

# **Bewältigung von Querschnitten bis 330 m<sup>2</sup> bei den Multifunktionsstellen des Gotthard Basistunnels**

Rolf Stadelmann

Amberg Engineering AG

## Kolloquium „Bergmännisches Auffahren von grossen Querschnitten“

13. Dezember 2007, ETH Zürich

### Bewältigung von Querschnitten bis 330 m<sup>2</sup> bei den Multifunktionsstellen des Gotthard Basistunnels

Rolf Stadelmann

IG GBTS, Amberg Engineering AG

---

Kurzfassung: Die Teilabschnitte Sedrun und Faido des Gotthard Basistunnels verfügen über eine Multifunktionsstelle (MFS). Die MFS beinhalten sowohl Kavernen, Abluftstollensysteme, Nothaltestellen und Tunnelwechsel. Die Tunnelwechsel verbinden die Einspurröhren und ermöglichen hiermit den Zügen in Notsituationen den Wechsel von einem Einspurtunnel in den anderen. Dieser Beitrag beschreibt den Bau bzw. die Bauabläufe der vier Verzweigungsbauwerke in der MFS Faido und beispielhaft einen Verzweigungsbereich der MFS Sedrun. Die Besonderheiten der schwierigen Geologie und der eingebrachten Ausbruchsicherungen werden für jede Tunnelverzweigung in der MFS Faido dargestellt. Beispielhaft für ein Verzweigungsbauwerk mit geringen Deformationen in gutmütiger Geologie wird eine Verzweigung der MFS Sedrun beschrieben. Des weiteren werden die Messinstrumentierung der MFS und die Bemessung der Innenschale dargelegt.

Summary: *The Sedrun und Faido sections each consist of a multifunctional station (MFS). The MFS contain caverns, exhaust air galleries, emergency stop stations and tunnel cross overs. The cross overs connect the single-track tubes and allow trains in case of an emergency to switch to the other tube. This paper describes the construction of the four trumpet shaped tunnel brunch-off structures in the MFS Faido and of one brunch-off in the MFS Sedrun. The specific characteristics of the challenging geology and the installed support types are shown. The applied instrumentation for monitoring and the design of the inner lining are explained.*

## 1. Einleitung

Zwei der Teilabschnitte des Gotthard Basistunnels (GBT), Sedrun und Faido, verfügen über eine Multifunktionsstelle (MFS). In den MFS sind Nothaltestellen, Kavernen, Abluftstollen und Tunnelwechsel angeordnet.

Die Einspurtunnelröhren sind jeweils durch zwei Tunnelwechsel miteinander verbunden, um den Zügen in Notfällen den Wechsel von einem Einspurtunnel in den anderen zu ermöglichen. Die Tunnelverzweigungsbauwerke bilden den Übergang von den Einspurtunneln in die Tunnelwechsel. Es handelt sich hier um Aufweitungen mit maximalen Querschnitten von bis zu 330 m<sup>2</sup> Ausbruchfläche.

Im folgenden Beitrag werden zwei in der MFS Sedrun und in der MFS Faido angewendete Bauabläufe für Tunnelverzweigungsbauwerke beschrieben. Dem folgen Beschreibungen der Besonderheiten aller Tunnelverzweigungen in der MFS Faido und beispielhaft einer Tunnelverzweigung der MFS Sedrun. Die unterschiedliche Geologie bringt verschiedene Bauabläufe, Querschnittsgeometrien und Ausbruchsicherungstypen mit sich.

## 2. Bauabläufe für Tunnelverzweigungen

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Bauabläufe in den Tunnelverzweigungsbauwerken. Entweder wird die Verzweigung aus dem Einspurtunnel kommend aufgefahren. Dabei wird der Tunnelquerschnitt kontinuierlich bis zur Brillenwand vergrössert und von dort aus werden die Einspurtunnelröhre und die Tunnelwechselröhre getrennt weiter vorgetrieben (Bauablauf-Variante 1). Oder die Tunnelverzweigung wird von der Brillenwand her aufgefahren und der Querschnitt wird im Verlauf des Vortriebs auf Einspurtunnelgrösse verkleinert (Bauablauf-Variante 2, Bild 1). Im Folgenden werden die Bauabläufe mit den durchschnittlichen Etappenlängen in der MFS Sedrun und der MFS Faido schematisch beschrieben.

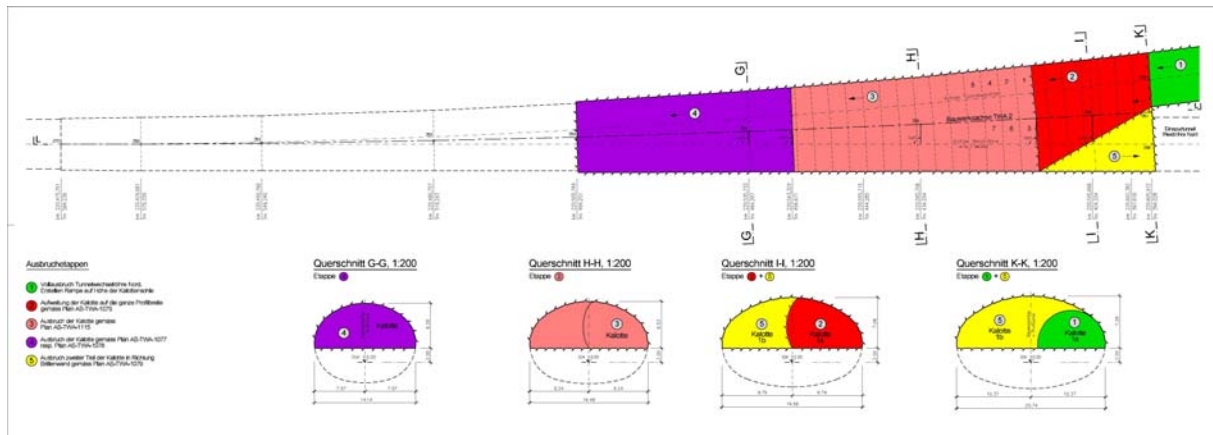


Bild 1 Bauablauf-Variante 2, Kalottenvortrieb

## 2.1. Bauablauf-Variante 1

1. Im Vollausbuch (oder Kalottenvortrieb) aus dem Einspurtunnel oder dem Tunnelwechsel bis an die Grenze des Tunnelwechselbereichs (Weichenanfang)
2. Weiter in Ausbruchart A (Vollvortrieb) bis Querschnittsgrösse 125 m<sup>2</sup>, Etappenlänge ca. 115 m
3. Ausbruchart B (Querschnitt geteilt in Kalotte und Strosse) für Querschnittsgrösse 125 bis 200 m<sup>2</sup>, Etappenlänge ca. 40 m
4. Ausbruchart C (Querschnitt geteilt in geteilte Kalotte und Strosse) ab Querschnittsgrösse 200 m<sup>2</sup>, Etappenlänge ca. 50 bis 60 m

## 2.2. Bauablauf-Variante 2

1. Vollausbuch des Einspurtunnels bzw. der Tunnelwechselröhre, Rampe erstellen bis auf Höhe Kalottensohle, Etappenlänge ca. 10 m
2. Aufweitung eines Kalotten-Seitenstollens auf ganze Kalottenbreite, Etappenlänge ca. 20 m
3. Ausbruch im vollen Kalottenprofil weg von der Brillenwand, Vortrieb mit geteilter oder alternativ mit ungeteilter Kalotte, Etappenlängen von ca. 20 m bis ca. 45 m
4. Rückwärtiges Aufweiten der Kalotte in Richtung Brillenwand bis auf volles Kalottenprofil
5. seitlicher Strossenausbruch mit Aufweitung auf volle Strossenbreite, Etappenlänge ca. 20 m
6. Ausbruch weiter im vollen Strossenprofil, mit geteiltem bzw. ungeteiltem Vortrieb, Etappenlänge ca. 20 - 45 m

7. Rückwärts Aufweitung der Strosse zurück in Richtung Brillenwand auf volles Strossenprofil
8. Ausbruch im Vollvortrieb bis an das Ende des Tunnelverzweigungsbereiches

Oder wie in der MFS Faido ausgeführt:

- Zusätzlich 4a. Ausbruch ungeteilter Kalotte restliche Strecke bis Tunnelverzweigungsende, Strecke je nach TV-Länge 140 bis 150 m
- Anstatt 8 8a Ausbruch ungeteilte Strosse restliche Strecke bis ans Ende des Tunnelverzweigungsbereiches

### 3. MFS Faido

#### 3.1. Überblick

Die MFS Faido liegt am Ende eines Zugangsstollens im Teilabschnitt Faido. Die Gebirgsüberlagerung beträgt hier 1400 bis 1600 m. Der Zugangsstollen mündet in die Querkaverne. Von hier aus starten die beiden über zwei Tunnelwechsel miteinander verbundenen Einspurtunnel in nördlicher und südlicher Richtung. Die Tunnelwechsel sind nach der Neuprojektierung des Layouts südlich der Querkaverne angeordnet. Des weiteren besteht die MFS Faido aus den logistischen Querschlägen und der Baulogistikkaverne, die nur für die Bauausführung benötigt werden, sowie den zwei Nothaltestellen, welche durch den Seitenstollen miteinander verbunden sind und einem Abluftstollensystem (Bild 2). Die ganze MFS wurde sprengtechnisch aufgefahren. Insgesamt gibt es in der gesamten Multifunktionsstelle rund 9,3 km Tunnel und Stollen mit Querschnitten von 40 bis zu 330 m<sup>2</sup>.



Bild 2 Layout der MFS Faido mit Störzonen

#### 3.2. Geologie

Gemäss der ursprünglichen geologischen Prognose sollte die MFS Faido komplett im bautechnisch günstigen Leventina-Gneis zu liegen kommen. Bautechnisch ungünstige Störzonen wurden nur untergeordnet und querschlägig vorhergesagt. Die

Grenze zwischen Leventina und dem bautechnisch ungünstigeren Lucomagno Gneis sollte 500 m nördlich der MFS Faido liegen. Eineinhalb Monate nach Beginn der Vortriebsarbeiten in der MFS Faido ereignete sich im April 2002 ein Niederbruch beim Vortrieb in der Querkaverne. Darauf folgend musste anhand von Ergebnissen aus Kern- und Schlagbohrungen die Geologie neu interpretiert werden.

Die Hauptstörzone hat einen Fallwinkel von ca. 80° gegen NE und streicht bezüglich des Einspurtunnels West-Nord schleifend (<10 °) von Nordwest nach Südost. Die schleifend verlaufende und bautechnisch relevante Störzone und das Zusammentreffen des duktilen Lucomagno-Gneis und des spröden Leventina-Gneis, die sich felsmechanisch völlig verschieden verhalten, wirken sich aus geologischer Sicht ungünstig aus. Die Grenze zwischen den beiden Gesteinen ist im Bereich der MFS intensiv verfaltet, woraus sich äusserst komplexe geologische Verhältnisse ergeben. Das Layout der MFS wurde neu projektiert und die vier grossen Querschnitte der Tunnelverzweigungen liegen nun südlich der Querkaverne (Bild 2).

In der MFS Faido sind folgende Gefährdungsbilder relevant:

- Trennflächenbedingte Nach- bzw. Niederbrüche von Klüftkörpern im First
- Auflockerung
- Druckhaftes Gebirge (Mit plastischen Deformationen bzw. Gebirgsdruck ist insbesondere in den kakiritischen Störzonen zu rechnen.)
- Bergschlagähnliche Phänomene (Aufgrund der intensiven Verfaltung der beiden Gneise und der in der Verfaltung liegenden Gesteinsgrenze im Nordteil der MFS Faido kommt es in diesem Bereich zu Bergschlägen)
- Kleinsteinfall

### **3.3. Tunnelverzweigungen MFS Faido**

Jeder der vier Tunnelverzweigungsbereiche ist ca. 200 m lang. Der Vortrieb verläuft von Norden in Richtung Süden.

Die Einspurtunnel und Tunnelwechsel haben eine Querschnittsgrösse von ungefähr 70 m<sup>2</sup> (Bild 3). Die Tunnelverzweigungsquerschnitte dagegen liegen bei max. 330 m<sup>2</sup>. Die grossen Querschnitte stellen damit eine grosse Herausforderung an den Bauablauf und die Bauausführung dar.

In den folgenden Abschnitten werden die vier Tunnelverzweigungen hinsichtlich des Bauablaufs, der dort vorhandenen geologischen Besonderheiten, und der Ausbruchsicherung beschrieben.



Bild 3 Tunnelwechsel Süd, Blick in Richtung TVOS(2)

### 3.4. Tunnelverzweigung Ost-Nord TVON(2)

Die Tunnelverzweigung TVON(2) ist nach Bauablauf-Variante 1 vorgetrieben worden. TVON(2) liegt grösstenteils in Leventina-Gneis, wird aber auf den ersten 100 m von der grossen Störzone (leicht kakiritisierter Fels, intensiv geklüftet) gekreuzt.

Die ersten 100 m sind deshalb mit Stahlausbau gesichert worden:

- 6 m lange Injektionsanker, Raster 1 x 1 m
- Stahlbögen TH36, Abstand 1 m, drei Schlösser
- Bewehrungsnetz K283
- 5 cm Stahlfaserspritzbeton , 15 cm Spritzbeton (Einspritzen der Bögen), 10 cm Spritzbeton

Die maximal zulässigen Deformationen lagen bei 25 cm und die Abschlagslänge betrug 1 bis 1,5 m.



Auf den restlichen 100 m der Tunnelverzweigung wurde eine schwere Ausbruchsicherung eingebracht:

- 8 m lange Anker, Raster 1,2 x 1,2 m
- 4 bis 5 m lange Anker, Raster 1,2 x 1,2 m
- Bewehrungsnetz K 335 bzw. K283
- 5 cm Stahlfaserspritzbeton , 15 cm Spritzbeton bewehrt mit Schlitzen, 10 cm Spritzbeton bewehrt

### **3.5. Tunnelverzweigung West-Nord TVWN(2)**

Die Tunnelverzweigung TVWN(2) wurde nach der Bauablauf-Variante 2 aufgeföhren. Die Brillenwand ist mit einem schweren Ausbruchsicherungstyp (AST) gesichert worden, im weiteren Vortrieb wurde der mittlere AST eingebaut.

TVWN(2) liegt der geologischen Prognose nach in granitischem Leventina-Gneis. Im westlichen Parament wurden kurz nach Vortriebsbeginn Biotitschieferbänder und eine kakiritisierte Störzone angetroffen. Es traten grosse Deformationen auf, und der max. Deformationsraum von 30 cm wurde überschritten. Es entstand Unterprofil, Spritzbeton und Anker rissen und der Bereich musste saniert werden. Es wurde mit 12 m langen Injektionsankern im Raster von 1 x 1 m nachgesichert (Bild 4). Im weiteren Vortrieb wurde der schwere AST eingebaut.

- 10 cm Stahlfaserspritzbeton, 20 cm bewehrter Spritzbeton mit Schlitzen, 10 cm bewehrter Spritzbeton
- Bewehrungsnetze Typ K283 und K 335
- 6 m bis 8 m lange Anker, Raster 1,2 x 1,2 m
- 4 m bis 5 m lange Anker, Raster 1,2 x 1,2 m





Bild 4 TVWN(2) Nachsicherung

### 3.6. Tunnelverzweigung West-Süd TVWS(2)

Der Fels im Bereich des TVWS(2) ist stark zerklüfteter Leventina-Gneis mit Faltungen und reich an Glimmern und Quarzen. Dazu kommt eine von Osten einfallende Störzone (Biotit Hornblendegneis bis -Schiefer, stark zerlegt, Kakirit und weiches, verlehmttes Gestein) von fast 6 m Breite. Die TVWS(2) liegt anfangs in gutem Fels, danach wird sie durch die Störzone beeinflusst.

Die Geologie im Bereich des TVWN(2) wurde mittels Kernbohrungen aus dem benachbarten Seitenstollen heraus untersucht. Um die in jeder Bohrung angetroffene Störzone besser beurteilen zu können, wurde senkrecht zur Achse des Tunnelwechsels TVWS(2) ca. 20 m vor der Brillenwand ein Sondierstollen mit 7,5 m Spannweite aufgefahren.

Das Hauptgefährdungsbild lag im Ausknicken des östlichen Paraments.

Die maximalen Deformationen lagen bei 30 cm.

Die Tunnelverzweigung TVWS(2) ist nach Bauablauf-Variante 1 aufgefahren worden. Der Sondierstollen wurde teilweise wieder verfüllt, dann wurde der TVWS(2) im Kalottenvortrieb mit unterteilter Kalotte bis an den Sondierstollen aufgefahren. In der nächsten Phase wurde die Kalotte bis an die Brillenwand vorgetrieben, dabei wurde der Sondierstollen mit Ausbruchmaterial laufend wieder verfüllt.

Der Einfluss der Störzone war lokal begrenzt, demzufolge wurde die Ausbruchsicherung auch nur lokal verstärkt. Folgende Ausbruchsicherung wurde eingebracht:

Gewölbe Verzweigung:

- 40 cm Spritzbeton, erste 10 cm mit Stahlfasern
- 2 Bewehrungsnetze K335
- 5 m lange Mörtelanker, Raster 1 x 1 m
- 8 bis 12 m lange Belbor Injektionsanker, Raster 1 x 1 m, 5 m hinter der Ortbrust versetzt

Brillenwand:

- 40 cm Spritzbeton, erste 10 cm mit Stahlfasern
- 2 Bewehrungsnetze K335
- 5 m Mörtelanker, Raster 1,5 x 1,5 m
- 10 m lange Injektionsanker, Raster 1,5 x 1,5 m

Die Störzone schnitt das Tunnelprofil im östlichen Parament. Um diese Belastungen und die daraus folgenden plastischen Deformationen aufnehmen zu können, wurde das Tunnelprofil mit einem Sohlgewölbe ausgeführt. Dies führte zu der in der MFS maximalen Querschnittsgrösse von 330 m<sup>2</sup> (Bild 5).



Bild 5 TVWS(2) Brillenwand

### 3.7. Tunnelverzweigung Ost-Süd (TVOS(2))

Die TVOS(2) wurde nach Bauablauf-Variante 2 aufgeföhren (Bild 6). Sie liegt ausserhalb der Störzonenbereiche vollständig in bautechnisch günstigem Augengneis. Im Bereich TVOS(2) traten die vorgenannten Geföhrdungen mit mittlerer bis geringer Intensität auf.

Die Tunnelverzweigung ist dennoch mit schwerem AST gesichert worden (Abschlagslänge max. 2 m in der Kalotte):

- 10 cm Stahlfaserspritzbeton, 15 cm Spritzbeton mit Schlitzten
- Bewehrungsnetze Typ K283 und K 335
- 8 m bis 12 m lange Injektionsanker, Raster 2 x 2 m bzw. in L1 1 x 1 m
- 4 m bis 6 m lange Mörtelanker, Raster 2 x 2 m bzw. in L1 1 x 1 m

TVOS(2) konnte ohne Nachsicherungsmassnahmen aufgeföhren werden.



Bild 6 TVOS(2) Strossenausbruch

#### 4. MFS Sedrun

##### 4.1. Überblick

Am Fuss des 800 m tiefen Schachtes Sedrun liegt die MFS Sedrun. Die MFS besteht im Wesentlichen aus Längs- und Querkavernen, einer Nothaltestelle, Abluftstollen und zwei Verbindungstunneln zwischen den Einspurtunneln mit je zwei Tunnelwechsellaufweitungen (TWA1 und TWA2 nördlich und TWA3 und TWA4 südlich der Schachtachse) (Bild 7). Die Tunnelwechsellaufweitungen haben jeweils eine Länge von ca. 200 m und eine maximale Ausbruchfläche von etwa 230 m<sup>2</sup>. Die Bauarbeiten der MFS Sedrun sind im März 2007 abgeschlossen worden.

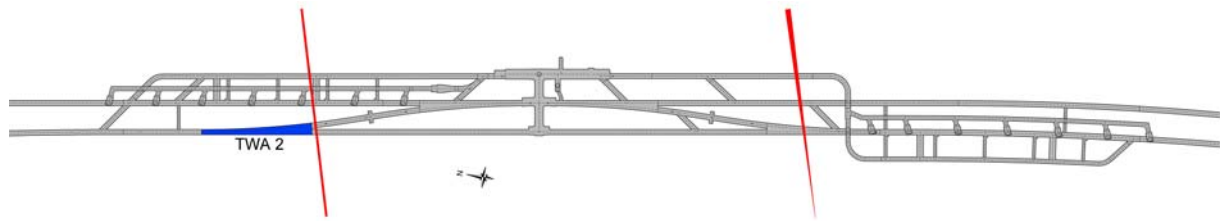


Bild 7 Layout der MFS Sedrun mit Störzonen

## 4.2. Geologie

Die MFS Sedrun liegt in den bautechnisch günstigen Gneisen (Paragneise, Migmatite) des Tavetscher Zwischenmassivs Süd. Diesen untergeordnet sind Schieferzonen und vereinzelt Störzonen (Kakirite, verlehmtter Schiefer) eingeschaltet. Die Schichten fallen vorwiegend steil nach Süden ein. Aufgrund ihrer Mächtigkeit von  $d > 1$  m sind die geringmächtigen Störzonen von nur untergeordneter Relevanz. Der Verbindungstunnel Nord liegt in den ungünstigsten Verhältnissen. Hier kreuzt eine ca. 20 m mächtige Störzone aus verlehmtten Schiefen den Tunnelwechsel.

Das Hauptgefährdungsbild im Gneis stellen trennflächenbedingte Ablösungen dar. Instabile Felsblöcke gefährden die Arbeitssicherheit und können zu Auflockerungen um den Hohlraum führen.

## 4.3. Tunnelverzweigungen MFS Sedrun

Die vier Tunnelverzweigungen in der MFS Sedrun sind im Rahmen der Projektierung als Tunnelwechsellaufweitungen (TWA) bezeichnet worden. Innerhalb dieses Beitrages soll analog zur MFS Faido nur der Begriff Tunnelverzweigung verwendet werden.

Die Vortriebe der Tunnelverzweigungen in der MFS Sedrun verliefen ohne Komplikationen. Die prognostizierte Geologie wurde angetroffen, die für die Tunnelverzweigungsbereiche entwickelten Ausbruchsicherungstypen (AST) wurden eingebaut. Es traten nur sehr geringe Deformationen auf. Im Folgenden soll daher nur der Bauablauf einer Tunnelverzweigung, der TWA2 (Oströhre), beispielhaft beschrieben werden.

Für die grösseren Querschnitte wurden die Sicherungstypen MWC1, MWC2 und MWC4 entwickelt. Diese AST beinhalten die Sicherungselemente Spritzbeton Bewehrungsnetze und Anker. Alle drei Ausbruchsicherungstypen gehen von einer vorausseilenden, evtl. geteilten Kalotte mit nachfolgender Strosse/Sohle aus.

Für den Vortrieb im Gneis war der AST MWC1, im Schiefergneis MWC2 und im

verlehmten Schiefer (Störzone) MWC3 vorgesehen.

Die messtechnische Überwachung der Vortriebsarbeiten beinhaltete Extensometer- und Konvergenzmessungen.

Die Tunnelverzweigung TWA2 liegt nördlich der Schachtachse und weitet den westlichen Einspurtunnel auf. Der Vortrieb geht in Richtung Norden. Sie wurde gemäss Bauablauf-Variante 2 aufgefahren.

Die Kalottenvortriebe wurden mit dem Ausbruchsicherungstyp MWC2 gesichert. Es wurden 9 m lange Stabanker mit einem Raster von  $1,5 \text{ m}^2/\text{Anker}$  versetzt, im Strossenbereich waren die Anker 6 m lang. Zudem wurden 10 cm Spritzbeton, dann ein Bewehrungsnetz (Typ K188) und wieder 10 cm Spritzbeton eingebracht. Die temporäre Ausbruchsicherung in der geteilten Kalotte bestand aus 5 cm faserbewehrtem Spritzbeton. Die Abschlagslänge betrug 2 m.

Der Bau des TWA2 wurde kontinuierlich mittels Extensometer- und Konvergenzmessungen überwacht. Die Extensometermessungen ergaben im Bereich der Brillenwand geringe Deformationen von max. 6 mm Verkürzung bzw. 2 mm Verlängerung. Die Ergebnisse der Konvergenzmessungen ergaben für diesen Bereich lediglich Verformungen von 10 mm.

## 5. Messtechnische Überwachung

Die Ausbruchsicherung und die Innenschale werden aufgrund von felsmechanischen Berechnungen dimensioniert. Um die Wirkung der festgelegten Massnahmen zu verifizieren, werden Ergebnisse der Berechnungen mit Messergebnissen von der Baustelle verglichen. Grössere Abweichungen der Messresultate von den Berechnungsergebnissen erfordern gegebenenfalls eine Anpassung der Sicherungsmittel bzw. des Ausbruchsicherungstyps. Darüber hinaus wird die geologische Prognose laufend angepasst.

In der MFS Sedrun wurden zur messtechnischen Überwachung Extensometer und optische 3D-Prismen installiert. In der MFS Faido waren die wesentlichen Messeinrichtungen ebenfalls Extensometer und 3D-Prismen, die Informationen über die Auflockerungstiefe bzw. über die eingetretenen Deformationen lieferten. Dazu kamen vereinzelt Inklinometer, Gleitmikrometer, Strain-Gauges, Druckmessdosen und Messanker.

## 6. Bemessung der Innenschale

Der Tunnel wird für eine Lebensdauer von 100 Jahren geplant. Die Innenschale wird so dimensioniert, dass sie allein alle Lasten dauerhaft aufnehmen kann. Die Innenschale ist normalerweise nicht bewehrt. Das vermeidet Korrosionsprobleme und zudem erhöht eine Bewehrung die Bau- und auch die Bauwerkserhaltungskosten erheblich. Andererseits müssen in unbewehrtem Beton die Rissweiten begrenzt werden.

Die Belastung für die Innenschale setzt sich aus dem Gebirgsdruck und mechanischen, physikalischen und technischen Belastungen zusammen. Auf den Informationen über die anstehende Geologie, den aufgetretenen Deformationen und den Reaktionen der Ausbruchsicherung basierend, werden die Lasten aus dem Gebirge bestimmt.

Um die wirksamen Lasten zu evaluieren, werden über die vorhandenen Kluftsysteme die grösstmöglichen Kluftkörperausmasse berechnet. Nach dem Abklingen der Deformationen gibt die Ankerlänge der eingebauten Sicherung die realistische Tiefe der Kluftkörper an, weil diese nie grösser sein kann als die Ankerlänge. Auch die vor Ort gemessenen Deformationen geben Auskunft über die Grösse der Lasten, die tatsächlich von der Ausbruchsicherung getragen werden mussten.

Geht man von der Voraussetzung aus, dass die Innenschale allein die Gebirgslasten tragen muss, können die Lasten, die von den Ausbruchsicherungselementen getragen werden, auf die Innenschale übertragen werden.

Zudem treten Belastungen aus Eigengewicht, Schwinden, Gewicht der Fahrleitungsaufhängung, Erschütterungen, Sog und Temperaturdifferenzen auf. Zusammen mit den wirksamen Gebirgslasten bilden diese die totalen Lasten, für die die Innenschale bemessen wird.

## 7. Schlussfolgerung

Der Bau von Tunnelverzweigungsbauwerken mit grossen Querschnitten stellt grosse Anforderungen an den Bauablauf und die Bauausführung. In der MFS Faido verläuft die Gesteinsgrenze von Leventina- zu Lucomagno-Gneis schleifend in einem spitzen Winkel zu den beiden Hauptröhren des Gotthard Basistunnels. Dies brachte Probleme mit Nachbrüchigkeit, teilweise druckhaftes Gebirgsverhalten und auch bergschlagähnliche Phänomene mit sich.

Um den schwierigen Verhältnissen gerecht zu werden, bedarf es einer intensiven messtechnischen Überwachung und ein der Geologie angepasstes Vorauserkundungsprogramm. So liessen sich in der MFS Faido auch Querschnitte von bis zu 330 m<sup>2</sup> sicher ausbrechen.

Da die geologischen Verhältnisse im Bereich der MFS Sedrun ungleich günstiger als in Faido sind, war das Auffahren der grossen Querschnitte hier weniger kompliziert.

Die Bauabläufe, die Ausbruchsicherung und das messtechnische Überwachungsprogramm wurden laufend angepasst und optimiert. Der Ausbruch der MFS Faido und der MFS Sedrun ist inzwischen erfolgreich abgeschlossen worden.