
Beschleunigerfreie Werkrockengemische auf Basis Schnellzement im Tunnelbau

DRY MIXES WITHOUT ACCELERATOR ON THE BASIS OF RAPID-SETTING CEMENT IN TUNNELING

DR. RUDOLF RÖCK, SCHRETTNER & CIE, PORTLAND ZEMENT- UND KALKWERK, VILS/TIROL

Das seit nunmehr acht Jahren im Sanierungsbereich bewährte patentierte Schnellbindemittel auf Basis eines speziellen Portlandzements findet nunmehr auch Eingang in die moderne Spritzbetontechnik im Tunnelbau.

Anhand von Praxisbeispielen werden die hierzu notwendigen Neuerungen maschinentechnischer Art vorgestellt und erläutert. Dazu gehören die Anlieferung im Silo-LKW, die staubfreie und vollautomatisierte Förderung aus dem Silo zur Spritzdüse sowie Staubminderungsmaßnahmen an der Düse.

Die Vorteile dieses Entwicklungsschrittes liegen sowohl in der Logistik als auch in der Qualität des eingebauten Spritzbetons. Nicht zu vergessen sind die positiven gesundheitlichen und ökologischen Aspekte.

Die bisherigen Nachteile bezüglich Leistung, Staubentwicklung und Kosten konnten inzwischen egalisiert werden.

After having been tested and tried for eight years in repair work, the patented rapid-setting cement on the basis of a special Portland cement now also becomes established in modern shotcrete technology for tunnel projects.

Based on practical examples, the necessary innovations with regard to the mechanical equipment will be pointed out and explained. These include delivery in truck-type bulk transporters, dust-free and fully automated conveyance from the silo to the nozzle, as well as dust-reducing measures at the nozzle.

The advantages of this new development concern both logistics and the shotcrete quality, let alone the positive health-related and ecological aspects.

The former drawbacks with regard to performance, dust formation and costs could be eliminated.

Es ist ein Zug der Zeit, daß immer mehr Firmen danach trachten, ihr unternehmerisches Risiko in Bezug auf Qualität des Produktes und der Ausführung auf spezialisierte Zulieferfirmen abzuwälzen.

Bei Spritzbetonarbeiten im Tunnelbau ist dieser Trend ebenfalls schon erkennbar.

Die Gegebenheiten auf der Baustelle beinhalten nach dem konventionellen Konzept der

Spritzbetonherstellung eine Anzahl von Fehlerquellen, wie zu lange Lagerzeiten, mangelnde Verfügbarkeit, Dosierprobleme bei Beschleunigern etc.. Die daraus resultierenden Qualitätseinbußen liegen selbstverständlich voll im Verantwortungsbereich der ausführenden Baufirma.

Einige Firmen haben inzwischen schon erkannt, daß mit Übernahme von werksgemischtem Trockenspritzbeton, besonders auf Basis "beschleunigerfreiem Schnellzement", gemeinsam mit den dazugehörigen Einrichtungen zur weitgehend automatisierten Materialbeförderung, das Qualitätsrisiko größtenteils abgebaut werden kann. Die Wirtschaftlichkeit ist auf Grund dessen bei vielen Baustellen trotz höherer Materialpreise bereits gegeben.

Nicht nur die gleichbleibend hohe Qualität und die beträchtlichen, diesem Spritzbeton eigenen Sicherheitsreserven schaffen eine Minimierung der Fehlerquellen, sondern vor allem die bereitgestellte Technologie des Materialtransportes vom Trockenmischwerk bis zur Spritzdüse, führen zu einer verbesserten Logistik, die eine teilweise Verlagerung der Verantwortlichkeit der Baufirmen hin zum spezialisierten Zulieferer zur Folge hat.

Bewerkstelligt wird dies durch eine lückenlose Kette qualitätsgesicherter Schritte, ausgehend von der Wahl und Aufbereitung der Rohstoffe (Zement, Zuschläge) über den Mischvorgang, der Lagerung, dem Transport und schließlich der Verarbeitung zum Endprodukt Spritzbeton.

Diese These soll anhand einer Gegenüberstellung der beiden Konzepte "konventioneller

Spritzbeton, und zwar mit Beschleunigerzugabe vor Ort" und "Werkrockengemisch mit beschleunigerfreiem Spritzzement" dargelegt bzw. erhärtet werden.

Zuvor sollten jedoch die Wirkungsweise und die Eigenschaften dieses patentrechtlich geschützten Zementes mit der Bezeichnung SPZ 375 in Erinnerung gerufen werden.

SPZ 375 ist ein sehr schnell abbindender Portlandzement, der mit allen normgemäßen Portlandzementen und Zumahlstoffen, wie Hochofenschlacke oder Flugasche, mischbar ist. Der Schnellbindeeffekt wird durch Zurücknahme bzw. Weglassen des Gipsanteiles erzielt, sodaß die Ettringitbildung (Bild 1), die für die Abbindeverzögerung verantwortlich ist, weitgehend verhindert wird. Die im allgemeinen bei ca. 60 Sekunden liegende Erstarrungszeit kann durch Zumischung von normalem Portlandzement in bestimmten Bereichen bis hin zu 10 Minuten reguliert werden.

Die Frühfestigkeitsentwicklung (Bilder 2 und 3) basiert auf einer sehr raschen Bildung von Kalziumaluminathydrat.

Je nach Betonzusammensetzung und Zementgehalt lassen sich Festigkeitswerte des jungen Spritzbetons von bis zu 2 N/mm² problemlos schon nach 5 Minuten erzielen. Werksgemischter Tunnelspritzbeton mit GK 8 erreicht die Klasse J2; für höhere Anforderungen (z. B. für Reparaturspritzbeton) kann selbstverständlich auch J3 hergestellt werden.

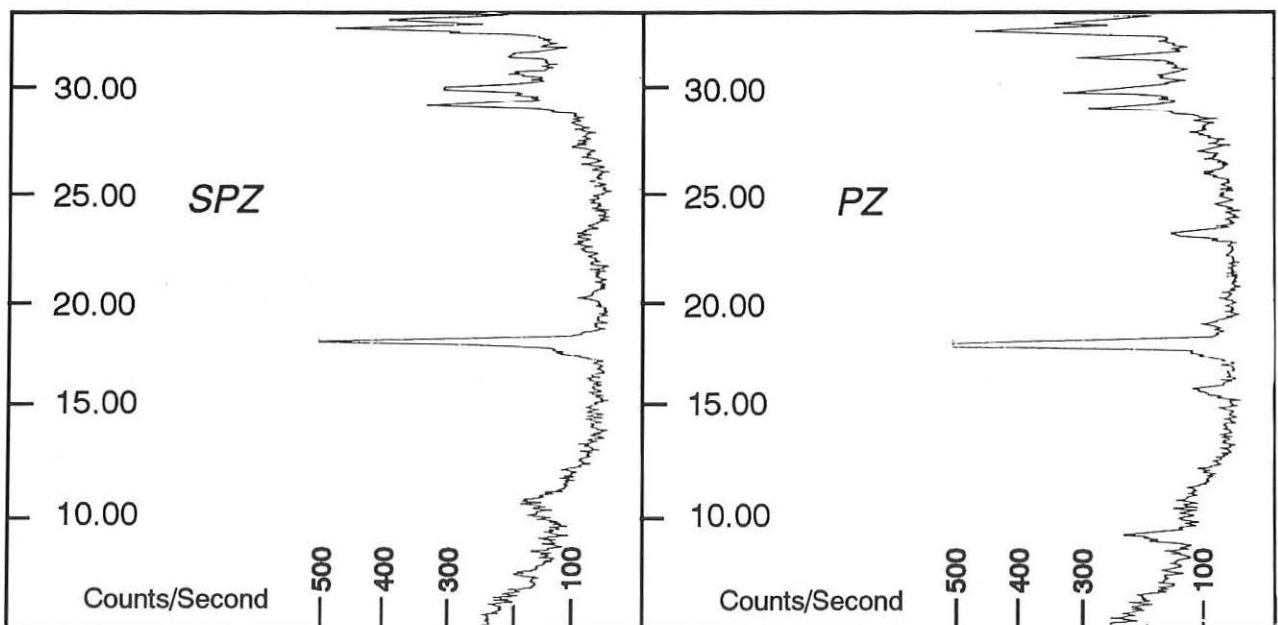


Bild 1: Vergleich der Röntgenbeugung von normalem Portlandzement mit Spritzzement SPZ 375

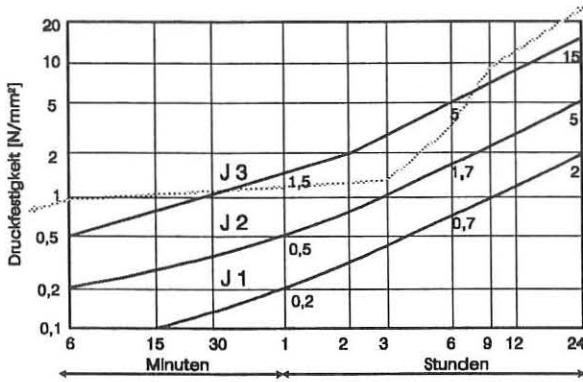


Bild 2: Frühfestigkeitsentwicklung von SB 225/8, hergestellt mit Spritzzement SPZ 375

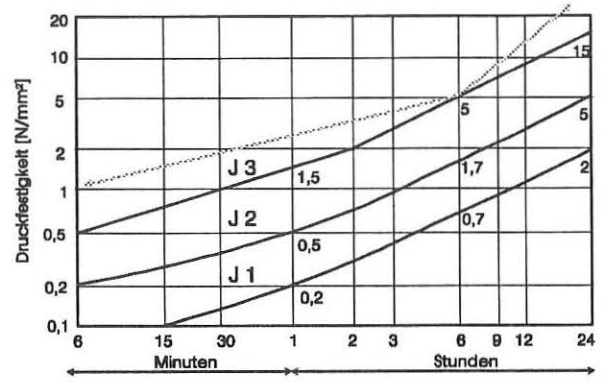


Bild 3: Frühfestigkeitsentwicklung von SB 8 Reparaturspritzbeton mit Spritzzement SPZ 375

Thema	Werksgemischter Trockenspritzbeton ohne EB mit SPZ 375	Herkömmliches Verfahren
Zulieferung	Sack, Big-Bag, Silo-LKW	Transportmischer, offener LKW
Lagerung	Paletten, Container, Big-Bag, Silo	Dosierbunker
Lagerzeit	beliebig	2 - 3 Stunden
Verfügbarkeit	jederzeit gegeben hohe Flexibilität auch bei Kleinstmengen kein Abfall	Schwierigkeiten am Wochenende bzw. bei Nachtbetrieb; Fahrverbote; Umweltauflagen Problem bei Kleinstmengen Abfall ganzes Transportbetonwerk in Betrieb halten Stehzeiten bei Lieferproblemen
Einsparung durch Automatisierung bei Übergabe	ein Mann bei SB-Maschine (kann andere Arbeiten verrichten) - gelegentliche Aufsicht (Lohnkosten)	entfällt
Qualität und Rückprall	Maschineneinstellung und Ausrüstung, Durchfeuchtung	Unsicherheitsfaktor Lagerzeit, EB-Dosierung
Beschleunigerzugabe	entfällt	erhöhtes Gesundheitsrisiko Qualitätsminderung, z. B. Druckfestigkeit Auslaugung, Versinterung
Festigkeitsentwicklung	kontinuierlich und gleichbleibend - trotz Beschleunigung kein Festigkeitsabfall hohe Reserven	Festigkeitsabfall durch Zusatzmitteldosierung kaum Reserven
Spritzen bei kaltem Wetter	bis -15° C möglich (Portalbereich bzw. Hangsicherung)	bis 0 °C möglich
Verschleiß	höher, da kein Gleitfilm vermehrte Wartung erforderlich	
Staubentwicklung an der Maschine	durch entstaubtes, abgeschlossenes System behoben; erhöhte Wartung	wenig
Staubentwicklung an der Düse	Druckerhöhungspumpe und Spezialdüse Zugabe von Rückprall- bzw. Staubbinder	wenig
Grundwasser bzw. Umweltschutz	keine Beeinträchtigung durch schädliche Chemikalien	Gefahren durch EB

Tab. 1: Gegenüberstellung "konventioneller Spritzbeton" zu "werksgemischtem Spritzbeton auf Basis Schnellzement"

Kommentar zur Tabelle 1:

Zulieferung:

Bereits bei der Zulieferung sind verkehrstechnische Probleme wie Nachtfahrverbot, Wochenendfahrverbot, Verkehrsüberlastung etc. zu berücksichtigen.

Lagerung auf der Baustelle:

Die Lagerung auf der Baustelle birgt, was die maximale Lagerzeit betrifft, einen weiteren entscheidenden Vorteil der Werksmischung. Die Anlieferung kann auf Grund dessen zu verkehrsgünstigen Zeiten durchgeführt werden. Wochenend- und Nachtbetrieb bilden kein Problem.

Verfügbarkeit:

Dieser Punkt stellt nach übereinstimmenden Aussagen von Bauleitern einen der Hauptvorteile dar. Besonders bei schlechten geologischen Verhältnissen ist es stets ein Problem, die richtige Menge Spritzbeton zur richtigen Zeit zu bestellen; es wird in der Regel zu viel bestellt und mitunter zu früh oder zu spät angeliefert. Beides verursacht Kosten.

Der zu früh angelieferte Beton muß bei der Verarbeitung vielfach mit höherer EB-Zuteilung "aufgebessert", manchmal sogar "entsorgt" werden. Auch wenn solche Sünden durch die Bauüberwachung nicht immer entdeckt werden, sie machen sich schon nach relativ kurzer Zeit durch beschleunigte Ablagerungen im Drainagesystem bemerkbar. Der zu spät angelieferte Beton hat bereits Arbeitsstillstand verursacht.

Der Baufirma fallen Kosten für Mehrbedarf an Spritzbeton und Abtransport von verdorbenem Material und in ganz besonderem Maße Kosten durch Wartezeiten und Stillstände infolge mangelnder Verfügbarkeit von Spritzbeton an.

Eine halbwegs den Tatsachen entsprechende Kostenanalyse unterliegt verständlicherweise stets der subjektiven Bewertung des jeweiligen Kalkulanten.

Eine durchaus ernstzunehmende Schätzung ergibt pro Kilometer Straßentunnel allein durch "Verzögerungen des Baufortschrittes infolge Nichtverfügbarkeit von Spritzbeton" Mehrkosten von nahezu zwei Millionen Schilling.

Einsparung von Personal:

An der Baustelle "Gramais-Gacher Blick" im Tiroler Lechtal, wurde eine vollautomatische Beschickung der Spritzmaschine aus Baustellensilos installiert.



Bild 4: Einlauftrichter zur Spritzmaschine mit Füllstandsonden zur Steuerung der Zuteilschnecken.

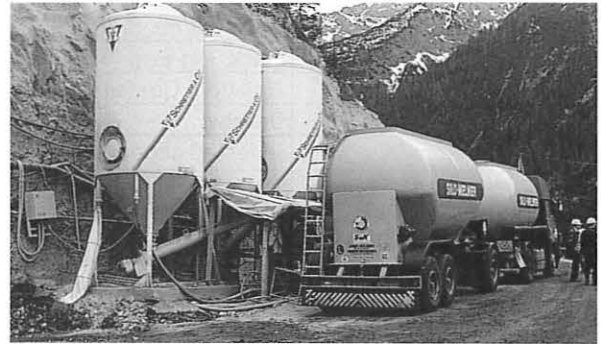


Bild 5: Silobatterie mit Zuteilschnecken. Anlieferung des Spritzbetons mit Silo-LKW.

Die durch Füllstandssonden am Einlauftrichter der Spritzmaschine geregelte Schnecken-zuteilung (Bild 4) führte zu einer spürbaren Einsparung auf dem Personalsektor. Es war möglich, einen Mann für die Maschinenbedienung einzusparen.

Qualität und Rückprall:

Die Betonqualität ist unbestreitbar ein Punkt, der massiv für den werksgemischten, beschleunigerfreien Spritzbeton spricht. Abgesehen von Eigenschaften wie Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit und Frostbeständigkeit ist vor allem die hohe Sicherheit gegen Auslaugung ins Trefen zu führen, wie aus Untersuchungen von Dr. Breitenbücher und Prof. Lukas hervorgeht.

Weiters ist auch eine maßgebliche Verringerung des Rückpralls festzustellen: An einem speziell für die Bedürfnisse des Tunnelbaus konstruierten Spritzstand, den das Institut für Baustofflehre und Materialprüfung an der Universität Innsbruck, Professor Lukas, zur Verfügung gestellt hat, wurden vergleichende Rückprallmessungen mit verschiedenen Materialien durchgeführt.



Bild 6: Versuchsspritzstand zum Vertikal- und Überkopfspritzen.

Die Messungen konnten sowohl vertikal als auch über Kopf an 120 x 120 cm Betonplatten, versehen mit Baustahlgittern, durchgeführt werden (Bild 6). Die Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Entsprechend den Gegebenheiten im Tunnel wurde ein Mittelwert aus 2/3 Vertikal- und 1/3 Über-Kopf-Spritzen gezogen.

Sorte	vertikal	über Kopf	Mittel 2/3 : 1/3
SB 22,5 konventionell mit PZ 275 (H) mit EB	26	35	29
SB 22,5 werksgemischt mit PZ 375 mit EB	18	25	20
Novitech SB 225/8 werksgemischt mit SPZ 375 beschleunigerfrei	10	21	14
Novitech SB 225/8 werksgemischt mit SPZ 375 beschleunigerfrei und Rückprallminderer	8	15	10
Novitech SB 225/8 werksgemischt mit SPZ 375 gemessen im Tunnel, ein ganzer Abschlag			18

Tab. 2: Rückprallmessungen in Masse-Prozent der verspritzten Menge

Daß auch mit diesem Spritzstand die Verhältnisse im Tunnel vor Ort nicht exakt wiedergegeben werden konnten, zeigt die letzte Zeile der Tabelle 2, wo das Ergebnis einer Rückprallmessung, die an einem ganzen Abschlag im Tunnel durchgeführt worden ist, aufgeführt ist. Dennoch kann aus dem Vergleich zu anderen Spritzbetonen ein Trend abgelesen werden.

Verschleiß und Wartung:

Fairerweise müssen bei Kostenbetrachtungen auch allfällige Nachteile untersucht werden. Ofengetrocknete Produkte zeigen naturgemäß einen deutlich erhöhten Verschleiß an Schläuchen und Reibscheiben. Dies ist dadurch zu erklären, daß dieses Material nicht in der Lage ist, einen schützenden Gleitfilm auf der Werkstoffoberfläche zu bilden. Hier sind die Materialhersteller und Werkstofftechniker noch gefordert.

Werk trockenmörtel verzeihen auch keine Wartungsfehler an Gerät und Spritzmaschine. Verschmutzte, schlecht gewartete und falsch abgestimmte Maschinen und Zubehörkomponenten führen unweigerlich zu vermehrter Staubentwicklung und erhöhtem Verschleiß.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte:

Schlagwortartig können dazu folgende Punkte angeführt werden, die einem beschleunigerfreien Werk trockengemisch den Vorzug geben.

- wenig durch Alkalität belastete Abwässer
- keine Probleme mit ätzenden Flüssigkeiten und Pulvern, die immer wieder zu Krankenständen bei der Vortriebsmannschaft führen.

Bezüglich der Staubentwicklung sind, vor allem was die Förderung betrifft, aufgrund des geschlossenen Systems kaum mehr Probleme offen. An der Düse ist unbedingt eine Druckerhöhungspumpe vorzusehen. Der Druck soll im Ruhezustand 80 bar erreichen.

Neue Entwicklungen der Zusatzmittelindustrie in Richtung Staubminderer auf Basis von kolloidalen Lösungen amorpher Kieselsäure scheinen recht vielversprechend zu sein, wie unsere diesbezüglichen Erstversuche gezeigt haben.

Literaturhinweise:

- /1/ Breitenbücher, R.; Springenschmid, R.; Dorner, H. W.: Baustoffinstitut TU München. Verringerung chemischer Auslaugungen aus Spritzbetonauskleidungen zum Schutz von Tunneldrainagen und Umwelt. STUVA-Tagung 1991, Düsseldorf.
- /2/ Lukas, W.; Kusterle, W.: Institut für Baustofflehre und Materialprüfung, Universität Innsbruck. RILEM-Workshop "Auslaugverhalten von Beton und zementgebundenem Material", Juni 1992 in Wien; Generalbericht Spritzbeton.

