
Erfahrungen mit der Richtlinie "Spritzbeton" des Österreichischen Betonvereins in der Praxis

PRACTICAL EXPERIENCES WITH THE GUIDELINE ON SHOTCRETE ISSUED BY THE AUSTRIAN CONCRETE ASSOCIATION

DIPL.-ING. DR. TECHN. HELMUT HUBER, TAUERNPLAN PRÜF- UND MEßTECHNIK GMBH., STRASS

Vor genau vier Jahren ist die Richtlinie "Spritzbeton" des ÖBV erschienen und wird seitdem bei praktisch allen Tunnelbauvorhaben in Österreich als Vertragsbestandteil verwendet. Über die gewonnenen Erfahrungen und Verbesserungsvorschläge wird berichtet.

The guideline was published exactly four years ago and has since formed part of almost all tunneling contracts in Austria. The author reports on practical experiences and puts forward suggestions for improvement.

Die Richtlinie "Spritzbeton - Teil 1: Anwendung" wurde vor genau vier Jahren vom österr. Betonverein herausgegeben. Von den 1500 Exemplaren der Erstauflage wurden bis Ende 1992 mehr als 90 % verkauft, sodaß in nächster Zeit eine Neuauflage und damit auch die Möglichkeit einer Überarbeitung besteht; genau der richtige Zeitpunkt, Bilanz über die Verwendbarkeit der Richtlinie in der Praxis zu ziehen. Seit ihrem Bestehen wird die Richtlinie von praktisch allen österreichischen Bauherren von großen Hohlraumbauten - Straßen- und Eisenbahntunnels sowie Kraftwerksanlagen -, bei denen die überwiegende Menge an Spritzbeton eingebaut wird, verbindlich in den Bauverträgen aufgenommen. Damit ist ein wesentliches Ziel der Richtlinie erreicht, für den Bieter und Ausführenden gleiche Voraussetzungen und Qualitätsanforderungen zu schaffen. Da nach wie vor mehr als 90 % des Spritzbetons im Trockenverfahren unter Verwendung von flüssigen Erstarrungsbeschleunigern im händischen Auftrag hergestellt werden, beschränken sich die Erfahrungen mit der Richtlinie hauptsächlich auf dieses Verfahren.

Wesentlichen Anteil an der heute weitgehend problemlosen Herstellung eines qualitätsgerechten Spritzbetons hat der aufgrund der Richtlinie vereinheitlichte "Tunnelzement". In der Richtlinie Spritzbeton wurden erstmalig über die Zementnorm ÖN B 3310 hinausgehende Qualitätsbedingungen festgelegt, nach denen die österr. Zementindustrie einen hochwertigen und besonders gleichmäßigen Zement herstellt. Besonders bewährt hat sich der sogenannte PZ 275 (F)20, eigentlich entsprechend seiner Qualität ein PZ 375, der nicht nur ein ideales Erstarrungsverhalten und Festigkeitsentwicklung aufweist, sondern wegen seiner hohen Feinheit auch eine gute Klebewirkung beim Spritzbetonauftrag und damit geringen Rückprall ermöglicht (Bild 1). Der "Tunnelzement" ermöglicht bei entsprechender Qualität der Zuschläge die problemlose Spritzbetonherstellung mit 350 - 370 kg/m³.

Bei den Erstarrungsbeschleunigern geht der Trend leider genau umgekehrt, von der Qualität zu Billigstpreisen, sodaß gegenüber den guten Ergebnissen bei der Wiener U-Bahn in den

80-er Jahren hinsichtlich Festigkeitsabfall und Dichtigkeit des Gefüges eine Verschlechterung eingetreten ist. Der Grund dafür liegt vor allem in den Forderungen der Baustelle. Für den Auftrag des Trockenspritzbetons in größeren Schichtstärken wird von den Vortriebsmannschaften eine Festigkeitsentwicklung des jungen Spritzbeton in obersten Bereich "J2" gefordert, andererseits auch eine Dosiergarantie des flüssigen Erstarrungsbeschleuniger von 6-7 M-% vom Zement. Daher werden Produkte mit hoher Konzentration eingesetzt, was wieder zu einem geänderten Erstarrungsverhalten und hohen Festigkeitsabfall von 30, manchmal bis 35 % führt. Der Spritzbeton erreicht zwar die geforderten Festigkeiten aufgrund der guten Zementqualität, die geringere Gefügedichte des Spritzbetons und der hohe Alkaligehalt des EB führen aber verstärkt zu Aussinterungen. Zu rasche Erstarrungsbeschleunigung vergrößert außerdem den Rückprall, da das Eindringen von größeren Zuschlagkörnern in das Mörtelbett verhindert wird.

Zementwerk		A	B	C	D
Spez. Oberfl. Blaine cm ² /g	1	4500	4300	4500	4600
	2	± 285	± 250	± 160	± 150
Probenanzahl		37	19	21	12
Druckfestigkeit 1d N/mm ²	1	14,1	13,2	12,8	12,1
	2	± 1,95	± 2,0	± 2,1	± 1,8
	3	10,3	9,9	9,4	9,1
Druckfestigkeit 28 d N/mm ²	1	46,6	48,8	46,1	43,1
	2	± 3,8	± 2,8	± 2,9	± 2,4
	3	40,4	44,2	41,3	39,2
Probenanzahl		222	114	126	60
1 Mittelwert					
2 Standardabweichung					
3 5 % Fraktile					

Bild 1: Güteprüfung Tunnelzement
PZ 275 (F) 20

Bei den Zuschlägen hat sich die Einführung des Größtkorns 11 mm als gut erwiesen. Der Spritzbeton ist besser verarbeitbar, weist weniger Rückprall auf und ermöglicht eine bessere Einhüllung des Baustahlgitters. Bei verschiedenen Baustellen, vor allem bei der U-Bahn Wien, wurde der Zuschlag B 11 als werksgemischter Kies ohne unzulässige Schwankungen oder Entmischung zur Baustellenmischanlage geliefert.

Bei sachgemäßer Spritzbetonherstellung liegt der Rückprall beim Vortrieb in der Kalotte zwischen 20 und 23 M-%. Dies haben Messungen an

je 3 Abschlüssen im Kalottenvortrieb auf 2 Baustellen ergeben (Bild 2). Die Messungen erfolgten nach den im Teil 2 der Richtlinie "Spritzbeton" angeführten Verfahren. Die gute Übereinstimmung der zwei Verfahren ist erst bei größeren Spritzbetonmengen gegeben, bei der Auswertung der einzelnen Abschlüsse haben sich Unterschiede von ± 3 % ergeben.

Baustelle	A / 23 m ³	B / 46 m ³
Wägung	21 M-%	20 M-%
Geodätisch	23 M-%	23 M-%

Bild 2: Messung des Rückpralls von Trockenspritzbeton

Bei der Herstellung und dem Transport von Trockenmischgut wurden in der Praxis zwei wichtige Faktoren festgestellt, die in der Neubearbeitung beachtet werden müssen: Um einen Spritzbeton "J2" zielsicher herzustellen muß das Trockenmischgut mindestens +10 °C haben und vorgewärmtes Wasser verwendet werden, sodaß der Spritzbeton zum Zeitpunkt des Auftragens eine Temperatur von 12 - 15 °C aufweist.

Die Hauptursache für Probleme bei der Spritzbetonherstellung (Auftrag, Rückprall, Festigkeiten) ist eine zu lange Verarbeitungszeit des Trockenmischgutes. Bei längeren Vortriebsstrecken, aber auch um verbleibendes Material nicht verwerfen zu müssen, wird die in der Richtlinie angegebene Verarbeitungszeit von 1½ Stunden weit überschritten. Die Probleme treten bei Verarbeitungszeiten über 3 Stunden auf, besonders im Sommer bei hohen Mischguttemperaturen. Da die Zemente hinsichtlich Verarbeitungszeit unterschiedlich reagieren, wird eine Abschätzung des möglichen Zeitraums mit der im 2. Teil angegebenen Prüfmethode empfohlen.

Die Richtlinie hat bei den Planern von Großtunnelbauten die Einführung einer einheitlichen Spritzbetonsorte SpB 22,5 (56)/II/J2/GK 11 bewirkt, die mit den beschriebenen Ausgangsstoffen meist problemlos herzustellen ist (Bild 3). Die Erweiterung der Festigkeitsklassen mit einem Beurteilungsalter nach 56 und 90 Tagen hat sich bewährt.

Die "Besonderen Eigenschaften" des Spritzbetons WU und FB werden nur bei Instandsetzungsarbeiten gefordert, die mit den dafür eingesetzten Fertigprodukten auch erreicht werden. Im Hohlraumbau ist die Sulfatbeständigkeit ein

wichtiges Kriterium. Die Vorschriften der Richtlinie haben sich bewährt, dazu muß ergänzt werden, daß die Beigabe von Silicastaub eine wesentliche Verbesserung der Sulfatbeständigkeit bewirkt und deshalb bei starkem Sulfatangriff für konstruktiven Spritzbeton III eingesetzt werden sollte.

Baustelle		A	B	C
Probenzahl		169	171	124
Druckfestigkeit 1d N/mm ²	1	13,4	13,4	12,8
	2	± 3,3	± 3,5	± 3,6
Druckfestigkeit 56 d N/mm ²	1	31,1	29,9	28,2
	2	± 5,4	± 4,3	± 4,4
	3	24,2	24,4	22,6
Zementdosierung PZ 275 (F) 20: 350 - 360 kg/m ³				
1 Mittelwert				
2 Standardabweichung				
3 10 % Fraktile ("Festigkeitsklasse")				

Bild 3: Güteprüfung des Spritzbetons an Bohrkernen aus Tunnelaußenschalen

Bei der Prüfung des Spritzbetons haben sich die Verfahren der Richtlinie gut bewährt. Für die Prüfung des jungen Spritzbetons im oberen Festigkeitsbereich ist dem Hilti-Setzbolzenverfahren der Vorzug zu geben. Zum Überlegen sind die Prüftermine für den "jungen" Spritzbeton,

die derzeit ein Messen in 2 Arbeitsschichten erfordern. In der Regel wird es genügen, den Festigkeitsverlauf bis 3 Stunden und dann nach 24 Stunden zu messen. Die Prüfung der 1-Tagesfestigkeit erfolgt am einfachsten an Bohrkernen. Zum Nachweis der Festigkeitsklasse hat sich die Entnahme von Bohrkernen aus dem Bauwerk (Tunnelaußenschale) zielführender als Probekisten erwiesen. Bei der Häufigkeit der Prüfungen ist leider noch keine Vereinheitlichung eingetreten, dies sicher auch deshalb, weil die Häufigkeit der Güteprüfung erst im Teil 2 der Richtlinie erschienen ist (Bild 4). Für Großtunnelbaustellen, wie Inntal- oder Säusensteintunnel, ist die Häufigkeitsklasse II vorgesehen und sicher auch ausreichend.

Bei dieser Tagung wurden sehr viele neue Möglichkeiten zur Herstellung von Spritzbeton vorgestellt, die den Bestimmungen der Richtlinie gut entsprechen und daher keine neuen Festlegungen erfordern. Abschließend sei gesagt, daß die erste Fassung der Richtlinie "Spritzbeton" die ersten 4 Jahre gut überstanden hat und bei der Neuauflage nur geringe Verbesserungen nötig sind. Die Richtlinie kann aber wie alle anderen Regelwerke auch kein Allheilmittel gegen Schlamperei und Ignoranz sein und ist auf den guten Willen aller Beteiligten angewiesen.

Prüfung	Eigenschaft	Prüfmethode	Prüfkörper Prüfmenge	Prüfalter	Anzahl der Prüfungen für Häufigkeitsklasse mind.			
					I	II	III	
"Junger" Spritzbeton	Druckfestigkeit	Penetrationsnadel	Spritzbeton- fläche Ø 100 mm Spritzbetonfläche	15', 30', 1h, 2h, 3h	1 x monatlich	1 x monatlich	500 m ²	
		Kaindl - Meyco Bolzensetzverfahren		6h, 9h, 12h, 24h				
		Bohrkerne		(24 h), 7d, 28d, (56,90)				
	*)	statistische Auswertung (10 % F)	Anzahl > 30	je Altersstufe	-	-	alle 2 Monate	
	*)	Wasserundurchlässigkeit	ÖNORM B 3303	Bohrkerne Ø 200 mm, H=120	mindestens 28 d	-	1 x	5 000 m ² alle 3 Monate
	*)	Frostbeständigkeit	ÖNORM B 3303	Ø 100 mm, H=200	mindestens 56 d	-	1 x	10 000 m ² , 6 M.
	Sulfatbeständigkeit	RL Teil 2, Punkt 5	Ø 50 mm, H= 10	mindestens 28 d	-	1 x	10 000 m ² , 6 M.	
	*) E-Modul	ÖNORM B 3303	Ø 100 mm, H=200	3, 7, 28, 56 d	-	1 x	10 000 m ² , 6 M.	
Zuschlag	Sieblinie	ÖNORM B 3304			1 x monatlich	2 x monatlich	4 x monatlich	
	Eigenfeucht				-	laufend	laufend	
Zement	Spez. Oberfläche Erstarren, Festigkeit 1 d, 28 d, Wasserabsonderung	Blaine ÖNORM B 3310 ZKG 1968, Seite 457	5 kg	Prüfung möglichst bald nach Probenahme	-	alle 2 Monate (Mischprobe aus 4 Entnahmen)	1 x monatlich (Mischprobe aus 4 Entnahmen)	
Sonderzement	zusätzlich z.B. C3A	Bogue	5 kg		-	-	- " -	
Zusatzstoff (z.B. Flugasche)	Spez. Oberfläche	ÖNORM B 3320	1 kg		-	alle 2 Monate	- " -	
EB Pulver oder flüssig	Identitätsprüfung kein Angriff auf Bewehrung, hyg. Unschädlichkeit	RL Teil 2, Punkt 1.4	1 kg oder 1l		1 x in 2 Monaten	1 x in 2 Monaten	1 x monatlich	
Trocken- mischgut	Sieblinie	ÖNORM B 3304	10 kg					
	Eigenfeuchte	ÖNORM B 3303	10 kg	1 x monatlich	2 x monatlich	4 x monatlich		
Nullbeton	Druckfestigkeit, Festigkeitsabfall	RL Teil 2, Punkt 2.2 insbesondere bei Anlieferung von Transportbeton		28 d	1 x	alle 2 Monate		

*) Prüfung je nach Anforderung (Spritzbetonsorte)

Bild 4: Häufigkeit der Güteprüfung nach Häufigkeitsklasse I, II und III

