

Das Naßspritzverfahren – Baustellenerfahrungen und Kostenvergleiche

Wet Mix Shotcrete – Site Experience And Costs

Dipl.-Ing. Dr. Harald Lauffer, Allgemeine Baugesellschaft-A. Porr AG, Wien

Die Spritzbetontechnologie hat während der letzten Jahre einen starken Entwicklungsschub erlebt. Durch den Einsatz von mechanischen Spritzarmen konnten generell die Leistungen stark gesteigert werden. Die Anwendung flüssiger Spritzhilfen und die genaue Dosierung der pulverförmigen Spritzhilfen mit Dosiergeräten hat die Qualität stark verbessert. Das Naßspritzverfahren hat sich durchgesetzt und es wird heute bei Hochleistungsvortrieben routinemäßig angewendet. Der Anwender hat die freie Wahl zwischen den drei Verfahren, dem Trockenspritzen mit pulverförmiger Spritzhilfe, dem Trockenspritzen mit flüssiger Spritzhilfe und dem Naßspritzverfahren. Da alle drei Verfahren übliche Qualitätsanforderungen für einen Sicherungsspritzbeton erfüllen, wird die Wahl des Verfahrens im Regelfall durch wirtschaftliche Überlegungen entschieden.

Bei den Stoffkosten hat das Naßspritzverfahren Vorteile durch die Verwendung von Wasserglas als Spritzhilfe, durch den verringerten Rückprall und durch geringe Verschleiß- und Energiekosten. Die Personal- und Gerätekosten hängen von der Leistung, vom Spritzverfahren und von der Spritzbetonkubatur ab. Neben den direkten Kosten ist auch der Einfluß der Spritzzeit auf die Gesamtleistung und damit auf die Gesamtkosten der Baustelle zu betrachten. Bei gleichwertiger Geräte- und Personalausstattung sind mit dem Naßspritzverfahren höhere Leistungen und damit geringere Kosten zu erreichen.

Das Trockenspritzen ermöglicht durch den großen Verarbeitungsspielraum eine sehr freizügige zeitliche Disposition. In welchem Ausmaß sich dieser Vorteil betrieblich und damit kostenmäßig auswirkt, muß für jeden Fall gesondert untersucht werden.

Neben diesen kalkulatorisch recht gut erfaßbaren Einflüssen sind die Einstellung und die Kenntnisse der Vortriebsmannschaften und die Erfahrungen und Vorlieben der Verantwortungsträger wichtige Entscheidungskriterien.

Shotcreting technology has developed greatly during the last years. Mechanical spraying arms helped to increase output. Liquid shotcrete accelerator and the use of mechanical measuring devices for adding powder accelerator have improved shotcrete quality. Wet mix shotcrete has experienced an decisive breakthrough and is widely used with high output tunnelling today. The user has the choice between three methods, dry mix shotcrete with powder accelerator, dry mix shotcrete with liquid accelerator and wet mix shotcrete. All three methods comply with common quality demands for a supporting shotcrete in tunnelling. So economical considerations will decide.

Material costs see the wet mix in front because of using water glass as shotcrete accelerator, because of low rebound and because of low wear and energy costs. Costs of labour and machinery depend on output, method and shotcrete quantity. Additionally the influence of shotcreting time on construction time and in consequence on overall costs of the site has to be evaluated. With equivalent labour force and equipment wet mix shotcrete will have higher output and therefore lower costs.

Dry mix shotcrete provides for a longer open time, so giving much more freedom in timing the works. To what extent these advantages influence output and cost has to be evaluated separately for each case.

Apart from these facts, which are readily evaluated in calculations, decisions will be greatly influenced by the approach and the knowledge of the tunnelling gang and by the experience and preference of the management.

1. ALLGEMEINES

Die Spritzbetontechnologie hat in den letzten Jahren einen starken Entwicklungsschub erlebt. Dieser wurde ausgelöst durch die Großtunnelbauten, insbesondere durch die Tunnelbauten der Deutschen Bundesbahn.

Durch den Einsatz von mechanischen Spritzarmen konnten die Spritzleistungen stark gesteigert und die Arbeitsbedingungen für die Spritzmannschaft verbessert werden. Die genaue Dosierung der Spritzhilfen durch Dosierpumpen bei den flüssigen und durch entsprechende Dosiergeräte bei den pulverförmigen Spritzhilfen, hat die Qualität des Spritzbetons stark verbessert. Der Einsatz der mechanischen Spritzarme war Voraussetzung für die Einführung des Naßspritzverfahrens. Das Naßspritzverfahren hat sich auf vielen Baustellen durchgesetzt. Die routinemäßige Anwendung des Naßspritzverfahrens ist heute Stand der Technik. So hat der Anwender heute die freie Wahl zwischen drei Spritzverfahren, dem Trockenspritzen mit pulverförmiger Spritzhilfe, dem Trockenspritzen mit flüssiger Spritzhilfe und dem Naßspritzverfahren. Alle drei Verfahren erfüllen übliche Qualitätsanforderungen für einen normalen Sicherungsspritzbeton. Im Regelfall wird daher die Wahl des Verfahrens von den wirtschaftlichen Überlegungen bestimmt werden.

2. DISKUSSION DER SPRITZVERFAHREN

2.1 Trockenspritzverfahren mit pulverförmiger Spritzhilfe

Dieses Spritzverfahren ist das klassische Spritzverfahren, das über viele Jahrzehnte als einziges erfolgreich angewendet wurde. Auch heute dürfte es noch in einem überwiegenden Ausmaß zur Anwendung kommen. Durch den Einsatz

von mechanischen Spritzarmen und von entsprechenden Spritzmaschinen (Doppelrotor) konnte die Leistung des Trockenverfahrens gesteigert werden. Eine gleichmäßige Dosierung der Spritzhilfe ist Stand der Technik. Das Verfahren ist unproblematisch, fast überall anzuwenden und wird von den Vortriebsmannschaften bestens beherrscht.

2.2 Trockenspritzverfahren mit flüssiger Spritzhilfe

Das Verfahren entspricht im wesentlichen dem Trockenspritzverfahren mit pulverförmiger Spritzhilfe. Die Verwendung der flüssigen Spritzhilfe bietet jedoch den Vorteil einer noch genaueren und kontrollierteren Dosierung der Spritzhilfe. Durch die bessere Durchmischung von Spritzhilfe und Mischgut wird eine höhere Spritzbetonfestigkeit und Gleichmäßigkeit erreicht.

2.3 Naßspritzverfahren

Das Naßspritzverfahren ermöglicht hohe Spritzleistungen, sein Einsatz ist daher nur im Zusammenhang mit der Verwendung von mechanischen Spritzarmen sinnvoll. Neben dem großen Leistungspotential stellt die geringe Staubbelastung des Arbeitsbereiches den größten Vorteil des Naßspritzverfahrens dar. Die vielfach erwarteten betontechnologischen Vorteile sind in der Praxis nicht nachweisbar. Gerade bei einem Auftreten von Bewehrungskonzentrationen muß auf die Gefahr eines vermehrten Auftretens von Spritzschatten hingewiesen werden. Für einen erfolgreichen Einsatz des Naßspritzverfahrens sind hochqualifizierte Mannschaften erforderlich. Das Naßspritzverfahren ist dann in seiner Anwendung den beiden anderen Verfahren zumindest gleichzustellen. Die Erzeugung und der Transport der Naßmischung ist im Regelfall vergleichsweise unproblematisch, da ohne Umstellung und ohne Reinigung auf der gleichen Anlage und mit den gleichen Fahrzeugen auch

Konstruktionsbeton erzeugt und transportiert werden kann. Da der Naßbeton in vernünftigen Aufwand nur in Nachmischern zwischengelagert werden kann, muß eine genaue zeitliche Abstimmung der Betonbestellung erfolgen.

3. KOSTENVERGLEICHE

Wie schon im vorhergehenden gesagt, sind die Verfahren im wesentlichen technisch gleichwertig. Bei Spezialanwendungen, so wie beispielsweise im U-Bahnbau, wird, u.a. wegen der hohen Anforderungen an die Spritzbetonqualität, das Trockenspritzverfahren mit flüssiger Spritzhilfe bevorzugt eingesetzt. Bei starkem Wasserzudrang wird doch eher dem Trockenspritzverfahren mit pulverförmiger Spritzhilfe der Vorzug zu geben sein. Ähnliches gilt für extrem schwierige Vortriebsbedingungen, wo die Stollenbrust nur in kleinsten Abschnitten geöffnet wird. Auch hier wird man im Regelfall das Trockenspritzverfahren einsetzen. Bei der Regelanwendung, insbesondere im Großtunnelbau, werden wirtschaftliche Überlegungen jedoch die Verfahrenswahl bestimmen.

3.1 Spritzbetongrundkosten

Tabelle 1

BETONGRUNDKOSTEN öS/m ³			
Spritzverfahren	trocken	trocken	naß
Spritzhilfe	Pulver	flüssig	Wasserglas
Beton	700,-	700,-	700,-
Spritzhilfe	130,-	180,-	80,-
Energie	50,-	50,-	30,-
Verschleiß	60,-	60,-	50,-
S u m m e	940,-	990,-	860,-
Summe mit Rückprall 25 %	1175,-	1238,-	1075,-

Das Trocken- und das Naßmischgut wird hier kostenmäßig gleichgesetzt. Durch die höheren erzielbaren Spritzbetonfestigkeiten bei der flüssigen Spritzhilfe sind Zementeinsparungen möglich, durch die ein Teil der Mehrkosten der Spritzhilfe ausgeglichen werden können. Naßspritzbeton wird in vielen Fällen von den Betonlieferanten sogar billiger angeboten als Trockenmischgut. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Trockenmischgut auch mit normalen kostengünstigen Kippern transportiert werden kann. Vereinfachend wurde jedoch die Grundmischung mit einem gleichen Preis angesetzt.

Die Kosten der Spritzhilfe entsprechen gängigen Werten (Pulver 8 %, flüssige Spritzhilfe 5 %, Wasserglas 13 %). Gerade beim Naßspritzbeton befindet sich vieles noch im Fluß und es sind Reduktionen bei der Spritzhilfedosierung in Zukunft vorstellbar.

Beim Energieverbrauch wirkt sich der geringe Druckluftbedarf für das Naßspritzverfahren günstig aus. Durch entsprechende maschinelle Verbesserung konnten die Verschleißkosten beim Trockenspritzverfahren vermindert werden. Der hier angesetzte Unterschied zum Naßspritzverfahren ist jedoch mit Sicherheit vorhanden.

Der Rückprall wurde für alle Verfahren vereinfachend mit 25 % angesetzt. Dies ist sicher nicht ganz richtig, da allgemein angenommen wird, daß beim Naßspritzverfahren ein geringerer Rückprall als beim Trockenspritzverfahren auftritt. Genauere Werte sind jedoch nicht bekannt und nur äußerst schwer zu ermitteln.

Die Tabelle 1 zeigt als Ergebnis einen Preisunterschied für die aufgetragene Grundmischung von öS 100,- zwischen Naßspritzverfahren und Trockenspritzverfahren mit pulverförmiger Spritzhilfe. Trockenspritzbeton mit flüssiger Spritzhilfe wird in den weiteren Betrachtungen nicht mitverfolgt.

3.2 Baustellenfixkosten

Um realistische Vergleichskosten der einzelnen Spritzverfahren ermitteln zu können, müssen nicht nur die direkten Personal- und Gerätekosten, sondern auch ein Teil des allgemeinen Gerätes und der Bauregie auf den Spritzbeton umgelegt werden. In der Tabelle 2 werden für eine fiktive Baustelle die Baustellenfixkosten inklusive der Kosten der Vortriebsmannschaft zusammengestellt. Die Vortriebsmannschaft muß mit 100 % umgelegt werden, wogegen das allgemeine Gerät (nicht Spritzbetongerät) mit einem Anteil von 50 % und die Bauregie (Angestellte und Unproduktive) mit einem Anteil von 70 % leistungsabhängig in die Spritzbetonkosten einfließen.

Tabelle 2

Fixkosten der Baustelle pro Monat mit Bezug auf den Spritzbeton			
Kostenart	Kosten öS 1000,-	Umlage %	bezogene Fixkosten öS 1000,-
Mannschaft 8 Mann	1.400,-	100 %	1.400
Allgemeines Gerät	500,-	50 %	250
Bauregie	1.200,-	70 %	850
Summe Fixkosten pro Monat			2.500

3.3 Spritzbetonkubatur

Die Kostenvergleiche werden für vier unterschiedliche monatliche Spritzbetonkubaturen bzw. auch unterschiedlichen Spritzbetonmengen pro Abschlag ermittelt. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, daß in allen vier Fällen die gleiche Mannschaft und die gleichen Baustellen-Fixkosten vorhanden sind.

Tabelle 3

Leistungsbereiche Spritzbeton für einen Vortriebsort				
No.	Spritzbeton m ³		Abschl. pro AT	möglicher Quer- schnitt mit theor. Spritzbetonstärke
	pro Monat	pro Abschlag		
1	1500 m ³ /Mo	12,5 m ³ /A	4 A/AT	D.8. Kalotte 30 cm
2	1200 m ³ /Mo	10,0 m ³ /A	4 A/AT	D.8. Kalotte 20 cm
3	900 m ³ /Mo	7,5 m ³ /A	4 A/At	Autobahn Kalotte 25cm Autobahn Kalotte 10cm
4	600 m ³ /Mo	4,0 m ³ /A	5 A/At	Vollquerschn. 30m ² -15cm Autobahn Kalotte 5 cm, Vollquerschn. 30m ² -7cm

In der Spritzbetonkubatur ist das Überprofil, nicht aber der Rückprall enthalten.

3.4 Spritzverfahren und Rechenwerte

Tabelle 4

Rechenwerte Spritzverfahren: Leistung, Rüstzeit, Gerätekosten, Reinigung						
Spritzverfahren	Leistung m ³ /h		Rüst- + Leerzeit min/A	Geräte Spritzb. 1000/Mo	Reinigung öS/m ³ bzw öS/Abschlag	
	ohne Rückprall	mit				
M 1 Trocken Manuell 1 Düse	6 m ³ /h	4,8 m ³ /h	10'	32.	5,-/m ³ + 50,-/A	
M 2 Trocken Manuell 2 Düsen	12 m ³ /h	9,6 m ³ /h	10'	64.	5,-/m ³ + 50,-/A	
A 2 Trocken 2 Spritzarme	14 m ³ /h	11,2 m ³ /h	10'	145.	5,-/m ³ +100,-/A	
N 1 Naß, 1 Spritzarm	11 m ³ /h	8,8 m ³ /h	15'	82.	270,-/A	
N 2 Naß, 2 Spritzarme	18 m ³ /h	14,4 m ³ /h	25'	152.	380,-/A	

Es werden fünf Spritzbetoneinrichtungen miteinander verglichen, und zwar drei Trockenspritz-einrichtungen und zwei Naßspritz-einrichtungen. Beim Trockenspritzverfahren wird manuelles Spritzen mit 1 bzw. 2 Düsenführern und das Spritzen mit zwei mechanischen Spritzarmen behandelt. Beim Naßspritzverfahren wird das Spritzen mit einem bzw. zwei Spritzarmen be-rücksichtigt.

Die Leistungsansätze sind Durchschnittsleis-tungen ohne Berücksichtigung der Rüstzeiten. Beim Naßspritzen mit zwei Armen wurde jedoch die Leistung als Folge des Wagenwechsels redu-ziert. Die Leistungsminderung durch den Rück-prall wird mit einem für alle Verfahren glei-chen Faktor von 25 % berücksichtigt, eine Annahme, die wie schon besprochen, nur be-schränkt richtig ist. Die Rüstzeiten wurden für die beiden Naßspritzverfahren angehoben und insbesondere beim Naßspritzverfahren mit 2 Armen zusätzlich erhöht.

Die Ansätze für die Reinigung berücksichtigen, daß beim Naßspritzverfahren nach jedem Spritz-vorgang eine Reinigung der Betonpumpe und des Spritzarmes zu erfolgen hat und daß diese Reinigung innerhalb einer begrenzten Zeitspan-ne auszuführen ist. Die anfallenden Lohnstun-den können nur sehr beschränkt als Füllarbeit betrachtet werden und sie sind daher mit 90 % in Ansatz gebracht. Beim Trockenspritzen wird der Personalaufwand für die Reinigung als Füllzeit betrachtet und entsprechend auf 50 % abgemindert.

3.5 Ergebnis der Kostenvergleiche

Tabelle 5

Leistungsbereich	x)	T r o c k e n			N a s s	
		M 1	M 2	A 2	N 1	N 2
		Manuell 1 Düse	Manuell 2 Düsen	2 Spritzarme	1 Spritzarm	2 Spritzarme
1500 m ³ /Mo 12,5 m ³ /A 4 A/AT	F	803,-	426,-	372,-	484,-	372,-
	G	21,-	43,-	97,-	55,-	101,-
	R	9,-	9,-	13,-	22,-	30,-
	Σ1	833,-	478,-	482,-	561,-	503,-
	B	1.175,-	1.175,-	1.175,-	1.075,-	1.075,-
	Σ2	⑤ 2.008,-	③ 1.653,-	③ 1.657,-	② 1.636,-	① 1.578,-
1200 m ³ /Mo 10,0 m ³ /A 4 A/AT	F	815,-	438,-	384,-	502,-	403,-
	G	27,-	53,-	121,-	68,-	127,-
	R	10,-	10,-	15,-	27,-	38,-
	Σ1	852,-	501,-	520,-	597,-	568,-
	B	1.175,-	1.175,-	1.175,-	1.075,-	1.075,-
	Σ2	⑤ 2.027,-	② 1.676,-	④ 1.695,-	② 1.672,-	① 1.643,-
900 m ³ /Mo 7,5 m ³ /A 4 A/AT	F	835,-	458,-	404,-	533,-	453,-
	G	36,-	71,-	161,-	91,-	169,-
	R	12,-	12,-	18,-	36,-	51,-
	Σ1	883,-	541,-	583,-	660,-	673,-
	B	1.175,-	1.175,-	1.175,-	1.075,-	1.075,-
	Σ2	⑤ 2.058,-	① 1.716,-	④ 1.758,-	② 1.735,-	③ 1.748,-
600 m ³ /Mo 4,0 m ³ /AT 5 A/AT	F	906,-	528,-	474,-	638,-	629,-
	G	53,-	107,-	242,-	137,-	253,-
	R	18,-	18,-	30,-	68,-	95,-
	Σ1	977,-	653,-	746,-	843,-	977,-
	B	1.175,-	1.175,-	1.175,-	1.075,-	1.075,-
	Σ2	⑤ 2.152,-	① 1.828,-	② 1.921,-	② 1.918,-	④ 2.052,-

- x) F Fixkosten Baustelle
 G Gerät Spritzbeton
 R Reinigung
 Σ1 Zwischensumme
 B Betongrundkosten
 Σ2 Gesamtsumme

Der Kostenvergleich entsprechend der Tabelle 5 zeigt, daß die Kostenunterschiede zwischen den untersuchten Verfahren und Einrichtungen überraschend nieder sind. Erwartungsgemäß fällt die Nr. 1, das manuelle Spritzen mit einer Düse, aus dem Rahmen. Es wurde auch nur zu Vergleichszwecken angeführt und kommt im Regelfall bei einem Großtunnelbau nicht oder nur in

extremen Ausnahmefällen zur Anwendung. In den Fällen, wo mit einer Düse gespritzt wird, ist mit wesentlich geringeren allgemeinen Baustellkosten zu rechnen. Grundsätzlich zeigt sich, daß die Hochleistungsverfahren, also das Naßspritzen bzw. das Spritzen mit zwei mechanischen Spritzarmen erwartungsgemäß bei großen Betonmengen kostenmäßig im Vorteil sind, während bei geringen Spritzbetonmengen das händische Spritzen günstiger ist.

Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, daß für die fünf untersuchten Spritzbetonverfahren und Techniken der gleiche Prozentsatz für den Rückprall angesetzt wurde. Es ist jedoch bekannt, daß der Rückprall sich durch den Einsatz des mechanischen Spritzarmes im Vergleich zur händischen Düsenführung beim Überkopfspritzen verringert und daß eine weitere Reduktion des Rückpralles bei Verwendung von Naßspritzbeton erzielbar ist. Das Ausmaß der möglichen Rückprallreduktion ist sehr von den örtlichen Verhältnissen und von der Qualifikation des Personals abhängig, sodaß hier kein Versuch unternommen wurde, dieses zu quantifizieren.

In der Vergleichsrechnung wurde die gesamte Vortriebsmannschaft auf den Spritzbeton umgelegt, und zwar unabhängig davon, wieviel Mann tatsächlich mit der Verarbeitung des Spritzbetons beschäftigt sind. Folgender Teil des Vortriebsdrittels ist, jeweils unter Berücksichtigung von 2 Mann für Nebenarbeiten, frei für andere Arbeiten.

- M 1 Trocken 1 Düse: 3 Mann
- M 2 Trocken 2 Düsen: 0 Mann
- A 2 2 Spritzarme: 2 Mann
- N 1 Naß 1 Spritzarm: 4 Mann
- N 2 Naß 2 Spritzarme: 3 Mann

Wenn ein Teil dieses Personals so eingesetzt wird, daß andere Arbeitsphasen vorbereitet werden, ergibt sich eine Beschleunigung der Vortriebsarbeiten, wodurch die umgelegten Fixkosten gesenkt werden können. Dieser Einfluß ist stark von einer guten Organisation und von der Erfahrung der Mannschaften abhängig und wurde daher im Vergleich nicht berücksichtigt.

4. BEWERTUNG DES NASSPRITZVERFAHRENS

Die kostenmäßige Auswertung der einzelnen Spritzverfahren und Spritzeinrichtungen hat recht geringe Kostenunterschiede zwischen den hauptsächlich angewendeten Verfahren aufzeigt (siehe Tab. 5). Dies korrespondiert durchaus mit der Praxis, wo Nachbarbaustellen, ja sogar Baustellen der gleichen Arbeitsgemeinschaft, bei ähnlichen Verhältnissen unterschiedliche Spritzverfahren mit Erfolg und wahrscheinlich wirtschaftlich begründbar einsetzen. Dabei sind, neben den in der Vergleichsrechnung erfaßten objektivierbaren Einflüssen, auch die Gewohnheiten und Erfahrungen der Vortriebsmannschaften und die Erfahrungen und Vorlieben der Verantwortungsträger wichtige Entscheidungskriterien.

Das Naßspritzverfahren hat sicher das größte Einsparungspotential. Es sind jedoch für die erfolgreiche Anwendung dieses Verfahrens und für die Ausschöpfung des Einsparungspotentials eine gute Organisation auf Polierebene, qualifizierte Düsenführer und Betonpumpenfahrer, eine leistungsfähige Mischanlage und günstige Betontransportwege notwendig. Unbestreitbar bleibt, daß das Naßspritzverfahren eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen vor Ort mit sich bringt.

Die Entwicklung des Naßspritzverfahrens ist bei weitem noch nicht abgeschlossen. Es sind Verbesserungen im Bereich der Betontechnologie, insbesondere im Bereich der Spritzhilfe, zu erwarten. Trotzdem kann nicht davon ausgegangen werden, daß das Naßspritzverfahren das Trockenspritzen in Zukunft völlig verdrängen wird. Es ist vielmehr damit zu rechnen, daß beide Verfahren gleichberechtigt je nach den speziellen Verhältnissen und in Abhängigkeit von der Kostensituation auch in Zukunft angewendet werden.