

# Felssicherung in druckhaftem Gebirge am Beispiel des Gotthard-Basistunnels

H. Ehrbar

Im Teilabschnitt Sedrun (Bild 1) des Gotthard-Basistunnels sind die bautechnisch schwierigsten Zonen zu durchdringen. Aus Sicht des Bauherrn soll aufgezeigt werden, wie ausgehend von den Erkenntnissen über den Baugrund die Projektidee entwickelt wurde, die schließlich Eingang in den Werkvertrag gefunden hat. Im Weiteren wird aufgezeigt, welche vorbereitenden grundsätzlichen Überlegungen aus Bauherrnsicht getätigt werden, um eine erfolgreiche Realisierung zu gewährleisten und um allfällige Optimierungspotenziale nutzen zu können.

## 1 Baugrund im Tavetscher Zwischenmassiv Nord

In den Jahren 1990, 1993 und 1997/98 wurden mehrere Sondierbohrungen ausgeführt, um das nördliche Tavetscher Zwischenmassiv (TZM) und die Clavaniev-Zone zu erkunden (Bild 2).

Die Auswertung der Sondierbohrungen ergab, dass das TZM-Nord aus einer engen Wechselfolge von verschiedensten Gesteinsserien aufgebaut ist, die zu ca. 60 %

aus kakiritisierten bis stark kataklastisch überprägten Schiefen, zu ca. 10 % aus weichen Schiefen und Phylliten und zu ca. 30 % aus mürben, jedoch mehr oder weniger intakten Gneisen besteht (Tabelle 1).

Aus den Sondierbohrungen ließ sich eine stark wechselhafte Abfolge dieser Gesteinsserien in steil stehenden Formationen mit unterschiedlichsten Schichtstärken (Dezimeter bis Dekameter) erkennen („Sandwich-Struktur“).

Die weichen und kakiritisierten Gesteine des TZM Nord sind durch niedrige Festigkeits- und Deformationskennwerte und geringe Durchlässigkeiten mit k-Wer-

# Concepts for initial Lining in swelling Ground, taking the Example of the Gotthard Base Tunnel

H. Ehrbar

The technically trickiest zones of the Gotthard Base Tunnel have to be penetrated in the Sedrun part-section (Fig. 1). Seen from the client's viewpoint, this report shows how the idea for the project was developed starting from findings pertaining to the subsurface until it was finally included in the works contract. The preparatory basic considerations seen from the client's point-of-view, which have to be undertaken to assure the successful realisation of the project so that all possible optimisation potentials can be used are also dealt with.

## 1 Subsurface in the Tavetsch Intermediate Massif North

A number of exploratory drillings were undertaken in the years 1990, 1993 and 1997/98 to investigate the northern Tavetsch Intermediate Massif (TZM) and the Clavaniev Zone (Fig. 2).

The evaluation of the exploratory drillings revealed that the TZM North consists of a close succession of various types of rock series, approx. 60 % of which comprises worn, very granular slates, 10 % soft slates and phyllites and approx. 30 % friable but still more or less intact gneisses (Table 1).

The exploratory drillings indicated that these rock series

are present in rapidly changing succession in steep upright formations with different layer thicknesses (decimetre to decametre) ("sandwich structure").

The soft and worn TZM North rocks are characterized by low strength and deformation values and low permeabilities with k-values of between  $10^{-8}$  m/s and  $10^{-10}$  m/s.

There is an extremely wide range of rock characteristics present in the Sedrun part-section including the approx. 30 % hard rock formations.

Underground water plays a secondary role in the squeez-

Dipl.-Ing. Heinz Ehrbar, AlpTransit Gotthard AG, Lucerne (CH)

ten zwischen  $10^{-8}$  m/s und  $10^{-10}$  m/s charakterisiert.

Unter Einbezug der ca. 30 % harten Gesteinsformationen ist im Teilabschnitt Sedrun eine sehr große Bandbreite an Gebirgseigenschaften anzutreffen.

Bergwasser spielt in den druckhaften Zonen des Nordvortriebs des Teilabschnitts Sedrun eine sekundäre Rolle. Kluftwasser wird nur in geringem Ausmaß erwartet. Hingegen ist davon auszugehen, dass das Phänomen Porenwasser von einiger Bedeutung sein wird, da die Lockermaterial-ähnlichen, wenig durchlässigen Gesteine wassergesättigt sind. Der initiale Porenwasserdruck auf Tunnelniveau erreicht auf Grund des prognostizierten, oberflächennahen Bergwasserspiegels einen Wert von ca. 8 MPa.

## 2 Maßgebende Gefährdungsbilder


Die folgenden Gefährdungsbilder werden für das TZM-Nord und die Clavaniev-Zone mit teilweise hoher Intensität erwartet (Bild 3):

- „echter Gebirgsdruck“
  - Porenwasserdruck
  - Ortsbrustinstabilitäten
- Andere Gefährdungen wie spannungsbedingte oder trennflächenbedingte Ablösungen etc. spielen im Nordvortrieb des Teilabschnitts Sedrun nur eine untergeordnete Rolle.


### 2.1 Echter Gebirgsdruck

Das Gefährdungsbild „echter Gebirgsdruck“ äußert sich in großen Deformationen des Gebirges (radial und an der Ortsbrust) oder aber in großen Gebirgsdrücken bei der Behinderung der Deformationen. Bei zu später oder zu schwacher Aus-

## Stabilisation de la roche dans les couches de roches sous pression à l'exemple du tunnel de base du Saint-Gothard

 Dans la section de Sedrun (fig. 1) du tunnel de base du Saint-Gothard, les zones de percement les plus difficiles doivent être entièrement étayées. Le présent article se propose de montrer, du point de vue du maître d'oeuvre, comment l'idée du projet a été développée en partant de ce que l'on connaissait du terrain à creuser pour aboutir finalement à ce qui constitue le contrat d'oeuvre. Il est ensuite montré quelles réflexions fondamentales préliminaires sont effectuées du point de vue du maître d'oeuvre afin de garantir une réalisation couronnée de succès et d'utiliser tous les potentiels d'optimisation qui se présentent.

## Sistema di ancoraggio in caso di rocce in pressione, illustrato per la galleria di base del San Gottardo

 Nella sezione Sedrun (figura 1) della galleria di base del San Gottardo devono essere perforate le zone tecnicamente più difficili. Si spiega dal punto di vista del committente come è stata sviluppata, in base alle conoscenze sulla tipologia dell'ammasso, l'idea del progetto che si è conclusa infine nel contratto d'opera. Inoltre vengono presentate le più importanti riflessioni preparatorie dal punto di vista del committente per garantire la riuscita del progetto e per poter usufruire di tutte le possibilità di ottimizzazione.

bruchsicherung führt dies zu unzulässigen Konvergenzen des Gebirges an der Ortsbrust und im Querschnitt oder aber zur Überbeanspruchung bzw. Zerstörung

ing zones of the northern drive for the Sedrun part-section. Joint water is only expected to a limited extent. However, it can be assumed that the pore water phenomenon will be of

some importance as the soft material-like, only slightly permeable rocks are saturated with water. The initial pore water pressure at tunnel level reaches a value of approx. 8 MPa based on the predicted underground water table that is close to the surface.

## 2 Decisive Danger Patterns

The following danger patterns are expected for the TZM North and Clavaniev Zone with high intensity in some cases (Fig. 3):

- "Genuine rock pressure"
- Pore water pressure
- Face instabilities

Other danger patterns such as stress-related or separation plane related detachments etc. only play a secondary role in the northern drive of the Sedrun part-section.

### 2.1 Genuine Rock Pressure

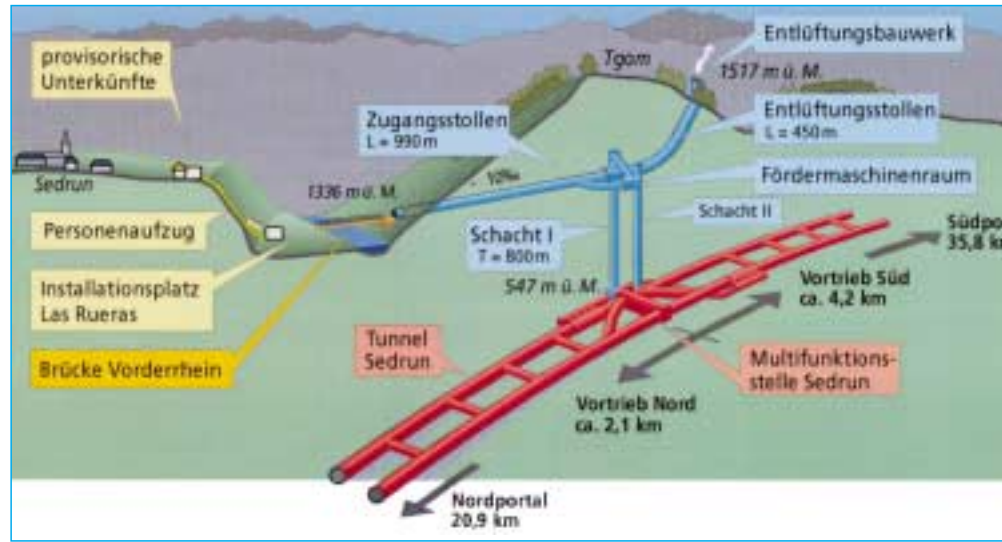
The "genuine rock pressure" danger pattern expresses itself through major rock deformations (radial and at the face) or, however, in major rock pressures when deformations are hampered. Impermissible rock convergences at the face or in the cross-section are the consequence should the support be installed too late or not be strong enough or the excavation support or final inner vault is subjected to excessive stress or is destroyed.

The danger posed by "genuine rock pressure" essentially involves lengthy processes that do not represent an acute danger for occupational safety.

### 2.2 Pore Water Pressure

The pore water pressure phenomenon leads to the following effects:

- Reduction of the effective normal stresses in the rock



1 Layout Teilabschnitt Sedrun  
1 Layout of the Sedrun part-section

der Ausbruchsicherung oder des endgültigen Innengewölbes.

Bei der Gefährdung durch den „echten Gebirgsdruck“ ist grundsätzlich von langsamen Prozessen auszugehen, welche keine akute Gefährdung der Arbeitssicherheit darstellen.

2.2 Porenwasserdruck

Das Phänomen Porenwasserdruck führt zu folgenden Effekten:

- Reduktion der effektiven Normalspannungen im Gebirge
- Aufbau von Strömungskräften im Gebirge auf Grund der sich nach dem Ausbruch durch die Dränagewirkung einstellenden Gradienten.

Diese Effekte haben grundsätzlich die gleichen Auswirkungen wie das Gefährdungsbild „echter Gebirgsdruck“, d. h., sie führen

zu zusätzlichen Deformationen oder zu höheren Gebirgsdrücken bei der Behinderung der Deformationen.

2.3 Instabilitäten der Ortsbrust

Aus den Gebirgsmodellen im TZM Nord wurden die folgenden typischen Instabilitäten der Ortsbrust hergeleitet (Bild 3):

- Ausknicken der Ortsbrust beim Durchfahren heterogener Schichtpakete (= plötzliches Versagen)
- plötzliches Einbrechen der Ortsbrust beim Übergang von einer kaum durchlässigen Schicht in eine durchlässigere durch den hohen Druckgradienten bei großen initialen Wasserdrücken,
- Auflockerungserscheinungen in der Firste.

Tabelle 1: Prognostizierte Gesteinsformationen im TZM Nord (inkl. Clavaniev-Zone)

Art der Gesteinsformationen	Bruchverhalten	Prozentualer Anteil [%]	Länge [m]
hart	spröd	29	334
weich	duktil	9	107
kakiritisiert	duktil	62	704
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>1141</b>

- The building up of flow forces in the rock on account of the gradients that occur following the excavation through the drainage effect

These effects have essentially the same outcome as the “genuine rock pressure” danger pattern, i.e. they lead to further deformations or to higher rock pressures when deformations are hampered.

2.3 Instabilities at the Face

The following typical instabilities at the face were derived from the rock models in the TZM North (Fig. 3):

- Buckling of the face when passing through heterogeneous series of strata (sudden failure)
- Sudden caving in of the face during the transition from a highly impermeable to a more permeable layer as a result of the high pressure gradients

Tabelle 1: Predicted rock formations in the TMZ North (incl. Clavaniev Zone)

Type of rock formations	Breaking behaviour	Percentual share [%]	Length [m]
hard	brittle	29	334
soft	ductile	9	107
worn	ductile	62	704
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>1141</b>

given major initial water pressures

- Loosening phenomena in the roof.

The sudden break phenomena represent great danger for occupational safety without special supporting measures.

3 Construction Technical Measures

3.1 Basic Project Demands

The utilisation requirements call for a tunnel with a minimum free cross-section ( $F_{air}$ ) of 41 m<sup>2</sup> given a service life of 100 years and minimum maintenance. These demands can only then be complied with providing the tunnel climate (humidity, temperature) does not exceed certain limit values during operation. The demands on the climate can be assured by means of a two-shell lining with a long-term effective sealing and drainage system. This signifies that the temporary excavation support can no longer be controlled after the project is completed and as a consequence, cannot be considered as playing a bearing role in static terms when the tunnel is operational.

3.2 Excavation and Excavation Support

3.2.1 Excavation

The construction technical measures must take the danger patterns from all predicted rock models into consideration. They must particularly cover the entire spectrum of rock characteristics as well.

Die plötzlichen Brucherscheinungen bringen ohne besondere Stützmaßnahmen eine hohe Gefährdung der Arbeitssicherheit mit sich.

3 Bautechnische Maßnahmen

3.1 Grundsätzliche Projektanforderungen

Die Nutzungsanforderungen verlangen einen Tunnel mit einem minimalen freien Querschnitt ( $F_{air}$ ) von 41 m<sup>2</sup> bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren und minimalem Unterhalt. Diese Anforderungen können nur dann gewährleistet werden, wenn das Tunnelklima (Feuchtigkeit, Temperatur) im Betrieb gewisse Grenzwerte nicht übersteigt. Die Klimaanforderungen lassen sich nur mit einem zweischaligen Ausbau zu Beanspruchungen der Ausbruchsicherung führt, welche mit bekannten und bewährten Sicherungsmitteln nicht aufgenommen werden können.

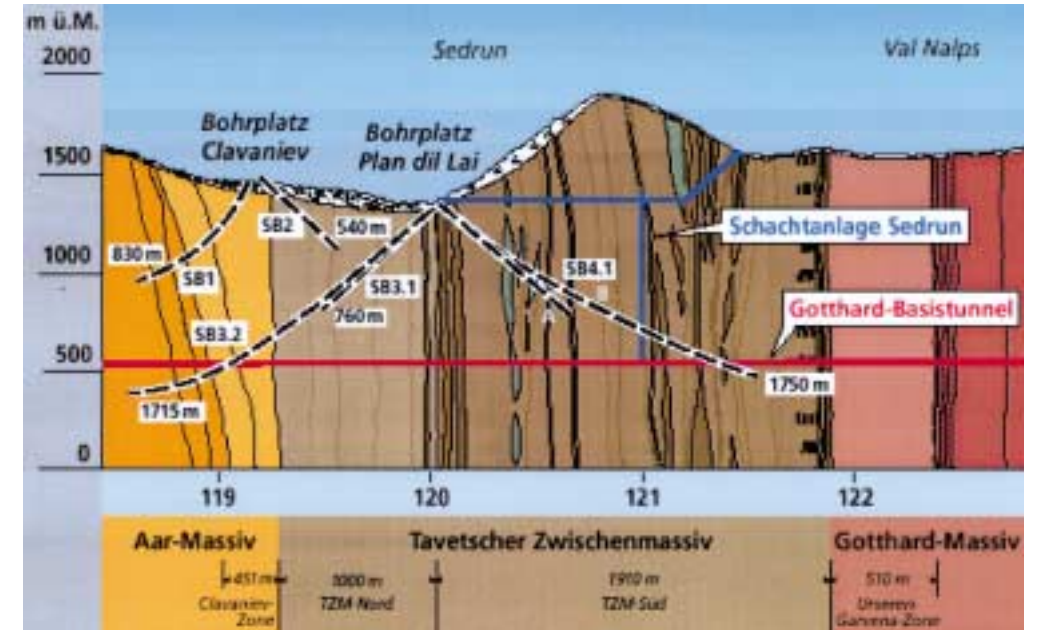
3.2 Ausbruch und Ausbruchsicherung

3.2.1 Ausbruch

Die bautechnischen Maßnahmen haben den Gefährdungsbildern aus sämtlichen prognostizierten Gebirgsmodellen Rechnung zu tragen. Sie müssen insbesondere auch die gesamte Bandbreite der Gebirgseigenschaften abdecken. Für den Projektentwurf wurden die in Tabelle 2 dargestellten Grundsatzentscheide gefällt.

3.2.2 Ausbruchsicherung im Querschnitt

Felsstatische Überlegungen zeigten rasch, dass ein



2 Sondierbohrungen im Teilabschnitt Sedrun  
2 Exploratory drillings in the Sedrun part-section

sofortiger, steifer Ausbau zu Beanspruchungen der Ausbruchsicherung führt, welche mit bekannten und bewährten Sicherungsmitteln nicht aufgenommen werden können.

Die Erfahrung, dass der Gebirgsdruck und somit der aufzubringende Ausbaurwiderstand mit zunehmenden Gebirgsdeformationen abnimmt, war deshalb für die Definition der baulichen Maßnahmen von großer Bedeutung. Durch ein kontrolliertes Zulassen von Deformationen (Ausweichphase) soll der Gebirgsdruck zunächst so weit reduziert werden, dass die Beanspruchungen dann bei der Behinderung der weiteren Deformation durch einen starken Einbau von diesem schadlos aufgenommen werden können (Widerstandsphase).

Es wurde nach einer konstruktiven Lösung für die Ausbruchsicherung gesucht, welche sowohl den Anforderungen der Ausweichphase als auch jenen der Widerstandsphase gerecht wird.

The basic decisions presented in Table 2 were taken for the project design.

3.2.2 Excavation Support in the Cross-Section

Rock static considerations rapidly showed that an immediate, stiff support leads to stresses on the excavation support, which cannot be accepted by tried and tested support media.

The experience that the rock pressure and in turn, the support resistance that has to be applied decrease as the rock deformations increase, was thus of great significance for defining the construction technical measures. Through the controlled tolerance of deformations (yielding phase), the rock pressure is first of all reduced to such an extent that the stresses can then be accepted without damage through a rigid installation while hampering any further deformation (resistance phase).

A constructional solution for the excavation support was sought, which would comply with the demands of

both the yielding and the resistance phases. This signifies that support media with a high deformation capacity and high material strengths have to be applied until the resistance phase is attained.

The installation of steel arches represents an ideal means of support for both constructional and material technical reasons given the support media that are available today. The installation of steel enables rock deformations to be accepted in a controlled manner in conjunction with a high support resistance. It is the main element for the temporary excavation support in the TZM North.

The size of the permissible deformations or the corresponding overbreak and the related support resistance can essentially be determined within a certain range. However, for the strongest type of excavation support, the selected concept was based on the constructional maximum, i.e.:

- Defining the overbreak for deformations based on the maximum permissible radius

Dies hat zur Folge, dass bis zum Erreichen der Widerstandsphase Stützmittel mit einem hohen Deformationsvermögen und hohen Materialfestigkeiten einzusetzen sind.

Unter den heute gängigen Stützmitteln erweist sich der Stahleinbau aus konstruktiven und materialtechnischen Gründen als ideales Sicherungsmittel. Der Stahleinbau ermöglicht die kontrollierte Aufnahme von Gebirgsdeformationen in Kombination mit einem hohen Ausbauwiderstand. Für die provisorische Ausbruchssicherung im TZM-Nord ist er das Hauptelement.

Die Größe der zugelassenen Deformationen bzw. des entsprechenden Mehrausbruchs und der dazugehörige Ausbauwiderstand können grundsätzlich innerhalb einer gewissen Bandbreite frei festgelegt werden. Für den stärksten Ausbruchstyp wurde für das gewählte Konzept jedoch vom konstruktiven Maximum ausgegangen, d. h.:

■ Definition des Mehrausbruchs für Deformationen auf Grund der maximal zulässigen Radiusdifferenz für den Stahleinbau (= 10 %

des Biegeradius = ca. 65 cm radiale Deformation).

■ Einsatz des stärksten Profils TH44/70 in zwei Lagen (max. Ausbauwiderstand = ca. 2,8 MPa)

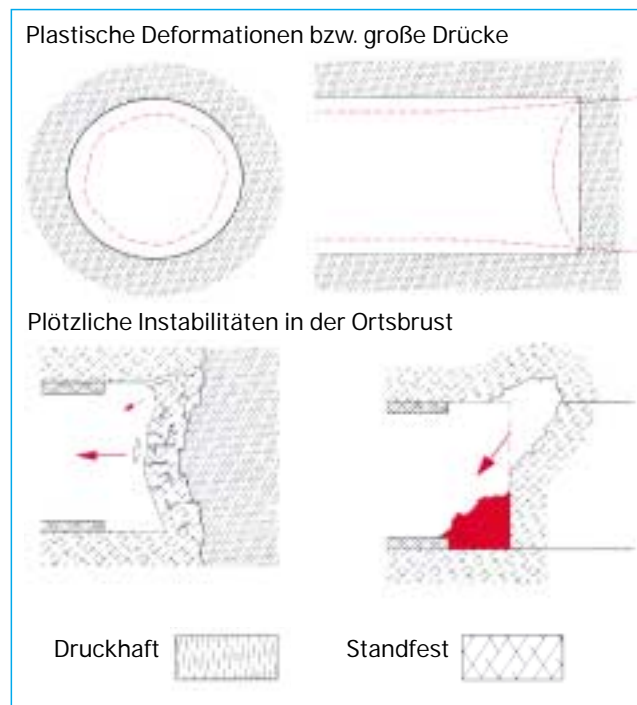
■ Engster praktisch ausführbarer Bauabstand der Stahlbögen: 33 cm (= max. 3 Doppelbögen/m)

Zusätzlich zum Stahleinbau ist eine radiale Systemankering vorgesehen. Mit dem Stahleinbau und der Systemankering kommen während der Ausweichphase ausschließlich miteinander verträgliche, deformierbare Sicherungsmittel zur Anwendung.

Nach dem Erschöpfen der Gleitwege des Stahleinbaus (Beginn der Widerstandsphase) können auch steifere Sicherungsmittel wie Spritzbeton- oder Betonschalen zur Anwendung gelangen. Zur Stützung des Stahleinbaus gegen Ausknicken unter den nun hohen Lasten und damit zur Gewährleistung der vollen Tragkapazität werden die geschlossenen Stahlringe eingespritzt (Bilder 4 und 5).

3.2.3 Provisorische Sicherung der Ortsbrust

Für die Ortsbrustsicherung, die im Gegensatz zur



3 Maßgebende Gefährdungsbilder im Nordvortrieb Sedrun  
3 Determining danger patterns in the Sedrun northern drive

difference for installing steel arches (= 10 % of the bending radius = approx. 65 cm radial deformation)

■ Application of the strongest profile TH44/70 in two layers (max. support resistance = approx. 2.8 Mpa)

■ Closest practically feasible gap between the steel arches: 33 cm (= max. 2 double arches/m).

In addition to installing steel, a radial bolting system is also foreseen. Thanks to the steel arches and the bolting system only deformable support media, which are compatible with one another, are applied during the yielding phase.

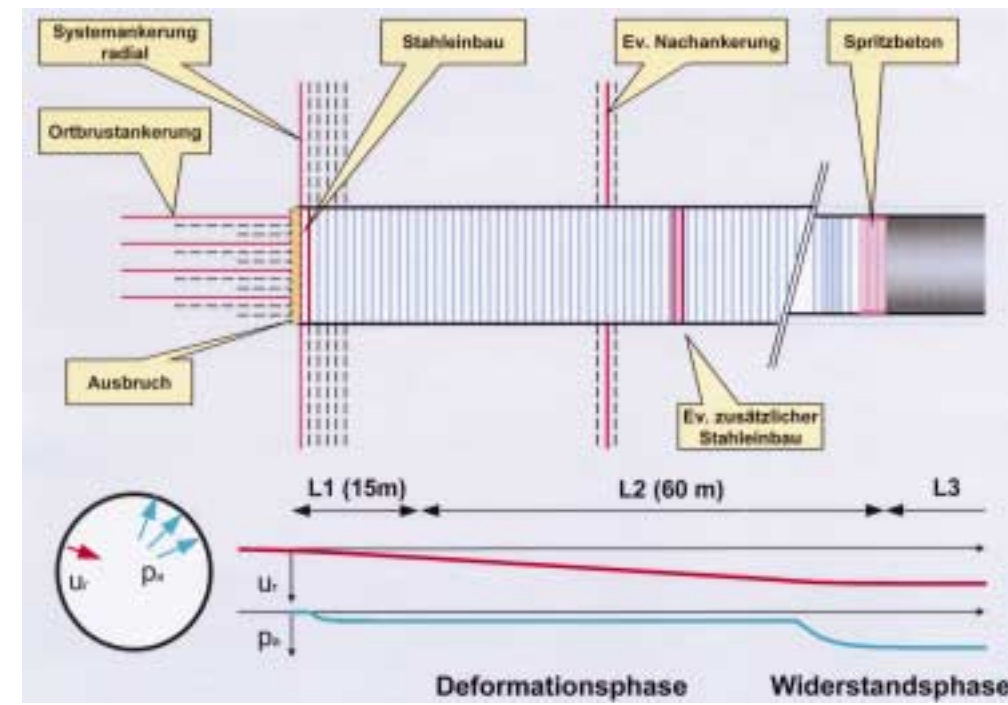
After the glide path of the installed steel is exhausted (start of the resistance phase) stiffer support media such as shotcrete or concrete shells can also be applied. The closed steel rings are sprayed with concrete (Figs. 4 + 5) to support the steel against buckling under what are high loads and in turn, to assure the full bearing capacity is attained.

3.2.3 Temporary Support for the Face

For supporting the face, which in contrast to radial supporting in the cross-section must be constantly disassembled and reassembled in stages to keep up with con-

Tabelle 2: Grundsatzentscheidender Ausbruch

Element	Wahl im Projekt	Begründung
Profilform	Vollkommenes Kreisprofil für die stark druckhaften Zonen	Felsstatisch optimal
Vortriebsmethode (Art des Lösens des Gebirges)	konventioneller Vortrieb mit Tunnelbagger (Schaufel, Abbauhammer, Ripperzahn etc.); Einsatz von Lockerungssprengungen in standfesteren Formationen	TBM-Vortrieb ausgeschlossen wegen schwierigen Vertikaltransports zur Montage und wegen druckhaften Gebirges
Ausbruchart	ausschließlich Vollausbuch	im stark druckhaften Gebirge wie im TZM-Nord ist ein rascher Ringschluss zwingend. Der Kalottenvortrieb wird für die Sedruner Verhältnisse als nicht mehr ausführbar beurteilt. (Ungünstige Profilform im Vortriebsbereich, mit lokalen Spannungskonzentrationen und großen Deformationen)



4 Ausbruchssicherungskonzept im druckhaften Gebirge (Längsschnitt)  
4 Excavation support concept in squeezing rock (longitudinal section)

radialen Sicherung im Querschnitt durch den ständigen Baufortschritt laufend abgebaut und in Etappen wieder neu eingebaut werden muss, gilt es, zwei verschiedene Phänomene zu betrachten: ■ langsames Hineindrücken des Gebirges in den Hohlraum (echter Gebirgsdruck) ■ schlagartiges Versagen der Ortsbrust (mindestens teilweise) wegen der Abfolge unterschiedlichster Schichtpakete.

Den Gefährdungen wird mit dem laufenden Einbringen einer großen Zahl langer Horizontalanker entgegen gewirkt (Bilder 4 und 5).

3.3 Ausbruchssicherungstypen

Auf Basis des erarbeiteten Ausbaukonzeptes wurden Ausbruchstypen definiert. Diese stellen für die erwartete Intensität einer Gefährdung typische Kombinationen an bautechni-

schon Maßnahmen und Stützmitteln dar.

In Bezug auf die typischen Gefährdungsbilder wurden 3 grundsätzlich unterschiedliche Ausbruchstypen definiert, welche wiederum 3 bis 4 Untertypen umfassen. Diese Untertypen wurden modular aufgebaut, um möglichst hohe Leistungen zu ermöglichen.

struction progress, two different phenomena have to be observed:

■ The slow pressing of the rock into the cavity (genuine rock pressure)  
■ Sudden failure of the face (at least partially) on account of the succession of many different series of strata.

Such potential dangers are counteracted by continuously

installing a large number of long horizontal bolts (Figs. 4 + 5).

3.3 Excavation Support Systems

Excavation support types were defined on the basis of the support concept that was evolved. These represent typical combinations of constructional measures and support media for the anticipated intensity of a potential danger.

Three basically different excavation support types were defined with respect to the typical danger patterns, which for their part are divided up into 3 to 4 sub-types. These sub-types were built up modularly to facilitate high performances.

3.4 Special Measures

The excavation support types define the measures, which are systematically applied in typical cases. Additional special measures were defined for conditions, which were not included in the anticipated range. For squeezing zones these are:

- Reprofiting the profile
- Grouting
- Strengthening the face bolting
- Long advance drainages.

Geological conditions that are poorer than forecast are to

Table 2: Fundamental approaches for the excavation

Element	Choice in project	Reason
Profile form	Complete circular profile	Optimal in rock static terms for the pronouncedly squeezing zones
Driving method (method of removing the rock)	Conventional driving with tunnel excavators (shovels, picks, ripper teeth etc.); Application of blasting to loosen the rock in more stable formations	TBM drive precluded on account of difficult vertical transport for assembly and on account of squeezing rock
Type of Excavation	Solely full-face	Rapid ring closure is imperative in pronouncedly squeezing rock such as in the ZTM North, The crown drive is appraised as unfeasible for Sedrun conditions. (Unfavourable profile form in the driving zone, with local stress concentrations and major deformations)

### 3.4 Besondere Maßnahmen

Mit den Ausbruchstypen sind diejenigen Maßnahmen definiert, die im Erwartungsfall systematisch zur Anwendung gelangen. Für Verhältnisse, welche sich außerhalb der erwarteten Bandbreite bewegen, wurden zusätzliche „Besondere Maßnahmen“ definiert. Für die druckhaften Zonen sind dies:

- Nachprofilieren des Profils
- Injektionen
- Verstärkung der Ortsbrustankerung
- lange Vorausdränagen.

Schlechtere geologische Verhältnisse als prognostiziert sollen mit den Voraussondierungen frühzeitig erkannt werden, um so den rechtzeitigen Einsatz „Besonderer Maßnahmen“ zu ermöglichen.

### 3.5 Abdichtung

Einer möglichen Gefährdung des Bauwerks im Betriebszustand durch aggressives Bergwasser wird mit dem Einsatz einer drucklosen Vollabdichtung aus Kunststoff-Dichtungsbahnen begegnet. Mögliche Abdichtungssysteme wurden seit 1998 einer Zulassungsprüfung unterzogen, um die Erfüllung der hohen Projektanforderungen zu gewährleisten.

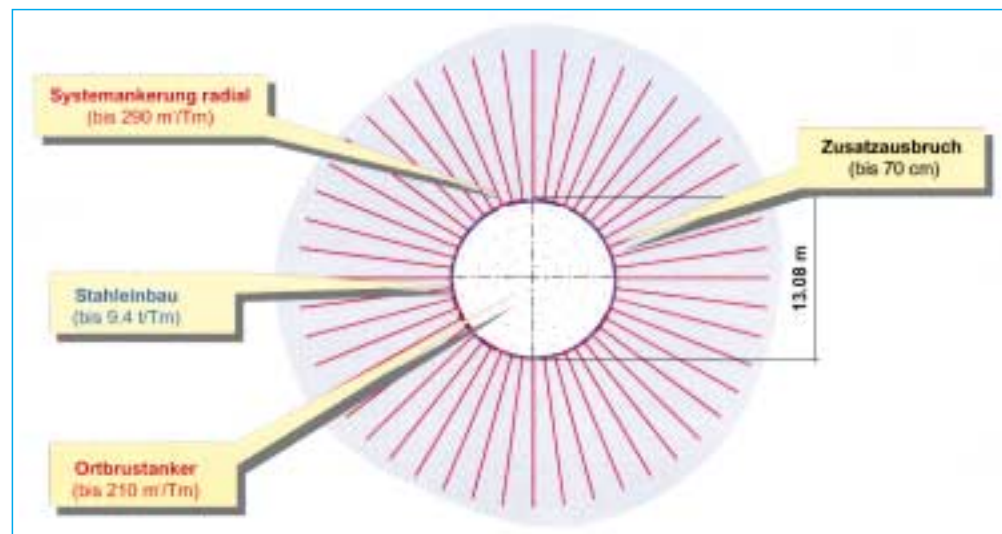
### 3.6 Innengewölbe

Die Dimensionierung des Innengewölbes erfolgt ohne Berücksichtigung eines Mitwirkens der provisorischen Sicherung. In extrem druckhaften Zonen ergeben sich deshalb Betondicken bis zu 1,20 m.

## 4 Ausführung

### 4.1 Genereller Bauablauf

Am 10. April 2002 konnte der Werkvertrag für den Teil-



5 Ausbruchssicherungskonzept im druckhaften Gebirge (Querschnitt)

5 Excavation support concept in squeezing rock (cross-section)

abschnitt Sedrun des Gotthard-Basistunnels mit einer Vertragssumme von ca. 1,2 Mrd. sFr. unterzeichnet werden.

Nach einer ersten Vorbereitungsphase wurde im Sommer 2002 mit dem Abteufen des Schachtes II begonnen. Bis Ende Mai 2003 soll dieser Schacht von 7,0 m Durchmesser mit dem Schachtbohrverfahren erstellt sein.

Noch während der darauf folgenden Installationsphase am Schachtfuß werden im Sommer 2003 die Vortriebe der Seitenstollen sowohl nach Norden als auch nach Süden aufgenommen. Nach dem Fertigstellen der Schachtfussinstallationen können die Hauptvortriebe nach Süden (Ende 2003) und nach Norden (anfangs 2004) aufgenommen werden.

In den druckhaften Zonen des Nordvortriebs wird mit mittleren Leistungen zwischen 0,4 m/AT und 0,9 m/AT gerechnet. Der Durchschlag Richtung Amsteg wird für Mitte 2008 erwartet.

Im Süden kann von etwas höheren Leistungen (0,9 m/AT bis 3,8 m/AT im Mittel) ausgegangen werden, womit

be identified at an early stage by means of advance explorations so that "special measures" can be resorted to in time.

### 3.5 Sealing

A pressureless full seal made of plastic sealing membranes will be used to counter the danger of the tunnel being affected by aggressive underground water when it is operational. Possible waterproofing systems have been subjected to approval tests since 1998 to make sure that the high requirements of the project are complied with.

### 3.5 Inner Vault

The inner vault is dimensioned without taking the effect of the temporary support into account. As a result, concrete thicknesses of up to 1.20 m are needed in extremely squeezing zones.

## 4 Execution

### 4.1 General Construction Sequence

The works contract for the Sedrun part-section of the Gotthard Base Tunnel worth approx. CHF 1.2 billion was

signed on April 10, 2002.

After an initial preparatory phase, work on sinking shaft II began in summer 2002. This 7.0 m diameter shaft is scheduled to be completed using the shaft boring method by the end of May 2003.

The drives for the lateral tunnels both to the north and south will start in summer 2003 during the subsequent installation phase at the shaft bottom. Once the shaft bottom installations are completed, work will begin on the main drives towards the south (end of 2003) and the north (start of 2004).

Average rates of between 0.4 and 0.9 m/working day are estimated for the squeezing zones in the northern drive. The breakthrough towards Amsteg is expected in mid-2008.

Somewhat higher rates can be expected in the south (0.9 to 3.8 m/working day on average) so that the breakthrough to Faido is also expected in mid-2008 although it is roughly three times longer.

The vault lining, the installation of drains and berms as well as the completion of the multifunctional points will

für diesen ca. dreimal längeren Vortrieb der Durchschlag nach Faido ebenfalls für Mitte 2008 erwartet wird.

Anschließend erfolgen der Gewölbeausbau, der Einbau von Entwässerungen und Banketten sowie der Endausbau der Multifunktionsstelle, ehe mit dem Bahntechnikneinbau im Teilabschnitt Sedrun begonnen werden kann.

Der Beginn der Inbetriebsetzung wird auf den Herbst 2013 prognostiziert.

### 4.2 Risikomanagement des Bauherrn

In jeder Projektphase führt der Bauherr periodisch Risikoanalysen durch. Der Begriff „Risiko“ bedeutet für die ATG sowohl eine Chance als auch eine Gefahr. Mittels einer Risikomatrix wird jeweils das Risiko in Bezug auf die Erreichung der relevanten Projektanforderungen (Hauptziele) bewertet. Als die vier wichtigsten Hauptziele seien genannt:

- Einhaltung der Bauzeit und Termine
- Einhaltung der Investitionskosten
- Gewährleistung der Arbeitssicherheit
- Gewährleistung von Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

Trotz der schwierigen geologischen Verhältnisse in Sedrun bieten insbesondere

die ersten zwei Hauptziele nicht nur Gefahren, sondern auch Chancen. Diese gilt es zu nutzen. Ein wesentliches Element zur Chancennutzung ist dabei eine optimale Arbeitsvorbereitung mit Risikoanalysen und Maßnahmenplänen. Dazu gehören auch das gezielte Kontrollieren des Tragverhaltens der aufgefahrenen Hohlräume und das laufende Umsetzen der dabei gewonnenen Erkenntnisse in den weiteren Bauprozess.

### 4.3 Vorversuche

Das Projekt basiert auf wesentlichen Grundannahmen. Trotz vorhandener Erfahrungen sollen die getroffenen Grundannahmen in Bezug auf den Stahlleinbau und die Ortsbrustankerung mittels gezielter Vorversuche für die in Sedrun anzutreffenden Randbedingungen verifiziert werden.

#### 4.3.1 Eignungsprüfung Stahlleinbau

Die Erfahrungen mit dem gewählten Stahlleinbaukonzept zeigen, dass der Stahlleinbau als System zu betrachten ist. Materialwahl, Profilform, Einbaugeräte und die Verbindungstechnik müssen eng aufeinander abgestimmt sein.

Rechnerische Nachweise in Bezug auf das Tragverhalten der Einbaubögen, insbe-

then be undertaken prior to starting on the rail technical furnishings in the Sedrun part-section.

It is planned to start services in autumn 2013.

### 4.2 The Client's Risk Management

The client carries out risk analyses periodically in every project phase. The term "risk" denotes both an opportunity as well as a danger for the client. The risk is in each case assessed with regard to attaining the relevant project demands (main targets) by means of a risk matrix. The four most important main targets are:

- Adhering to the construction period and deadlines
- Adhering to the investment costs
- Assuring occupational safety
- Assuring serviceability and durability.

In spite of the tricky geological conditions in Sedrun, the first two main targets embody chances as well as dangers. It is essential that these be exploited. In this connection, optimal work preparation with risk analyses and plans for adopting appropriate measures represents an important element for taking advantage of the opportunities offered.

This also includes the targeted control of the bearing behaviour for driven cavities and constantly putting the recog-

nitions thus gained into practice.

### 4.3 Advance Tests

The project is founded on basic assumptions. In spite of existing findings, the basic assumptions that have been made relating to installing steel sets and face bolting have to be verified by means of targeted advance tests for the marginal conditions encountered in Sedrun.

#### 4.3.1 Suitability Test for installing Steel

Findings with the selected steel installation concept reveal that this has to be considered as a system. The choice of material, profile form, installation equipment and the connecting technology must be closely geared to one another.

Computational proof with respect to the bearing behaviour of the steel sets, especially regarding their insertion behaviour can scarcely be obtained. As a result, the contractor is committed to verifying the deformation and bearing behaviour for the steel system that is installed through a suitability test on a 1:1 scale.

The following issues are investigated:

- Bearing behaviour during the insertion process (incl. connections)
- Bearing behaviour after the insertion process until the bearing load is reached

sondere auch auf das Einschubverhalten, lassen sich kaum durchführen. Der Unternehmer ist deshalb verpflichtet, das Deformations- und das Tragverhalten für das zum Einsatz kommende Stahleinbausystem mittels einer Eignungsprüfung im Maßstab 1:1 nachzuweisen.

Die folgenden Fragestellungen werden untersucht:

- Tragverhalten während des Einschubvorgangs (inkl. Verbindungen)
- Tragverhalten nach dem Einschubvorgang bis zum Erreichen der Traglast
- Einschubverhalten (Verbolzungen, gegenseitige Beeinflussung etc.).

Die Versuchsserie soll auf einem Prüfstand durchgeführt werden, der es erlaubt, mindestens 3 Einbaubögen als Paket mit Durchmessern zwischen 10 und 15 m zu prüfen.

Die Belastung ist auf dem Umfang der Stahlbögen mit einer großen Zahl von Pressen so aufzubringen, dass die effektive Belastung in Bezug auf das Belastungsniveau und die Lastverteilung (asymmetrische Fälle) wirklichkeitsgetreu simuliert werden kann.

#### 4.3.2 Optimierung Ortsbrustankerung

Die Ortsbrustankerung hat eine essenzielle Bedeutung zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Ortsbrustbereich. Auch in diesem Fall können die mathematischen Ansätze nicht alle Fragen abschließend beantworten.

Um weitere Erkenntnisse zu erhalten, wurden deshalb bereits in der Projektphase Ankerversuche in möglichst ähnlichen geologischen Formationen durchgeführt. Solche ließen sich im Seiten-

stuntunnels finden. Diese lieferten wertvolle Zusatzkenntnisse im Hinblick auf die Ausschreibung. Wegen der geringeren Überlagerung von nur rund 300 m beim Gotthard-Straßentunnel im Gegensatz zu ca. 1000 m beim Gotthard-Basistunnel sind die gewonnenen Resultate für die Ausführungsoptimierung nicht direkt übertragbar.

Deshalb werden weitere Versuche unter realen Bedingungen zu Beginn des Ausbruchs der druckhaften Zonen ausgeführt. Die Versuche sollen über das Tragverhalten der Ortsbrustanker konkrete Hinweise und insbesondere Antworten zu folgenden Fragestellungen geben:

- Wahl des Bohrverfahrens (verrohrt/unverrohrt)
- Optimierung der Bohrtechnik (Kronentyp, Spülmittel)
- Definition der notwendigen Anzahl Anker
- Definition des Materials des Zuggliedes
- Notwendigkeit von Ankerkopfplatten.

Der Werkvertrag sieht eine hohe Variationsmöglichkeit vor. In Anbetracht des großen Einflusses der Ortsbrustankerung auf die

- Insertion behaviour (installations, mutual influence etc.).

The series of tests should be carried out on a test stand, which permits at least 3 support arches to be tested as a package with diameters of between 10 and 15 m.

The load on the steel arch periphery should be exerted with a large number of jacks in such a way that the effective load with respect to the load level and the load distribution (asymmetrical cases) can be simulated as realistically as possible.

#### 4.3.2 Optimizing Face Bolting

Face bolting has an essential significance for assuring occupational safety in the face zone. The mathematical approaches were also not in a position to answer all questions in this case either.

As a consequence, the bolt tests project phase was carried out in as many similar geological formations as possible. The tests were for instance, undertaken in the lateral tunnel of the Gotthard Road Tunnel. They provided invaluable additional recognitions for the tendering stage. On account of the slight overburden of only about 300 m for the Gotthard Road Tunnel

in contrast to approx. 1,000 m for the Gotthard Base Tunnel, the results obtained for optimising execution are not directly transferable.

This is why further tests under real conditions were carried out when work started on excavating the squeezing zones. The tests were intended to provide data relating to the bearing behaviour of the face bolts and in particular, answers to the following questions:

- Choice of drilling method (cased/uncased)
- Optimizing drilling technology (type of crown, flushing agent)
- Defining the required number of bolts
- Defining the materials for the tension bar
- The need for bolt head plates.

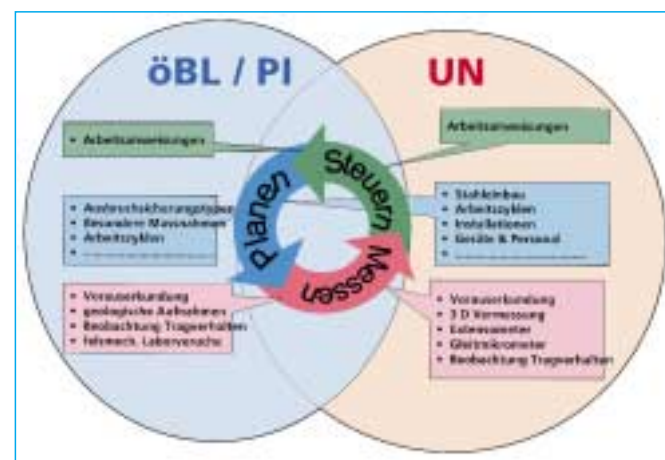
The works contract provides scope for a wide range of possibilities. In view of the major influence exerted by face bolting on the rates of advance and occupational safety, as reliable as possible answers to the questions that were posed are of enormous importance. These are to be obtained at the start of driving thanks to a test phase in the squeezing sections.

#### 4.4 Controlling the Standard Drive

During the standard drive, decisions have to be made each day so that possible dangers are identified and mastered and to enable possible chances to be exploited.

The daily decision-making process for the drive – put simply – is carried out with the “planning – measuring – controlling” regulating circuit model (Fig. 6).

Thanks to the project engineer's planning the support media were defined individually and in characteristic com-



6 Schema Steuerung Regelvortrieb

6 Diagram showing control of standard drive

Vortriebsleistungen und die Arbeitssicherheit sind möglichst zuverlässige Antworten zu den gestellten Fragestellungen von höchster Bedeutung. Diese sollen mit einer Versuchsphase zu Beginn des Vortriebs in den druckhaften Strecken gewonnen werden.

#### 4.4 Steuerung des Regelvortriebs

Während des Regelvortriebs sind täglich Entscheidungen zu fällen, damit allfällige Gefahren erkannt und beherrscht sowie allfällige Chancen genutzt werden können.

Die tägliche Entscheidungsfindung im Vortrieb geschieht – vereinfacht dargestellt – mit dem Regelkreismodell „Planen“ – „Messen“ – „Steuern“ (Bild 6).

Mit der Planung des Projektgenieurs wurden die Stützmittel einzeln und mit den Ausbruchsicherungsstypen in charakteristischen Kombinationen definiert.

Erkenntnisse aus den Voraussondierungen, Beobachtungen während des Ausbruchs und umfangreiche Messkampagnen im rückwärtigen Bereich liefern die notwendigen Informationen, um den künftigen Vortrieb zu optimieren. Damit das Optimierungspotenzial genutzt werden kann, ist der rasche und eindeutige Informationsfluss sicherzustellen. Die Entscheidungsträger sind klar zu definieren und erlassen die notwendigen Arbeitsanweisungen zur Vortrieboptimierung.

Verschiedenste Leistungserbringer sind an diesen Prozessen beteiligt, wie Unternehmer (inkl. Subunternehmer und Lieferanten), örtliche Bauleitung, Bauherr, Projektgenieur, Geologen, Vermessungsspezialisten.

Zur Verkleinerung der Anzahl der Schnittstellen wurden folgende Maßnahmen getroffen:

- Der Unternehmer liefert den größten Teil der Messanlagen und betreibt diese. Er ist verpflichtet, einen kompetenten Subunternehmer beizuziehen.

■ Ablieferung der Messresultate innerhalb vorgeschriebener Maximalfristen, damit die Resultate ordentlich verarbeitet und der Entscheidungsfindung zugeführt werden können.

■ Geologen sind in die Bauleitungsorganisation integriert und unterstehen dem Chefbauleiter

■ Installation einer EDV-Plattform für den raschen Informationsaustausch

■ Unternehmer und Bauleitung fällen den Entscheid über das weitere Vorgehen gemeinsam. Bei Uneinigkeit entscheidet die Bauleitung.

#### 5 Schlussfolgerungen

Der Nordvortrieb im Teilabschnitt Sedrun zählt zu den bautechnisch anspruchsvollsten Abschnitten bei der Realisierung des Gotthard-Basistunnels. Das gewählte Ausbaukonzept zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Anwendung einer Kombination von Ausweich- und Widerstandsprinzip
- Der modulare Aufbau und die dauernde Möglichkeit zur Beobachtung des Tragverhaltens ermöglichen den flexiblen und optimierten Einsatz der Stützmittel
- zusätzliche besondere Maßnahmen helfen zur Bewältigung speziell schlechter Verhältnisse.

Das Ausbaukonzept kann aber nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn die

binations with the excavation support types.

Findings from the advance explorations, observations during the drive and far-reaching measurement programmes in the rear zone supply the necessary data designed to optimise the future drive. It is essential to secure a fast and clear flow of information so that the optimisation potential can be exploited. The decision-takers must be clearly defined and lay down the necessary working instruction designed to optimise the drive.

All kinds of performance providers are involved in these processes such as contractors (including sub-contractors and suppliers), local construction management, client, project engineer, geologists, and surveying experts.

The following measures were undertaken to minimise the number of intersecting points:

- The contractor supplies the bulk of the measurement units and operates them. He is committed to involving a competent sub-contractor

■ Handing over the measurement results within determined maximum periods so that the results can be properly processed and introduced to decision-making

■ Geologists must be integrated in the construction management organisation and answer to the head construction manager

■ Installation of an EDP platform for rapid exchange of information

■ Contractor and construction management jointly decide on how to proceed fur-

Entscheidungsfindung vor Ort kontinuierlich und geregelt abläuft. Die Erkenntnisse aus den Voraussondierungen, das laufende Erfassen der Geologie und des Tragverhaltens vor Ort und die Auswertungen der baubegleitenden Messungen liefern laufend die notwendigen Entscheidungsgrundlagen, damit diese schwierigen Zonen erfolgreich durchörtert und die vorhandenen Chancen genutzt werden können.

Klare Informationswege, eindeutige Entscheidungskompetenzen und der Wille zur gemeinsamen Zusammenarbeit aller am Projekt Beteiligten sind die Voraussetzung für die erfolgreiche Durchquerung dieser schwierigen Zonen.

## Literatur

- [1] Ehrbar, H., Pfenninger, I.: Umsetzung der Geologie in technische Maßnahmen im Tavetscher Zwischenmassiv Nord; Tagungsband GEAT 1999, ETH Zürich.
- [2] Kovári, K.: Tunnelbau in druckhaftem Gebirge; Tunnel 17 (1998) 5, S. 12-31.
- [3] Kovári, K., Amberg, F., Ehrbar, H.: Tunnelbau in druckhaftem Gebirge – Eine Herausforderung für die neuen Alpentransversalen; X. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik, 25. März 1999, Bochum.
- [4] Kovári, K., Amberg, F., Ehrbar, H.: Mastering of squeezing Rock in the Gotthard Base Tunnel, World Tunneling, (2000) 6.
- [5] Lombardi, G.: Zur Bemessung der Tunnelauskleidung mit Berücksichtigung des Bauvorganges, Schweizerische Bauzeitung, 89. Jhg., Heft Nr. 32, 1971.
- [6] Sala, A.: Erfassen des Gebirges im Untertagbau, AlpTransit Gotthard; Einführungstagung zur Empfehlung SIA 199, 26. November 1998, Fribourg.



ther. The construction management has the casting vote should there be a lack of agreement.

## 5 Conclusions

The northern drive in the Sedrun part-section is numbered among the most sophisticated sections of the Gotthard Base Tunnel in construction technical terms. The following features distinguish the chosen support concept:

- Application of a combination of the yielding and resistance principle
- The modular set-up and the permanent chance to observe the bearing behaviour facilitate flexible and optimal application of the support media
- Additional special measures help overcome particularly tricky conditions.

The support concept can, however, only be successfully

applied providing the decision-making process on the spot takes place continuously and in a controlled fashion. Findings from advance explorations, ongoing assessment of the geology and the bearing conditions at the face and evaluation of the measurements accompanying construction constantly supply the necessary fundamentals for reaching conclusions so that these tricky zones can be successfully penetrated so that the chances that exist can be exploited. Clear information paths, unequivocal competences with regard to decisions and the desire for joint collaboration on the part of those involved in the project represent the prerequisite for ensuring these difficult zones are tackled with success.

Bibliography: see German original

