
SPRITZBETON AUS AUFBEREITETEM TUNNELAUSBRUCHSMATERIAL MIT REDUZIERTEM VERSINTERUNGSPOTENTIAL AM BEISPIEL DES BAULOSES KAT2

SPRAYED CONCRETE WITH RECYCLED EXCAVATION MATERIAL WITH REDUCED CALCITE PRECIPITATION CAPACITY ON CONSTRUCTION LOT KAT2

Rene **Stelzer**, Nievelt Labor GmbH, Stockerau, Österreich
Guido **Egger-Cresnik**, Materialprüfanstalt Hartl GmbH, Wolkersdorf, Österreich
Hanns **Wagner**, ÖBB Infrastruktur AG, Graz, Österreich

Bei den Vortriebsarbeiten des ca. 1000 m langen Rettungsraums des Koralmtunnels samt zugehörigen Querschlägen ist als Stützmittel ein Spritzbeton mit aufbereitetem Tunnelausbruchsmaterial vorgesehen.

Die vor Ort aufbereitete Gesteinskörnung weist einen hohen Wasseranspruch auf. Die langen Transportwege und Vortriebsarbeiten machen den Einsatz eines Betons mit einer Verzögerungszeit von 6 h notwendig. Zusätzlich zu diesen erschwerenden Randbedingungen herrschen beim Einbau Lufttemperaturen von ca. 25 – 35 °C, die gemeinsam mit Schichtsilikaten in den Gesteinskörnungen, einen unerwünschten Konsistenzverlust des Betons verursachen.

Auf Grundlage der ermittelten Prüfergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass das Versinterungspotential der eingesetzten Mischung mit 0,70 kg/to zielsicher erreicht werden kann.

For the 1000 m underground emergency stop of the Koralmtunnel including the cross-passages a shotcrete with crushed excavated material was designed. The concrete type according to the Austrian Guideline for Shotcrete is defined as:

SpC20/25/II/J2/XC4/GK8/RV0,7/VV6

At first due to considerations concerning material management it was decided to use an external delivered sand 0/4 and course crushed excavated material. During the further process 100 % crushed excavated material (aggregates 0/3, 3/8) was used.

High water consumption due to aggregates including mica shists, long retardation times (because of long transport distances) and high ambient temperature of 25 to 35 °C called for a special admixture concept.

On the basis of the test results it may be expected, that the reduced calcite precipitation capacity of 0,70 kg/to will be reached.

1. Einleitung

Der 32,9 km lange Koralmtunnel ist das Herzstück der neuen Baltisch-Adriatischen Achse – der Hochleistungsstrecke zwischen Ostsee und Adria – und verbindet in Österreich die

Städte Graz und Klagenfurt. Das Konzept des Koralmtunnels sieht zwei getrennte jeweils eingleisige Fahrtunnelröhren vor. Verbunden werden die Röhren durch Querschläge, welche alle 500 m angeordnet sind. Das Kernstück des Tunnelsicherheitskonzepts bildet ein rund 1 km langer Rettungsraum im Bereich der Nothaltestelle in der Mitte des Tunnels, welche zwischen und parallel zu den Haupttunneln zyklisch (NÖT) aufgeföhren wird [1].

Die Nothaltestelle ist im Kristallinkomplex der Koralpe situiert. Die Überlagerung beträgt in diesem Bereich rund 1200 m. Gesteine der Feinkorngneisfolge prägen den Bereich. Neben den dominierenden Feinkorngneisen treten untergeordnet Quarzit, Glimmerschiefer, Schiefergneis, Marmor und Amphibolit auf. Die Gesteine sind überwiegend bankig bis massig und unverwittert. Die Schieferungsflächen streichen überwiegend spitzwinkelig bis schleiend zur Tunnelachse und fallen häufig flach gegen die Vortriebsrichtung ein. Steil stehende Kluft- und Harnischflächen streichen parallel bis spitzwinkelig bzw. senkrecht zur Tunnelachse [2].

Der Rettungsraum der Nothaltestelle hat eine Gesamtlänge von rund 981 m und ist mittig zwischen den beiden Fahrtunnelröhren situiert, welche einen Achsabstand von rund 50 m haben. Neben dem Rettungsraum besteht die Nothaltestelle aus fünf Querschlägen und 16 Fluchtstollen. Die Projektbeteiligten finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Bautafel

Auftraggeber: ÖBB-Infrastruktur AG
Ausführung: ARGE Koralmtunnel KAT2: Strabag AG & Jäger Bau GmbH
Baustellenlabor: ARGE TPT: Nievelt, Hartl, TPA
Örtliche Bauaufsicht KAT2: 3G, ILF, IGT

2. Problemstellung

Beim zyklischen Vortrieb des Rettungsraums soll als Stützmittel u. a. ein Spritzbeton mit aufbereitetem Ausbruchmaterial (ATA) verwendet werden. In den Technischen Vertragsbestimmungen des Bauvertrags ist dazu eine Richtrezeptur vorgegeben, welche vorab im Rahmen der Ausschreibungserstellung mittels Versuchen getestet wurde. Die mineralogische Zusammensetzung (Schichtsilikate) der aufbereiteten Gesteinskörnung, sowie die Kornform (Kantkorn) erfordern in der Ausgangsmischung des Spritzbetons einen höheren Wasseranspruch. Der Gesamtwassergehalt beträgt bis zu 220 kg/m³. Dazu kommt die Interaktion (Adsorption) der Schichtsilikate (im Wesentlichen Glimmerminerale Muskovit, Biotit) mit dem PCE-Zusatzmittel sowie die hohen Umgebungstemperaturen (Felsursprungstemperaturen 28-32°C) im Bereich des Rettungsraumes aufgrund der hohen Überlagerung von 1200 m. Die Rahmenbedingungen (Anlieferung des Spritzbetons bis zu 15 km in den Tunnel) und die dadurch erforderlichen bis zu 6 Stunden Verarbeitungszeit, können zu einem erhöhten, unerwünschten Konsistenzverlust führen. Die Kernfeuchte liegt unter 1% (ca. 0,5 %) und zeigt keinen wesentlichen Einfluss auf die Betoneigenschaften.

3. Überlegungen und Rezeptfindung

Unter Berücksichtigung der bisherigen Optimierung der Betonzusammensetzungen des Tübbing-Betons und Innenschalenbetons [3] des ATA im Baulos KAT2, konnte relativ rasch eine Abschätzung für den Spritzbeton getroffen werden. Zusätzlich wurde vortriebsbedingt mehr Ausbruchmaterial aus dem Bereich mit überwiegend Feinkorngneis gewonnen und nicht – wie zu Beginn der Vortriebsarbeiten – dominierend Glimmerschiefer und Schiefergneise. Dies führte zu einer fortschreitenden Verbesserung der mineralogischen Eigenschaften des ATA.

Zu Beginn wurde aus materialwirtschaftlichen Überlegungen noch ein Gemisch aus extern angeliefertem Sand 0/4 und aufbereitetem Tunnelausbruchsmaterial 3/8 verwendet. Nachdem sich diese Mischung auch unter Vortriebsbedingungen als robust erwiesen hat, wurde in Abstimmung mit den Beteiligten auf der Baustelle vereinbart, Spritzbeton mit 100% Ausbruchsmaterial (ATA) (Körnung 0/3, 3/8) einzusetzen. Bild 1 zeigt die 4 aufbereiteten Fraktionen, die in der auf der Baustelleneinrichtungsfläche situierten Kiesaufbereitungsanlage hergestellt werden. Die Kornformen sind über die gesamte Aufbereitungszeit sehr gut und liegen im Mittel (> 50 Ergebnisse) im Bereich von S_6 bis S_9 für alle Fraktionen, mit einzelnen Ausreißern nach oben.



Bild 1: Aufbereitetes Tunnelausbruchsmaterial (ATA)

Auf Grundlage des Bauvertrags, der versinterungsarmen Zusammensetzung von erprobten Rezepten mit natürlichen Gesteinskörnung und unter Berücksichtigung der schwankenden Mineralogie der Gesteinskörnung wurde in Labor- und Feldversuchen eine stabile Mischung mit guter Verarbeitbarkeit im Hinblick auf Zähigkeit, Mehlkorngelalt (550 kg/m^3) und Konsistenz entwickelt (Tabelle 2). Um den Konsistenzverlust entgegenzuwirken, wurde ein Fließmittelkonzept auf Basis eines Standard Fließmittels auf PCE Basis und einer speziellen Haltekomponente (Glimmerdeaktivator) entwickelt. Der Glimmerdeaktivator dient zur Verminderung der Adsorption des Fließmittels durch Schichtsilikate [4]. Die Gesamtsieblinie (Bild 2) des Spritzbetons mit 100 % Ausbruchsmaterial wurde im Sandbereich im Wesentlichen gemäß dem günstigen Bereich der Richtlinie Spritzbeton ausgelegt.

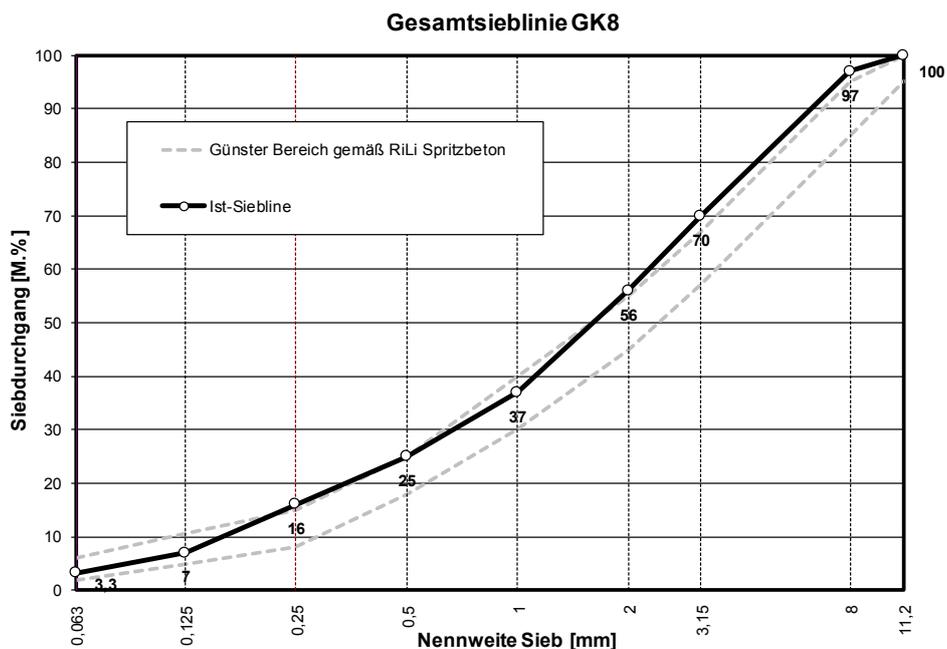


Bild 2: Gesamtsieblinie des Spritzbetons mit 100 % Ausbruchsmaterial

Da der erhöhte Wasseranspruch zu einer Erhöhung des W/B-Wertes und damit zu einer Verringerung der Frühfestigkeit und Endfestigkeit führt, wurde der Klinkergehalt um 40 kg (14%), gegenüber der Standardrezeptur eines Spritzbetons erhöht. Dies erweist sich jedoch für die Versinterung als Nachteil, da sich der Gehalt an lösbarem Ca(OH)₂ im Beton und damit das Auslaugpotential erhöht.

Tab. 2: Rezeptentwicklung Spritzbeton C20/25/II/J2/XC4/GK8/RV0,7/VV6 [kg/m³ (3% LP)]

	Standardrezeptur SpC	SpC Rezept Gesteinsgemisch	ATA SpC Richtrezept Bauvertrag	ATA SpC Optimiertes Rezept
CEM I 52,5R	280	280	340 (330-360)	320
AHWZ	140	140	110	110
Gesamtwasser	200	210	-	220
Wirksamer Wassergehalt	200	210	210	210
Rundkorn 0/4	70 %	68 %	-	-
Rundkorn 4/8	30 %	-	-	-
ATA 0/3	-	-	75 %	70 %
ATA 3/8	-	32 %	25 %	30 %
Mehlkorngehalt	540	540	580 - 610	550
Zusatzmittel	FM, LP, VZ	FM, LP, VZ	BV, VZ	FM, LP, VZ, + Glimmerdeaktivator
MasterRoc SA193 [%-BM]	6 – 8 %	6 – 8 %		6 – 8 %

ATA Aufbereitetes Tunnelausbruchsmaterial

Weitere Optimierungen mit anderen Bindemitteln bzw. Füllern wurden aufgrund des befristeten Einsatzes nicht näher betrachtet.

4. Ergebnisse der Betonprüfungen

Der Spritzbeton wurde über den Zeitraum von ca. 6 Monaten täglich eingesetzt und geprüft. Als Spritzeinrichtung wurde eine SPM 500 eingesetzt.

Tab. 3: Prüfergebnisse (Entnahme Einbaustelle) Mittelwerte und Bandbreite

		ATA SpC Optimiertes Rezept
Konsistenz (Ausbreitmaß)	cm	65 (47 – 70)
Konsistenzverlust	cm	5-12 cm (10 min bis 6 Stunden)
Gesamtwassergehalt	kg/m ³	208 (198 – 225)
Druckfestigkeit (Bohrkern 28d)	N/mm ²	37 (32 – 42)
Druckfestigkeit (Bohrkern 56d)	N/mm ²	45 (38 – 48)
Versinterungspotential (56d)	kg/to	0,58 (0,54 – 0,63)
Wassereindringtiefe (Bohrkern 56d)	mm	11 (7 – 16)

Die tatsächliche Verarbeitung lag in der Regel bei 2 – 4 Stunden nach Betonherstellung. Aufgrund des Luftgehaltes und ausreichenden Mehlkorngeltes war die Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit gegeben. Der Sandanteil musste aufgrund Schwankungen im Feinteilgehalt geringfügig angepasst werden. Die Ergebnisse aus Tabelle 3 entsprechen den technischen Anforderungen und zeigen nur wenige Abweichungen.

5. Statistik Versinterungspotentiale

Die Grafik in Bild 3 zeigt Vergleichs-Daten verschiedener aktueller Tunnelbaulose (ca. 250 Prüfwerte) in Österreich. Anhand der Statistik kann gezeigt werden, dass mit dem Standard-SpC ein RV-Wert von 0,65 kg/to unter Berücksichtigung der 95%-Fraktile eingehalten werden kann. Bei Normalverteilung liegen 5% der Ergebnisse über 0,65 kg/to. Der mit ATA hergestellte optimierte SpC aus dem Baulos KAT2 kann das RV 0,70 und die 95% Fraktile knapp einhalten. Bei einer Gegenüberstellung von RV mit dem Klinkergehalt zeigt sich, dass die Auslaugung mit steigendem Klinkergehalt im direkten Zusammenhang steht.

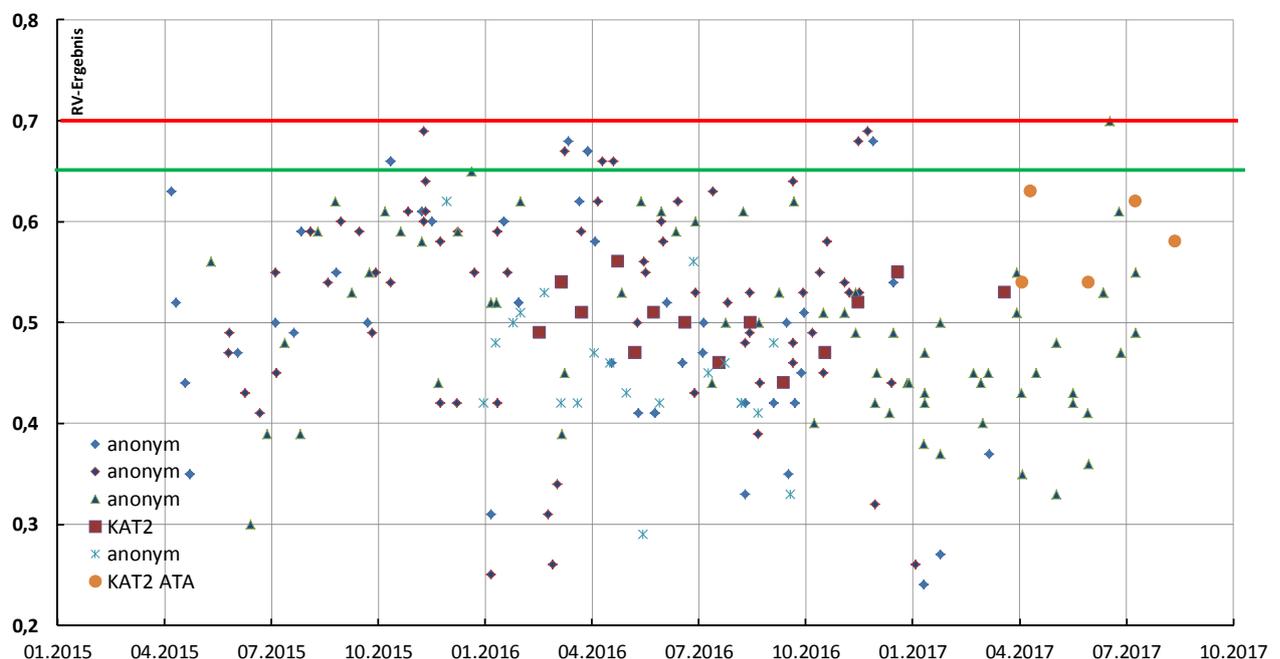


Bild 3: Statistische Verteilung Versinterungspotentiale 2015-2017 österreichischer Tunnels

6. Zusammenfassung

Am Baulos KAT2 wurde unter Baustellenbedingungen auf knapp 1000 m Länge gezeigt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, einen zyklischen Vortrieb mit einem versinterungsarmen Spritzbeton (mit erhöhtem Klinkeranteil) aus aufbereitetem Tunnelausbruchsmaterial herzustellen. Die vertraglichen Anforderungen konnten durch die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten dadurch erfüllt werden.

7. Literatur

- [1] Neumann, C., Diernhofer, F., Sommerlechner, C., Burghart, M.: Tunnel Safety Concept Koralm Tunnel. Geomechanics and Tunnelling 1 (2008), No. 4, pp. 264-270, Berlin: Verlag Ernst & Sohn.
- [2] Hölzl, H., Pilgerstorfer, T., Uschan, R., Wagner, H., Moritz, B.: Die Nothaltestelle des Koralmtunnels – Geotechnische Planung und Bauausführung. Geomechanics and Tunnelling 1 (2017), Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

- [3] Wagner H.; Stelzer R.; Cresnik G.:
Herausforderungen bei der Betonherstellung mit Tunnelausbruchmaterial am Beispiel Koralmtunnel KAT2. In: ÖBV: Baucongress, Wien 2014.
- [4] Stelzer, R.; Lange A.; Otto, R.; Wagner H.:
Experiences in concrete production using recycled excavated rock material at the Koralmtunnel, KAT2. In: ÖBV: Central European Congress on concrete Engineering, Hainburg 2015.

Zu den Autoren

Dipl.-Ing. Rene Stelzer

Studium Bauingenieurwesen TU Graz, Leiter Zentrallabor Cemex, seit 2011 Projektleiter Arge Tunnelprüftechnik Baulos KAT2, Niederlassungsleiter Steiermark Nievelt Labor GmbH
rene.stelzer@nievelt.at

Dipl.-Ing. Guido Egger-Cresnik

Studium Bauingenieurwesen TU Graz, Universitätsprojektassistent am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz, seit 2011 Technologie bei der Materialprüfanstalt Hartl GmbH, stv. Projektleiter der ARGE Tunnelprüftechnik Baulos KAT2
cresnik@hartl-mpa.com

Dipl.-Ing. Hanns Wagner

Studium Bauingenieurwesen TU Graz, seit 2007 Fachreferent für Tunnelbau bei der ÖBB-Infrastruktur AG, Geschäftsbereich Streckenmanagement und Anlagenentwicklung, Fachbereich Bautechnik
hanns.wagner@oebb.at