
EINSATZ VON OFENTROCKENEM BEREITSTELLUNGSGEMISCH ZUR HERSTELLUNG EINES NASSSPRITZBETONS IM HINBLICK AUF DIE VERSINTERUNGSPROBLEMATIK BEIM BAU DES FLUCHTSTOLLEN SÜD DES GRENZTUNNEL FÜSSEN / REUTTE

THE USE OF OVEN-DRY PREMIX FOR THE PRODUCTION OF WET-MIX SHOTCRETE TO REDUCE THE PRECIPITATION IN THE TUNNEL DRAINAGE SYSTEM. A CASE STUDY FROM THE EMERGENCY GALLERY SOUTH OF THE TUNNEL FÜSSEN / REUTTE

Ing. Thomas **Längle**, Jäger Bau GmbH, Schruns, Österreich
Ing. Gerold **Schennach**, Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils, Österreich
Dr. Andreas **Saxer**, Arbeitsbereich Materialtechnologie, Universität Innsbruck, Österreich

Um der neuen Richtlinie RABT 2006 zu entsprechen, muss der 1,28 km lange deutsch-österreichische Grenztunnel Füssen am Südende der geplanten A7 Würzburg – Ulm – Reutte mit entsprechenden Fluchtmöglichkeiten adaptiert werden. Dafür wird der 1999 eröffnete Straßentunnel mit einem zusätzlichen 560 m langen Fluchtstollen und regelmäßig ausgeführten Querschlägen nachgerüstet.

Aufgrund der starken Versinterungsneigung am Haupttunnel verlangt der Bauherr Maßnahmen zur Herabsetzung des Anteils an auslaugbaren Stoffen wie z.B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bei den verwendeten Baustoffen. In Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck wird die Spritzbetonrezeptur, als wirksamste Maßnahme, durch die Verwendung von einem entsprechenden Bindemittelgemisch optimiert.

Zur Bewältigung des Sprengvortriebs wird die „versinterungsarme“ Grundmischung als werksgemischter Trockenbeton zur Baustelle geliefert und beim Siloaustrag zu einem Nassmischgut verarbeitet. Nach dem Transport in den Tunnel erfolgt die Herstellung des Nassspritzbetons unter Zugabe von alkalifreiem EB-Mittel an der Düse.

In order to comply with the provisions of the 2006 RABT Directive, a 560 m rescue tunnel with crossways to the main tunnel must be added to the 1.28 km cross-border road tunnel between Germany and Austria in Füssen at the southern end of the planned A7 Würzburg–Ulm–Reutte motorway.

In view of strong sinter tendency observed in the main tunnel, the client demanded a reduction of leachable substances such as $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the construction materials. In collaboration with the University of Innsbruck the mix design for the shotcrete was modified by the use of an appropriate binder mixture as the most effective measure for achieving the desired goal.

For the drill-and-blast tunneling, the low-leaching shotcrete mixture is transported to the site as a dry mix. After extraction from the silo and mixing with water, a wet mix is produced. The required acceleration of the shotcrete is achieved through the addition of an alkali-free accelerator at the nozzle.

1. Einleitung

Der seit dem Jahre 1999 zum Verkehr freigegebene 1,28 km lange Grenztunnel Füssen bildet den Lückenschluss zwischen dem deutschen und österreichischen Nord-Süd Fernstraßennetz und liegt zu 73% auf deutschem und zu 27% auf österreichischem Staatsgebiet. Der Grenztunnel Füssen befindet sich in den nördlichen Kalkalpen mit den typischen Gesteinen der Partnachsichten, des Wettersteinkalk/-dolomit und Hauptdolomit. Er durchörtert den sog. Falkensteinzug mit den Gebirgszügen Vilser Berg und Burkenbichl und dem dazwischen liegenden Faulenbachtal. Typisch für solche geologischen Verhältnisse ist das Auftreten von Bergwässern, die sehr hohe Härte aufweisen können.

Die Errichtung des Fluchtstollens Süd stellt eine Sicherheitserweiterung im Sinne der Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln [1] dar und ist Teil des Nachrüstprogramms des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBW). Diese Richtlinie sieht unter anderem vor, dass Tunnel ab einer Länge von ≥ 400 m mindestens alle 300 m mit einem Notausgang ausgestattet sein müssen. Dieser Notausgang muss entweder

- a) ins Freie
- b) direkt in die benachbarte Tunnelröhre
- c) über Querschläge in die benachbarte Tunnelröhre
- d) zu Rettungsschächten oder
- e) zu Rettungstollen

führen.

2. Tunnelprojekt

Die Autobahndirektion Südbayern beauftragte im Namen der Bundesrepublik Deutschland im Frühjahr 2008 die Jäger Bau GmbH mit den Bauarbeiten zur Herstellung des Fluchtstollens Süd des Grenztunnels Füssen/Reutte. Die Kosten der Baumaßnahme werden entsprechend den auf dem jeweiligen Staatsgebiet liegenden Anteilen von Deutschland und Österreich getragen.

Der südliche Fluchtstollen liegt hauptsächlich in teils zerklüfteten und teils verkarsteten Wettersteinkalken/-dolomiten und den Partnachsichten. Die maximale Überlagerung beträgt etwa 210 m im Süden und ca. 120 m beim Querschlag 1 im Norden.

Der Fluchtstollen wurde gänzlich im fallenden Vortrieb (0,5 – 2%) von österreichischer Seite aus aufgeföhren. Der Stollen ist rund 560 m lang und wurde dreimal mittels 36 – 40 m langen Querschlägen an die Hauptröhre angebunden. Das endgültige Lichtraumprofil liegt bei 2,25 x 2,25 Metern, woraus ein Ausbruchsquerschnitt von ca. 13,5 m² resultiert. Der bestehende nördliche Fluchtstollen wurde um einen zusätzlichen Querschlag erweitert.

Der Fluchtstollen und die Querschläge wurden in geschlossener, zyklischer Bauweise, als zweischalige Konstruktion mit einer bewehrten Außenschale aus Spritzbeton, einer bewehrten Spritzbetoninnenschale und einer dazwischen liegenden Sickerschicht hergestellt. Zur Vermeidung des Aufbaus eines Wasserdrucks wurde die Außenschale im Raster von 3 x 3 m perforiert und in Höhe der Ulmendrainagen im Längsabstand von 2 m eine Entwässerungsbohrung gesetzt. Die Sohle wurde eben hergestellt, und besteht aus einer Sohlplatte und einer darauf liegenden, durch eine horizontale Trennschicht geteilte, Gehwegplatte.

Die Bergwasserströmung verläuft von West nach Ost, was aus den unterschiedlichen Schüttungen der Tunnel drainagen abzuleiten ist. Der Fluchtstollen liegt im oberstromigen Bereich. Der Bergwassereintrag im Vortrieb wurde als nicht unerhebliche Dauerschüttung (bis zu max. $Q_{\text{Ges,Portal}} = 5 \text{ l/s}$) registriert. Über die Vortriebsentwicklung wurde ein Anstieg der Schüttung von ca. 1 l/100 m verzeichnet. Der Wettersteinkalk des Vilser Berges stellt sich als Kluft- und Karstwasserleiter dar.

2.1 Versinterung in der Drainage des Haupttunnels

Im Zuge eines Forschungsprojektes über die Härtestabilisierung von Bergwässern in Tunnel drainagen [2] wurde unter anderem die Drainage des Grenztunnels Füssen untersucht. In dieser Drainage wird auch seit Längerem bereits der Einsatz von PASP zur Härtestabilisierung angewendet [3]. Der Einsatz von Härtestabilisierung ist notwendig, da an einer Stelle der Tunnel drainage eine Mischung von alkalischem Wasser aus einer Stichleitung vom Injektionsschleier und dem Bergwasser in der Tunnel drainage stattfindet. Die Folge davon ist eine starke Versinterung, die ohne Härtestabilisierung zum Vollverschluss der Drainage führt. In Bild 1 ist die Sinterbildung in der Drainage ersichtlich.



Bild 1: Versinterungen im Einlaufbereich der Stichleitung vom Injektionsschleier [2]

Diese Untersuchung unterstreicht die Tatsache, dass eine Wechselwirkung von alkalischem Wasser (über Lösung von Kalkhydrat) mit dem, geogen bedingt, harten Bergwasser durch Änderung des pH-Werts und damit verbunden des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts zur Abscheidung von Kalziumkarbonat (Kalkstein) führt. Es sollten also Maßnahmen getroffen werden, um den Kalkhydratgehalt der zementgebundenen Baustoffe, im vorliegenden Fall insbesondere des Spritzbetons, zu reduzieren. Dies kann durch entsprechende Zusammensetzung des Bindemittels beeinflusst werden, insbesondere durch Ersatz des Klinkeranteils und Verwendung von hydraulisch reaktiven Zusatzstoffen (aufbereiteter Hüttensand, Flugasche).

In [4] wurde gezeigt, dass die Calcium-Freisetzung von Spritzbeton in Abhängigkeit der Bindemittel-Zusammensetzung bis zu einem Faktor 10 (z.B. SBM bei Trockenspritzbetonen) größer ist als bei karbonatischem Zuschlag. Da das Calcium im Wesentlichen von der Lösung des Kalkhydrats aus dem Zementstein stammt, kann durch Aufnahme von CO_2 Calciumkarbonat ausfallen und zu Versinterungen führen. Dazu kommt noch das bereits erwähnte Versinterungspotential aus der pH-Wert Erhöhung und Änderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts.

3. Spritzbeton

In der Ausschreibung wurden folgende wesentlichen Anforderungen an den Spritzbeton gestellt:

- Alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger (EB-AF) mit einem Na_2O -Äquivalent im Spritzbeton unter 1,0 M.-%
oder
- Spritzzemente ohne Erstarrungsbeschleuniger mit einem Na_2O -Äquivalent unter 1,5 M.-% vom Zement
- Festigkeitsklasse C 20/25
- Karbonatfreie Zuschläge ohne Kalkstein und ohne Dolomit

Hinsichtlich Festigkeit wurde gefordert, dass der Druckfestigkeitsverlust zwischen Spritzbeton mit Beschleuniger und dem Nullbeton bei der 28-Tage-Druckfestigkeit 10% nicht überschreitet.

Besonders die Forderung von karbonatfreiem Zuschlag stellte ein sehr großes Problem dar, da in weitem Umkreis ein solcher (geeigneter) Zuschlag nicht verfügbar ist. Bei den vorliegenden Bergwasserverhältnissen trägt allerdings ein karbonathaltiger Zuschlag nicht zur Versinterungsbildung bei, sondern ist vielmehr der Kontakt des Bergwassers mit dem Spritzbeton und damit die Freisetzung von Kalkhydrat ein wesentlicher Mechanismus für die Versinterung (siehe Ausführungen unter Pkt. 2.1).

Mit dem Bauherrn wurde vereinbart, dass ein karbonathaltiger Zuschlag (calcitisch-dolomitisch) verwendet wird und Maßnahmen hinsichtlich Bindemittelzusammensetzung getroffen werden.

Um also eine Reduktion des Kalkhydrats im Zementstein zu erzielen, wurde ein AHWZ (aufbereiteter hydraulisch wirksamer Zusatzstoff nach ÖNORM B 3309) mit einem CEM I 52,5 in folgender Bindemittelzusammensetzung gewählt:

- 300 kg/m^3 CEM I 52,5
- 120 kg/m^3 AHWZ

Als Zuschlag wurde heimischer Kalkdolomit mit Größtkorn 8 mm verwendet. Der W/B-Wert betrug 0,45.

3.1 Herstellung des Spritzbetons

Für die Herstellung des Spritzbetons galt es zu beachten, dass eine Versorgung mit Beton mittels üblichen Mischwägen aufgrund des Querschnitts bis zum Einbauort nicht möglich war und dass Einzelchargen bis max. 4 m^3 rund um die Uhr zur Verfügung stehen mussten. Aufgrund dieser Anforderungen, einer prognostizierten Menge von etwa 2.500 m^3 , der kurzen Bauzeit von rund einem halben Jahr und den sehr beschränkten Platzverhältnissen wurde entschieden, dass ein Nassspritzbeton für die Vortriebssicherung und zur Herstellung der Innenschale verwendet wird. Die Produktion vom Bereitstellungsgemisch für das Nassspritzverfahren erfolgte in der Mischanlage der nahegelegenen Firma Schretter & Cie GmbH & Co KG – Vils. Die Verarbeitung zum tatsächlichen Nass-Mischgut wurde vor Ort direkt am Stollenportal durchgeführt.

Das Fertigmischgut wurde an die Baustelle geliefert und in einem Freifallsilo mit einem Fassungsvermögen von ca. 100 t bzw. 55 m³ gelagert. Der Trockenbeton wurde anfangs mit einer Mischschnecke ausgetragen, mit Wasser benetzt, und in einen tunneltauglichen Nachmischer gefüllt. Der Frischbeton besaß eine Verarbeitungszeit von ca. 90 Minuten.

Schnell wurde erkannt, dass die Gerätekonfiguration für eine max. Verarbeitungszeit von 90 Minuten nicht optimal war und der Durchlaufmischer eine nicht zufriedenstellende Homogenität des Nassgemisches lieferte. Durch die geringe Mischleistung (ca. 6 m³/h) und dem Vorhandensein von nur einem Transportmischer wurde bereits bei kleinen Störungen des „normalen“ Bauablaufs das Verarbeitungszeitfenster von 90 Minuten ausgereizt. Der Durchlaufmischer wurde daher durch einen 1 m³ Zwangsmischer ersetzt sowie ein weiterer Transportmischer eingesetzt, wodurch sowohl ein besseres Mischergebnis als auch eine Betonherstellung mit geringeren Vorlaufzeiten erzielt wurde.

Die Produktion und Anlieferung des Spritzbetons war auf die Leistung der Spritzmaschine abgestimmt, wodurch ein reibungsloser Ablauf sichergestellt werden konnte. Eine intensive und verlässliche Kommunikation zwischen Betonherstellung und Verarbeitung des Spritzbetons war allerdings unerlässlich.

Vor Ort wurde der Beton in eine Rotorspritzmaschine aufgegeben und im Dünnstromverfahren mittels eines kleinen Spritzroboters auf die Laibung aufgebracht (Bild 2). Der Spritzbetonbeschleuniger wurde direkt an der Düse zugegeben. Zur Erreichung der Frühfestigkeitsklasse J2 war eine Beschleunigerzugabe von im Mittel 6,5 % bezogen auf den Zementgehalt erforderlich.



Bild 2: Auftrag des Spritzbetons mit kleinem Spritzroboter

3.2 Prüfung des Spritzbetons

Obwohl es sich um einen deutsch/österreichischen Grenztunnel handelt, wurden die beton-technologischen Angelegenheiten komplett nach DIN und ZTV-ING abgewickelt, was anfangs einen erheblichen Mehraufwand, durch das Einlesen in die entsprechenden Regelwerke aber auch durch die Prüfhäufigkeiten, verursachte.

Durch die Mischung des Trockenbetons zur Produktion eines Nass-Mischguts war die Baustelle sowohl Hersteller nach DIN 1045-2 als auch Bauausführer nach DIN 1045-3. Durch die DIN 18551 ist generell jeder Spritzbeton überwachungspflichtig und nach der DIN 1045-3 der Überwachungsklasse 2 (ÜK 2) zuzuordnen. Somit war die Baustelle kennzeichnungspflichtig und unterlag der Eigen- und der Fremdüberwachung nach DIN 1045-3 Anhang B bzw. C. Das bedeutete, die Baustelle musste als Erzeuger (Prüfebene 1) folgende Prüfungen durchführen:

a) *Konformitätsnachweis (bestehend aus):*

1. 3 Probekörper aus den ersten 50 m³
2. danach 1 Probekörper / 200 m³ oder 2 / Produktionswoche
3. nach mind. 35 Werten 1 Probekörper / 400 m³ oder 1 / Produktionswoche

mit den zugehörigen Prüfungen

- Würfel ohne EB - Druckfestigkeit
- Wassergehalt Frischbeton
- Frischbeton Rohdichte
- W/B Wert

Als Verwender (Prüfebene 2 und 3) sind folgende Prüfungen nachzuweisen:

b) *Identitätsnachweis (bestehend aus):*

1. 3 Proben je 300 m³ oder 3 Proben je 3 Betoniertage (DIN 1045-3) bzw.
2. 1 Serie je 250 m³ oder 1 Serie je 1.250 m² (DIN 18551)

mit den zugehörigen Prüfungen

- Ausbreitmaß
- Frischbetonrohndichte
- Würfel ohne EB - Druckfestigkeit

zusätzlich bei Spritzbeton (DIN 18551 und ZTV-ING)

- Frühfestigkeit (Bolzensetzverfahren)
- Wassergehalt Frischbeton
- 28 Tage Festigkeit an Bohrkernen

Weiters wurde durch den beauftragten Eigenüberwacher ein QS-Plan für die Baustelle erarbeitet.

4. Spritzbetoneigenschaften

Mit der gewählten Bindemittelzusammensetzung konnte ein sehr „gutmütiger“ Spritzbeton (GK 8 mm) hergestellt werden, der mit sehr geringem Rückprall verarbeitet und mit einem gleichmäßigen, homogenen Spritzbild appliziert werden konnte.

In Bild 3 ist die Frühfestigkeitsentwicklung des Spritzbetons ersichtlich. Die ermittelten Festigkeiten lagen gesichert im Bereich der Festigkeitsklasse J2.

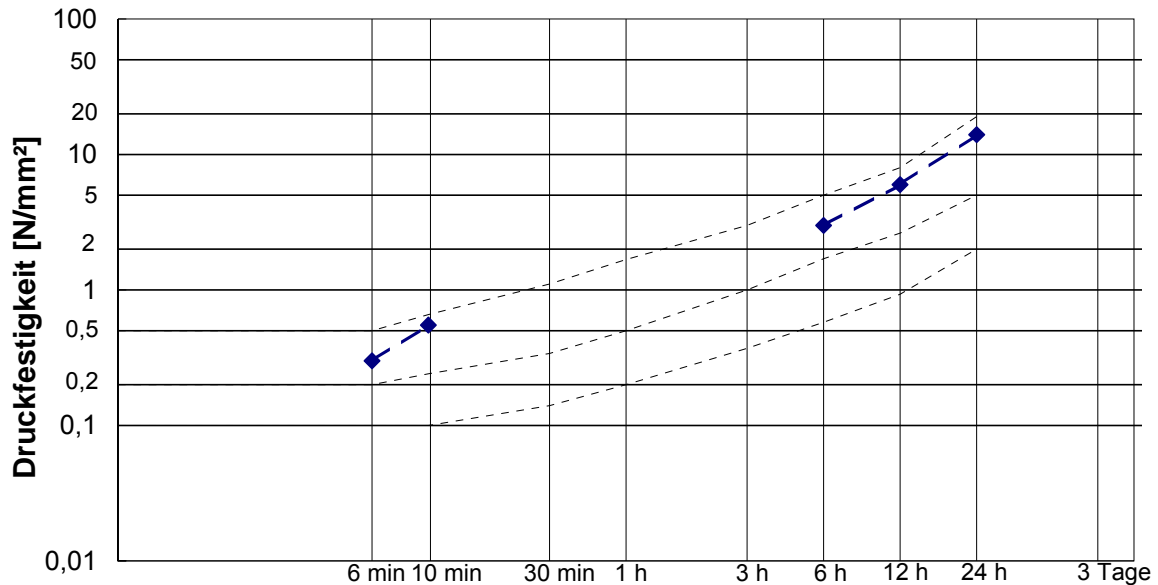


Bild 3: Frühfestigkeitsentwicklung des Spritzbetons; EB-Dosierung 6,5 %

Die 28-Tage-Druckfestigkeiten lagen im Mittel bei 31,5 N/mm².

Der Spritzbeton wurde auch auf das Versinterungspotential untersucht. Dazu wurden Auslaugungen an Bohrkernen durchgeführt, die im Alter von 28 und 56 Tagen sowohl aus einer Spritzkiste als auch aus der Spritzbetonschale entnommen wurden. Für die Auslaugung wurden Bohrkern mit einer Länge von 100 mm und einem Durchmesser von 50 mm herangezogen. Diese Spritzbetonproben wurden in 3 Intervallen zu 24 Stunden, 2 und 5 Tagen bei jeweiligem Wechsel des Auslaugmittels ausgelaut. Als Auslaugmittel wurde entionisiertes Wasser verwendet. Das Masseverhältnis Auslaugflüssigkeit : Spritzbeton betrug 4 : 1. In den Eluaten wurden der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und der Gehalt an Calcium bestimmt.

In Bild 4 sind die Ergebnisse dieser Auslauguntersuchungen dargestellt. Wie ersichtlich weisen die Spritzbetonproben aus der Spritzkiste im Alter von 28 Tagen eine Calcium-Freisetzung von 0,48 kg Calcium/t Spritzbeton auf, die Bohrkern aus der Spritzbetonschale 0,47 kg/t. Im Alter von 56 Tagen reduziert sich dieser Wert auf 0,21 kg/t bzw. 0,23 kg/t, was einer Reduktion der Calcium-Freisetzung von 56 % entspricht. Zu beachten ist die gute Übereinstimmung der Calcium-Freisetzung zwischen Spritzbeton aus der Spritzkiste und der Schale.

Die starke Reduktion der Calciumfreisetzung zwischen 28 und 56 Tagen deutet darauf hin, dass eine entsprechende Reduktion von Kalkhydrat durch puzzolanische Reaktion – und damit verbunden auch eine Gefügeverbesserung - stattgefunden hat. Insgesamt konnte also durch die entsprechende Bindemittelzusammensetzung das Versinterungspotential des Spritzbetons deutlich reduziert werden. Dazu ist weiter anzumerken, dass sicherlich noch eine weitere Optimierung erzielbar wäre, was allerdings in Anbetracht der sehr kurzfristigen Vorbereitungszeiten beim vorliegenden Bauvorhaben nicht möglich war. Auch der Einsatz von weiteren hydraulisch reaktiven Zusatzstoffen, wie z.B. Silikastaub, könnte noch weitere

Verbesserungen bewirken, womit allerdings auch wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen sind.

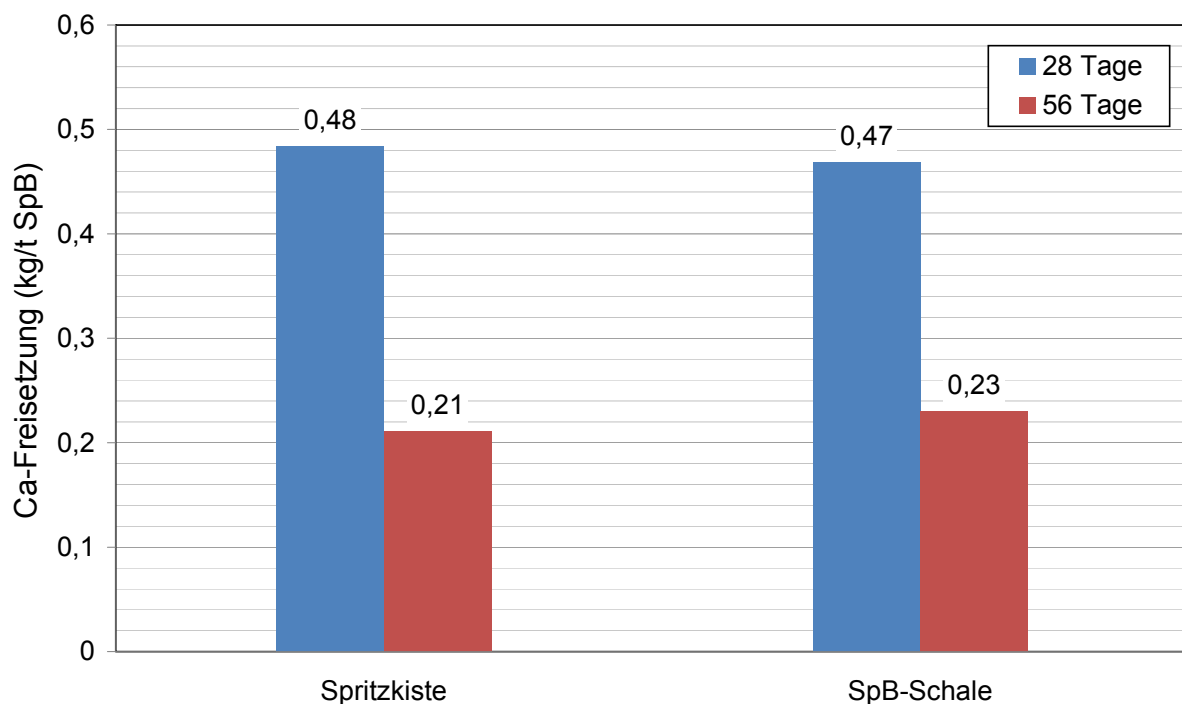


Bild 4: Calcium Freisetzung von Bohrkernen aus der Spritzkiste bzw. Spritzbetonschale

5. Zusammenfassung

Mit der Erhaltung eines Auftrags dieser Art ist die ausführende Firma mit einer nicht zu unterschätzenden Zahl an Aufgabenstellungen und Zwängen konfrontiert, die in möglichst kurzer Zeit und teilweise mit „unkonventionellem“ Gerät bewerkstelligt werden müssen.

Zum Punkt Baupraxis sei angemerkt, dass Vortriebe in kleinen Profilen immer wieder eine Herausforderung darstellen. Es gilt zu beachten, dass Arbeitsabläufe und vor allem die Umstellung von einem zum anderen Vorgang oft umständlicher als bei großen Profilen abgewickelt werden müssen. Abstell- bzw. Ausweichmöglichkeiten sind praktisch nicht vorhanden, die Andienung ist nur im Umfang der beschränkt am Markt vorhandenen Gerätschaften (Bergbau- und Minengeräte) umsetzbar und nur kleine, einfache Bohrwägen und Spritzbetonausrüstungen sind einsetzbar. An inzwischen so selbstverständliche Dinge wie elektronische Bohrleitsysteme, Pumpemulsionssprengstoffe, dichtstrombeschickte Spritzroboter oder Kommunikationseinrichtungen ist meist nicht zu denken.

Speziell die Maßnahmen zur Reduktion des Versinterungspotentials des Spritzbetons stellte keine alltägliche Herausforderung dar. Durch Einsatz eines Bindemittels aus rund 70 % CEM I und 30 % aufbereiteter hydraulisch wirksamer Zusatzstoff (AHWZ) konnte eine deutliche Reduktion der Calcium Freisetzung erzielt werden. Insbesondere im Zeitraum 28 Tage bis 56 Tage Alter des Spritzbetons tritt eine starke Abnahme auf, die auf die hydraulische Reaktivität des Zusatzstoffs zurückzuführen sein dürfte. Es wird dabei sowohl die Reaktion von Kalkhydrat als auch eine dadurch bewirkte Gefügeverbesserung eine Rolle spielen.

Zur Thematik versinterungsarmer Spritzbeton sollte zukünftig bereits im Vorfeld eines Bauvorhabens mehr Information über die hydrogeologischen Verhältnisse bereitgestellt, um frühzeitig eine geeignete Abstimmung der Baustoffe durchführen zu können. Dazu wäre es nützlich, entsprechende Zusammenhänge in den einschlägigen Regelwerken darzustellen [5].

6. Literatur

- [1] RABT:
Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, Pkt. 6.1.3, FGSV, 2006.
- [2] ETH Zürich, Institut f. Bauplanung und Baubetrieb:
Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Wirtschaftliche und technische Möglichkeiten der Härtestabilisierung des Bergwassers in Entwässerungsanlagen von Tunneln der Schnellbahnstrecken bei DB Netz“. Auftraggeber: Deutsche Bahn AG, 2008.
- [3] Mitteilung der UCM Heidelberg GmbH.
- [4] Saxer, A.; Draschitz, Ch.:
Versinterungsproblematik der Tunnel drainagen – Einfluss zementgebundener Tunnelbaustoffe. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton Technologie 2006, Alpbach, 2006.
- [5] ÖVBB:
Richtlinie Ausbildung von Tunnelentwässerungen. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, Ausgabe Juni 2003.

Die Autoren

Ing. Thomas Längle

HTL - Rankweil Fachrichtung Tiefbau, seit 1995 Jäger Bau GmbH, Bauleitungen im Bereich Untertagebau, Projektbearbeitung, Kalkulation Untertagebau
t.laengle@jaegerbau.com

Ing. Gerold Schennach

HTL - Innsbruck Fachrichtung Tiefbau, seit 1988 Schretter & Cie GmbH & Co KG, Materialtechnologe für Anwendungstechnik, Tunnelbau, Spezialbaustoffe und Projektbearbeitung
gerold.schennach@schretter-vils.co.at

Dr. Andreas Saxer

Gelernter Physiker mit Nebenfach physikalische Chemie, seit 1990 an der Baufakultät der Universität Innsbruck mit Tätigkeit in den Bereichen Baustoffe und Bauchemie, Ass.-Prof. im Arbeitsbereich Materialtechnologie
andreas.saxer@uibk.ac.at