
Spritzbetoneinsatz im Tunnel Landeck, Baulos Nord

SPRAYED CONCRETE APPLIED AT THE LANDECK BY-PASS TUNNEL, CONSTRUCTION LOT NORTH

VINZENZ WOLF, KURT JOHAM

Die Umfahrung Landeck wird die Stadt Landeck von dem unerträglichen Durchzugsverkehr befreien. Nach langen Diskussionen wurde 1997 mit den Bauarbeiten begonnen. Mitte 2000 wird der Verkehr durch den Tunnel rollen und der Bevölkerung von Landeck die ersehnte Entlastung bringen.

Der Bau des Umfahungstunnels wurde in zwei Baulose geteilt, in Baulos Süd und Baulos Nord. Es wird das im Baulos Umfahrung Landeck Nord eingesetzte Spritzverfahren erläutert.

Nach einigen Überlegungen hinsichtlich Technologie, Baubetrieb, Wirtschaftlichkeit und letztendlich auch Ökologie haben wir uns für ein Spritzbetonsystem mit feuchten Zuschlägen und Spritzbindemittel entschieden.

Für dieses Verfahren kam ein von der Fa. Ploderer und der Fa. Porr entwickeltes Gerät, ein 3-bahniger Mixomat zum Einsatz, welcher 50 Meter hinter der Strossenbrust situiert und mit Fortschreiten des Vortriebes mitgezogen wurde. Die Herstellung des Spritzbetongemisches erfolgte direkt vor Ort. Die Beschickung des Geräts mit den Spritzbetonkomponenten wurde einerseits mit dem Radlader (Zuschlag) und andererseits mit einem Zementsilowagen (Bindemittel) sichergestellt.

Der Vorteil dieses Systems liegt darin, daß zu jedem Zeitpunkt Spritzbeton in beliebiger Menge verfügbar ist, da auch während des Betriebes die Anlage mit den Spritzbetonkomponenten versorgt werden kann.

Zur Einhaltung der geforderten Qualität wurde ein umfangreiches Qualitätssicherungsprogramm mit Eignungs- und Güteprüfung ausgearbeitet und konsequent umgesetzt.

Es kann eine sehr positive Bilanz über die Spritzbetonarbeiten gezogen werden, weshalb auch in Zukunft das Spritzverfahren mit Herstellung von Spritzbeton direkt vor Ort unter Einsatz von feuchten Zuschlägen und Spritzbindemittel SBM-FT breite Anwendung finden wird.

The Landeck by-pass tunnel is going to divert heavy transit traffic from the town of Landeck. After long discussions construction started in 1997. By mid-2000 cars and lorries will pass through the tunnel, thus finally relieving the population of Landeck of excessive traffic pollution.

The project of the by-pass tunnel was divided into construction lots south and north. The paper deals with the shotcrete method applied at construction lot north.

Taking account of technological, operational, economic and also ecological considerations, a shotcrete system with wet aggregate and spray cement was chosen.

For this method a new equipment developed by Ploderer and Porr was used: an automatic mixer system supplying three shotcreting machines, which is installed 50 m behind the working face and moved along as the excavation proceeds. The shotcrete mix is produced directly at the construction site.

The shotcrete ingredients are fed into the mixer by means of a wheel-mounted loader (aggregate) and a bulk cement transporter (spray cement).

The advantage of this system consists in having any quantity of shotcrete available at any time as shotcrete ingredients can be supplied to the system also while the plant is in operation.

In order to meet the quality requirements, an extensive quality assurance programme including qualification and quality tests was set up and implemented.

The overall outcome was so positive that the method described, i.e. in-situ production of shotcrete in combination with wet aggregate and the corresponding spray cement SBM-FT, will continue to be used on a large scale.

1. Baubetrieb Spritzbeton

Um die Leistungsvorgaben in Bezug auf den Spritzbeton einhalten zu können, ist eine eingehende Planung bzw. Bauvorbereitung hinsichtlich des Baubetriebes für den Spritzbeton durchzuführen.

Grundsätzliche Überlegungen behandeln die Versorgung des Kalotten und Strossenvortriebes mit Spritzbeton sowie die Zuführung der Spritzbetonkomponenten.

Nach eingehender Überlegung wurde eine 3-bahnige Spritzanlage mit 3 Spritzmaschinen angeschafft (Bild 1). Die Größe der Anlage war ausschlaggebend dafür, daß diese 50 m hinter der

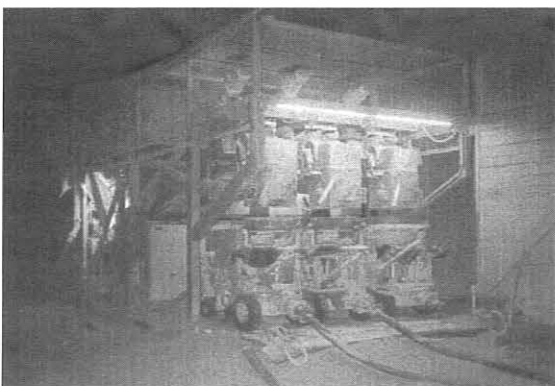


Bild 1: 3-bahnige Spritzanlage im Tunnel Umfahrung Landeck Nord

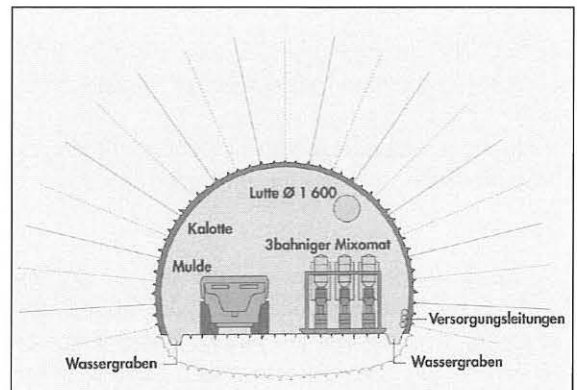


Bild 2: Anordnung der Spritzanlage im Querschnitt

Strossenbrust auf der Strossensohle situiert werden mußte (Bild 2).

Mit dieser Ausrüstung kamen nun zwei Bahnen für die Spritzarbeiten in der Kalotte und eine Bahn für den Strossenspritzbeton zum Einsatz. Diese 3 Bahnen brachten den Vorteil, daß jede Spritzmaschine durch einfaches "Schlauchumschließen" in Kalotte oder Strosse eingesetzt werden konnten, und bei einem Maschinenausfall oder "Stopfer" keine großen Wartezeiten zustande kamen.

Erschwerend kam hinzu, daß im Zuge der Ausbruchsarbeiten zwei Abstellnischen mit einem Ausbruchsquerschnitt in der Kalotte von 75 m² aufgefahen werden mußten. Entsprechend dem größeren Ausbruchsquerschnitt war eine größere Spritzbetonkubatur zu verarbeiten. Um den kalkula-

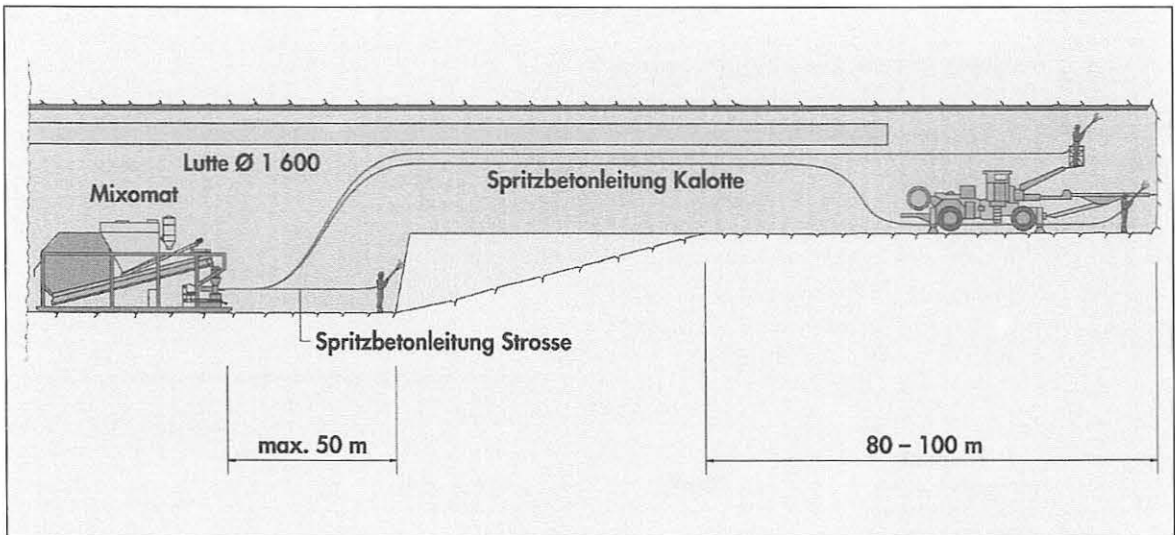


Bild 3: Versorgung der Spritzanlagen mit Zuschlag

torischen Vorgaben gerecht zu werden wurde in diesen Bereichen mit allen drei Bahnen gearbeitet. So konnte die Spritzzeit auch in den Nischen kurz gehalten werden.

Die Versorgung des ca 100 m hinter dem Kalottenvortrieb nachlaufenden Strossenvortriebs erfolgte meist durch eine Spritzmaschine und eine Schlauchleitung (Bild 3).

Allerdings bestand auch hier die Möglichkeit, bei Bedarf 2 Bahnen einzusetzen.

Um den Spritzbeton von der Anlage zur Einbaustelle in der Kalotte zu fördern, wurden zwei 3 Zoll Stahlleitungen an der Tunnellaubung bis zur Ortsbrust ge-

führt. Das Aufbringen des Spritzbetons erfolgte durch zwei Düsenführer.

Zur Sicherstellung der geforderten Spritzleistung von durchschnittlich 6,0 m³/Std und Düse, mußte der Abstand Kalottenbrust zur Strossenbrust möglichst kurz gehalten werden. Wuchs der Abstand über 150 m an war eine deutliche Reduktion der Spritzleistung festzustellen.

Die Versorgung der Spritzbetonanlage mit Zuschlag (Bild 4) erfolgte mittels Radlader von einem im Tunnel eingerichteten Zwischendepot. Dieses Depot wurde ca. 300 - 1000 m hinter der Spritzanlage angeordnet und täglich durch den Kieslieferanten aufgefüllt. Um eine optimale Verarbeitung ohne erhöhten Reinigungsaufwand zu gewährleisten, waren wir bestrebt eine Feuchtigkeit der Zuschläge von

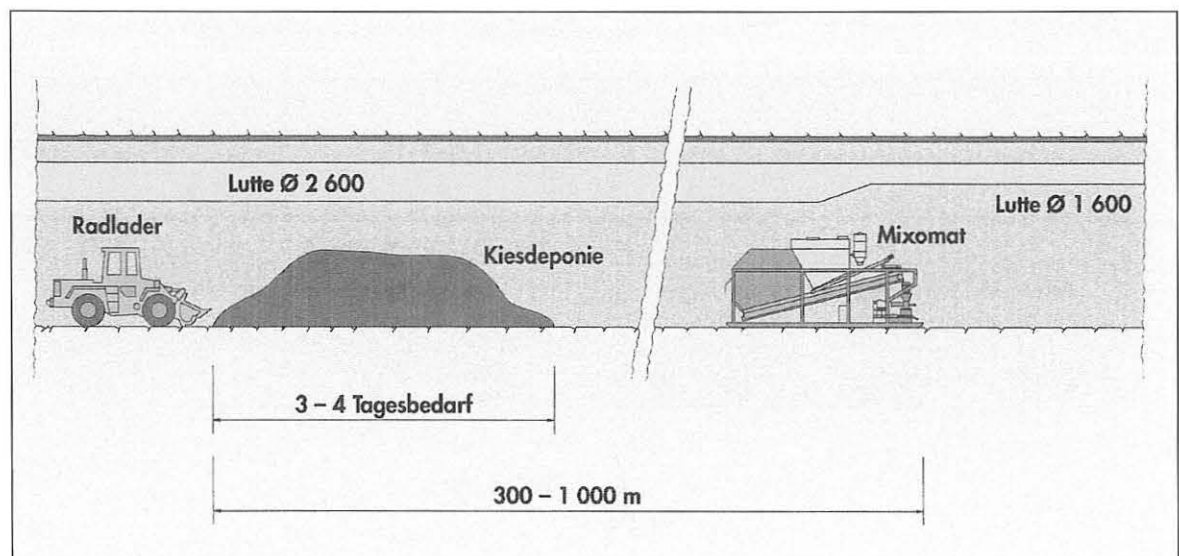


Bild 4: Versorgung der Spritzanlage mit Zuschlag

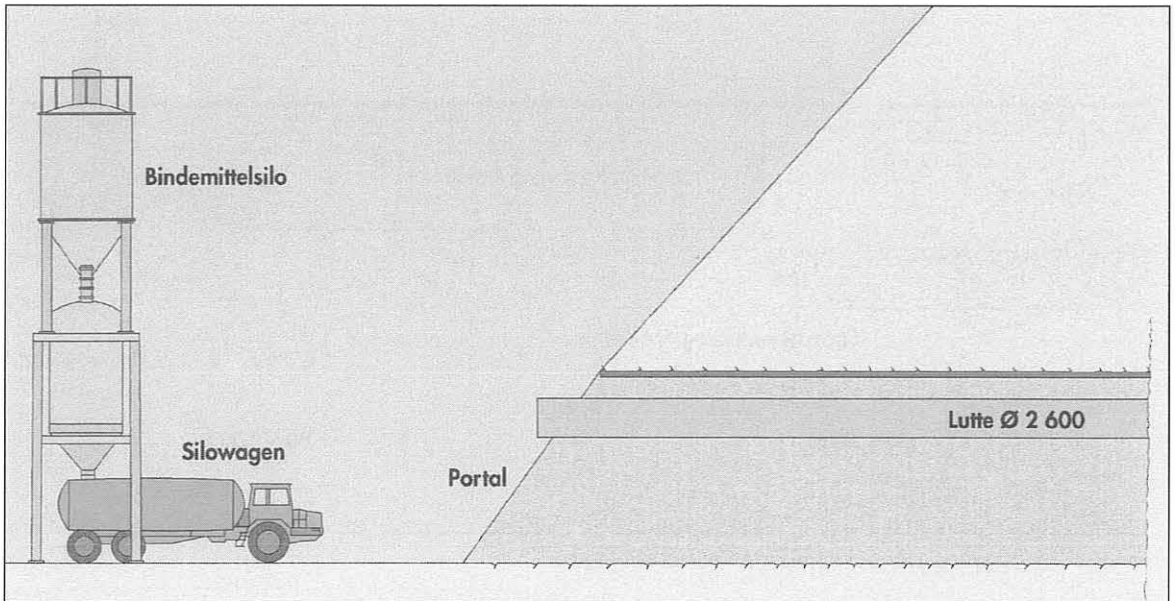


Bild 5: Versorgung der Spritzanlage mit Zement

3,5 % einzuhalten. Da unser Zuschlagslieferant sein Depot im Freien angelegt hatte, mußten wir eine entsprechende Menge, meist 3-4 Tagesrationen (entspricht ca. 400 m³), im Tunnel vorlagern damit der Kies wie gewünscht "abrinnen" konnte.

Die Bindemittelbeschickung (Bild 5) erfolgte über einen am Portal situierten 90 Tonnen Silo und einen baustelleneigenen Silowagen der das Spritzbindemittel in den Tunnel transportierte, und anschließend in den Mixomaten (Bild 6) umgeblasen hat.

Ein wichtiger Punkt war das Nachsetzen der Spritzbetonanlage. Dieser Vorgang mußte ein bis zweimal in der Woche erfolgen, um den Abstand zur Kalottenbrust konstant zu halten.

Der Zeitpunkt für die Umsetzung wurde so gewählt, daß es keine Unterbrechung der Vortriebsarbeiten gab. Zum Vorziehen der Anlage wurde der Tunnel-

bagger vorgespannt und der Radlader schob am "Hinterteil". Dafür benötigten wir im Mittel eine halbe Stunde.

Schlußfolgernd kann bezüglich des Baubetriebes folgendes positiv festgehalten werden! Die kalkulatorischen Vorgaben waren problemlos realisierbar. Weiters nahmen die Reinigungsarbeiten durch die optimale Feuchtigkeit der Zuschläge sehr wenig Zeit in Anspruch. Folgend daraus hielten sich die befürchteten hohen Lohnkosten in einem akzeptablen Rahmen.

2. Geräte

Zum Einsatz kam ein gemeinsam von der Fa. Porr und der Fa. Ploderer konzipierter 3 - bahniger Mixomat mit 3 Stk Spritzmaschinen Aliva 262.

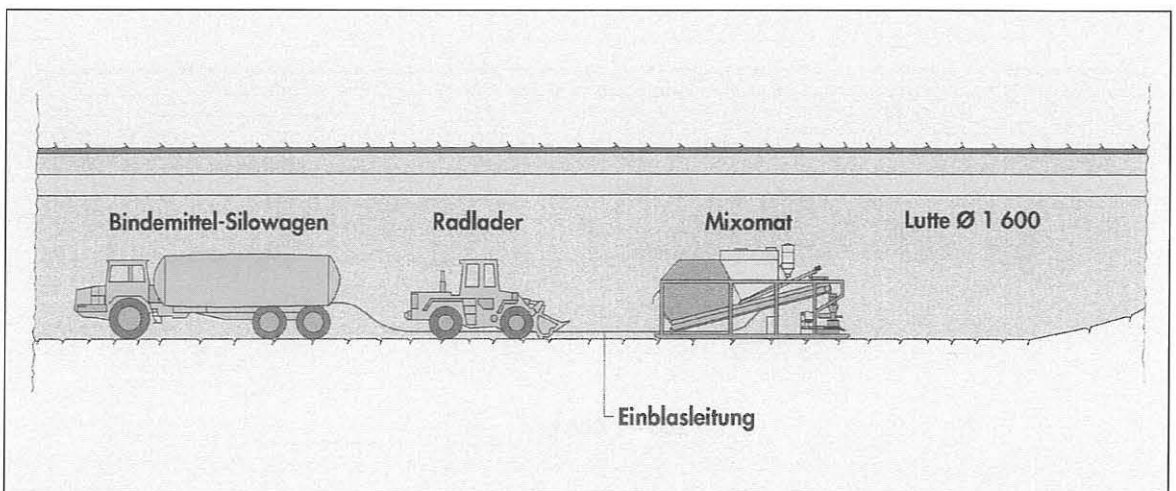


Bild 6: Einblasen des Zements in die Spritzanlage

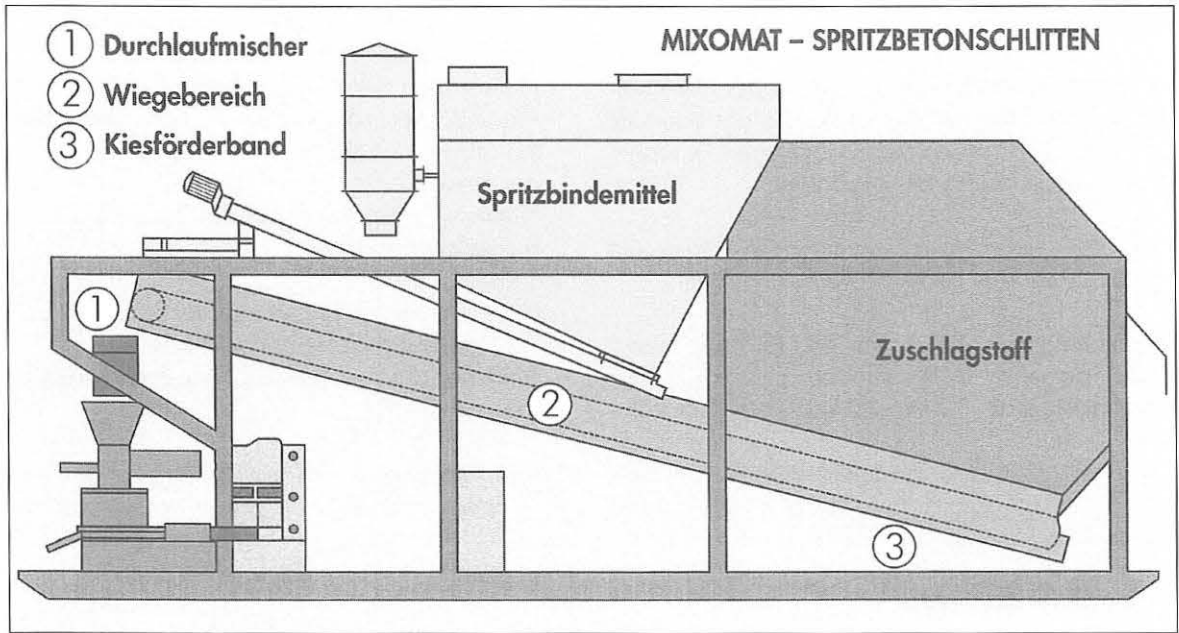


Bild 7: Komponenten der Spritzanlage Mixomat

Der Mixomat (Bild 7) besteht aus einem Vorratssilo für den Zuschlag mit einem Inhalt von 24 m³, einem Vorratssilo für das Spritzbetonbindemittel mit 17 m³ Inhalt und einer kontinuierlich arbeitenden Dosiereinrichtung.

Der Abzug des Korngemisches 0/11 mm erfolgt über je ein Abzugsförderband pro Bahn.

In diesem Abzugsförderband ist ein Wiegeband integriert, welches das Kiesgewicht an die SPS weitergibt und entsprechend viel Zement zudosiert. Die Dosierung wird in der SPS einprogrammiert und kann jederzeit verändert werden. Der Zement wird über eine entsprechende Schnecke mit einem Frequenzgesteuertem Antrieb abgezogen. Das Mischen erfolgt in einem einfachen Einwellenmischer. Nach dem Mischer gelangt das Mischgut in die Aliva 262. In der Spritzleitung wird das Material weiter homogenisiert.

Um genaue Aufzeichnungen über das Mischungsverhältnis zu erhalten ist in der SPS ein Menü integriert, welches jeden Spritzvorgang sowohl zeitlich als auch mengenmäßig für Zuschlag und Bindemittel getrennt aufzeichnet. Durch diese ständige Kontrollmöglichkeit, konnten Störungen bei der Dosierung sofort behoben werden.

Der Mixomat wurde in dieser Ausführung auf unserer Baustelle zum ersten mal im Sprengvortrieb eingesetzt. Störungen durch Sprengwellen waren durch nicht zufriedenstellende Aufzeichnungen und Dosierungen zu beobachten. Gemeinsam mit dem

Hersteller der Wiegetechnik wurde das Problem analysiert und eine Lösung dafür gesucht. Sprengsichere Wiegeeinheiten und Steuerung stellten sich als optimale Lösung für die gewünschten Ergebnisse heraus. Nach dieser Erfahrung werden in Zukunft alle Geräte mit dieser Wiegetechnik ausgerüstet.

Arbeitstechnisch gesehen hatten wir drei Spritzbereiche abzudecken. Der Kalottenvortrieb aufgeteilt in Firste und Ulme und die Strosse. Entsprechend dieser Vorgabe waren drei Rezepturen programmiert. Es konnte somit zwischen den Rezepten Firste, Ulme und Strosse gewählt werden.

Firste:	350 kg Spritzbindemittel
	1920 kg Zuschlag
Ulme:	340 kg Spritzbindemittel
	1920 kg Zuschlag
Strosse:	330 kg Spritzbindemittel
	1920 kg Zuschlag

Weiters war es möglich die Dosierung direkt vor Ort zu verändern um Extremfälle wie Wasserzutritte (mehr Bindemittelgehalt) oder Solespritzbeton (weniger Bindemittelgehalt) abzudecken.

Die Computersteuerung erlaubte unmittelbar nach Beendigung des Spritzvorgangs oder am Ende einer Schicht die Aufzeichnungen über Dosierung und Durchsatz auf Datenträger zu speichern und auf dem PC auszuwerten. Diese Daten wurden abschließend für die Kontrolle der Dosierung und für die Nachkalkulation herangezogen.

3. Rückprall

Aufgrund der einfachen Einstellung der Mischverhältnisse konnten wir uns am Beginn der Baustelle sehr rasch und gezielt auf ein optimales Rezept in Bezug auf den Rückprall herantasten.

Im Nachstehenden sind verschiedene Rezepturen mit den jeweiligen Rückprallwerten angeführt:

Bindemittelgehalt: 400 kg/m³ ca. 19 % Rückprall
 Bindemittelgehalt: 340 kg/m³ ca. 22 % Rückprall
 Bindemittelgehalt: 300 kg/m³ ca. 28 % Rückprall

Mit dem gewählten Bindemittelgehalt von rund 340 kg/m³ konnte auf die gesamte Tunnellänge der Rückprall im Mittel bei 18 - 22 % gehalten werden.

4. Spritzbetonprüfungen

Grundsätzlich waren in den technischen Vertragsbestimmungen genau definiert welchen Anforderungen der Spritzbeton entsprechen mußte.

Als Vorgabe galten folgende Parameter:

Bindemittelfestigkeit:

- 1 Tagesfestigkeit von mind. 9 N/mm²
- 28 Tagesfestigkeit von mind. 39 N/mm²

Zusatzstoffe:

- zur Verbesserung der Dichtigkeit mußten 40 - 60 kg/m³ SpB Flual in Verbindung mit dem TZ 2 beigegeben werden.

Zuschläge:

- GK 11 mm

Zusatzmittel:

- Alkalifreie Erstarrungsbeschleunigung
- Na₂O- Äquivalent kleiner 1 %

Nachstehende Prüfungen waren durchzuführen:

Eignungsprüfung:

- Frühfestigkeitsprüfung auf der Baustelle
- Endfestigkeiten:
- Herstellen der Spritzkisten auf der Baustelle
- Bohren der Bohrkerne im Labor
- Feststellen der 7 - 21 - 28 Tagesfestigkeiten im Labor

Güteprüfung:

- Güteprüfung (Für Durchführung und Häufigkeit gelten die ÖBV - Richtlinie "Spritzbeton Teil 2: Prüfverfahren" und die Häufigkeitsklasse 2

Teils durch Baustelle teils durch MVA Straß

- Prüfung der Spritzbetonstärke
- (Toleranzen luftseitige Begrenzungslinie mit Ausrundungen - Bedingung 2/3 der angeordneten Stärke muß an gesunden Felsecken vorhanden sein)
- Frühfestigkeitsprüfung auf der Baustelle (durch Baustellenpersonal)
- Endfestigkeiten
- Herstellen der Spritzkisten auf der Baustelle
- Bohren der Bohrkerne auf der Baustelle
- Feststellen der 7, 21 und 28 Tagesfestigkeiten im Labor

Um nun die Qualität des Spritzbetons auf der Baustelle einhalten zu können, wurde ein entsprechendes Prüfprogramm für die Eignungs- und Güteprüfungen zusammengestellt und durchgeführt.

Zusammensetzung des Spritzbetons :

- 360 kg/m³ Spritzbindemittel Schretter SBM-FT
- 1918 kg/m³ Zuschlag 0/11 (TBA Zams)

Die Festigkeitsentwicklung des jungen Spritzbetons ergab für eine Bindemitteldosierung von 360 kg/m³:

J2

Die Festigkeitsentwicklung des Spritzbetons im Alter von 24 Stunden, 7 Tagen und 28 Tagen ergab:

SpB-Rohdichte		2455 kg/m ³
Druckfestigkeit	24 Std	27 N/mm ²
Druckfestigkeit	7 Tage	42 N/mm ²
Druckfestigkeit	28 Tage	53 N/mm ²

Die Wasserundurchlässigkeit ergab folgendes Ergebnis:

T = 22 mm

Güteprüfung:

Die Güteprüfungen sind unterteilt in die Prüfung des jungen Spritzbetons und in die Druckfestigkeitsprüfungen.

Die Frühfestigkeit wurde nach zwei Verfahren bestimmt:

- Penetrationsnadelverfahren
- Bolzensetzverfahren

Mit dem Penetrationsnadelverfahren wird der Zeitbereich von 0 - 15 min abgedeckt. Mit dem Bolzensetzverfahren wird der Bereich von 6 - 24 Stunden abgedeckt.

Bei der Druckfestigkeit wurden analog der Eignungsprüfung die 7 und 28 Tagesfestigkeiten ermittelt.

Die durchschnittlichen Festigkeiten ergaben folgende Werte:

Druckfestigkeit nach		
7 Tagen	32 - 40	N/mm ²
28 Tagen	38 - 50	N/mm ²

Ebenfalls war monatlich eine Probe vom Zuschlag und vom Bindemittel zu entnehmen und entsprechend zu prüfen.

Das Spritzbindemittel mußte bezüglich Erstarrungsbeginn, Erstarrungsende, Spezifischen Oberfläche, Druckfestigkeit, W/Z-Wert und Na₂O-Äquivalent untersucht werden.

Die Auswertung des Bindemittels ergab folgende durchschnittliche Ergebnisse:

Prüfung		Ergebnisse
Erstarrungsbeginn		2'30"
Erstarrungsende		4'00"
Spez. Oberfläche		4150 - 4620 g/cm ²
Druckfestigkeit	1 h	2,5 - 3,2 N/mm ²
Druckfestigkeit	6 h	9,2 - 14,0 N/mm ²
Druckfestigkeit	24 h	32 - 37 N/mm ²
Druckfestigkeit	28 h	50 - 71 N/mm ²
W/Z - Wert		0,35
Na ₂ O - Äquivalent		1,13 - 1,45

Auch diese Ergebnisse waren auf die gesamte Bauzeit zufriedenstellend.

5. Versuche zur Leistungssteigerung

Es war während der Vortriebsarbeiten immer unser Streben eine möglichst hohe Spritzleistung zu erreichen.

Zu Testzwecken kam eine größere Spritzmaschine Aliva AL - 285 mit einer Spritzleistung von 5 - 21 m³/Std als Ersatz für eine AL 262 auf die Baustelle.

Der Vorteil der großen Spritzmaschine ist, daß diese eine stufenlose Regelung ermöglicht. Dadurch konnten wir uns langsam bis zur Maximalleistung herantasten.

Um nun die höhere Spritzleistung in der Praxis umsetzen zu können war es unumgänglich einen Spritzmanipulator zu organisieren.

Nach Eintreffen dieses Gerätes konnte mit den Tests begonnen werden. Erschwerend kam hinzu, daß diese Versuche unter vollem Betrieb durchgeführt werden mußten und keine Beeinträchtigung des Vortriebs erfolgen durfte.

Die Einschulung der Mannschaften auf die neuen Geräte war das kleinste Problem.

Weit mehr kämpften wir mit der Erhöhung der Durchsatzmenge bei der neuen Spritzmaschine.

Je weiter die Leistung erhöht wurde desto größer war die Gefahr der "Stopferbildung".

Nach einigen Tests mußten wir feststellen, daß es nur möglich war die Spritzleistung geringfügig zu steigern. Grund hierfür war die lange Spritzleitung von 150 m.

Durch diese große Länge entstand ein derart großer Gegendruck der es uns unmöglich machte die Spritzleistung über 5 - 6 m³/Std zu steigern.

Unsere weiteren Überlegungen gingen dabei in die Richtung die Spritzleitung in Zukunft möglichst kurz zu halten.

Aufgrund des Beginns einer neuen Baustelle in Deutschland und des dadurch notwendig gewordenen Gerätetausches wurde mit unserer Geschäftsführung vereinbart, daß für die restliche Bauzeit (ca. 2,5 Monate) ein zweibahniger Mixomat auf unserer Baustelle kommt.

Diese zweibahnige Spritzanlage bot nun den großen Vorteil, daß diese nur 50 m hinter der Kalottenbrust aufgestellt werden konnte.

Diese neue Anlage war auch mit einer neuen Dosiereinrichtung ausgestattet und somit unempfindlich gegen die Sprengerschütterungen.

Der Hauptvorteil lag aber hauptsächlich, in der Möglichkeit einer kurzen Spritzleitung.

Durch diese Maßnahme konnte die Spritzleistung von 4,5 m³/Std auf 6,0 m³/Std und Maschine erhöht werden. Dies entspricht der Kapazität der Spritzmaschinen ALIVA 262.

Aus dieser Erfahrung schließen wir, daß es durch Einsatz größerer Spritzmaschinen, eines Spritzmanipulators und der Situierung der Spritzanlage 50 m hinter der Ortsbrust möglich sein sollte, die Leistung auf 8-10 m³/Std zu erhöhen. Der Einsatz stellt auch im Sprengvortrieb kein Problem dar.

Ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit einer solchen Ausrüstung ist der Einsatz ab dem ersten Vortriebsmeter.

Bei gleichzeitiger Bedienung der Strosse mit Spritzbeton sollte aber unbedingt ein Mixomat mit drei Bahnen eingesetzt werden, wobei eben die Strosse von der Kalotte aus bedient werden muß. Augenmerk ist in diesem Fall auf die Führung der Versorgungsleitungen, insbesondere der Bewetterung zu legen.

Die Beschickung der Anlage mit Kies und Bindemittel erfolgt in gleicher Weise wie bei der Anlage welche hinter der Strossenbrust steht.

6. Zusammenfassung

Nach dem Fertigstellen der Ausbruchsarbeit konnten wir feststellen, daß die mit viel Überlegung aber

auch Mut getroffene Systementscheidung sich als absolut richtig herausgestellt hatte und die Vorgabeparameter eingehalten und größtenteils unterschritten werden konnten.