

---

# Erfahrungen mit neuen Spritzsystemen

---

EXPERIENCES WITH NEW SHOTCRETE SYSTEMS

WALTER KARPELLUS, MAYREDER, KRAUS & CO, SALZBURG

In letzter Zeit macht die Entwicklung vor allem des Trockenspritzbetons nach jahrelanger Stagnation gewaltige Fortschritte und zwar sowohl auf betontechnologischem als auch auf anwendungstechnischem Gebiet.

So ist der jahrelange Traum vieler Tunnelbauer, jederzeit Spritzbeton zur Verfügung zu haben, Realität geworden. Auch alle früheren Sorgen mit Trockenspritzbeton einen B 25 zu erreichen und sicherheitstechnische Probleme gehören der Vergangenheit an.

Anfang 1993 wurden die ersten ernsthaften Bemühungen im Großtunnelbau unternommen, naturfeuchte Zuschläge direkt an der Ortsbrust mit abbindebeschleunigerfreiem Spritzbetonbindemittel zu mischen und sofort zu verarbeiten. Heute kann dieses System als ausgereift und praxiserprobt bezeichnet werden. Immerhin wurden mit diesem System bis dato ca. 30.000 m<sup>3</sup> Spritzbeton im Großtunnelbau verarbeitet. In diesem Beitrag wird die Entwicklung der Methode im Zeitraffer nachvollzogen, über den heutigen Technologiestand berichtet und ein Zukunftsausblick aus der Sicht des Vortragenden gegeben.

*After years of stagnation, dry-mix shotcrete technology has recently made tremendous headway both from the concrete technological viewpoint and in terms of practical application.*

*This means that an old dream of many tunneling engineers has finally come true, i.e. the availability of shotcrete at any time. Former problems in producing C25 concrete with dry-mix shotcrete as well as safety concerns are no longer relevant.*

*At the beginning of 1993, first serious attempts were made in the construction of large tunnels to mix natural moist aggregates with accelerator-free special cement for shotcreting directly at the working face and to place the shotcrete without delay. Now this system can be said to be tried and tested. After all, approximately 30,000 m<sup>3</sup> of shotcrete have so far been placed in large tunnels using this system. The paper very briefly recapitulates the development of the method, describes the current state of technology and presents future perspectives from the author's point of view.*

Ich möchte zuerst einen kleinen geschichtlichen Rückblick über die Entwicklung der Verfahrenstechnik des Trockenspritzverfahrens mit Spritzzement und naturfeuchten Zuschlägen für den Großtunnelbau geben.

Im Frühjahr 1992 kam ein Vertreter der Zementindustrie auf unsere damalige Tunnelbaustelle „Nordumfahrung Lofer“ und sagte mir, er hätte einen Trockenspritzbeton, der mit naturfeuchten Zuschlägen herstellbar wäre und trotzdem keinen Beschleuniger benötige. Festigkeitseigenschaften, Frühfestigkeiten, Elutionsverhalten etc. entsprächen in etwa den bereits bekannten ofentrockenen Fertigprodukten bzw.

alkalifrei beschleunigtem Trockenspritzbeton oder auch in etwa denen von Naßspritzbeton. Nur fehlte zu diesem Zeitpunkt noch eine praktikable Lösung für die Herstellung dieses Spritzbetons vor Ort. Bis dahin wurde der besagte Spritzbeton mittels eines Zweikammersilos hergestellt, welcher aber für die Kalotte viel zu groß war und außerdem nur 8 m<sup>3</sup> Inhalt hatte. Andererseits durfte die Verweildauer Mischen - Auftrag nur ca. eine halbe Minute betragen, so daß ein Transport vom Silo zur Einbaustelle nicht in Frage kam.

Nachdem der gefahrene Versuch im Tunnel auch Überkopf

äußerst zufriedenstellende Ergebnisse brachte, stand für mich aber fest: dieser Spritzbeton hat im Tunnelbau Zukunft. So wurde mit der Entwicklung eines entsprechenden Gerätes begonnen. Die erste Konstruktion war ein LKW, der alle Komponenten für die Herstellung integriert haben sollte. Zementsilo, Zuschlagsilo, Mischschnecken und Spritzmaschinen. Das war aber nur der Wunsch der Konstrukteure und vor allem des Bauleiters, also meiner Wenigkeit - in der Realität nicht machbar. Heute wird dieser LKW für Böschungssicherungen verwendet und enthält nur mehr den Zementsilo und die Mischschnecken. Der nächste Konstruktionsversuch war das am Zammer Tunnel eingesetzte stationäre Gerät mit allen Komponenten. Dieses Gerät sollte wie eine konventionelle Spritzanlage mit einem Radlader oder Bagger, dem Fortschritt in der Kalotte entsprechend, nachgezogen werden. Dieses Nachziehen war aber auf Grund des Gesamtgewichtes der leeren Anlage von etwa 30 to doch ziemlich beschwerlich, so daß alsbald die Beweglichkeit der Erstkonstruktion herbeigesehnt wurde. Auch wurde der Wunsch nach einem Spritzroboter auf Grund der hohen möglichen Stundenleistung der verwendeten Spritzmaschinen immer lauter. So entstand die dritte Anlage, welche am Ochenigtunnel zum Einsatz kam: auf einem Raupenfahrwerk selbstfahrend und lenkbar, mit einem Spritzroboter und zwei Spritzmaschinen mit jeweils max. 12 m<sup>3</sup> fest Stundenleistung. In die nunmehr letzte Konstruktionsphase sind weitere Verbesserungsvorschläge eingeflossen, so daß die 4. Anlage folgende Merkmale aufweist:

- selbstfahrend und lenkbar mittels Raupenfahrwerk, Leergewicht ca. 35 to,
- Spritzarme,
- Spritzmaschinen, theoretische Leistung je 12 m<sup>3</sup>/h fest,
- stufenlose Leistungsregulierung von ca. 4 m<sup>3</sup>/h - 12 m<sup>3</sup>/h,
- stufenlose Regulierung des Mischungsverhältnisses von 200 - 500 kg Bindemittel/m<sup>3</sup> Spritzbeton (z.B. für Sohlbeton),
- EDV - Erfassung aller Mischvorgänge mit Ausdruck der jeweiligen Mengen und Verarbeitungszeiträume.

Zu dem Schluß, daß dieser Spritzbeton Zukunft hat, haben mich aber schon viel früher gemachte Überlegungen über die Grenzen der Anwendbarkeit verschiedener Spritzbetonarten gebracht, die da wären:

#### Naßspritzbeton:

Den unbestrittenen Vorteilen wie geringer Rückprall und relative Staubbefreiheit stehen ebenso unbestrittene technische Nachteile wie Aufbringungsprobleme bei Wasserzutritten, Aufbringungsprobleme bei kurzen Abschlagslängen infolge hoher Stundenleistung und Verfügbarkeit bei schwierigen Gebirgsverhältnissen, wo Spritzbeton oft über Stunden und in kleinsten Mengen sicher verfügbar sein muß, gegenüber. Ob und wenn ja, wie hoch der wirtschaftliche Nachteil des durch die hohe Düsenleistung aufgebracht-

ten Mehrspritzbetons ist, wird immer der Beurteilung des Anwenders unterliegen. Für eine noch gute Steuerbarkeit der Aufbringungsstärke sollte meines Erachtens die Düsenleistung mit max. 8 - 10 m<sup>3</sup>/Stunde begrenzt werden. Nimmt man als mittlere Mehrstärke durch die unregelmäßigen Erhebungen nur 3 cm an, so ergibt sich bei einer angenommenen Preisdifferenz Ringbeton zu Spritzbeton von 1500,- öS/m<sup>3</sup> ein Mehraufwand von ca. 1100,- öS/Meter Tunnel.

#### Ofengetrockneter Spritzbeton:

Als es diese Produkte vorwiegend nur als Werksgemisch in Silos oder Säcken gab, hielten mich (außer für Sonderfälle), folgende Umstände von einer Anwendung im großem Umfang ab:

- preisliche Überlegungen
- Bringung vor Ort
- Staubproblem bei entsprechender Düsenleistung
- hoher Rückprall

Mit der Entwicklung der Baustellentrocknung und entsprechender Gerätschaft für den Transport und das Aufbringen des ofentrockenen Materials ist sicher ein Großteil dieser Probleme gelöst worden. Die Staubbentwicklung wird bei Anwendung des gleichen Benetzungsverfahrens und der gleichen Düsenleistung sicherlich über jener von naturfeuchten Zuschlägen liegen.

Mit den folgenden Gegenüberstellungen (**Bild 1**) versuche ich eine Bewertung von einzelnen Kriterien vorzunehmen.

Welche Wertigkeit die Kriterien haben, muß natürlich von Fall zu Fall entschieden werden. Im großen und ganzen kann, so glaube ich, heute zum Glück gesagt werden, daß die geforderte Betonqualität von allen zur Anwendung gelangenden Spritzbetonen sicher erreicht wird.

Welches Verfahren nun tatsächlich angewandt werden soll, hängt meines Erachtens nur mehr von 2 Kriterien ab:

- Naßspritzverfahren nur bei gutem und relativ trockenem Gebirge
- ansonsten wirtschaftliche Überlegungen unter Berücksichtigung von Gesamtleistung der Spritzanlage und der erzielbaren Rückprallwerte. Wie die angeführten 3 Fallbeispiele zeigen, liegen die Gesamtkosten des abgerechneten, theoretischen Kubikmeters um 2,5 bis 4 mal höher als der Einkaufspreis für einen Kubikmeter Spritzbeton, je nachdem welche Stundenleistungen, Rückprall- u. Überprofilfaktoren angenommen werden.

Es wird in nächster Zeit versucht eine spezielle Hochdruckbenetzungsdüse einzusetzen, die hoffentlich imstande ist, eine weitere Staubreduktion herbeizuführen und damit ein dem Naßspritzbeton angenähertes Arbeitsklima zu schaffen.

**Gegenüberstellung Spritzbetonsysteme :**

Bewertung :

x	x	x	x	x	sehr gut
	x	x	x	x	gut
		x	x	x	mittel
			x	x	weniger zufriedenstellend
				x	nicht zufriedenstellend
				o	durch Entwicklung möglich

	Naßspritzbeton					Ofentrockener SpB od. Fertigprodukt					Naturfeuchter SpB																
<b>Baubetrieb:</b>																											
Leistung gesamt (m³/h)	theor.	1 Düse	22							2 Düsen	22					2 Düsen	22										
	prakt.	wegen Aufbring.	14			x	x	x	x	wegen Staub	14		o	x	x	x		18	o	x	x	x	x				
bei Wasserandrang								o	o	x				o	x	x	x			o	x	x	x	x			
mögl. Menge/A	max. m³	unbegrenzt			x	x	x	x	x	Grenze Gerät	14			x	x	x		unbegrenzt			x	x	x	x	x		
	min. m³	prakt. 1m³						o	x		0,1	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x			
Verfügbarkeit im Normalfall								o	x	x				x	x	x	x					x	x	x	x		
Verfügbarkeit im Notfall		Mischzeit, Fahrzeit						o	x	x				x	x	x		Vorrat in Kalotte					x	x	x	x	
Arbeitshygiene (Staub)								o	x	x	x	x				o	x						o	x	x	x	
Reinigungsaufwand										x	x					x	x							o	x	x	x
Restmengen		regelm. (Reinig.)								x	x					x	x	x						x	x	x	x
Bindemitteldosierung		fix (pumpfähig)								x	x	x				x	x	x						x	x	x	x
Platzbedarf Anlage		Ortbetonanlage								x	x	x				x		Ort-u. SpB-Anlage							x	x	x

	Naßspritzbeton					Ofentrockener SpB od. Fertigprodukt					Naturfeuchter SpB																
<b>Betontechnologie:</b>																											
Frühfestigkeiten	J2 - J 3			x	x	x	x	x		J2 - J 3			o	x	x	x	x	J2 - J 3			o	x	x	x	x		
Endfestigkeit	B 40 - B 70			x	x	x	x	x		B 40 - B 60			o	x	x	x	x	B 40 - B 60			o	x	x	x	x		
WU + Frostbest.				x	x	x	x	x					o	x	x	x	x				o	x	x	x	x		
Elutionen	wie 0 - Beton			x	x	x	x	x		wie 0 - Beton			x	x	x	x	x	wie 0 - Beton			x	x	x	x	x		
Rückprall %				o	x	x	x	x		Benetzung				o	x	x						o	x	x	x		
Datenerfassung an Mischanlage	EDV-Erfassung					x	x	x	x	EDV-Erfassung				x	x	x	x	EDV-Erfassung						x	x	x	x
bzw. Kontrolle vor Ort	Schätzung							x	x	Schätzung						x	x	EDV-Erfassung						x	x	x	x
Zeit Mischung - Verbrauch								x	x	nicht nötig				x	x	x	x	Sofortverbrauch						x	x	x	x

	Naßspritzbeton					Ofentrockener SpB od. Fertigprodukt					Naturfeuchter SpB																
<b>Wirtschaftlichkeit:</b>																											
Grundbaustoff	mehr Bindem., BE					x	x	x	x	Trocknung, Transp.					x	x	x	x						x	x	x	x
Rückprall theor. %		10				x	x	x	x	Benetzung	30			o	x	x		20			o	x	x	x	x		
Verschleiß								x	x	trock., keine SB-M				x	x	x	x	feucht, SB-M					o	x	x	x	x
Gesamtgerätekosten								x	x						x	x	x							x	x	x	x

Bild 1: Gegenüberstellung einiger Bewertungskriterien

