

## AlpTransit Gotthard

Adrian Wildbolz\*

# Befreiung der Tunnelbohrmaschine Gabi II in Amsteg

Seit Ende 2003 bohren sich die Tunnelbohrmaschinen (TBM) Gabi I und II von Amsteg Richtung Sedrun. Im Juni 2005 wurde die TBM West (Gabi II) durch eingeschwemmtes Material blockiert. Nach einer eingehenden Untersuchung zur Ausdehnung der Verbruchzone konnten die Massnahmen zur Befreiung der TBM festgelegt werden. Injektionen aus einem zusätzlichen Stollen verfestigten das Gebirge vor und über der TBM. Ein Gegenangriff aus der Oströhre legte anschliessend die TBM frei. Mitte Dezember 2005 wurde der Regelvortrieb wieder aufgenommen.

### Vortrieb bis Juni 2005

Am Gotthard baut die AlpTransit Gotthard AG (ATG) seit 1999 den 57 km langen Gotthard-Basistunnel. Der Vortrieb erfolgt von den beiden Portalen in Erstfeld und Bodio sowie von den Zwischenangriffen Amsteg, Sedrun und Faido. Der 11 350 m lange Teilabschnitt Amsteg wird mit zwei Tunnelbohrmaschinen von 9,58 m Durchmesser aufgeföhren. Er schliesst im Norden an den Teilabschnitt Erstfeld an, im Süden an den Teilabschnitt Sedrun. Die Montage der beiden TBM erfolgte in zwei unterirdischen Montagekammern durch die Arbeitsgemeinschaft Amsteg Los 252 Gotthard-Basistunnel Nord (AGN). Die TBM Ost (Gabi I) nahm den Regelvortrieb in Richtung Sedrun Anfang Oktober 2003 auf, die TBM West (Gabi II)

startete im Januar 2004. Anfang Juni 2005 wurde unter dem 2709 m hohen Chrüzlistock die Kantonsgrenze Uri/Graubünden erreicht. Die maximale Überdeckung von zirka 2200 m ergab eine Felstemperatur von 44 Grad. Beide Maschinen lagen praktisch auf gleicher Höhe und hatten mit 7600 m bereits zwei Drittel der Strecke ausgebrochen.

### TBM Gabi I ohne Probleme

Am 5. Juni 2005 erreichte die TBM Gabi I in der Oströhre 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 Tunnelbauer auf teilweise hydrothermal zersetztes Gestein. Die TBM Ost bohrte sich mit geringen Tagesleistungen kontinuierlich durch



Räumen des blockierten Bohrkopfes von Hand.

das mürbe Material. Ein erhöhter Sicherungsaufwand wurde insbesondere zur Verbesserung der Verspannbarkeit der Gripper nötig. Die Vortriebsleistungen sanken auf 1 bis maximal 5 m pro Arbeitstag. Der Vortrieb ging aber stetig und ohne besondere Schwierigkeiten voran. Grössere Wasserzutritte wurden keine verzeichnet.

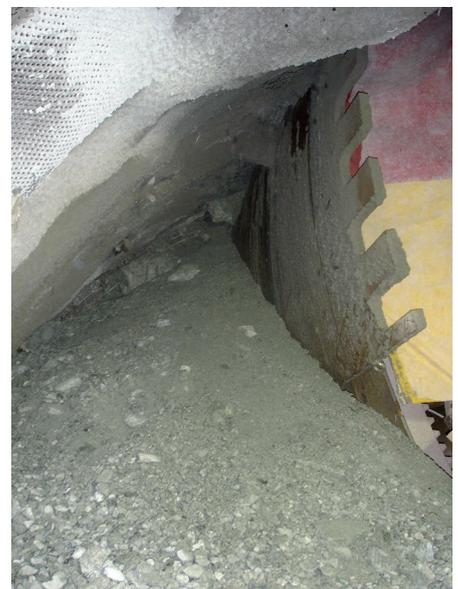
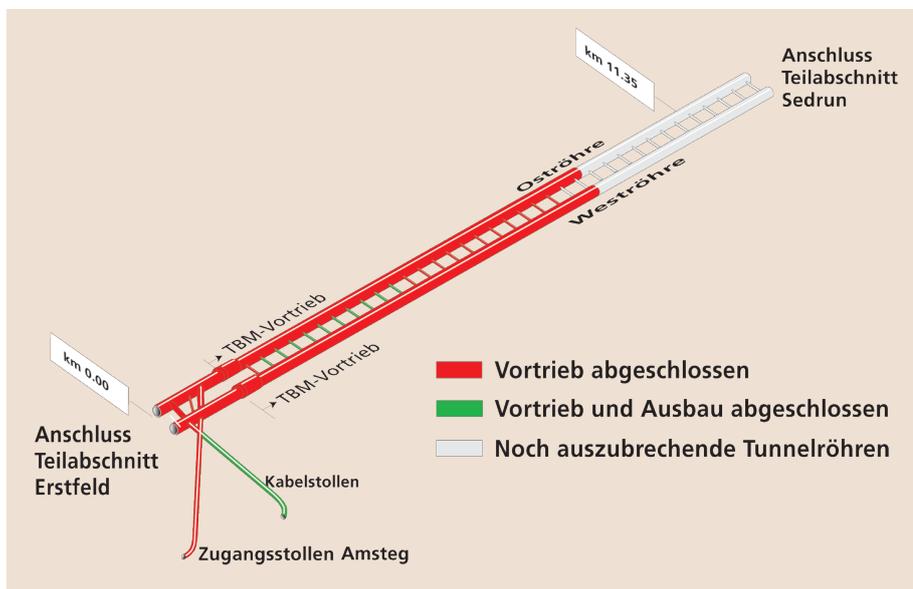
### Blockierung der TBM Gabi II

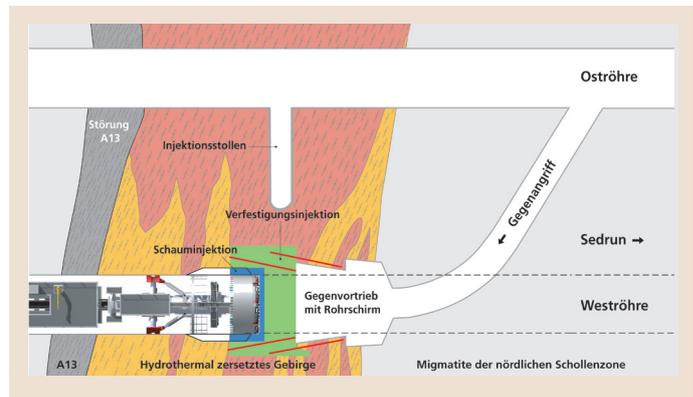
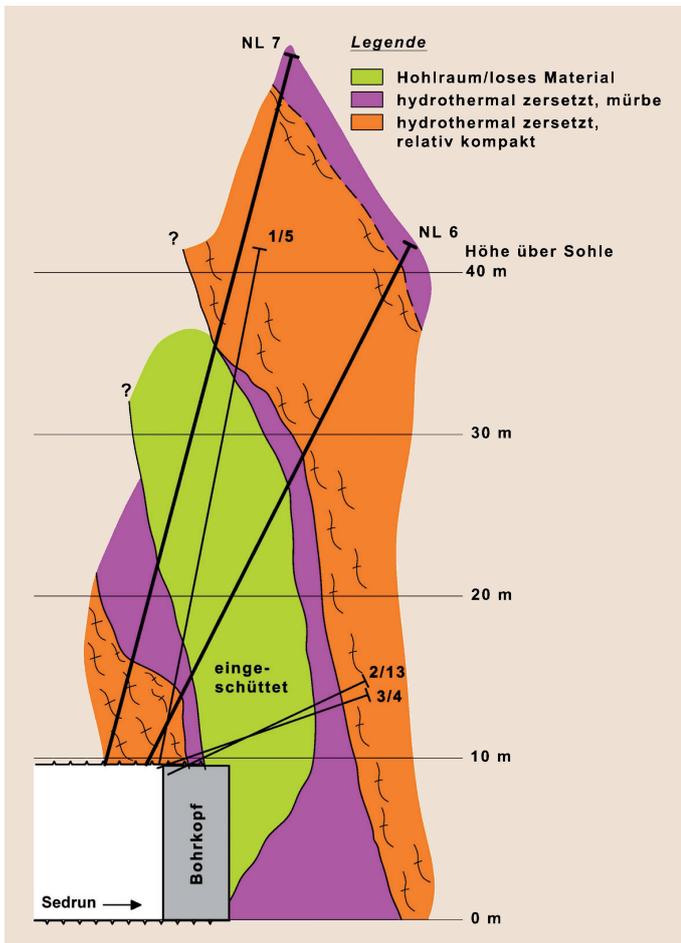
Am 13. Juni 2005 erreichte auch die TBM West die Störzone A13, die sie in kurzer Zeit problemlos überwand. Südlich an die A13 anschliessend wurde ebenfalls hydrothermal zersetztes Material angetroffen. Dieses präsentierte sich jedoch kompakter als jenes in der Oströhre. Entsprechend kam der Vortrieb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

### Erste Befreiungsversuche

Während zwei Tagen wurde mehrfach versucht, den Bohrkopf von Hand zu räumen und die TBM wieder anzudrehen.

Stand der Arbeiten Mitte Juni 2005 vor der Blockierung der Tunnelbohrmaschine Gabi II.





Oben: Längsschnitt der Zone vor dem Bohrkopf.  
 Rechts oben: Plan des Injektionsstollens und des Gegenvortriebes zur Wiederinbetriebnahme der TBM West.  
 Rechts unten: Injektionsstollen.

hen. Dies gelang trotz Mobilisierung der gesamten Antriebsleistung des Bohrkopfes von 4 MW nicht. In einer zweiten Phase versuchte die Vortriebsmannschaft die Maschine um rund einen Meter zurückzuziehen. Dazu musste der letzte bereits eingebaute Stahlbogen wieder ausgebaut werden. Es gelang jedoch nicht, die TBM mehr als ein paar Zentimeter rückwärts zu bewegen. In einer dritten Phase wurde versucht, mit seitlichen Nischen den Bohrkopf freizulegen. Nachfliessendes Gestein brach jedoch in diese Nischen ein und füllte diese teilweise auf.

## Ausdehnung der Problemzone vor dem Bohrkopf

Zur Erkundung der vorausliegenden Problemzone wurden mit den auf der TBM West installierten Ankerbohrgeräten über 30 Injektionsbohranker eingebaut. Die aufgezeichneten Bohrdaten gaben einen ersten Hinweis auf die geometrische Form des Bereiches mit losem Material. Mit den Bohrungen wurde zudem versucht, das Gebirge zu drainieren. Der Erfolg blieb jedoch bescheiden.

Anschliessend erfolgten aus den seitlichen Nischen 11 Kernbohrungen mit bis zu 45 m Länge. Damit wurden die Verhältnisse vor und über dem Bohrkopf systematisch erkundet. Die Auswertung der Sondierbohrungen ergab, dass die aufgelockerte Zone eine Mächtigkeit von 5 bis 8 Metern aufwies. Die maximale Höhe der Auflockerungszone lag mindestens 30 m über Firstniveau.

## Einsetzung einer Task Force

Zur Lösung des Problems setzte die Bauherrschaft eine Task Force ein. Sie bestand aus Mitarbeitern der Ingenieurgesellschaft, der örtlichen Bauleitung, der Unternehmung sowie des Bauherrn und zwei externen Spezialisten. Nach eingehenden Abklärungen wurde erkannt:

- Der Bohrkopf muss von vorne freigelegt werden.
- Zum Schutz des Bohrkopfes muss das lockere Material vor und über der TBM mit Injektionen verfestigt werden.
- Ein seitlicher Zugang mit grossem Querschnitt auf Höhe des Bohrkopfes durch das mürbe Gestein ist zu riskant.
- Ein seitlicher Injektionsstollen mit kleinem Querschnitt auf Höhe Bohrkopf durch das mürbe Gestein wird als machbar beurteilt.

- Der Bohrkopf muss durch einen Gegenvortrieb aus der Oströhre auf Achse Einspurttunnel West freigelegt werden.
- Der Gegenvortrieb muss im Schutze eines Rohrschirmes erfolgen.

## Injektionen

Aus der Oströhre wurde ein kreisrunder Injektionsstollen mit zirka 18 m<sup>2</sup> Querschnitt vorgetrieben. Die Sicherung erfolgte mit Vollbogen TH 29/58 im Abstand von 1 m, 25 cm Spritzbeton und Netzen K188.

Aus über 120 Bohrungen wurde das Gebirge vor und über der TBM verfestigt

## Hydrothermal zersetzt Gestein

Hydrothermal zersetzt, desaggregiertes Material wurde bereits beim Bau des Gotthard-Strassentunnels und im Furka-Basistunnel angetroffen. Im geologischen Bericht für den Gotthard-Basistunnel ist beschrieben, dass Zonen mit desaggregiertem Gestein meist eine unregelmässige Form aufweisen, nicht zwangsläufig an Störungen gebunden sind und sich daher bezüglich des Ortes nicht prognostizieren lassen. An der Oberfläche sind sie als verwitterungsanfällige Gesteine zudem meist von Lockergestein bedeckt. Am ehesten zu erwarten sind diese Erscheinungen in granitischen Gesteinstypen.

und zum Schutze des Bohrkopfes rund um die TBM eine 2 m dicke Schicht mit Gel injiziert. Verwendet wurde HydroBloc-Polygel 530 der Firma Arcan. Dieses dünnflüssige, mit Wasser mischbare Acrylatgel reagiert nach Zugabe des ebenfalls in Wasser gelösten Reaktionsstarters zu einem hochelastischen Hydrogel. Die restlichen Injektionen erfolgten mit Zement. Zum Einsatz kam das Produkt *Duroflow R* der Firma Geo Rock. Dabei handelt es sich um ein hydraulisches Bindemittel auf Basis von Ölschieferzement mit einer Mahlfeinheit von zirka 8000 Blain. Die Zementinjektionen erfolgten mit einem W/Z Faktor von 1,0 bis zum Erreichen des Enddruckes von 20 bar oder bis die Abbruchmenge überschritten wurde.

Während dem gesamten Injektionsvorgang 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. Damit wurde sichergestellt, dass der Bohrkopf nicht einbetoniert wird.

Aus der Nische rechts neben dem Kopf der TBM West wurden 40 Injektionsbohrungen ausgeführt. 16 Bohrungen wurden mit Gel, die restlichen 24 Bohrungen mit Zement injiziert. Mit diesen Bohrungen wurde der Bereich abgedeckt, der aus dem Injektionsstollen aus geometrischen Gründen nicht erreicht werden konnte.

Anfang November 2005 waren die Injektionsarbeiten abgeschlossen. Insgesamt wurden mehr als 2800 Laufmeter Injektionsbohrungen erstellt. An zirka 5100 Stellen injizierten die Spezialisten mehr als 50 Tonnen Gel und zirka 110 Tonnen Zementmischung. Mit Kernbohrungen

## Stand der Arbeiten am Gotthard- und am Ceneri-Basistunnel

Die Arbeiten im Teilabschnitt Erstfeld–Amsteg umfassen den Vortrieb der beiden Einspurröhren für den 7,8 Kilometer langen Tunnel nach Amsteg. Durch die Beschwerde einer Arbeitsgemeinschaft gegen die von der AlpTransit Gotthard AG (ATG) getätigte Vergabe verzögert sich der Beginn der Bauarbeiten um mindestens ein Jahr.

Im Abschnitt Amsteg–Sedrun haben die Tunnelbohrmaschinen (TBM) 85 Prozent der Wegstrecke ausgebrochen. Im Juni 2005 fuhr die TBM West in eine Störzone. Die Vortriebsarbeiten wurden am 23. November 2005 wieder aufgenommen.

Im Teilabschnitt Sedrun ist eine bautechnisch schwierige Zone zu durchqueren. Um den enormen Bergdruck aufnehmen zu können, werden deformierbare Stahlbogen eingesetzt. Dieses Verfahren hat sich in den vergangenen Monaten bewährt. Die Vortriebsarbeiten sind kostenmässig und terminlich auf Kurs. Rund die Hälfte der 1200 m langen, geologisch problematischen Strecke, ist ausgebrochen.

In der Multifunktionsstelle Faido kommen die Vortriebsarbeiten in die Endphase. Die Spurwechsel und die beiden Tunnelröhren sind ausgebrochen. Damit ist ein durchgehendes Tunnelsystem realisiert. Die schwierige geologische Zone in der Weströhre, welche von stark druckhaftem Gebirge geprägt war, wurde von zwei Seiten aufgefahren. Mitte Dezember 2005 war der letzte Durchschlag geschafft, die Störzone bewältigt.

Im Teilabschnitt Bodio fuhren die TBM in guten geologischen Verhältnissen Tagesleistungen von bis zu 30 Metern und am 6. Februar 2006 gar einen Tagesrekord von zusammen 65,5 Metern. Bis zum Durchschlag in die Multifunktionsstelle Faido fehlen in beiden Tunnelröhren noch rund 2000 Meter.

Beim Ceneri-Basistunnel sind die Verträge für die Vorarbeiten unterschrieben. Sie beginnen in Sigirino und einige Wochen später auch im Bereich Camorino (Magadinoebene). Beim Zwischenangriff in Sigirino werden Zugangsstrassen zur Baustelle ausgebaut und der Installationsplatz für die späteren Vortriebsarbeiten vorbereitet. In Camorino, südlich von Bellinzona, werden ebenfalls die Zugangsstrassen für den Baustellenverkehr erstellt und unter anderem der künftige Installationsplatz abhumusiert. Es ist geplant, am 2. Juni 2006 mit einer Grundsteinlegung am Nordportal des Ceneri-Basistunnels den offiziellen Baubeginn zu feiern.

wurde der Injektionserfolg kontrolliert. Der hergestellte Körper erwies sich als ausreichend kompakt und homogen, so dass nur vereinzelt Nachinjektionen notwendig wurden.

## Gegenvortrieb aus der Oströhre

Parallel zu den Injektionsarbeiten erfolgte im standfesten Gebirge der Gegenvortrieb mit zirka 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 Rohr-

schirm gebohrt. Der weitere Vortrieb erfolgte in der Kalotte im Teilausbruch mit Bagger oder mit Lockerungssprengungen. Dabei wurde jeweils ein Stützkern stehen gelassen. Als Sicherung wurden Stahlbogen HEB 240 im Abstand von 1 m mit Spritzbeton und zwei Lagen Netzen K188 eingebaut. Mittels 5-Punkt-Konvergenzmessungen wurden die Deformationen überwacht. Der zweite Rohrschirm wies eine Länge von 18 m auf und reichte bis über den Bohrkopf. Die Sicherung erfolgte analog dem ersten Rohrschirm.

Mitte November 2005 konnte der Bohrkopf freigelegt und am 23. November 2005 die TBM West nach einem Stillstand von mehr als fünf Monaten wieder angedreht werden.

## Wiederaufnahme Regelvortrieb

Vor der Wiederaufnahme des TBM-Vortriebes musste das Überprofil im Bereich der Rohrschirme mit Spritzbeton aufgefüllt werden. Die im Gegenvortrieb verbliebene Strosse konnte anschliessend durch die TBM aufgefahren werden. Um die Verspannbarkeit der Gripper zu gewährleisten, wurde der Gegenvortrieb zur Weströhre hin mit einem Betonpfropfen verschlossen.

Parallel zu den Vorbereitungsarbeiten zur Wiederaufnahme des Regelvortriebes nutzte die Arbeitsgemeinschaft AGN die Möglichkeit, am Bohrkopf der TBM West eine Zwischenrevision durchzuführen.

Mitte Dezember 2005 konnte der Regelvortrieb wieder aufgenommen werden.

Wiederandrehen der TBM West am 23. November 2005.



## Kosten von 10 Millionen

Die Massnahmen zur Wiederinbetriebnahme der TBM West sowie der Stillstand während eines halben Jahres führten zu Kosten in der Höhe von rund 10 Millionen Franken. Da im Werkvertrag Stillstände aus geologischen Gründen berücksichtigt und die erforderlichen Massnahmen ausgeschrieben sind, können diese Kosten innerhalb des Vertrages abgedeckt werden. Auch die Endtermine des Vortriebs können eingehalten werden, da für geologische Probleme im Zeitplan insgesamt neun Monate eingerechnet sind.

## Stillstand vermeidbar?

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 keine gefunden werden. Somit bestand zu diesem Zeitpunkt auch kein Anlass, mit Drehschlagbohrungen weiter zu sondieren.

Selbst wenn eine Drehschlagbohrung ausgeführt worden wäre, hätte der in der Weströhre auftretende Wasseranfall zwar unter Umständen erkannt werden können. Es wäre aber nicht gelungen,



Zwischenrevision des Bohrkopfes der TBM West.

das gesamte anfallende Bergwasser zu drainieren und den Verbrauch auf diese Weise eventuell zu verhindern. Dies zeigt die Tatsache, dass trotz mehr als 40 durchgeführten Injektionsbohranker-, Erkundungs- und Drainagebohrungen nur rund die Hälfte der Bergwassermenge drainiert werden konnte.

## Fazit

Zwei identische TBM 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 einem halben Jahr. ■

\*Adrian Wildbolz, Oberbauleiter Amsteg, AlpTransit Gotthard AG

Schweizer **BauJournal** Tunnelbau SBJ

Nr. 3 • Juni 2006 • 71. Jahrgang • Die besten Seiten der Bautechnik • www.robe-verlag.ch

Robe Verlag AG  
 Bollackerweg 2  
 5024 Küttigen  
 Tel. 062 827 45 00  
 Fax 062 827 45 01  
 info@robe-verlag.ch  
 www.robe-verlag.ch

