

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Projektbeteiligte.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Allgemeine Situation .....</b>	<b>2</b>
<b>4. Zielsetzung der Bohr- und Injektionsmaßnahmen.....</b>	<b>3</b>
<b>5. Bohr- und Injektionsarbeiten.....</b>	<b>3</b>
5.1. Allgemeiner Gesamt Ablauf der Arbeiten.....	3
5.2. Herstellen der Injektionsbohrungen .....	3
5.3. Gelinjektion .....	4
5.4. Zementinjektion.....	5
5.5. Injektionsdatenprogramm Sofia .....	6
<b>6. Resümee.....</b>	<b>8</b>

### Anhänge:

**Anhang 1: Fotodokumentation**

## 1. Einleitung

Für das Auffahren der beiden Einspurtunnel des neuen Gotthard-Basistunnels im Teilabschnitt Faido werden zwei offene Hartgestein – Gripper – Tunnelbohrmaschinen (TBM) verwendet.

Am 03.03.2010 ereignete sich im Bereich von Tunnelmeter 26.498 des Einspurtunnels West ein geologischer Niederbruch auf Grund einer kakiritischen Störzone innerhalb der „Tenelin-Zone“, und ein daraus resultierender Stopp und Stillstand der Vortriebsarbeiten der TBM West.

In den Sitzungsreihen der Arbeitsgruppen „TBM“ und „Injektionen“ wurde gemeinsam mit dem Bauherrn ein Bohr- und Injektionskonzept zur Stabilisierung der Störzone und Bergung der TBM West festgelegt.

Die Fa. Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.-Bereich Insond wurde vom Consorzio TAT, Auftragnehmer der AlpTransit Gotthard AG bestellt, diese Bohr- und Injektionsarbeiten im Bereich des geologischen Niederbruches auszuführen.

Dieser technische Schlussbericht fasst den Ablauf und die Ausführung dieser Bohr- und Injektionsarbeiten zusammen.

## 2. Projektbeteiligte

Bauherr:	Alp Transit
Auftraggeber:	Consortio TAT Tunnel Alp Transit – Ticino Implenia, Alpine, CSC, Hochtief, Impregilo
Projektingenieur:	Ingenieurgemeinschaft Gotthard Basistunnel Süd Lombardi, Pöyry, Amberg Engineering

## 3. Allgemeine Situation

Die mit der TBM West angetroffene Störzone besteht aus schluffig - feinsandigem Material und blockigem Anteil. Die räumliche Ausdehnung des geologischen Niederbruches beträgt ca. 40 m Höhe, 8-10 m Tiefe und 10 m Breite. Das Material bzw. Haufwerk vor dem Bohrkopf wird als feinkörnig (schluffig / feinsandig) beschrieben, nach oben hin kann das Haufwerk als blockig mit teilweisen Hohlräumen beschrieben werden.

Die TBM ist grundsätzlich als „frei“ zu betrachten, das Schneidrad lässt sich drehen. Als erste Maßnahme nach dem Verbruch wurde versucht eine Stabilisierung der Situation durch den Einbau von Ibo – Ankern und Spießsen zu stabilisieren. Dazu wurden insgesamt ca. 1.300 m Spieße und Ibo´s eingebaut und mit Mörtel und Zementsuspensionen injiziert.

Der Versuch die TBM im Schutz dieser Maßnahme wieder in Betrieb zu setzen, scheiterte jedoch und es wurden insgesamt ca. 2.700 m<sup>3</sup> Material ohne Vortriebsleistung aus der Störzone gefördert.

Für ein risikoarmes Durchfahren der geologischen Störzone mit der TBM wurde festgelegt, die Verbruchzone mittels Niederdruckinjektionen aus einer Injektionsnische heraus zu verfestigen. Anschließend soll über einen Gegenvortrieb aus dem Osttunnel heraus der TBM - Bohrkopf freigelegt werden und die Maschine wieder in Betrieb genommen werden.

Diese Maßnahme wurde bei dem Bergungskonzept TBM West – Teilabschnitt Amsteg – Gotthard-Basistunnel Nord schon einmal erfolgreich angewendet, deshalb entschloss man sich zu einer ähnlichen Vorgangsweise.

#### **4. Zielsetzung der Bohr- und Injektionsmaßnahmen**

- Konsolidierung der kritischen Verbruchzone und Verfüllung der Hohlräume über, vor und unter dem TBM - Bohrkopf mit Zement.
- Verfestigung der unmittelbar umliegenden Gebirgszone mit Zement, soweit es die Durchlässigkeit des Gebirges zulässt.
- Vorangehende Gelinjektionen zum Schutz des TBM - Bohrkopfes vor Zementsuspensionszutritten.

Das Endergebnis der Injektionsmaßnahmen soll eine Verfüllung der vorhandenen Hohlräume, sowie eine Gebirgsverfestigung rund um den Bohrkopf der Maschine ergeben, sodass ein Gegenvortrieb mit konventionellen tunnelbautechnischen Maßnahmen möglich ist.

Ein besonderer Augenmerk wurde dabei auf den Schutz des Bohrkopfes durch die Gelinjektion gelegt, die das Eindringen von Zementsuspension und somit eine Beschädigung der TBM verhindern soll.

#### **5. Bohr- und Injektionsarbeiten**

##### **5.1. Allgemeiner Gesamtablauf der Arbeiten**

- Herstellung der Injektionsbohrungen für die Gelinjektion
- Gelinjektion (1. und 2. Phase)
- Herstellung der Injektionsbohrungen für die Zementinjektion (Primärfächer)
- Zementinjektion (Primärfächer 1. Phase)
- Herstellung der Injektionsbohrungen für die Zementinjektion (Sekundärfächer)
- Zementinjektion (Primärfächer 2. Phase, Sekundärfächer 1. und 2.Phase)

##### **5.2. Herstellen der Injektionsbohrungen**

Die Herstellung der Injektionsbohrungen, welche großteils mit einer unverrohrten Imloch - Hammerbohrung (Ø 90-110 mm) durchgeführt wurde, erfolgte grundsätzlich gemäß der planlichen Vorgaben (Plan: R175 / 4251C). Die jeweiligen Längen der einzelnen Injektionsbohrungen wurden in Abhängigkeit von den angetroffenen geologischen Bedingungen, jedoch kurzfristig während der Herstellung angepasst.

Für die Ausführung der Bohrarbeiten kam ein Raupenbohrgerät Hütte HBR 202 mit Elektromotor zum Einsatz. Das Bohrgerät hat ein Gesamtgewicht von ca. 4,5 to und eine Leistung von 45 KW.

Das Gerät verfügt über eine Teleskoplafette, dennoch musste wegen der sehr beengten Platzverhältnisse in der Injektionsnische noch ein entsprechender Umbau der Kinematik erfolgen, um alle erforderlichen Bohrgeometrien abbohren zu können.

## **Herstellung der Injektionsbohrungen auf 3 Bohretappen**

### 1. Bohretappe: (20.04.10 – 12.05.10)

#### *Injektionsbohrungen für die Gelinjektion:*

Bohrungen der Fächer F, G, H, I, J, K und L.

Von den Fächern I, J, K und L wurden die Bohrungen Nr. 2 – 7 ausgespart. Diese Bereiche wurden durch gezielt gesetzte Bohrungen aus der Weströhre heraus abgedeckt und mit den Horizontal-Bohrlafetten der TBM unverrohrt und mit einem Ø 76 mm hergestellt (Fächer N, O und P).

### 2. Bohretappe: (29.05.10 – 03.06.10)

#### *Injektionsbohrungen für die Zementinjektion primär:*

Bohrungen der Fächer C und E.

Von den Fächern der Achsen C und E wurden alle Bohrungen komplett von 1 – 14 hergestellt.

### 3. Bohretappe: (15.06.10 – 21.06.10)

#### *Injektionsbohrungen für die Zementinjektion sekundär:*

Bohrungen der Fächer A, B und D.

Von den Fächern der Achsen B und D wurden alle Bohrungen komplett von 1 – 14 hergestellt, mit Ausnahme B.2 (Bohrhindernis).

Auf Grund der erkundeten nördlichen Grenze des Verbruchkörpers zum gesunden Fels wurden im Fächer A lediglich die Bohrungen 8, 10, 12, und 14 ausgeführt.

Gesamtbohrmeter Injektionsnische: ca. 3.600 m  
Gesamtbohrmeter TBM West: ca. 250 m

## **Bohrlochabweichung:**

Am 02.06.10 wurden von der Fa. Solexperts AG die Bohrungen C2 und C5 auf ihre Lage- und Richtungsgenauigkeit vermessen. Mit dem verwendeten Meßsystem MAXIBOR wurde eine maximale Abweichung von 3%, bezogen auf die jeweilige Gesamtbohrlänge, festgestellt.

Ein Großteil der Bohrungen hatte jedoch geringere Bohrabweichungen mit Ausnahme jener Bohrungen bei denen ein Bohrhindernis angetroffen wurde.

## **5.3. Gelinjektion**

Ausführungszeit 13.05.10 – 29.05.10

Nach Fertigstellung der Injektionsbohrungen der 1. Bohretappe wurde der Gel-Injektionskörper zum Schutz des TBM - Bohrkopfes in einer 1. und 2. Injektionsphase hergestellt. Dabei wurden alle Gel-Manschetten (Fächer I, J, K und L; Fächer N, O und P) im Abstand von 0,33 cm gemäß Injektionskriterien Arbeitsanweisung Nr.2 – Revision 1 beaufschlagt. Die Injektionsmengen pro Manschette wurden mit 100 l (Bohrungen Injektionsnische) und 50 l (Bohrungen TBM West) begrenzt. In den

Injektionsbohrungen, in welchen das Druckkriterium in der 1. Phase nicht erreicht wurde, war eine 2. Injektionsphase erforderlich.

Es konnte beobachtet werden, dass sich die Injektionsdrücke in der 2. Phase im Vergleich zu den relativ geringen Injektionsdrücken in der 1. Phase merklich erhöht haben. Jedoch wurde auch in der 2. Phase auf Grund des Erreichens der vorgegebenen Sollmenge der Injektionsvorgang planmäßig abgebrochen (Mengenkriterium).

Während der Gelinjektion kam es teilweise zu Austritten von Injektionsgut in den Bohrkopf bzw. in das Schneidrad der TBM. Diese Austrittsöffnungen wurden während der Injektionsarbeiten von der vor Ort befindlichen Schildwache so gut es ging immer wieder abgedichtet und verdämmt.

Die Ausführung der Gelinjektion erfolgte mit 2 hydraulischen Injektionseinheiten DP20, das sind elektrisch betriebene Injektionspumpen mit Pumpraten von 0 – 20 lt./ min mit Injektionsdrücken bis 100 bar. Das Vormischen und Aufbereiten der Gelmischungen erfolgt über einen Vormischer und entsprechende Vorratsbehälter mit Rührwerken.

Die Aufzeichnung der Injektionsdaten erfolgte über einen mobilen Injektionsdatenschreiber IDE.

Injektionsgel: Fa. Arcan AG Waterproof; HydroBloc Polygel 530

Gelinjektion 1.Phase Injektionsnische:

beaufschlagte Manschetten: 785 Stk  
Gesamtliter Gel: 60.117 l

Gelinjektion 1.Phase TBM West:

beaufschlagte Manschetten: 537 Stk  
Gesamtliter Gel: 2.746 l

Gelinjektion 2.Phase Injektionsnische:

beaufschlagte Manschetten: 423 Stk  
Gesamtliter Gel: 39.535 l

Gesamtanzahl beaufschlagte Manschetten: 1745 Stk  
Gesamtliter Gel über alles: ca. 103.000 l  
Gesamtgewicht Gel über alles: ca. 113.000 kg

#### 5.4. Zementinjektion

Ausführungszeit 04.06.10 – 15.06.10; 22.06.10 – 30.06.10

Nach Abschluss der Gelinjektion und Fertigstellung der 2. Bohretappe (Fächer C und E) wurde mit der 1. Phase Zementinjektion in den Primärfächern begonnen. In dieser 1. Phase wurden die Zement - Manschetten der Fächer F – L, C, E und P im Abstand von 0,66 cm gemäß Arbeitsanweisung Nr. 3: – Revision 1 beaufschlagt. Die Injektionskriterien und W/B - Werte wurden kurzfristig von den Injektionsexperten der ATG und TAT angepasst.

Auf Grund der beengten Platzsituation in der Injektionsnische, aber auch der Zufahrtssituation durch den Tunnel war es nicht möglich einen Injektionscontainer, wie in Amsteg, vor Ort zu installieren.

Deshalb erfolgte hier die Zementinjektion über 4 Stk. einzelner hydraulischer Injektionspumpen DP 90. Diese Pumpen haben eine Förderleistung von 0 – 100 lt./min bei einem Injektionsdruck von 150 bar. Die Aufbereitung der Zementsuspension erfolgte durch Anlieferung des Zementes in Sackware, Mischen in einem Vormischer mit Hochturbolenzpumpen und 4 Stk. Vorratsbehältern mit Flügelrührwerken.

Die Aufzeichnung der Injektionsdaten erfolge hier ebenfalls wie bei der Gelinjektion mit den mobilen Datenaufzeichnungseinheiten DIE.

Festgelegte Zementsuspension für 1. Phase:

W/B – Wert: 1,5 und 3% Bentonit

Spez. Gewicht: 1,4 g/cm<sup>3</sup>

Marsh: 37 sec.

Absetzmaß: 3-4 % nach 2 Std.

Einaxiale Druckfestigkeit: im Mittel 4 N/mm<sup>2</sup> nach 12 Tagen

Festgelegte Zementsuspension für 2. Phase:

W/B – Wert: 1,0

Spez. Gewicht: 1,5 g/cm<sup>3</sup>

Marsh: 36 sec.

Absetzmaß: 3-4 % nach 2 Std.

Einaxiale Druckfestigkeit: im Mittel 16 N/mm<sup>2</sup> nach 18 Tagen

Bindemittel: Fa. Holcim AG, Georoc Dorodur H50

## 5.5. Injektionsdatenprogramm Sofia

Mit dem Injektionsdatenerfassungsprogramm "Sofia" ist eine übersichtliche Darstellung bzw. Visualisierung der Injektionsergebnisse möglich. Die Visualisierung kann sowohl zweidimensional als auch dreidimensional erfolgen. Für die Auswertungen der Injektionskampagne wurden zwei unterschiedliche Projekte angelegt. Einerseits die Auswertung der Ergebnisse der Injektionen aus der Injektionsnische und andererseits die Ergebnisse der Injektionen aus der TBM West. Um einen besseren Überblick der einzelnen Manschetten zu bekommen, werden die 3D Visualisierungen hauptsächlich fächerweise dargestellt.

Bei den Gelinjektionen werden das injizierte Volumen und der Enddruck in den Grafiken dargestellt. Bei den Zementinjektionen wird in den Grafiken das injizierte Volumen dargestellt.

Festgelegte Injektionsmengen und max. Injektionsdrücke für 1. und 2. Phase:

Gilt für jede Manschette ohne Rücksichtnahme auf die Porenvolumina.

0 – 500 l               =>     max. 15 bar

500 – 1000 l           =>     max. 10 bar

1000 – 1500 l         =>     max. 8 bar

1500 – 2000 l         =>     max. 5 bar

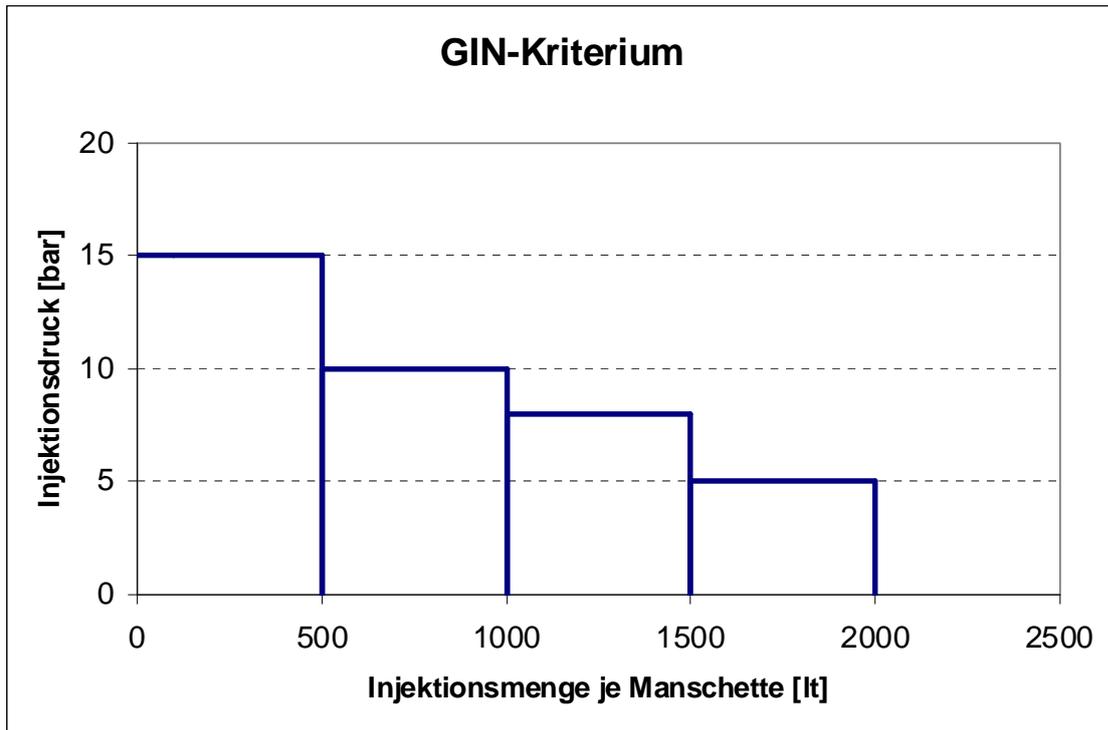


Abb.: Festgelegtes GIN-Kriterium

Nach Fertigstellung der 1. Injektionsphase in den Primärfächern wurden die restlichen Fächer A, B und D abgebohrt und es wurde die 1. Injektionsphase in diesen Sekundärfächern gestartet. Nach Abschluss dieser wurde eine 2. Injektionsphase in den dazwischen liegenden Manschetten der gemeinsam mit den Experten bestimmten Bereiche der Primär- und Sekundärfächer begonnen und am 30.06.10 abgeschlossen.

Während der gesamten Zement - Injektionskampagne wurden von der Schildwache nur sehr geringe Austritte von Injektionsgut in den TBM - Bohrkopf beobachtet. In diesen Fällen wurden die Injektionsvorgänge sofort gestoppt und das ausgetretene Injektionsmaterial mit Wasser ausgewaschen und entfernt.

Zementinjektion 1.Phase Injektionsnische:

beaufschlagte Manschetten: 2.235 Stk  
 Gesamtliter Zementsuspension: 110.957 l

Zementinjektion 1.Phase TBM West:

beaufschlagte Manschetten: 36 Stk  
 Gesamtliter Zementsuspension: 9 l

Zementinjektion 2.Phase Injektionsnische:

beaufschlagte Manschetten: 2.003 Stk  
 Gesamtliter Zementsuspension: 8.506 l

Gesamtanzahl beaufschlagte Manschetten: 4.274 Stk  
 Gesamtliter Zementsuspension über alles: ca. 120.000 l  
 Gesamtgewicht Zement über alles: ca. 72.000 kg

## 6. Resümee

Aus den tabellarisch dargestellten Auswertungen der Injektionsvolumina und Injektionsdrücke kann man die Lage und Ausdehnung der Verbruchzone klar erkennen.

In den unteren Bereichen wird ein rascher Druckanstieg bei sehr geringen Aufnahmen von Zementsuspension festgestellt. Hingegen steigt die Zementaufnahme in den oberen Abschnitten (Fächer H – B; Reihe 8 - 14) bei Injektionsdrücken von 10 bis 15 bar.

Generell ist das eingebrachte Zementvolumen um ein vielfaches geringer als wie vor Beginn der Arbeiten prognostiziert wurde.

Die angenommenen „Porenvolumina“ der Verbruchzone wurden im Vorfeld anscheinend überbewertet. Der Fels- bzw. Schluff- und Feinsandanteil im definierten Injektionsbereich liegt vermutlich höher als angenommen.

In der 2. Injektionsphase konnten kaum mehr höhere Aufnahmen erzielt werden. Man kann deshalb davon ausgehen, dass sämtliche Hohlräume in der Verbruchzone verfüllt worden sind und eine Stabilisierung des losen Blockwerkes erreicht wurde.

Die Experten kamen daher zur Meinung, dass keine weiteren Injektionsmaßnahmen erforderlich sind und sehen somit die Injektionsarbeiten als erfolgreich abgeschlossen.

Der Gegenvortrieb konnte wie geplant und termingerecht in Angriff genommen werden. Beim Vortrieb wurde eine gute Stabilität an der Ortsbrust angetroffen. Die Sicherungsmaßnahmen wie Spieße, Tunnelbögen und Spritzbeton wurden planmäßig eingebaut und es kam zu keinen weiteren Verbrüchen während des Gegenvortriebes.

Letztendlich konnte das Schneidrad der Maschine über den halben Querschnitt freigelegt und gereinigt werden und es wurden keine Beschädigungen durch „eingetretene Zementsuspensionen“ festgestellt.

Die Tunnelbohrmaschine konnte Ende Juli wieder angedreht werden und ab Mitte August 2010 der Regelvortrieb in der Weströhre wieder fortgesetzt werden.