

---

# SPRITZBETON FÜR SOFORTSICHERUNGS-, PERMANENTVERSTÄRKUNGS- UND SONDERMASSNAHMEN IM SCHWEDISCHEN TUNNELBAU

---

## ***SHOTCRETE FOR INITIAL- AND PERMANENT SUPPORT AS WELL AS FOR SPECIAL MEASURES IN SWEDISH TUNNEL CONSTRUCTION***

Dipl.-Ing. Norbert **Fügenschuh**, Beton- und Monierbau Sverige filial, Jonsered, Schweden

Der schwedische Tunnelbau zeichnet sich durch im Allgemeinen deutlich bessere und konstantere Gebirgsverhältnisse aus als man sie von Mitteleuropa kennt. Dementsprechend unterschiedlich sind die Ausbauphilosophien und –methoden. Der Beitrag behandelt planerische und vertragliche Grundlagen des schwedischen Tunnelbaus. Darüber hinaus werden die auf mehreren Projekten gewonnenen Erfahrungen mit dem Einbau der Verstärkungsmaßnahmen im Allgemeinen und der Spritzbetonsicherungen im speziellen behandelt. Speziell beschrieben wird darüber hinaus das in Skandinavien häufig angewendete Dränmattensystem mit aufgespritzter Spritzbetonsicherung.

*Tunnel construction in Sweden is in general characterized through better and more consistent rock conditions than known from central Europe. Consequently there are significant differences regarding supporting philosophy and supporting methods in tunnelling. This paper describes basic design- and contractual issues used in Swedish tunnel construction. Based on experiences gained from several construction projects it also tries to describe support measures, especially regarding shotcrete support. The “drainage mat” system which includes a sprayed shotcrete shell on polyethylen mats mounted at the tunnel walls – a construction which is quite common in Scandinavia – will be highlighted.*

### **1. Grundprinzipien des schwedischen Tunnelbaus**

Es wird im Folgenden versucht, ausgehend von den grundlegenden Prinzipien des schwedischen Tunnelbaus, auf die Besonderheiten von 3 Projekten einzugehen, bei denen diese Prinzipien zur Anwendung kamen.

#### **1.1 Geologie**

Auch wenn hier nicht verallgemeinert werden soll, so zeichnet sich Schweden im Vergleich zu Mitteleuropa doch durch nahezu durchgehend gute bis sehr gute und im Allgemeinen konstante geologische Verhältnisse aus.

Offensichtlich hat sich daraus resultierend nie die Notwendigkeit ergeben, Vortriebsklassen in unserem Sinne einzuführen. Bauverträge sehen daher in der Regel keine Vortriebs-, sondern lediglich Felsverstärkungsklassen vor.

#### **1.2 Vortriebsverfahren**

Als Vortriebsverfahren steht – im nicht maschinellen Bereich – praktisch nur das Sprengverfahren zur Verfügung. Die Wahl der Abschlagslänge wird im Allgemeinen dem Auftragnehmer überlassen, und Tunnel sind in aller Regel im Vollausbruch aufzufahren. Die tatsächlich zur Anwendung kommende Abschlagslänge wird oft durch die vorgeschriebenen Abstände zwischen den systematisch abzubohrenden und zu injizierenden Injektionsschirmen bestimmt. Mittels systematischer Vorausinjektionen, die bei unzureichendem Erfolg

nachfolgend durch Nachinjektionen komplettiert werden, wird versucht, einen weitgehend druckwasserdichten Tunnel zu bauen. Innenschalen kommen in der Regel nicht bzw. nur im Portalbereich zur Anwendung. Wesentlich ist dabei, dass eine Grundwasserabsenkung auch während der Bauphase nicht zulässig ist. Die vorauslaufenden Felsinjektionen müssen somit gewährleisten, dass

- a) negative Beeinflussungen des Grundwasserspiegels und Beeinträchtigung nahegelegener Einbauten (Trinkwasserbrunnen, Erdwärmebohrungen, Schächte, Kanäle usw...) vermieden werden und
- b) die im Vorfeld behördlich festgestellten und vertraglich vorgegebenen maximal zulässigen Wasserzuflüsse zum Tunnel eingehalten werden.

### 1.3 Sicherungsmaßnahmen

Ganz generell ist festzuhalten, dass in Schweden zwischen 2 Arten der Hohlraumsicherung unterschieden wird:

- a) Der reinen Vortriebssicherung (schwedisch: driffförstärkning), die dazu dient die Verhältnisse im Arbeitsbereich des Tunnels sicher zu gestalten. Maßnahmen dazu liegen voll im Verantwortungsbereich des Unternehmers und die entsprechenden Kosten sind auch vom AN zu tragen. Dazu gehören typischerweise der Einbau einzelner, sofort wirksamer, aber wasserdicht verpressbarer Sicherungsanker (z.B. verpressbare Rohranker mit Expansionskopf oder ähnliches) oder der Auftrag eines Kopfschutzes aus stahlfaserbewehrtem Spritzbeton. Sofortwirksame Anker vom Typ Swellex sind nicht zugelassen, da sie nicht verpressbar sind.

Ein Anrechnen der Vortriebssicherung auf den Endausbau kann in der Regel nur dann erfolgen, wenn der Nachweis der qualitativen Gleichwertigkeit erbracht werden kann. Dass dies nicht ganz unproblematisch ist, ergibt sich aus der Vertragsforderung, dass Sprengarbeiten in der Nähe frisch aufgetragenen Spritzbetons erst bei Erreichen einer bestimmten Festigkeit (meist 6 MPa) erlaubt sind, bzw. im anderen Fall davon ausgegangen wird, dass eine Schädigung des jungen Spritzbetons eingetreten und eine Anerkennung als Permanentverstärkung somit nicht möglich ist.

- b) Der Permanentsicherung (schwedisch: permanentförstärkning), die der dauerhaften Sicherung des Bauwerks für die angesetzte Lebensdauer dient. Nachdem in der Regel keine Innenschale im mitteleuropäischen Sinn eingebaut wird, bekommt diese Permanentverstärkung eine dementsprechende Bedeutung.

## 2. Projektbeschreibungen

### 2.1 Tunnel Tröingeberg

#### 2.1.1 Das Projekt

Der zweigleisige Eisenbahntunnel Tröingeberg liegt östlich der beschaulichen Touristenmetropole Falkenberg an der schwedischen Westküste. Der Tunnel mit den anschließenden Strecken ist Teil der Ausbaumaßnahmen der schwedischen Bahnverwaltung und bildet einen wichtigen Teil der Eisenbahnachse Malmö – Göteborg – Oslo.

Das Projekt besteht aus folgenden Hauptteilen:

- 1.170 m Haupttunnel (125 m<sup>2</sup>),
- 120 m Rettungstunnel (20 m<sup>2</sup>),
- 3 Voreinschnitte in Fels,
- 3 Beton-Portalbauwerke,

- ca. 2.000 m offener Bahnstrecke zwischen Hauptportal Süd und dem Anschluss an das Baulos Brücke Ätran
- ca. 400 m offener Strecke zwischen Hauptportal Nord und dem Baulos Neuer Bahnhof Falkenberg.



*Bild 1: Tunnel Tröingeberg vor Inbetriebnahme, Nordportal*

Das Gesamtprojekt wurde zwischen Sommer 2005 und Frühjahr 2008 von Beton- und Monierbau in Arbeitsgemeinschaft mit der schwedischen Niederlassung der Firma Aarsleff Bygg och Anläggning AB aus Dänemark abgewickelt.

Auch wenn dies im Rahmen dieser Präsentation nicht Hauptthema ist, sei erwähnt, dass die Hauptherausforderung dieses Infrastrukturprojektes aus der Nähe des Tunnels zur darüberliegenden Wohnbebauung resultierte. Die Felsüberdeckung des Tunnels zwischen Tunnelfirste und Unterkante der Fundamente, der an der Geländeoberfläche stehenden Wohnhäuser, betrug nur zwischen 10 und 20 m. Trotzdem wurden sämtliche Vortriebsarbeiten im Vollausbruch ( $125 \text{ m}^2$ ) und über sehr weite Strecken mit Abschlagslängen von 5 m aufgeföhren (Bild 2). Der Auftraggeber Banverket zeichnete für die Messung der Vibrationswerte verantwortlich. Der Auftragnehmer errechnete dann aus den sehr kurzfristig ( $< 15$  Minuten nach jeder Sprengung) zur Verfügung stehenden Messwerten für die verschiedenen gemessenen und im kritischen Einflussbereich liegenden Gebäude den Vergleich mit den zulässigen Werten und hatte im Fall einer Überschreitung bzw. einer bei der nächsten Sprengung zu erwartenden Überschreitung mit entsprechenden Maßnahmen zu reagieren. Es waren durchgehend ca. 10 Messpunkte in Betrieb, die vom AG entsprechend des Fortschritts des Vortriebes umgesetzt wurden.

Durch quasi vorbeugendes Vorbereiten entsprechender Sprengschemata (= Bohrbilder, Lade- und Zündpläne) für verschiedene Fälle konnte in den allermeisten Fällen zeitnah reagiert und optimiert werden. Es kam zu keinerlei Schäden an der Bebauung.



*Bild 2: Absicherungsarbeiten Tunnel Tröingeberg*

#### 2.1.2 Verstärkungsmaßnahmen Tunnel Tröingeberg

Die fast durchgehend sehr guten Gebirgsverhältnisse (Geologie bestand aus Gneis und Granit) ließen zu, dass große Abschnitte des Tunnels gänzlich ohne Spritzbetonsicherung aufgeföhren werden konnten. Nur auf kurzen Teilabschnitten wurde ein dünner Kopfschutz aufgespritzt.

Nachdem der Nachweis erbracht werden konnte, dass die Qualität dieser Vortriebssicherung hinsichtlich Druck- und Biegezugfestigkeit, sowie Nachrisszugfestigkeit (residual strength) den geforderten Werten des vertraglich einzubauenden Permanentverstärkungsspritzbetons entsprach, wurde dieser als solcher angerechnet. Auf kurzen Bereichen, wo innerhalb des vertraglich festgelegten zeitlichen/ örtlichen Mindestabstandes gesprengt wurde, verweigerte der Auftraggeber die Anerkennung. In diesen Bereichen musste somit der gesamte Permanentverstärkungsspritzbeton neu aufgetragen werden (siehe Rezeptur). Bei aufzutragenden Stärken von 3 bis 9 cm halten sich die Kosten dafür in erträglichen Grenzen, sodass in der Regel der Vortrieb durch diese Forderung nicht unterbrochen wird.

Wie in Schweden in normalen Gebirgsverhältnissen üblich besteht die Permanentverstärkung der 4 Gebirgsverstärkungsklassen BFK 1 bis 4 aus einer stahlfaserbewehrten Spritzbetonschicht mit 30 bis 90 mm Stärke und einer Ankerung. In den beiden besten Verstärkungsklassen BFK 1 und 2 besteht die Ankerung aus sogenannten selektiven Ankeren (bzw. Verankerung einzelner Blöcke), in den schlechteren Klassen BFK 3 und 4 aus einer systematischen Ankerung, die nach einem festen Raster abgebohrt und eingebaut wird. Hingewiesen wird hier auf die Veröffentlichung [1], die in Schweden als Standardwerk im Hinblick auf Verstärkungsmaßnahmen im Tunnelbau gilt. Holmberg beschreibt darin auch die theoretischen Modelle hinter der Verankerungsphilosophie. Während die Funktion der Spritzbetonverstärkung der Klassen 1 und 2 lediglich auf der Haftzugfestigkeit des Spritzbetons am Felsuntergrund beruht (die selektiven Anker werden vor dem Spritzbeton eingebaut und wirken somit nur als Felsvernagelung, ohne Ankerplatte) besteht in den Klassen 3 und 4 die Verstärkung aus einer Verankerung der Spritzbetonschale. Die Anker – in der Regel sind es vollvermörtelte SN-Anker - werden durch die bereits aufgebraachte Spritzbetonschale gebohrt und installiert. Der Ankerkopf sitzt auf der Spritzbetonschale und wird mit einem unbe-

wehrten Korrossionsschutz in einer Stärke von 30 mm eingespritzt. Die Haftung des Spritzbetons am Gebirge spielt in diesem Fall keine so entscheidende Rolle.

Rein organisatorisch erwies sich die Umsetzung des ursprünglichen Plans – Einbau der Permanentverstärkung parallel zu den laufenden Vortriebsarbeiten – als nur sehr schwer durchführbar. Hauptgrund dafür waren die auftretenden Behinderungen zwischen Schutterverkehr und den Arbeitsplätzen für Spritzbetonauftrag bzw. Ankereinbau. Der größte Teil der entsprechenden Arbeiten wurde daher erst nach erfolgtem Abschluss des Tunnelvortriebs ausgeführt.

Die Rezeptur des Nass-Spritzbetons sah im Fall Tunnel Tröingeberg wie folgt aus (pro m<sup>3</sup>):

- 480 kg Anlängningszement, Std P, sulfatbeständig, Cementa Degerhamn
- 1.650 kg Zuschlag 0-8 (gemischt aus 2 Fraktionen)
- Fliessmittel Glenium 51
- 20 kg Microsilica Slurry (Elkem)
- W/Z-Wert ≤ 0,45
- 55 kg Stahlfasern Dramix 65/35
- fallweise 2 kg PP-Fasern
- ca. 5% vom Zementgewicht Beschleuniger BASF SA170

Die während der Produktion zu erreichenden Werte für Biegezugfestigkeit, respektive Nachrisszugfestigkeit, waren:

$$R_{5,10} \times f_s \geq 3,6 \text{ MPa}$$

bzw.

$$R_{10,30} \times f_s \geq 2,5 \text{ MPa}$$

(mit R...Restfestigkeitsfaktor im angegebenen Intervall nach ASTM C1018 und f<sub>s</sub>...Spannung beim „ersten“ Riss)

Der Spritzbeton war frostbeständig herzustellen. Die entsprechende Prüfung erfolgte nach Durchführung von 56 Frost-Tauwechseln im Anschluss an die 28-Tage Aushärtezeit.

Die zu erreichende Festigkeitsklasse war K40 (etwa C30/37) und die zu erreichende Haftzugfestigkeit zwischen Fels und Spritzbeton (in den beiden Felsverstärkungsklassen 1 + 2) mit ≥ 0,5 MPa festgelegt.

Der mit den oben genannten Ausgangsstoffen produzierte Spritzbeton war einerseits durch sehr gute Verarbeitbarkeit, andererseits aber auch durch sehr langsames Erstarrungsvermögen gekennzeichnet. Nach 24 Stunden konnte damit in der Praxis eine Festigkeit von nur 6-8 MPa erzielt werden. Von seiner Auslegung her also ein eindeutig mehr auf Dauerhaftigkeit denn auf Sofortsicherungsvermögen ausgelegtes Produkt.

### 2.1.3 Drainage- und Frostschutz

Nachdem es dieses Konstruktionselement in Mitteleuropa in dieser Form nicht gibt, wird darauf etwas näher eingegangen.

Trotz systematischer Vorausinjektionen während der Vortriebsarbeiten gelingt es in manchen Tunnelabschnitten nicht ganz, Tropfwasser vollständig zu beseitigen. Werden dadurch die seitens der einschlägigen Behörden festgelegten Grenzwerte des erlaubten Zuflusses (im

Fälle des Tunnels Tröingeberg waren dies 4,0 Liter/100 m und min) überschritten, muss mittels zementgebundener oder chemischer Nachinjektionen versucht werden, diese Zuflusswerte zu erreichen. Ist dieser Wert nachweislich erreicht, wird der verbleibende Wasserzufluss als Faktum akzeptiert und die Phase der Drainagierung eingeleitet.

Nun – also nach Abschluss der Ausbruch, Injektions-, Verstärkungs- und Nachinjektionsmaßnahmen - legt der AG Bereiche fest, in denen verbleibendes Tropfwasser für den Tunnelbetrieb ein Problem ist – z.B. durch Eiszapfenbildung im Winter - und daher abgeleitet werden muss. Das Baustellenkriterium im Falle des Tunnel Tröingeberg legte der Auftraggeber auf 1 Tropfen/ Minute fest. Bei höherer Tropffrequenz wurden Dränmatten angeordnet, reine Feuchtstellen in der Regel aber toleriert.

#### 2.1.4 Dränmattenkonstruktion

In diesen Zonen wurde dann eine Schalenkonstruktion bestehend aus einer entsprechenden Verankerung ( $> 1$  Anker pro  $m^2$ ), einer daran gewölbeförmig befestigten 50 mm starken PE-Matte und einer darauf gespritzten Spritzbetonschale eingebaut, im konkreten Fall auf einer Gesamtfläche von ca. 12.000  $m^2$ . Dies entspricht in etwa 1/3 der gesamten sichtbaren Gewölbefläche. In schwedische Leistungsverzeichnissen nimmt der AG in der Regel 30 bis 50% der Gesamtoberfläche des Tunnelgewölbes als Fläche der Dränkonstruktion auf. Sowohl zeitlich als auch kostenmäßig handelt es sich dabei also um einen außerordentlich bedeutsamen Teil eines jeden Tunnelprojektes. Dazu kommt das Problem, dass Wasserzutritte sowohl hinsichtlich Lage als auch Intensität im Laufe der Zeit veränderlich sind. Ein Bereich, der heute als zu behandeln festgelegt wird, kann kurze Zeit später trocken sein und umgekehrt. Auch jahreszeitlich bedingt ergeben sich Schwankungen - ein Phänomen das beispielsweise auch beim Verpressen von Feuchtstellen an WU-Innenschalen bekannt ist.

Daraus resultiert auf der Baustelle das Problem, dass keine richtige „Fertigungslinie“ aufgebaut werden kann, wenn der AG bei der Bereichsfestlegung nicht konsequent ist. Aus Kostengründen tendieren Auftraggeber auch dazu, die Bereiche kurz, unter Umständen nur tunnelhalbseitig und auf nur eine Matte beschränkt zu halten. Auch dies führt zu Unstetigkeiten im Bauablauf, Problemen bei Eigenkontrolle und Dokumentation und ist letztlich wenig hilfreichen bei Diskussionen um Vergütung dieser Leistungen.

Verkomplizierend entstehen in der Praxis noch Fälle, wo durch die zu bohrenden Mattenverankerungen neuerlich Wasserzutritte entstehen. Diese Stellen werden dann chemisch verpresst und erleichtern den Einbauvorgang des Gesamtsystems nicht.

Die Montage der Dränmattenkonstruktion [2] teilt sich im Wesentlichen in folgende Einzel-tätigkeiten:

- Festlegen der Bereiche durch den Auftraggeber.
- Anzeichnen der Verankerungspunkte der Dränmatten auf der bereits fertiggestellten Permanentverstärkung (Bild 3).
- Bohren der Anker (Einbindetiefe in den Fels  $> 1.000$  mm).
- Einbau der galvanisierten und epoxybeschichteten, vollvermörtelten Anker (Bild 4) und Montage der hinteren Platte.
- Profilkontrolle.
- Setzen der Matten: die Matten – im Falle des Tunnels Tröingeberg von einem finnischen Lieferanten – werden in Breiten von 2.000 bzw. 2.700 mm und Einzel-längen bis 18 m geliefert und von der Tunnelfirste ausgehend montiert. An den beiden Tunnelulmen kommen kürzere Matten zur Anwendung. Die bereits auf die



*Bild 3: Anzeichnen der Verankerungspunkte der Dränmatten, Tunnel Tröingeberg*



*Bild 4: Exaktes radiales Versetzen der vollvermörtelten Anker, Tunnel Tröingeberg*

Anker montierte hintere Platte bildet die Rücklage für die Matten und sichert quasi den entstehenden (und gewünschten) Hohlraum zwischen Spritzbetonsicherung und Mattenrückseite. Zusätzliche Verankerungselemente befestigen die Matten tunnelseitig, an den Stößen miteinander und in den Randbereichen radial und axial. Sogenannte Stegbänder halten die Matten für den zukünftigen Spritzbetonauftrag an Ort und Stelle und sorgen für eine Verringerung der Vibrationen. Nachdem die Matten letztlich nur auf die bereits montierten Anker „gesteckt“ werden, kommt der exakten radialen Installation der Anker große Bedeutung bei. Ein Aufreißen von Schlitzen in den PE-Matten muss unbedingt vermieden werden.

- Neuerliche Profilkontrolle: Einmessen der Matten um Unterprofile nach dem Aufspritzen der Spritzbetonlage zu vermeiden.

- Sollbruchstellen: In regelmäßigen Abschnitten werden radial Plastikschiene auf den Matten befestigt. Diese sollen Sollbruchstellen produzieren und somit die unvermeidlichen Risse kontrolliert entstehen lassen (Bild 5).



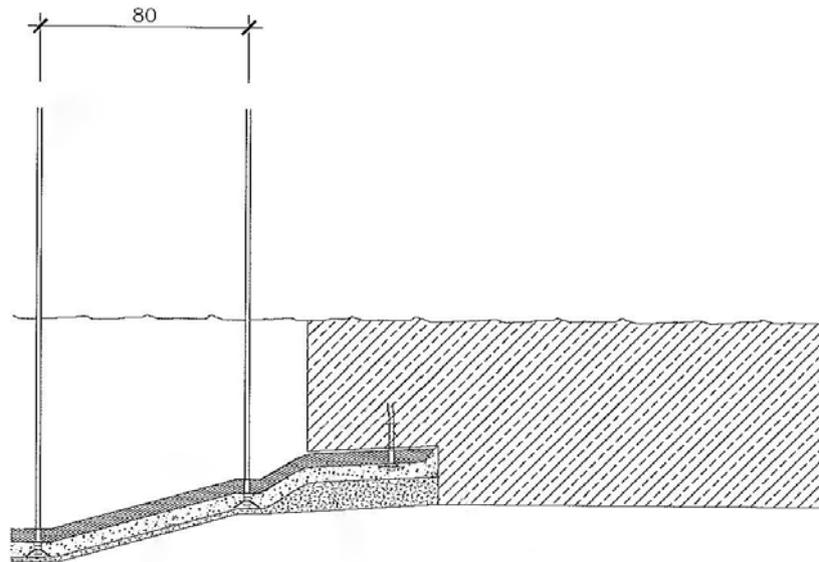
*Bild 5: Fertig installierte Dränmatten mit Sollbruchstellen*



*Bild 6: Detailaufnahme der fertig installierten Matten vor Spritzbetonauftrag; Verankerungselemente, vordere Platte, Stegbänder und Spritzbetonspione wurden installiert*

- Auftrag des Spritzbetons: der Vertrag sah den Auftrag von 60 mm stahlfaserbewehrtem Spritzbeton plus eine 20 mm starke und als Brandschutz wirkende unbewehrte Deckschicht mit PP-Fasern vor. Zur Dickenkontrolle wurden Plastikspione montiert, die in die Matten eingeschraubt werden können. In mehreren Schichten wird dann der Spritzbeton im Nass-Spritzverfahren aufgetragen.
- End-Profilkontrolle

Spezielle Aufmerksamkeit erfordert die Einbindung der Dränmatten in die Portalkonstruktion (Bild 7).



*Bild 7: Einbindung der Dränmatten in die Portalkonstruktion [2]*

Jeder einzelne Schritt der gesamten Permanentverstärkung und auch der Dränmatteninstallation, vom sauberen Reinigen der Felsunterlage bis zum fertigen Auftrag der letzten Brandschutzdeckschicht, ist im Zuge der vertraglich vorgeschriebenen QM-Eigenkontrolle zu kontrollieren und wird dann penibelst genau, gemeinsam mit dem Auftraggeber, abgenommen. Der Dokumentationsaufwand ist beträchtlich und erfordert im Hinblick darauf, dass viele der Arbeiten zwar an verschiedenen Stellen, aber doch gleichzeitig ablaufen, vom Bauleitungspersonal hohes Vermögen, die Übersicht zu bewahren.

Die Dränmattenkonstruktion am Tunnel Tröingeberg in kurzen Fakten:

- 12.000 m<sup>2</sup> totale Oberfläche wurden mit Dränmatten verkleidet,
- 17.000 Verankerungen gebohrt und installiert,
- ebenso viele hintere und vordere Ankerplatten versetzt,
- 6.000 Spione montiert und
- ca. 1.500 m<sup>3</sup> Spritzbeton in mehreren Lagen aufgebracht.

Bei Betrachtung der eingebauten Mengen und Stückzahlen wird deutlich, dass sich betreffend der Dränmattenkonstruktion voreilende und begleitende Planung auszahlt. Im Rückblick hätte hier noch mehr Zeit aufgewendet werden sollen. Es darf festgestellt werden, dass selbst die skandinavischen Firmen, die diese Konstruktion praktisch standardmäßig umsetzen, bei weitem nicht alle Rationalisierungspotentiale ausgeschöpft haben.

Seitens der Auftraggeber sollte mehr darauf geachtet werden, einen kontinuierlichen Bauablauf zu gewährleisten. Tägliche Meinungswechsel, wo wie viele Matten zum Einbau kommen sollen, helfen weder AG noch AN.

Das hinter den Dränmatten ablaufende Wasser wird am unteren Ende in längslaufenden Drainageleitungen gefangen und abgeleitet.

## 2.2 Brandschutzspritzbeton auf der Baustelle Hallandsåstunnel

Auf das Gesamtprojekt Hallandsåstunnel kann in diesem beschränkten Rahmen nicht näher eingegangen werden. Der insgesamt 8.600 m lange Eisenbahntunnel, bestehend aus 2 Einzelröhren, liegt ebenfalls an der schwedischen Westküste zwischen Malmö und Göteborg und befindet sich mittlerweile seit mehr als 15 Jahren in Bau [3]. Der Vortrieb ist mittlerweile zu etwas mehr als 50% abgeschlossen und wird mittels TBM mit nachfolgendem Tübbingeinbau betrieben.

Die schwedische Niederlassung der Beton- und Monierbau erhielt im Herbst 2007 vom dort tätigen Konsortium Hallandsåstunnel, bestehend aus den Firmen Skanska und Vinci, den Auftrag, im Nordabschnitt des Projektes Brandschutzspritzbeton mit einer Stärke von 90 mm (mit einer Toleranz von +/- 20 mm) auf eine bereits vor ca. 10 Jahren betonierete Tunnelinnenschale aufzubringen. Diese Spritzbetonschicht war vom Auftraggeber Banverket gewünscht worden, um den Brandschutz gewährleisten zu können. Bauseitig vormontiert war bereits eine Verankerungskonstruktion aus Stahlrosetten, ähnlich den Verankerungsplatten, wie sie für die vordere Scheibe der Dränmatten verwendet werden (siehe Bild 8).

Die verwendete Spritzbetonrezeptur beinhaltete neben  $55 \text{ kg/m}^3$  Stahlfasern auch noch  $2 \text{ kg/m}^3$  PP Fasern. Die Herstellung des Betons erfolgte in der Mischanlage der ARGE am Südportal des Haupttunnels, ca. 50 Fahrminuten vom Einbauort entfernt.

Das Betonrezept war vom auftraggebenden Konsortium bereits einer Eignungsprüfung unterzogen worden und konnte somit ohne weitergehende Tests übernommen werden.

Von Anfang an war dieses Projekt – Spritzbetonauftrag auf einer glatten, wohldefinierten Unterlage - eigentlich prädestiniert für den Einsatz einer laser- bzw. computergesteuerten Spritzmaschine vom Typ Meyco Logica oder eines ähnlichen Fabrikats. Bemühungen, eine solche Ausrüstung anzumieten scheiterten allerdings aus Gründen der Verfügbarkeit, so dass die relativ engen Dicketoleranzen auf andere Art eingehalten werden mussten. Letztlich wurden manuell installierte Spione angewendet, bestehend aus einfachen, orangen und somit gut sichtbaren Plastikstäbchen, die mittels Handbohrmaschine versetzt wurden (ca. 2 Stück pro  $\text{m}^2$ ). Der Spritzvorgang wurde mittels einer Meyco Potenza Spritzmaschine effektiv und problemlos abgewickelt (Bild 8).

Die anfänglich bestehenden Bedenken betreffend die Pumpbarkeit eines Spritzbetons mit einem derart hohen Gehalt an Fasern unterschiedlicher Materialien, waren unbegründet. Der Spritzbeton ließ sich ausgezeichnet spritzen und auftragen. Das Problem der langsamen Erstarrung – resultierend aus dem niedrigen  $\text{C}_3\text{A}$ -Gehalt des Zementes vom Typ Anlängningscement (sulfatbeständig) - spielte bei dieser speziellen Anwendung keine Rolle.

Die gesamte zu spritzende Fläche belief sich auf ca.  $23.000 \text{ m}^2$ , die zwischen Oktober 2007 und Februar 2008 bewältigt wurde.



*Bild 8: Spritzbetonauftrag auf bestehende Innenschale mit bauseitig vorbereiteten Verankerungselementen*

## 2.3 Baustelle Spillvattentunnel Lerum – Partille

### 2.3.1 Das Projekt

Im Winter 2006/ 2007 erhielt Beton- und Monierbau Innsbruck den Auftrag zur Errichtung eines insgesamt 8.000 m langen Abwasserstollens zwischen den beiden Städten Partille und Lerum, beides Vororte im Osten von Göteborg. Bauherr dieser Baumaßnahme ist Gryaab, das Göteborger Äquivalent zu unseren Abwasserverbänden und Betreiber der zweitgrößten Kläranlage Schwedens.

Beauftragt wurde die Ausschreibungsvariante „konventioneller Sprengvortrieb mit systematischen Vorausinjektionen“. Die ebenfalls ausgeschriebene Variante „TBM-Vortrieb mit systematischen Vorausinjektionen“ kam nicht zum Zug.

Die Arbeiten begannen im April 2007 mit dem Bau eines insgesamt 320 m langen und mit 14% Gefälle geneigten Zugangstunnels, der den Haupttunnel etwa bei Station 3.500 trifft. Von diesem Kreuzungspunkt ausgehend werden projektgemäß 3.500 m in Richtung Partille und 4.500 m in Richtung Lerum aufgefahren.

### 2.3.2 Geologie

Die geologische Prognose des AGs geht von Graniten und Gneisen guter bis sehr guter Qualität mit vereinzelt, teilweise lehmgefüllten Störzonen aus. Die Klassifizierung der Felsqualität und die Festlegung der endgültigen Ausbaumaßnahmen erfolgt, wie üblich in Skandinavien, mittels der sogenannten Q-Wert-Methode. Auf die Methode kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden. Eine nähere Beschreibung findet sich beispielsweise in [4], aber darüber hinaus in vielen anderen skandinavischen Publikationen.

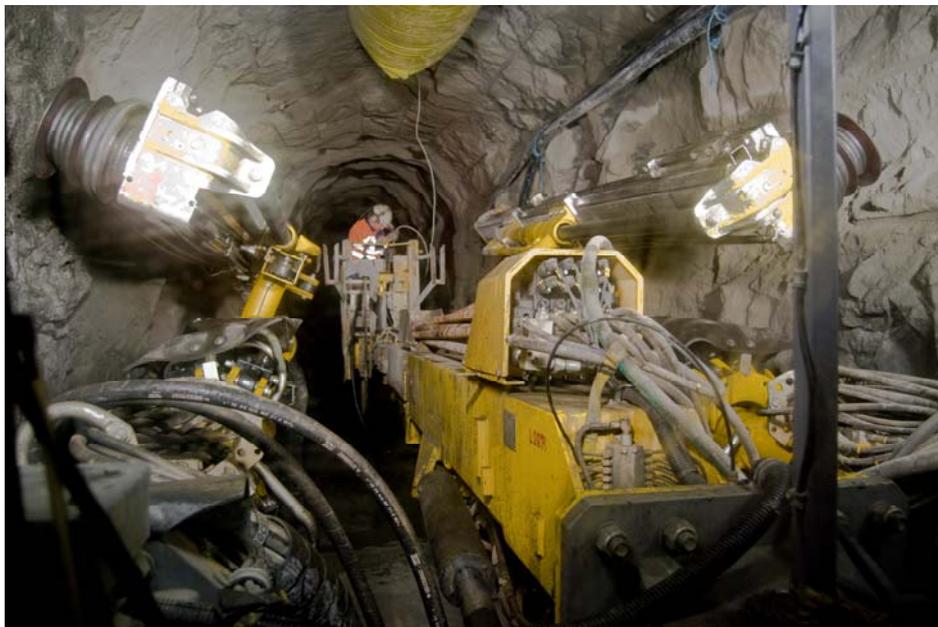
In der Bauausführung zeigte sich bislang (im Oktober 2008 sind die Vortriebsstrecken zu ca. 35% aufgefahren) eine anstehende Geologie und auch Grundwasserverhältnisse, die in ihrer Gesamtheit etwas schlechter sind als ausgeschrieben. Insbesondere eine massive, ca. 50 m lange, wasserführende und schwer zu injizierende – weil mit Lehm gefüllte – Störzone im Tunnelabschnitt Partille, verursachte größere Probleme.

Die Felsüberdeckung und somit der maximale Grundwasserspiegel (= Gegendruck für die Vorausinjektionen) beträgt dort bis zu 90 m.

### 2.3.3 Baumethode

Zur Erfüllung der Anforderungen wünschte sich der AG im Zuge der Ausschreibung eigentlich einen Tunnel mit einem zur Verfügung stehenden Querschnitt von nur 7 m<sup>2</sup>, stellte den Anbietern jedoch frei, baubetrieblich bedingt auch größere Querschnitte anzubieten (die Vergütung erfolgt nach Laufmetern).

Querschnitte konnten bis zu einer Größe von 20 m<sup>2</sup> angeboten werden, allerdings wurde die Vergütung aller Maßnahmen wie Verstärkung, Injektion usw. auf einen Maximalquerschnitt von 12 m<sup>2</sup> beschränkt. Letztlich stand es dem AN somit frei, einen passenden Ausbruchquerschnitt zu wählen.



*Bild 9: Vorbereitungen Bohren Injektionsschirm*

In der Praxis wurde das Tunnelprofil um die größten zum Einsatz kommenden Geräte plus Lutte herum entwickelt. So entstand ein Hufeisenprofil mit 2,80 m theoretischer Breite und 4,0 m theoretischer Höhe, um den zum Einsatz kommenden Bohrwagen Atlas Copco M2C, eine in Tunnelachse angeordnete Lutte mit Durchmesser 850 mm und den notwendigen Sicherheitsabständen zur Tunnelwandung unterzubringen.

Als Schutterkonzept wurde die gleisgebundene Schutterung gewählt.

Der Kreuzungspunkt zwischen Haupt- und Zugangstunnel ist als zweigleisiger Bahnhof mit einer Gesamtlänge von ca. 280 m ausgebildet. Die Einseitenkipper der gleisgebundenen Schutterzüge übergeben hier das ausgeschutterte Felsmaterial in Kippgruben, von wo es per Bagger in einen Brecher aufgegeben wird. Über 3 einzelne Förderbandschüsse wird der Fels dann in einer Korngröße von ca. 0/200 an die Oberfläche gefördert und einem lokalen Unternehmen zur weiteren Verwendung übergeben.



*Bild 10: Befüllen des Brechers untertage*

Das Projekt endet Richtung Partille in einem existierenden Abwassertunnel und in Lerum obertägig an einer Übergabestation für die abzuleitenden Abwässer. Der Tunnel mit einem Längsgefälle von nur 1 Promille wird im Endzustand mit einem v-förmigen, in Ortbeton herzustellenden Gerinne ausgestattet.

#### 2.3.4 Verstärkungs- und Ausbaumaßnahmen

Während der Vortriebsarbeiten beschränkt sich im Regelquerschnitt der Auftrag von Spritzbeton bzw. Ankereinbau auf das zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit notwendige Ausmaß. Nischen und baupraktisch notwendige Aufweitungsbereiche werden hingegen systematisch mittels Spritzbeton gesichert.

Aufgrund der sehr engen Verhältnisse ist eine gleichzeitige Ausführung der Vortriebs- und Permanentverstärkungsarbeiten praktisch nicht möglich.

Als Spritzgerät kommt eine Aliva PM407 Nassspritzmaschine zum Einsatz, bei der bauseitig zur Erhöhung der Einsatzflexibilität ein Rotationskompressor vom Typ Mattei aufgebaut wurde.

Die Permanentisierung des Tunnels wird aus selektiven bzw. systematischen Anker und einer zwischen 40 und 80 mm dicken und großteils stahlfaserbewehrten Spritzbetonschale bestehen. Auch bei diesem Projekt ist sulfatbeständiger Spritzbeton vertraglich verlangt.

Als Bohrgerät für die Anker der Permanentverstärkung (SN-Anker mit Längen zwischen 2 und 4 m) wird ein Bohrwagen Tamrock Commando zum Einsatz kommen. Die Anker der selten notwendigen Vortriebssicherung werden entweder mit dem Vortriebsbohrwagen oder, wo dies aufgrund der beengten Verhältnisse nicht möglich ist, althergebracht mittels Bohrstütze gebohrt.

Der Endzustand des Bauwerks sieht über die gesamte Länge des Tunnels den Einbau eines V-förmigen Ortbetongerinnes mit 1 Promille Gefälle Richtung Partille vor. Das Projekt endet in Partille in einem bestehenden Abwasserstollen und in Lerum an der Geländeoberfläche, wo ein Betonportal herzustellen ist. Der Zugangstunnel bleibt als Servicetunnel für den Auftraggeber erhalten und wird ebenfalls mit einem Betonportal versehen.



*Bild 11: Nassspritzgerät Aliva PM407 mit aufgebautem Kompressor*

### 3. Zusammenfassung

Der schwedische Tunnelbau befindet sich in einer Hochkonjunktur. Tunnelprojekte speziell am Sektor der innenstädtischen Verkehrsinfrastruktur, aber auch zur Verbesserung der Infrastruktur am Eisenbahnsektor, sind vielerorts in Bau.

Bei der Bauausführung bewegt sich der Unternehmer in Schweden in einem sehr engen Korsett, das wenig Spielraum für projektbezogene Anpassungen lässt. Speziell beim – selten vorkommenden, aber doch möglichen - Auftreten nicht prognostizierter, schlechter Gebirgsverhältnisse, kann dies zu Problemen führen. Die Bereitschaft schwedischer Bauherrn und Lieferanten auf solche Ereignisse rasch zu reagieren, sollte nach Meinung des Autors verbessert werden, um zukünftige Herausforderungen problemlos bewältigen zu können.

### 4. Literatur

- [1] Holmgren, J.:  
Bergförstärkning med sprutbetong. Vattenfall; ISBN 91-7186-298-6.
- [2] Dialer N.:  
Dränmattensystem am Tröingebergstunnel. Interner QM-Abschlussbericht Beton- und Monierbau; nicht veröffentlicht, 2007.
- [3] Borca, T.:  
Hallandsas: Sweden`s most environmentally controlled Construction Project. Tunnel 3/ 2007, Seite 40 – 45.
- [4] Norwegian Tunnelling Society: Norwegian Tunnelling. Publication 14, Rock Mass Classification, Seite 25 – 28, Jahr der Veröffentlichung unbekannt.

### Der Autor

Bmstr. Dipl.-Ing. Norbert Fügenschuh  
Studium des Wirtschaftsingenieurwesens für Bauwesen an der TU Graz, Projektleiter und Bereichsleiter Tunnelbau Skandinavien bei der Fa. Beton- und Monierbau, Filiale Schweden  
[NFU@bemo-tunnel.se](mailto:NFU@bemo-tunnel.se)