
Spritzbeton aus naturfeuchtem Zuschlag und Spritz-Bindemittel (SBM) im 10 km Pilotstollen des Semmering Basistunnels

SHOTCRETE MADE OF NATURAL MOIST AGGREGATE AND SPECIAL CEMENT FOR SHOTCRETING IN THE 10-KM-LONG PILOT TUNNEL OF THE SEMMERING BASE TUNNEL

WALTER HERMANN, PORR TECHNOBAU AG, WIEN

Bei der Spritzbetontagung im Jänner 1993 wurde bereits über Forschungen berichtet, die es erlauben "Spritzbeton aus feuchten Zuschlägen und einem Zement ohne Beschleuniger" herzustellen.

Das Projekt Pilotstollen des Semmering-Basistunnels sieht den Ausbruch eines 9.600 m langen Stollens mit 16 m² Ausbruchfläche vor, und wird mit 1 % fallend im konventionellen Vortrieb (Drill und Blast) aufgeföhren.

Um das wichtigste Stützmaterial möglichst uneingeschränkt vor Ort zur Verfügung zu haben, gab es - bedingt durch die lange Fahrtstrecke - zwei wirtschaftliche Technologien.

Trockenspritzbeton A: getrockneter Zuschlag vorgemischt
Trockenspritzbeton B: Mischen vor Ort

Obwohl zum Entscheidungszeitpunkt im Dezember 1994 für die Wahl des Systems das System A weiter verbreitet war, haben wir uns aus logistischen und technischen Überlegungen für das kontinuierliche Mischen vor Ort entschieden, nachdem wir beim Voreinschnitt und im 230 m langen Aufweitungsbereich umfangreiche Versuche mit anderen Systemen gemacht haben.

Für den Spritzbeton-Bindemittel- und Zuschlagtransport konnten vorhandene Geräte eingesetzt werden. Das sind Kiessilowägen mit einem durchgehenden Förderband sowie ein Zementsilowagen mit Schneckenentleerung und einem darunterliegenden Förderband für den Zuschlagstoff. Die Durchmischung der beiden Komponenten erfolgt in einem Pflugscharmischer. Die Förderung der Trockenmische erfolgt durch eine herkömmliche Spritzbetonmaschine. Die gesamte Anlage ist mit einer elektronischen Steuerung ausgerüstet.

Nach 1.000 m Vortrieb und einer Vielzahl von Prüfergebnissen sowie der entsprechenden Erfahrung mit der eingesetzten Gerätschaft, treten immer wieder geringfügige Detailprobleme auf, die jedoch als "Kinderkrankheiten" zu beurteilen sind.

On the occasion of the shotcrete symposium in January 1993, reports were communicated on research designed to produce shotcrete from moist aggregates and cement without accelerator.

The project "pilot tunnel of the Semmering Base Tunnel" provides for the excavation of a 9,600-m-long tunnel with 16 m² excavation section. It is driven with a slope of 1% according to the drill-and-blast method.

To have the most important support material largely available on site, there were - in view of the long distances - two economical alternatives in terms of shotcrete technology:

*dry-mix shotcrete A: dried aggregate premixed
dry-mix shotcrete B: mixed on site*

Although system A was much more widely used in December 1994 when we had to take our decision, we opted in favor of

continuous mixing on site for logistical and technical reasons after having performed extensive tests with other systems for a precut and a 230-m-long expansion section.

For the transport of special cement and aggregate, existing equipment was used, namely gravel silo wagons with continuous conveyor belt and a cement silo wagon with drawing screw and conveyor belt below for aggregate. The two components are mixed in a ploughshare mixer. The dry mix is conveyed to the nozzle in a conventional shotcreting machine. The entire installation is equipped with an electronic control unit.

After 1,000 m of excavation, with a large number of test results in hand and with the equipment used, some minor problems still occur, which, however, can be considered as "teething troubles."

1. Einleitung

Die jeweils verwendete Spritzbetontechnologie ist nicht nur vom geforderten Endprodukt abhängig, sondern auch vom Baubetrieb und den Anforderungen zum Zeitpunkt der Herstellung sowie den im Einzelfall auch wechselnden Einbaubedingungen bestimmt. Ein wesentlicher Aspekt ist die möglichst uneingeschränkte Verfügbarkeit.

2. Anlage der Baustelle

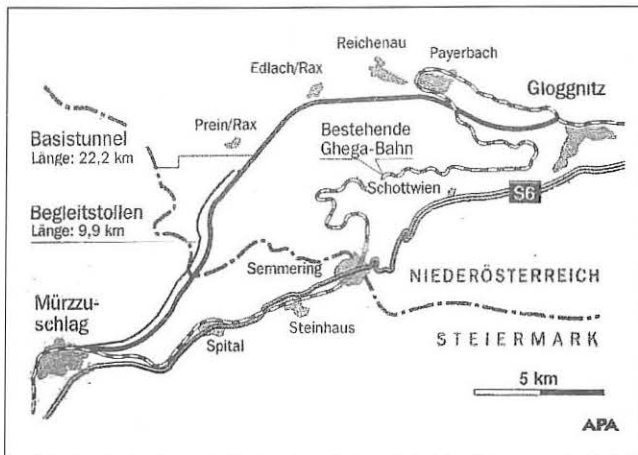


Bild 1: Projektübersicht

Der rund 9,9 km lange Pilotstollen im südlichen Teil des insgesamt 22,2 km langen Semmering - Basistunnels von Gloggnitz nach Mürzzuschlag weist Überlagerungen bis zu 900 m auf, und dient in diesem Bereich zuerst der detaillierten geologischen und geotechnischen sowie hydrologischen Baugrunderkundung für den Vollausbau.

Im Betrieb der Hochleistungsstrecke ist der Pilotstollen als begleitender Rettungsstollen erforderlich, um aufgrund der hohen Überlagerung auch in diesem Bereich die Anforderungen des Rettungskonzeptes erfüllen zu können. Er wird im Abstand von 30 m zum Haupttunnel aufgeföhren und mit diesem durch Querschläge verbunden.

Der Pilotstollen wird von Mürzzuschlag aus konventionell, (Drill and Blast), mit 10 % fallend vorgetrieben. Die Ausbruchfläche beträgt abhängig von der Gebirgsgüteklasse

rund 16 m². Im Zuge der Ausschreibung wurde ein Spritzbeton SpB 22,5/III/J2 und die Verwendung von alkalifreien Beschleunigern gefordert.

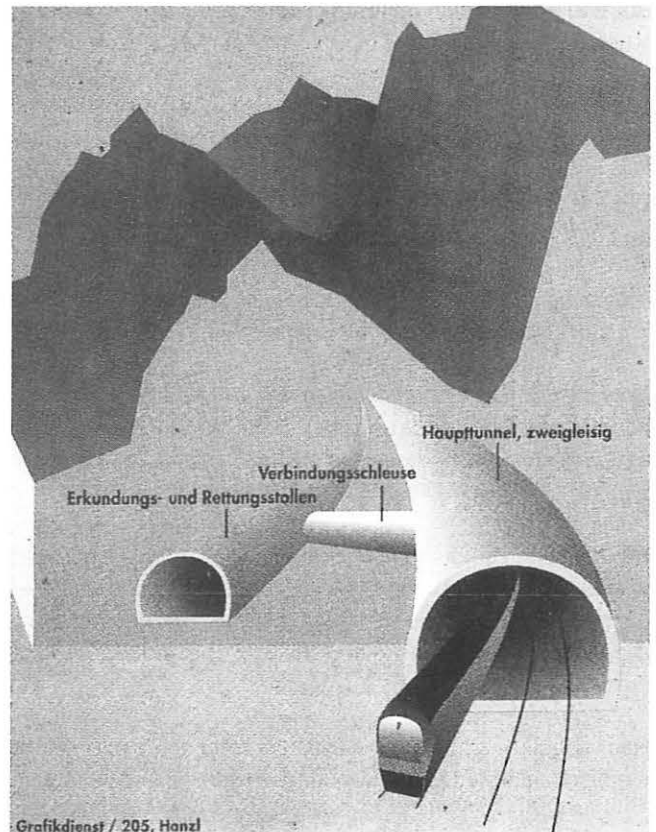


Bild 2: Querschnitt Tunnel und Pilotstollen

3. Anforderungen an den Spritzbeton aufgrund des Baubetriebes

Die Versorgung des Stollens mit rund 10 km ist gleisgebunden. Bei einer Zuggeschwindigkeit von 20 km/h ergibt sich zu Bauende eine Fahrzeit von einer halben Stunde. Wenn aufgrund der Länge noch Wartezeiten in einem Ausweichbahnhof dazukommen, ist die für konventionellen Spritzbeton tolerierbare Zeit von 2 Stunden zwischen Mischen und Verarbeiten rasch aufgebraucht. Somit schied die übliche Einrichtung, eine Mischanlage am Portal zu stationieren, aus. Es gab Überlegungen in Richtung „Einschläfern“; diese gestalteten sich aber als nicht wirtschaftlich.

Eine weitere Forderung an das System kam von der Geologie. Diese ist in Teilbereichen gebräch und das anstehende Material ist ohne Sprengen nur mit dem Bagger abbaubar. Bei dieser Lösetechnik ist es erforderlich, während des Öffnens der Brust, zur Sofortsicherung, Spritzbeton jederzeit aufzubringen. Gerade dieser muß aber eine hohe Frühfestigkeit aufweisen, um als Sicherungsmittel zu wirken.

4. Systeme, die die Anforderungen erfüllen und Gerätewahl

Aufgrund der Anforderungen kamen zwei Technologien in die engere Auswahl:

1. Getrockneter Zuschlag mit Bindemittel werksseitig gemischt.

Das Material wird bekanntermaßen im Silowagen auf die Baustelle geliefert oder direkt dort getrocknet und gemischt. Die Verarbeitung erfolgt entweder konventionell, wobei hier der trockene Transport im Stollen zu gewährleisten ist. Die prognostizierten Wasserzutritte über große Strecken haben diese Überlegungen nicht positiv beeinflusst.

Bei der Verarbeitung mittels Druckkessel und Blasschnecke ist der feuchte Stollen kein Problem. Wie der Inhalt auf 10 km Stollengleis und die dadurch hervorgerufene Erschütterung reagiert, ist derzeit noch gänzlich unbekannt. Auch ein Höherdosieren des Bindemittels bei starken Wasserzutritten ist vor Ort nicht möglich. Die höhere Staubentwicklung bei der Verarbeitung, bedingt bei dieser Stollenlänge erhebliche Mehrkosten in der Belüftung.

Diese, in der Planungsphase erarbeiteten Nachteile veranlaßten uns, nach mehrmonatiger guter Erfahrung mit einem System mit feuchtem Zuschlag und Spritzbindemitteln im Aufweitungsbereich, das Mischen vor Ort für Gleisbetrieb selbst zu planen.

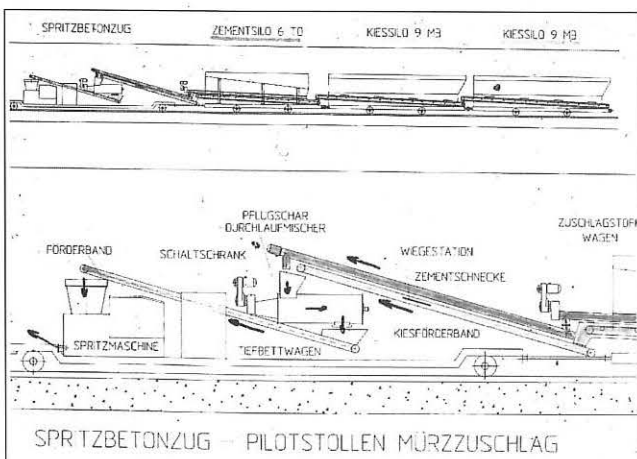


Bild 3: Mischzug schematisch

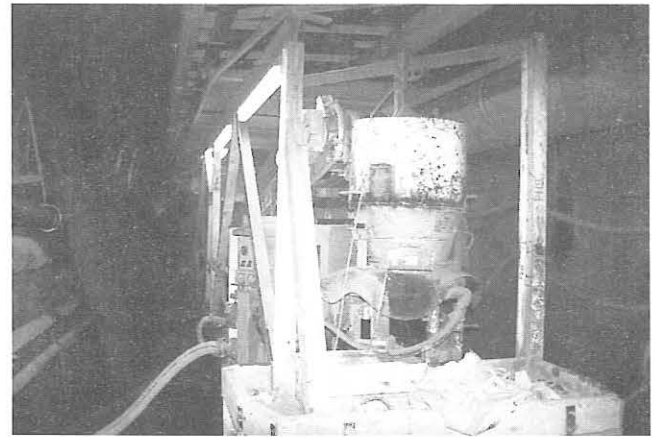


Bild 4: Einsatz vor Ort

2. Mischen vor Ort mit naturfeuchtem Zuschlag und Spritzbindemittel (SBM).

Für den Zuschlagsstoff- und Bindemitteltransport im Stollen waren am Markt vom Ärmelkanaltunnel Geräte vorhanden, die mit untenliegenden Förderbandabzug das Material nach vorne transportieren. Der Bindemittelwagen, der eine untenliegende Schrecke eingebaut hat, und darunter ein Förderband für den Zuschlagsstoff, war ebenfalls als Einheit vorhanden.

Ab hier gab es, mit Ausnahme eines Gerätes aus Schweden, nur Mischgeräte, die ein chargenweises Mischen zuließen, und auch vom Platzbedarf größer waren als der zur Verfügung stehende Raum. So entstand nach intensiver Suche und Rücksprache mit vielen Fachleuten der Mischwagen mit volumetrischer Dosierung. Das Kernstück ist der Pflugscharmischer, der den kontinuierlichen Kies und Bindemittelstrom homogenisiert. Über eine Förderbandwiegestation für Kies wird die Umdrehungszahl der Zementschnecke gesteuert. Die Dosierung wird durch Versuchsmessungen eingestellt und in regelmäßigen Abständen überprüft. Der gesamte Spritzbetonzug wird elektronisch gesteuert, die notwendigen Informationen werden über diverse Sensoren wie Füllstandmesser, Wiegezellen, Stromaufnahmen usw. erfaßt.

Vom Pflugscharmischer wird das Trockenmischgut mit einem möglichst kurzen Förderband in eine herkömmliche Zellradrotorspritzmaschine übergeben. Der Füllstandmesser im Übergabetrichter sorgt für einen kontinuierlichen Betrieb, bzw. für das Leerfahren der Anlage vom Mischer bis zur Düse beim Beenden des Spritzvorganges.

5. Bindemittelauswahl

Nach umfangreichen Baustellenerfahrungen mit Tunnelzement und verschiedenen alkalifreien Beschleunigern im Bereich des Voreinschnittes haben wir uns Anfang 1995 für das Spritzbindemittel Leube gemeinsam mit einer auf einem LKW aufgebauten Mobil-Crete Tunnelspritzanlage für den Aufweitungsbereich von 50 m² Ausbruchfläche entschieden.



Bild 5: Der Pflugscharmischer wird oben mit Zuschlag und Bindemittel beschickt; unten wird das Trokenmischgut abgezogen



Bild 6: Übergabe von Zuschlag unten und Bindemittel oben vom Bindemittelwagen auf den Mischer

Die Festigkeiten lagen hier zwischen J2 und J3. Im Bereich zwischen 6 und 12 Stunden war vereinzelt ein geringfügiges Unterschreiten der Linie J2 zu beobachten. Die gemittelte Endfestigkeit an Bohrkernen aus dem Bauwerk betrug jedoch 42 N/mm^2 , was die geforderten Werte für SpB 22,5/III/J2 bei weitem übertrifft.

Da das Bindemittel an die Geräteausstattung gebunden war, für den speziellen Einsatz aber keine Geräte konkret vorhanden waren, fiel firmenintern die Entscheidung, die Mischproblematik wie bereits beschrieben, selbst als Bau-firma zu planen und von einer einschlägigen Firma bauen und programmieren zu lassen.

Bei der „Suche“ nach dem geeigneten Spritzbindemittel entschieden wir uns für Cronolith S, das wie bereits 1993 in Igls in einem Vortrag angekündigt, von den Firmen Heidelberger, Buzzi und Wietersdorfer entwickelt worden war und zum damaligen Zeitpunkt in Produktion gehen konnte.

Da es sich hier auch um kleine Chargen von Bindemittel handelt, gab es vereinzelt Frühfestigkeitsprobleme, speziell bei starken Temperaturschwankungen. Für den Winterbetrieb ist daher im Zuschlagstoffsilo eine Heizung eingebaut..

7. Betontechnologische Werte

Die nach einem halben Jahr gesammelten Daten und Erfahrungen sind:

- Der Erstarrungsbeginn des Bindemittels lag im November 1995 bei 80 sec., das Erstarrungsende bei 190 sec. Der Blainewert beträgt $4.760 \text{ cm}^2/\text{g}$. Die derzeitige Bindemitteldosierung ist mit 380 kg/m^3 eingestellt.
- Als Zuschlagstoff wird eine Werksmischung 0/8 verwendet.

- Das Erreichen der Linie J2 ist gegeben.
- Das Zudosieren von alkalifreien Beschleunigern ist als Sofortmaßnahme bei Wasserzutritt möglich. Die Werte liegen dann über J3. Eine Erhöhung des Bindemittelgehaltes ist elektronisch einstellbar.
- Der Rückprall liegt bei 15 - 20 %, die Streuungen aufgrund der Meßtoleranzen sind groß.
- Die durchschnittliche Druckfestigkeit im November 1995 lag bei 37 N/mm^2 , der W/Z-Wert betrug 0,49.
- Der Spritzvorgang kann jederzeit unterbrochen werden, es bleiben keine Restmengen in der Anlage.



Bild 7: Der gesamte Spritzzug nach etlichen Stunden Betrieb im Stollen

8. Schlußbemerkung

Aufgrund der gewonnenen Erfahrungen mit dem gewählten System und der derzeit zu beobachtenden Entwicklung am Spritzbetonbindemittelmarkt ist zu erwarten, daß die junge Technologie in absehbarer Zeit auch im Ausland Marktanteile gewinnen wird.