

Das Naßspritzen von Beton im Dichtstromverfahren — Das Prinzip mit Vorschlägen zur technischen Lösung

Ing. (grad.) Karl-Ernst von ECKARDSTEIN
Friedrich Wilh. Schwing GmbH, Baumaschinen-Fabriken, Herne

Im Vorwort zum Programm dieser Tagung heißt es, daß das Spritzbeton-Verfahren durch leistungsfähige Naßspritzgeräte neue Impulse erhielt, daß auch dieses Verfahren, wie im übrigen auch das Trockenspritzverfahren, noch zu optimieren ist.

Das Naßspritzverfahren im Dichtstrom ist keine Erfindung der Neuzeit. Schon vor ca. 20 Jahren wurde in einem Tunnel am Neckar mit einer Schwing-Betonpumpe naßgespritzt. Es drängt sich die Frage auf, warum sich dieses Verfahren bis heute nicht durchsetzen konnte, zumal es offenbar doch bedeutend wirtschaftlicher und umweltfreundlicher ist. In diesem Beitrag soll versucht werden, die Kriterien dieses Verfahrens aufzuzeigen. Dies aus der Erkenntnis, daß, wenn die Problematik bekannt ist, sich alle Beteiligten besser auf eine neue Technik einstellen können.

Beim Naßspritzen von Beton im Dichtstromverfahren wird der Beton mit einer Betonpumpe zur Spritzdüse gefördert, einem Baugerät also, welches heute allgemein als betriebssicher anzusehen ist. Vor ca. 20 Jahren hieß es: "Junge, hör auf, von Betonpumpen zu reden, diese funktionierten beim Bau des Westwalles nicht, warum sollen sie heute besser sein!"

Kann sich das Naßspritzen eventuell deswegen nur so schleppend durchsetzen, weil auch hier eine vorgefaßte Meinung dagegen spricht?

Das Betonpumpen funktioniert nur dann, wenn der Beton pumpfähig ist. Ein pumpfähiger Beton benötigt eine gewisse Leimenge, um jedes Korn des Betons zu ummanteln und um an der Wandung der Förderleitung den sogenannten Schmierfilm aufrecht zu erhalten. Die Konsistenz dieses Betons sollte noch in K2 einstuftbar sein; sie ist also mit dem Ausbreitmaß meßbar.

Im Hinblick auf spezifische Forderungen des Spritzbetons, z.B. die hohe Frühfestigkeit, streben Betontechnologen naturgemäß einen möglichst niedrigen W/Z-Wert an. Ein W/Z-Wert zwischen 0,5 und 0,55 hat für diesen Beton zur Folge, daß er in bezug auf die Konsistenz in dem nicht mehr oder nur schwer pumpbaren Bereich liegt. Bezogen auf gute Ansaugbedingungen bedeutet dies für die Betonpumpe große Ansaugöffnungen und für das Fördern hohe Förderdrücke.

Beim Naßspritzen hängt der Luftbedarf vom Austragsquerschnitt der Spritzdüse ab. Je größer der entsprechende Durchmesser an der

Düse ist, desto mehr Luft wird benötigt, um eine vorgegebene Betonmenge auf die erforderliche Anwurfgeschwindigkeit zu beschleunigen. Spritzdüsen mit einem kleinen Austragsquerschnitt erfordern, wenn man "verstopferfreundige" Reduzierungen in der Düse vermeiden will, Förderleitungen mit kleinen Nennweiten. Förderschläuche mit Nennweiten von 50 mm, wie sie beim händischen Spritzen - der Düsenführer führt die Düse von Hand - benutzt werden, erfordern einen hohen Pumpdruck. Förderdrücke von über 40 bar sind bei den angestrebten W/Z-Werten nicht selten, d.h. es treten Förderdrücke auf, die erst durch moderne Betonpumpen mit geeigneten Schieberkonstruktionen für feinkörnigen Zuschlag zuverlässig gemeistert werden. Einleuchtend ist auch, daß nach Ansteifen des Betons bei Pumpunterbrechungen mit weit höheren Pumpdrücken gearbeitet werden muß. Für das Naßspritzen von Beton stehen heute funktionssichere und wartungsarme Betonpumpen nebst Rohr- und Schlauchleitungen für maximale Drücke von über 70 bar zur Verfügung. Vielleicht ist diese Technik auch ein Grund dafür, daß im letzten Jahr mehr Tunnelbaustellen Zutrauen zum Naßspritzverfahren fanden.

Für das Fördern des Betons zur Spritzdüse durch Schlauchleitungen DN 50 mit Leistungen von 12 bis 15 m³/h reichen bei Pumpentfernungen bis zu 100 m Antriebsleistungen von 35 kW aus. Der Luftbedarf beträgt ca. 0,5 - 0,7 m³ Ansaugmenge pro Minute, wenn ein Kubikmeter pro Stunde gespritzt wird. Für eine Spritzleistung von 10 m³/h reicht beispielsweise ein 6 m³ Kompressor voll aus. Dies bedeutet, für 10 bis 12 m³ Spritzbeton in der Stunde eine installierte Gesamtleistung von ungefähr 80 kW.

Auch moderne Betonpumpen haben Verschleiß. Die Verschleißkosten betragen bei Kolbenpumpen mit maximalen Förderdrücken von 70 bar ca. 0,40 DM - etwa 3 ÖS - pro Kubikmeter geförderten Betons. Zieht man die Förderleitung und die Spritzdüse mit in diese Betrachtungen ein, so dürften sich die Gesamtverschleißkosten bei ca. DM 1,50 oder 10 ÖS bewegen. Hieraus resultiert, daß auch im Hinblick auf den Verschleiß das Naßspritzen kostengünstiger ist.

Spezifische Probleme der Betonpumpen können also nicht die Ursache sein, daß sich das Naßspritzen so schwer durchsetzt. Vielleicht liegt es daran, daß bislang ungeeignete Spritzdüsen angeboten wurden oder daß zu wenig darüber nachgedacht wurde, welche Forderungen diese Spritzdüsen zu erfüllen haben.

Sicherlich ist es nicht damit getan, nur den Beton auf die nötige Anwurfgeschwindigkeit durch Zufuhr von Treibluft zu beschleunigen. In der Spritzdüse wird dem Beton ein Betonzusatzmittel als Abbindebeschleuniger zugegeben. Zugeben bedeutet hier ein gleichmäßiges Verteilen des Zusatzmittels im Beton. Theoretisch muß jedes Partikelchen des Zementleimes mit dem Zusatzmittel in Kontakt kommen, damit der Beschleuniger optimal wirken kann. Es muß also eine intensive Durchmischung erreicht werden. Es ist einleuchtend, daß sich in ein steif plastisches Medium, wie z.B. steifer Beton im Bereich K2, ein Zusatz schlechter mit hoher Geschwindigkeit einmischen läßt als in eine Flüssigkeit. Es dürfte auch schwieriger sein, kleine Menge von Zusatzmittel gleichmäßig und kontinuierlich in ein großes Volumen einzumischen; z.B. 60 g BE-Mittel in 6 kg Beton in einer Sekunde, dies sind also pro Sekunde etwa 45 cm^3 Zusatz in 2,6 l Beton.

In diesem Beispiel wurde eine stündliche Spritzleistung von ungefähr 10 m^3 Beton mit 400 kg Zement pro m^3 angenommen. Die Dosierung des Beschleunigers betrug 5 %. Eine Konstruktion für diese Forderung muß notgedrungen anders aussehen als eine Spritzdüse zum Trockenspritzen. Hier werden bei einem angenommenen W/Z-Wert von 0,36 und 400 kg Zement pro Kubikmeter bei der entsprechenden Spritzleistung von $10 \text{ m}^3/\text{h}$ in der Sekunde 400 g Wasser in 6 kg eines Betons eingedüst, der im Luftstrom - im Dünnstrom - gefördert wird.

Bei der Turbo-Injektordüse der Firma Schwing wird der Beton in den Luftstrom gepumpt. In die Treibluft wird, bevor sie auf den Beton trifft, das Zusatzmittel fein zerstäubt eingebracht. Es hat sich gezeigt, daß ein besonders feines und gleichmäßiges Zerstäuben des BE-Mittels die besten Spritzergebnisse bringt, sowohl hinsichtlich der Auftragsstärke als auch der schnellen Erstarrung. Damit der Beschleuniger möglichst intensiv auf den Beton wirken kann, muß die mit fein zerstäubtem Zusatzmittel angereicherte Treibluft möglichst lange mit dem Beton in Kontakt bleiben. So hat es sich als vorteilhaft erwiesen, das Spritzmundstück besonders lang auszubilden. Gute Erfahrungen wurden gemacht mit einem ca. 2,5 m langen Schlauch NW 40 als Mundstückverlängerung.

Beim Arbeiten mit Wasserglas, wie es heute noch üblich ist, läßt sich mit der Turbo-Injektordüse die Zugabe des Wasserglases reduzieren. Eine spezielle Wasserglastemperatur braucht dabei nicht beachtet zu werden. Auch dickflüssige Zusätze lassen sich fein zerstäuben. Dies geschieht auch beim Wasserglas in der Streuscheibe. In ihren radial angeordneten Luftdurchlässen steht der vom Dosiergerät gepumpte Zusatz an, der durch die Treibluft mitgerissen und dabei fein vernebelt wird.

Es wurde kurz erwähnt, daß Reduzierungen in der Spritzdüse Verstopfer erzeugen können, und daß große Austragsquerschnitte den Treibluftbedarf erhöhen. Bei der Turbo-Injektordüse kann ohne nennenswerte Querschnittsveränderungen bei einer Austragsöffnung von nur 40 mm mit Spritzschläuchen DN 65 gearbeitet werden. Erwähnt wurde, daß bei dieser Düse der Beton in den Luftstrom eingepumpt wird. Die Treibluft schert den Beton in der Übergangsebene von der Pumpleitung zur Düse ab. Hier trifft die mit BE-Mitteln angereicherte Treibluft großflächig auf den jetzt auseinanderreißen Beton. So erfolgt eine gute Durchmischung. Die Dichtstromförderung hört

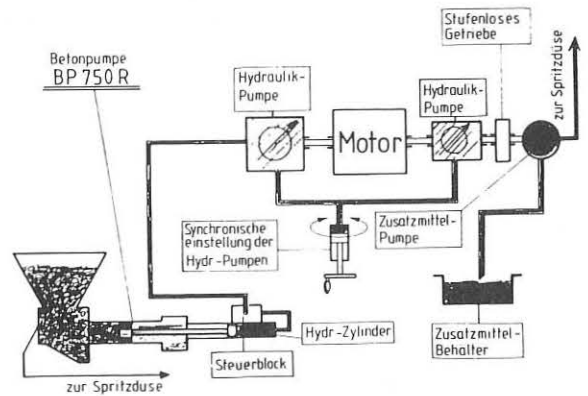


Abb.1. Schematische Darstellung der Dosiereinrichtung einer Betonspritzanlage.

an dieser Stelle auf und geht in die Dünnstromförderung über. Auch jetzt erfolgt keine Querschnittsveränderung, also es können auch keine Verstopfer auftreten.

Durch Förderschläuche DN 65 läßt sich Beton leichter pumpen. Das Anfahren mit einer Vorlaufmischung kann entfallen. Steife Betonkonsistenzen lassen sich gut fördern, ohne daß dabei die gute Durchmischung des Betons mit dem Zusatzmittel in der Düse beeinträchtigt wird.

Zusatzmittel müssen möglichst genau dosiert dem Beton zugegeben werden. Dies sollte auch beim Naßspritzen nicht von der mehr oder weniger großen Geschicklichkeit des Bedienpersonals abhängen. Deshalb gehört zur Naßspritzeinrichtung außer der Betonpumpe und der Spritzdüse eine Dosiereinrichtung. Diese muß einen vorgewählten Anteil an Zusatzmittel abhängig von der augenblicklichen Fördermenge der Betonpumpe mit dem erforderlichen Druck durch die Zerstäuberdüse fördern. Es darf kein Zusatzmittel fließen, wenn kein Beton in der Düse ansteht. Schon bei den ersten Spritzversuchen der Neuzeit im September 1983 wurde bei Schwing die Dosiereinrichtung deswegen in den Hauptölkreislauf der Betonpumpe integriert. Das Hydrauliköl zum Antrieb der Förderkolben wird über den Ölmotor geleitet, der die fördermengeneinstellbare Dosierpumpe treibt. Entsprechend der Förderkolbengeschwindigkeit - von dieser hängt die Fördermenge der Betonpumpe ab - wird die Dosierpumpe angetrieben.

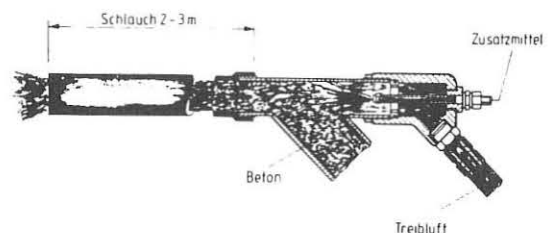


Abb.2. Schematische Darstellung der beschriebenen Turbo-Injektordüse.

Selbst durch schnellsten Schieberschluß lassen sich Unterbrechungen des Betonflusses bei zweiylindrigen Kolbenpumpen nicht vermeiden. In der Umschaltphase des Betonventils und in der Zeit, in der der Förderkolben den Beton im Zylinder zusammendrückt, bis es zur eigentlichen Förderung kommt, fließt an der Düse kein Beton. Während dieser Unterbrechung des Betonflusses wird die Förderung des Zusatzmittels ebenfalls unterbrochen.

Beim Naßspritzen im Dichtstromverfahren ist die Zuleitung zur Spritzdüse voll mit Beton gefüllt. Der Düsenführer hat außer der Spritzdüse einen mit schwerem Beton gefüllten Spritzschlauch zu hantieren. Dieses Gewicht ändert sich nicht mit der Betonfördermenge, d.h. große Spritzleistungen sind auch von Hand möglich. In der Praxis wurden mehr als $12 \text{ m}^3/\text{h}$ bereits händisch gespritzt. Wegen des Gewichtes des gefüllten Spritzschlauches, der Düse mit Armaturen und im Hinblick auf die angestrebten großen Leistungen bietet es sich an, beim Naßspritzen mit Spritzarmen zu arbeiten. Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß eine Spritzleistung von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ mit einer einarmigen Einheit mit nur einer Spritzdüse erreicht werden kann. Dies bedeutet, daß Manipulatoren hinsichtlich Schnelligkeit und Bedienbarkeit diesem Trend angepaßt werden müssen.

Wird eventuell das Naßspritzverfahren deshalb nicht häufiger eingesetzt, weil die kompakte,

mobile, wartungsarme und funktionssichere Anlage aus Betonpumpe mit Dosiereinrichtung und einem schnellen, leicht bedienbaren Spritzarm nicht kostengünstig angeboten wird? Oder braucht die Einföhrung eines neuen Verfahrens trotz großer Vorteile seine Zeit ?

Schließlich sollen noch einmal die bekannten Vorteile dieses Verfahrens zusammengefaßt werden:

- Geringer Rückprall durch nicht vom Fördersystem abhängige Anwurfgeschwindigkeiten
- Geringste Staubentwicklung
- Einhaltung vorgegebener Betonrezepturen, somit Gewährleistung einer hohen Betonqualität
- Große Spritzleistungen
- Geringer Verschleiß
- Kleiner Luftbedarf, deshalb noch wirtschaftlicher

Das Naßspritzen im Dichtstromverfahren steht sicherlich noch am Anfang seiner Entwicklung. Die einzelnen Baugruppen lassen sich verbessern. Ein schneller Durchbruch wird diesem Verfahren gelingen, wenn Betreiber, Zusatzmittelhersteller, Maschinenbauer und Forschung zusammenarbeiten. Diese Tagung muß als ein Schritt in diese Richtung gesehen werden.