
Neue Generation von Zusatzmitteln für Spritzbeton

NEW GENERATION OF ADMIXTURES FOR SHOTCRETE

TOM A. MELBYE, MBT EUROPA, ZÜRICH-SCHLIEREN

Traditioneller Spritzbeton ist ein Kompromiß zwischen Früh- und Endfestigkeiten, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit. Die neuen Generationen von Zusatzmitteln erlauben in bezug auf diese Anforderungen wesentliche Verbesserungen und neuartige Verarbeitungsformen.

Mit den Zusatzmittelsystemen zur Steuerung der Zementhydratation (Delvo[®]crete) kann das Abbinden der Baustellenmischungen durch die Zugabe eines Stabilisators blockiert und während des Spritzens durch die Eindüsung eines Aktivators wieder reaktiviert und gleichzeitig beschleunigt werden. Je nach Dosierung des Stabilisators sind Verarbeitungszeiten zwischen 3 - 72 Stunden möglich. Die Flexibilität auf der Baustelle ist dadurch optimal, die Materiallogistik wesentlich vereinfacht. Früh- und Endfestigkeiten werden zudem regelmäßig verbessert, der Rückprall sowohl im Trocken- wie Naßverfahren deutlich vermindert. Das Delvocrete-System hat und wird wesentlich dazu beitragen, daß sich das Naßverfahren auch in den deutschsprachigen Ländern immer mehr durchsetzt.

Für das Naßverfahren sind weitere neuartige und vielversprechende Zusatzmittel entwickelt worden. Eine neue Generation von Superverflüssigern erlaubt eine extrem hohe Wasserreduktion. Dadurch erzielbare tiefe W/Z-Faktoren ermöglichen (speziell in Kombination mit Microsilica) bisher nicht gekannte Qualitätswerte für Spritzbeton (hohe Endfestigkeiten, minimales Schwinden).

Als weitere Neuheit für das Naßverfahren wird das sogenannte Meyco TCC System vorgestellt. Durch die Beimischung eines speziellen Zusatzmittels an der Düse wird ein unmittelbares Ansteifen (bzw. thixotropieren) des Betons erreicht. Damit kann selbst bei größeren Schichtstärken auf die Beigabe eines Beschleunigers verzichtet bzw. die Dosierung des Beschleunigers im Hinblick auf notwendige Frühfestigkeiten deutlich reduziert werden. Wie in mehreren Projekten nachgewiesen werden konnte, führt das Meyco TCC System zudem bei Verwendung von Stahlfasern dank der wesentlich verbesserten Betonhomogenität zu einer deutlichen Reduktion des Faserrückpralls, selbst bei den neuen Fasern mit 40 mm Länge.

Traditional shotcrete is a compromise between early and final strength values, flexibility and economic viability. New generations of admixtures have led to essential improvements in this respect and to new working techniques.

By means of admixtures regulating cement hydration (Delvo[®]crete), the setting of the shotcrete mixes can be blocked by adding a stabilizer and reactivated and also accelerated during spraying by injecting an activator. Depending on the stabilizer dosage, intervals between 3 and 72 hours are possible. As a result, flexibility on the construction site is optimal, material logistics is greatly simplified. Moreover, early and final strength values are regularly improved, rebound with both dry-mix and wet-mix shotcrete is reduced significantly. The delvocrete system has contributed a great deal to the fact that the wet-mix

method is increasingly being used also in German-speaking countries.

New types of promising admixtures have been developed for the wet process. A new generation of superplasticizers allows an extremely high water reduction. The low water/cement ratios obtainable in this way lead (especially in combination with microsilica) to unprecedented quality characteristics of shotcrete (great final strength, minimal shrinkage).

As another novelty with respect to the wet-mix method the so-called slumpkilling system will be presented. By adding a special admixture at the nozzle, development of rigidity of the concrete starts immediately. Consequently, even with thicker layers it is no longer necessary to add accelerators or the accelerator dosage can be reduced significantly with regard to the required early strength. It was demonstrated in a number of projects that moreover the Meyco TCC System in the case of the admixture of steel fibres thanks to the greatly improved concrete homogeneity leads to a substantial reduction of fibre rebound, even in the case of the new 40-mm-long fibres.

1. Einleitung

Spritzbeton ist ein sehr flexibles und wirtschaftliches Verfahren zur Applikation von Beton. Die Verfahrenstechnik hat sich seit den Anfängen ständig weiterentwickelt. Die Eigenschaften von Spritzbeton konnten dank der Verwendung von ergänzenden Zusatzstoffen wie Microsilica und Stahlfasern wesentlich verbessert werden. Dadurch haben sich die Einsatzgebiete von Spritzbeton laufend erweitert. Im Tunnelbau wird Spritzbeton heute z.B. nicht nur für die vorübergehende Sicherung, sondern auch für den Endausbau in Erwägung gezogen und teilweise bereits erfolgreich eingesetzt. Damit werden qualitativ wesentlich höhere Anforderungen an den Spritzbeton gestellt.

Die Möglichkeiten von Spritzbeton sind noch lange nicht ausgeschöpft. Die bauchemische Industrie hat und wird durch die Entwicklung von entsprechenden Zusatzmitteln dazu beitragen, die Eigenschaften von Spritzbeton zu verbessern, um den erhöhten Anforderungen gerecht zu werden. Dank intensiver Forschung sind nun neuartige Zusatzmittel verfügbar, welche zu recht als neue Generation bezeichnet werden dürfen.

2. Kontrolle der Zementhydratation

Ein altes Problem bei der Verarbeitung von Spritzbeton ist die begrenzte Lagerfähigkeit der Ausgangsmischungen. Dies ist beim Naßverfahren offensichtlich, gilt aber wegen der Eigenfeuchte der Zuschläge auch beim Trockenspritzen. Die Österreichische Richtlinie Spritzbeton verlangt deshalb eine maximale Verarbeitungszeit von eineinhalb Stunden. Diese Forderung kann in der Praxis aber oft nur sehr schwer eingehalten werden.

| | |
|---------------|--|
| Verzögerer: | - Verlangsamung des Abbindens |
| | - Stark temperaturabhängig |
| | - Nicht beliebig reaktivierbar |
| Stabilisator: | - Vollständige Blockierung des Abbindens |
| | - nicht temperaturabhängig |
| | - Beliebige Reaktivierung |
| | ➔ Vollständige Kontrolle möglich |

Tab. 1: Kontrolle der Zementhydratation

Dank der Beigabe von neuartigen Zusatzmitteln ist es heute möglich, die Zementhydratation bei der Herstellung der Ausgangsmischung zu blockieren. Je nach Dosierung (ca. 0,4 - 2 % vom Zementgewicht) wird das Abbinden für 3 - 72 Stunden unterbunden. Beim Spritzbeton kann die Blockierung durch die Beigabe eines Aktivators an der Düse wieder aufgehoben werden. Der Aktivator wirkt zugleich als Beschleuniger, womit die verlangten Frühfestigkeiten erreicht werden können. Die Eigenschaften des Betons bleiben unbeeinflusst, Früh- und Endfestigkeiten sind sogar regelmäßig leicht verbessert.

Das Zusatzmittel-System zur Kontrolle der Zementhydratation kann sowohl im Trocken- wie Naßverfahren eingesetzt werden. Verfahrenstechnisch sind keine Änderungen nötig, es kommen die gleichen Mischer wie bisher zum Einsatz.

Die Stabilisierung der Ausgangsmischung erleichtert die Logistik und das Verarbeiten wesentlich. Zwischenlagerungen im Tunnel sind möglich, Unterbrüche problemlos. Beim Naßspritzen entfällt das aufwendiger Reinigen bei Wartezeiten. Die Mischung in der Maschine und im Schlauch ist stabilisiert und kann nicht abbinden.

Das neuartige System darf nicht mit den bekannten Verzögerern verwechselt werden. Stabilisierungsmittel und Betonverzögerer sind in ihrer chemischen Wirkungsweise grundsätzlich zu unterscheiden. Beim Stabilisator wird die Hydratation des Zementes vollständig blockiert. Die Dosierung ist kaum temperaturabhängig und die Mischung kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt mit dem Aktivator wieder reaktiviert und beschleunigt werden. Die Zementhydratation ist tatsächlich kontrolliert und gesteuert.

Verzögerer hingegen bewirken lediglich eine Verlangsamung der Zementhydratation im Anfangsstadium. Die Hydratation wird jedoch nicht unterbunden. Dies zeigt sich am typischen Ansteifen. Die Wirkung von Verzögerer ist zudem stark temperaturabhängig und kann nicht beliebig rückgängig gemacht werden. Entsprechend ist der Baustelleneinsatz mit Verzögerer nicht kontrollierbar.

Beispiel: Eine Ausgangsmischung, welche auf eine Verzögerung von 10 h eingestellt ist, wird aufgrund der Temperatureinwirkung faktisch auf 12 h verzögert. Die Baustelle muß den Spritzbeton jedoch bereits nach 8 h einbringen. Dies ist kaum möglich, weil die verzögernde Wirkung nicht vorgängig aufgehoben werden kann.

Im allgemeinen Betonbau arbeitet man schon seit Jahren mit herkömmlichen Verzögerern ohne Probleme, denn eine plötzliche Aktivierung und Beschleunigung des verzögerten Betons ist hier nicht nötig. Stabilisierungsmittel sind jedoch ein Novum und wurden 1990 im Flurlinger-Tunnel in der Schweiz erstmals im Naßverfahren eingesetzt. In der Zwischenzeit wurden auch mehrere Objekte im Trockenverfahren erfolgreich realisiert.

Daß die Einführung von neuen Technologien bei stark reglementierten Bauabläufen schwierig ist, sei am Rande erwähnt. Obwohl das Stabilisierungsmittel tatsächlich nicht mit den bekannten Verzögerern verglichen werden kann, mußten wir in Deutschland das Produkt als Verzögerer zulassen. Eine Zusatzmittel-Klasse von Hydratationsblockern gibt es nicht. Die Einführung einer neuen, dem Produkt angepaßten Klasse hätte aber viel zu lange gedauert. Deshalb haben wir die Zulassung als Verzögerer vorgezogen. Im Gegensatz zu allen anderen Ländern auf der Welt durften wir das Produkt nicht als Stabilisator bezeichnen, weil dies bereits einer bestehenden Zusatzmittel-Klasse

Wirkstoffgruppe entspricht, mit anderen Eigenschaften. Deshalb heißt das zugelassene Produkt in Deutschland nun Delvo Stop 10 G (VZ).

Praxisbeispiel Delvocrete: Flurlinger-Tunnel N4 (Schweiz), zur Zeit im Bau

ARGE: Zschokke, Brunner's Erben, Hatt Haller, LGV, Züblin, CSC, Lerch, Murer

Der Flurlinger-Tunnel liegt vor den Toren von Schaffhausen in stark bewohntem Gebiet. Die Betonaufbereitungsanlage auf der Baustelle darf deshalb nur von 7.00 h bis 22.00 h betrieben werden. Der Spritzbeton für die Nachtschicht wird am Nachmittag unter Beigabe des Stabilisators hergestellt und in Fahrnischer abgefüllt im Tunnel gelagert. Während der Nacht kann die Mischung jederzeit abgerufen und eingesetzt werden.

Durch die Stabilisierung der Ausgangsmischung konnten höhere Festigkeiten und eine deutliche Reduktion des Rückpralls erreicht werden. Die Bauleitung hat sich deshalb entschlossen, neben dem Vortrieb auch gewisse Abschnitte des Endausbaus mit Spritzbeton zu realisieren (Tabelle 2).

| Rezepturen | | Vortrieb | Endausbau |
|-------------------------|-------------------|----------|-----------|
| Zement | kg/m ³ | 425 | 425 |
| Rheobuild | % Bindem. | 0,8 | 0,8 |
| Elkem MS Susp. | kg/m ³ | --- | 42,5 |
| Delvo Stabilisator | % Zement | 0,6 | 0,6 |
| Delvo Aktivator | % Zement | 5,0 | 4,0 |
| Druckfestigkeit 28 Tage | N/mm ² | 32,0 | 45,0 |

Tab. 2: Rezepturen und Druckfestigkeitswerte des Vortriebes und des Endausbaues im Flurlinger-Tunnel

3. Konsistenz-Steuerung von Spritzbeton

Das Naßspritzverfahren bietet eine exakte Kontrolle des W/Z-Faktors als wichtigsten Qualitätsfaktor von Beton. Zudem erlaubt das Naßverfahren auch den wirtschaftlichen Einsatz von Stahlfasern mit neuartigen konstruktiven Möglichkeiten. Weitere Vorteile des Naßspritzens sind bekanntlich die höheren Leistungen und die wesentlich geringere Staubbelastung. Alles deutet darauf hin, daß sich im Tunnelbau Naßspritzen zunehmend durchsetzen wird. In Skandinavien gehört das Naßverfahren - mehrheitlich in Kombination mit Stahlfasern und Microsilica - seit Jahren zum Tunnelbau-Alltag.

Die im deutschsprachigen Raum verbreiteten Vorbehalte gegenüber dem Naßverfahren aufgrund der fehlenden Flexibilität gehört dank dem vorgängig beschriebenen System zur Steuerung der Zementhydratation der Vergangenheit an.

Die zunehmende Verbreitung von Naßspritzbeton hat die Entwicklung von speziellen Zusatzmitteln ausgelöst. Zielsetzung ist dabei die Optimierung des Verfahrens zur Erreichung von höheren Endfestigkeiten. Das eigentliche Hauptproblem ist dabei die Steuerung der Konsistenz.

Bei der Herstellung der Ausgangsmischung für das Naßverfahren ist wichtig, daß eine homogene, pumpfähige Mischung mit möglichst geringem W/Z-Faktor erreicht wird. An der Düse ist die Zugabe eines Zusatzmittels notwendig, welches ein Abfließen an der Wand verhindert und (soweit gefordert) erhöhte Frühfestigkeiten bewirkt. Dazu wird üblicherweise ein Beschleuniger eingesetzt. Aufgrund der schlechten Rezepturen (zu hohe W/Z-Faktoren) mußten diese Zusatzmittel in der Anfangsphase des Naßspritzens zu hoch (10 - 20 %) dosiert werden, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Die entsprechenden Folgen bezüglich der Endqualitäten sind hinlänglich bekannt.

Dank der Verwendung von modernen Superverflüssigern und verbesserten Mischungs-Rezepturen werden W/Z-Faktoren von 0,45 - 0,5 problemlos erreicht. Heute sind für Spritzbeton nun bereits speziell entwickelte Superverflüssiger auf dem Markt, welche selbst bei schlechten Zuschlägen, fehlenden Feinanteilen oder der Verwendung von Stahlfasern eine homogene, pumpfähige Konsistenz ermöglichen. Mit dieser neuen Generation von Hochleistungsverflüssigern sind bei Bedarf auch W/Z-Werte um 0,4 realisierbar.

Ein weiterer Vorteil der neuartigen Hochleistungsverflüssiger ist die längere Verarbeitungszeit (Frischbetonstabilität). Die plastische Konsistenz bleibt länger erhalten, der Abfall des Slumps oder Ausbreitmaßes wird deutlich reduziert. Dies ist speziell im Tunnelbau von großer Bedeutung, wo lange Transportwege oder Verzögerungen im Baubetrieb an der Tagesordnung sind.

Die erzielbaren Verbesserungen in bezug auf die Konsistenzhaltung zeigt das Bild 1. Die Angaben sind Durchschnittswerte aufgrund von 5 verschiedenen Mischungen. Konsistenzmaß ist der Slump (in mm) gemäß ASTM.

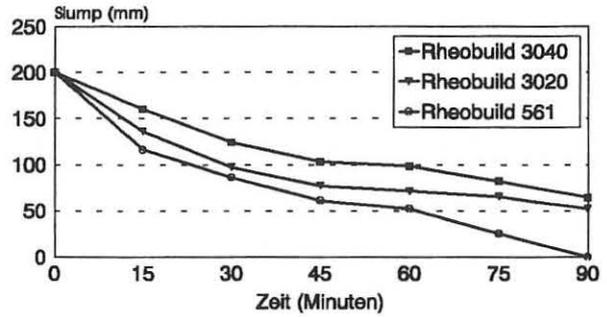


Bild 1: Slump-Verlust (Durchschnitt von 5 Rezepturen) für Rheobuild 3040 und 3020 im Vergleich zu Rheobuild 561

Neben der Konsistenz der Ausgangsmischung wurde auch das Spritzverhalten optimiert. Neuartig (Tabelle 3) beim System der Konsistenz-Steuerung ist die Beigabe von speziellen, chlorid- und alkalifreien Reaktionskomponenten an der Düse, welche ein schlagartiges Ansteifen oder thixotropieren des Spritzbetons bewirken. Damit ist ein Spritzen von Schichtstärken bis zu 10 cm auch Überkopf ohne Verwendung von Beschleunigern möglich. Die Endfestigkeiten sind entsprechend markant verbessert. Ein Beschleuniger ist nur noch nötig, wenn tatsächlich hohe Frühfestigkeiten verlangt werden. In diesem Falle kann die Dosierung aber gegenüber dem herkömmlichen Verfahren wesentlich reduziert werden, da die Funktion des Ansteifens durch die Reaktionskomponente gewährleistet wird. Für die verlangten Frühfestigkeiten ist eine geringere Dosierung des Beschleunigers völlig ausreichend.

| | |
|-------------------|--|
| Ausgangsmischung: | - pumpbar |
| | - homogen |
| | - tiefer W/Z-Faktor |
| | - Kompensation von schlechten Zuschlägen |
| | - lange Offenzeiten |
| Am Untergrund: | - sofortiges Ansteifen |
| | - erhöhte Frühfestigkeiten |
| | - hohe Endfestigkeiten |
| | - wenig Rückprall |

Tab. 3: Konsistenz-Steuerung von Spritzbeton

Alle im Rahmen dieses neuartigen Produktsystems verwendeten Zusatzmittel müssen optimal aufeinander abgestimmt sein. Nur so kann das schlagartige Ansteifen durch Beigabe der zweiten Reaktionskomponente an der Düse gewährleistet werden.

Das System zur Konsistenz-Steuerung von Naßspritzbeton befindet sich noch in der Entwicklung. Seit rund einem Jahr sind im Rahmen von ausgedehnten Feldtests auf verschiedenen Baustellen bereits mehrere tausend m³ gespritzt worden. Dabei konnte der Grundansatz des Systems erfolgreich bestätigt werden. Die praktischen Erfahrungen haben zur Entwicklung von verschiedenen Zusatzmitteln geführt, welche je nach Einsatzgebiet und Anforderungen eingesetzt werden. So gibt es beispielsweise auch ein Kombinationsprodukt, welches Reaktionskomponente und Beschleuniger in einem Produkt vereinigt.

Das neuartige System zur Konsistenz-Steuerung wurde z.B. für den Bau der Olympia-Bobbahn in Lilliehammer eingesetzt. Ein aktuelles Beispiel aus dem Tunnelbau ist das Projekt Hvassum in Norwegen (Bauunternehmung = Veidekke).

Praxisbeispiel Hvassum (Norwegen)

Bei diesem Tunnel sollte die Innenschale mit Spritzbeton ausgeführt werden. Zur Erreichung der statischen Anforderungen wurde eine Stahlfaser mit 40 mm Länge gewählt (Dramix 40). Die Pumpbarkeit des Gemisches war jedoch problematisch, die langen Fasern gingen zu einem großen Teil im Rückprall verloren (20-25%). Das geforderte Arbeitsvermögen von I₃₀ war nur sehr begrenzt erreichbar. Ein weiteres Problem war die zu kurze Verarbeitungszeit.

Angeichts der Schwierigkeiten willigte Veidekke in einen Versuch mit dem neuartigen System zur Konsistenz-Steuerung (Meyco TCC) (Tabelle 4) ein. Mit den Zusatzmitteln konnte eine wesentliche Verbesserung erzielt werden.

Aufgrund der bisherigen, umfangreichen Versuchen können zusammenfassend folgende Vorteile des neuartigen Zusatzmittel-Systems zur Steuerung der Konsistenz festgehalten werden:

- Vertikal und Überkopf können dickere Schichten gespritzt werden, ohne Probleme mit Haftung und Rieseln.
- Keine Veränderung der Endfestigkeiten.
- Verbesserte Pumpfähigkeit der Ausgangsmischungen
- Homogenerer Beton: stark fließfähige Konsistenzen sind möglich, ohne Gefahr von Entmischungen.

- Längere Verarbeitungszeiten der Ausgangsmischung und des frisch aufgetragenen Betons (verbesserte Oberflächenbearbeitung)

| Normales Gemisch | | |
|---|-------------------|-----------|
| Zement | kg/m ³ | 480 |
| Microsilica | % Zg | 8 |
| Zuschläge 0 - 8 | kg/m ³ | 1550 |
| Superverflüssiger | kg/m ³ | 5 |
| Verflüssiger | kg/m ³ | 3,5 |
| Dramix 40 | kg/m ³ | 50 |
| W/Z+S | | 0,4 |
| Slump | mm | 120 - 160 |
| Beschleuniger | % Zg | 5 |
| Ergebnisse: - Faserrückprall 20 - 25 % - Arbeitsvermögen I ₃₀ = 18 - 20 - Schlechte Pumpbarkeit - Kurze Verarbeitungszeit | | |
| Spritzbeton mit Meyco TCC | | |
| Zement | kg/m ³ | 480 |
| Microsilica | % Zg | 8 |
| Zuschläge 0 - 8 | kg/m ³ | 1550 |
| Rheobuild 3520 | kg/m ³ | 8 |
| Dramix 40 | kg/m ³ | 50 |
| W/Z+S | | 0,41 |
| Slump | mm | 200 - 240 |
| Meyco TCC 765 | % Zg | 4 |
| Ergebnisse: - Faserrückprall 10 - 12 % - Arbeitsvermögen I ₃₀ = 25 - Gute Pumpbarkeit - Ausreichende Verarbeitungszeit | | |

Tab. 4: Praxisbeispiel Naßspritzbeton Hvassum (Norwegen)

4. Zusammenfassung

Die Spritzbeton-Technologie ist in einer markanten Entwicklung begriffen. In der Maschinen- und den Verfahrenstechnologien sind grundlegende Verbesserungen erzielt worden. Mit dem sich speziell im Tunnelbau zunehmend durchsetzenden Naßverfahren können die Eigenschaften von Spritzbeton gezielter auf die jeweiligen Anforderungen abgestimmt werden.

Dank intensiver Forschung sind heute neuartige Zusatzmittel verfügbar, welche Anwendung und Qualitäten von Spritzbeton deutlich verbessern. Vorgestellt wurden die Möglichkeiten zur Kontrolle der Zementhydratation und das System zur Konsistenz-Steuerung. Diese neue Generation von Zusatzmitteln eröffnet innovative Qualitätsdimensionen und wird mit dazu beitragen, daß die Bedeutung von Spritzbeton als Bauverfahren weiter zunimmt.

5. Literatur

/1/ **Technical Report 128:**
Master Builders Technologies, Delvo System Cleveland, USA, 1988.

/2/ **Meyco Journal No. 1 and No. 2:**
Master Builder Technologies, Zurich Switzerland, July 91 and Dec. 91