

3

Volume 6  
June 2013, p. 215–245  
ISSN 1865-7362  
Reprint

# Geomechanics and Tunnelling

Geomechanik  
und Tunnelbau



## Grouting in the Gotthard Base Tunnel Injektionsmaßnahmen am Gotthard- Basistunnel

Heinz Ehrbar  
Adrian Wildbolz  
Anton Priller  
Alfred Seiler

# Grouting in the Gotthard Base Tunnel

## Injektionsmaßnahmen am Gotthard-Basistunnel

In long, deep tunnels, it is not possible to completely investigate the ground conditions along the future axis in advance. Unexpected ground conditions and fault zones thus have to be accepted as residual risks and overcome by suitable measures. This was also the situation with the Gotthard Base Tunnel (GBT), which is 57 km long with overburden depths of up to 2,350 m. The construction contracts included items for systematic advance probing from the tunnel and provided a catalogue of suitable additional measures. These measures were intended to detect and overcome unforeseen ground conditions. During the advance of the GBT, grouting measures had to be called on in three cases. In two of these cases, a trapped TBM had to be freed using ground-improvement measures (Amsteg West and Faido West). In the south drive of the Sedrun west bore, water inflow into the tunnel had to be reduced to prevent damage to the nearby Nalps dam caused by draining too much water from the rock mass. The common experience from all three incidents, and the resulting conclusions, are described. AlpTransit Gotthard AG is the principal for the new Gotthard rail axis through the Alps, including the Gotthard and Ceneri base tunnels. The company was founded in 1998 as a subsidiary of Swiss Federal Railways (SBB) and has about 180 employees at the head office in Lucerne and the branch offices in Altdorf, Sedrun, Faido and Bellinzona.

### 1 1999 ground model and implementation in the construction contracts

#### 1.1 General tectonics

The Gotthard Base Tunnel (GBT) passes through the following tectonic units from north to south (Fig. 1):

- the Aar Massif (predominantly gneiss and granite),
- the Tavetsch Intermediate Massif (gneiss intercalated with phyllites and shales),
- the Gotthard Massif (predominantly gneiss and granite),
- the Penninic gneiss zone (gneiss).

Near the north and south portals, some hundreds of metres had to be bored through loose material.

According to this forecast, more than 90 % of the total length of the tunnel would pass through favourable rock for construction, with high strengths and a low tendency to deform. For less than 10 % of the total length, conditions were forecast with low strength or considerable

*Bei langen, tiefliegenden Tunnelbauwerken ist es mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln nicht möglich, den Baugrund längs der künftigen Achse vorgängig vollständig zu erkunden. Unerwartete Baugrundverhältnisse und Störzonen müssen deshalb als Restrisiko akzeptiert und mit geeigneten Maßnahmen beherrscht werden. Auch beim 57 km langen Gotthard Basistunnel (GBT) mit Überlagerungshöhen bis zu 2.350 m war diese Ausgangslage anzutreffen. In den Werkverträgen der Hauptlose waren systematische Vorauserkundungen aus den Vortrieben und ein Katalog geeigneter Bauhilfsmaßnahmen vorgesehen. Mit diesen Maßnahmen sollten unvorhergesehene Baugrundverhältnisse erkannt und gemeistert werden.*

*Während des Vortriebs des GBT musste in drei Fällen auf Injektionsmaßnahmen zurückgegriffen werden. In zwei Fällen galt es, eine blockierte TBM mittels gebirgsverbessernden Maßnahmen freizulegen (Amsteg West und Faido West). Im Südvortrieb der Weströhre Sedrun mussten die Wasserzuflüsse zum Tunnel derart reduziert werden, dass eine Beschädigung der nahe gelegenen Bogenstaumauer Nalps, als Folge zu großer Wasserentnahmen aus dem Gebirge, verhindert werden konnte. Die gemeinsamen Erkenntnisse aus allen Ereignissen und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen werden dargestellt. Die AlpTransit Gotthard AG ist Bauherrin der neuen Eisenbahn-Alpentransversale Achse Gotthard mit den Basistunneln am Gotthard und Ceneri. 1998 gegründet, beschäftigt die Tochtergesellschaft der SBB am Hauptsitz in Luzern und an den Außenstellen in Altdorf, Sedrun, Faido und Bellinzona rund 180 Mitarbeitende.*

### 1 Baugrundmodell 1999 und Umsetzung in den Werkverträgen

#### 1.1 Generelle Tektonik

Der Gotthard-Basistunnel (GBT) durchfährt von Norden nach Süden die folgenden tektonischen Einheiten (Bild 1):

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

In den Portalzonen im Norden und im Süden sind Lockermaterialstrecken von mehreren hundert Meter Länge zu durchfahren.

Über 90 % der Gesamtlänge des Tunnels kamen gemäß dieser Prognose in bautechnisch günstige Gesteine

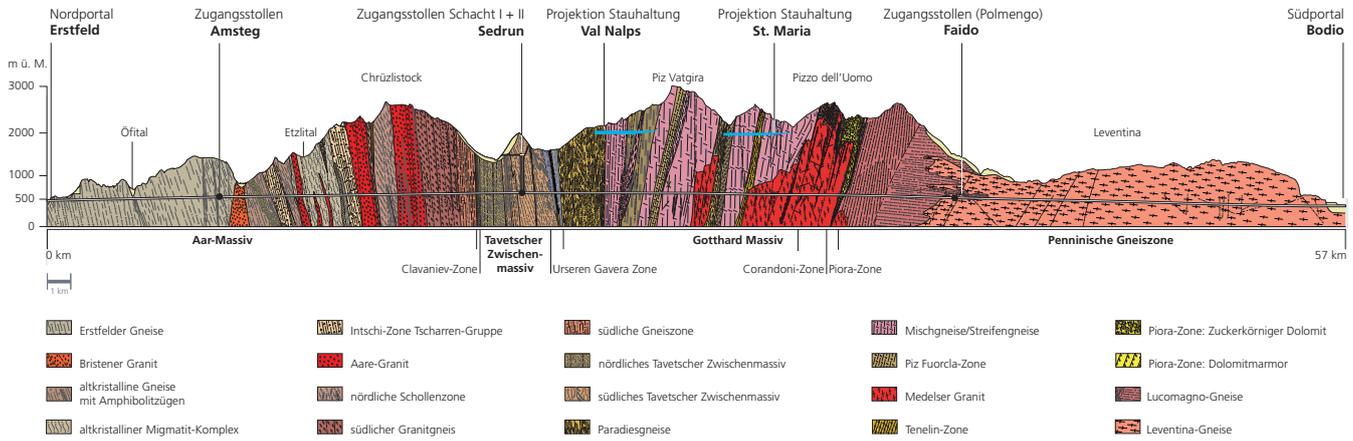


Fig. 1. Geological profile of the GBT (as found 2011) [2]  
 Bild 1. Geologisches Längensprofil GBT (Befund 2011) [2]

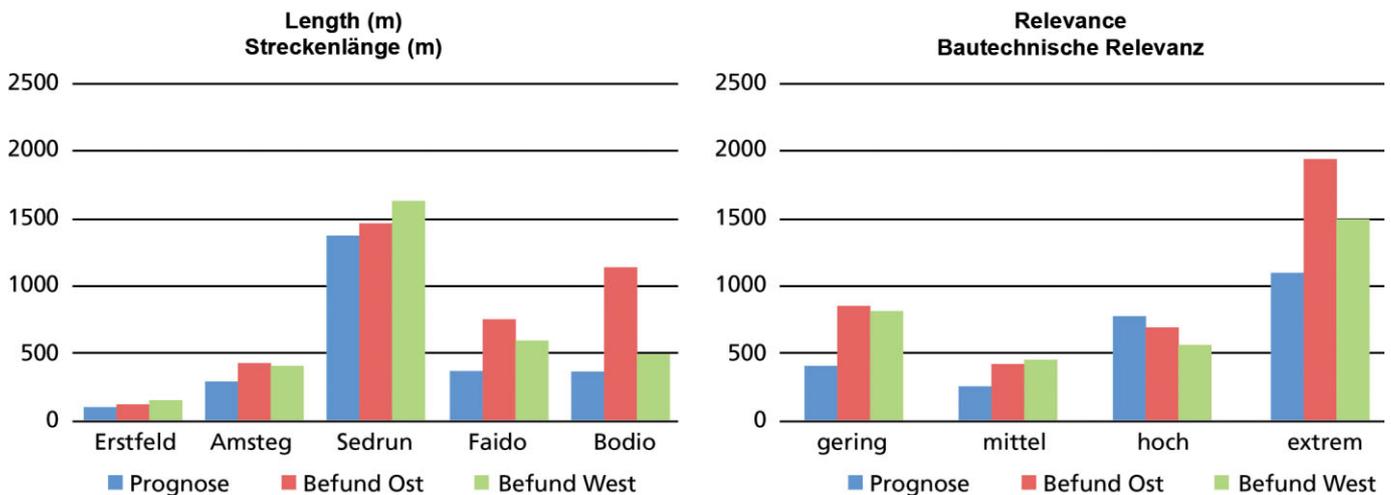


Fig. 2. Total length of fault zones (forecast and as found) [1]  
 Bild 2. Gesamtlänge der Störzonen (Prognose und Befund) [1]

deformation. This percentage includes the strongly squeezing “mega fault zone” of the northern Tavetsch Intermediate Massif.

### 1.2 Handling of fault zones in the construction contracts

Over 100 fault zones were forecast for the Gotthard Base Tunnel with the individual lengths shown in Fig. 2. Only a small number of these fault zones were significant for construction (Relevance 3 or 4, Table 1). The additionally necessary support works in terms of quantities and time were included in the contracts for all fault zones whose location and significance for construction could be clearly forecast.

In each section, the bill of quantities also included an extensive catalogue of additional measures to overcome unexpected ground conditions. Sufficient budget items for daywork (each more than CHF 10 m) were also provided for cases where work had to be paid according to expense.

The limitation of risk under the contract was based on Swiss standards SIA 198 (1993) and SIA 118 (1991). Standard SIA 198 clearly lays down that the principal has

mit hohen Festigkeiten und einem geringen Verformungsvermögen zu liegen. Für weniger als 10 % der Gesamtlänge des Tunnels wurden Verhältnisse prognostiziert, bei denen die Festigkeitseigenschaften gering waren oder wo mit hohen Verformungen gerechnet werden musste. In diesem Anteil ist auch das als „Mega-Störzone“ zu betrachtende, stark druckhafte Tavetscher Zwischenmassiv Nord eingeschlossen.

### 1.2 Umgang mit Störzonen in den Werkverträgen

Für den Gotthard Basistunnel wurden über 100 Störzonen mit den in Bild 2 angegebenen Längen prognostiziert. Nur eine geringe Anzahl der Störzonen war bautechnische relevant (Relevanz 3 oder 4, Tabelle 1). Für all jene Störzonen, bei denen sowohl die Lage als auch das bautechnischem Verhalten klar prognostizierbar waren, wurde der zusätzlich notwendige Sicherungsaufwand mengen- und bauzeitmäßig im Werkvertrag erfasst.

In jedem Teilabschnitt war im Leistungsverzeichnis zudem ein umfangreicher Katalog an Bauhilfsmaßnahmen zur Beherrschung unerwarteter Baugrundverhältnisse vorhanden. Für den Fall, dass die Arbeiten nur nach

Table 1. Definition of construction relevance  
Tabelle 1. Definition der bautechnischen Relevanz

Relevance Relevanz		Main risks Hauptgefährdungen	Support work and effect on schedule Sicherungsaufwand und Auswirkungen auf Bauzeit
1	very low <i>sehr gering</i>	increased spalling; possibly spring ingress <i>verstärkte Ablösungen; eventuell Quellsutritt</i>	moderately increased support work without significant obstruction of advance <i>mäßig erhöhter Sicherungsaufwand ohne relevante Vortriebsbehinderungen</i>
2	Low <i>Gering</i>	increased spalling, face instability, slightly plastic rock mass behaviour, possible spring ingress <i>verstärkte Ablösungen, Ortsbrustinstabilitäten, leicht plastisches Gebirgsverhalten; eventuell Quellsutritte</i>	clearly increased support work with significant obstruction of advance <i>deutlich erhöhter Sicherungsaufwand mit Vortriebsbehinderungen</i>
3	Moderate <i>Mäßig</i>	rockfalls, face instability, collapse, moderately plastic rock mass behaviour; sometimes concentrated water ingress to water inflows <i>Nachbrüchigkeit, Ortsbrustinstabilitäten, Niederbruch, mäßig plastisches Gebirgsverhalten; z. T. konzentrierte Wasserzutritte bis Wassereinbrüche</i>	considerably increased support work with short interruptions of the advance <i>erheblich erhöhter Sicherungsaufwand, mit kurzen Vortriebsunterbrechungen</i>
4	very high <i>sehr hoch</i>	strong to extremely plastic rock mass behaviour, collapse; or sometimes water inflow <i>starkes bis extreme plastisches Gebirgsverhalten, Niederbruch, oder z. T. Wassereinbruch</i>	fault zones can necessitate longer interruptions of the advance in order to consolidate and possibly to drain the rock mass. Water bypass passages may have to be sealed. <i>Störzone kann eine längere Unterbrechung des Vortriebs erforderlich machen, um das Gebirge zu verfestigen bzw. zu dränieren, eventuell muss die Wasserwegigkeit reduziert werden</i>

to bear the cost in time and money of stoppages due to ground conditions that are outside the forecast in the contract. In order to cover the longer provision of machines and services as a result of stoppages, global prices per month of extended provision were agreed.

## 2 Tunnelling experience

The tunnel system of the GBT consists of two single-track bores (approx. 70 m<sup>2</sup>) for the running tunnels, each 57 km long with a normal separation of 40 m. Cross-passages are provided every 312 m. The main drives in Bodio began in autumn 2001. The Faido, Amsteg and Sedrun drives followed in 2002 and Erstfeld in 2007. Apart from the Sedrun section, the two multifunction stations, and the southern portal area, the single-track tunnels in Erstfeld, Amsteg, Faido and Bodio were driven by four almost identical gripper TBMs from Herrenknecht AG.

Considering the entire tunnelling time, it can be stated that the advance rates expected by the client were achieved in the single-track running tunnels in the section between the north portal and the shaft centreline in Sedrun, sometimes even exceeded. In the section south of the shaft centreline in Sedrun to the Bodio portal, however, only 75 % (Sedrun and Bodio) to 85 % (Faido) of the

Aufwand zu vergüten waren, wurden umfangreiche Budgetpositionen für Regieleistungen (jeweils über 10 Mill. CHF) geschaffen.

Die vertragliche Risikoabgrenzung folgte grundsätzlich den Normen SIA 198 (1993) und SIA 118 (1991). Die Norm SIA 198 legt klar fest, dass der Bauherr die zeitlichen und finanziellen Folgen von baugrundbedingten Vortriebsstillständen außerhalb der werkvertraglichen Prognose zu tragen hat. Für die aus den Stillständen resultierenden längeren Vorhaltezeiten von Geräten und Diensten wurden Globalpreise pro Monat längeres Vorhalten vereinbart.

## 2 Vortriebserfahrungen

Das Tunnelsystem des GBT besteht aus zwei Einspurtunneln (ca. 70 m<sup>2</sup>) von je 57 km Länge mit einem Achsabstand von normalerweise 40 m. Alle 312 m sind Querschläge angeordnet. Im Herbst 2001 wurde im Teilabschnitt Bodio mit den Hauptvortrieben begonnen. Die Teilabschnitte Faido, Amsteg und Sedrun folgten 2002 und Erstfeld im Jahr 2007. Abgesehen vom Teilabschnitt Sedrun, den beiden Multifunktionsstellen und dem südlichen Portalbereich wurden die Vortriebe für die Einspurtunnel in Erstfeld, Amsteg, Faido und Bodio mit insgesamt

Table 2. General advance rates in the single-track running tunnels  
 Tabelle 2. Generelle Vortriebsleistungen in den Einspurtunnelröhren

Section <i>Teilabschnitt</i>		Length (m) <i>Länge (m)</i>		Average daily advance rate (incl. all stoppages) <i>Mittlere tägliche Vortriebsleistung (inkl. aller Stillstände)</i>	
		Planned <i>geplant</i>	Effective <i>effektiv</i>	planned (tender design 1999) <i>geplant (Bauprojekt 1999)</i>	Effective <i>effektiv</i>
Erstfeld	east	7,380	7,778	13.0	14.3
	<i>Ost</i>	<i>7.380</i>	<i>7.778</i>	<i>13,0</i>	<i>14,3</i>
	west	7,380	7,705	13.0	14.2
	<i>West</i>	<i>7.380</i>	<i>7.778</i>	<i>13,0</i>	<i>14,2</i>
Amsteg	east	11,350	11,350	11.6	11.1
	<i>Ost</i>	<i>11.350</i>	<i>11.350</i>	<i>11,6</i>	<i>11,1</i>
	west	11,350	11,330	11.6	10.6
	<i>West</i>	<i>11.350</i>	<i>11.330</i>	<i>11,6</i>	<i>10,6</i>
Sedrun	northeast	2,145	2,145	1.1	1.2
	<i>Nordost</i>	<i>2.145</i>	<i>2.145</i>	<i>1,1</i>	<i>1,2</i>
	northwest	2,145	2,165	1.1	1.1
	<i>Nordwest</i>	<i>2.145</i>	<i>2.165</i>	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>
	southeast	4,641	6,404	3.6	3.0
	<i>Südost</i>	<i>4.641</i>	<i>6.404</i>	<i>3,6</i>	<i>3,0</i>
	southwest	4,308	6,593	3.6	2.8
	<i>Südwest</i>	<i>4.308</i>	<i>6.593</i>	<i>3,6</i>	<i>2,8</i>
Faido	east	14,589	13,456	12.3	10.5
	<i>Ost</i>	<i>14.589</i>	<i>13.456</i>	<i>12,3</i>	<i>10,5</i>
	west	15,095	13,523	12.3	9.9
	<i>West</i>	<i>15.095</i>	<i>13.523</i>	<i>12,3</i>	<i>9,9</i>
Bodio	east	16,558	15,971	20.0	10.8
	<i>Ost</i>	<i>16.558</i>	<i>15.971</i>	<i>20,0</i>	<i>10,8</i>
	west	16,375	15,702	15.0	11.8
	<i>West</i>	<i>16.375</i>	<i>15.702</i>	<i>15,0</i>	<i>11,8</i>

expected performances were achieved. In the Sedrun South drive, the slower rates were mainly due to difficult logistical conditions, while in Faido and Bodio it was mainly ground conditions that hampered progress.

The main drives were completed on 23 March 2011 with more than two years delay against the contract programme. The main cause of this delay were the extremely difficult ground conditions around the Faido multifunction station, where the excavation time increased from 33 months to 67 [1].

In three cases (Amsteg West, Sedrun West and Faido West), tunnelling work was stopped for long periods due to ground conditions, that demanded grouting to consolidate the rock mass or reduce water inflow.

### 3 TBM drive Amsteg West – consolidation of hydrothermally altered rock

#### 3.1 Initial situation

In the Amsteg section, the 11.35-km-long section of the Gotthard Base Tunnel was mostly bored by two identical tunnel-boring machines (TBM) of 9.58 m diameter. Ground conditions were forecast to be generally favourable. In particular, the steeply dipping main cleavage plane across the tunnel axis was forecast as favourable for the behaviour of the rock mass during tunnelling. Con-

vier praktisch baugleichen Gripper-TBM der Firma Herrenknecht AG aufgeföhren.

Über die gesamte Vortriebszeit betrachtet, kann festgestellt werden, dass die vom Bauherrn erwarteten Vortriebsleistungen in den Einspurtunnelröhren im Abschnitt zwischen dem Nordportal und der Schachttachse in Sedrun erreicht, teilweise sogar übertroffen wurden. Im Abschnitt südlich der Schachttachse Sedrun bis zum Portal Bodio wurden jedoch nur rund 75 % (Sedrun und Bodio) bis 85 % (Faido) der erwarteten Leistungen erreicht. Im Vortrieb Sedrun Süd sind die geringeren Leistungen mehrheitlich auf die schwierigen logistischen Verhältnisse zurückzuführen, während in Faido und Bodio primär die Baugrundverhältnisse leistungshemmend wirkten.

Am 23. März 2011 wurden die Hauptvortriebe mit mehr als zwei Jahren Verspätung auf das Werkvertragsprogramm beendet. Hauptursache für die Verzögerung waren die äußerst schwierigen Baugrundverhältnissen im Bereich der Multifunktionsstelle Faido, für welche die Ausbruchszeit von 33 Monaten auf 67 Monate anstieg [1].

In drei Fällen (Amsteg West, Sedrun West und Faido West) kam es in den Einspurtunneln zu langen, baugrundbedingten Vortriebsstillständen, die den Einsatz von gebirgsverfestigenden oder wasserreduzierenden Injektionen erforderten.

struction problems were mainly expected when passing through caciritic faults. Due to the deep overburden of up to 2,200 m, rock-burst or similar events also had to be expected.

When the Gotthard Road Tunnel was constructed (1970 to 1980), so-called hydrothermally altered rock was also encountered. This is not a tectonic fault phenomenon but rocks that have been fractured during mountain formation, which can occur independently of fault zones. Such occurrences can be more than 10 m wide and are difficult to forecast due to their lens shape. Precisely such conditions were encountered in June 2005 in the GBT from chainage km 215.114.

### 3.2 Events in the tunnel in June 2005

At the start of June 2005, the maximum overburden of approximately 2,200 m was reached under the 2,709 m high Chrüzlistock, resulting in a rock temperature of 44 °C. The east and west TBMs were almost level and had already excavated two thirds of the TBM section Amsteg-Seedrun (approx. 7,600 m).

On 5 June 2005, the east TBM reached the forecast Fault Zone A13. This had a length of 11 m and did not turn out to be a significant problem for construction. After the fault zone, the miners encountered partially hydrothermally altered rock. The east TBM bored continuously through the

## 3 TBM-Vortrieb Amsteg West – Verfestigung von hydrothermal zersetztem Gebirge

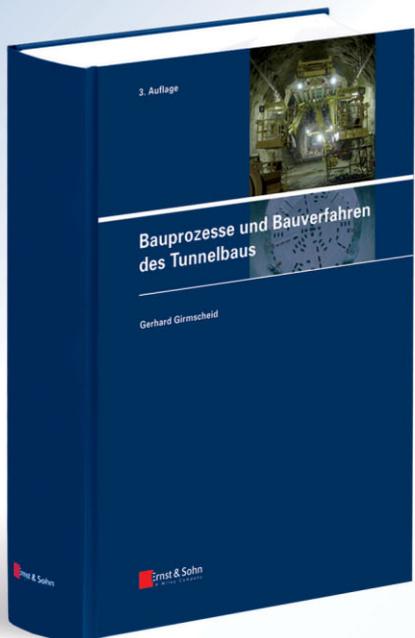
### 3.1 Ausgangslage

Im Teilabschnitt Amsteg wurde ein 11,35 km langer Abschnitt des Gotthard Basistunnels größtenteils mit zwei baugleichen Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit 9,58 m Durchmesser aufgeföhren. Die Baugrundverhältnisse wurden insgesamt als günstig prognostiziert. Dabei wirkt sich insbesondere auch die steilstehende, quer zur Tunnelachse anstehende Hauptschieferungsebene der Gesteinsserien günstig auf das bautechnische Verhalten des Gebirges aus. Bautechnische Probleme wurden primär beim Durchörtern von kakiritischen Störungen erwartet. Wegen den hohen Überlagerungen bis zu 2.200 m musste auch mit dem Phänomen Bergschlag oder mit bergschlagähnlichen Erscheinungen gerechnet werden.

Beim Aufföhren des Gotthard Straßentunnels (1970 bis 1980) wurde so genanntes hydrothermal zersetztes Gebirge angetroffen. Dabei handelt es sich nicht um tektonische Störungen, sondern um während der Gebirgsbildung desaggregierte Gesteine, die unabhängig von Störzonen auftreten können. Solche Erscheinungen können Ausdehnungen von bis über 10 m haben und sind wegen ihres linsenartigen Auftretens nur schwer prognostizierbar. Genau solche Verhältnisse wurden im Juni 2005 auch am GBT ab km 215,114 angetroffen.

Online-Bestellung: [www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)





## Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus

■ Die erfolgreiche Durchführung eines Tunnelprojekts ist von der Wahl des Bauverfahrens und der baubetrieblichen Abwicklung abhängig. In diesem Buch werden ausgehend von der geologischen Situation Bauverfahren und alle zu beachtenden baubetrieblichen Arbeitsschritte erläutert.

In diesem Buch werden sämtliche Bauverfahren für die Planung und Durchführung moderner Tunnelbauwerke, ausgehend von der geologischen Situation, vorgestellt.

Die Vortriebsverfahren, wie Sprengvortrieb, Vortrieb mittels Teilschnittmaschinen (TSM) und Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) im Fels- und Lockergestein sowie die Spezialtunnelbauverfahren zur Durchörtern von Störzonen werden umfassend beschrieben.

Zusätzlich werden die modernen Logistiksysteme zur Ver- und Entsorgung sowie die Baustelleneinrichtung und Fertigungsanlagen, z. B. zur Tübbingherstellung, detailliert erläutert. Die hochmechanisierten Sicherungs- und Ausbaumethoden runden die Erläuterungen der baubetrieblichen Prozesse ab.

HRSG.: GERHARD GIRMSCHIED

**Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus**

3. Auflage 2013.

694 S., 540 Abb., 110 Tab., Gb.

€ 149,-\*

ISBN 978-3-433-03047-9



**Ernst & Sohn**  
A Wiley Brand

**Ernst & Sohn**  
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH  
Boschstraße 12  
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400  
Fax +49 (0)6201 606-184  
service@wiley-vch.de

\* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt.; zzgl. Versandkosten. Irrtum und Änderungen vorbehalten. 0263100006\_dp

friable material with slow daily advance rates of 1 to 5 m/d. An increased amount of support work was necessary, particularly to improve the bracing of the grippers. The drive did, however, keep moving steadily without particular difficulties. No heavy water inflow was encountered.

On 13 June 2005, the west TBM reached Fault Zone A13, which it overcame rapidly. To the south of A13, hydrothermally altered material was encountered, which presented itself as more compact than in the east bore. The drive maintained good progress with advance rates of 8 to 13 m/d. On 18 June 2005, however, the situation changed suddenly. During the maintenance shift, an unexpected water inflow of 2 to 3 l/s washed loose material into the cutter-head and blocked it.

### 3.3 Immediate measures and additional probing

For two days, repeated attempts were made to clear the cutter-head manually and turn the TBM again. This was not successful, despite the application of the maximum cutter-head drive power of 3.5 MW. In a second phase, the mining crew attempted to reverse the machine by about one metre, which entailed removing the last steel arch that had been inserted. However, it only proved possible to move the TBM back a few centimetres. In a third phase, an attempt was made to free the TBM with niches at the sides, but more material flowed into the niches and partially filled them (Fig. 3).

The rock-bolt drills on the west TBM were then used to install more than 30 grouted anchors to investigate the problem zone ahead of the machine. The recorded drill data gave the first hint of the geometrical shape of the loosened zone. It was also attempted to drain the rock mass through the holes, which was not, however, very successful.

Cores with a length of 11 to 45 m were now drilled from the side niches to systematically investigate conditions in front of, and above, the cutter-head. These showed the following picture (Fig. 4):

- In front of the cutter-head was a loosened zone 5 to 8 m long (Fig. 4).
- Hydrothermally altered rock was to be expected for a further approx. 15 m.



Fig. 3. Amsteg West: side niche next to cutterhead filled with stone inflow  
Bild 3. Amsteg West: Seitliche Nische auf Höhe Bohrkopf mit nachfließendem Gestein gefüllt

### 3.2 Ereignisse im Juni 2005 im Vortrieb

Anfang Juni 2005 wurde unter dem 2.709 m hohen Chrüzlistock die maximale Überdeckung von ca. 2.200 m erreicht, was eine Felstemperatur von 44 °C ergab. Die Ost- und die West-TBM lagen praktisch auf gleicher Höhe und hatten bereits zwei Drittel der TBM-Vortriebsstrecke Amsteg-Sedrun (ca. 7.600 m) ausgebrochen.

Am 5. Juni 2005 erreichte die TBM Ost die prognostizierte Störzone A13. Diese wies eine Länge von 11 m auf und erwies sich als bautechnisch nicht relevant. An die Störung anschließend trafen die Mineure auf teilweise hydrothermal zersetztes Gestein. Die TBM Ost bohrte sich mit geringen Tagesleistungen von 1 bis 5 m/d kontinuierlich durch das mürbe Material. Ein erhöhter Sicherungsaufwand war insbesondere zur Verbesserung der Verspannbarkeit der Gripper nötig. Der Vortrieb ging aber stetig und ohne besondere Schwierigkeiten voran. Größere Wasserzutritte wurden nicht verzeichnet.

Am 13. Juni 2005 erreichte auch die TBM West die Störzone A13, die sie in kurzer Zeit problemlos überwand. Südlich an die A13 anschließend wurde ebenfalls hydrothermal zersetztes Material angetroffen. Dieses präsentierte sich jedoch kompakter als jenes in der Oströhre. Mit Tagesleistungen von 8 bis 13 m/d kam der Vortrieb gut voran. Am 18. Juni 2005 änderte sich die Lage jedoch schlagartig. Während der Wartungsschicht schwemmte ein unerwarteter Wasserzutritt von 2 bis 3 l/s loses Material in den Bohrkopf und blockierte diesen.

### 3.3 Sofortmaßnahmen und Zusatzerkundungen

Während zwei Tagen wurde mehrfach versucht, den Bohrkopf von Hand zu räumen und die TBM wieder anzudrehen. Dies gelang trotz Mobilisierung der gesamten Antriebsleistung des Bohrkopfs von 3,5 MW nicht. In einer zweiten Phase versuchte die Vortriebsmannschaft, die Maschine rund einen Meter zurückzuziehen. Dazu musste der letzte eingebaute Stahlbogen wieder ausgebaut werden. Die TBM konnte jedoch nur wenige Zentimeter rückwärts bewegt werden. In einer dritten Phase wurde versucht, den Bohrkopf mit seitlichen Nischen freizulegen.

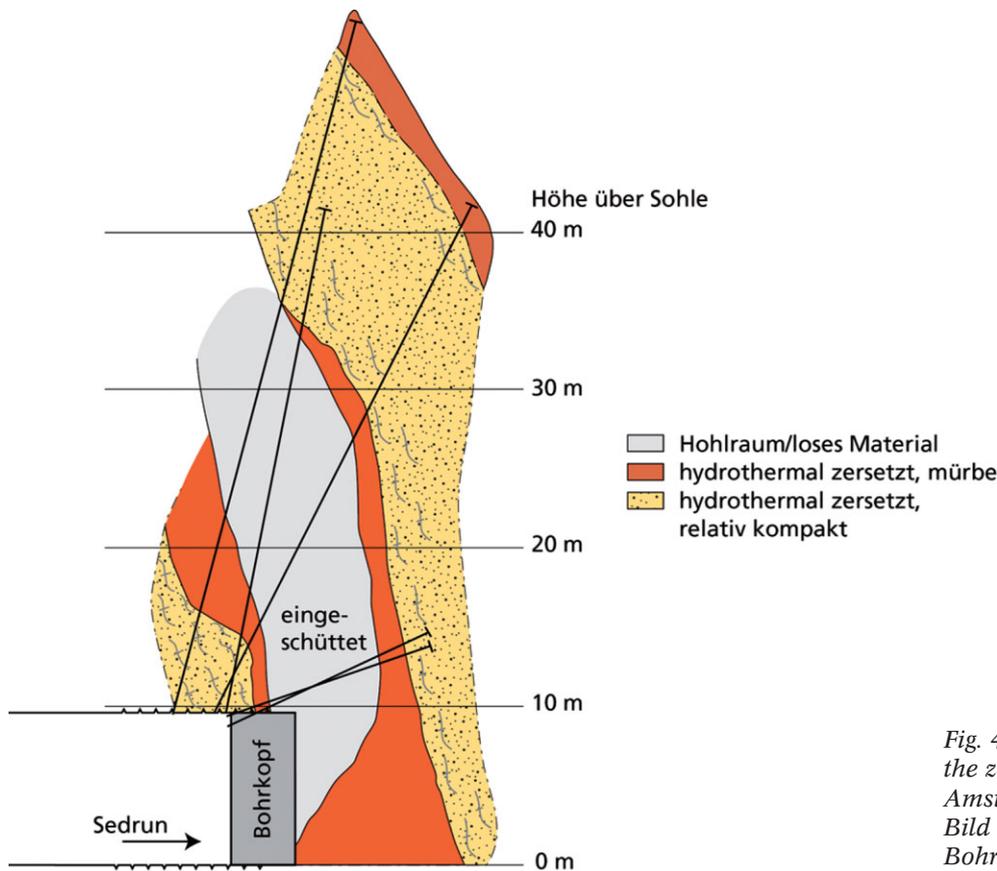


Fig. 4. Longitudinal section through the zone in front of the cutterhead TBM Amsteg West  
Bild 4. Längsschnitt der Zone vor dem Bohrkopf TBM Amsteg West

– The caved-in zone extended at least 25 m above the cutter-head.

### 3.4 Freeing the TBM using grouting and opposing drive

In order to solve the problem, the client employed a crisis team in accordance with the incident management procedure. This included representatives of the project engineer, site supervision, contractor, client and external specialists. After detailed investigation, it became apparent that (Fig. 5):

- Loose material in front of, and above, the TBM would have to be consolidated by grouting.
- Side access through the friable material with a large diameter next to the cutter-head was too dangerous.
- A grouting gallery at the side with a small diameter next to the cutter-head was deemed practical.
- The cutter-head itself would have to be freed by tunnelling from the opposite direction from the east bore under the protection of a pipe screen.

A circular grouting gallery was driven from the east bore with a cross-section of approx. 18 m<sup>2</sup>, supported with TH 29/58 full arches (spacing 1.0 m), 25 cm shotcrete and K188 mesh (Fig. 6).

Over 120 holes were drilled from the grouting niche. In order to protect the cutter-head from being cemented into place, a zone about 2 m thick around the TBM was grouted with gel (HydroBloc Polygel 530 from the Arcan company). This highly fluid water-soluble acrylate gel reacts after the addition of the reaction starter dissolved in water to form a highly elastic hydrogel. In order to consolidate the rock mass, cement-based grout was then injected

Nachfließendes Gestein brach jedoch in diese Nischen ein und füllte diese teilweise auf (Bild 3) [5].

Mit den auf der TBM West installierten Ankerbohrgeräten wurden nun über 30 Injektionsbohranker zur Erkundung der vorausliegenden Problemzone eingebaut. Die aufgezeichneten Bohrdaten gaben einen ersten Hinweis auf die geometrische Form des aufgelockerten Bereichs. Zudem wurde versucht das Gebirge mit den Bohrungen zu entwässern, jedoch nur mit bescheidenem Erfolg.

Aus den seitlichen Nischen wurden nun 11 bis zu 45 m lange Kernbohrungen zwecks systematischer Erkundung der Verhältnisse vor und über dem Bohrkopf ausgeführt. Diese ergaben folgendes Bild (Bild 4):

- Vor dem Bohrkopf befindet sich eine aufgelockerte Zone von 5 bis 8 m Länge (Bild 4).
- Auf weiteren ca. 15 m ist mit hydrothermal zersetztem Gebirge zu rechnen.
- Die eingeschüttete Zone reicht bis mindestens 25 m über Firstniveau.

### 3.4 Freilegung der TBM mittels Injektionen und Gegenvortrieb

Zur Lösung des Problems setzte die Bauherrschaft einen Krisenstab gemäß dem Prozess Ereignismanagement ein (Bild 19). Dieser bestand aus Vertretern des Projektingenieurs, der örtlichen Bauleitung, des Unternehmers, des Bauherrn und externen Spezialisten. Nach eingehenden Abklärungen wurde erkannt (Bild 5):

- Lockeres Material vor und über der TBM muss mit Injektionen verfestigt werden.
- Ein seitlicher Zugang mit großem Querschnitt auf Höhe des Bohrkopfs durch das mürbe Gestein ist zu riskant.

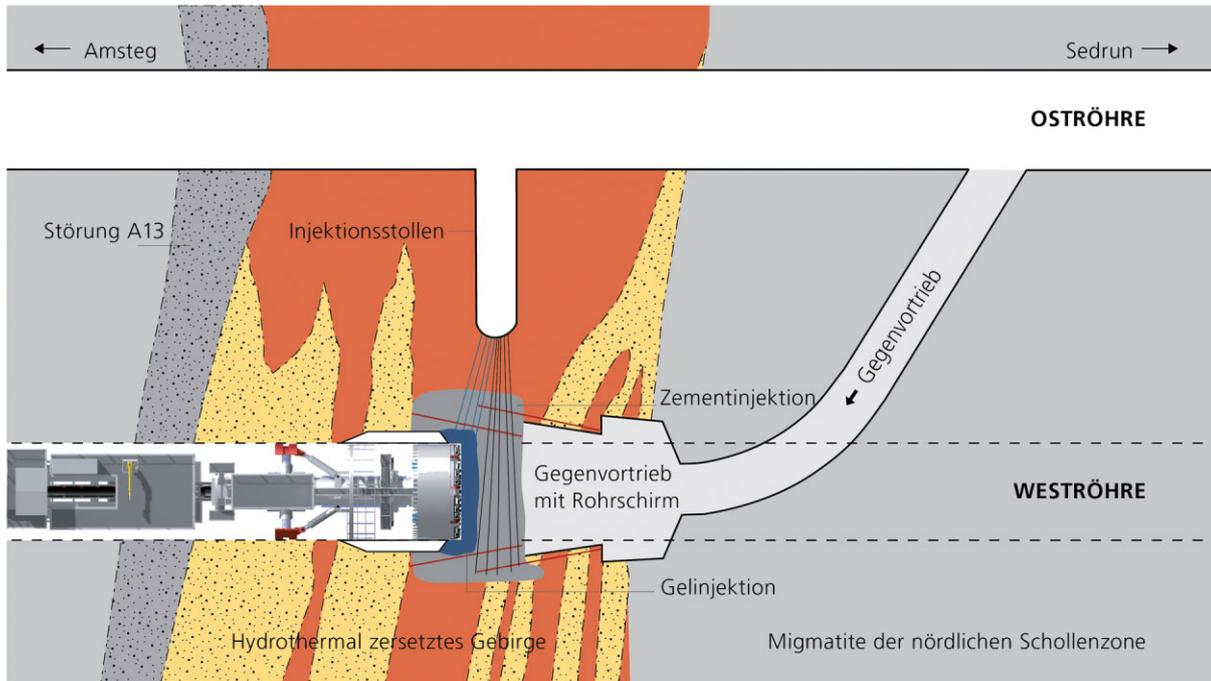


Fig. 5. Planned measures to free the TBM, Amsteg West  
Bild 5. Maßnahmenplanung zur Freilegung der TBM Amsteg West

around the gel body. The material used, Duroflow R from the company Georoc (Holcim), is a hydraulic binder based on oil-shale cement ground to a fineness of approx. 8,000 Blain. The cement grouting was carried out with a W/C ratio of 1.0 to achieve a final pressure of 20 bar or the calculated correct quantity. During all of these grouting works, the cutter-head of the west TBM was visually monitored so that work could be stopped immediately if cement emerged.

The zone to the right of the west TBM could not be reached from the grouting gallery for geometrical reasons. This zone was therefore covered from 40 additional grouting holes from the side niche next to the cutter-head, of which 16 holes were grouted with gel and the remaining 24 holes with cement (Fig. 7).

After drilling more than 2,800 running metres of grouting holes, the grouting works were completed at the



Fig. 6. Grouting gallery, Amsteg  
Bild 6. Injektionsstollen Amsteg

- Ein seitlicher Injektionsstollen mit kleinem Querschnitt auf Höhe Bohrkopf wird als machbar beurteilt.
- Der Bohrkopf selber muss durch einen Gegenvortrieb aus der Oströhre im Schutz eines Rohrschirms freigelegt werden.

Aus der Oströhre wurde ein kreisrunder Injektionsstollen mit ca. 18 m<sup>2</sup> Querschnitt vorgetrieben, gesichert mit Vollbogen TH 29/58 (Abstand 1.0 m), 25 cm Spritzbeton und Netzen K188 (Bild 6).

Über 120 Bohrungen wurden aus der Injektionsnische ausgeführt. Zum Schutz des Bohrkopfs gegen ein Einzementieren wurde rund um die TBM eine ca. 2 m dicke Zone mit Gel (HydroBloc-Polygel 530 der Firma Arcan) injiziert. Dieses dünnflüssige, mit Wasser mischbare Acrylatgel reagiert nach Zugabe des in Wasser gelösten Reaktionsstarters zu einem hochelastischen Hydrogel. Zur Gebirgsverfestigung wurden anschließend um den Gelkörper herum Zementinjektionen ausgeführt. Beim eingesetzten Produkt Duroflow R der Firma Georoc (Holcim) handelt es sich um ein hydraulisches Bindemittel auf Basis von Ölschieferzement mit einer Mahlfineinheit von ca. 8.000 Blain. Die Zementinjektionen erfolgten mit einem W/Z Faktor von 1,0 bis zum Erreichen des Enddrucks von 20 bar oder der berechnete Sollmenge. Während des gesamten Injektionsvorgangs wurde der Bohrkopf der TBM West durch einen Mitarbeiter optisch überwacht, damit beim Feststellen von Zementaustritten in den TBM-Kopf die Injektionen umgehend eingestellt werden konnten.

Der Bereich rechts neben dem Kopf der TBM West, konnte aus geometrischen Gründen nicht aus dem Injektionsstollen erreicht werden. Dieser Bereich wurde deshalb aus der seitlichen Nische neben dem Bohrkopf mit 40 Injektionsbohrungen abgedeckt, wovon 16 Bohrungen mit Gel, die restlichen 24 Bohrungen mit Zement injiziert wurden.

start of November 2005. At approx. 5,100 locations, the specialist contractor injected more than 50 t of gel and approx. 110 t of cement mix. The success of grouting was checked by drilling cores. The bodies that had been produced turned out to be so compact and homogeneous that only isolated backup grouting was necessary.

Parallel to the grouting works, a tunnel of approx. 35 m<sup>2</sup> cross-section was driven in competent rock from the opposite direction, working from the east bore to the axis of the west bore. The first 15 m pipe screen was then drilled from a drilling niche while still in the competent rock.

The continued advance of the top heading was excavated with hydraulic excavator or blasting to loosen the rock. A support core was always left standing. The support used consisted of HEB 240 steel arches at a spacing of 1 m and shotcrete with two layers of K188 mesh. The second pipe screen had a length of 18 m and extended to above the cutter-head, with similar support to the first pipe screen.

The cutter-head was finally freed on 14 November 2005. After a stoppage of more than five months, the west TBM turned again on 23 November 2005 and then cut through the bench remaining in the tunnel from the opposite direction (Fig. 8). Regular operation was resumed in the middle of December 2005 after a stoppage of 152 working days.

Nach mehr als 2.800 lfm Injektionsbohrungen waren die Injektionsarbeiten Anfang November 2005 abgeschlossen. An ca. 5.100 Stellen injizierten die Spezialisten mehr als 50 t Gel und ca. 110 t Zementmischung. Der Injektionserfolg wurde mit Kernbohrungen kontrolliert. Der hergestellte Körper erwies sich als so kompakt und homogen, dass nur vereinzelte Nachinjektionen notwendig wurden.

Parallel zu den Injektionsarbeiten erfolgte im standfesten Gebirge der Gegenvortrieb mit ca. 35 m<sup>2</sup> Querschnitt aus der Oströhre bis auf die Achse der Weströhre. Aus einer noch im standfesten Fels angeordneten Bohrnische wurde ein erster 15 m langer Rohrschirm gebohrt (Bild 7).

Der weitere Vortrieb in der Kalotte erfolgte im Teilausbruch mit Bagger oder mit Lockerungssprengungen. Dabei wurde jeweils ein Stützkern stehen gelassen. Als Sicherung wurden Stahlbögen HEB 240 im Abstand von 1 m und Spritzbeton mit zwei Lagen Netzen K188 eingebaut. Der zweite Rohrschirm wies eine Länge von 18 m auf und reichte bis über den Bohrkopf, mit analoger Sicherung wie beim ersten Rohrschirm.

Am 14. November 2005 konnte der Bohrkopf freigelegt werden. Nach einem Stillstand von mehr als fünf Monaten konnte am 23. November 2005 die TBM West wieder angedreht und die im Gegenvortrieb verbliebene Stosse mit der TBM aufgeföhren werden (Bild 8). Mitte Dezember 2005 konnte der Regelvortrieb nach einer Still-

Online-Bestellung: [www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)



## Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb

BERNHARD MAIDL,  
MARTIN HERRENKNECHT,  
ULRICH MAIDL,  
GERHARD WEHRMEYER

### Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb

2., vollst. überarb. u. erw. Auflage  
2011. 492 Seiten,  
468 Abb., 44 Tab.  
Gebunden.  
€ 119,-\*  
ISBN 978-3-433-02948-0

### Mechanised Shield Tunneling

2nd edition.  
490 pages,  
468 fig. Hardcover.  
€ 119,-\*  
ISBN: 978-3-433-02995-4  
2012

■ Das Buch stellt die Grundsätze des maschinellen Schildvortriebes und die unterschiedlichen Maschinenarten vor und gibt Berechnungsansätze und Konstruktionshinweise. Weitere Kapitel befassen sich mit den Abbaugeräten, den Förderanlagen, der Tunnel-sicherung, der Vermessung und Steuerung sowie der Arbeitssicherheit. Ferner wird ausführlich auf die vertraglichen Aspekte und das Prozess-Controlling eingegangen.

- Neue Auflage, komplett überarbeitet und aktualisiert.
- Übersicht zu Einsatzgebieten und Anwendungsgrenzen moderner Tunnelvortriebsmaschinen.
- Autoren garantieren Praxisnähe und Informationen aus erster Hand.
- Stellt den neuesten Stand der Technik des maschinellen Schildvortriebes und die unterschiedlichen Maschinenarten vor.
- Liefert Berechnungsansätze und Konstruktionshinweise.

also available in English

**Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und technische  
Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH  
Boschstraße 12  
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400  
Fax +49 (0)6201 606-184  
service@wiley-vch.de

\* Der e-Preis gilt ausschließlich für Deutschland inkl. MwSt.; zzgl. Versandkosten. Irrtum und Änderungen vorbehalten. 017820006\_dp



Fig. 7. Opposite drive at Amsteg West, installation of pipe screen

Bild 7. Gegenvortrieb Amsteg West, Einbau Rohrschirm

### 3.5 Findings

Two identical TBMs encountered hydrothermally altered rock simultaneously. In the dry east bore, the problem was overcome without great problems. Under almost identical geological conditions, a small water inflow of 2 to 3 l/s in the west bore led to loose material washing into the cutterhead and thus blocked the TBM for half a year.

The cost of freeing the TBM amounted to about CHF 10 m. Since the necessary auxiliary measures were already in the contract with appropriate budget items, the costs could be covered under the contract, and there were no extra costs. The contract programme included altogether nine months for geological problem zones, which meant that the stoppage had no negative effect on the overall programme.

Could this incident have been avoided? The rock mass was continuously probed ahead of the machine with seismic methods. The reduced strengths that were displayed were put down to the presence of Fault Zone A13, but there was no hint of the hydrothermally altered rock mass behind it. The advance probing plan in use at the time therefore did not demand additional probing holes.

Whether the conditions actually encountered could have been detected with additional probes and overcome, may be doubted. One indication for this is the fact that despite the drilling of more than 40 holes for grouted anchors, probing and drainage, only about half of the formation water quantity could be drained. The fact that such quantities of water are not always detected by advance probing is demonstrated by the following case study from the Sedrun South West drive.

## 4 Sedrun South West – reduction of water ingress from a zone of joints

### 4.1 Starting situation

In the Sedrun section, a section of the Gotthard Base Tunnel about 8.6 km long (2.1 km to the north, 6.5 km to the south) was driven, with access down two shafts 800 m



Fig. 8. Cutterhead of Amsteg West TBM exposed (15 November 2005)

Bild 8. Bohrkopf TBM Amsteg West freigelegt (15. November 2005)

standszeit von 152 Arbeitstagen wieder aufgenommen werden.

### 3.5 Erkenntnisse

Zwei identische TBMs trafen zur gleichen Zeit auf hydrothermal zersetztes Gestein. In der trockenen Oströhre wurde die Störung ohne größere Probleme bewältigt. Bei praktisch identischen geologischen Verhältnissen führte ein geringer Wasseranfall von 2 bis 3 l/s in der Weströhre zu einem Einschwemmen von losem Material in den Bohrkopf und dadurch zum Blockieren der TBM während eines halben Jahres.

Die Kosten zur Freilegung der TBM betrugen rund 10 Mill. CHF. Da im Werkvertrag die erforderlichen Bauhilfsmaßnahmen ausgeschrieben und entsprechende Budgetpositionen vorhanden waren, konnten die Kosten aus dem Vertrag abgedeckt werden, und es entstanden keine Mehrkosten. Für geologische Problemzonen waren im Vertragsprogramm insgesamt neun Monate eingerechnet, womit der Stillstand keine negativen Auswirkungen auf das Gesamtterminprogramm hatte.

Hätte das Ereignis vermieden werden können? Dem Vortrieb vorauslaufend wurde das Gebirge durchgehend mit seismischen Untersuchungen erkundet. Angezeigte verringerte Festigkeiten ließen auf die Störzone A13 schließen. Hinweise auf das dahinter liegende hydrothermal zersetzte Gebirge konnten jedoch nicht gefunden werden. Somit bestand gemäß dem damals gültigen Vorauserkundungskonzept auch kein Anlass mit Drehschlagbohrungen weiter zu sondieren.

Ob die angetroffenen Verhältnisse mit Drehschlagbohrungen erkannt und beherrscht worden wären, darf bezweifelt werden. Ein Indiz dafür ist die Tatsache, dass trotz mehr als 40 durchgeführten Injektionsbohranker-, Erkundungs- und Drainagebohrungen nur rund die Hälfte der Bergwassermenge drainiert werden konnte. Dass solche Wasserführungen auch bei intensiven Vorauserkundungen nicht immer erkannt werden, zeigt zudem die nachfolgende Fallstudie zum Vortrieb Sedrun Süd West.

# Beton ist dicker als Wasser

Das Online-Magazin für Bauingenieure  
www.momentum-magazin.de



deep. Starting from the shaft centreline in Sedrun at km 121.0, the GBT passes through the following tectonic units (see also Fig. 1):

- the southern part of the Tavetsch Intermediate Massif (TZM),
- the Urseren-Garvera Zone (UGZ, already part of the Gotthard Massif),
- the northern part of the Gotthard Massif (GM).

In the Gotthard Massif, the axis of the GBT passes at a depth of 1,420 m below the water level of the Nalps and Santa Maria reservoirs.

Since the impairment of the Zeuzier dam by the construction of the Rawil exploration bore in 1978, it has been known that there is a causal relationship between the draining of water for a tunnel drive and surface settlement [3]. The drainage of the rock mass leads to a settlement trough. The curvature of the trough can lead to a closing, opening or distortion of the valley depending on the location and alignment [7]. These surface deformations, whether large-scale or localised, can endanger the structural stability of dams by exceeding permissible limit values. The design therefore specified that the quantity of water flowing into the tunnel should be monitored and, if necessary, limited.

At the end of June 2006, the Sedrun south drive was about 3.5 km away from the foot of the shaft in the Gotthard Massif, mostly in weakly permeable gneiss. The excavation was performed by drilling and blasting with a horseshoe profile. The Nalps dam was located about 500 m west of the tunnel drive, with the foot of the dam about 1,270 m above the tunnel axis. The overburden was about 1,500 m with a water pressure of approx. 130 bar (= +/- water level Nalps reservoir).

## 4.2 Incident on 13 September 2006

Before the summer break, on 13 June 2006, core number 32 in the east bore at km 123.685 localised a fault. The

## 4 Sedrun Süd West – Reduktion von Wasserzutritten aus einer Kluftzone

### 4.1 Ausgangslage

Im Teilabschnitt Sedrun wurde ein rund 8,6 km (2,1 km nach Norden, 6,5 km nach Süden) langer Abschnitt des Gotthard Basistunnels aufgeföhren, der über zwei 800 m tiefe Schächte erschlossen ist. Ausgehend von der Schachttachse Sedrun bei km 121,0 durchquert der GBT die folgenden tektonischen Einheiten (vgl. Bild 1):

- Den südlichen Teil des Tavetscher Zwischenmassivs (TZM),
- Die Urseren-Garvera-Zone (UGZ, bereits Bestandteil des Gotthard-Massivs),
- Den Nordteil des Gotthard-Massivs (GM).

Im Bereich des Gotthard-Massivs verläuft die Trasse des GBT in einer Tiefe von rund 1.420 m unter dem Seespiegel der Stauhaltungen Nalps und Santa Maria.

Seit der Beeinträchtigung der Stauanlage Zeuzier durch den Bau des Sondierstollens Rawil im Jahre 1978 ist bekannt, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen der Wasserentnahme durch einen Tunnelvortrieb und allfälligen Oberflächenverformungen besteht [6]. Die Gebirgsentwässerung führt zu einer Setzungsmulde. Durch die Krümmung der Setzungsmulde ergibt sich je nach Lage und Ausrichtung eine Talschließung, eine Talöffnung oder eine Talverzerrung [7]. Die Oberflächendehformationen, ob großräumig oder lokal, können beim Überschreiten der zulässigen Grenzwerte die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Stauanlagen gefährden. Deshalb war im Projekt vorgesehen, die dem Tunnelhohlraum zufließende Wassermenge zu kontrollieren und, falls nötig, zu begrenzen.

Ende Juni 2006 befand sich der Südvortrieb Sedrun rund 3,5 km vom Schachtfuß weg im Bereich des Gotthard-Massivs in mehrheitlich schwach durchlässigen Gneisen. Der Ausbruch erfolgte im Sprengvortrieb mit einem Hufeisenprofil. Die Staumauer Nalps lag ca. 500 m

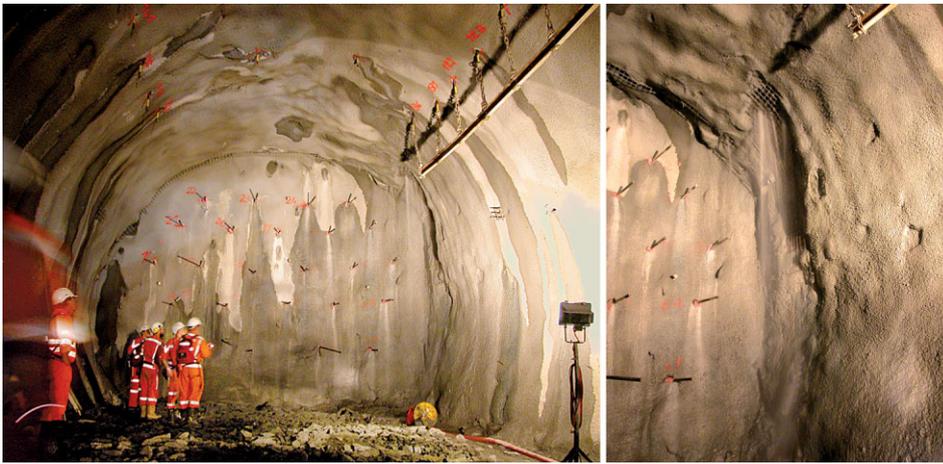


Fig. 9. Water inflow at Sedrun  
(13 September 2006)  
Bild 9. Wasserzutritt Sedrun  
(13. September 2006)

water quantity was small. This fault was then driven through without problems on 30 June 2006 by the leading east bore. Dripping was only recorded at a few points in the cross-section.

After the summer break on 3 September 2006, a 60-metres-long hole was hammer-drilled into the fault from the following west bore. This hole produced about 1 l/s of water. Driving of the west bore was continued on 4 September 2006. Due to the relatively poor stability of the prevailing rock, the face was secured with 26 anchors 12 m long. The anchors were laid out with an overlapping length of 6 m, so the face had been probed by altogether 52 holes. The anchor holes also produced little water. On 13 September 2006 at km 223.711<sup>1</sup>, a round 2 m long was drilled with approx. 90 holes. The inflow also remained small from the blasting holes. After the blast, an inflow of about 1 to 2 l/s was measured at km 223.7125 in the right-hand upper side heading. The water inflow then increased rapidly to 13 l/s accompanied by a collapse of 15 m<sup>3</sup> (Fig. 9). Based on the assessment of the overall situation (water inflow > 10 l/s, fault in the area directly affected by the Nalps dam), the drive was stopped on the evening of 13 September 2006.

### 4.3 Immediate measures and additional probing

In contrast to the two other incidents described, the incident in Sedrun did not affect the driving equipment. Immediate measures were limited to the support of the collapse with shotcrete, steel arches and rock bolts.

Three cores about 80 m long were then immediately ordered to investigate the spatial extent and structure of the fault zone. These holes were undertaken in the period from 19 September 2006 to 4 October 2006. At the same time, the monitoring system already installed on the surface at the Nalps dam since 2002 also recorded increased deformation velocities [8].

The fault zone encountered was identified as Fault Zone 44, which runs on the surface in the immediate vicinity of the Nalps dam. At tunnel level, the fault zone was bounded to the north and south by undisturbed slightly permeable gneiss. The structure of the fault itself can be divided into three areas. The edges consist of

westlich des Tunnelvortriebs, mit dem Mauerfuß rund 1.270 m über der Tunnelachse. Die Überlagerung betrug ca. 1.500 m bei einem anstehenden Gebirgswasserdruck von ca. 130 bar (= +/- Staukote Nalps).

### 4.2 Ereignis vom 13. September 2006

Noch vor der Sommerpause wurde in der Oströhre am 13. Juni 2006 mit der Kernbohrung KB Nr. 32 bei km 123.685 eine Störung lokalisiert. Die Wasserschüttung war gering. Diese Störung wurde dann am 30. Juni 2006 mit der vorausseilenden Oströhre ohne Probleme durchfahren. Im Querschnitt waren nur einzelne Tropfstellen feststellbar.

In der nachlaufenden Weströhre wurde in diesem Bereich nach der Sommerpause am 3. September 2006 eine 60 m lange Schlagbohrung ausgeführt. Diese Bohrung führte ca. 1 l/s Wasser. Der Vortrieb in der Weströhre wurde am 4. September 2006 fortgesetzt. Die Ortsbrust wurde aufgrund der relativ schlechten Stabilität des anstehenden Gebirges mit 26 Anker von 12 m Länge gesichert. Die Anker wurden mit einer Überlappungslänge von 6 m angeordnet, womit die Ortsbrust mit insgesamt 52 Bohrungen erkundet war. Die Ankerbohrungen führten ebenfalls wenig Wasser. Am 13. September 2006 wurde bei km 223.711<sup>1</sup> ein Abschlag von 2 m Länge mit ca. 90 Löchern gebohrt. Der Zufluss blieb auch aus den Sprenglöchern gering. Nach dem Abschlag wurde bei km 223.7125 im rechten oberen Parament ein Zufluss von 1 bis 2 l/s festgestellt. Begleitet von einem Niederbruch von 15 m<sup>3</sup> stieg die Wasserschüttung innerhalb kurzer Zeit auf 13 l/s an (Bild 9). Aufgrund der Beurteilung der Gesamtsituation (Wasserzutritt > 10 l/s, Störung im direkten Einflussbereich der Stauhaltung Nalps) wurde der Vortrieb am Abend des 13. September 2006 gestoppt.

### 4.3 Sofortmaßnahmen und Zusatzerkundungen

Im Gegensatz zu den anderen zwei beschriebenen Ereignissen war in Sedrun die Vortriebsrichtung nicht vom Ereignis betroffen. Die Sofortmaßnahmen beschränkten sich auf die sofortige Sicherung des Niederbruchs mit Spritzbeton, Stahlbögen und Ankern.

<sup>1</sup> Kilometre chainage east bore 100 + X, west bore 200 + X

<sup>1</sup> Kilometrierung Oströhre 100 + X, Kilometrierung Weströhre 200 + X

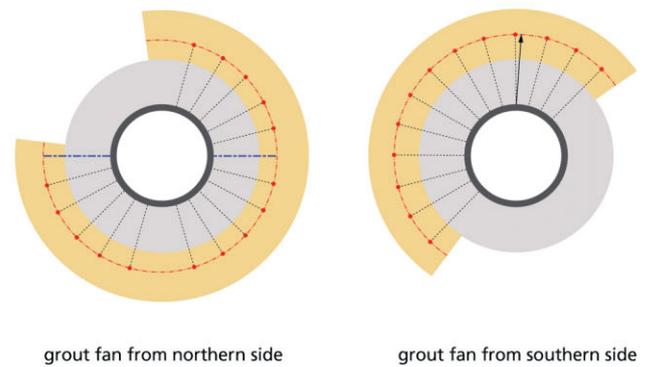
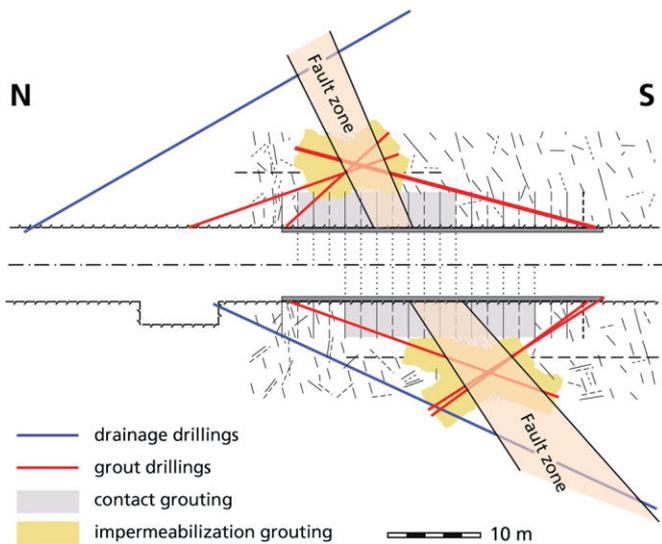


Fig. 10. Grouting measures in the west bore at Sedrun (from north and from south)  
 Bild 10. Injektionsmaßnahmen Weströhre Sedrun (von Norden und von Süden)

very intensively jointed calcareous rocks with a thickness of approx. 0.5 to 1 m. These areas are aquiferous. The central area of the fault with a thickness of approx. 5 m is permeable.

#### 4.4 Reduction of water inflow by grouting

Based on a detailed risk analysis, the principal followed the recommendation of the expert committee (Internal Project Expert Committee “Tunnelling and dams”) on 11 October 2006 and ordered the waterproofing of the aquiferous area by grouting in order to reduce the danger to the Nalps dam (Fig. 10).

The east bore was meanwhile already 220 m away from the affected zone, so it was decided for logistical reasons to tunnel through Fault Zone 44 before performing the grouting works and to continue the advance to Cross Passage S8 further south. This meant that the fault zone could also be accessed from the south through the east bore and the cross-passage. This procedure promised an optimisation of the drilling lengths for grouting and a reduction of the total time to carry out the work.

The grouting measures were divided into primary contact grouting for ground-improvement, and around that, a grouted screen to reduce water inflow (see also Fig. 10). The contact grouting served to stabilise the loosened material around the tunnel and reduce water flow around the tunnel. The contact grouting was carried out in a grid of 1.5 m × 1.5 m with a length of 5 m drilled radially. In order to resist high grouting pressures near the tunnel, the area of grouting was supported with steel arches (profile HEB 200, a = 1 m). At the time the tunnel was released by the local site supervision, the grouting measures had not been planned in detail by the project engineer. With hindsight, it has to be stated that the excavation profile was therefore specified too small, which meant that the steel arches had to be removed again after completion of the grouting campaign.

Mit drei umgehend angeordneten Kernbohrungen von je ca. 80 m Länge wurden die räumliche Lage und der Aufbau der Störzone erkundet. Diese Bohrungen wurden in der Zeit vom 19. September 2006 bis zum 4. Oktober 2006 ausgeführt. In dieser Zeit wurden mit dem seit 2002 betriebenen Oberflächenüberwachungssystem im Gebiet der Stauhaltung Nalps erhöhte Verformungsgeschwindigkeiten festgestellt [8].

Die angetroffene Störung wurde als Störzone 44 identifiziert, die an der Oberfläche in unmittelbarer Nähe der Staumauer Nalps verläuft. Auf Tunnelniveau wird die Störzone im Norden und im Süden von ungestörtem, schwach durchlässigem Gneis begrenzt. Der Aufbau der Störung selbst lässt sich in drei Bereiche gliedern. Die Randbereiche bestehen aus sehr intensiv geklüfteten Kalkiriten mit einer Mächtigkeit von ca. 0,5 bis 1 m. Diese Bereiche sind wasserführend. Der zentrale Bereich der Störung mit einer Mächtigkeit von ca. 5 m ist durchlässig.



Fig. 11. Drilling grouting holes with tunnel jumbo  
 Bild 11. Injektionsbohrungen mit Vortriebsjumbo

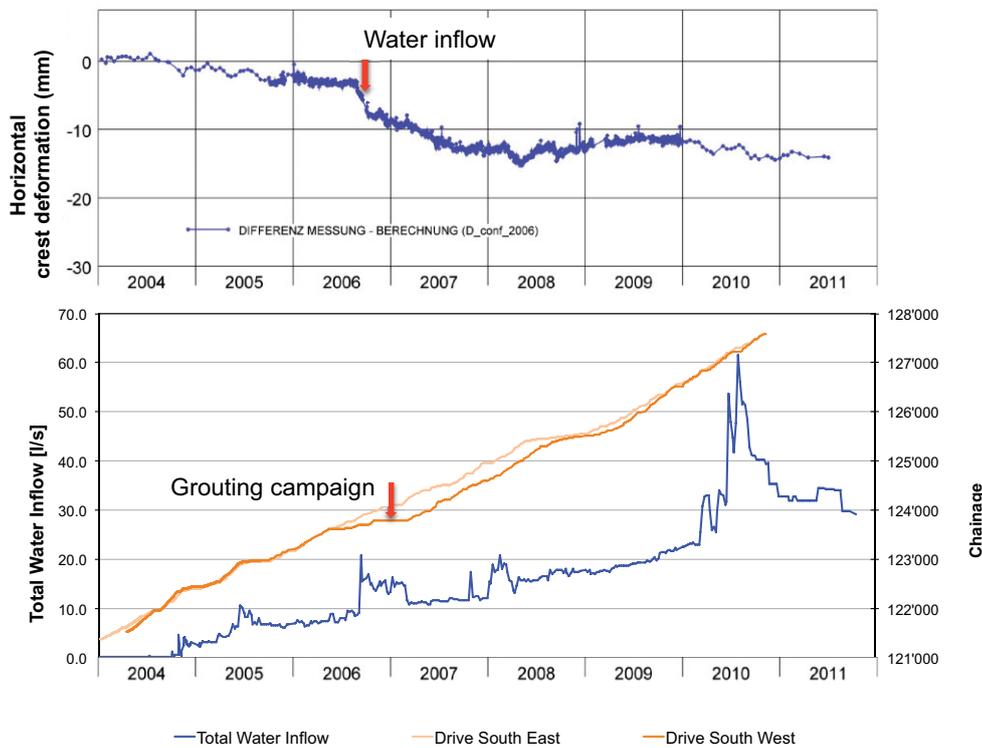


Fig. 12. Effect of the grouting campaign (top – horizontal deformation at the Nalps dam; bottom – water inflow)  
Bild 12. Effekt der Injektionskampagne (oben horizontale Deformation Staumauer Nalps, unten Wasserzutritte)

The grouted screen to reduce inflow was planned as an all-round screen. The work was executed under drained conditions. The three drilled investigation cores served as drainage holes. The drilling pattern was specified at 3 m at the target point. The holes were drilled by two tunnel jumbos (Fig. 11). The holes were arranged so that they would enter the fault zone at right angles as far as possible.

In the first stage,  $\frac{3}{4}$  of the perimeter was first drilled from a working location in the south and grouted. The holes extended 5 m above the fault zone in order to also deal with the strongly jointed areas north of the fault zone. The additional grouting to complete the grout ring was also drilled from the north.

Carried out in many stages, this therefore sealed on a large scale as well as any localised inflow locations. For the first stage, and where heavy bypass flows were recorded, fine cement was used, and for the subsequent stages, microfine cement. The drilling and grout injection parameters (pressure, mix) were tested during the first injections and then specified. In the end, a suspension with microfine cement was injected with a maximum grouting pressure of 150 bar (approx. 20 bar more than the natural water pressure). The grout was injected from high-pressure packers in previously installed packer-protection tubes 4 m from the mouth of the holes. Due to high bypassing near the mouths of the holes, grouting was repeated many times. Above a pressure of 70 bar, the grouting rate was limited to 10 l/min.

On 5 February 2007, a first leakage test was performed. The measured water inflow of 4.1 l/s was still above the target of 3 l/s, so it was decided to close a grout screen with a further round from the north and simultaneously reduce the spacing between the grouting holes in the

#### 4.4 Reduktion der Wasserzutritte mittels Injektionen

Basierend auf einer detaillierten Risikoanalyse folgte der Bauherr am 11. Oktober 2006 der Empfehlung des Expertengremiums (projektinterne Fachkommission „Vortrieb und Stauanlagen“) und ordnete die Abdichtung des wasserführenden Bereichs mittels Injektionen an, um das Gefahrenpotenzial für die Staumauer Nalps zu mindern (Bild 10).

Die Oströhre war mittlerweile schon 220 m von der angetroffenen Störzone entfernt, sodass man sich entschloss, die Störzone 44 aus logistischen Gründen vor der Durchführung der Injektionen zu durchhörern und den Vortrieb bis zum weiter südlich gelegenen Querschlag S8 weiterzuführen. Damit konnte die Störzone über die Oströhre und den Querschlag auch von Süden her und damit von zwei Seiten erschlossen werden. Dieses Vorgehen versprach eine Optimierung der Bohrlängen für die Injektionen und eine Verkürzung der gesamten Ausführungsdauer.

Die Injektionsmaßnahmen wurden in primär gebirgsverbessernde Kontaktinjektionen und einen umlaufenden, zuflussreduzierenden Injektionsschirm unterteilt (Bild 10). Die Kontaktinjektionen dienen zur Stabilisierung des aufgelockerten Materials um den Hohlraum herum und zur Verminderung von Umläufigkeiten zum Tunnel. Die Kontaktinjektionen wurden in einem Raster von  $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$  mit einer Länge von 5 m radial gebohrt. Zur Aufnahme der hohlraumnahen hohen Injektionsdrücke musste der Bereich der Injektionszone mit Stahleinbau gesichert (Profil HEB 200,  $a = 1 \text{ m}$ ) werden. Zum Zeitpunkt der Vortriebsfreigabe durch die örtliche Bauleitung waren die Injektionsmaßnahmen vom Projektingenieur noch

south. On 9 March 2007, a second leakage test showed a water inflow of less than 3 l/s, after which the grouting was stopped. Tunnelling restarted on 12 March 2007 after a stoppage of 160 working days.

The aim of grouting was achieved in that the inflow per kilometre of tunnel bore could be reduced to the same quantity as before entering Fault Zone 44 (Fig. 12). The reduction from an initial inflow of 13 l/s (permanent 7 l/s) to 3 l/s may seem nominally modest. Nonetheless, the significance of this measure for the long-term deformations at the Nalps dam should not be underestimated. About six years after the completion of grouting, deformations are still being measured in the affected area. The current settlements are over 790 mm with a valley closing of 15 mm. Without grouting, deformations would undoubtedly have been larger.

## 4.5 Findings

The systematic advance probing had already detected the fault in the west bore. The water ingress was, however, small at 1 l/s, and way below the threshold of 5 l/s for the activation of further measures applicable until then. The incident that occurred was assigned to the accepted residual risk of “not detecting an aquiferous fault zone despite advance probing”.

Due to the experience in Fault Zone 44, intervention thresholds for the activation of increased advance probing were reduced. Pumping suction tests out of the probe holes were later performed from water inflows of 2 l/s.

The grouting site was operated round the clock in 4/3 shifts, which represented a very great challenge for the few available specialists and crews as well as the entire site organisation. The inclusion of external specialists enabled short decision routes and proved generally successful. The starting phase and the excavation profile in the fault zone could probably have been optimised by a general change-over from “site operation” to “incident operation”.

## 5 Faïdo West – consolidation of collapsed material

### 5.1 Initial situation

The Faïdo section is an approximately 13.5-km-long section of the Gotthard Base Tunnel. Of this, about 2.4 km is the multifunction station and 11.1 km is single-track running tunnel, almost completely driven by TBM. In the advance direction (from south to north), the tunnel drive passes through the following tectonic units (see also Fig. 1):

- the Penninic gneiss zone,
- the Piora zone,
- the Gotthard Massif.

Since the crossing of the Piora zone in October 2008 (east bore) and February 2009 (west bore), only hard Medels granite was encountered in the west bore until the occurrence of the incident. The thickness of this layer amounted here to about 3 km more than forecast in the tender. In the hard Medels granites, blocks often formed in front of the cutter-head, which overloaded the cutter-head of the TBM. The relief was therefore tangible on all sides when on 27 January 2010, the weaker Streifen gneiss of the approx. 150 m thick Tenelin zone was reached in the east bore at km 130.351.

nicht detailliert geplant. Rückblickend muss festgestellt werden, dass das Ausbruchprofil deshalb zu klein festgelegt wurde, was zur Folge hatte, dass der Stahleinbau nach Abschluss der Injektionskampagne wieder ausgebaut werden musste.

Der zuflussreduzierende Injektionsschirm wurde als umlaufender Schirm geplant. Die Arbeiten erfolgten unter dränierten Verhältnissen. Die drei Kernbohrungen der Erkundung dienten als Dränage. Der Bohrraster wurde auf 3 m am Zielpunkt festgelegt. Die Bohrungen wurden mit den zwei Vortriebs-Bohrjumbos erstellt (Bild 11). Die Bohrungen wurden so angeordnet, dass sie die Störzone möglichst senkrecht durchstießen.

In der ersten Etappe wurde zunächst von einer Arbeitsstelle im Süden her auf  $\frac{3}{4}$  des Umfangs gebohrt und injiziert. Die Bohrungen reichten bis 5 m über den Störzonenbereich hinaus, um die stark geklüfteten Bereiche nördlich der Störzone ebenfalls zu behandeln. Die ergänzenden Injektionen zur Komplettierung des Injektionsrings wurden von Norden her gebohrt.

In mehreren Etappen dichtete man sowohl großräumig als auch lokal verbliebene Zutrittsstellen ab. Für die erste Etappe sowie bei stärkeren Umläufigkeiten kam Feinzement, für die folgenden Etappen Feinstzement zum Einsatz. Mit den ersten Injektionen wurden die Bohr- und Injektionsparameter (Drücke, Mischungen) getestet und abschließend festgelegt. Schließlich wurde eine Suspension mit Feinstzement mit einem maximalen Injektionsdruck von 150 bar (ca. 20 bar über dem natürlichen Gebirgswasserdruck) verpresst. Die Injektion erfolgte ab Hochdruckpackern in vorgängig versetzten Packerschutzrohren 4 m ab Bohrlochmund. Wegen größerer Umläufigkeit im Nahbereich des Bohrlochmunds wurde mehrfach nachinjiziert. Die Einpressgeschwindigkeit war ab einem Druck von 70 bar auf 10 l/min begrenzt.

Am 5. Februar 2007 wurde ein erster Dichtigkeitstest ausgeführt. Der festgestellte Wasserzufluss von 4,1 l/s lag über den Zielvorgaben von 3 l/s, weshalb beschlossen wurde, den Injektionsschirm mit einer zusätzlichen Etappe von Norden her zu schließen und gleichzeitig den Abstand zwischen den Injektionsbohrungen im Süden zu verringern. Am 9. März 2007 ergab ein zweiter Dichtigkeitstest einen Wasserzufluss zum Tunnel von weniger als 3 l/s, worauf die Injektionen beendet wurden. Die Wiederaufnahme des Vortriebs erfolgte am 12. März 2007 nach einer Stillstandszeit von 160 Arbeitstagen.

Das Injektionsziel wurde erreicht, indem der Zufluss pro Kilometer Tunnelröhre auf das gleiche Maß wie vor dem Auffahren der Störzone 44 vermindert werden konnte (Bild 12). Die Zuflussreduktion von anfangs 13 l/s (stationär 7 l/s) auf 3 l/s mag nominell bescheiden erscheinen. Trotzdem darf die Bedeutung der Maßnahme im Hinblick auf die langfristigen Verformungen im Gebiet der Stauhaltung Nalps nicht unterschätzt werden. Rund sechs Jahre nach Abschluss der Injektionen sind im genannten Gebiet immer noch Verformungen festzustellen. Die derzeitigen Setzungen betragen über 70 mm bei einer Talschließung von mittlerweile 15 mm. Ohne die Injektionen wären die Verformungen sicher größer ausgefallen.

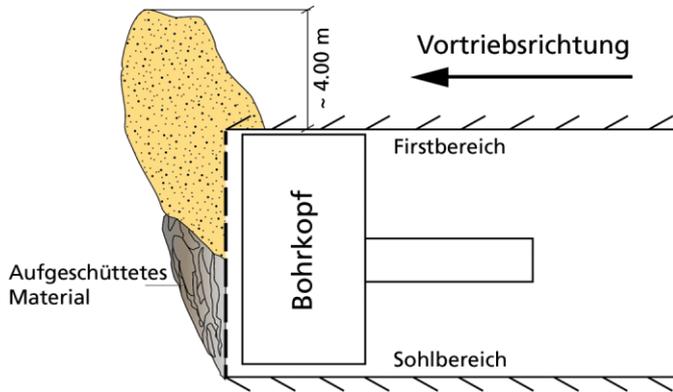


Bild 13. Lagebeurteilung 3. März 2010 und Situation am Bohrkopf und 4. März 2010

Fig. 13. Evaluation of the situation 3 March 2010 and situation at cutterhead 4 March 2010

On 28 January 2010, the east TBM passed through a fault with a thickness of 0.3 m at km 130.333 with a construction relevance of 3. The water-saturated calcirite led to an overprofile in the crown of up to 2.3 m. The zone was immediately supported behind the cutter-head (area L1\*) with TH36 steel arches (spacing 1 m) and shotcrete.

During February 2010, the west TBM achieved good advance rates of over 15 m/d in the Medels granite without significant problems. On 2 March 2010 at km 230.342, the transition to the Tenelin zone was reached and the advance rate was extremely high at 28 m/d. The normal advance probing with 100-metres-long hammer-drilling was still carried out without any unusual observations.

## 5.2 Incident of 3/4 March 2010

After 30 m of advance into the Tenelin zone, an unexpected fault was encountered on 3 March 2010 at km 230.3116<sup>2</sup>. During the inspection of the cutter-head in the evening, geological overbreak was observed in the crown. The last metres of tunnel to be excavated were standing up and stable. No pressure was detected on the shield and, despite the overburden of 2,000 m, there were no rockburst type effects. As had been done with the east TBM,

<sup>2</sup> The advance direction in Faïdo is opposite to the tunnel chainage km.

## 4.5 Erkenntnisse

Mit der systematischen Vorauserkundung war die Störung in der Weströhre wohl erkannt worden. Der Wasseranfall war mit 1 l/s jedoch gering und lag weit unter dem bis dahin geltenden Grenzwert von 5 l/s zur Auslösung weiterer Erkundungsmaßnahmen. Das eingetretene Ereignis war dem akzeptierten Restrisiko „Nichterkennen einer wasserführenden Störzone trotz Voraussondierungen“ zuzuordnen.

Aufgrund der Erfahrungen in der Störzone 44 wurden die Interventionsgrenzwerte für das Auslösen einer erweiterten Vorauserkundung herabgesetzt. Bereits bei Wasserzutritten ab 2 l/s wurden später Auslaufversuche aus den Erkundungsbohrungen durchgeführt.

Die Injektionsbaustelle wurde rund um die Uhr im 4/3 Schichtbetrieb betrieben, was höchste Anforderungen an die nur begrenzt verfügbaren Spezialisten und Mannschaften sowie an die gesamte Baustellenorganisation stellte. Der Einbezug externer Spezialisten hat kurze Entscheidungswege ermöglicht und hat sich grundsätzlich bewährt. Bei einer konsequenteren Umstellung von „Baustellenbetrieb“ auf „Ereignisbetrieb“ hätten die Startphase und das Ausbruchprofil in der Störzone vermutlich optimiert werden können.

## 5 Faïdo West – Verfestigung von Niederbruchmaterial

### 5.1 Ausgangslage

Im Teilabschnitt Faïdo wurde ein rund 13,5 km langer Abschnitt des Gotthard Basistunnels aufgeföhren. Davon entfallen rund 2,4 km auf die Multifunktionsstelle und 11,1 km auf die Einspurttunnel, die praktisch vollständig mittels TBM aufgeföhren wurden. In Vortriebsrichtung (von Süden nach Norden) gesehen durchqueren die Tunnelvortriebe die folgenden tektonischen Einheiten (vgl. Bild 1):

- Die penninische Gneiszone,
- Die Piora-Zone,
- Das Gotthard-Massiv.

Seit dem Durchqueren der Piora-Zone im Oktober 2008 (Oströhre) bzw. Februar 2009 (Weströhre) wurde in der Weströhre bis wenige Tage vor dem Eintreten des Ereignisses ausschließlich harter Medelser Granit angetroffen. Dessen Mächtigkeit betrug bis dorthin rund 3 km mehr als im Bauprojekt prognostiziert. In den harten Medelser Graniten kam es während des Ausbruchs oft zu einer Blockbildung vor dem Bohrkopf, was den Bohrkopf der TBM übermäßig beanspruchte. Allseits war Erleichterung zu spüren, als am 27. Januar 2010 in der Oströhre beim km 130,351 die weicheren Streifengneise der ca. 150 m starken Tenelin-Zone erreicht wurden.

Am 28. Januar 2010 durchfuhr die TBM Ost bei Km 130,333 eine Störung mit einer Mächtigkeit von 0,3 m mit der bautechnischen Relevanz von 3. Der wassergesättigte Kakirit führte in der Firste zu einem Überprofil von bis zu 2,3 m Tiefe. Die Zone wurde direkt hinter dem Bohrkopf (Bereich L1\*) umgehend mit Stahlbögen TH36 (Abstand 1 m) und Spritzbeton gesichert.

Im Februar 2010 wurden mit der TBM West im Medelser Granit ohne wesentliche Probleme gute Vortriebs-

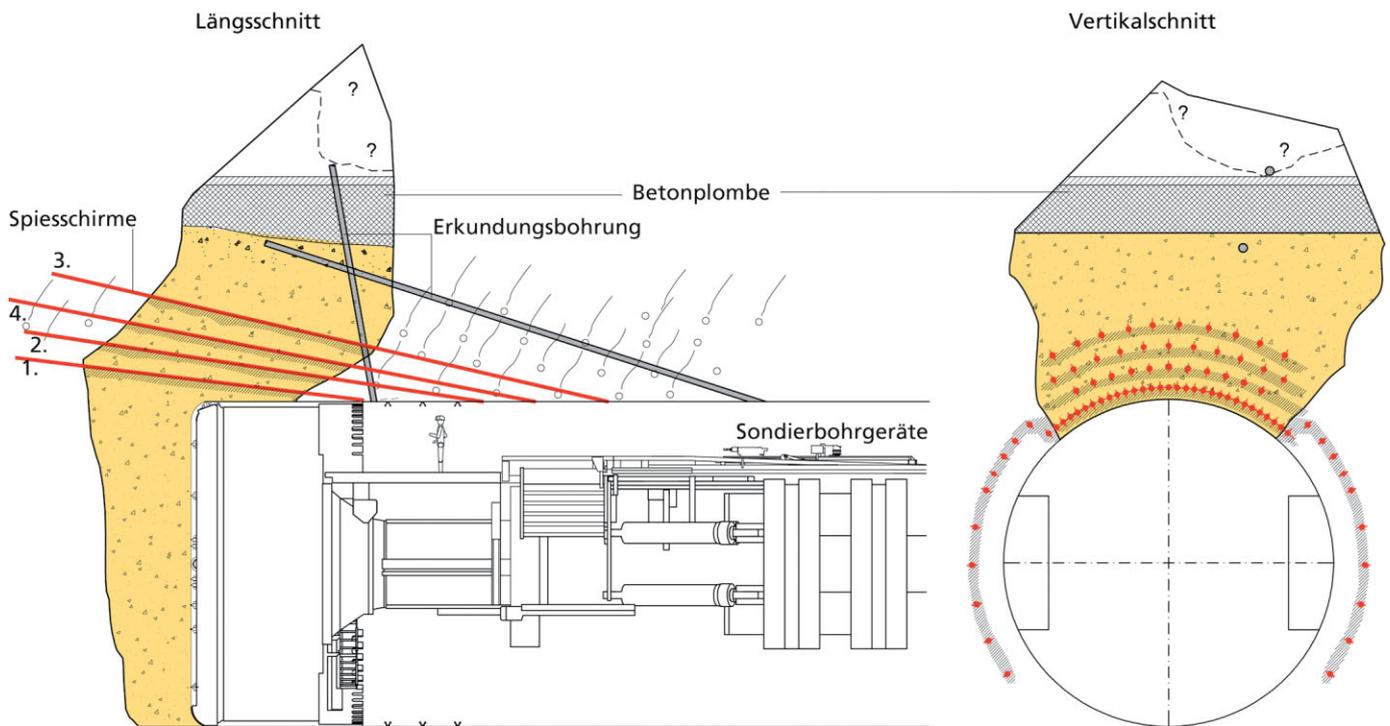


Fig. 14. 1. Attempt to free TBM, Faido West (12 March 2010)  
 Bild 14. 1. Versuch zur Freilegung TBM Faido West (12. März 2010)

the situation was first countered by immediately installing TH 36 steel arches and shotcrete in area L1\*.

When the attempt was made to carefully bore through the fault, some hundreds of cubic metres of material flowed into the tunnel without any corresponding advance being achieved. The muck train was full after an advance of about 80 cm (instead of 2 m). When an attempt was made to resume the drive, non-cohesive collapsed material flowed into the cutter-head, partially to behind the shield. On 4 March 2010, at 02:30, the site supervision was notified by the contractor that the cutter-head was blocked and the advance had been stopped since 00:30.

### 5.3 Immediate measures

On 4/5 March 2010, a number of holes were hammer-drilled directly behind the finger shield of the TBM to localise the collapse in the tunnel direction and above the cutter-head. These indicated a fault zone approx. 6 m thick (Fig. 13). The last two steel arches that had been installed were removed, and another attempt was made to free the TBM by turning the cutter-head, with the cutter-head being moved backwards by another 1.2 m. This attempt also failed (Fig. 14). On 5 March 2010, another meeting of the support expert team “Working group TBM tunnelling” (= Task Force in the sense of incident management, see Fig. 18) decided on the following immediate measures:

- probe drilling campaign to investigate the geometry of the fault and the resulting cavity,
- production of a multi-layer spile screen above the cutter-head,
- construction of an approx. 4-metres-thick concrete plug above the spiles, i.e. the placing of approx. 200 m<sup>3</sup> of concrete,

leistungen von über 15 m/d erreicht. Am 2. März 2010 wurde bei km 230,342 der Übergang zur Tenelin-Zone erreicht und die Vortriebsleistung war mit 28 m/d im Übergangsbereich zur Tenelin-Zone außerordentlich hoch. Die üblichen vortriebsbegleitenden Vorauserkundungsmaßnahmen mittels 100 m langer Schlagbohrungen waren ausgeführt, ohne dass außergewöhnliche Beobachtungen gemacht wurden.

### 5.2 Ereignis vom 3./4. März 2012

Nach 30 m Vortrieb in der Tenelin-Zone wurde am 3. März 2010 bei km 230,3116<sup>2</sup> unerwartet eine Störung angetroffen. Während der Begehung des Bohrkopfs am Abend wurde in der Firste ein geologischer Mehrausbruch festgestellt. Die zuletzt aufgefahrenen Vortriebsmeter standen stabil. Auf dem Schild wurde kein Druck festgestellt, und es wurden trotz einer Überlagerung von über 2.000 m auch keine bergschlagähnlichen Erscheinungen festgestellt. Analog dem Vorgehen mit der TBM Ost wurde als erste Maßnahme sofort auf den Einbau von Stahlbögen TH 36 und Spritzbeton im Bereich L1\* umgestellt.

Beim Versuch, die Störung vorsichtig zu überwinden, wurden einige hundert Kubikmeter Material geschuttert, ohne dass jedoch ein entsprechender Vortrieb gemacht wurde. Der Schutterzug war nach rund 80 cm (statt 2 m) Vortrieb voll. Während des Vortriebsversuchs ist kohäsionsloses Niederbruchmaterial durch in den Bohrkopf gerieselt, teilweise bis hinter den Schild. Am 4. März 2010, 02:30 Uhr wurde die örtliche Bauleitung vom Unternehmer informiert, dass das Schneidrad blockiert wäre und der Vortrieb seit 00:30 Uhr eingestellt sei (Bild 13).

<sup>2</sup> Die Vortriebsrichtung erfolgt in Faido entgegengesetzt zur Tunnelkilometrierung.

- careful resumption of the advance with strict control of the volume balance of the cleared material and the prevailing rock mass.

The specified measures were undertaken between March 5 and 11, 2010. The total of about 1,300 running metres of probe drilling gave a relatively clear picture of the failure body.

8.6 m<sup>3</sup> of mortar and 48 m<sup>3</sup> of concrete were pumped in through two steel pipes laid in the probe drillings until the pipe blocked. The predefined concrete volume had thus not been reached by far. The spile screen was installed in four layers of 1,100 running metres of spiles (IBO Belbor 32/24 anchors) and injected with 39 m<sup>3</sup> of grout.

On 11 March 2010, a detailed stop criterion “maximum muck quantity from one train approx. 140 m<sup>3</sup> solid without advance” was laid down on site for the further advance. On 12 March 2010, an attempt was made to resume the advance, but loose collapsed material in front of the cutter-head blocked it again. In order to ease the situation, the cutter-head was then withdrawn a few centimetres in each case before being turned again.

On 13 March 2010, this procedure was applied many times to attempt to bore through the collapsed area. Large cavities were often observed in front of the cutter-head and the electricity consumption to turn the cutter-head sank constantly – a sign that the pressure on the cutter-head was reducing. The responsible parties on site assumed that the spile screen was fulfilling its function, resulting in a reduction of the collapsing material and that stabilisation had been achieved. Muck transport was continued without, however, achieving any advance, so that work finally had to be stopped on the evening of the 13 March 2010. When the machine was withdrawn another 2.2 m, altogether seven trains with about 1,500 m<sup>3</sup> of material were cleared. Parts of the spiles were found on the conveyor belt, an indication that the spile screen had at least partially failed. The collapsed area had not been sufficiently stabilised by the measures carried out and could not be bored through by the TBM without further measures. At a meeting of the working group on site on 14 March 2010, the following decisions were reached:

- categorical order from the principal not to withdraw the TBM any further in order to avoid material falling in with the danger of a collapse at the TBM,
- activation of further investigation measures to obtain a clear model of the new situation.

From March 14 to 24, 2010, a second probe-drilling campaign was carried out with 37 hammer-drillings up to 100 m long. This showed that the failure body now had clearly larger dimensions than before the attempt to turn the TBM on 12 March 2010. A cavity volume of 2,700 m<sup>3</sup> with a chimney height of up to 40 m had to be assumed (Fig. 15).

#### 5.4 Freeing of the TBM using grouting and tunnelling from the opposite direction

At the meeting of the working group on 24 March 2010, a plan for freeing the machine was decided. Similar to

#### 5.3 Sofortmaßnahmen

Am 4./5. März 2010 wurden für die Lokalisierung des Niederbuchs mehrere Schlagbohrungen direkt hinter dem Fingerschild der TBM in Richtung des Hohlraums vor und über dem Bohrkopf ausgeführt. Diese deuteten auf eine ca. 6 m mächtige Störzone hin. Die zwei zuletzt gestellten Stahlbögen wurden ausgebaut, und es wurde nochmals versucht, die TBM durch Drehen des Bohrkopfs frei zu bekommen. Dabei wurde der Bohrkopf um weitere 1,2 m zurückgezogen. Auch dieser Freilegeversuch scheiterte (Bild 14). Am 5. März 2010 wurden an einer Sitzung der vortriebsbegleitenden Expertenteam „Arbeitsgruppe TBM Vortrieb“ (= Task Force im Sinne des Ereignismanagements, siehe Bild 19) die folgenden Sofortmaßnahmen festgelegt:

- Sondierbohrkampagne zur Erkundung der Geometrie der Störung und des entstandenen Hohlraums,
- Herstellung eines mehrlagigen Spießschirms über den Bohrkopf hinaus,
- Ausführung einer ca. 4 m starken Betonplombe über den Spießen, d.h. Einbringen von ca. 200 m<sup>3</sup> Beton,
- Vorsichtige Wiederaufnahme des Vortriebs unter strikter Kontrolle der Volumenbilanz des geförderten Materials und des anstehenden Gebirges.

Zwischen dem 5. und dem 11. März 2010 wurden die angeordneten Maßnahmen ausgeführt. Aus den insgesamt ca. 1.300 lfm Erkundungsbohrungen ergab sich ein relativ klares Bild über den Verbruchkörper.

Über zwei in Erkundungsbohrungen verlegte Stahlrohre wurden 8,6 m<sup>3</sup> Mörtel und 48 m<sup>3</sup> Beton eingepumpt, bevor die Rohre verstopften. Das vordefinierte Betonvolumen wurde somit bei weitem nicht erreicht. Der Spießschirm wurde in vier Lagen 1.100 lfm Spieße (IBO Anker Belbor 32/24) eingebaut und mit 39 m<sup>3</sup> Injektionsmörtel verpresst.

Am 11. März 2010 wurde auf der Baustelle im Hinblick auf den bevorstehenden weiteren Vortriebsversuch ein detailliertes Abbruchkriterium „maximale Schütterung von einem Zug, ca. 140 m<sup>3</sup> fest, ohne Vortrieb“ festgelegt. Am 12. März 2010 wurde versucht, den Vortrieb wieder aufzunehmen. Niedergebrochenes Lockermaterials vor dem Bohrkopf blockierte diesen jedoch erneut. Zur Entlastung wurde dieser jeweils einige cm zurückgezogen, bevor er wieder gedreht werden konnte.

Am 13. März 2010 wurde mit diesem Vorgehen in mehreren Anläufen versucht, den Niederbruchbereich zu durchhörtern. Dabei waren mehrmals größere Hohlräume vor dem Bohrkopf erkennbar, und die Stromaufnahme für das Drehen des Bohrkopfs sank stetig – ein Anzeichen dafür, dass der Druck auf das Schneidrad nachließ. Die Verantwortlichen vor Ort gingen davon aus, dass der Spießschirm seine Tragfunktion erfüllte, das nachbrechende Material nachließ und eine Stabilisierung eintrat. Die Materialförderung wurde weiter geführt, ohne jedoch Vortrieb zu erzielen, sodass am Abend des 13. März 2010 die Vortriebsarbeiten endgültig abgebrochen werden mussten. Bei einem Rückzug der Maschine von weiteren 2,2 m wurden insgesamt sieben Züge mit rund 1.500 m<sup>3</sup> Material (lose) geschüttet. Auf dem Förderband wurden Teile von Spießen gefunden, ein Indiz, dass der Spießschirm mindestens teilweise versagt hatte. Der Bereich des Nieder-

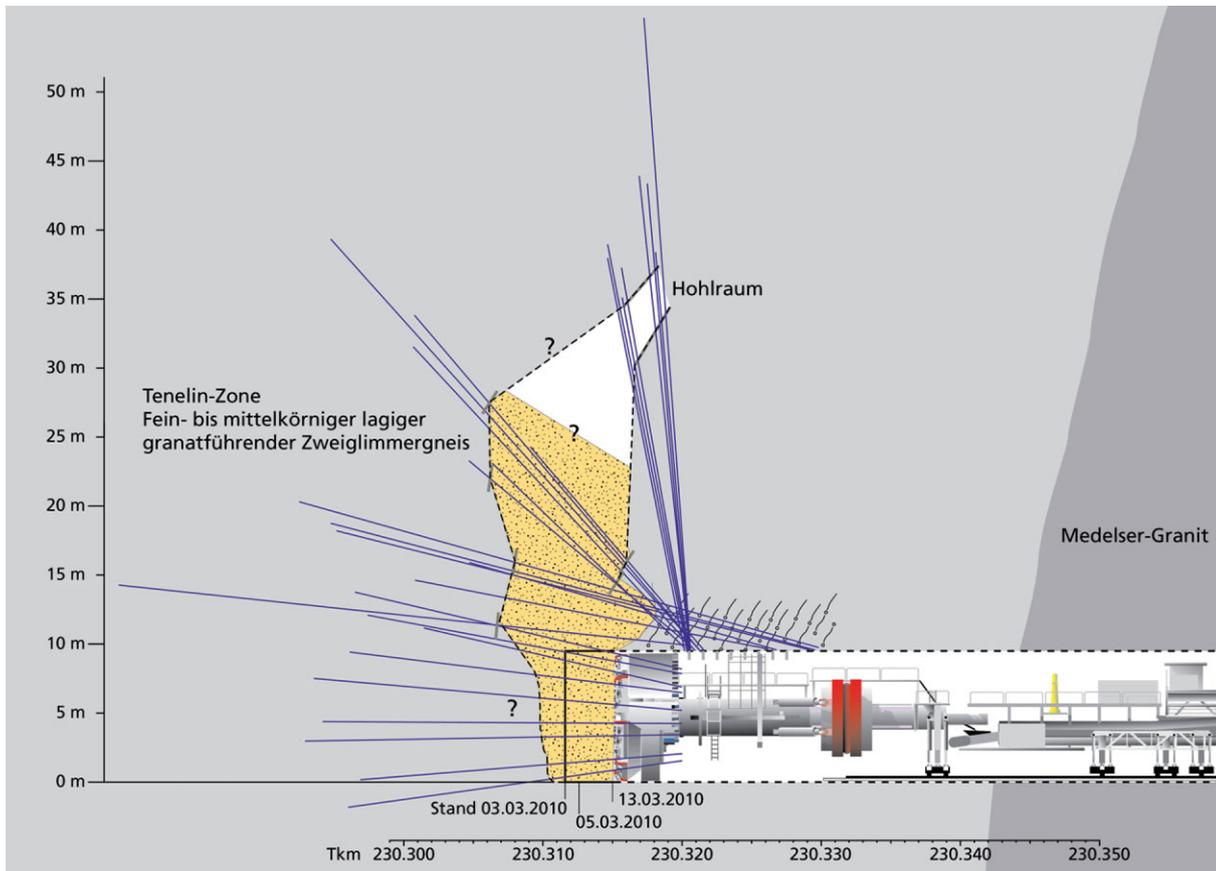


Fig. 15. Additional probing and new dimensions of the failed body (24 March 2010)  
 Bild 15. Zusätzliche Sondierungen und neue Dimension des Verbruchkörpers (24. März 2010)

the procedure at Amsteg (see also Section 3), the project engineer was authorised to plan the drilling of ground-improvement grouting for the failure body from a grouting niche of the east bore, and a tunnel drive in the opposite direction to ensure the schedule (Fig. 16). On 6 April 2010, the situation was assessed finally by the working group and the following decisions were reached:

- The works to free the TBM would be organised so that there would be no negative effect on the overall schedule, i.e. it must be possible to resume the drive before the summer break.
- Turning the machine again immediately (even with additional measures) was declined by the principal due to the higher risk.
- The grouting body in the preliminary design by the project engineer was approved under the condition of continuous optimisation of its execution on site.
- To reduce the risk of delay, a tunnel would be bored from the opposite direction from the east bore. If the tunnel was continued by the TBM without an opposing tunnel, support over the cutter-head would no longer be possible, since the TBM could not bore through the collapsed area despite the grouting.
- At the transition of rock to collapsed zone, piles and pipe screens would be installed from the opposing drive for additional mechanical support.

bruchs konnte mit den ausgeführten Maßnahmen nicht ausreichend stabilisiert und mit der TBM ohne weitere Maßnahmen nicht durchörtert werden. An einer Arbeitsgruppensitzung auf der Baustelle wurden am 14. März 2010 die folgenden Beschlüsse gefällt:

- Kategorisches Verbot seitens des Bauherrn, die TBM weiter zurückzuziehen, um progressive Brucherscheinungen mit der Gefahr eines Verbruchs im Bereich der TBM zu vermeiden,
- Auslösen weiterer Erkundungsmaßnahmen, um eine klare Modellvorstellung der neu entstandenen Situation zu erhalten.

Vom 14. bis 24. März 2010 wurden in einer zweiten Sondierbohrkampagne 37 Schlagbohrungen sowie drei Kernbohrungen mit bis zu 100 m Länge ausgeführt. Diese zeigten, dass der Verbruchkörper nun eine deutlich größere Dimension hat als vor dem Andrehversuch am 12. März 2010. Es musste von einem Hohlraumvolumen von 2.700 m<sup>3</sup> bei einer Kaminhöhe bis zu 40 m ausgegangen werden (Bild 15).

#### 5.4 Freilegung der TBM mittels Injektionen und Gegenvortrieb

Anlässlich der Arbeitsgruppensitzung vom 24. März 2010 wurde das Konzept zum Freilegen der Maschine festge-

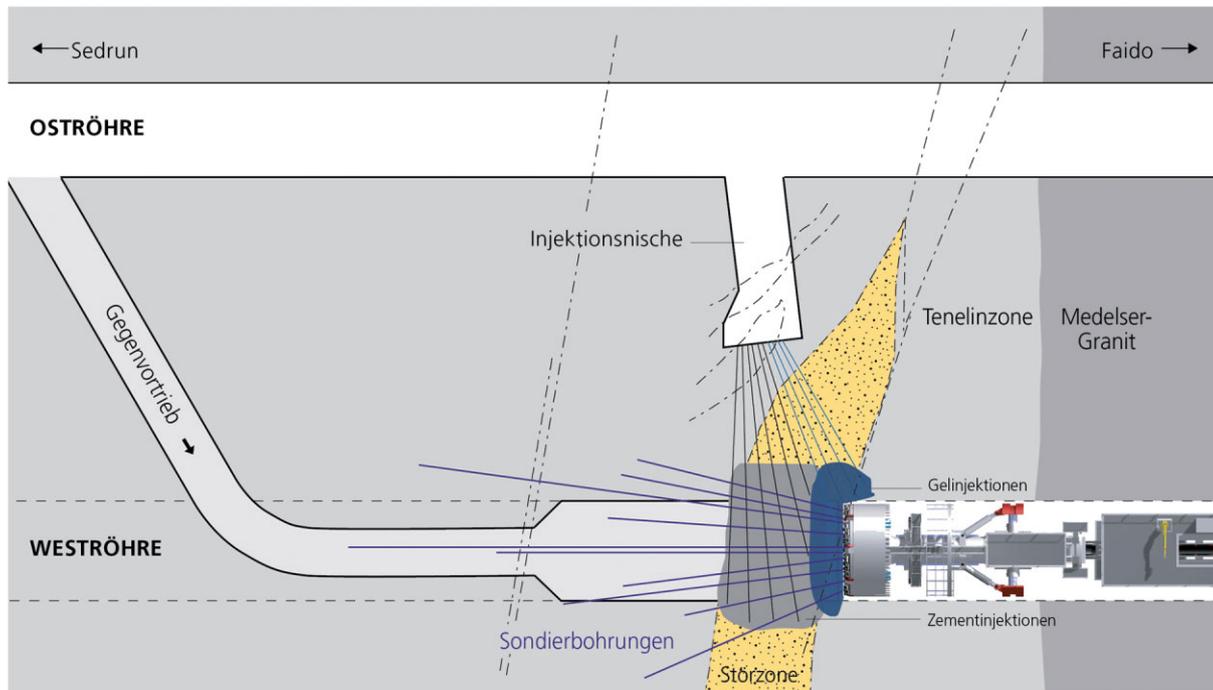


Fig. 16. Definitive concept to free the TBM, Faido West  
Bild 16. Definitives Konzept zur Freilegung der TBM Faido West

## 5.5 Grouting

### 5.5.1 General concept

The aim of grouting was to improve the ground in the collapsed area and around the tunnel cross-section to enable the TBM to bore through. Considering the experience with the freeing of the TBM at Amsteg West, the grouted body was divided into three parts:

- gel injection to protect the cutter-head of the west TBM,
- consolidation of the undisturbed rock in the transition area with cement,
- consolidation of the collapse with cement.

The results of probing showed that the collapsed material itself consisted of rock/stone blocks and fine material (sand and silt, but scarcely any clay content). In the opinion of the grouting experts, it had to be assumed that the prevailing fine material could only be compressed or have material pressed into it, but could not be completely injected.

The protection of the cutter-head had high priority, as had been the case at Amsteg. To avoid bypassing during later grouting work, all probing holes were first filled from the TBM with mortar. Existing holes and cavities in the cutter-head were closed or filled with foam. The cavities in front of, and above, the cutter-head were filled by blowing in approx. 5 m<sup>3</sup> gravel/broken stone with a grading of 8/16 mm.

### 5.5.2 Drilling

A drilling grid of 30 cm × 30 cm for the starting points in the grouting niches, and a grid of 1.5 m × 1.5 m in the axis of the west single-track running tunnel (in the collapsed body), gave a theoretical drilling requirement of 3,500 run-

legs. In analogy to the procedure in Amsteg (vgl. Kap. 3) wurde der Projektgenieur beauftragt, aus einer Injektionsnische der Oströhre gebirgsverbessernde Injektionen für den Verbruchkörper und einen terminsichernden Gegenvortrieb zu projektieren (Bild 16). Am 6. April 2010 wurde die Lage von der Arbeitsgruppe abschließend beurteilt und die folgenden Beschlüsse wurden gefällt:

- Die Arbeiten zum Freilegen der TBM sind so zu organisieren, dass keine negativen Folgen für das Gesamtterminprogramm entstehen, d. h. der Vortrieb muss vor der Sommerpause wieder aufgenommen werden können.
- Ein sofortiges Wiederandrehen der TBM (auch mit Zusatzmaßnahmen) wird seitens des Bauherrn wegen zu hoher Risiken abgelehnt.
- Der vom Projektgenieur vordimensionierte Injektionskörper wird unter der Auflage der laufenden Optimierung vor Ort zur Ausführung frei gegeben.
- Zur Reduktion der Terminrisiken wird der Gegenvortrieb ab der Oströhre ausgelöst. Bei einer Durchörterung ohne Gegenvortrieb mit der TBM wäre eine Sicherung über dem Bohrkopf nicht möglich gewesen. Damit hätte die Gefahr bestanden, dass die TBM den Verbruch trotz Injektionen nicht durchfahren kann.
- Am Übergang Fels/Niederbruchzone werden aus dem Gegenvortrieb Spieß- oder Rohrschirme zur zusätzlichen mechanischen Stützung eingebaut.

## 5.5 Injektionen

### 5.5.1 Generelles Konzept

Ziel der Injektionen war, die Gebirgsverbesserung im Bereich des Verbruchs um den Tunnelquerschnitt herum, damit eine Durchörterung mit der TBM ermöglicht wurde. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Freile-

### Gel-Injektionsfächer F, 1. Phase

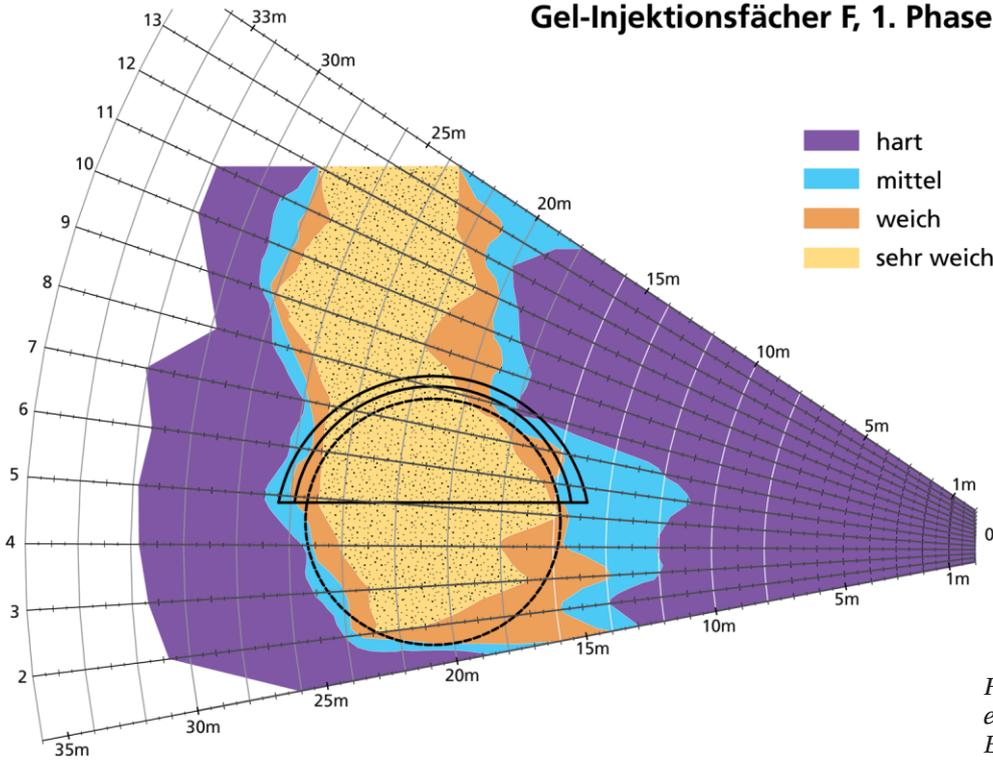


Fig. 17. Ground model based on evaluation of drilling  
Bild 17. Baugrundmodell aufgrund Beurteilung des Bohrvorgangs

ning metres. However, the actual drilling depths had to be based on the actual ground conditions, with the specification that all holes should extend 2 m into undisturbed rock.

The holes were undirected and mostly drilled with a down-the-hole hammer drill (Ø90–110 mm). Under favourable geological conditions, drilling precision of approx. 1 % was assumed. Experience shows that drill obstructions can lead to deviations of 3 % and more from the correct position, which for a length of 20 m can mean a deviation of 60 cm and more. These deviations had to be taken into account in the planning of the holes around the TBM shield and the cutter-head. The actual location of the holes was not systematically recorded. The locational precision of two holes was surveyed as a spot check, with a maximum deviation of 3 % being determined.

The drilling parameters were not recorded for practical reasons, but rather the drillers were instructed to categorise the ground into four different “degrees of hardness”: hard, medium, soft, very soft according to drilling speed. These were recorded in the daily drilling reports, and the data was evaluated by the geologists and used to refine the ground model (Fig. 17).

#### 5.5.3 Gel injection

The gel injection was intended to protect the cutter-head from being fixed into the cement grout and thus had no structural function. The material was injected from the grouting niches in the east bore and from the west TBM. For the injections from the TBM, a transport pipe for the injected material was formed using a separate hole from the grouting niche. This saved the necessity of installing a second injection system in the west TBM.

For the gel injection, the following stop criteria were specified.

gung der TBM Amsteg West wurde der Injektionskörper in folgende drei Teilbereiche aufgeteilt:

- Gelinjektionen zum Schutz des Schneidrads der TBM West,
- Konsolidierung des anstehenden Gebirges im Übergangsbereich mittels Zement,
- Konsolidierung des Verbruchs mittels Zement.

Das Verbruchmaterial selbst bestand gemäß den Sondierergebnissen aus den Fraktionen Fels-/Gesteinsblöcke und Feinmaterial (Sand, Schluff, kaum tonige Anteile). Nach Auffassung der Injektionsexperten war davon auszugehen, dass das anstehende, feine Material nur komprimiert bzw. verpresst, nicht aber vollständig injiziert werden konnte.

Der Schutz des Bohrkopfs hatte wie im Fall Amsteg eine hohe Priorität. Um Umläufigkeiten bei den späteren Injektionsarbeiten zu verhindern, wurden deshalb vorgängig der Injektionen alle Erkundungsbohrungen ab der TBM mit Mörtel verfüllt. Vorhandenen Löcher und Hohlräume im Bohrkopf wurden verschlossen bzw. zugehäumt. Die Hohlräume vor und über dem Bohrkopf wurden durch Einblasen von ca. 5 m<sup>3</sup> Kies/Splitt mit einer Körnung von 8/16 mm verfüllt.

#### 5.5.2 Bohrungen

Basierend auf einem Bohrraster von 30 cm × 30 cm für die Ansatzpunkte in der Injektionsnische und einem Raster von 1,5 m × 1,5 m in der Achse des Einspur隧nells West (im Verbruchkörper) wurde ein theoretischer Bohraufwand von 3.500 lfm ermittelt. Die auszuführenden Bohrlängen hatten sich jedoch nach den effektiven Baugrundverhältnissen zu richten, indem angeordnet wurde, dass die Bohrungen 2 m in den anstehenden feste Fels eingebunden werden sollten.

Table 3. Grout mixes in the Faido section  
 Tabelle 3. Injektionsmischungen im Teilabschnitt Faido

	Surround of manchette tube <i>Ummantelung Manschettenrohre</i>	1st phase of cement grouting (primary grid) <i>1. Phase Zementinjektion (Primärraster)</i>	2nd phase of cement grouting (secondary grid) <i>2. Phase Zementinjektion (Sekundärraster)</i>
Water/cement ratio (w/b) <i>Wasser/Bindemittelwert</i>	1.3 <i>1,3</i>	1.5 <i>1,5</i>	1.0 to 1.5 <i>1,0 bis 1,5</i>
Bentonite content <i>Bentonitanteil</i>	3 %	3 %	max. 1.5 %
Marsh number <i>Marshzahl</i>	n.a.	37 s	37 s
Density <i>Dichte</i>	n.a.	1.4 g/cm <sup>3</sup> <i>1,4 g/cm<sup>3</sup></i>	1.5 g/cm <sup>3</sup> <i>1,5 g/cm<sup>3</sup></i>
Settling quantity after 2 h <i>Absetzmaß nach 2 h</i>	n.a.	3 %	3 %
Average uniaxial compression strength <i>Mittlere einaxiale Druckfestigkeit</i>	n.a.	4 N/mm <sup>2</sup> after 12 days <i>4 N/mm<sup>2</sup> nach 12 Tagen</i>	16 N/mm <sup>2</sup> after 18 days <i>16 N/mm<sup>2</sup> nach 18 Tagen</i>

- reaching of the specified quantity of 50 or 100 l per manchette (quantity criterion),
- reaching of the maximum injection pressure of 20 bar at a pumping rate of at least 6 l/min (pressure criterion),
- emergence of injected material at the cutter-head, out of drilled holes or joints in the rock or cracks in the shotcrete.

The injection performed from the west TBM showed a more rapid pressure build-up with less material consumption. Injection was mostly stopped according to the pressure criterion. The gel only entered the cutter-head of the west TBM in a few isolated locations.

In areas where the pressure criterion was not reached, a second round of injection was carried out. The same stop criteria were specified for this round of injection as for the first. The pressures sometimes rose to twice the pressures measured in the first round, although the pressure was always limited to 20 bar. However, the injection was mostly stopped according to the volume criterion.

After discussion with the experts, no second injection campaign with gel was carried out, even where no pressure could be built up in the first repeat injection. A total of altogether 102.4 m<sup>3</sup> of gel was injected (primary injections 62.86 m<sup>3</sup>, repeat injections 39.54 m<sup>3</sup>).

#### 5.5.4 Cement grouting

The grouting holes were divided into the primary grid to be drilled first and a subsequent secondary grid. The experience from the drilling of the first grid could then be taken into account in the planning of the secondary grid.

Preliminary tests were performed before the grouting works and used to define the grout mixes shown in Table 3. Based on the GIN method, the stop criteria shown in Table 4 were used with pumping rates between 8 and 15 l/min. This specification applied for every manchette

Die Bohrungen waren ungerichtet und wurden größtenteils mit einem Imlochhammer (Ø 90–110 mm) erstellt. Unter günstigen geologischen Bedingungen wurde von einer Bohrgenauigkeit von ca. 1 % ausgegangen. Erfahrungsgemäß führen Bohrhindernisse zu Abweichungen von 3 % und mehr von der Soll-Lage, was bei einer 20 m langen Bohrung eine Abweichung von 60 cm und mehr bedeutet. Bei der Auslegung der Bohrungen im Bereich des TBM-Schildes und des Bohrkopfs waren diese Abweichungen zu berücksichtigen. Die effektive Lage der Bohrungen wurde nicht systematisch erfasst. Nur bei zwei Bohrungen wurde die Lagegenauigkeit als Stichprobe vermessen, wobei eine maximale Abweichung von 3 % festgestellt wurde.

Die Bohrparameter wurden aus praktischen Gründen nicht aufgezeichnet. Vielmehr wurden die Bohrmeister angehalten, den Baugrund aufgrund der Bohrgeschwindigkeit in vier verschiedene „Härtegrade“ einzuteilen: hart, mittel, weich, sehr weich und in den Bohrberichten täglich manuell zu erfassen. Diese Informationen wurden durch die Geologen ausgewertet und zur Verfeinerung des Baugrundmodells verwendet (Bild 17).

#### 5.5.3 Gelinjektionen

Die Gelinjektionen hatten den Zweck, den Bohrkopf vor der Einmörtelung zu schützen und somit keine statische Funktion. Die Injektionen erfolgten ab der Injektionsnische aus der Oströhre und ab der TBM West. Für die Injektionen ab der TBM wurde von der Injektionsnische über eine separate Bohrung eine Transportleitung für das Injektionsgut erstellt. Damit konnte auf die Installation einer zweiten Injektionsanlage auf der TBM West verzichtet werden.

Für die Gelinjektionen wurden folgende Abbruchkriterien festgelegt.

- Erreichen der Sollmenge von 50 bzw. 100 l pro Manschette (Mengenkriterium),

Table 4. Stop criteria for cement grouting according to the GIN-method

Tabelle 4. Abbruchkriterien für Zementinjektionen gemäß GIN-Methode

Quantity Menge	Max. perm. pressure Max. zul. Druck
0 – 500 l	→ max. 15 bar
500 – 1,000 l	→ max. 10 bar
1,000 – 1,500 l	→ max. 8 bar
1,500 – 2,000 l	→ max. 5 bar

independent of the pore volume defined in the design. The injection of cement grout was also broken off if grout emerged from the TBM, out of drilled holes or joints in the rock or cracks in the shotcrete.

Similar to the experience with the gel injection, the primary injection from the grouting niche showed a rapid pressure increase to 15 bar in the lower holes without the specified quantity criterion being reached. In the upper part with the blocky material from the collapse, the quantity criterion was normally decisive for stopping. Grouting from the TBM could only inject very little grout because the pressure criterion was rapidly reached. Altogether, 89.5 m<sup>3</sup> of grout were injected into the primary grid.

The secondary grouting was also performed under the criteria specified in Table 4, with altogether 21.5 m<sup>3</sup> of cement suspension being injected.

- Erreichen des maximalen Injektionsdrucks von 20 bar bei einer Pumprate von mindestens 6 l/min (Druckkriterium),
- Austritt von Injektionsgut in den Bohrkopf, aus Bohrungen bzw. Klüften im Fels oder Rissen im Spritzbeton.

Bei den Injektionsmaßnahmen ab der TBM West zeigte sich ein schneller Druckaufbau mit wenig Materialverbrauch. Der Abbruch der Injektionen erfolgte primär aufgrund des Druckkriteriums. Das Gel trat nur ganz vereinzelt in den Bohrkopf der TBM West ein.

In Bereichen, in denen das Druckkriterium nicht erreicht wurde, wurden Nachinjektionen angeordnet. Für die Nachinjektionen galten die gleichen Abbruchkriterien wie für die Erstinjektion. Die Drücke stiegen bei der Nachinjektion teilweise auf den doppelten Druck der Erstinjektion an, wobei der Druck aber immer auf 20 bar begrenzt war. Die Injektionen wurden aber meistens wegen Erreichens des Volumenkriteriums abgebrochen.

In Absprache mit den Experten wurde keine zweite Nachinjektionskampagne mit Gel mehr ausgeführt, auch wenn bei der ersten Nachinjektion kein Druck aufgebaut werden konnte. Insgesamt wurden insgesamt 102,4 m<sup>3</sup> Gel verpresst (Primärinjektion 62,86 m<sup>3</sup>, Nachinjektion 39,54 m<sup>3</sup>).

#### 5.5.4 Zementinjektionen

Die Injektionsbohrungen wurden in den zuerst zu bohrenden Primäraster und einen anschließend zu erstellenden



## Kommentar zum Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung Allgemeine Regeln

■ Im Kommentar werden ausführliche Begründungen und Erklärungen gegeben, mit denen das Verständnis für die neuen Begriffe, Regeln und Festlegungen geweckt werden soll. Mit den Beispielen wird gezeigt, wie die neuen Festlegungen im konkreten Fall in die Praxis umgesetzt werden. Sie sind so gewählt, dass alle wesentlichen Rechenschritte nachvollziehbar werden. Das Buch zeigt, wie die üblichen Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, z. B. für Flachgründungen, Pfahlgründungen, Stützbauwerke, Baugrubenkonstruktionen, Verankerungen und Böschungen, sowie der Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch zu erbringen sind.

HRSG.: BERND SCHUPPENER

**Kommentar zum Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung Allgemeine Regeln**

2012. 320 S., 69 Abb., 33 Tab., Gb.  
€ 89,-\*  
ISBN: 978-3-433-01528-5

Der Herausgeber:  
Dr.-Ing. Bernd Schuppener ist  
Obmann des zugehörigen Normenausschusses NABau-FB 05 Grundbau, Geotechnik.

For the areas where material emerged from the cutter-head, or the consumption exceeded 2,000 l without pressure build-up (volume criterion), secondary grouting was performed without any problems, although only 8.5 m<sup>3</sup> of grout could be injected.

### 5.5.5 Evaluation of the grouting results

The success of grouting was partially investigated with camera surveying of drilled holes and check injections. In this case, pressure was increased to 30 bar, which was partially necessary due to the breaking pressure of the manchettes. Some manchettes were also pressurised with water. At 15 bar, practically no water absorption was measured, which indicates compact grouted bodies. It was found out that cavities had been securely injected, but as expected, lenses of fine material could not be injected. The results of the grouting were in accordance with expectations, so the grouting campaign was concluded on 30 June 2010.

### 5.6 Opposing drive

The drive in the east bore proceeded despite the stoppage in the west bore. In order not to excessively hinder construction operations in the east bore due to the opposing drive starting from there, its location, length and top-heading height were optimised in agreement with the contractor with the intention of creating the appropriate working space to enable the TBM to pass through. The following aspects had to be considered:

- gripper location and gripper dimensions of the TBM,
- steering of the TBM during the bench excavation,
- avoidance of conflict of the cutter-head with the support of the opposing drive during the bench excavation by creating 20 cm of “free room”,
- reserve for unexpected conditions and measures during the top-heading advance and bench excavation.

Special attention was also required for the bridging of the fault zone material in the area of the gel injection (the last 3 m in front of the cutter-head), since the gel material had been assumed not to undertake any structural function.



Fig. 18. Faido West TBM freed  
Bild 18. TBM Faido West freigelegt

Sekundäraster aufgeteilt. So konnten die Erfahrungen der ersten Zementinjektionen bei der Festlegung des Bohrasters für die Sekundärinjektion berücksichtigt werden.

Aus den vorgängig zur Injektionskampagne durchgeführten Vorversuchen wurden die in Tabelle 3 dargestellten Injektionsmischungen definiert. Auf Basis der GIN-Methode kam für Pumpraten zwischen 8 und 15 l/min das Abbruchkriterium gemäß Tabelle 4 zur Anwendung. Diese Vorgaben gelten für jede Manschette, ohne Berücksichtigung auf die in der Planung definierten Porenvolumina. Zudem waren die Zementinjektionen bei einem Austritt von Injektionsgut in die TBM, aus Bohrungen bzw. Klüften im Fels oder Rissen im Spritzbeton abzubrechen.

Analog den Erfahrungen mit den Gelinjektionen wurde bei den Primärinjektionen aus der Injektionsnische im unteren Bereich der Bohrungen ein rascher Druckanstieg bis 15 bar festgestellt, ohne dass das vorgegebene Mengenkriterium erreicht wurde. Im oberen Bereich mit dem blockigem Lockermaterial aus dem Niederbruch, war hingegen meiste das Mengenkriterium für den Abbruch maßgebend. Mit Injektionen ab der TBM konnte nur sehr wenig Material injiziert werden, da das Druckkriterium jeweils schnell erreicht wurde. Für die Injektion des Primärasters wurden insgesamt 89,5 m<sup>3</sup> Injektionsgut eingepresst.

Auch die Sekundärinjektionen erfolgten unter Anwendung der in Tabelle 4 beschriebenen Kriterien, wobei insgesamt 21,5 m<sup>3</sup> Zementsuspension verpresst wurden.

Für jene Bereiche, in denen Material in den Bohrkopf gelaufen war oder wo der Materialverbrauch ohne Druck 2.000 l betrug (Volumenkriterium), wurden abschließende Nachinjektionen angeordnet, die problemlos verliefen. Dabei konnte nur noch 8,5 m<sup>3</sup> Injektionsgut verpresst werden.

### 5.5.5 Beurteilung des Injektionsergebnisses

Der Injektionserfolg wurde teilweise mittels Kamerabefahrungen von Bohrlöchern und mittels Kontrollinjektionen ermittelt. Dabei wurde der Druck bis auf 30 bar erhöht, was zum Teil auch durch den notwendigen Aufbruchsdruck der Manschetten erforderlich war. Einzelne Manschetten wurden mit Wasser beaufschlagt. Bei 15 bar wurde praktisch keine Wasseraufnahme festgestellt, was auf einen kompakt injizierten Körper hindeutet. Es wurde festgestellt, dass die Hohlräume mit hoher Sicherheit injiziert wurden, die Linsen aus Feinteilen wie erwartet nicht injiziert werden konnten. Das Injektionsziel entsprach den Erwartungen, sodass die Injektionskampagne am 30. Juni 2010 abgeschlossen werden konnte.

### 5.6 Gegenvortrieb

Der Vortrieb in der Oströhre lief trotz des Stillstands in der Weströhre weiter. Um den Baubetrieb in der Oströhre durch den von dort aus zu erschließenden Gegenvortrieb nicht übermäßig zu behindern, wurde dessen Lage, Länge und die Kalottenhöhe mit dem Unternehmer zusammen optimiert mit dem Zweck, den entsprechenden Arbeitsraum zu schaffen und das Durchfahren der TBM zu ermöglichen. Folgende Aspekte waren dabei zu berücksichtigen:

- Gripperlage und Gripperabmessungen der TBM,
- Steuerbarkeit der TBM während des Strossenausbruchs,

Nevertheless, the stability of the face also had to be ensured in this area. After checking the documents available from the manufacturer of the gel and a sample injected body, it proved possible to decide that the face is stable as long as the injected gel is uniformly distributed. There would have been a danger of local instability in the presence of large silty lenses.

The enlarged top heading was finally driven in 4/3 shift operation with an average advance rate of approx. 70 cm/d. The cutter-head was finally completely freed on 22 July 2010 (Fig. 18).

### 5.7 Resumption of the TBM drive

The TBM drive finally resumed on 23 July 2010 with the excavation of the bench. The TBM drove through the area of the collapse without particular problems (maximum thrust force ~ 8,000 kN, penetration ~ 10 mm/revolution).

A special challenge was bracing of the TBM for restarting, since the grippers had to be braced in the area of the gel body while the cutter-head was already in compact rock. The necessary support resistance was achieved with TH arches (spacing 1 m), two layers of K283 mesh and 25 cm of shotcrete in area L1\*, which enabled the machine to drive through the area of gel injection without overstressing the sides.

The area of the grouted body was successfully driven through by 29 July 2010 with an average advance rate of approx. 4 m/d and the machine could be parked in compact rock for the summer break. Altogether, 138 working days were required to free the west TBM.

### 5.8 Findings

A stoppage of the TBM after boring into an unexpected fault zone was also one of the residual risks that had been accepted for the Faido section. The material and organisational measures to overcome such an incident had already been defined before the start of tunnelling work. The materials required were mostly already on site thanks to the good preparation work of the site management and the contractor.

In addition to the material requirements to carry out grouting works, the assistance of drilling and grouting specialists had also been defined in advance. With hindsight, the assistance of selected specialists and specialised subcontractors (sometimes the same as had been active in Amsteg) was a key part of overcoming the problem.

The sample solutions that had been produced by the project engineer as a precaution helped to minimise the reaction time and permitted the rapid implementation of defined measures on site. All the installations and tools used for the grouting works proved to be appropriate.

There were some difficulties in the initial phase as the changeover from “regular operation” to “dealing with incident” (Fig. 19) did not occur consistently. In the first ten days of the work to overcome the incident, the actions in the tunnel were heavily influenced by personal experience.

Personal experience is a key element in the successful implementation of tunnel projects and must be demanded

- Vermeidung eines Konflikts des Schneidrads mit der Sicherung des Gegenvortriebs während des Strossenausbruchs durch Schaffung von 20 cm „Freiraum“;
- Reserve für unvorhergesehene Verhältnisse und Maßnahmen während des Kalottenvortriebs und des Strossenabbaus.

Spezielle Beachtung fand zudem die Überbrückung des Störzonenmaterials im Bereich der Gelinjektion (letzte 3 m vor dem Bohrkopf), da den Gelinjektionen in den konzeptionellen Überlegungen keine statische Wirkung zugeordnet wurde. Trotzdem musste in diesem Bereich die Ortbruststabilität gewährleistet werden. Nach Prüfung der vom Hersteller des Gels zur Verfügung gestellten Unterlagen und eines Probe-Injektionskörpers konnte festgehalten werden, dass die Ortbruststabilität bei gleichmäßig verteilten Gelinjektionen gegeben ist. Beim Vorhandensein von großen, schluffigen Linsen hätte die Gefahr lokaler Instabilitäten bestanden.

Die aufgeweitete Kalotte wurde schließlich im 4/3-Schichtbetrieb mit einer mittleren Vortriebsleistung von ca. 70 cm/d durchfahren. Am 22. Juli 2010 war der Bohrkopf vollkommen frei gelegt (Bild 18).

### 5.7 Wiederaufnahme des TBM-Vortriebs

Am 23. Juli 2010 konnte die TBM den Vortrieb mit dem Strossenabbau wieder aufnehmen. Der Bereich des Niederbruchs wurde ohne besondere Probleme mit der TBM

## NEWSLETTER Ernst & Sohn

Subscribe to the e-mail newsletter to stay up to date.

The free, monthly Ernst & Sohn e-mail newsletter keeps you informed of our new books, interesting journal articles and the latest news from the sector. Your subscription can be canceled at any time.

[www.ernst-und-sohn.de/newsletter](http://www.ernst-und-sohn.de/newsletter)

Login +

current issue

Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und technische  
Wissenschaften GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21  
D-10245 Berlin  
Tel. +49 (0)30 47031-200  
Fax +49 (0)30 47031-240  
info@ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn  
A Wiley Brand

Table 5. Comparison table of grouting measures in the GBT [4], [9]  
 Tabelle 5. Vergleichstabelle Injektionsmaßnahmen am GBT [4], [9]

	<b>Amsteg West</b>	<b>Sedrun West</b>	<b>Faido West</b>
<b>Incident</b> <i>Ereignis</i>	Driving into hydrothermally altered rock	Driving into a heavily aquiferous fault zone approx. 15 m thick (fault zone 44)	Collapse in the Tenelin Zone, 6 m thick steeply dipping fault zone of calcrites and cataclasites
<b>Tectonic unit</b> <i>Tectonische Einheit</i>	Aare Massif	Gotthard Massif	Gotthard Massif, transition of Medelser granite to Tenelin Zone
<b>Adjacent rock</b> <i>Benachbarte Gesteine</i>	Aare granite	Streifen gneiss	Medelser granite Streifen gneiss
<b>Date</b> <i>Datum</i>	18/06/2005	13/09/2006	03/03/2010
<b>Location</b> <i>Ort</i>	km 215.114	km 223.713	km 230.311
<b>Chainage reached in east bore</b> <i>Vortriebstand Oströhre</i>	km 115.105 – 9 m <sup>1</sup>	km 123.864 151 m	km 129.769 542 m
<b>Overburden</b> <i>Überlagerung</i>	2,200 m	1,500 m	2,100 m
<b>Advance probing before incident</b> <i>Vorauserkundung vor Ereignis</i>	Seismic probing	Cores drilled in east bore, 2 hammer-drilled holes in west bore	1 hammer-drilled hole from TBM in east and west bores
<b>Time after incident</b> <i>Zeitlicher Ablauf</i>	Working days <i>Arbeitstage</i>	Working days <i>Arbeitstage</i>	Working days <i>Arbeitstage</i>
Incident with stop <i>Ereignis mit Stillstand</i>	0	0	0
Immediate measures (end) <i>Sofortmaßnahmen (Ende)</i>	5	2	10
Additional investigation (end) <i>Zustätzl. Erkundung (Ende)</i>	36	21	25
Decision to grout <i>Auslösen Injektion</i>	37	28	34
Start of grouting <i>Beginn Injektionen</i>	58	54	40
Start of auxiliary tunnel <i>Beginn Hilfsvortrieb</i>	53	18	43
Completion of grouting <i>Injektion beendet</i>	123	156	120
Completion of auxiliary tunnel <i>Ende Hilfsvortrieb</i>	132	52	130
Resumption of advance <i>Wiederaufnahme Vortrieb</i>	152	160	138

<sup>1</sup> effectively + 11 m ahead due to axis offset between east and west bores

<sup>1</sup> Effektiv + 11 m Vorsprung wegen Achsversatz von 20 m zwischen Ost- und Weströhre

from decision-makers at all levels. Experience is, however, no substitute for engineering consideration but rather a useful supplement. Particularly in awkward situations, clear models have to be produced and the resulting measures and risk limitation must be undertaken by all parties with the same commitment.

This also includes the responsible parties on site having the courage to stop or suspend driving activities until further proceedings have been planned with additional

durchfahren (maximaler Anpressdruck ~ 8.000 kN, Penetration ~ 10 mm/Umdrehung).

Eine spezielle Herausforderung war die Abstützung der TBM beim Wiederauffahren, da sich die Gripper zum Zeitpunkt, an dem sich das Schneidrad bereits wieder im kompakten Fels drehte, noch im Bereich des Gelkörpers abstützen mussten. Mit TH-Bögen (Abstand 1 m), zwei Lagen Netze K283 sowie 25 cm Spritzbeton im Bereich L1\* wurde der notwendige Ausbauwiderstand er-

Table 5. Continued  
Tabelle 5. Fortsetzung

	Amsteg West	Sedrun West	Faido West
<b>Investigation measures</b> <b>Erkundungsmaßnahmen</b>			
– hammer drilling – <i>Schlagbohrungen</i>	545 m	–	1,495 m
– core drilling – <i>Kernbohrungen</i>	365 m	174 m	198 m
<b>Drilled holes</b> <b>Bohrungen</b>			
for contact grouting <i>für Kontaktinjektionen</i>	–	3,930 m	–
for grouted bodies <i>für Injektionskörper</i>	2,844 m	8,930 m	3,820 m
Total	2,44 m	12,860 m	3,820 m
<b>Injected materials</b> <b>Injektionsmaterialien</b>			
– Gel/Gel	HydroBloc 530 DB Polygel (Arcan)	–	HydroBloc 530 DB Polygel (Arcan)
– Cement/Zement	<i>DUROFLOW R</i> (Georoc), 8000 Blaine	<i>Dorodur H50</i> (Georoc) Blaine 7500	<i>Dorodur H50</i> (Georoc) Blaine 7500
– microfine cement/ <i>Feinstzement</i>	–	Spinor A12 Blaine 12'000	
<b>Injected quantities</b> <b>Injektionsmengen</b>			
– gel <i>Gel</i>	73,100 kg <i>73.100 kg</i>	–	113,000 kg <i>113.000 kg</i>
– fine/microfine cement <i>Feinstzement</i>	–		–
• contact grouting <i>Kontaktinjektionen</i>		83,200 kg <i>83.200 kg</i>	
• grout bodies <i>Injektionskörper</i>	93,500 kg <i>93.500 kg</i>	127,200 kg <i>127.200 kg</i>	72,000 kg <i>72.000 kg</i>
<b>Total grouting</b> <b>Total Injektionen</b>	166,600 kg <i>166.600 kg</i>	210,400 kg <i>210.400 kg</i>	185,000 kg <i>185.000 kg</i>
<b>Max. injection pressure</b> <b>Max. Injektionsdrücke</b>	20 bar	150 bar	15 bar
<b>Machinery</b> <b>Gerätepark</b>			
– hammer drills for probe drilling  <i>Schlagbohrgeräte für Sondierbohrungen</i>	n.a.	Tamrock drilling jumbo Axera T 12  <i>Bohrjumbo Tamrock Axera T 12</i>	Special drill feed, anchor drill feed, horizon drilling feed, air leg <i>Sondierbohrlafette, Ankerbohr- lafette, Horizontalbohrlafette Stützbohrlafette</i>
– grouting holes  <i>Injektionslöcher</i>	n.a.	Tamrock drilling jumbo Axera T 12 <i>Bohrjumbo Tamrock Axera T 12</i>	Hütte 202  <i>Diamec 282</i>
– core drills <i>Kernbohrgeräte</i>	n.a.	n.a.	4 large pumps (cement injection) <i>4 große Pumpen (Zement- injektionen)</i>
– grouting pumps <i>Injektionspumpen</i>	n.a.	n.a.	2 small pumps (gel injection) <i>2 kleine Pumpen (Gel- injektionen)</i>
<b>Approx. resulting costs</b> <b>Ungefähre Folgekosten</b>	10 mill CHF	15 mill CHF	13 mill CHF

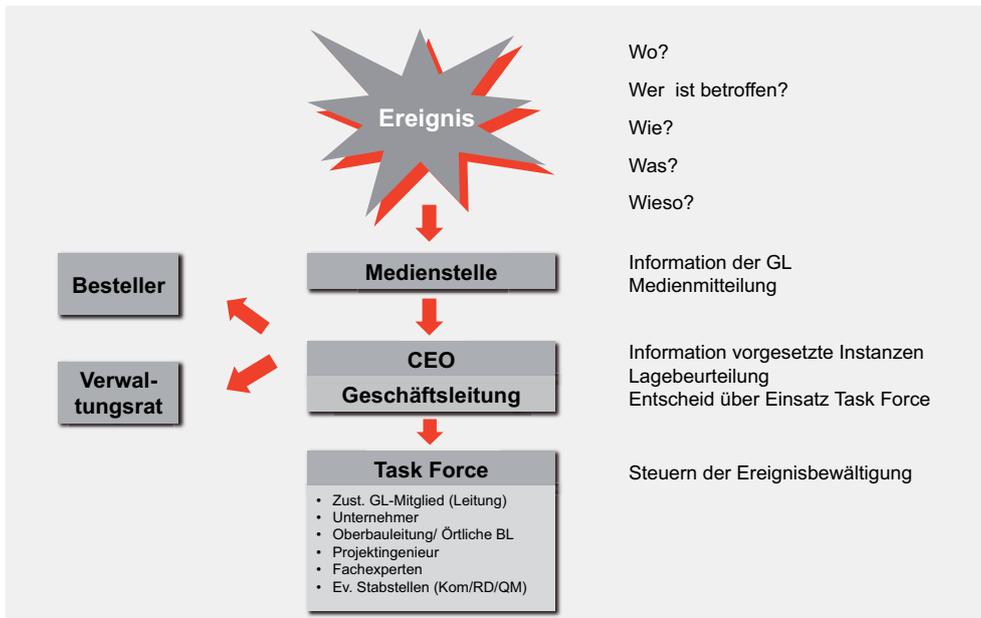


Fig. 19. Simplified procedure for incident management and communication at the ATG  
Bild 19. Vereinfachter Prozess Ereignismanagement und -kommunikation bei der ATG

specialist assistance. The provision of all the necessary facts promptly and at all stages provides the basis for planning measures and their successful implementation to overcome an incident.

The works to free the west TBM at Faïdo were finally completed competently without technical breakdowns and within the given deadline and cost framework.

## 6 Comparative consideration

In each of these three cases, the following west bore was affected. The incidents described occurred despite the knowledge of conditions gained in the east bore and systematic advance probing in the west bore.

While the specified works in the Amsteg and Faïdo sections were almost identical – to consolidate the ground to enable the freeing of a trapped TBM – the aim of the grouting campaign in Sedrun was to reduce water inflow into the tunnel. The logistical conditions were similar in all three cases since, in each case, the following west bore was affected by the incident and it was possible to directly access each problem zone from the already excavated east bore. This helped to save time and costs, although the stoppages still amounted to 138 and 160 days. The resulting costs in all three cases amounted to CHF 10 to 15 m.

The methods used (mainly cement grouting) and the construction sequences are directly comparable, as is shown in Table 5 and Fig. 20. From these illustrations, it can be seen that the decision-making processes and the implementation were similar in all three cases in the end, although the case of Faïdo in particular profited from the experience in Amsteg. In all three cases, the processing of the decision-making basis took about one month, and the implementation of the planned measures took about four months in each case.

reicht, der den Vortrieb im Bereich der Gelinjektionen ohne eine Überbeanspruchung der Paramente ermöglichte.

Bis zum 29. Juli 2010 war der Bereich des Injektionskörpers mit einer mittleren Vortriebsleistung von ca. 4 m/d erfolgreich aufgeföhren, und die Maschine konnte für die Sommerpause im kompakten Fels geparkt werden. Für die Befreiung der TBM West wurden insgesamt 138 Arbeitstage benötigt.

## 5.8 Erkenntnisse

Ein Stillstand des TBM-Vortriebs infolge des Anfahrens einer unerkannten Störzone gehörte auch im Teilabschnitt Faïdo zu den akzeptierten Restrisiken. Die materiellen und organisatorischen Maßnahmen zur Bewältigung eines solchen Ereignisses waren zu Beginn des Vortriebs definiert. Die materiellen Mittel waren dank guten Vorbereitungsarbeiten der örtlichen Bauleitung und des Unternehmers mit dem Beginn der Vortriebsarbeiten zum großen Teil auf der Baustelle vorhanden.

Neben der materiellen Möglichkeit zur Durchführung von Injektionen, war auch die fallweise Hinzuziehung von Bohr- und Injektionsspezialisten vordefiniert. Rückblickend betrachtet war die Hinzuziehung ausgewiesener Spezialisten und spezialisierter Subunternehmer (teilweise die gleichen wie im Fall Amsteg) ein Schlüsselement für eine erfolgreiche Ereignisbewältigung.

Vom Projektgenieur prophylaktisch erstellte Musterlösungen halfen die Reaktionszeiten zu minimieren und erlaubten die rasche Umsetzung konkreter Maßnahmen vor Ort. Dabei haben sich alle zum Einsatz gebrachten Installationen und Geräte für die Injektionsarbeiten als zweckmäßig erwiesen.

Schwierigkeiten ergaben sich in der Anfangsphase, wo die Umstellung vom „Alltagsbetrieb“ zum „Ereignisbe-

## 7 Conclusions and recommendations

In three cases, unexpectedly unfavourable ground conditions were encountered in the Gotthard Base Tunnel, which resulted in the implementation of major grouting campaigns. The question has to be posed, whether these events could have been prevented.

The three cases from the GBT described in this article show clearly that despite a good state of knowledge about the geology in front of the machine, unexpected events can occur at any time. In order to predict such events, it has to be recognised that this would entail an increase or improvement of advance investigation measures.

The example at Amsteg clearly shows that advance probing methods that are cheap, and do not greatly hinder the operation of the machine, e.g. seismic probing, do not deliver a sufficiently reliable decision-making basis in the heterogeneous crystalline rocks of the Alps. Single holes for advance probing are needles in a haystack, and even "systematic perforation" of the face would not guarantee the quality of the rock a few metres to the side, as is shown by the example of Sedrun.

If the intention was to provide complete security about the quality of the rock mass around the tunnel, the amount of probe drilling around the future tunnel would have had to be increased enormously. This would, however, have resulted in a considerable slowing of the advance rate. Such a measure is usually not economically justifiable and therefore has to be rejected.

wältigungsbetrieb" (Bild 19) nicht konsequent erfolgte. In den ersten zehn Tagen der Ereignisbewältigung war vor Ort eine von den jeweiligen persönlichen Erfahrungen stark geprägte Dynamik spürbar.

Persönliche Erfahrungen sind ein Schlüsselement für den Projekterfolg im Untertagbau und müssen von den Entscheidungsträgern auf allen Stufen verlangt werden. Erfahrungen sind aber kein Ersatz für ingenieurmäßige Überlegungen, sondern die notwendige Ergänzung. Gerade in heiklen Situationen sind klare Modellvorstellungen zu erarbeiten. Die sich daraus ergebenden Maßnahmen und Risikoabgrenzungen müssen von allen Beteiligten mit gleicher Konsequenz mitgetragen werden.

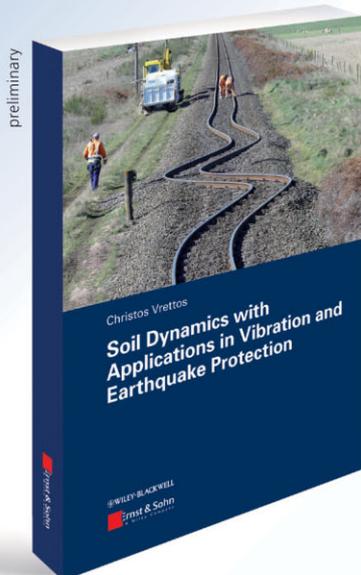
Dazu gehört auch der Mut der Verantwortlichen vor Ort, die Vortriebstätigkeiten einzustellen oder ruhen zu lassen, bis die weiteren Schritte unter Hinzunahme von zusätzlichem Fachwissen der Spezialisten geplant sind. Die frühzeitige und zum jeweiligen Zeitpunkt umfassende Darlegung aller Fakten ist die Grundlage für die Maßnahmenplanung und die erfolgreiche Umsetzung zur Ereignisbewältigung.

Die Arbeiten zur Freilegung der TBM West Faïdo wurden schließlich ohne technische Pannen und Ausführungsprobleme kompetent und innerhalb des vorgegebenen Termin- und des erwarteten Kostenrahmens ausgeführt.

## 6 Vergleichsbetrachtung

In jedem der drei Fälle war die nachlaufende Weströhre betroffen. Trotz Erkenntnissen aus der Oströhre und aus

Online-Order: www.ernst-und-sohn.de



## Soil Dynamics with Applications in Vibration and Earthquake Protection

■ For numerous geotechnical applications soil dynamics are of special importance. In seismic engineering this affects the stability of dams, slopes, foundations, retaining walls and tunnels, while vibrations due to traffic and construction equipment represent a significant aspect in environmental protection. Foundations for mechanical equipment and cyclically loaded offshore structures are also part of the spectrum of application. This book covers the

CHRISTOS VRETTOS

### Soil Dynamics with Applications in Vibration and Earthquake Protection

2013.  
approx. 200 pages, approx. 90 fig.  
Softcover  
approx. € 55,-\*  
ISBN 978-3-433-02999-2  
Date of publication: II. Quarter 2013

basics of soil dynamics and building thereon the practical applications in vibration protection and seismic engineering.

Author:  
Christos Vrettos is Professor and Director of the Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering at the Technical University of Kaiserslautern.

\* €-Prices are valid in Germany, exclusively, and subject to alterations. Prices incl. VAT. Books excl. shipping. Journals incl. shipping. 0226100006\_dp

**Ernst & Sohn**  
A Wiley Company

Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und technische  
Wissenschaften GmbH & Co. KG

Customer Service: Wiley-VCH  
Boschstraße 12  
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400  
Fax +49 (0)6201 606-184  
service@wiley-vch.de

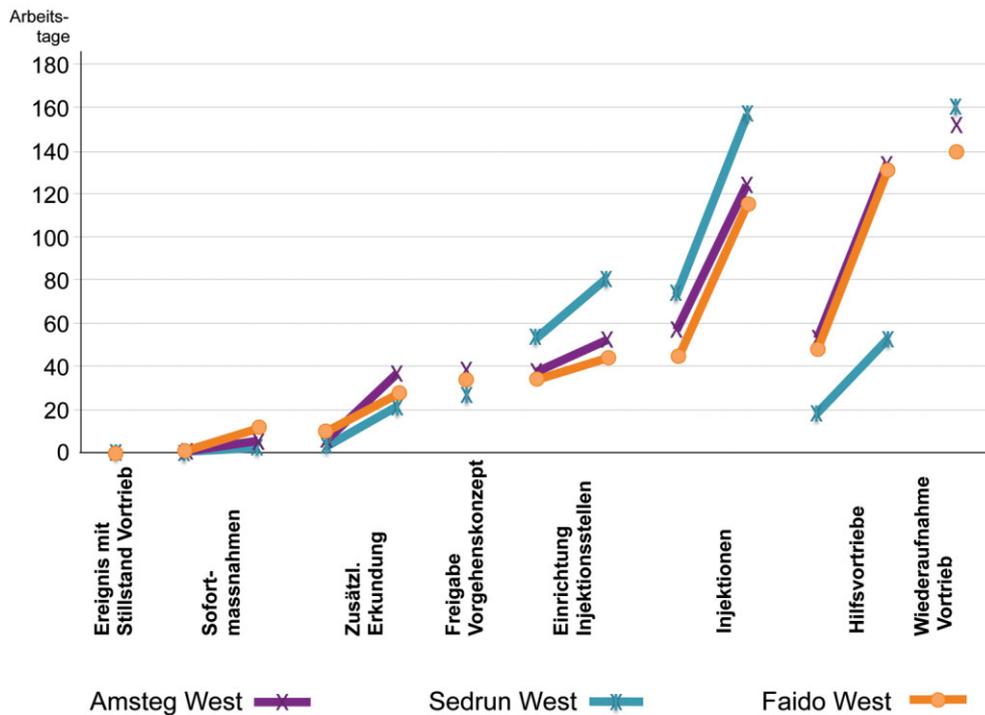


Fig. 20. Comparative programme with working sequences  
Bild 20. Vergleich Ablauf der Arbeitssequenzen

The unexpected occurrence of unfavourable ground conditions of such significance as occurred in the Gotthard Base Tunnel thus belongs to the acceptable residual risks. Project-specific organisation and technical measures derived from a meticulous risk analysis with the associated time and cost budgets therefore belong in every contract for a long, deep tunnel.

The experience from the GBT shows that the first month after the occurrence of an incident is decisive for the subsequent success of the measures introduced to counter it. The organisation and the staff available to overcome an incident must therefore be in a position to become active immediately after the occurrence. Crisis teams should be defined and activated at the start of tunnelling. Detailed plans of measures produced at an early stage for a catalogue of “sample incidents” help to considerably reduce the reaction times.

To avoid misunderstandings on site, the time at which normal operation changes over to “dealing with incident”, with the involvement of the crisis team, must be clearly defined, communicated to all levels, and thoroughly implemented.

Particularly for overcoming critical situations, reliable collaboration without friction between the responsible parties for all contract partners and at all levels is of paramount importance. A site culture characterised by trust and partnership is therefore a key element in overcoming unexpected conditions in underground construction.

## References

- [1] Ehrbar H., Sala A., Wick R.: Vortriebe am Gotthard Base Tunnel – ein Rückblick Erfahrungen and Lehren aus Sicht des Bauherrn. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2012.

den systematischen Vorauserkundungen in der Weströhre kam es zu den beschriebenen Ereignissen.

Während die Aufgabenstellung in den Teilabschnitten Amsteg und Faïdo fast identisch waren, nämlich die Gebirgsverfestigung zwecks Freilegung einer blockierten TBM, war das Ziel der Injektionskampagne in Sedrun die Reduktion der Wasserzutritte zum Tunnelhohlraum. In allen drei Fällen waren die logistischen Randbedingungen ähnlich, indem jeweils die nachlaufende Weströhre vom Ereignis betroffen war und eine direkte Erschließung der jeweiligen Problemzone über die bereits ausgebrochene Oströhre möglich war. Diese half Zeit und Kosten zu sparen, wobei die Vortriebsstillstände trotzdem zwischen 138 und 160 d betragen. Die Kostenfolgen bewegten sich in allen drei Fällen in ähnlichen Größenordnungen von 10 bis 15 Mill. CHF.

Die eingesetzten Mittel (hauptsächlich Zementinjektionen) und die Bauabläufe sind direkt vergleichbar und in Tabelle 5 und Bild 20 dargestellt. Aus diesen Darstellungen kann gefolgert werden, dass die Entscheidungsabläufe und die Umsetzung schließlich in allen drei Fällen ähnlich abliefen, wobei insbesondere im Fall Faïdo von den Erfahrungen Amsteg profitiert werden konnte. In allen drei Fällen wurde für die Erarbeitung der Entscheidungsgrundlagen rund ein Monat gebraucht. Die Umsetzung der geplanten Maßnahmen erfolgte in jeweils rund vier Monaten.

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In drei Fällen wurden am Gotthard Basistunnel unerwartet ungünstige Baugrundverhältnisse angetroffen, die schließlich größere Injektionskampagnen zur Folge hatten. Es stellt sich die Frage, ob und wie man die Ereignisse hätte verhindern können.

- [2] *Ziegler H.-J.*: 150 km Vortrieb durch die Alpen – Ingenieur-geologische Erfahrungen. Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2011.
- [3] *Wildbolz, A.*: Amsteg – TBM Stillstand in der Weströhre, kleiner geologischer Unterschied – große Wirkung. Tagungsband Swisstunnel Congress 2006, S. 43–48.
- [4] Ingenieurgemeinschaft Gotthard Basistunnel Nord: Bergung der TBM West nach Verbruch bei Tm 215.114,6, Injektionen ab TBM West und Injektionsstollen. Schlussbericht (unveröffentlicht), 2006.
- [5] *Holzhuber, M.*: Bewältigung von Verbruchzonen bei einem mechanischem Tunnelvortrieb am Beispiel des Bauloses 252 Amsteg. Gotthard Basistunnel Nord (unveröffentlicht), 2006.
- [6] *Biedermann, R.*: Außerordentliches Verhalten der Staumauer Zeuzier. Wasser, Energie Luft, Heft 7–8/1980.
- [7] *Ehrbar, H., Bremen, R., Otto, B.*: Gotthard Base Tunnel – Tunnelling in the influence zone of two concrete arch dams. *Geomechanics and Tunnelling* 3 (2010), No. 5, pp. 428–441.
- [8] *Theiler, A.*: Gotthard Base Tunnel – Injektion einer wasserführenden Störzone – Konzept und Ausführung, Tagungsband Swisstunnel Congress 2007, S. 51–60.
- [9] Ingenieurgemeinschaft Gotthard Basistunnel Süd: Los 360, Tunnel Sedrun Injektionen Störzone 44 EST SW. Abschlussbericht (unveröffentlicht), 2007.



Dipl.-Ing. Heinz Ehrbar  
Heinz Ehrbar Partners GmbH  
Holzwiesstraße 12  
8704 Herrliberg  
Switzerland  
heinz.ehrbar@heinzehrbarnpartners.com



Dipl.-Ing. Adrian Wildbolz  
AlpTransit Gotthard AG  
Industriezone Schächenwald  
6460 Altdorf  
Switzerland  
adrian.wildbolz@alptransit.ch



Dipl.-Ing. Anton Priller  
AlpTransit Gotthard AG  
Casella postale 1268  
6760 Faido  
Switzerland  
anton.priller@alptransit.ch



Dipl.-Ing. Alfred Seiler  
AlpTransit Gotthard AG  
Zentrum AlpTransit  
7188 Sedrun  
Switzerland  
alfred.seiler@alptransit.ch

Die drei beschriebenen Fälle vom GBT zeigen klar, dass trotz gutem Kenntnisstand über die vorausliegende Geologie immer wieder unerwartete Ereignisse eintreten können. Um solche Ereignisse vorauszusehen, müsste man sie erkennen, was eine Erhöhung oder Verbesserung der Vorauserkundungsmaßnahmen bedeuten würde.

Das Beispiel Amsteg zeigt klar, dass kostengünstige und den Vortrieb wenig behindernde Vorauserkundungsmaßnahmen, z.B. seismische Vorauserkundungen, in den heterogenen kristallinen Baugrundverhältnissen der Alpen keine genügend zuverlässigen Entscheidungsgrundlagen liefern können. Einzelne Bohrungen zur Vorauserkundung sind Nadelstiche und selbst eine „systematische Perforierung“ der Ortsbrust gibt keine Gewähr über die Qualität des wenige Meter daneben liegenden Gebirges, wie das Beispiel Sedrun zeigt.

Wollte man sich die vollkommene Gewähr über die Qualität des den Hohlraum umgebenden Gebirges verschaffen, müsste der Sondierbohraufwand mittels Bohrungen rund um den künftigen Tunnelhohlraum enorm gesteigert werden. Dies hätte aber eine erhebliche Reduktion der Vortriebsleistungen zur Folge. Eine solche Maßnahme liegt deshalb üblicherweise jenseits der wirtschaftlich vertretbaren Machbarkeit und muss deshalb meistens verworfen werden.

Das Eintreten von unerwartet ungünstigen Baugrundverhältnissen in einem Ausmaß wie dies am Gotthard-Basistunnel geschah, gehört somit zu den zu akzeptierenden Restrisiken. Als Resultat einer sorgfältigen Risikoanalyse gehören deshalb projektspezifische organisatorische und technische Maßnahmen, Bauzeit- und Kostenbudgets in jeden Vertrag eines langen, tiefliegenden Tunnels.

Die Erfahrungen vom GBT zeigen, dass der erste Monat nach dem Eintreten des Ereignisses für den späteren Erfolg der angeordneten Maßnahmen entscheidend ist. Die Organisation und die personelle Besetzung zur Ereignisbewältigung müssen deshalb in der Lage sein, unmittelbar nach dem Eintreten eines Ereignisses aktiv zu werden. Krisenstäbe müssen beim Vortriebsbeginn definiert und aktiviert sein. Frühzeitig ausgearbeitete, detaillierte Maßnahmenpläne für einen Katalog von „Musterereignissen“ helfen, die Reaktionszeiten erheblich zu verkürzen.

Um Missverständnisse auf der Baustelle zu vermeiden, muss der Zeitpunkt, ab wann im „Ereignisbewältigungsbetrieb“ unter Einbezug des Krisenstabs gearbeitet wird, klar definiert, auf allen Stufen kommuniziert und konsequent umgesetzt werden.

Gerade bei der Bewältigung von kritischen Situationen ist das reibungsfreie und verlässliche Zusammenspiel zwischen den Projektverantwortlichen aller Vertragspartner und auf allen Stufen von allergrößter Bedeutung. Eine von Vertrauen und Partnerschaft geprägte Baustellenkultur ist deshalb das Schlüsselement zur Bewältigung unerwarteter Verhältnisse im Untertagbau.