
Sicherungsspritzbeton aus werksgemischtem Trockenbeton mit Spritz-Bindemittel - Erfahrungen beim Bau des Schönbergtunnels, Umfahrung Schwarzach (Pongau)

SUPPORTING SHOTCRETE MADE OF DRY-BAGGED PREMIXED MATERIALS IN COMBINATION WITH SPRAY CEMENT - EXPERIENCE GAINED DURING THE CONSTRUCTION OF THE SCHÖNBERG TUNNEL IN AUSTRIA

PETER CHRISTLMEIER, AUGUSTIN RAUEN, JOHANN SCHWARZENLANDER

Beim Auffahren des 3 km langen Schönbergtunnels im Sprengvortrieb wurde zur temporären Sicherung des Ausbruchquerschnitts von der bauausführenden Arge werksgemischter Trockenbeton eingesetzt. Das Trockengemisch wurde auf der Baustelle in großen Silos bevorratet, in Druckbehältern zur Einbaustelle transportiert und über Durchblassschnecken im Trockenspritzverfahren verarbeitet. Für den Trockenbeton wurde Spritzbetonzement CEM I 32,5 R-SE eingesetzt. Dieses beschleunigerfreie, aus einem sehr reaktionsfreudigen Portlandzementklinker hergestellte Spritz-Bindemittel erstarrt auch bei niedrigen Frischbetontemperaturen sehr schnell und zuverlässig und erreicht hohe Frühfestigkeiten. Aufgrund der optimalen Kombination aus werksgemischtem Trockenspritzbeton mit geeigneter Verarbeitungstechnik konnte die Arge auch unter sehr schwierigen Baubedingungen Sicherungsspritzbeton hoher Qualität herstellen und große Vortriebsleistungen erzielen.

When blast-driving the 3-km-long Schönberg Tunnel, the joint venture used dry-bagged premixed shotcrete for the temporary support of the excavation section.

The dry mix was stored at the construction site in large silos, it was transported to the point of placement in pressure tanks, introduced into the delivery hose by screw conveyors and projected into place according to the dry-mix shotcreting process. Spray cement CEM I 32.5 R-SE was used. This accelerator-free spray cement made from highly reactive Portland cement clinker sets very rapidly and reliably even at low temperatures of the green concrete, and attains high early strength. As a result of the optimal combination of dry-bagged premixed shotcrete and the adapted placing technique, the contractors were able to provide high-quality supporting shotcrete and to realise high rates of excavation even under the adverse conditions encountered at the construction site.

Für die Ortsumfahrung von Schwarzach im Pongau wurde von der Arbeitsgemeinschaft STUAG Bau AG und Universale Bau (ARGE) der 2.989 m lange Schönbergtunnel nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) im Sprengvortrieb, unterteilt in Kalotte, Strosse, Sohle aufgeföhren. Der Ausbruchquerschnitt betrug ca. 85 m².

Etwa in den Dreiertelpunkten der Tunneltrasse wurde das Ausbruchprofil beidseitig für Abstellnischen erweitert und von dort aus befahrbare Fluchtstollen mit 300 m bzw. 500 m Länge ins Freie vorgetrieben. Die Sicherung des Ausbruchraumes erfolgte mit Tunnelbögen, Baustahlgitter, Spritzbeton und Felsankern. 1995 wurde vorab im Bereich der späteren

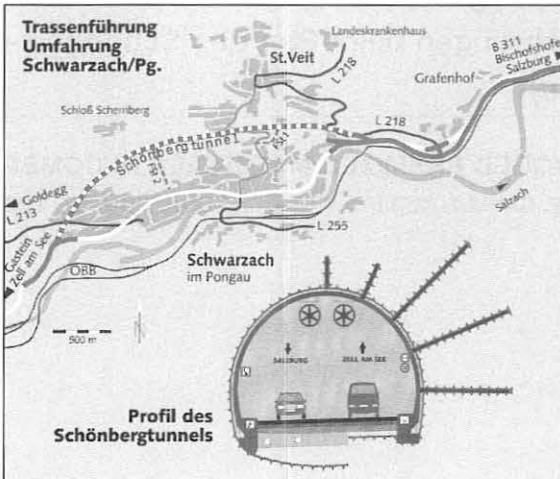


Bild 1: Trassenführung und Profil des Schönbergtunnels

Tunnelkalotte für Bodenaufschlußarbeiten ein Erkundungsstollen (\varnothing 3,6 m) im Fräsvortrieb erstellt. Von Anfang 1997 bis Juni 1998 lief der Hauptvortrieb. Die Verkehrsfreigabe erfolgt voraussichtlich im Oktober 1999.

Im Vorfeld dieser Tunnelbaumaßnahme hatte die ARGE die zum damaligen Zeitpunkt bekannten und baustellenerprobten Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung von Sicherungsspritzbeton mit hohen Frühfestigkeiten im Hinblick auf deren Eignung speziell für das Bauvorhaben Schönbergtunnel überprüft. Nach Abwägung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme entschied sich die ARGE für das Trockenspritzverfahren mit werksgemischtem Trockenbeton aus ofengetrocknetem Zuschlag und Spritz-Bindemittel. Das Trockenmaterial sollte von zwei Druckbehältern auf einem LKW mit zwei Dosierblasschnecken verarbeitet werden.

Systemvorteile:

- Spritz-Bindemittel SBM-T gemäß Österreichischer Richtlinie Spritzbeton
 - zuverlässig schnelles Erstarren
 - sowohl hohe Frühfestigkeiten als auch hohe Endfestigkeiten
 - kein Zusatz von Beschleunigern mit wasserlöslichen Alkalien
- werksgemischter Trockenbeton in Großraumsilos auf der Baustelle
 - Trockenbeton auf der Baustelle jederzeit verfügbar
 - hohe, gleichmäßige Betonqualität (Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit, geringe Auslaugraten für Alkalien)
 - witterungsunempfindliche Bevorratung (Feuchtigkeit, Frost)
 - geringer Platzbedarf, keine Materialverluste, kaum Staubentwicklung bei Zwischenlagerung

- Trockenspritzverfahren mit Dosierblasschnecken aus fahrbaren Druckbehältern (LKW-Aufbau)
- große Einsatzflexibilität, zeitversetzt mehrere örtlich getrennte Angriffe mit einer Spritzeinheit bedienbar
- während Bohr-, Spreng- und Schutterarbeiten keine stationäre, maschinelle Spritzeinrichtung vor Ort
- geringer Personalaufwand pro Spritzeinsatz
- Wartung, Verschleiß, Störanfälligkeit des Gesamtsystems gering
- kein Umrüstaufwand für Spritzanlage bei Ortswechsel des Vortriebs
- Gesamtsystem bereits auf Großbaustellen erprobt

Mögliche Systemnachteile:

- Gefahr von Trockenmaterialentmischungen in großen Bevorratungssilos
- bei Verwendung von ofengetrocknetem Zuschlag rel. hohe Staubentwicklung
- beim Trockenspritzverfahren höherer Rückprallanteil im Vergleich zum Naßspritzverfahren
- Spritzbetonmenge pro LKW und Spritzgang begrenzt ($\sim 16 \text{ m}^3$)
- Spritzleistung mit zwei Spritzdüsen pro LKW-Einheit im Trockenspritzverfahren begrenzt ($\sim 10 \text{ m}^3/\text{Std.}$)
- Ofentrocknung des Zuschlags sowie meist größere Transportentfernung für die Gesamtmenge Trockenmaterial erhöhen die Kosten für das Einsatzmaterial

Der Trockenbeton wurde von der Deisl Beton GmbH, Werk Sulzau mit einer rechnergesteuerten Mischanlage aus ofengetrocknetem Zuschlag 0 - 8 mm und Spritz-Bindemittel hergestellt, im Silozug zur Baustelle transportiert und direkt neben dem Ostportal des Tunnels in zwei Großraumsilos mit insgesamt 360 t Fassungsvermögen bevorratet. Über Abzugsschnecken wurde das Trockengemisch in zwei Druckbehälter auf einen LKW verladen, zum jeweiligen Vortrieb transportiert und über Dosierblasschnecken im Trockenspritzverfahren verarbeitet. Mit einem LKW-Spiel konnten mit zwei Spritzdüsen in einer Stunde bis zu 10 m^3 Spritzbeton eingebaut werden.

Als Spritz-Bindemittel wurde der Spritzbetonzement CEM I 32,5 R-SE "Rohrdorf" eingesetzt. Dieser Spezialzement entspricht den Anforderungen der Österreichischen Richtlinie Spritzbeton für Spritz-Bindemittel SBM-T. Er wird aus Portlandzementklinker durch Feinmahlung hergestellt. Er enthält keine chemischen Zusätze zur Beschleunigung des Erstarrungsverhaltens. Somit ist auch im Spritzbeton kein erhöhter Anteil an auslaugbaren Stoffen vorhanden. Gemahlener Portlandzementklinker erstarrt sofort nach Wasserzugabe. Das lösliche C_3A (Tricalcium-

aluminat) des Zementklinkers reagiert mit Wasser und bildet rasch tafelförmige Kristalle (Tetracalciumaluminathydrat), die miteinander verwachsen und dadurch das Erstarren des Bindemittelleims bewirken. Die Geschwindigkeit, mit der diese Reaktion abläuft, wird wesentlich bestimmt durch die Menge an C_3A im Zementklinker und dessen Reaktionsfreudigkeit. Auch die Mahlfineinheit des Zementklinkers und die Temperatur spielt eine Rolle. Sogenannte schnelle Zementklinker erstarren bei 20 °C innerhalb von 20 - 120 Sekunden nach Wasserzugabe. Bei sehr niedriger Materialtemperaturen verzögert sich der Erstarrungsbeginn um 30 - 60 Sekunden. Für das Aufbringen von Spritzbeton in größeren Schichtstärken, insbesondere über Kopf werden besonders rasch erstarrende Bindemittel benötigt. Wenn die Reaktionsfähigkeit des Klinker- C_3A hierfür nicht ausreicht, kann durch chemische Zusätze das Abbindeverhalten beschleunigt werden. Erstarrt andererseits ein Zementklinker zu schnell - mit der Folge eines sehr hohen Rückprallanteils beim Spritzbeton - läßt sich wie für die Herstellung von Normzement die Abbindegeschwindigkeit durch Zumahlung von Calciumsulfat (Gips, Anhydrit) abbremsen. Die Festigkeitsentwicklung dieser Spritz-Bindemittel erfolgt wie bei den Normzementen durch Reaktion der C_3S - bzw. C_2S -Phasen (Calciumsilikat) mit Wasser.

Für die Spritzbetonarbeiten am Schönbergtunnel wurden insgesamt 75.000 t Trockenbeton angeliefert. Die geforderten Spritzbetongüteklassen wurden sicher erreicht. Die Frühfestigkeiten des jungen Spritzbetons waren bereits nach 5 - 10 Minuten mit 0,5 - 1 N/mm² sehr hoch (Bereich J₃ der Ö-Rili Spritzbeton). Auch bei sehr niedrigen Temperaturen im Winter konnte über Kopf der erforderliche Sicherungsbeton problemlos in einem Arbeitsgang aufgespritzt werden.

Die Wasserundurchlässigkeit wurde an Bohrkernen nachgewiesen.

Das Fassungsvermögen der beiden Druckbehälter auf dem LKW reichte mit ca. 16 m³ Spritzbeton jeweils für einen 2 - 3 m langen Abschlag aus. Mit zwei Spritzdüsen konnte die erforderliche Betonmenge im Regelfall innerhalb einer Stunde verarbeitet werden. Die besondere Wirtschaftlichkeit dieses mobilen Spritzsystems bestand darin, daß bei zwei parallel laufenden Vortriebsabschnitten mit einer durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeit von jeweils 11 m pro Tag für alle anfallenden Spritzbetonarbeiten auf der Baustelle nur ein "Spritz-LKW" benötigt wurde. Die Vortriebe wurden zeitlich gestaffelt mit Spritzbeton versorgt.

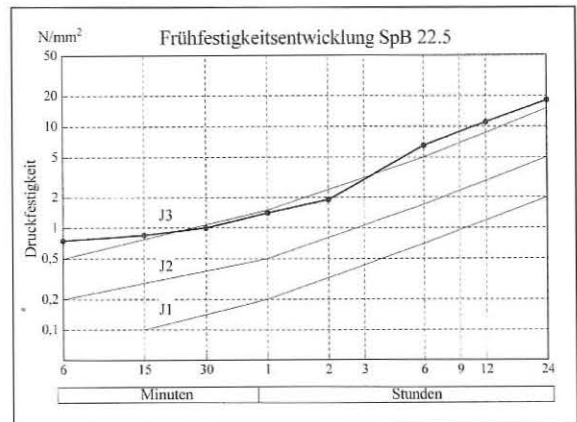


Bild 2: Frühfestigkeitsentwicklung des Trocken-spritzbetons am Schönbergtunnel

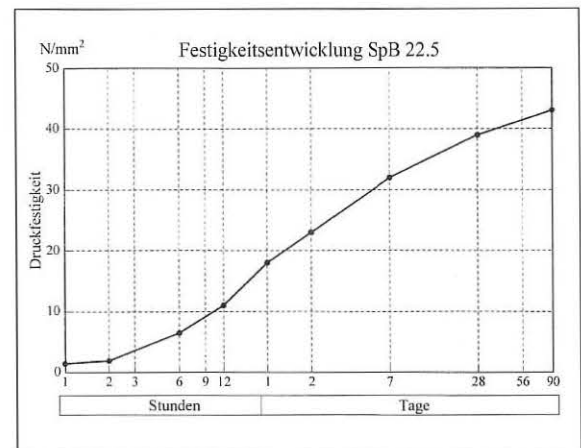


Bild 3: Druckfestigkeitsentwicklung des am Schönbergtunnels eingesetzten Trocken-spritzbetons mit werksgemischtem Trockenbeton

Bei längeren Unterbrechungen an einem der Hauptvortriebe konnte ohne großen Umrüstaufwand auf einen anderen Angriff gewechselt werden. Die Störanfälligkeit des Gesamtsystems Baustoff + Spritzanlage war gering, ebenso der Aufwand für Wartung und Verschleiß.

Systemeigenschaften, die bei den Vorüberlegungen 1996 als Nachteil bewertet worden waren, erwiesen sich auf dieser Tunnelbaustelle als unproblematisch:

- Die befürchteten Entmischungen des Trockenbetons durch Zwischenlagerung in Großsilos konnten mit gezielten Bevorratungsmaßnahmen weitgehend verhindert werden.
- Durch den vorhandenen Erkundungsstollen wurde während der Trockenspritzarbeiten der im Arbeitsraum vor der Ortsbrust anfallende Feinstaub in Vortriebsrichtung - von der Mannschaft weg - abgesaugt. Die Staubkonzentration in der Atemluft

während des Spritzens konnte dadurch wesentlich reduziert werden. Schon kurz nach Spritzende war die Luft im Vortriebsbereich wiederum nahezu staubfrei.

Bei einer Bewertung der Bauarbeiten knapp 1 Jahr nach Beendigung des Vortriebs kam der verantwortliche Bauleiter zu dem Ergebnis, daß im Hinblick auf den Entwicklungsstand der Spritzbetontechnologie im Jahr 1996 das damals gewählte Spritzbetonkonzept für den Schönbergtunnel sowohl technisch als auch kaufmännisch die richtige Problemlösung gewesen war.

In den letzten Jahren sind bei fast allen Spielarten der Spritzbetonherstellung und -verarbeitung sowohl auf

der Betonseite als auch an der Anlagentechnik wesentliche Verbesserungen erzielt worden. Daraus ergeben sich für die unterschiedlichen Verfahren neue Anwendungsmöglichkeiten und unter Berücksichtigung der jeweiligen Baustellengegebenheiten neue Wirtschaftlichkeitsüberlegungen.

Beim Trockenspritzverfahren mit Trockenbeton konnten vor allem durch Weiterentwicklungen im Bereich der Wasserzugabe sowie durch den Einsatz von Betonzusatzstoffen Rückprall und - künftig im Hinblick auf den Arbeitsschutz besonders wichtig - Staubentwicklung nachhaltig reduziert werden. Dadurch wird das Trockenspritzen auch weiterhin für viele Anwendungsfälle ein konkurrenzfähiges Verfahren sein.



Bild 4: Vorratssilos und Spritzanlage vor dem Tunnelportal