

# GOTTHARD-BASISTUNNEL (GBT)



## AlpTransit, Gotthard-Basistunnel, Schweiz

Die Gotthardroute ist Teil der internationalen Nord-Süd-Alpentransversale. Der Basistunnel mit einer Länge von 57 km und einer maximalen Überlagerung von bis zu 2'300 m ist der längste Eisenbahntunnel der Welt und ermöglicht eine Höchstgeschwindigkeit von  $V_{\max}$  250 km/h.

### Projektumfang

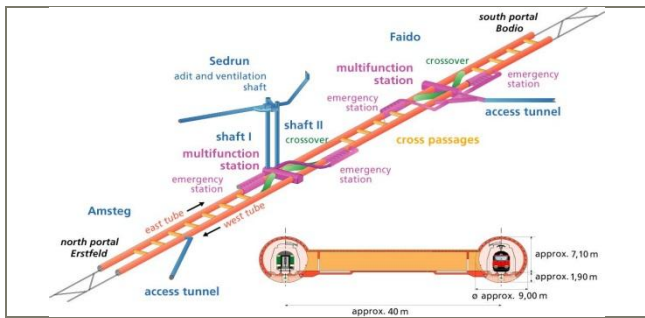
- 2 parallele Einspurtunnel mit Durchmesser von 9 – 13 m und je 57 km Länge, von Erstfeld bis Bodio. Zusammen mit Zugangstunnels, Querschlägen (alle 312 m) und Schächten summieren sich die Untertagebauten auf 157 km Länge.
- 2 Multifunktionsstellen (MFS) in Sedrun und Faido
- Unterteilung in 5 Teilabschnitte mit 3 Zwischenangriffen:
  - Erstfeld 7.7 km
  - Amsteg 11.3 km
  - Sedrun 8.6 km inkl. MFS
  - Faido 13.4 km inkl. MFS
  - Bodio 16.0 km

### Herausforderungen

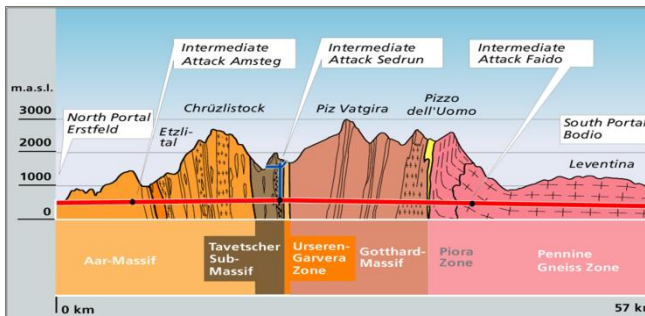
- Alpine Geologie, massive tektonische Störzonen
- Überlagerung 2'300 m, Nachgiebiger Ausbau mit Radialdeformation bis 0.8 m
- Hohe Felstemperaturen bis zu 44 °C
- Lange Projektdauer, komplexe Logistik
- Hohe Ansprüche an Qualität und Dauerhaftigkeit

### Amberg Leistungen (Sedrun / Faido / Bodio)

- Alle Projektphasen vom Auflageprojekt, Bauprojekt, Submission, Ausführungsprojekt bis zur Bauwerksdokumentation inkl. Bauleitung
- Stabilitäts- und Tragsicherheitsnachweis, Geotechnische Baubegleitung, Risikoanalyse
- Planung / Ausschreibung, Test- und Inbetriebsetzung vieler betriebs- und sicherheitstechnischen Ausrüstungen (Rohbauausrüstung) für den gesamten Tunnel



■ Schematische Darstellung des Basistunnels



■ Vereinfachtes geologisches Profil des GBT



■ Bergschlag bei der Multifunktionsstelle Faido

## AMBERG FAKTEN

### Auftragssumme Ingenieurgesellschaft (IG)

- IG mit Pöyry Infra AG und Lombardi SA Ingegneri Consulenti unter Federführung von Amberg Engineering AG: Total ca. 485 Mio. CHF

### Auftragssumme Amberg

- Total ca. 165 Mio. CHF

### Projektphasen und Zeitraum

- Planungsbeginn 1990
- Ausführung 1993 – 2016

### Auftragsdetails

#### Abschnitt Sedrun mit Multifunktionsstelle (MFS)

- Zugangsstollen 1 km Länge, Querschnitt 38 m<sup>2</sup>
- 2 vertikale Schächte, Tiefe ca. 800m, Durchmesser 8.6 m bzw. 7.0m
- Entlüftungs-Schrägschacht Länge 255 m, 14 m<sup>2</sup>
- Multifunktionsstelle mit Nothaltestellen auf Ebene Einspurttunnel mit 1.7 km Länge
- 2 Einspurttunnel je 6.9 km Länge, Querschnitt 60 – 135 m<sup>2</sup>
- Sprengvortrieb für Tunnel und MFS

#### Abschnitt Faido mit Multifunktionsstelle (MFS)

- Zugangsstollen 2.6 km, Gefälle 12.7 %, 63 m<sup>2</sup>
- Multifunktionsstelle mit Nothaltestellen auf Ebene Einspurttunnel mit 2.3 km Länge, Maximale Ausbruchfläche 328 m<sup>2</sup> (Verzweigungsbauwerk)
- 2 Einspurttunnel je 11.1 km, Querschnitt 70 m<sup>2</sup>
- TBM Vortrieb für Tunnel, Sprengvortrieb für MFS

#### Abschnitt Bodio

- 2 Einspurttunnel je 16.0 km, 63 m<sup>2</sup>, davon Lockergesteinsabschnitt / Tagbautunnel ca. 800 m
- Für Tunnel: TBM Vortrieb, z. T. Sprengvortrieb, Rohrschirm im Lockergestein (ca. 105 m<sup>2</sup>)

## KUNDEN FAKTEN

### Gesamtkosten

- Total ca. 12.2 Mia CHF

### Überblick Gesamtprojekt

- 2 parallele Einspurttunnel mit Durchmesser von 9 – 13 m und je 57 km Länge, von Erstfeld nach Bodio
- Die Gesamtlänge von 57 km ist unterteilt in die 5 Teilabschnitte: Erstfeld, Amsteg, Sedrun (mit MFS), Faido (mit MFS) und Bodio
- Vortrieb von den Portalen und 3 Zwischenangriffen bei Amsteg, Sedrun und Faido

### Geologie

- Mehrheitlich kristalliner Fels, die kristallinen Massive sind unterbrochen durch tektonische Zonen mit sedimentären Einschaltungen.
- Die 3 kristallinen Massive beinhalten das Aare Massiv im Norden, das Gotthard Massiv und die penninische Gneisszone im Süden.
- Hauptsächliche Gefährdungen sind die Bergschläge, verursacht durch den hohen Überlagerungsdruck und die Instabilitäten von schlechten Felspartien zusammen mit Wasserzutritt unter extremem Druck.

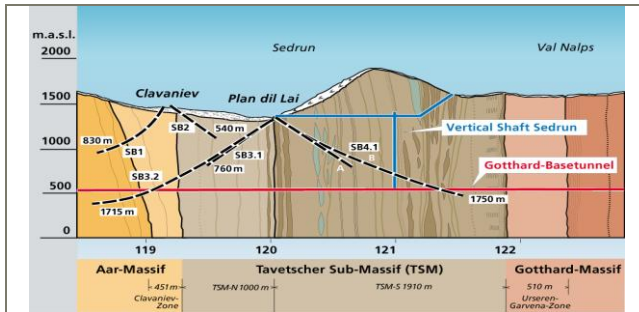
### Kontaktperson



Dieter Schwank  
CEO  
Alp Transit Gotthard AG (ATG)

Tel: +41 41 226 06 06  
email: dieter.schwank@alptransit.ch

## HERAUSFORDERUNG SEDRUN

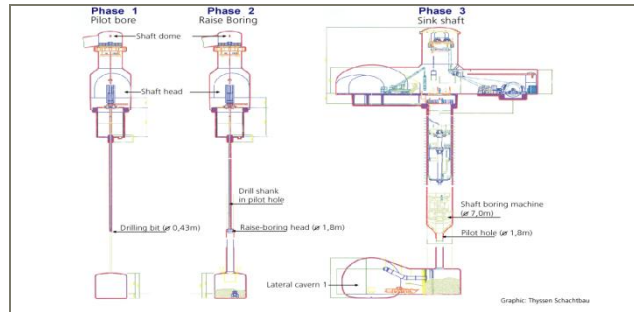


- Geologisches Profil vom Teilabschnitt Sedrun

### Schwierige Geologie und Logistik

- Der Teilabschnitt Sedrun stellte am gesamten Projekt die höchsten Anforderungen an die Logistik und an die Beherrschung der schwierigen Gebirgsverhältnisse.
- Aufgrund der komplexen geologischen Bedingungen wurden von der Oberfläche her ein umfassendes Erkundungsprogramm mit bis zu 1'750 m langen Sondierbohrungen durchgeführt.
- Dennoch wurde der gesamte Vortrieb mit Vorauserkundungsmassnahmen begleitet.
- Die Bohrgeräte mussten mit Bohrpreventern ausgerüstet werden, um Wasser- bzw. Schlamm / Sandeinbrüche mit hohen Drucken (bis 200 bar) zu verhindern.
- Im Tavetscher Zwischenmassiv Nord, nördlich der MFS war die Geologie mit kakiritischen Gneisen und Schiefen extrem schwierig (druckhaftes Gebirge).

## TECHNISCHES VORGEHEN SEDRUN



- Abteufen des Schachtes vom Zugangsstollen aus

### Zugangsstollen und Vertikalschächte

- Der Zugangsstollen (1 km), der Lüftungsschrägschacht (255 m) und die Kaverne oberhalb der vertikalen Zugangsschächte (je 800 m) wurden in vorbereitenden Baulosen erstellt.
- Der Schacht 1 mit einem Ausbruchdurchmesser von 8.60 m wurde sprengtechnisch aus der Schachtkopfkaverne auf Höhe Zugangsstollen her abgeteuft.
- Der Schacht 2 wurde später in drei Phasen erstellt:
  - In einer 1. Phase wurde eine Pilotbohrung mit Durchmesser von 43 cm abgeteuft.
  - In einer 2. Phase wurde diese Bohrung mit einer Raise-Bohrung von unten nach oben auf den Durchmesser von 1.80 m aufgeweitet.
  - In einer 3. Phase wurde der Schacht 2 auf den finalen Ausbruchdurchmesser von 7.0 m unter Verwendung einer Topdown-TBM aufgeweitet.

## TECHNISCHE LÖSUNGEN SEDRUN



- MFS Sedrun, Tunnelverzweigung

### Tunnelvortriebe in der Sedrun MFS

- Die gesamte Logistik für den Vortrieb von 2 x 8.6 km Tunnel sowie der MFS (4 gleichzeitige Vortriebe und der Ausbruch der MFS) mussten durch die beiden Vertikalschacht und den Zugangsstollen her ver- und entsorgt werden. Die zweimal gebrochene Förderkette verlangte eine durchdachte Planung der Logistik.
- Mehr als 6'000 Tonnen Aushubmaterial mussten jeden Tag transportiert werden. Total wurden 5.46 Mio. t Ausbruch ab- und 1.41 Mio. t Zuschlagstoffe antransportiert. Die Schachtförderanlage mit Förderkörben wies bei einer Nutzlast von 50.8 t eine Leistung von 4.2 MW auf. Maximale Fördergeschwindigkeit 18 m/s.
- Die druckhaften Verhältnisse im Tavetscher Zwischenmassiv konnten dank eines ausgeklügelten Ausbausystems (nachgiebiger Stahlausbau) jederzeit gut beherrscht werden. Es wurde im Vollausbuch täglich rund 1 m Tunnel ausgebrochen.

## HERAUSFORDERUNGEN FAIDO

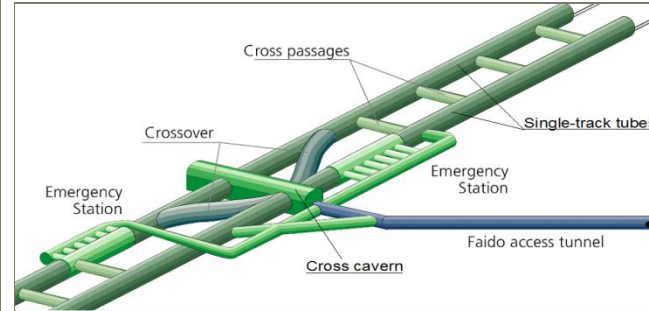


- Gebirgsschlag / Wiederherstellung mit Stahleinbauten

### Gebirgsschläge / Instabilitäten in Störzonen

- Die Probleme in Bezug auf die massiven Deformationen ( $> 1$  m Radialdeformation) in der Umgebung einer grösseren Störzone konnten mit Hilfe von massiven Ankerungen (bis zu 975 m Anker pro TM) und nachgiebigem Ausbau gelöst werden, ebenso die Stabilisierung der Bereiche mit Gebirgsschlägen.
- Gebirgsschläge wurden in mehreren Vortrieben aufgrund der hohen Überlagerung (durchschn. 1500 m) beobachtet. Diese Gebirgsschläge induzierten Mikro-Erdbeben bis Stärke 2.4 (Richterskala), die u. a. vom schweizerischen Erdbebedienst in der Region Faido registriert wurden.
- Trotz immensen Schwierigkeiten beim Ausbruch der MFS Faido gelang es, diese rechtzeitig so vorzubereiten, dass die beiden TBM's aus Bodio zeitgerecht durchschlagen konnten. Sie wurden teildemontiert und durch die vorbereitete MFS Richtung Norden verschoben, wo sie den Vortrieb Richtung Sedrun aufnehmen konnten.

## TECHNISCHES VORGEHEN FAIDO

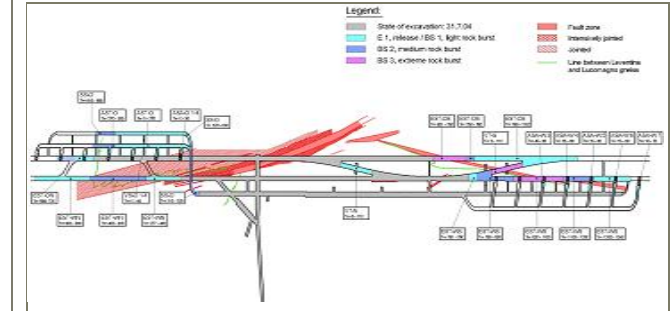


- Schema der MFS Faido (geplante Ausführung)

### Geplante MFS Faido

- Die MFS Faido befindet sich am Ende des Zugangstollens Faido und erstreckt sich auf einer Länge von 2.3 km.
- Die MFS besteht aus 2 Nothaltestellen, welche durch eine Überführung miteinander verbunden sind. Durch diese Fluchtstollen können Personen im Ereignisfall in die andere Tunnelröhre evakuiert werden.
- Die Fluchtstollen werden durch eine unabhängige Frischluftversorgung unter Überdruck gesetzt, die Rauchgase werden in einem separaten Abluftsystem über die Lüftungszentrale beim Portal des Zugangstollens abgesaugt. Diese Systeme bieten die grösstmögliche Sicherheit für die Zugspassagiere.
- Die zwei Verbindungstunnel zwischen den Tunnelröhren dienen im Unterhaltsfall einer Tunnelröhre zur Überfahrt in die Betriebsröhre.
- Die Querkaverne sowie weitere Kavernen dienen zur Aufnahme der Bahninfrastrukturausrüstung.

## TECHNISCHE LÖSUNGEN FAIDO



- Angepasste Planung MFS aufgrund Störzone (rot)

### MFS Faido, Anpassung an Geologie

- Unerwartet fuhr man im Bereich der MFS in eine schleifend verlaufende Störzone.
- Ein umfangreiches Untersuchungsprogramm (Bohrungen, Seismik) erlaubte darauf, die beste Anordnung für die MFS festzulegen.
- Mit dem Resultat der Untersuchungen konnte die Planung der MFS angepasst werden, sodass die grösseren Kavernen und der Tunnelverzweiger mit Ausbruchquerschnitten bis zu 328 m<sup>2</sup> sowie die Nothaltestelle in besseres Felsgestein im südlichen Bereich der Zone platziert werden konnten.
- Die Felsverhältnisse zwangen zu einer kompletten Umplanung der MFS Faido im Laufe der Bauarbeiten, was für die Projektgenieure und die Bauleitung eine sehr grosse – wohl die grösste Herausforderung am ganzen Tunnel darstellte.
- Der Unternehmer arbeitete teilweise an 7 Angriffsstellen gleichzeitig, um die Termine halten zu können.

## HERAUSFORDERUNGEN BODIO



- Vortrieb des Teilabschnitts Bodio

### Teilabschnitt Bodio, variable Geologie

- Rund 200 m nach dem Vortriebsstart traf die TBM im Leventinagneis auf eine unerwartete flachliegende Störzone mit nachbrüchigem Verhalten auf mehreren hundert Metern Länge. Dies führte zu Niederbrüchen von bis 6 m Höhe.
- Gegen Ende des Vortriebs im Bereich des Übergangs von den Leventina- zu den Lucomagnogneisen führten Deformationen von bis zu 30 cm zu einem Verklemmen der TBM und einer späteren Nachprofilierung auf knapp einem Kilometer Länge.
- Durchschnittliche Vortriebsleistungen von 9.6 m / Arbeitstag konnten für die westliche Röhre und 10.4 m / Arbeitstag für die östliche Röhre erzielt werden.
- Zusätzlich wurden 51 Querschläge ausgebrochen und verkleidet.

## TECHNISCHES VORGEHEN BODIO



- Vortrieb und Abdichtung des Tunnelausbaus

### Mehrfach Baustellenkonzept Bodio Abschnitt

- Die Ausbrucharbeiten der Loskombination Bodio-Faido erstreckten sich über eine Länge von bis zu 30 km, was enorme logistische Anforderungen stellte.
- Der Ausbruch und die Abdichtung / Verkleidung mussten parallel ausgeführt werden. Das Projekt musste so gestaltet werden, dass dies mit einem zweigleisigen Baubetrieb möglich war.
- Zusätzlich zu den beiden TBM- Vortrieben und dem Ausbau des Tunnels wurden die Querschläge erstellt und verkleidet.
- Die langen Transportdistanzen führten zu speziellen Anforderungen an die Betontechnologie (lange Offenzeiten des Frischbetons).

## TECHNISCHE LÖSUNGEN BODIO



- Portal Süd in Bodio

### Portal Süd in Bodio

- Ein Umgehungsstollen mit einer Länge von 1'200 m wurde sprengtechnisch vorgetrieben, um die Lockergesteinszone im Portalbereich zu umgehen. Damit konnte eine zeitliche Entflechtung erreicht werden. Die beiden TBM-Vortriebe nach Norden starteten je in einer Montagekaverne am Ende des Umgehungsstollens.
- Durch einen 3.2 km langen Schutterstollen (TBM D = 5.0 m) wurden über ein 3.7 km langes Förderband über 10 Mio. t Ausbruchmaterial auf die Deponie im benachbarten Bleniotal transportiert.
- Die Vortriebsarbeiten in der ca. 400 m langen Lockergesteinsstrecke Bodio mit mächtigen Bergsturzaflagerungen (bis hausgrosse Blöcke) fanden im Schutze von Rohrschirmen und Injektionen im Teilausbruch Kalotte / Strosse statt. Es wurde eine durchschnittliche Tagesleistung von 0.7 m erreicht.
- Der Lockergesteinsstrecke vorgelagert ist eine 380 m lange Tagbaustrecke.

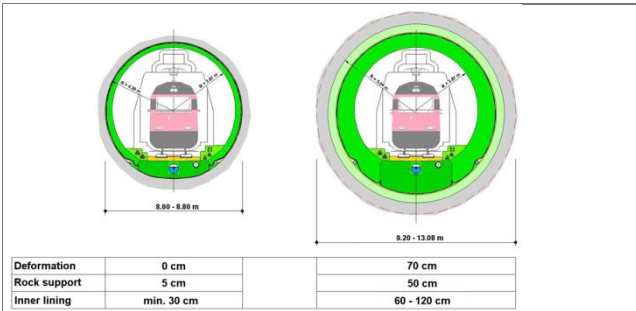
## ABSCHNITT SEDRUN



■ Felssicherung mit Stahleinbau in einer Störzone



■ Bauinstallationen im Abschnitt Sedrun



■ Typische Ausbauquerschnitte

## FAIDO MULTIFUNKTIONSSTATION (MFS)



■ Schwieriger Fels im Bauabschnitt der MFS Faido



■ Fertigstellung Vortrieb in der MFS Faido



■ Rohbau fertiger Tunnelabschnitt

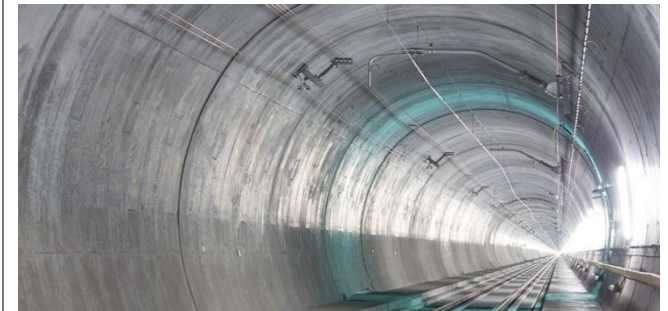
## ABSCHNITT FAIDO UND BODIO



■ Abraumtransport in Bereich des Südportals



■ Lüftungsbauwerk bei Faido



■ Betriebsbereiter Tunnel

## ERSTE DURCHFABRT



■ Blick auf die Eröffnungsfeierlichkeiten in Erstfeld



■ Erste offizielle Durchfahrt mit hohen Staatsgästen



■ Podiumsgespräch mit einigen Protagonisten

## FESTREDEN ZUR ERÖFFNUNG



■ Festrede Bundesrätin Frau Doris Leuthard (UVEK)



■ Blick in den Führererstand bei 1. Durchfahrt



■ Beifall für die Ingenieure Gruber und Sala

## ERÖFFNUNGSFEIERLICHKEITEN



■ Bauherr und Bundesräte bei der Eröffnung



■ Amberg Ingenieure genießen die 1. Durchfahrt



■ Ingenieure im Gespräch mit Bundesrätin Leuthard

## BETEILIGTE SCHLÜSSELPERSONEN VON AMBERG



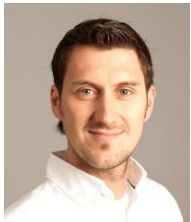
**Michael Rehbock-Sander**  
Dipl. Bauingenieur  
Projektleiter Schachtbau- und Förderbetrieb,  
Projektleiter TA Faido, Mitglied IG-Leitung

[mrehbock@amberg.ch](mailto:mrehbock@amberg.ch)



**Thomas Jesel**  
Dipl. Bauingenieur  
Projektleiter Teilabschnitte Bodio und Faido

[tjesel@amberg.ch](mailto:tjesel@amberg.ch)



**Roland Trunk**  
Dipl. Bauingenieur  
Projektleiter Stellvertreter Teilabschnitt Faido

[rtrunk@amberg.ch](mailto:rtrunk@amberg.ch)



**Sebastian Bischoff**  
Dipl. Bauingenieur FH  
Projektleiter Portalgebäude Faido

[sbischoff@amberg.ch](mailto:sbischoff@amberg.ch)



**Alex Sala**  
Dipl. Bauingenieur FH  
Gesamtleiter der Ingenieurgemeinschaft GBTS

[asala@amberg.ch](mailto:asala@amberg.ch)

## AMBERG TEAM @ WORK



Urheberrecht: Amberg Engineering AG, Trockenloostr. 21, CH 8105 Regensdorf-Watt  
Bildquellen: AlpTransit Gotthard AG, Zentralstrasse 5, CH 6003 Luzern