

Gegenüberstellung des Trocken- und des Naßspritzverfahrens aus der Sicht des Praktikers

Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut HUBER

Tauernkraftwerke AG, Bautechnische Materialversuchsanstalt Straß/Österreich

Eine praxisgerechte Gegenüberstellung der heutigen Möglichkeiten des Trocken- und Naßspritzverfahrens muß sowohl die technologischen als auch die arbeitstechnischen Aspekte erfassen. Diese zusammen ergeben die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und damit die Möglichkeit seines Baustelleneinsatzes.

Die betontechnologischen Anforderungen an den Spritzbeton reichen bei seinen heutigen hauptsächlichlichen Anwendungsgebieten im Stollen- und Tunnelbau von langer Verarbeitungszeit, problemlosem Auftrag auch in größeren Stärken und über Kopf, geringem Rückprall, hohen Früh- und Endfestigkeiten bis zur Forderung nach dichtem Gefüge und oft auch nach chemischer Widerstandsfähigkeit. Bei der Beurteilung des Herstellungsverfahrens muß der Einfluß auf alle Spritzbetoneigenschaften berücksichtigt werden. Technologisch entscheidend sind die Art und Qualität des Zementes, die Zusammensetzung des Zuschlags und die gegenseitige Abstimmung von Zement und Zusatzmitteln hinsichtlich Erstarrungsbeschleunigung und Festigkeitsbeeinflussung. Gerade der durch die Erstarrungsbeschleunigung verursachte Abfall der Endfestigkeit wird oft zu wenig beachtet. Letztlich ist die Gleichmäßigkeit der erwähnten Eigenschaften bei der Ausführung besonders wichtig.

Ein Ausschnitt aus der Entwicklung des Spritzbetons innerhalb der letzten 12 Jahre soll diese Einflüsse veranschaulichen. Den Anfang macht die Baustelle Tauerntunnel, bei der in Österreich eigentlich erst die ziel-sichere Betonherstellung im Hinblick auf die geforderte Endfestigkeit begann (Tab.1).

Die österreichische Zementindustrie belieferte schon diese Baustelle mit einem Zement, der sich in Zusammensetzung und Gleichmäßigkeit den Anforderungen an Spritzbeton hinsichtlich Mahlfineinheit, Erstarrungsverhalten, Früh- und Endfestigkeiten gut anpaßte. Nach anfänglichen Schwierigkeiten war es auch möglich, geeignete Zusatzmittel mit ausreichender Erstarrungsbeschleunigung und zumindest begrenztem, wenn auch hohem Festigkeitsabfall von 40 % bis zum Alter von 28 Tagen einzusetzen. Ein nicht nur beim Tauerntunnel, sondern praktisch bei allen Tunnelbaustellen im Alpenhauptkamm auftretendes Problem war die Festigkeitsleistung der Zuschläge. Mit Größtkorn 12 oder 16 mm im Sieblinienbereich B muß ein Beton mit mindestens 40 N/mm² Druckfestigkeit hergestellt werden, um unter Berücksichtigung des Festigkeitsabfalls die oft geforderte Festigkeitsklasse B 300 sicherzustellen. Die Qualität von Zement und Zuschlag

muß daher bei jeder Beurteilung von Spritzbeton in Form der Festigkeit des Nullbetons ohne Zusatzmittel beurteilt werden (Tab.1, Vergleich Tauern- und Bosrucktunnel). Während der für den Tauerntunnel verwendete Kalkzuschlag nur 28-Tage-Festigkeitswerte entsprechend B 225 zuläßt, sind beim Bosrucktunnel bei sonst vergleichbarer Zusammensetzung mit dem gebrochenen Dolomitzuschlag Festigkeiten von B 300 möglich.

Die sehr oft auftretenden Probleme mit den Endfestigkeiten des Spritzbetons sollten den Tunnelplaner veranlassen, nur die tatsächlich erforderlichen Festigkeiten und den dafür unbedingt erforderlichen frühesten Zeitpunkt zu verlangen. Beim Spritzbeton für den Arlberg-tunnel wurde erstmalig unter Einhaltung der erforderlichen Erstarrungsbeschleunigung Flugasche als Zementzusatz eingesetzt und damit der Festigkeitsabfall um 8 % verringert, und die Dichtigkeit des Betongefüges verbessert, was besonders für die Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff Vorteile bringt.

Mit der Verwendung eines aluminatar-men, flüssigen Erstarrungsbeschleunigers für einen sulfatbeständigen Spritzbeton wurde bei der Baustelle Bosrucktunnel neben dem Effekt der chemischen Widerstandsfähigkeit auch eine sehr deutliche Verringerung des Festigkeitsabfalls auf etwa 20 % erreicht. Damit konnte in Verbindung mit den besonders günstigen Zuschlägen ein Spritzbeton B 400 hergestellt werden. Der Einsatz von flüssigen Erstarrungsbeschleunigern ermöglicht aufgrund der besseren Dosiergenauigkeit und Durchmischung im Spritzbeton eine geringere Zugabe an wirksamen Stoffen und damit eine deutliche Verbesserung der Spritzbetontechnologie. Er bringt aber auch Vorteile beim Arbeitsablauf, die sich vor allem bei dem gleichmäßigen Betrieb des maschinellen Vortriebs beim 20 km langen Wallgaustollen gezeigt haben. Der Nachteil der flüssigen Spritzhilfe, die schlechtere Erstarrungsbeschleunigung bei Wasserandrang, kann bei den Sicherungsarbeiten an der Stollenbrust durch Kombination mit einem pulverförmigen Beschleuniger ausgeglichen werden, ohne daß der nachfolgende konstruktive Spritzbeton beeinträchtigt wird.

Alle derzeitigen Möglichkeiten zur Optimierung des Spritzbetons im Trockenverfahren werden sicher bei der Wiener U-Bahn-Baustelle U6/1 genutzt, wo mit C₃A-freiem Zement, Flual und einem aluminatar-men, flüssigen Erstarrungsbeschleuniger bei entsprechendem Erstarrungsverhalten mittlere 28-Tage-Festigkeits-

		Trockenspritzverfahren					Naßspritzverfahren			
Spritzhilfe		pulverförmig			flüssig		Wasserglas	flüssig		
Baustelle		Tauern-tunnel	Arlbergtunnel		Bosrucktunnel		Landrückentunnel	Ausgleichs-becken Schwarzach		
		1972	1976		1980		1984	1984		
Binde-mittel	Zementtype	PZ 275 (H)	PZ 275 (H)	PZ 275 (H)	HS (C ₃ A 2 %)	HS (C ₃ A 2 %)	HS (C ₃ A 0 %)	PZ 35 F	FAS	
	Zementdosierung kg/m ³	410	410	350	340	340	350	400	295	
	Flugasche kg/m ³	—	—	60	50	50	50	40	125	
Spritz-hilfe	Labordosierung %	4	4	4	3	5	5	12	3	
	Festigkeitsabfall %	35-45	30-40	30-40	35-45	15-18	8-16	50	20	
	Baustellendosierung %	6 - 9			5 - 7		12-14	4		
w/z		0,49	0,48	0,49	0,52	0,50	0,38	0,48	0,50	
Güteprüfung Baustelle	Druck-festigkeit (N/mm ²)	Nullbeton 28d	38,0	35,0	34,5	53,5	53,5	47,5	57,5	56d 42,5
		28d	24,5	22,0	24,7	34,8	43,3	39,3	34,0	—
		56d	27,5	25,1	28,6	37,9	46,5	(45,2)	—	34,5
	Festigkeitsabfall 28 d	35	37	28	35	19	17	41	20	

Tabelle 1. Spritzbeton - Ergebnisse von Güteprüfungen.

von 39 N/mm² bei 3,8 N/mm² Standardabweichung erreicht werden. Wegen der großen Nacherhärtung des Zementes und Fluas sind Endfestigkeiten von 50 N/mm² zu erwarten. Die Zementdosierung konnte deshalb von ursprünglich 350 auf 330 kg/m³ reduziert werden. Der Festigkeitsabfall beträgt nur 17 %.

Die Aufzählung dieser Beispiele, die nur eine Auswahl von vielen Tunnelbaustellen in diesem Zeitraum darstellt, zeigt den langen Weg der Optimierung des Trockenspritzbetons. Obwohl es Naßspritzbeton schon sehr lange gibt, hat die Optimierung für die Verhältnisse im Tunnelbau erst vor kurzer Zeit begonnen. Die in Tabelle 1 angeführten Beispiele zeigen die heutigen Einsatzmöglichkeiten für den Naßspritzbeton. Der Spritzbeton für die 15 - 20 cm starke Flächendichtung des Ausgleichsbekens Schwarzach ist zwar nicht typisch für die Verhältnisse im Tunnelbau, da bei den 45° geneigten bis vertikalen Flächen keine besonderen Anforderungen an die Erstarrungsbeschleunigung und an die Frühfestigkeiten gestellt wurden, stellt aber eine ideale Einsatzmöglichkeit für das Naßspritzverfahren dar.

Mit dem flüssigen Erstarrungsbeschleuniger auf Aluminatbasis wurden ähnliche Werte des Festigkeitsabfalls wie beim Trockenspritzbeton erzielt. Um dem Naßspritzverfahren mit seinen hohen Anforderungen einen weiteren Anwendungsbereich zu erschließen, müssen die Hersteller von Zusatzmitteln erst geeignete, wirtschaftlich akzeptable Produkte entwickeln. Dabei ist die Erstarrungsbeschleunigung in Verbindung mit den gleichzeitig verwendeten Verflüssigern und der plastischen Konsistenz sicher ein nicht einfach zu lösendes Problem.

Der Spritzbeton mit 12 - 14 % Wasserglas für den Landrückentunnel zeigt deutlich, daß diese Methode der Erstarrungsbeschleunigung im Hinblick auf die Endfestigkeiten nur bei den günstigen Verhältnissen dieser Baustelle mit besonders festigkeitsleistenden Zuschlägen

zum Erfolg führen konnte (Tab.2). Der mit hoher Wasserglas-Dosierung hergestellte Naßspritzbeton weist gegenüber dem Trockenspritzbeton mit Pulver keine wesentlichen technologischen Vorteile auf, wobei allerdings sicher eine noch nicht ausreichend nachgewiesene Verbesserung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges gegeben ist.

Setzt man eine funktionierende maschinelle Einrichtung voraus, liegen die Vorteile des Naßspritzbetons derzeit hauptsächlich auf arbeitstechnischem und wirtschaftlichem Gebiet. Es sind der Wegfall von Staubentwicklung, ein geringer Rückprall, geringer Luftbedarf zur Förderung und besonders die hohen Leistungen zu erwähnen. Demgegenüber stehen eine schwere Spritzeinrichtung, die den Einsatz von Spritzrobotern erfordert, die Erfordernis, die Konsistenz und die Verarbeitungszeit entsprechend der Pumpe und Wirksamkeit der Zusatzmittel sehr genau einzuhalten und das schlechtere Erstarrungsverhalten. Bei den unter gleichen Bedingungen hergestellten Spritzbetonen, einmal im Trockenverfahren mit Pulver, einmal im Naßspritzverfahren mit Wasserglas, ist der Einfluß auf die Frühfestigkeiten bis zu einer Stunde deutlich zu erkennen (Abb.1).

Aus den dargestellten Beispielen ist sehr deutlich festzustellen, daß die drei möglichen Verfahren zur Herstellung von Spritzbeton sicher noch längere Zeit nebeneinander ihren festen Platz auf der Baustelle haben werden.

1. Trockenspritzverfahren mit pulverförmigem Erstarrungsbeschleuniger

wird vor allem für Sicherungsbeton im Vortrieb ohne besondere technologische Anforderungen ausgeführt, wegen seiner Anpassungsfähigkeit vor allem bei stark wechselnden Arbeitsverhältnissen (geringe Kubaturen, geringe und wechselnde Spritzstärken, häufige Arbeitspausen) und stark wechselnden Gebirgsverhältnissen, vor allem bei Wasserandrang.

2. Trockenspritzverfahren mit flüssigem Erstarrungsbeschleuniger

wird für Sicherungs- und konstruktiven Spritzbeton mit besonderen technologischen Anforderungen ausgeführt (Endfestigkeit, Dichtigkeit des Betongefüges, Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff), besonders wirtschaftlich bei gleichmäßigen Arbeitsverhältnissen (z.B. maschineller Tunnelvortrieb) für kleinere und mittlere Leistungen und bei gleichmäßigen Gebirgsverhältnissen; bei Wasserandrang ist die Kombination mit Pulver möglich.

3. Naßspritzverfahren

wird auch nach der sicher möglichen Optimierung von Gerät und Zusatzmittel nur auf Großbaustellen für konstruktiven Spritzbeton mit besonderen technologischen Anforderungen ausgeführt (Endfestigkeit, Dichtigkeit des Betongefüges, Frostbeständigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff), bei gleichmäßigen Arbeits- und Gebirgsverhältnissen für hohe Betonierleistungen.

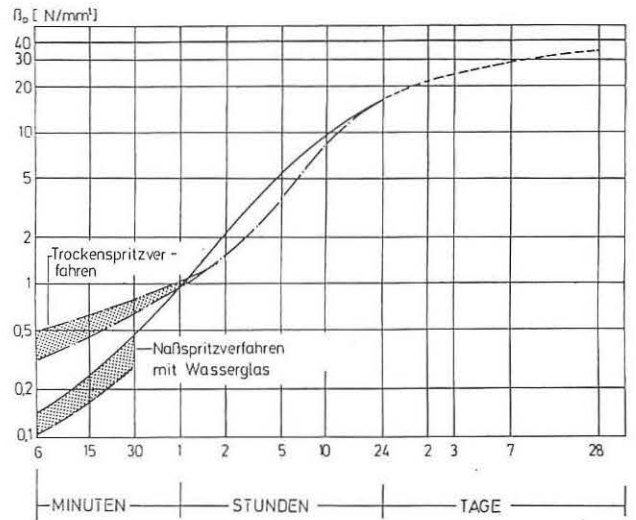


Abb.1. Festigkeitsentwicklung von Spritzbeton (Trocken- und Naßspritzverfahren).

Die Auswahl des richtigen Verfahrens zur Herstellung von Spritzbeton wird also nach wie vor in der Verantwortung des Bauausführenden liegen. Aber auch projektierende und ausschreibende Stellen können einen Anteil zur

Optimierung der Spritzbetonherstellung beitragen, indem sie durch eine exakte, qualitätsbewusste Ausschreibung Anreiz für die Anwendung neuer, verbesserter Methoden bieten.

		TROCKENSPRITZBETON mit PULVER		NASSPRITZBETON mit WASSERGLAS	
Zement kg/m ³		360		400	
Flugasche kg/m ³		40		40	
w/z		0,47		0,48	
Baustellendosierung der Spritzhilfe BE %		6-7		12-14	
Rückprall in %		30		15	
Druckfestigkeit 28 d N/mm ²	Nullbeton	54,0		57,5	
	mit BE	34		34	
Festigkeitsabfall 28d		37		41	
Kosten für Binde- und Zusatzmittel		360 kg PZ 40 kg FA 6,5 % BE (Pulver)	100 % (107%)	400 kg PZ 40 kg FA 0,75 kg BV 13% Wasser- glas	110 % (119 %)
Arbeits- ablauf	Vorteile	kein Spritznebel			
		geringerer Rückprall			
		geringerer Luftbedarf			
		hohe Leistung			
		gleichmäßige Qualität			
	Nachteile	schwere Einrichtung (Roboter)			
		enge Grenzen für Konsistenz und Verarbeitungszeit			
		längere Erstarrungszeit			
		geringere Frühfestigkeit			

Tabelle 2. Vergleich zwischen Trocken- und Naßspritzbeton (Landrückentunnel).