Gründe, die Vortriebsmethode vorzugeben. Bei drei von fünf Abschnitten fehlten aus Bauherrensicht zwingende Vorgaben. Die Wahl der Vortriebsmethode erfolgte deshalb aufgrund wirtschaftlicher Kriterien als Resultat des Wettbewerbes unter den internationalen Anbietern in der Angebotsphase. In allen drei Abschnitten kam schließlich der TBM-Vortrieb zum Einsatz.

1 Ausgangslage

1.1 Projektziele

Der Gotthard-Basistunnel wird als Bestandteil des schweizerischen NEAT-Konzepts (Neue Eisenbahn AlpenTransversale) gebaut, mit dem die folgenden Ziele erreicht werden sollen:

- Verlagerung des überwiegenden Teils des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene,
- Halbierung der Fahrzeiten zwischen der Nord- und der Südschweiz,
- Integration der Nord-Südachse des Schweizerischen Eisenbahnnetzes in das künftige moderne europäische Hochgeschwindigkeits-Schienenetz.

1.2 Projektanforderungen

Bei der Realisierung der Projektziele gilt es, alle festen und offenen Projektanforderungen zu erfüllen.

Die festen Projektanforderungen sind Anforderungen ohne jeglichen Handlungsspielraum für die Projektbeteiligten. Darunter fallen insbesondere das Einhalten von Gesetzen, Verordnungen, Vereinbarungen oder Auflagen aus Genehmigungsverfahren.

Im Gegensatz dazu bieten die offenen Projektanforderungen gewisse Handlungsspielräume für die Projektbeteiligten. Zu den offenen Projektanforderungen gehören das Sicherstellen der Funktionalität, das Einhalten der Kosten- und Terminvorgaben, die Umsetzung der Umwelt- und Arbeitssicherheitsziele sowie die einwandfreie Beherrschung der Projektorganisation und der Prozesse.

1.3 Ground conditions

The Gotthard Base Tunnel passes through the following tectonic units from north to south (see Figure 5):

- The Aar Massif (predominantly gneiss and granite),
- The Tavetscher Intermediate Massif (Gneiss intercalated with phyllites and shales),
- The Gotthard Massif (predominantly gneiss and granite),
- The penninic gneiss zone (gneisses).

In the portal zones at the north and south, there are sections through loose material of many hundreds of metres length [2].

1.4 Alignment of the Gotthard Base Tunnel

The alignment of the Gotthard Base Tunnel is determined by the following constraints:

- Crossing the constructionally difficult tectonic units in the shortest possible distance,
- Minimisation of overburden depths,
- Optimisation of the intermediate starting points regarding length, gradient and accessibility,
- No direct routes beneath dams.

These constraints led to an S-shaped alignment, which in Sedrun passes between the Nalps and Santa Maria arch

Die Projektanforderungen beeinflussen die Wahl der Vortriebsmethode wesentlich [1].

1.3 Baugrundverhältnisse

Der Gotthard-Basistunnel durchfährt von Norden nach Süden die folgenden tektonischen Einheiten (siehe Bild 5):

- Das Aar-Massiv (vorwiegend Gneise und Granite),
- Das Tavetscher Zwischenmassiv (Gneise in Wechsellagerung mit Phylliten und Schiefern),
- Das Gotthard-Massiv (vorwiegend Gneise mit Graniten),
- Die penninische Gneiszone (Gneise).

In den Portalzonen im Norden und im Süden sind Lockermaterialstrecken von mehreren hundert Metern Länge zu durchfahren [2].

1.4 Linienführung des Gotthard-Basistunnels

Die Linienführung des Gotthard-Basistunnels ist durch folgende Randbedingungen bestimmt:

- Querung der bautechnisch schwierigen tektonischen Einheiten in der kürzest möglichen Distanz,
- Minimierung der Überlagerungshöhen,
- Optimierung der Zwischenangriffe bezüglich Länge, Gefälle und Zugänglichkeit,
- Keine direkte Unterfahrung von Staumauern.

Diese Randbedingungen führten zu einer S-förmigen Trassenführung, die in Sedrun zwischen den Bogenstaumauern Nalps und Santa Maria durchführt (Bild 1). Zur Verkürzung der Gesamtbauzeit wurde der Gotthard-Basistunnel in fünf Abschnitte aufgeteilt (Tabelle 1).

2 Kriterien zur Wahl der Vortriebsmethode

2.1 Generelle Kriterien aus Bauherrensicht

Für die Festlegung der Vortriebsmethode sind u.a. die folgenden Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

- Ausbruchgeometrie aus den Normalprofil-Anforderungen wie Lichtraumprofil, offener aerodynamisch wirksamer Querschnitt, technischer Nutzraum, Oberbau, Entwässerung, zweischaliger Ausbau,
- Felseigenschaften wie E-Modul, Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Durchtrennungsgrad, Quarzgehalt,
- Anzahl, Abfolge, Lage, Ausbildung und Länge von Störzonen,
- Hydrogeologie wie Bergwasserdruck, Bergwasserzutritte (sowohl initial als auch im Beharrungszustand), Bergwassertemperatur,
- Baubetriebliche Überlegungen wie Zugänglichkeit, Logistik, Loslänge, Lüftung und Kühlung,
- Umwelanforderungen,
- Bauprogramm des Abschnitts und des Gesamtprojekts,
- Materialbewirtschaftungskonzept/Verfügbarkeit von Deponievolumen,
- Risikobereitschaft des Bauherrn und des Unternehmers.

Primäres Kriterium ist der Baugrund, der je nach den vorhandenen Verhältnissen die eine oder die andere Baumethode ausschließt. Andere Kriterien wie die Umweltwelt-

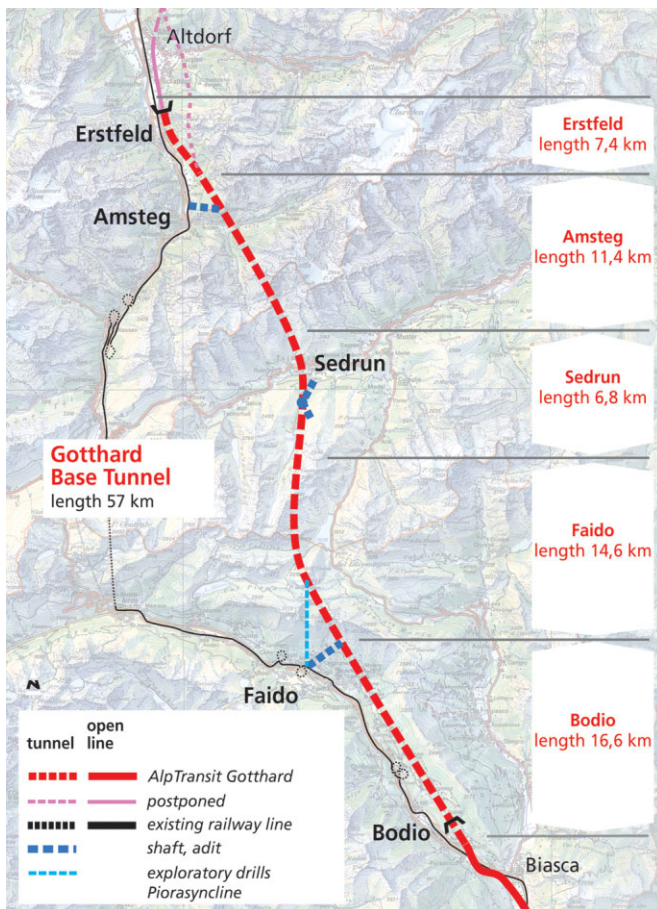


Fig. 1. Alignment of the Gotthard Base Tunnel with construction sections

Bild 1. Linienführung Gotthard Basistunnel mit Bauabschnitten

Table 1. Characteristics of the five sections in overview according to the construction design
 Tabelle 1. Charakteristiken der fünf Abschnitte im Überblick gemäß Bauprojekt

Section <i>Teilabschnitt</i>	Length <i>Länge</i> [km]	Overburden <i>Überlagerung</i> [m]	Predominant rock types <i>Vorzweigende</i> <i>Gesteinsarten</i>	Number of relevant fault zones <i>Anzahl relevante</i> <i>Störzonen</i>	Access through <i>Erschlossen durch</i>
Erstfeld	7.4	100–1000	gneiss <i>Gneise</i>	2	portal <i>Portal</i>
Amsteg	11.4	300–2100	gneiss, granite <i>Gneise, Granite</i>	7	access tunnel <i>Zugangsstollen</i>
Sedrun	6.8 (2.1 + 4.7)	1000–1700	Phyllite, gneiss <i>Phyllite, Gneise</i>	15	vertical shaft <i>Vertikalschacht</i>
Faido	14.6	1200–2300	gneiss, granite <i>Gneise, Granite</i>	14	Inclined shaft <i>Schrägstollen</i>
Bodio	16.6	100–1100	gneiss, <i>Gneise</i>	10	bypass tunnel portal <i>Umgehungsstollen/ Portal</i>

dams (Figure 1). In order to shorten the overall construction time, the Gotthard Base Tunnel was divided into five sections (Table 1).

2 Criteria for the selection of tunnelling method

2.1 General criteria in the view of the employer

For the determination of the tunnelling method, the following factors have to be taken into account, among others:

anforderungen oder die Zugänglichkeiten können auch als Ausschlusskriterium wirken. Dort wo für den Bauherrn zwingende Ausschlusskriterien fehlen, empfiehlt es sich, die Wahl der Vortriebsmethode dem Unternehmer zu überlassen. Um gleichwertige Angebote zu erhalten, ist eine umfassende Beschreibung des Baugrunds zwingend, und es empfiehlt sich, die Ausarbeitung von vollständigen Leistungsverzeichnissen für beide Vortriebsmethoden (Bild 2).

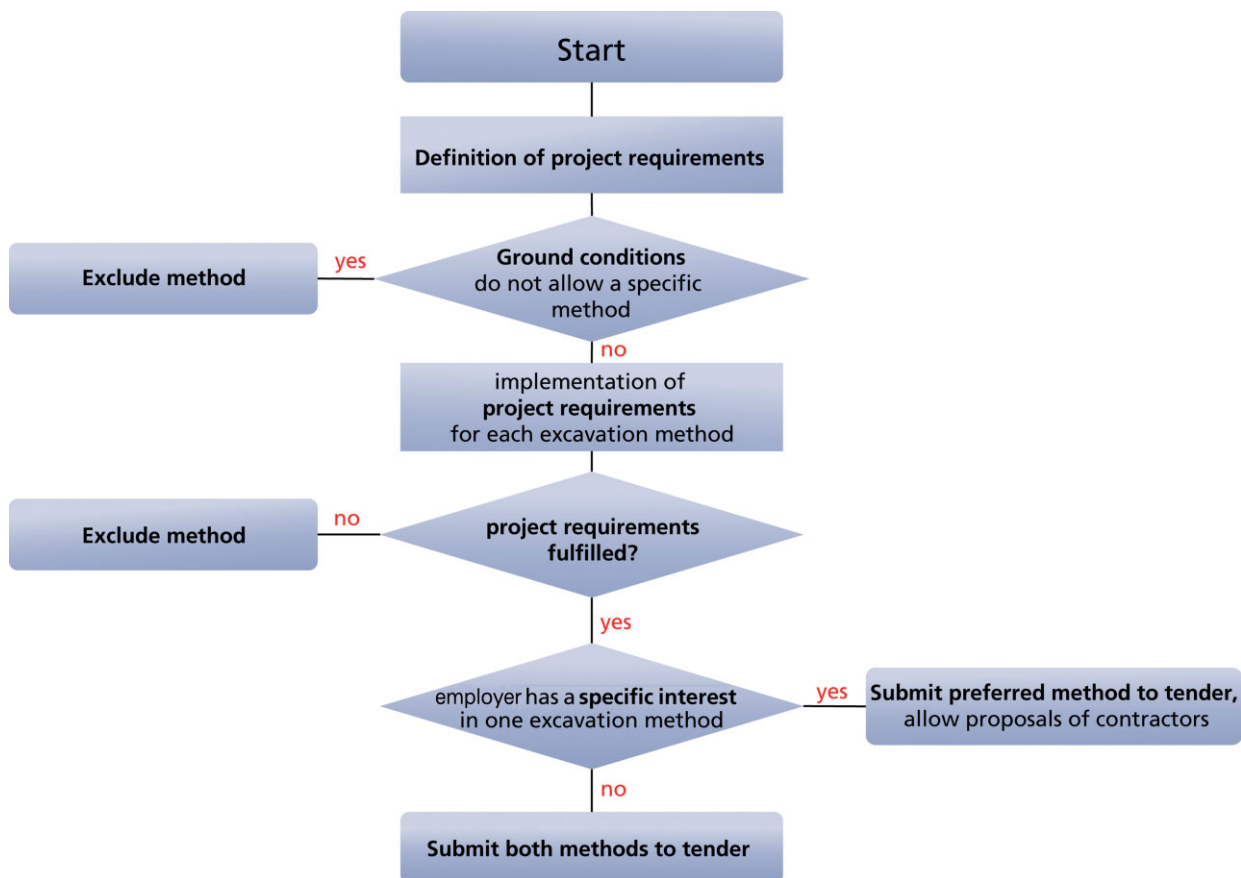


Fig. 2. General flow diagram selection of a tunnelling method
 Bild 2. Generelles Ablaufschema zur Wahl der Vortriebsmethode

- Excavation geometry from the standard profile requirements like structure gauge, open aerodynamically effective section, usable technical space, permanent way, drainage, two-layer lining,
- Rock properties like Young's modulus, compression strength, cylinder splitting strength, degree of jointing, quartz content,
- Number, sequence, location, form and length of fault zones,
- Hydrogeology like formation water pressure, formation water ingress (initial as well as steady states), formation water temperature,
- Construction operational considerations like logistics, accessibility, contract length, ventilation and cooling,
- Environmental requirements,
- Construction programme of the section and the overall project,
- Material handling concept /availability of landfill volumes,
- Risk-taking readiness of the employer and the contractor.

The primary criterion is the ground, which can exclude one or more construction methods according to the prevailing conditions. Other criteria like the environmental requirements or the accessibility can also become exclusion criteria. Where there are no forced exclusion criteria for the employer, it is recommended to leave the selection of tunnelling method to the contractor. In order to obtain equivalent bids, an exhaustive description of the ground conditions is unavoidable, and it is recommended to produce complete bills of quantities and specifications for both tunnelling methods (Figure 2).

2.2 The ground as a criterion for the selection of tunnelling method

At the Gotthard Base Tunnel, more than 90 % of the total length runs through constructionally favourable rock with the following decisive risk scenarios:

- Rock fall,
- Loosening of the crown,
- Collapses,



Fig. 3. Conventional tunnelling in squeezing rock in Sedrun
Bild 3. Konventioneller Vortrieb im druckhaften Gebirge in Sedrun

2.2 Der Baugrund als Kriterium für die Wahl der Vortriebsmethode

Am Gotthard-Basistunnel befinden sich mehr als 90 % der Gesamtlänge in bautechnisch günstigen Gesteinen mit folgenden maßgebenden Gefährdungsbildern:

- Steinfall,
- Auflockerung im Firstbereich,
- Niederbrüche,
- Spannungsbedingte Abschaltungen und Bergschlag,
- Hohe Gebirgstemperaturen,
- Berg- und Heißwasserzutritte.

Die Beherrschung dieser Gefährdungsbilder in den bautechnisch günstigen Zonen ist sowohl mit dem TBM-Vortrieb als auch mit dem Sprengvortrieb machbar. In der Phase des Bauprojekts wurden die in Tabelle 2 dargestellten Zonen als bautechnisch schwierig erkannt.

2.3 Topographie und Logistik

Die Topographie beeinflusst primär die Zugänglichkeit zu den Vortriebsstellen. Während die Portale Erstfeld und Bodio und die Vortriebsstellen für den Zwischenangriff Amsteg ohne große Hindernisse erreichbar waren, präsentierte sich die Situation in den mittleren Abschnitten Sedrun und Faido grundsätzlich anders.

Zur Optimierung der Gesamtbauzeit war es zwingend, einen Zwischenangriff vom bündnerischen Vorderreintal her zu lancieren, um die bautechnisch schwierigen Zonen parallel zu den übrigen Vortrieben auffahren zu können. Der übermäßige Installationsplatz Sedrun kam dabei auf ca. 1.350 m.ü.M. und damit rund 800 m über der Tunnelachse zu liegen. Ein 800 m tiefer Vertikalschacht mit 7,9 m nutzbarem Durchmesser dient der Erschließung der Vortriebsstellen auf Tunnelniveau. Eine Förderanlage bewegt 50 t Nutzlast über die 800 m Vertikaldistanz. Der Schachtfuß befindet sich in der Nähe des Scheitelpunkts des Gotthard-Basistunnels. Die Vortriebe der Tunnelröhren mussten somit als fallende Vortriebe ausgeführt werden. Nach Norden waren rund 2,1 km, nach Süden rund 4,6 km aufzufahren. Diese relativ kurzen Vortriebe, erschlossen über eine mehrfach unterbrochene Transportkette, führten zur Entscheidung, im gesamten Abschnitt Sedrun keinen TBM-Vortrieb zuzulassen (Bild 3).

In Faido waren vom Installationsplatz bis zum Tunnelniveau nur rund 300 m Höhendifferenz zu überwinden. Ein rund 2,7 km langer Schrägstollen mit 12,6 % Neigung gewährleistete den Zugang auch für eine allfällige TBM-Montage.

Im engeren Umfeld des Installationsplatzes Faido war es unmöglich, die benötigten Deponieflächen für das Ausbruchmaterial zu finden. Die entsprechenden Ablagemöglichkeiten standen nur in der Nähe des Südporthals Bodio zur Verfügung. Ein großer Teil des Ausbruchmaterials aus Faido musste somit durch die 17 km lange Baustelle Bodio transportiert werden, was zu einer engen logistischen Verflechtung der beiden Lose Faido und Bodio führte. Die Sicherstellung einer möglichst raschen Verbindung von Bodio nach Faido hatte größte Bedeutung im Hinblick auf die Einhaltung des Gesamtterminprogramms.

Table 2. Constructionally difficult zones at the Gotthard Base Tunnel, design phase
 Tabelle 2. Bautechnisch schwierige Zonen am Gotthard Basistunnel, Phase Bauprojekt

Name <i>Name</i>	Section <i>Teilabschnitt</i>	Length <i>Länge</i>	Characteristics of the grounds <i>Charakterisierung des Baugrunds</i>	Effects of tunnelling method <i>Auswirkung auf die Vortriebsmethode</i>
Intschizone	Amsteg	950 m, of which 100 m fault zone <i>950 m, davon 100 m Störzone</i>	pyroclastic fault zone, known from the construction of the adjacent power station <i>pyroklastische Störzone, vom Bau des benachbarten Kraftwerks her bekannt</i>	TBM tunnelling was estimated to be feasible while accepting a risk of stoppages and extra work to free the TBM <i>TBM-Vortrieb wird unter Inkaufnahme eines Stillstands und einer Kampagne zur Bergung der TBM als machbar beurteilt</i>
Fault zones at the southern edge of the Aar Massif <i>Störzonen am Südrand des Aarmassivs</i>	Amsteg	four zones with lengths from 10 to 20 m <i>vier Zonen mit Länge von 10 bis 20 m</i>	Caciritic fault zones with low strength and localised high water inflows <i>Kakiritische Störzonen mit geringer Festigkeit und z.T. hohen Wasserzutritten</i>	TBM tunnelling was estimated to be feasible while accepting a risk of stoppages and extra work to free the TBM <i>TBM-Vortrieb wird unter Inkaufnahme eines Stillstands und einer Kampagne zur Bergung der TBM als machbar beurteilt</i>
TZM-Nord	Sedrun	1200 m	transition from brittle to ductile rocks in rapid sequence, strongly cacirised Strongly squeezing behaviour due to overburden of about 900 m with radial convergences of 75 cm is predicted. <i>Wechsellage von spröden und duktilen Gesteinen in rascher Abfolge, stark kakiritisiert. Stark druckhaftes Verhalten wegen Überlagerung von ca. 900 m mit Radialkonvergenzen bis 75 cm wird erwartet.</i>	TBM drive regarded as infeasible due to the risk of jamming many times. Section can only be overcome conventionally (Figure 3) <i>TBM-Vortrieb wird wegen der Gefahr des mehrfachen Verklemmens als nicht machbar betrachtet. Durchörterung nur konventionell möglich (Bild 3).</i>
Urseren-Garvera-Zone	Sedrun	600 m	Long fault zone with sedimentary intercalations, known from the construction of the Gotthard road tunnel. Strongly squeezing behaviour due to overburden of about 900 m is predicted. <i>Lange Störzone mit sedimentären Zwischenlagerungen, vom Bau des Gotthard Straßentunnels her bekannt. Stark druckhaftes Verhalten wegen Überlagerung von bis ca. 900 m wird erwartet.</i>	TBM drive regarded as infeasible due to the risk of jamming many times <i>TBM-Vortrieb wird wegen der Gefahr des mehrfachen Verklemmens als nicht machbar betrachtet.</i>
Piora-Mulde	Faido	200 m	1st prediction “flowing ground” consisting of water-saturated sugar-grain like dolomite <i>1. Prognose „Schwimmendes Gebirge“ bestehend aus wassergesättigtem zuckerförmigem Dolomit.</i> 2nd prediction Stable marmorised dolomite at tunnel level <i>2. Prognose Standfester marmorisierter Dolomit auf Tunnelniveau</i>	TBM drive not feasible without enormous advance auxiliary measures → extensive probing led to a 2nd prediction <i>TBM-Vortrieb ohne vorgängige enorme Bauhilfsmaßnahmen nicht machbar. → umfangreiche Sondiermaßnahmen führen zu einer 2. Prognose.</i> TBM drive is feasible <i>TBM Vortrieb ist machbar.</i>
Ganna die Bodio	Bodio	420 m	Rockslide mass, containing many large blocks <i>Bergsturzmasse, stark mit großen Blöcken durchsetzt.</i>	TBM drive is not feasible Tunnelling only possible conventionally with the assistance of measures like pipe screen or grouting. <i>TBM-Vortrieb nicht machbar. Durchörterung nur konventionell mit Einsatz von Bauhilfsmaßnahmen wie Rohrschirme oder Injektionen möglich.</i>

- Stress-related ravelling and rock burst,
- High rock temperatures,
- Formation and hot water ingress.

The overcoming of these risk scenarios in the constructionally favourable zones is feasible for both TBM and drilling and blasting. For the construction phase, the zones shown in Table 2 are recognised as constructionally difficult.

2.3 Topography and logistics

The topography primarily influences the accessibility to the tunnelling locations. While the Erstfeld and Bodio portals and the tunnelling locations of the intermediate starting point at Amsteg could be reached without great obstruction, the situation in the central sections at Sedrun and Faido was quite different.

In order to optimise construction time, it was essential to start an intermediate launch from the bündnerisch Vorderrheintal in order to be able to drive the constructionally difficult zones parallel to the normal drives. The overground installation area at Sedrun was at about 1,350 m above sea level and thus lies about 800 m above the tunnel axis. An 800 m deep vertical shaft with 7.9 m usable diameter serves as access to the tunnelling locations at tunnel level. A transport device moves 50 t of usable load over the 800 m vertical distance. The foot of the shaft is near the highest point of the Gotthard Base Tunnel. The driving of the tunnel bores therefore had to be bored downhill. Northwards, about 2.1 km had to be bored and southwards about 4.6 km. These relatively short tunnel drives, accessed through a transport chain interrupted many times, led to the decision not to allow any TBM tunnelling in the entire Sedrun section.

In Faido, there was only a level difference of about 300 m from the installation area down to the tunnel. An inclined shaft about 2.7 km long with 12.6 % gradient also provided adequate access for TBM assembly.

In the immediate vicinity of the installation area at Faido, it was impossible to find the required landfill areas for the tunnel spoil. The appropriate landfill was only available near the south portal at Bodio. Most of the spoil from Faido therefore had to be transported through the 17 km long Bodio construction site, which led to a tight logistic interaction of the Faido and Bodio contracts. It was important for the overall programme to ensure a quick connection between Bodio and Faido.



Fig. 4. TBM at West Erstfeld before starting work
Bild 4. TBM West Erstfeld vor Vortriebsbeginn

Zur Terminalsicherung entschloss sich der Bauherr zur Ausschreibung eines maschinellen Vortriebs mit einer Doppelschild-Maschine für den Vortrieb der Oströhre. Dem Unternehmer war es frei gestellt, das gleiche Konzept auch für die nachlaufende Weströhre anzuwenden.

2.4 Umwelteinflüsse

Im Fall des am nördlichsten gelegenen Abschnitts Erstfeld werden Teile des naheliegenden Dorfs Erstfeld mit einer minimalen räumlichen Distanz von nur 50 bis 70 m unterfahren. Befürchtungen bezüglich unzulässiger Sprengerschütterungen veranlassten die Plangenehmigungsbehörde zu einem Verbot von Sprengungen in dieser Zone. Die in einem hohen Maß als sehr homogen prognostizierten Baugrundverhältnisse (Erstfelder Gneis) waren zudem geradezu ideal für einen TBM-Vortrieb, sodass der konventionelle Vortrieb ausgeschlossen wurde (Bild 4).

2.5 Ausbruchgeometrie

Die Ausbruchgeometrie ist ein weiterer Schlüsselfaktor für die Festlegung der Vortriebsmethode. Sehr große oder stark variable Querschnitte lassen keinen wirtschaftlich vertretbaren TBM-Vortrieb zu. Deshalb war es klar, dass die beiden Multifunktionsstellen (MFS) in Sedrun und in Faido mit ihren stark variablen Querschnitten sprengtechnisch auszuberechnen waren.

Table 3. Excavation diameter in the standard section [m] in the various sections, according to the design
Tabelle 3. Ausbruchdurchmesser im Regelquerschnitt in [m] in den verschiedenen Abschnitten, gemäß Bauprojekt

	Erstfeld	Amsteg	Sedrun North	Sedrun South	Faido	Bodio
TBM	9.40	9.55	impermissible <i>unzulässig</i>	impermissible <i>unzulässig</i>	9.40–9.50	East: 9.34 Ost: West: 9.40 West:
Drill & blast	impermissible <i>unzulässig</i>	8.90–9.40	9.40–13.10	8.60–11.40	8.70–9.70	West: variant approved West: Variante zugelassen

In order to meet the schedule, the employer therefore decided to tender a mechanised drive with a double shield machine for the eastern tube. It was left up to the contractor whether to employ the same concept for the subsequent west bore.

2.4 Environmental influences

In the case of the northernmost section at Erstfeld, parts of the nearby village of Erstfeld were passed under with a minimum separation of only 50 to 70 m. Worries about unacceptable vibration from blasting led the approval authority to forbid blasting in this zone. The rock conditions, which were mostly predicted to be very homogeneous (Erstfelder gneiss) were also ideal for a TBM drive, so that conventional tunnelling was excluded (Figure 4).

2.5 Excavation geometry

The excavation geometry is a further factor for the determination of the tunnelling method. Very large or highly variable cross-sections permit no economically justifiable TBM boring. It was therefore clear that the two multifunctional centres (MFS) in Sedrun and Faido with their very variable cross-sections had to be excavated by drilling and blasting.

The single-track running tunnels of the Gotthard Base Tunnels are designed for structure gauge EBV 4 or UIC GC. For operational reasons, a minimum free cross-section of 41 m² had to be provided for each tunnel bore. The specific constraints of each cross-section led in the design to the excavation cross-sections shown in Table 3.

2.6 Economic considerations

The cost and schedule targets are laid down in the agreement of 5 July 2000 between the federal government and the AlpTransit Gotthard AG (ATG). When deviations from the targets are recognised, the ATG is required to suggest appropriate compensation measures. Such measures could include the selection of a cheaper tunnelling method with correspondingly adapted schedule.

The federal government as the originator of the project made it clear that the maintenance of cost targets had higher priority than the maintenance of the schedule. For

Die Einspurtunnelröhren des Gotthard-Basistunnels sind für das Lichtraumprofil EBV 4 bzw. UIC GC ausgelegt. Aus betrieblichen Gründen muss für jede Tunnelröhre ein minimaler freier Querschnitt von 41 m² sichergestellt werden. Die spezifischen Randbedingungen eines jeden Abschnitts führten im Bauprojekt zu den in Tabelle 3 dargestellten Ausbruchdurchmessern.

2.6 Wirtschaftliche Überlegungen

Die Kosten- und Terminziele sind in der Vereinbarung vom 5. Juli 2000 zwischen dem Bund und der AlpTransit Gotthard AG (ATG) geregelt. Bei erkennbaren Abweichungen von der Zielerreichung ist die ATG aufgefordert, entsprechende Kompensationsmaßnahmen vorzuschlagen. Solche Maßnahmen können auch die Wahl einer kostengünstigeren Vortriebsmethode bei entsprechend angepassten Terminzielen beinhalten.

Von Seiten des Bundes als Besteller wurde klar signalisiert, dass die Einhaltung des Kostenziels eine höhere Priorität hat, als die Einhaltung des Terminziels. So wäre z.B. dem Sprengvortrieb im Abschnitt Faido eine um ein Jahr längere Bauzeit eingeräumt worden, sofern ein entsprechender kostenmäßiger Nutzen daraus entstanden wäre.

Die prognostizierten homogenen Verhältnisse und die große Vortriebslänge im Abschnitt Bodio ließen den konventionellen Vortrieb in der Beurteilung des Bauherrn als nicht wirtschaftlich erscheinen. Deshalb wurde dieser nicht ausgeschrieben, jedoch als Unternehmervariante zugelassen.

3 Ausschreibung und Vergaben

Aufgrund der vorgängig aufgelisteten Kriterien ergaben sich in der Ausschreibungsphase die folgenden Ausschlüsse von Bauverfahren durch den Bauherrn:

- Abschnitt Erstfeld: Kein Sprengvortrieb wegen befürchteter Immissionen,
- Abschnitt Sedrun: Kein TBM-Vortrieb wegen Baugrund und unlösbarer Logistik,
- Multifunktionsstellen: Kein TBM-Vortrieb wegen stark variablen geometrischen Verhältnissen.

In allen anderen Einspurtunnelbereichen waren sowohl der TBM-Vortrieb als auch der Sprengvortrieb denkbar.




Besuchen Sie uns im Internet unter
► www.ucm-heidelberg.de



**Wir verhindern
 Kalkablagerungen
 in Tunnelbauwerken
 durch umweltverträgliche
 Konditionierung**

Table 4. Tender concept and tender structure
 Tabelle 4. Ausschreibungskonzept und Angebotsstruktur

	Erstfeld	Amsteg	Sedrun	Faido	Bodio
Official solution <i>Amtslösung</i>	gripper TBM <i>Gripper-TBM</i>	gripper TBM <i>Gripper-TBM</i>	drill & blast <i>Sprengvortrieb</i>	gripper TBM <i>Gripper-TBM</i>	east: shield TBM <i>Ost: Schild-TBM</i> west: gripper TBM <i>West: Gripper-TBM</i>
Official variant <i>Amtsvariante</i>	none <i>keine</i>	drill & blast <i>Sprengvortrieb</i>	none <i>keine</i>	drill & blast <i>Sprengvortrieb</i>	none <i>keine</i>
Approved contractor's proposals <i>Zugelassene Unternehmensvarianten</i>	only based on TBM boring <i>nur auf Basis TBM-Vortrieb</i>	“slower” TBM drive (same construction time as SPV) <i>„langsamer“ TBM-Vortrieb (gleiche Bauzeit wie SPV)</i>	top heading drive <i>Kalottenvortrieb</i>	support concept <i>Sicherungskonzept</i>	gripper TBM <i>Gripper-TBM</i>
				Contract combination exploiting the longer overall schedule of the SPV <i>Loskombination, unter Berücksichtigung der längeren Gesamtbauphase des SPV</i>	
Bids for the official solution <i>Angebote zur Amtslösung</i>	5	5	5	6 + 2	6
Bids for official variants <i>Angebote zu Amtsvarianten</i>	–	4	–	4	–
Contractor's proposal bids <i>angebotene Unternehmensvarianten</i>	7	4	3	5	10
award <i>Vergabe</i>	Contractor's proposal, TBM with larger diameter and global contract <i>Unternehmervariante, TBM mit größerem Durchmesser und Globalvertrag</i>	Official solution <i>Amtslösung</i>	Official solution <i>Amtslösung</i>	Contractor's variant, combined contracts with gripper TBM [3], [4] <i>Unternehmervariante, Loskombination mit Gripper-TBM [3], [4]</i>	

example, the drilling and blasting advance in the Faido section was allowed about one year more construction time as long as a corresponding cost saving could be achieved.

The predicted homogeneous conditions and the great length of the Bodio section meant that drilling and blasting did not seem economic in the view of the employer. This was therefore not tendered, but permitted as an alternative proposal.

3 Tendering and award of the contract

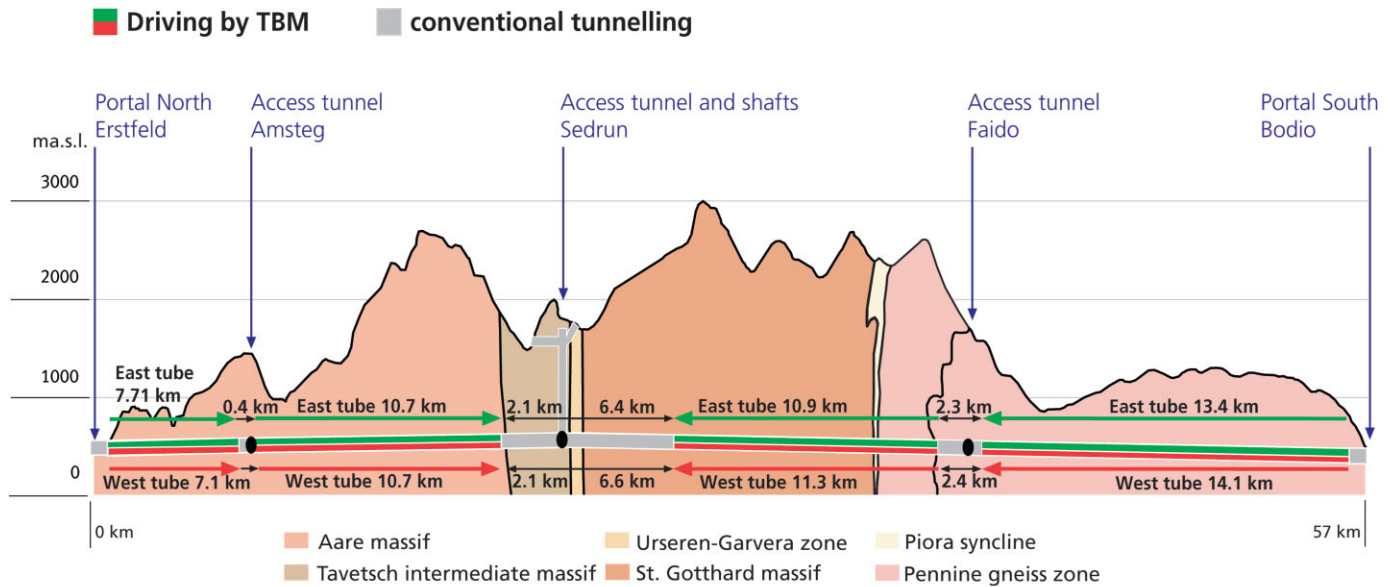
Due to the criteria listed above, the following construction processes were excluded in the tendering phase:

- Erstfeld section: no drilling and blasting due to fear of emissions,
- Sedrun section: no TBM drive due to ground conditions and unsolvable logistics,
- Multifunction centres: no TBM drive due to the strongly variable geometries.

Der Bauherr entschied deshalb, für die Abschnitte Amsteg und Faido den TBM-Vortrieb als Amtslösung und den Sprengvortrieb als Amtsvariante mit einem voll ausgearbeiteten Projekt und einem entsprechenden Leistungsverzeichnis auszuschreiben. Damit sollte die Wahl der Vortriebsmethode einer möglichen Spekulation entzogen werden. Den Unternehmern war es freigestellt, die Sprengvariante anzubieten oder nicht.

Die Tabelle 4 zeigt, dass das gewählte, offene Angebotskonzept von den Anbietern als Chance wahrgenommen wurde. Die meisten Anbieter offerierten nebst dem obligatorisch anzubietenden Amtsvorschlag auch die fakultative Amtsvariante. Zudem wurde eine große Zahl von Unternehmensvarianten eingereicht.

Der Zuschlag erfolgte schließlich in drei von fünf Losen an Unternehmensvarianten. Im Fall des Abschnitts Erstfeld handelt es sich um das Angebot eines größeren Durchmessers (9,55 m) in Kombination mit einer kommerziellen Variante (Globalangebot mit erhöhter Risiko-



Gesamtlänge Tunnelsystem <i>Total length tunnel system</i>	151.840 km	100%
TBM-Vortriebe <i>TBM-drives</i>	98.135 km	64.6%
Konventionelle Vortriebe <i>Conventional Tunnelling</i>	53.705 km	35.4%

Fig. 5. Geological longitudinal section with implemented tunnelling methods
Bild 5. Geologisches Längsprofil mit ausgeführten Vortriebsarten

In all other single-bore tunnels sections, both TBM tunnelling and drilling and blasting were conceivable. The employer therefore decided to tender TBM tunnelling as the official solution and drilling and blasting as the official variant with a complete design and associated specification and bills for the Amsteg and Faido sections. This was intended to exclude any speculation from the selection of tunnelling method. The contractors were free to bid with drilling and blasting or not.

Table 4 shows that the chosen, open tendering concept was seen as an opportunity by the bidders. Most bidders also offered facultative official variants in addition to the official suggestion, which had to be bid. In addition, a great number of contractor's proposals were handed in.

Contracts were finally awarded to contractor's variants for three of the five sections. For the Erstfeld section, this was a bid with a larger diameter (9.55 m) in combination with a commercial variant (global bid with more risk being undertaken by the contractor). In the second case of the contract combination Faido/Bodio with altogether only two TBMs instead of four machines for both contracts, it can be stated that the chosen variants would not have been feasible without the decision to extend the overall schedule for the drilling and blasting drive.

4 Construction

Based on the already described tendering and award process, the contracts were awarded. On 23 March 2011,

übernahme durch den Unternehmer). Im zweiten Fall der Loskombination Faido/Bodio mit insgesamt nur zwei TBM anstelle von vier Maschinen für beide Lose kann festgehalten werden, dass die gewählte Variante ohne die Festlegung eines erweiterten Gesamtterminrahmens für den Sprengvortrieb nicht machbar gewesen wäre.

4 Ausführung

Auf der Basis des vorher geschilderten Ausschreibungs- und Vergabeverfahrens wurden die Werkverträge abgeschlossen. Am 23. März 2011 wurde der Vortrieb am Gotthard-Basistunnel beendet. Rückblickend kann festgehalten werden, dass sich das gewählte Konzept grundsätzlich bewährt hat. Einzig im Abschnitt Bodio mussten in der Oströhre wegen des Verzichts auf die Schild-TBM erhöhte Vortriebsbehinderungen in Kauf genommen werden, was zu einer verspäteten Ankunft der TBM in der MFS Faido führte. Da aber gleichzeitig noch größere bautechnische Schwierigkeiten im Bereich der MFS Faido [5] zu bewältigen waren, hätte die rechtzeitige Ankunft im Hinblick auf das Gesamtterminprogramm keinen günstigen Einfluss gehabt. Ohne die Schwierigkeiten in der MFS Faido hätte sich der Verzicht auf die Schild-TBM aber wohl auf das Gesamtterminprogramm ausgewirkt.

Die Verspätungen mit den Vortrieben in Faido [6] und Bodio führten schließlich dazu, dass der konventionelle Süd-vortrieb von Sedrun aus als terminsichernde Maßnahme um rund 2 km verlängert wurde.

the tunnelling work at the Gotthard Base Tunnel was completed. Looking back, it can be stated that the chosen procedure was basically successful. Only in the Bodio section did increased obstructions to tunnelling have to be accepted due to the omission of the shield TBM, which led to a late arrival of the TBM in the MFS Faido. As, however, major constructional difficulties had to be overcome at the MFS Faido [5] in any case, the arrival at the scheduled date would not actually have had any favourable effect on the overall programme. Without the difficulties at the MFS Faido, the omission of the shield TBM would have lengthened the overall programme.

The delays to the drives in Faido [6] and Bodio finally led to the conventional south drive from Sedrun being lengthened by about 2 km to ensure the schedule.

5 Conclusions

For the selection of tunnelling methods, ground conditions are the most important factor. In most cases, there would probably be ground conditions feasible for both TBM boring and drilling and blasting.

Unless there are other essential factors specific to the project (e.g. vibration limitation requirements, geometry, accessibility), which exclude one method or the other, the selection of tunnelling method should be left to economic criteria. This means that both TBM tunnelling and drilling and blasting have to be fully tendered with equal weighting in order to obtain comparable bids.

At the Gotthard Base Tunnel, these considerations were purposefully put into practice. With hindsight, it can be stated that the principle described above proved successful on every section and the optimal tunnelling methods for the overall project were used.

References

- [1] *Ehrbar, H.*: Gotthard Base Tunnel, Switzerland, Experiences with different tunnelling methods. Seminario Internacional South American Tunnelling, 2008.
- [2] *Ziegler, H.J.*: Gotthard-Basistunnel – Geologische Erkenntnisse. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2008.
- [3] *Böckli, O.*: Abschnitt Faido – Bisherige Erfahrungen mit dem TBM-Vortrieb. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2008.
- [4] *Gollegger, J., Priller, A., Rausch, M.*: The use of open tunnel boring machines in squeezing rock in the Gotthard Base Tunnel/Einsatz von offenen Tunnelbohrmaschinen bei druckhaftem Gebirge im Gotthard Basistunnel. Geomechanics and Tunnelling 2 (2009), No. 5, pp. 591–600.
- [5] *Flury, S.*: Gotthard-Basistunnel, Abschnitt Faido – Umgang mit Chancen und Gefahren im anspruchsvollsten Abschnitt des Gotthard-Basistunnels. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2009.
- [6] *Sala, A.*: Gotthard-Basistunnel, Abschnitt Faido – Erfahrungen mit Nachprofilierungen in der druckhaften Strecke des TBM-Vortriebs Faido. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2010.

5 Schlussfolgerungen

Für die Wahl der Vortriebsmethode sind primär die Baugrundverhältnisse maßgebend. In der Mehrzahl der praktischen Fälle dürften aber Baugrundverhältnisse vorliegen, die sowohl den TBM-Vortrieb als auch den Sprengvortrieb zulassen.

Sofern nicht zwingende Projekttrandbedingungen (z.B. Anforderungen des Erschütterungsschutzes, geometrische Größen, Zugänglichkeit) die eine oder die andere Methode ausschließen, soll die Wahl der Vortriebsmethode aufgrund wirtschaftlicher Kriterien gefällt werden. Dies bedingt, dass in solchen Fällen sowohl der TBM-Vortrieb als auch der Sprengvortrieb vom Bauherrn gleichwertig auszuschreiben sind, um vergleichbare Angebote zu erhalten.

Am Gotthard-Basistunnel wurden diese Überlegungen konsequent angewendet. Rückblickend kann festgestellt werden, dass sich das beschriebene Prinzip bewährt hat und grundsätzlich in jedem Abschnitt die für das Gesamtprojekt optimale Vortriebsmethode zum Einsatz kam.



Dipl.-Ing. ETH Heinz Ehrbar
heinz.ehrbar@alptransit.ch

AlpTransit Gotthard AG
Zentralstraße 5
6003 Luzern
Switzerland



Dipl.-Ing. FH Alex Sala
asala@amberg.ch

Amberg Engineering AG
Trockenloostraße 21
Postfach 27
8105 Regensdorf-Watt
Switzerland



Dipl.-Ing. ETH Raphael Wick
r.wick@gpag.ch

Gähler und Partner AG
Badstraße 16
5408 Ennetbaden
Switzerland