

# Wird das Trockenspritzverfahren durch das Naßspritzverfahren abgelöst werden?

Ing. Hans R. EGGER  
Meynadier + Cie AG, Zürich

## 1. EINLEITUNG

Nach jahrelangen, meist erfolglosen Bemühungen für dicke Spritzbetonschichten, wie sie bei der Anwendung der NÖT vorkommen, das Trockenspritzverfahren durch das Naßspritzverfahren zu ersetzen, um so bekannte Nachteile des Trockenspritzens zu überwinden, ist auf der Neubaustrecke der DB Würzburg-Hannover erstmals auf erfolgreiche Anwendung hinzuweisen, die man als technischen Durchbruch bezeichnen kann. Immerhin sei angemerkt, daß auch auf der Neubaustrecke nur etwa 10 % des gesamten Spritzbetonvolumens naß gespritzt werden, der Rest wird nach wie vor trocken verarbeitet.

Das positive Ergebnis hat ein starkes Echo ausgelöst. Die Fachwelt stellt sich die Frage, ob damit das Trockenspritzverfahren als ein Konstruktionselement der NÖT schließlich durch das Naßspritzverfahren verdrängt werde.

Die Frage so zu stellen, heißt, sie falsch stellen. Man muß sich richtiger fragen, in welchen Fällen das Naßverfahren das Trockenspritzverfahren nicht oder nicht vollwertig ersetzen kann, in welchen Fällen das Naßspritzverfahren nicht in Frage kommt und wo die Trennlinie zwischen Naß und Trocken verläuft. Außerdem muß abgeklärt werden, ob gewisse Nachteile des Trockenspritzens nicht überwunden werden können.

Die vier Kriterien, nach welchen zu urteilen ist, sind technischer, wirtschaftlicher, betrieblicher und arbeitshygienischer Art. Offenbar sprechen auch auf der Neubaustrecke in etwa 90 % der Fälle diese Überlegungen zugunsten des Trockenspritzens. Wenn die Frage nach der zukünftigen Entwicklung gestellt wird, so ist zusätzlich das noch nicht ausgeschöpfte Verbesserungspotential zu berücksichtigen, welches beiden Verfahren inneohnt.

Im Folgenden soll dargestellt werden, wie stark jedes dieser vier Kriterien die Wahl des Verfahrens beeinflusst und welches von ihnen bestimmend werden kann, um eines der beiden Verfahren auszuschließen. Anschließend wird aufgezeigt, wie beide Verfahren sich weiter entwickeln müssen. Dabei kann es sich nur um eine generelle Beurteilung handeln. Jeder einzelne Fall kann stark von den hier zugrunde gelegten verallgemeinernden Annahmen abweichen.

Für diese Überlegungen werden drei typische Anwendungsfälle des Tunnelbaus herausgegrif-

fen, wobei in allen dreien der heute bereits als Regelfall geltende Einsatz eines Spritzmanipulators vorausgesetzt wird. Für "trocken" und "naß" wird jeweils der Einsatz von nur einer Spritzmaschine bzw. Spritzdüse untersucht, wobei für beide Fälle als Manipulator der Meyco Robojet angenommen wird. Als Trockenspritzmaschine wird eine Meyco GM 090 mit Doppelrotor-Ausrüstung und Spritzschlauchdurchmesser 80 mm betrachtet, mit der eine praktische Stundenleistung von 10 m<sup>3</sup> erreicht wird, also dieselbe, wie sie praktisch auch mit einer Naßspritzmaschine verwirklicht wird.

Für die Variante "naß" gelangt zusätzlich der Zwillingsbüffel der Firma Putzmeister mit je zwei Spritzmaschinen und Spritzdüsen zur Betrachtung. Dies deshalb, weil dieses Gerät auf der Neubaustrecke eine eigentliche Bedeutung erlangt hat. Selbstverständlich könnte an seiner Stelle auch ein radgetriebenes Fahrzeug mit zwei aufgebauten Meyco Robojet und separat nachgeführten Spritzmaschinen in Betracht gezogen werden, wie es auch schon zum Einsatz gekommen ist.

## 2. TECHNISCHE GESICHTSPUNKTE

Spritzbetoneigenschaften:

- Frühfestigkeit
- Endfestigkeit
- Homogenität
- Regelmäßigkeit
- Haftfestigkeit

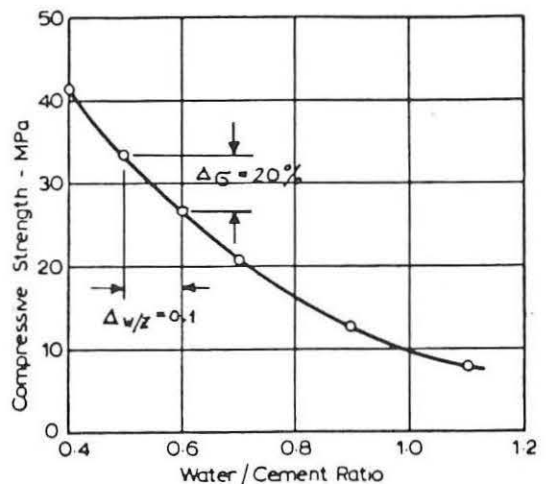


Abb. 1. Beziehung zwischen 7-Tage-Festigkeit und W/Z-Wert.

Tabelle 1. Gegenüberstellung der Kosten für das Naß- und Trockenspritzverfahren, ausgedrückt in SFr.			
<b>1. Fixe Kosten</b>			
Annahmen: Abschreibedauer 5 Jahre Zins 10 % p.a. jährliche Betriebsstunden: 3schichtig, je 2 Stunden an 40 Wochen pro Jahr = total 8400 h			
	trocken	naß Mono	naß Zwilling
1.1 Anschaffungskosten			
Spritzmaschine	30	70	140
Kompressor: trocken 21 m <sup>2</sup> /min	80		
naß 12 m <sup>2</sup> /min		50	80
Manipulator: trocken } Meyco Robojet	200	200	
naß Mono }			
naß Zwilling:			750
Zwillingsbüffel			
Umschlaggerät	30		
	340	320	970
1.2 Verzinsung und Unterhalt (20 % des Neuwertes), während 5 Jahren Abschreibedauer			
Verzinsung	80	80	240
Unterhalt	70	60	190
	490	460	1.400
1.3 Kosten pro Betriebsstunde bei 5 x 1680 h = 8400 h	58	55	167
<b>2. Variable Kosten pro m<sup>3</sup></b>			
2.1 Beton an die Spritzmaschine geliefert	95	100	100
2.2 Zusatzmittel			
Erstarrungsbeschleuniger	12	16	16
Superverflüssiger	0	8	8
2.3 Verschleiß, inkl. Leitung und Düse	6	3	3
2.4 Rückprall			
trocken: 30 % von 2.1 + 2.2	32		
naß: 15 % von 2.1 + 2.2		20	20
2.5 Energie	2	2	1
2.6 Kalkulationslohn 3 Mann à Fr. 30.-/h	9	9	5
	156	158	153
3. Stundenleistung m <sup>3</sup>	10	10	20

In bezug auf Früh- und Endfestigkeit ist das Trockenspritzverfahren im Vorsprung, dies besonders bei tieferen Temperaturen. Zum Nachteil des Naßspritzens werden fast ausschließlich Silicate als Erstarrungsbeschleuniger in Dosierungen zwischen 10 und 20 % des Zementgewichtes eingesetzt. Da gut die Hälfte dieser Silicate aus Wasser besteht, erhöht sich damit der W/Z-Wert um den Wert 0,1, was Früh- und Endfestigkeit negativ beeinflusst (Abb.1).

Neuerdings werden Erstarrungsbeschleuniger angeboten, welche diese negativen Auswirkungen nicht haben. Zwar gibt es für ihre Anwendung auch Einschränkungen. 1984 wurden davon in Österreich immerhin ca. 500 t erfolgreich eingesetzt.

Sodann ist es kaum möglich, Naßspritzbeton auf feuchter Unterlage einwandfrei aufzutragen. Es gibt Fälle, in denen zuerst eine

2 - 3 cm dicke Schicht vorgespitzt werden muß.

Bezüglich Homogenität und Regelmäßigkeit ist das Naßspritzverfahren überlegen, schon alleine deswegen, weil es den unsicheren Einfluß des Düsenführers auf die Betonqualität ausschaltet. Hier liegt denn auch ein berechtigter Vorbehalt gegenüber dem Trockenspritzen. Demgegenüber müssen beim Naßspritzen wegen der Pumpbarkeit der Mischung eine einwandfreie und regelmäßige Granulometrie eingehalten und der W/Z-Wert kontrolliert werden, was von selbst eine definierte und gleichbleibende Materialqualität ergibt.

Technische Gesichtspunkte können somit sowohl für das eine als auch für das andere Verfahren sprechen. Als Entscheidungsmerkmal kommen sie somit nur unter bestimmten Voraussetzungen in Frage.

### 3. WIRTSCHAFTLICHE GESICHTSPUNKTE

- Investitions- bzw. Abschreibungsbedarf
- Betriebskosten
- Infrastrukturkosten
- Leistung pro Zeiteinheit
- Zeitbedarf pro Abschlag (sofern auf dem kritischen Weg)
- Rückprall

Ein Vergleich der fixen und der variablen Kosten zeigt für die angenommenen Voraussetzungen eine sehr weitgehende Übereinstimmung aller drei untersuchten Fälle (Tab.1).

Selbst wenn der Rückprall stärker variiert wird, liegen die Kosten pro  $m^3$  innerhalb einer Bandbreite, die auch durch andere Parameter bestimmt werden könnte, also innerhalb des Genauigkeitsgrads dieser Untersuchung. Dasselbe kann man von den fixen Kosten sagen. Hier allerdings beeinflusst die Gesamtstundenzahl die Wirtschaftlichkeit im Fall des Spritzbüffels stark. Die Frage nach den Abschreibungs- und den variablen Kosten vermag somit mit Ausnahme des Zwillingsbüffels keine Entscheidungsgrundlage zugunsten des einen oder anderen Verfahrens zu liefern. Beide Techniken liegen sehr nahe beieinander.

### 4. BETRIEBLICHE GESICHTSPUNKTE

- Einfluß auf andere Tätigkeiten
- Platzbedarf
- Flexibilität
- Infrastruktur, Logistik

Hier liegen die Dinge anders. Es besteht kein Zweifel daran, daß das Trockenspritzverfahren flexibler ist als das Naßspritzverfahren. Die Auswirkungen auf andere Betriebsabläufe sind - abgesehen vom Staub, auf den wir noch zu sprechen kommen - minimal. Der Platzbedarf ist gering. Die Spritzarbeit kann jederzeit aufgenommen und wieder unterbrochen werden. Wird mit Manipulator gearbeitet, so wird mit Doppelrotor und 80er Leitung eine Stundenleistung von  $10 m^3$  erzielt, gleichviel wie mit der Naßspritzmaschine.

Beim Naßspritzen verteuert der Rüstaufwand das Spritzen von kleinen Etappen in unzulässigem Maße.

	trocken	naß	
		Mono	Zwilling
3.1 Bereitstellung, h	-	0,25	0,50
3.2 Reinigung nach Einsatz, h	-	0,75	1,00
3.3 ges. Zeitaufwand, h	-	1,00	1,50
3.4 Materialverlust, Liter Beton oder Zementschläme	-	300	600
3.5 Totaler Rüstaufwand pro Einsatz in SFr.	-	80,-	135,-

Außerdem lohnt sich der Einsatz des Fahrmißschers nur für eine Mindestmenge von 2 bis  $3 m^3$ . Diese Minimalmenge muß dann innerhalb einer halben Stunde verarbeitet werden wegen der zeitlich begrenzten Wirkung des Superverflüssigers. Ferner ist für einen Dauerbetrieb

im Untertagebau der Einsatz eines Manipulators beim Naßspritzen unabdingbar, weil dort der schwere Schlauch und die Düse für händisches Spritzen, besonders im First, nicht zumutbar sind.

Daraus ergibt sich, daß das Naßspritzen nur dann betrieblich sinnvoll und als Folge dieser betrieblichen Erfordernisse nur dann wirtschaftlich ist, wenn der Querschnitt des aufzufahrenden Hohlraumes etwa  $50 m^2$  bei Kallottenvortrieb und etwa  $40 m^2$  für ein Kreisprofil mißt. Die Abschlagslänge sollte wenigstens 2 m betragen, so daß pro Runde mindestens 15 bis  $20 m^3$  Spritzbeton einzubringen sind. Das entspricht einer Einsatzdauer von etwa 1,5 bis 2 Stunden bzw. ca. 40 Minuten mit dem zweiarmigen Manipulator.

Durch Taktarbeit und hohe Mechanisierung wird der Einsatz beider Verfahren wirtschaftlicher, weil die Spritzzeit verkürzt, beim Einsatz von zwei Düsen halbiert wird, so daß in jedem Abschlagszyklus kostbare Zeit gewonnen werden kann.

Die betrieblichen Erfordernisse können somit gegen den Einsatz des Naßspritzens wirken. Hier liegt wohl ein gewichtiger Erklärungsgrund dafür, daß sich das Naßspritzen im Untertagebau doch nicht stärker etabliert hat, obwohl es technisch und wirtschaftlich machbar geworden ist.

### 5. ARBEITSHYGIENISCHE GESICHTSPUNKTE

- Staubentwicklung
- Körperliche Anstrengung
- Unfallgefahren

Staub ist oft eine sehr unangenehme Begleiterscheinung beim Trockenspritzen. Demgegenüber kennt man beim Naßspritzen sichtbaren Staub kaum. Zwar entstehen dort auch Aerosole, die alkalische Bestandteile des Erstarungsbeschleunigers enthalten. Über negative Wirkungen ist aber nichts bekannt. Es gibt deshalb Länder, in denen das Naßspritzen zwingend vorgeschrieben wird, und man muß dort, wenn damit Nachteile verbunden sind, nolens volens damit fertig werden, also die höheren Kosten oder betrieblichen Nachteile in Kauf nehmen. Es sei hier als eigene Meinung angemerkt, daß in den erwähnten Ländern der Spritzbeton jedoch nicht als unmittelbare Stützmaßnahme im Sinne der NÖT eingesetzt wird. Es handelt sich vielmehr um eine Versiegelung der Felsoberfläche, und es ist zweifelhaft, ob solche Bestimmungen generell durchsetzbar wären, wenn gleichzeitig die Vorteile der NÖT wahrgenommen werden sollten.

Es sind mannigfache Anstrengungen unternommen worden, um den Staub beim Trockenspritzen zu vermindern oder ganz zum Verschwinden zu bringen. Diese Anstrengungen zeigen zwar Erfolg, aber die Lösungen sind mit anderen Nachteilen behaftet. Die Anwendung eines Staubbinders ist zum Beispiel wirksam, aber die Kosten sind beträchtlich. Immerhin sind Baustellen bekannt, auf denen solche Produkte vorgeschrieben und durch den Bauherrn bezahlt werden. Der gesuchte Effekt wurde erzielt. Maßnahmen wie diese sind jedoch Palliativmittel. Um das Problem von Grund auf zu lösen, muß die Vermischung der Feinanteile mit dem Anmachwasser so rechtzeitig und vollständig vor dem Verlassen der Düse erfolgen, daß keine unbenetzten Teile austreten.

Es sind hierfür zwei verschiedene Wege beschritten worden, einmal das Wirbelkammer-Verfahren und zum anderen das Zwei-Wege-Verfahren. Beim letzteren werden die Feinanteile, also Sand bis 2 mm und Zement, als fertig aufbereiteter Mörtel mit definiertem W/Z-Wert durch eine separate Leitung gepumpt. Die groben Teile von 2 bis 16 mm werden zusammen mit dem Erstarrungsbeschleuniger in herkömmlicher Weise im Trockenspritzverfahren gefördert. Einige Meter vor der Spritzdüse werden die beiden Ströme vereinigt, und der fertig angemachte, nasse Spritzbeton mit kontrolliertem W/Z-Wert verläßt die Düse völlig staubfrei. Das Pumpen der angemachten Feinanteile ist unproblematisch; wegen des relativ hohen Mehlkorngehaltes und des Maximalkorns von 2 mm kann ein sehr niedriger W/Z-Wert von unter 0,4 eingehalten werden. Die Festigkeiten sind ausgezeichnet, ebenso die Haftung. Die Flexibilität entspricht beinahe derjenigen des Trockenspritzens. Das Verfahren wurde durch unsere Firma gemeinsam mit Bilfinger + Berger entwickelt und praktisch erprobt, wie die Fachwelt inzwischen erfahren hat. Zunächst sind aber weitere Erfahrungen im praktischen Einsatz auf Baustellen zu sammeln, bevor eine allgemeine Anwendung ins Auge gefaßt werden kann.

Das Wirbelkammerverfahren arbeitet demgegenüber mit einer einzigen Förderleitung nach dem Trockenspritzverfahren. In die Leitung eingebaut wird eine Druckkammer, in welcher vermittels eines mechanisch angetriebenen Rührarms das Spritzgut mit dem gleichzeitig und kontrolliert zugeführten Anmachwasser vollständig vermischt wird. Ein flüssiger Erstarrungsbeschleuniger kann an der Spritzdüse zugegeben werden. Dieses Verfahren ist staubfrei. Die praktische Erprobung ist erfolgt, die Geräte sind über das Stadium des Prototyps hinaus zur Baustellenreife entwickelt worden. Aber auch hier sind erst einmal praktische Erfahrungen auf Baustellen zu sammeln, bevor ein breiter Einsatz denkbar ist.

Man muß festhalten, daß das Naßspritzen in arbeitshygienischer Sicht dem Trockenspritzen überlegen ist, wenn beim letzteren nicht wirksame Maßnahmen ergriffen werden. Solche Maßnahmen kosten aber Geld.

Somit kann unter Umständen eine arbeitshygienische Überlegung entscheidend für die Wahl des Naßspritzens werden. Gleichzeitig muß man die übrigen Entscheidungskriterien im Auge behalten und alle Auswirkungen berücksichtigen.

In bezug auf die übrigen arbeitshygienischen Erfordernisse unterscheiden sich die Verfahren kaum. Beiden kommt der Einsatz eines ferngesteuerten Manipulators gleichermaßen zugute.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vier Kriterien sind in ihrer Bedeutung für die Auswahl des Verfahrens in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3. Entscheidungskriterien für die Wahl des Verfahrens.

	trocken	naß	
		Mono	Zwilling
technische	n.m.	ev.m.	ev.m.
wirtschaftliche	n.m.	n.m.	m
- fixe Kosten	n.m.	n.m.	n.m.
- variable Kosten	n.m.	m	m
betriebliche	m	ev.m.	ev.m.
arbeitshygienische			

m = maßgebend, mögliches Ausschlusskriterium  
n.m. = nicht maßgebend  
ev.m. = eventuell maßgebend

Das Naßspritzen weist gegenüber dem Trockenspritzen im Bereich der Betonqualität Nachteile auf. Diese wirken nur ausnahmsweise als Ausschließungsgrund. Diese Nachteile haben ihre Ursache im relativ hohen W/Z-Wert und der Schädlichkeit der verwendeten Erstarrungsbeschleuniger. Demgegenüber streuen die Werte beim Trockenspritzen stärker, vorwiegend wegen des Düsenführereinflusses.

In wirtschaftlicher Hinsicht sind die Voraussetzungen für beide Verfahren sehr ähnlich, wenn sämtliche Geräte für ein gegebenes Projekt neu angeschafft werden müssen.

In betrieblicher Hinsicht wird der Einsatz des Naßspritzens eingeschränkt. Wenn der Ausbruchquerschnitt zu klein und die in einem Zug spritzbare Betonkubatur zu gering ist, kann im Rahmen der NÖT nur trocken gespritzt werden.

In arbeitshygienischer Hinsicht ist bezüglich Staub das Naßspritzen im Vorsprung. Zur Reduktion des Staubes müssen beim Trockenspritzen besondere Maßnahmen angeordnet oder "gemischte" Verfahren gewählt werden.

Mit dieser Zusammenfassung ist auch bereits gesagt, wo das Verbesserungspotential für beide Verfahren liegt: Für das Naßspritzverfahren müssen die neuen Erstarrungsbeschleuniger zum Regelfall werden. Die betriebliche Flexibilität ist durch eine flexiblere Gemischaufbereitung und eine anpassungsfähigere Materialversorgung zu verbessern. Das Trockenspritzverfahren bedarf demgegenüber weiterer Verbesserungen bezüglich Staubbildung. Außerdem ist der Einfluß des Düsenführers auf die Betonqualität zwingend auszuschalten.

All diese Forderungen sind erfüllbar. Es existieren konkrete Vorstellungen von den Lösungen, und ein Teil des Weges ist bereits zurückgelegt. Was rasch weiterhelfen kann, sind die Mitwirkung und das Sachverständnis aller Beteiligten. Die unmittelbare Zukunft wird gewiß weitere Erfolge zeitigen auf dem Wege zu noch zuverlässigeren Spritzbetonverfahren.