

Das Naßspritzen im Dichtstromverfahren mit einem Aluminatbeschleuniger am Beispiel Top-Shot

WET SHOTCRETING ON THE DENSE STREAM CONVEYING METHOD WITH AN ALUMINATE-BASE
ACCELERATING AGENT - THE TOP-SHOT PROCESS BY WAY OF EXAMPLE

Dipl.-Ing. Karl-Ernst von Eckardstein, F. W. Schwing GmbH, Herne

Das Naßspritzverfahren Top-Shot wird seit einigen Jahren mit Erfolg angewandt. Der hergestellte Spritzbeton hat die Merkmale eines gerüttelten Qualitätsbetons - homogenes und dichtes Gefüge, hohen E-Modul, gutes Verhalten bezüglich Kriechen und Schwinden.

Der Rückprall ist gering. Dadurch ist dieses Verfahren, bezogen auf die Ausnutzung der Baustoffe und geringerem Arbeitsaufwand, wirtschaftlicher.

Der Düsenführer wird durch das geringe Gewicht des Verteilerschlauches trotz größerer Einbauleistung nicht stärker belastet. Die starke Belästigung durch Staub entfällt.

Trotz dieser Vorteile kann das Naßspritzverfahren Top-Shot nicht das Trockenspritzen total verdrängen. Naßspritzen im Dichtstromverfahren bedeutet, daß Beton gepumpt wird. Daraus ergeben sich spezifische Merkmale, die eine besondere Logistik erfordern.

For some years already the wet shotcreting method Top-Shot has been adopted successfully. The produced concrete has the characteristics of a vibrated quality concrete - homogeneous and dense structure, high modulus of elasticity, good behaviour as far as creep and shrinkage are concerned.

The rebound level is low. Consequently this method is more economical thanks to a better utilization of the building materials and lower labour costs.

Although the placement capacity is higher, the strain on the nozzle operator is not increased owing to the low weight of the distribution hose. The nuisance caused by dusting is abated.

In spite of all these advantages the wet shotcreting method Top-Shot cannot replace the dry shotcreting completely. Wet shotcreting on the dense stream conveying method means that concrete is pumped. This results in specific features that require special logistics.

Die Qualität des Spritzbetons ist im modernen Tunnelbau von Bedeutung. Bei der NÖT muß er als Sicherungsmaterial einen guten Verbund mit dem Gebirge eingehen und vorgegebene Früh- und Endfestigkeiten garantiert erreichen. Spritzbeton im Naßspritzverfahren Top-Shot hergestellt, erfüllt

diese Forderungen. Er wird nach den allgemein gültigen Normen und Gesetzen der Betontechnologie aufgebaut und hat als Spritzbeton ähnliche Eigenschaften wie Rüttelbeton.

Naßspritzbeton mit einem Erstarrungsbeschleu-

niger auf Aluminat-Basis kann bei geringstem Rückprall auch über Kopf in dicken Lagen aufgetragen werden. Eine BE-Mittel-Dosierung innerhalb der Grenzen der Norm ist ausreichend. Für die Beschleunigermenge ist allein die Betonmischung von Bedeutung.

Geringer Rückprall und große Einbauleistungen machen dieses Naßspritzverfahren wirtschaftlich überlegen. Ein nahezu staubfreies Betonspritzen trägt bei diesem Verfahren zur Humanisierung des Arbeitsplatzes bei.

1. Allgemeines

Spritzbeton wird noch immer als ein besonderer Baustoff angesehen. Man hat den Eindruck, daß für diesen Beton nicht die allgemein gültigen Regeln und Gesetze der Betontechnologie gelten. Für Verfahren, bei denen das Material im Luftstrom transportiert, im Dünnstrom also gefördert wird, kann dies zutreffen. Beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren wird Beton durch eine Leitung zur Spritzdüse gepumpt.

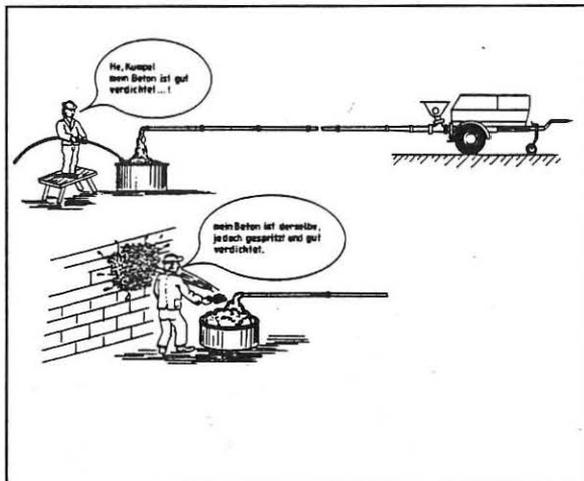


Bild 1: Pumpbeton und gespritzter Pumpbeton haben die gleichen Eigenschaften.

Pumpbeton muß, damit sich keine Verstopfer bilden, so zusammengesetzt sein, daß genügend Zementleim zwischen Körnung und zwischen Beton und der Innenwandung der Förderleitung vorhanden ist. Unter Druck dürfen sich die Zuschläge nicht verkeilen. Die benötigte Leimmenge ist bekanntlich von der Gesamtoberfläche der Zuschlagstoffe abhängig. Für Pumpbeton gelten die allgemeinen Regeln und Gesetze der Betontechnologie. Pumpbeton ist vom Mehlkorngelalt, Kornaufbau usw. her gesehen ein Gütebeton. Naßspritzbeton im Dichtstromverfahren gepumpt, ist daher ebenfalls ein Gütebeton. Dieser Spritzbeton hat die gleichen Eigenschaften wie ein Beton, der mit

Rüttlern verdichtet wurde.

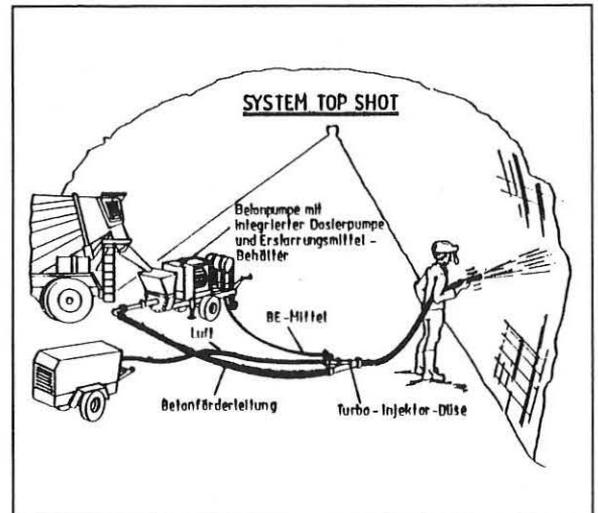


Bild 2: Gerätekonzeption beim Naßspritzen

2. Das Naßspritzen mit einem BE-Mittel

Pumpbeton auch in steifster Konsistenz läßt sich ohne Verwendung von Zusätzen nicht in dicken Lagen als Spritzbeton auftragen. Bei wirtschaftlicher Anwendung der NÖT z. B. wird durch den frisch aufgetragenen Spritzbeton hindurch geankert.

Die Arbeiten für den nächsten Abschlag, besonders das Sprengen, erfordern eine Frühfestigkeit des Spritzbetons. Diese Forderungen lassen sich bei allen Spritzbetonverfahren nur durch die Zugabe von Erstarrungshilfen erreichen.

3. Das TOP-SHOT Naßspritzverfahren

Beim Naßspritzverfahren "Top-Shot" wird ein flüssiger Erstarrungsbeschleuniger auf Alkali-aluminat-Basis verwandt. Dieses Verfahren wurde erstmals unter Baustellenbedingungen beim Kallotten- und Strossenvortrieb der Arge Heilsbergtunnel ab Dezember 1985 eingesetzt. Hierüber berichtete Kern /6/ auf der 2. Internationalen Fachtagung im Januar 1987 in Innsbruck-Igls.

Mittlerweile sind über 100.000 m³ Spritzbeton im "Top-Shot"-Verfahren hergestellt worden. Maschinentechnisch und vom eigentlichen Verfahren her ist das Naßspritzen im Dichtstrom mit einem Aluminatbeschleuniger funktionssicher. Es wird also absolut baustellentauglich eingestuft.

Es fällt auf, daß, unabhängig von der Zementsorte, mit einem nicht auf den Zement beson-

ders abgestimmten Beschleuniger gearbeitet werden kann. Die maximale Dosierung beträgt 5 % vom Zementgewicht. Die Beschleunigermenge ist stark abhängig von der Betonzusammensetzung. Ein feiner sandreicher Beton mit großer Gesamtoberfläche der Zuschlagstoffe benötigt mehr BE-Mittel. Dies ist einleuchtend, der Erstarrungsbeschleuniger reagiert nur mit dem Zement und nicht mit der benetzten Oberfläche der Zuschlagstoffe. Für das optimale Erstarren einer Betonmischung gibt es nur eine bestimmte BE-Mittelmenge. Eine Änderung des W/Z-Faktors erfordert z. B. keine neue Einstellung der Dosieranlage.

Eine möglichst genaue Dosierung des Aluminatbeschleunigers und ein intensives Vermischen des Beschleunigers mit dem Beton gehören zu den Bedingungen einer problemlosen Anwendung des "Top-Shot"-Verfahrens. Die Förderung des Aluminatbeschleunigers erfolgt mit einer in das Hydrauliksystem der Betonpumpe integrierten Kolbendosierpumpe. Diese fördert auch kleinste BE-Mittelmengen exakt in Abhängigkeit der Förderkolbenbewegung der Betonpumpe synchron zum Betonförderstrom in die Turbo-Injektordüse. Eine ungleichmäßige Zugabe des Beschleunigers würde zu Schwankungen in der Erstarrungszeit des jungen Betons führen und den Rückprall besonders beim Überkopfspritzen erhöhen.

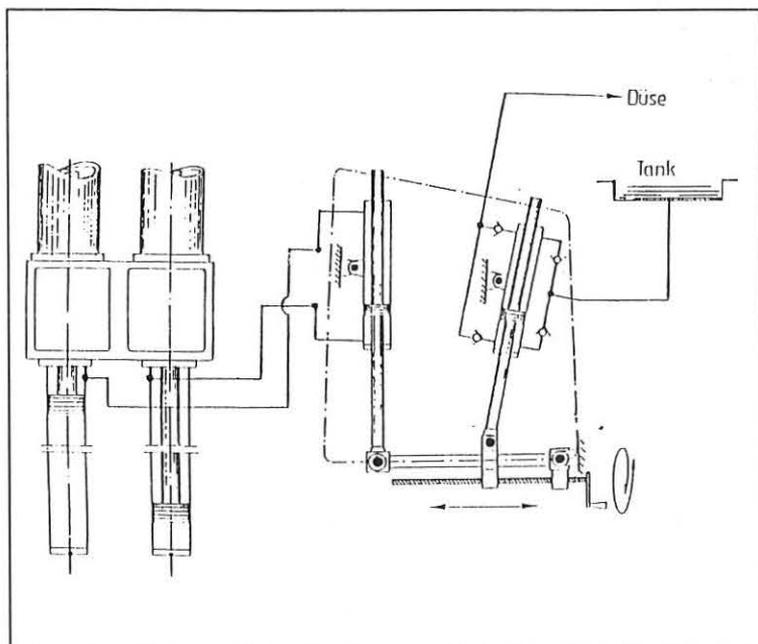


Bild 3: Schema der Schwing-Kolben-Dosierpumpe integriert in eine Betonpumpe

Um den Aluminatbeschleuniger möglichst optimal ausnutzen zu können, muß dieser in der Spritzdüse intensiv mit dem Beton vermischt werden. Der Beschleuniger wird mit einer Venturi-

Düse zerstäubt. Die mit dem Beschleuniger durchsetzte Treibluft zerreißt den in die Turbo-Injektordüse geförderten Beton und verwirbelt diesen in der Mischkammer. Dabei erreichen die wirksamen Komponenten des Beschleunigers die des Zementes und regen diesen zur schnellen Kristallbildung an. Der bis zu 6 m lange Spritzschlauch dient als Reaktionsstrecke.

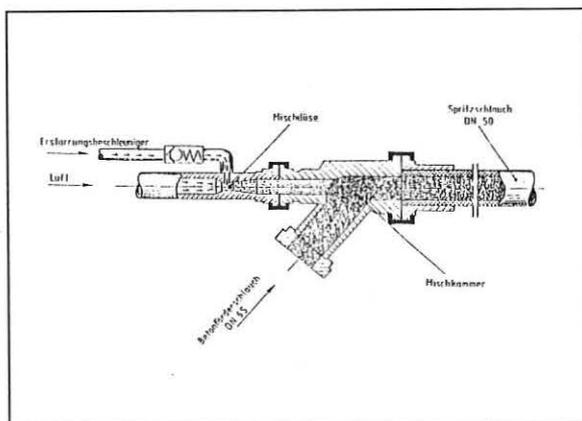


Bild 4: Turbo-Injektordüse - Top Shot -

Der Düsenführer wird beim händischen Spritzen bei Einbauleistungen bis ca. 8 m³/h körperlich nicht mehr beansprucht als beim Trockenspritzen - eher noch weniger -. Das Naßspritzen im Dichtstromverfahren bietet hinsichtlich Betonqualität, Rückprall, Staubentwicklung und Leistung erhebliche Vorteile. Das "Top-Shot"-Verfahren ist wirtschaftlich. Es hat aber auch Nachteile, die auf die Gesetze und Regeln des Betonpumpens zurückzuführen sind. Nachfolgend wird auf die Vor- und Nachteile eingegangen.

3.1 Vorteile und Nachteile

Vorteile

- beste Betonqualität
- hohe Wirtschaftlichkeit
- große Einbauleistung
- geringer Staubanfall
- wenig Rückprall

Nachteile

- geringe Flexibilität
- unwirtschaftlich bei kleinen Spritzbetonmengen
- aufwendig bei extremen Förderweiten
- termingerechtes Anliefern des Frischbetons
- kurze Verarbeitungszeiten des Frischbetons
- schlechte Haftung bei nässenden Auftragsflächen
- Wasser beim Säubern.



Bild 5: Schlauchdüse beim Naßspritzverfahren

3.1.1 Betonqualität

Beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren "Top-Shot" wird ein in der Betonrezeptur festgelegter Pumpbeton mit Größtkorn 8 oder 16 mm als Spritzbeton aufgetragen - $W/Z \approx 0,5$. Der Düsenführer hat keinen Einfluß auf die Wasserzugabe. Die Endfestigkeit des Spritzbetons ist abhängig von der erreichbaren Endfestigkeit der Ausgangsmischung. Auf Kosten der erzielten Frühfestigkeit ist die Endfestigkeit des Spritzbetons bis ca. 20 % niedriger als beim unbeschleunigten gepumpten Frischbeton.

Diese Festigkeitseinbuße muß bei der Festlegung der Betonrezeptur beachtet werden. Der Betontechnologe kann aus der Festigkeitsentwicklung des Frischbetons die erreichbare Endfestigkeit des Naßspritzbetons kalkulieren. Der Einbau eines in seinen Eigenschaften genau definierten Spritzbetons ist daher gegeben. In Bielefeld wurde z. B. beim Bau der U-Bahn ein Abschnitt einschalig in Stahlfaserspritzbeton als WU-Beton erstellt.

Bei hochwertigen Spritzbetonen, wie B 45, muß evtl. auf in der Betontechnologie erprobte festigkeitssteigernde Zusätze - z. B. Microsilica - zurückgegriffen werden.

Aluminatbeschleuniger führen zu einem nicht blitzartig schnellen Erstarren des Betons. Erst Se-

kunden nach dem Auftragen setzt das Erstarren ein. Frischer Beton trifft beim Spritzen nicht auf schon erstarrten Beton. Eine gute Verdichtung mit wenig Rückprall ist die Folge. Noch plastisch läßt sich der Beton in Hohlräume, hinter Ausbaubögen und Klüfte treiben. Spritzschatten sind leicht vermeidbar.

Naßspritzbeton im "Top-Shot"-Verfahren, in dicken Lagen aufgetragen, ist in seinem Gefüge homogen. Der Spritzbeton hat annähernd die gleichen betontechnologischen Eigenschaften wie sein Ausgangsbeton, wie die Abbildungen von Kern /6/ zeigen.

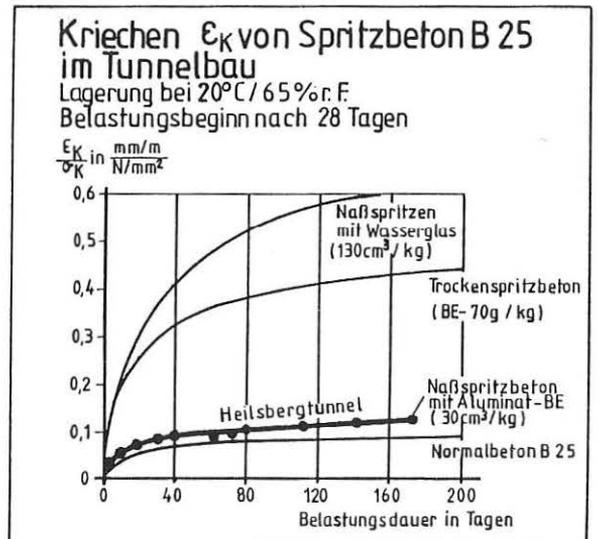
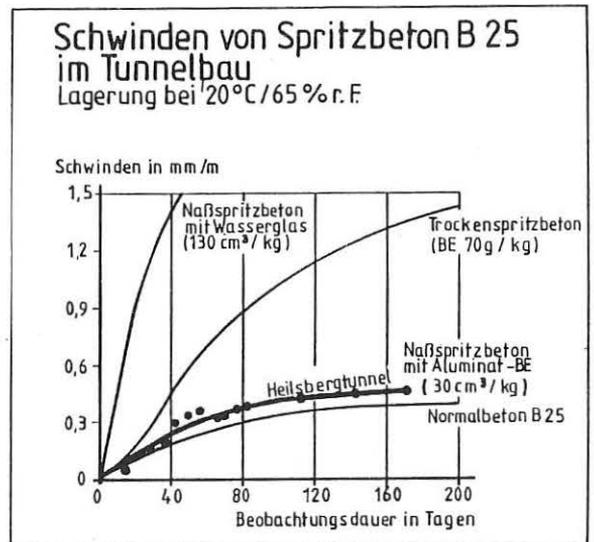


Bild 6: Schwinden und Kriechen von Spritzbeton

3.1.2 Rückprall

Der Rückprall verteuert den Spritzbeton erheblich. Er belastet die Umwelt und den Arbeitsplatz. Beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren fällt bedeutend weniger Rückprall an. Baustellen und Institute der Hochschulen in Bochum, Innsbruck

und Zürich berichten hier übereinstimmend.

Müller /5/ mißt einen mittleren Rückprall von 10 % beim Naßspritzen über Kopf und an der Wand.

Kern /6/ beziffert den Rückprall im Kalottenvortrieb mit ca. 15 %, im Strossenvortrieb des Heilsbergtunnel mit 5 - 10 %.

v. Diecken /1/, der sich in seiner Dissertation speziell mit dem Rückprall befaßt, stellt fest, daß beim Naßspritzverfahren auch bei überhöhter Luftmengen zugabe der Rückprall deutlich unter 10 % liegt. Das Diagramm "Rückprallverhalten in Abhängigkeit der Luftmenge (Naßspritzverfahren im Dichtstrom)" verdeutlicht diese Aussagen.

Variation der Luftmenge beim Naßspritzverfahren im Dichtstrom

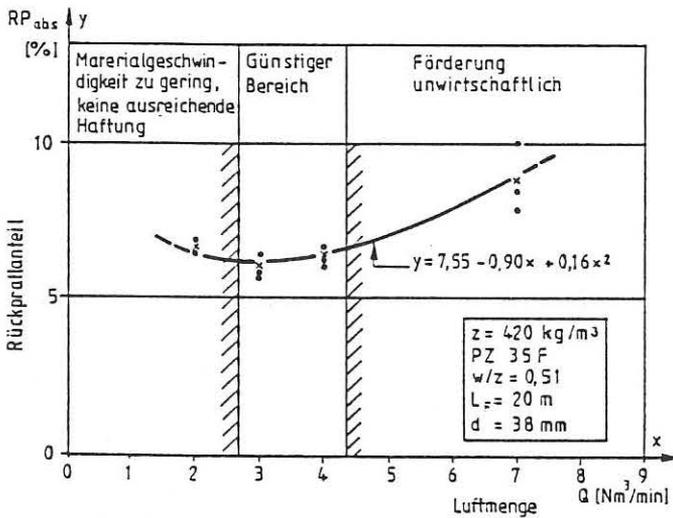


Bild 7: Rückprallverhalten in Abhängigkeit der Luftmenge (Naßspritzverfahren im Dichtstrom) nach H. v. Diecken

Hahlhege /2/ stellt fest, daß in dem verfahrenstechnischen Anwendungsbereich beim Trockenspritzen die Luftmenge keinen Einfluß auf die erzielbare Druckfestigkeit und Festbetonrohddichte hat.

Handke /3/ ermittelt, daß beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren mit einem Aluminatbeschleuniger keine Abhängigkeit zwischen Luftmenge und Betondruckfestigkeit besteht.

Diese Aussagen entkräften die weit verbreiteten Ansichten, daß beim Trockenspritzen eine bessere Verdichtung des Betons erzielt wird. Für das Naßspritzen bedeuten diese Erkenntnisse, daß bezüg-

lich Rückprall und Staubkonzentration mit so wenig Luft wie eben möglich gespritzt werden sollte.

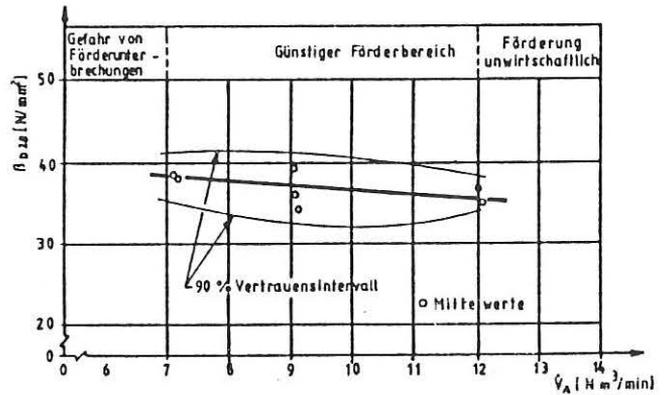


Bild 8: Zusammenhang zwischen Luftmenge und Zylinderdruckfestigkeit nach R. Hahlhege für das Trockenspritzverfahren

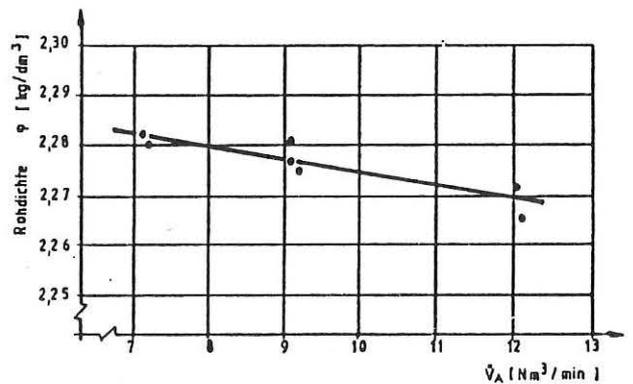


Bild 9: Zusammenhang zwischen Luftmenge und Festbetonrohddichte nach R. Hahlhege für das Trockenspritzverfahren

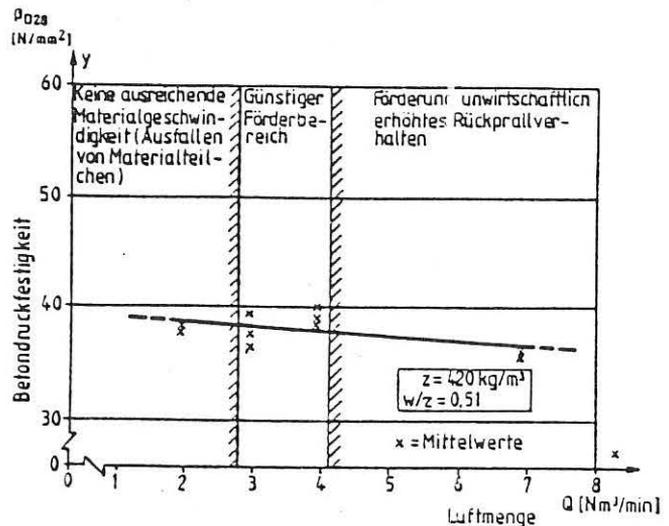


Bild 10: Druckfestigkeitsverhalten in Abhängigkeit der Luftmenge (Naßspritzverfahren im Dichtstrom) nach D. Handke

3.1.3 Staubentwicklung

Bei allen Spritzbetonverfahren tritt Staub auf. Seine Konzentration hängt stark vom Verfahren ab. Handke /3/ untersucht die Ursachen der Staubentwicklung. Ein Vergleich der Verfahren Trockenspritzen, Naßspritzen im Dünnstrom und Naßspritzen im Dichtstromverfahren zeigt, daß beim Dichtstromverfahren die geringste Staubkonzentration vorhanden ist. Beim Dünnstromverfahren sind verfahrensmäßig für den Transport des Mischgutes im Luftstrom hohe Luftgeschwindigkeiten erforderlich, die die höhere Staubkonzentration bewirken. Beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren ist verfahrensmäßig nur eine geringe Luftmenge nötig. Bei richtiger Anwendung kann der Feinstaub nahezu ganz vermieden werden. Eine sich automatisch dem Förderstrom der Betonpumpe anpassende Luftmengenregelung trägt beim "Top-Shot"-Verfahren künftig zur Minimierung des Staubes und somit zur Humanisierung des Arbeitsplatzes bei.

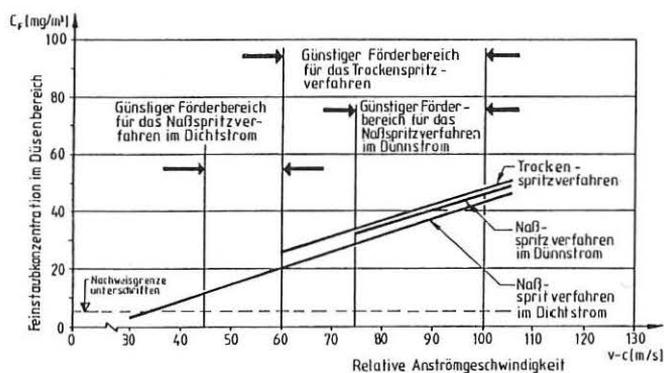


Bild 11: Feinstaubverhalten im Düsenbereich in Abhängigkeit der relativen Anströmgeschwindigkeit unter Berücksichtigung verfahrensabhängiger Anwendungsbereiche nach Handke

3.1.4 Wirtschaftlichkeit

Die betriebsabhängigen Kosten eines Verfahrens haben großen Einfluß auf seine Wirtschaftlichkeit. Beim Betonspritzen sind dies u. a. die Kosten des Baustoffes, die Lohnkosten für das Bedienungspersonal, die Energiekosten und die Kosten für Verschleiß und Wartung.

In der nachfolgenden Aufstellung wird gezeigt, daß mit dem "Top-Shot"-Verfahren sich Spritzbeton erheblich billiger als mit den althergebrachten Verfahren herstellen läßt. Die Gerätekosten wurden in der Kostenanalyse nicht berücksichtigt. Die Kosten der Gerätschaften - Spritzgerät und Kompressor - sind für das Trocken- und Naßspritzen in etwa gleich. Im nachfolgenden Beispiel wird von einer einzubauenden Spritzbetonmenge von ca.

10 m³ ausgegangen, die in einem Arbeitsgang, z. B. bei einem Abschlag, eingebaut wird. Für das Trockenspritzen wurde ein mittlerer Rückprall von 35 % und für das Naßspritzen ein solcher von 15 % angenommen.

Dieses Beispiel zeigt, daß bei den angenommenen Material- und Lohnkosten beim Naßspritzen ca. DM 53,20/m³ - also über 20 % der Kosten des Trockenspritzbetons - eingespart werden können. Die Tabelle 1, Seite 161, verdeutlicht diese Aussage.

Wird statt des Aluminatbeschleunigers beim Trockenspritzen ein pulverförmiges BE-Mittel verwendet, so ergibt sich eine Einsparung beim "Top-Shot"-Verfahren von noch immer über DM 50,-/m³ eingebauten Spritzbeton. (Gegenüberstellung in der Tabelle 1.

Naßspritzgeräte werden heute in der Regel mit Fahrmischer beschickt. Die kleinste wirtschaftliche Betonmenge ist somit der Inhalt eines Fahrmixers. Die Betonmenge von 5 m³ kann beim Spritzen aus der Hand in ca. 30 min. verarbeitet werden. Auch bei einem angenommenen Zeitaufwand von 1 Stunde insgesamt für das Spritzen von 5 m³ Beton und für das Säubern des Gerätes lassen sich beim Naßspritzen Kosten von DM 47,-/m³ bei Berechnung gemäß des aufgezeigten Beispiels erzielen.

Unabhängig von diesen Einsparungen durch geringen Rückprall lassen sich beim Naßspritzen weitere Kosten sparen durch Steigerung der Einbauleistung. Moderne Naßspritzgeräte mit nur einem Spritzarm ermöglichen Einbauleistungen von über 15 m³/h Spritzbeton. Für 10 m³ hieße dies, daß nach ca. 40 min. theoretisch mit den Arbeiten für den nächsten Abschlag vor Ort wieder begonnen werden könnte.

3.2 Nachteile

Es wurde erwähnt, daß beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren betonpumpenspezifische Nachteile beachtet werden müssen, die evtl. den wirtschaftlichen Einsatz dieses Systems in Frage stellen.

3.2.1 Termingerechte Bereitstellung

Es wird Frischbeton mit einem niedrigen Wasser/Zement-Wert gefördert. Dieser Beton steift schnell an. Er muß zügig verarbeitet werden. Hieraus ergibt sich für die Mannschaft vor Ort, daß der Beton zu festen Terminen bestellt werden muß. Die Anlieferung hat termingemäß zu erfolgen.

	Trockenspritzbeton		Naßspritzbeton Top-Shot	
Materialeinkosten: Beton		DM 120,--/m ³		
BE-Mittel		DM 2,--/kg		
Fließmittel				DM 2,--/kg
Lohnkosten		DM 40,--/h		
Energiekosten		DM 0,40/kWh		
einzubauende Spritzbetonmenge		10 m ³		
mittl. Rückprall	35 %		15 %	
		Kosten pro Abschlag		Kosten pro Abschlag
zu verarbeitende Betonmenge	ca. 15 m ³		ca. 12 m ³	
Materialeinkosten des Betons		DM 1.800,--		DM 1.440,--
BE-Mittel (4,5 %, 400 kg Zement/m ³)	270 kg		216 kg	
BE-Mittelkosten		DM 540,--		DM 432,--
Fließmittel (0,8 %, 400 kg Zement/m ³)	--		ca. 39 kg	
Fließmittelkosten		--		DM 78,--
Materialeinkosten total		<u>DM 2.340,--</u>		<u>DM 1.950,--</u>
Spritzdauer bei Förderstrom:	8 m ³ /h ca. 2 h		10 m ³ /h ca. 1,5 h	
daraus Lohnkosten für 2 Mann		DM 160,--		DM 120,--
Energie für Luft:	20 m ³ /min 110 kW		10 m ³ /min 55 kW	
für Spritzgerät:	7,5 kW		22 kW	
Energie total	2 h x 117,5 kW		1,5 h x 77 kW	
Energiekosten		DM 94,--		DM 46,--
Verschleißkosten / m ³ geförderten Beton:	ca. DM 6,--/m ³		ca. DM 3,--/m ³	
Verschleißkosten total		<u>DM 90,--</u>		<u>DM 36,--</u>
Gesamtkosten für 10 m ³ eingebauten Beton		<u>DM 2.604,--</u>		<u>DM 1.952,--</u>
Kosten betriebsabhängig für 1 m ³ eingebauten Betons		DM 260,40		DM 195,20
Ersparnis pro m ³ eingebauten Betons				DM 53,20
prozentuale Ersparnis				ca. 20 %

Tabelle 1:

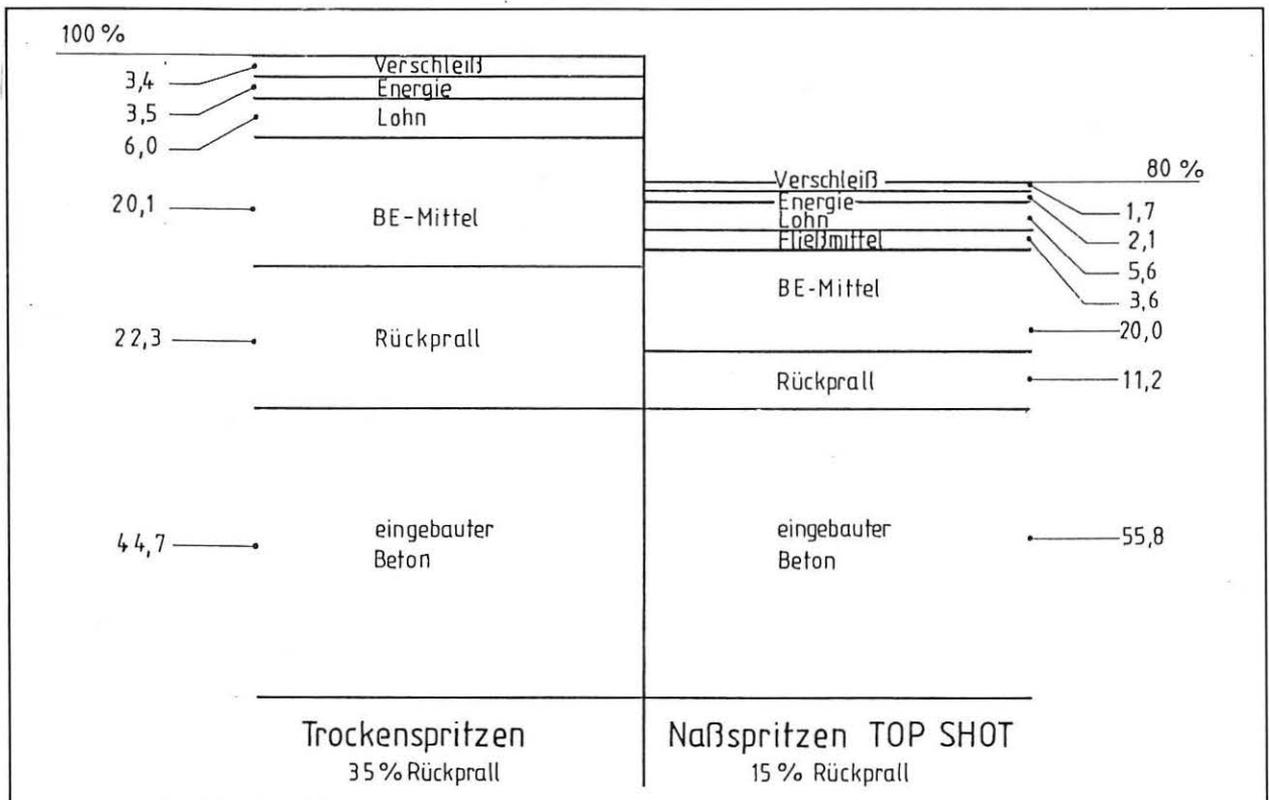


Bild 12: Prozentualer Vergleich der allgemeinen Betriebskosten zwischen Trockenspritzbeton und Naßspritzbeton "Top Shot"

Bei mehrschichtigem Betrieb bedeutet dies, daß auch z. B. nachts Beton angeliefert werden muß.

3.2.2 Geringe Einbaumengen und -leistungen

Pumpbeton erhärtet mit der Zeit. Kleine Spritzleistungen können zu Pumpproblemen führen. Kleine Betonabschnitte erfordern ein Höchstmaß an Koordination und werden dadurch leicht unwirtschaftlich. Das Hantieren der mit Beton gefüllten Förderschläuche DN 50 oder DN 65 macht das Wechseln zu verschiedenen Einbaustellen schwierig.

3.3.3 Säubern

Baustellen berichten, daß der Aufwand für das Säubern und Halten eines Naßspritzgerätes im betriebsbereiten Zustand in etwa dem Aufwand entspricht, der bei einem Trockenspritzgerät anfällt. Für das Säubern muß allerdings genügend Wasser zur Verfügung stehen, dieses muß auch abgeleitet werden können. Mobile Naßspritzgeräte mit und ohne Spritzarm haben hier Vorteile, sie können "feuerwehrartig" eingesetzt und zum Waschen zu einem Waschplatz gefahren werden.

3.3.4 Platzbedarf

Naßspritzgeräte sind sperrig. In kleinen Tunnelquerschnitten können sie leicht hinderlich sein. Große Förderweiten erschweren den Pumpbetrieb. Bei Förderweiten über 30 m muß eine Vorlaufmischung für das Einschlämmen der Leitung verwendet werden. Kurze Pumpentfernungen sind deshalb anzustreben.

3.3.5 Anstehendes Wasser

Aus der Wand tretendes Wasser kann mit dem Naßspritzverfahren nicht abgedichtet werden. Hieraus läßt sich ableiten, daß bei Vortrieben evtl. ein zusätzliches Trockenspritzgerät vorgehalten werden muß. Es bietet sich an, daß bei diesen Notfällen mit Silo- oder Sackware gearbeitet wird.

4. Schlußbetrachtung

Beim Auffahren unterirdischer Hohlräume ist Spritzbeton ein notwendiger Baustoff. Er wird künftig noch mehr an Bedeutung gewinnen - nicht nur im Tiefbau.

Über einschaligen Stahlfaser-Spritzbeton liegen positive Ergebnisse vor. Es kann davon ausgegan-

gen werden, daß künftig diese Methode mehr zur Anwendung gelangt.

Das Naßspritzen von Beton im Dichtstromverfahren ist nicht nur eine Alternative. Es hat unumstritten Vorteile, nicht nur bei großen Einbaumengen. Naßspritzbeton z. B. "Top-Shot" ist homogen und mit Rüttelbeton vergleichbar. Die Technik des Naßspritzens ist gut beherrschbar und sicherlich nicht schwieriger zu handhaben als Betonpumpen beim Betonieren der Innenschale. Es fällt auf, daß noch immer das Trockenspritzen auch bei großen Kubaturen gern eingesetzt wird. Dies trotz der enormen Staubbelastung und der damit verbundenen Gesundheitsgefährdung des Düsenführers und des Mannes am Spritzgerät. Ebenso ist es schwer verständlich, daß der Düsenführer sich im durch Rückprall gefährdeten Bereich aufhalten darf. Er darf sich frei im ungesicherten Raum eines Tunnels bewegen, unabhängig von dessen Größe und der technischen Notwendigkeit.

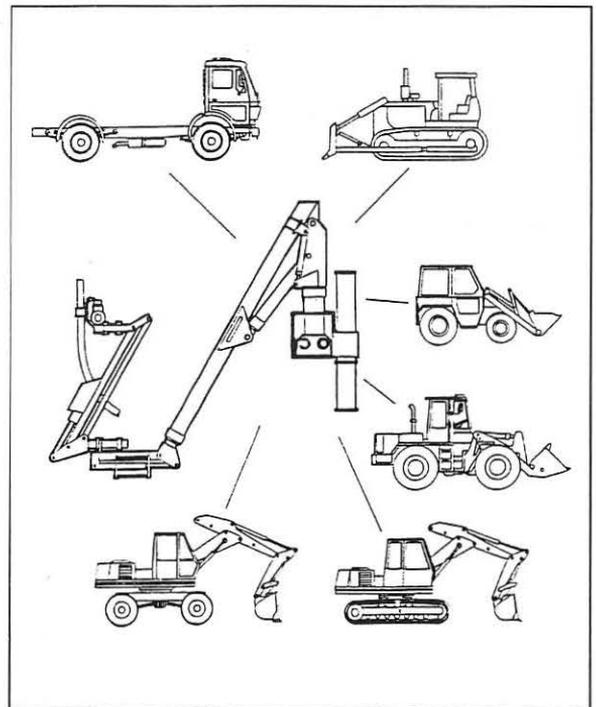


Bild 13: Aufbauvariationen für Spritzarm

Mobile Naßspritzgeräte mit schnellen und flexiblen Spritzarmen werden sicherlich bald hochwertigen Spritzbeton schnell und präzise einbauen. Die wirtschaftliche Anwendung der NÖT z. B. ist mit abhängig von kurzen Einbauzeiten für den Spritzbeton. Es ist schwer begreiflich, daß Spritzbeton mit primitiven billigen Maschinen einerseits eingebracht wird, wenn man andererseits den enormen technischen Aufwand z. B. für mehrarmige Bohrgeräte, starke Lader, große Dumper, teure und stabile Schalwagen mit leistungsstarken Betonpumpen im modernen Tunnelbau sieht.

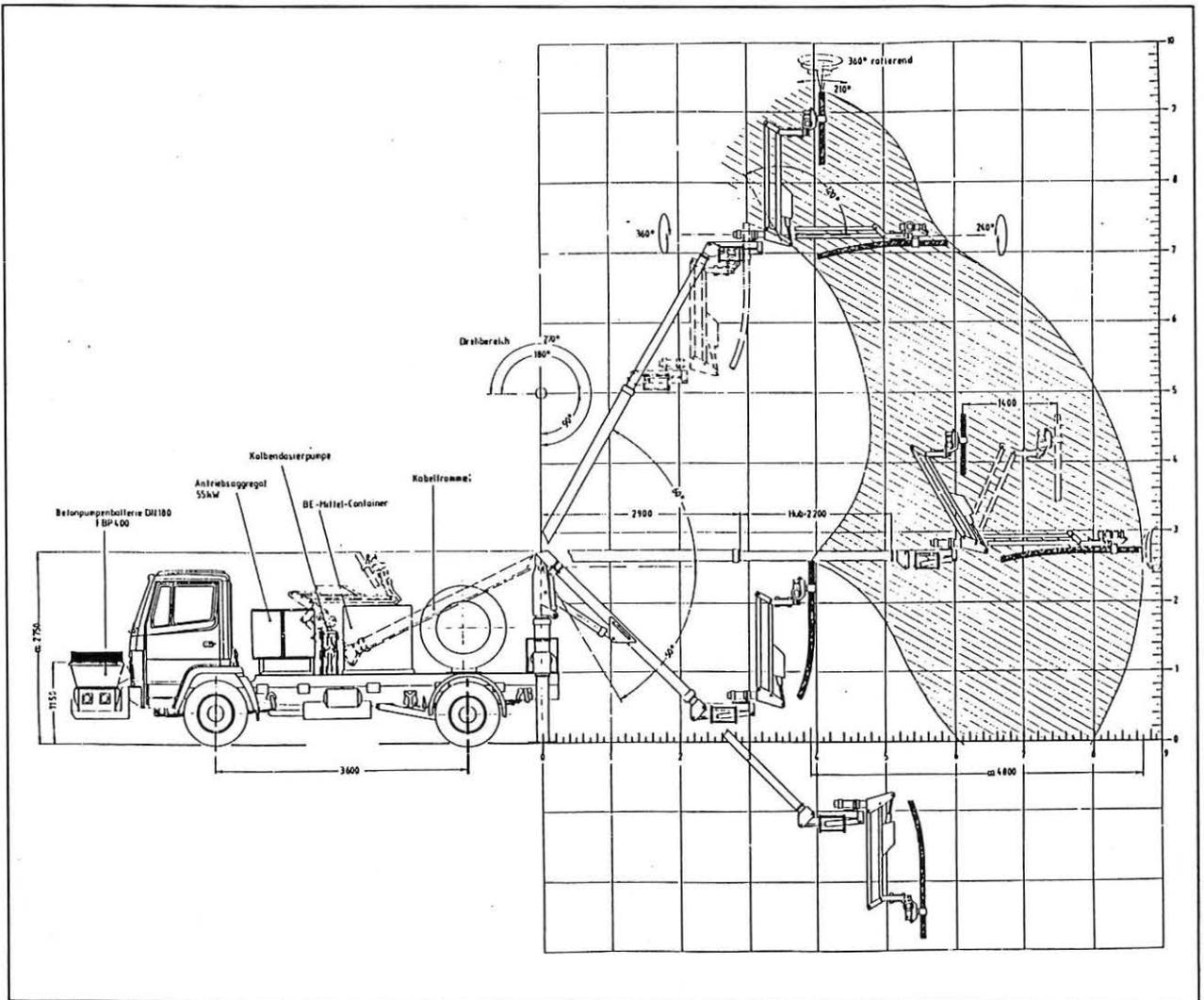


Bild 14: Aktionsradius eines Spritzarmes

5. Literaturverzeichnis

/1/ Diecken v., D.:

Möglichkeiten zur Reduzierung des Rückpralls von Spritzbeton aus verfahrenstechnischer und betontechnologischer Sicht. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum 1989

/2/ Hahlhege, R.:

Zur Sicherstellung der Qualität von Spritzbeton im Trockenspritzverfahren. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum 1986.

/3/ Handke, D.:

Kriterien zur Beurteilung und Verminderung der Staubentwicklung bei Spritzbetonarbeiten im Tunnelbau. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum 1987.

/4/ Leuthold, M.:

Auswirkungen von unterschiedlichen Spritzverfahren und Beschleunigern auf die Eigenschaften von Spritzbetonen in Verkehrstunnelbauten. Diplom-Arbeit, Universität Innsbruck 1989.

/5/ Müller, Th.:

Spritzbetonversuche - Naßspritzverfahren im Hondrichtunnel 1987. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH - Zürich 1987

/6/ Kern, E.:

Naßspritzen mit Aluminatbeschleuniger bei einem Autobahntunnel. In Spritzbetontechnologie, 2. Internationale Fachtagung 1987 Innsbruck-Igls.