

Problematik der Erzeugung von Spritzbeton unter ungünstigen Bedingungen und eine überraschende Erkenntnis

Problems Of Shotcrete Production Under Adverse Conditions And A Surprising Conclusion

Dipl.-Ing. Günter Strappler, Stuaq, Wien

Auf der Baustelle Tunnel Espenloh der Neubaustrecke ergaben sich Schwierigkeiten bei der Herstellung von Trockenspritzbeton der Festigkeitsklasse B 25 in Bezug auf die Serienfestigkeit. Der hochreaktive Zement PZ 35 F reagierte offensichtlich schon zu stark während der Misch-, Transport- und Bevorratungszeit des Trockenmischgutes mit der Feuchte der gewaschenen Zuschlagstoffe aus gebrochenem Kalkstein und Mainsand. Die Lösung ergab sich überraschend in der Verwendung von NwHS-Zement, wobei sowohl die geforderten Frühfestigkeiten wie 28-Tage-Festigkeitswerte immer übertroffen wurden.

Der Auftrag des Spritzbetons erfolgte mechanisch mit ferngesteuerten Spritzarmen unter Verwendung eines flüssigen Erstarrungsbeschleunigers. Diese Kombination ermöglichte es, die Rückprallwerte auf 15 - 20 % zu drücken.

On the construction site of the Espenloh Tunnel of the New Hannover-Würzburg Express Railway Line, difficulties in regard to the serial strength were encountered in the production of dry shotcrete of strength class B 25.

Obviously, the highly reactive PZ 35 F cement underwent a too strong reaction already during the period of mixing, transport and storage of the dry mix due to the moisture of the washed aggregates consisting of crushed limestone and sand from the river Main.

Surprisingly the problem could be solved by using NwHS cement. Now the specified early strength values as well as the 28-day-strength values were always surpassed.

The shotcrete was applied by mechanical means (remote-controlled shotcrete manipulators) and by using a liquid accelerator. In that way the rebound was only 15 - 20 %.

Dieser Vortrag soll die praktischen Probleme einer Baustelle bei der Herstellung eines Spritzbetons der Festigkeitsklasse B 25 unter ungünstigen Bedingungen und deren für mich überraschende Lösung darstellen. Den theoretischen Hintergrund dazu werden andere liefern. Mein Bericht stützt sich hauptsächlich auf die speziellen Erfahrungen, die wir in der Nähe von Würzburg im Tunnel Espenloh, einem Tunnel der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bundesbahn, gemacht haben.

Die oben erwähnten ungünstigen Bedingungen waren ein Zuschlagstoff, der aus gebrochenem

und gewaschenem Kalkmaterial und Mainsand bestand. Der Kalkzuschlagstoff hat eine niedrige Grundfestigkeit, der Mainsand ist ein Sand ohne den erforderlichen Anteil an Feinteilen. Unter diesen Bedingungen haben wir ein halbes Jahr herumexperimentiert und versucht, mit wechselnden Zementgehalten, Variationen der Sieblinie, Zugabe von EFA-Füllern und häufigem Wechsel der Erstarrungsbeschleuniger Spritzbeton der Festigkeitsklasse B 25, d. h. mit einer durchschnittlichen 28-Tage Festigkeit aus 3 Bohrkernen von 26 N/mm² zu erzeugen. Auch die Zementart haben wir variiert, anfangs allerdings nur zwischen PZ 35 F und PZ 45 F.

Wir haben sehr viel Geld für alle möglichen Laboruntersuchungen ausgegeben und dabei aber nur die Erkenntnis gewonnen, daß wir zwar mit 450 kg PZ 45 pro m³ Spritzbeton fest einen Spritzbeton mit ausreichender Serienfestigkeit erzeugen können, mit allen anderen Varianten aber immer wieder negative Überraschungen erlebten, wenn die Festigkeit einzelner Bohrkern zum Teil erheblich unter den geforderten Werten lag. Da die Variante mit 450 kg PZ 45 aus Kostengründen ausschied und sich der Verdacht, daß uns das Transportbetonwerk beim Zementgehalt betrügt, nicht bestätigen ließ, suchten wir gemeinsam mit unserem Betonlieferanten nach einer Lösung.

Diese wurde gefunden in einem gemeinsamen Gespräch der Arbeitsgemeinschaft mit dem Betonlieferanten, dessen Zementzulieferer und unseren Betonlaboranten. Aus der Erläuterung eines Vertreters des Zementherstellers, daß es sich bei dem von uns hauptsächlich verwendeten Zement PZ 35 um einen sehr "hitzen" Zement handle, entstand die Überlegung, daß dieser hitzige Zement eventuell schon in der Phase der Mischung, des Transportes und der Bevorratung mit der Feuchte der gewaschenen Zuschlagstoffe zu viel reagiert. Als Abhilfe wurde vorgeschlagen, es mit HOZ-Zement zu versuchen.

Dieser Gedanke erschien mir persönlich anfangs absurd: Einen Spritzbeton, von dem man Erhärtung innerhalb 1 - 2 Minuten erwartet, mit einem langsamen Zement zu erzeugen. Allerdings hatten wir schon soviel probiert, daß es mir darauf auch nicht mehr ankam.

Aus Gründen der Silokapazität der Mischanlage und weil NWHS-Zement schon für den Sohlebeton in Verwendung stand, starteten wir den Versuch sogar mit diesem extrem langsamen Zement, der zu 80 % aus Hüttensand besteht.

Und jetzt passierte das Überraschende: Es funktionierte. Wir versuchten zuerst in der Strosse des Tunnels an der vertikalen Wand, und da es dort hervorragend funktionierte, anschließend auch in der Kalotte des Tunnels über Kopf. Das Erstarrungsverhalten und die Anfangsfestigkeiten waren augenscheinlich nicht schlechter als mit den anderen Zementen.

Jetzt war dann natürlich die Spannung groß, bis wir die Ergebnisse der 28-Tage Festigkeitsprüfung erfuhren. Die lagen so weit über den geforderten Serienfestigkeiten, daß wir

ohne weiteres den Zementgehalt von 400 kg, den wir gewählt hatten, hätten reduzieren können. Aus Sicherheitsgründen und aufgrund der vorhergegangenen negativen Erfahrungen verzichteten wir aber darauf. Zu ergänzen wäre, daß die geforderten 24 h-Festigkeiten von 10 N/mm² ebenfalls weit übertroffen wurden.

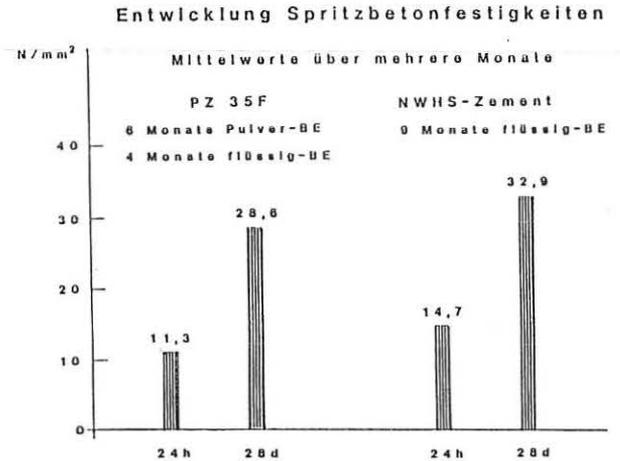


Abb. 1: Spritzbetonfestigkeit nach 1 u. 28 Tagen

Aus dem geschilderten Ablauf läßt sich folgende, sicher nicht neue, Lehre ziehen: Es gibt keine Standardrezeptur für Trockenspritzbeton, man muß immer wieder auf die lokalen Gegebenheiten, wie Zuschlagstoff, Zementart, Transportentfernung usw. eingehen.

Man sollte die vorangehenden Eignungsprüfungen unter den ungünstigen Bedingungen fahren, die auftreten können. Man müßte die Zuschlagstofffeuchte simulieren, die bei einer 3-wöchigen Regenperiode auftritt und diesen Spritzbeton dann vor der Verwendung solange lagern, wie es den Baustellenbedingungen entspricht. Die Zeit zwischen Mischung und Verwendung des Trockenmischgutes kann speziell bei der Erstbefüllung des Vorratsbehälters beträchtlich sein. Besonders wenn die Mischanlage nicht nur für die eigene Baustelle zur Verfügung steht, muß entsprechend vordisponiert werden, d. h. es wird 1 - 2 Stunden vor dem angenommenen Zeitpunkt des Bedarfs bestellt. Was das bedeutet, weiß jeder, der die Störungsanfälligkeit eines Tunnelvortriebs kennt. Wenn dann also gerade die erste Befüllung des Vorratssilos, die gleichzeitig der ersten Lage Spritzbeton im Auftrag entspricht, nicht mehr die erforderliche Abbindezeit bringt, fällt sie entweder mit der nächsten Lage wieder mit herunter, oder es wird die Zusatzmitteldosierung so erhöht, daß man die Endfestigkeiten am besten gar nicht mehr untersucht.

Zum Abschluß noch einige Worte zu der maschinellen Einrichtung, mit der wir den Spritzbeton aufgebracht haben.

Die Arge hatte sich vor Beginn der Baustelle für das Auftragen des Spritzbetons mit mechanischer Düsenführung entschieden. Dazu wurden auf einen austrangierten Bohrwagen auf die Bohrrame anstatt der Bohrlafetten 2 Spritzbetonlafetten aufgebaut. Die Bewegungen der Bohrrame, der Lafetten und der Spritzdüsen lassen sich von einem mobilen Steuerpult aus fernsteuern. Zu Beginn der Baustelle war noch nicht entschieden, ob Naß- oder Trockenspritzbeton eingesetzt werden soll. Wir haben also auch mit Naßspritzbeton experimentiert. Es fehlte uns dazu allerdings die ausreichende Erfahrung und so haben wir wegen fortschreitender Verschlechterung der Gebirgsverhältnisse und wegen der höheren Sensibilität der Naßspritzbetontechnologie wieder umgestellt auf den primitiveren, aber uns geläufigeren Trockenspritzbeton.

Die Anordnung sah dann so aus:

Ein Vorratssilo für 5 m³ Trockengemisch, das mit Transportmischern über ein Beschickungsförderband befüllt wird, 2 Trockenspritzmaschinen mit Doppelrotorenausrüstung mit 7-8 m³ Förderleistung pro Stunde, 2 Schlauchleitungen Durchmesser 65 mm zum Spritzmobil und 2 mechanisch geführte Düsen von 2 Düsenführern ferngesteuert.

Für die Zugabe des Erstarrungsbeschleunigers haben wir uns nach etlichen Versuchen für ein System mit flüssigem BE-Mittel entschieden. Dazu wurde auf unserem fahrbaren Spritzmobil ein 1000 l-Vorratsbehälter aufgebaut und das BE-Mittel - Wassergemisch über 2 Zahnradschleppen



Abb. 2: Spritzmobil auf der Fahrt zum Waschplatz

zu den Düsen gepumpt. Wir haben keine Hochdruckausrüstung verwendet und mit Vorbohrungsdüsen mit auf 3 mm aufgebohrten Wasserdüsen mit 5 bar Druck des Wasser-BE-Gemischs sehr guten Erfolg erzielt.

Die Rückprallmenge konnte mit dieser Anordnung auf 15 - 20 % gedrückt werden, wobei dieser Aussage keine exakten Messungen, sondern nur die üblichen baupraktischen Meßmethoden und Schätzungen zu Grunde liegen.

Hauptverantwortlich dafür ist meiner Ansicht nach die mechanische Düsenführung, die es ermöglicht, über den gesamten Querschnitt den optimalen Abstand und den Spritzwinkel von 90 Grad der Düse zur Ausbruchfläche einzuhalten.



Abb. 3: Spritzmobil beim Einsatz

In weiterer Linie ist sicherlich auch die Verwendung des langsamen Zementes und der Einsatz des flüssigen Erstarrungsbeschleunigers mitverantwortlich.

Der langsame Zement insofern, da eine längere Topfzeit im Vorratssilo, wie sie in der Baupraxis immer wieder vorkommt, die Qualität des Trockenmischgutes nicht verschlechtert. Im Gegensatz zu hitzigen Zementen reagiert ein NUHS-Zement nicht, bzw. nur sehr langsam mit der Zuschlagstofffeuchte. Wir haben festgestellt, daß Lagerzeiten des Trockenmischgutes bis zu 5 Stunden der Verarbeitbarkeit und der Qualität des Spritzbetons keinen Abbruch tun.

Der Anteil des flüssigen BE-Mittels an der Verminderung des Rückpralls resultiert sicher aus der gleichmäßigen Dosierung, die bei flüssigen Zusatzmitteln, die ins Anmachwasser eingegeben werden, leichter zu erreichen ist, als bei pulverförmigen Beschleunigern.

Falls Sie in meinem Vortrag den theoretischen Hintergrund aller Erscheinungen und exakte Meßdaten vermißt haben, dann bitte ich Sie, dies zu entschuldigen. Die dargestellte Entwicklung hat sich unter Baustellenbedingungen unter äußerstem Termin- und Kostendruck abgespielt.

Nachdem sich die Verwendung einer üblichen Standardrezeptur, unter Laborbedingungen hergestellt und geprüft, in der Baupraxis als Flop erwiesen hat, blieb uns keine Zeit und kein Geld für großangelegte wissenschaftliche Untersuchungen.