

Maschinentechnische Anforderungen an Spritzmaschinen im Dünnstromverfahren

Mechanical Requirements For Concrete Guns For Pneumatically Placed Shotcrete

Dipl.-Ing. Josef Scherer, Aliva AG, Widen, Schweiz

1. Entwicklung/Stand der Technik

1909 wurde die erste Zweikammermaschine patentiert. Einige Jahre später kamen einige Schneckenmaschinen in den Einsatz. Heute hat sich das einfache Konzept der Rotormaschine praktisch weltweit durchgesetzt.

Der heutige technische Stand von Rotormaschinen wird erläutert.

2. Düsentechnik

Ein vermehrtes Augenmerk wird seit kurzer Zeit auf die Hauptstaubquelle Düse geworfen. Durch die Hersteller wurde der Zugabedruck des Wassers immer weiter erhöht, was zu verschleißanfälligen und teuren Trockenspritzdüsen führte. Die 1985 entwickelte MS Düse führt diesen Umständen Rechnung und geht neue Wege.

3. Anwendung TIEFBAU/TUNNELBAU

Die Vielfalt der Tunnelquerschnitte, verschiedene Vortriebsmethoden sowie andere Entscheidungskriterien verlangen für jede Baustelle eine erneute Beurteilung der Spritzmethode.

4. Anwendung Reperatursektor

Bei dieser Anwendung der Trockenspritzmethode werden an die Maschinen teilweise neue Anforderungen gestellt. Im Vordergrund können Minimalleistungen sowie Mobilität der Gesamtinstallation stehen. Die Hersteller nehmen diese Herausforderung des Marktes an.

1. Development/Present State of the Art

In 1909 the first double-barrel machine was patented. A few years later, a number of screw spreading machines were used. Nowadays the simple system of rotor machines is being used practically all over the world.

The present state of development of the rotor machines will be discussed in the paper.

2. Spray Jet Technology

In recent times more and more attention has been paid to the spray nozzle causing most of the dust. The manufacturers have steadily increased the feed-in pressure of the water. The results of this development were quickly wearing and expensive dry spray nozzles. The MS nozzle developed in 1985 considers these conditions and takes a new road.

3. Application for Tunnelling

Because of the various types of cross-sections, the different tunnel driving methods and other decisive criteria, it is necessary to take an individual decision about the most appropriate shotcreting method for each construction site.

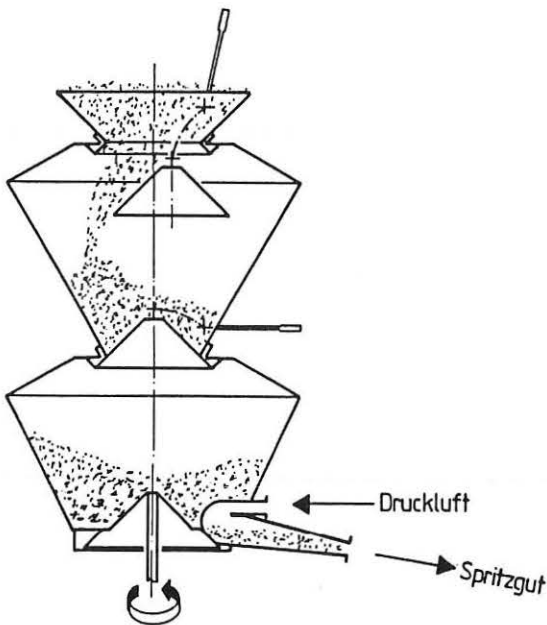
4. Application for Repairs

For this field of application of the dry shotcreting method, partly new requirements have to be met by the equipment. Here the most important criteria may be minimum output and easy mobility of the installation. The manufacturers take this challenge.

1. ENTWICKLUNG/STAND DER TECHNIK

1.1. Entwicklung

1909 wurde die erste Zement-Gun, die nach dem Zweikammer-Prinzip funktionierte, patentiert (Abb. 1).



In der unteren Kammer befindet sich ein Taschenrad, welches das Spritzgut in die Abblas-kammer befördert. Beide Kammern können unabhängig voneinander unter Druckluft gesetzt werden.

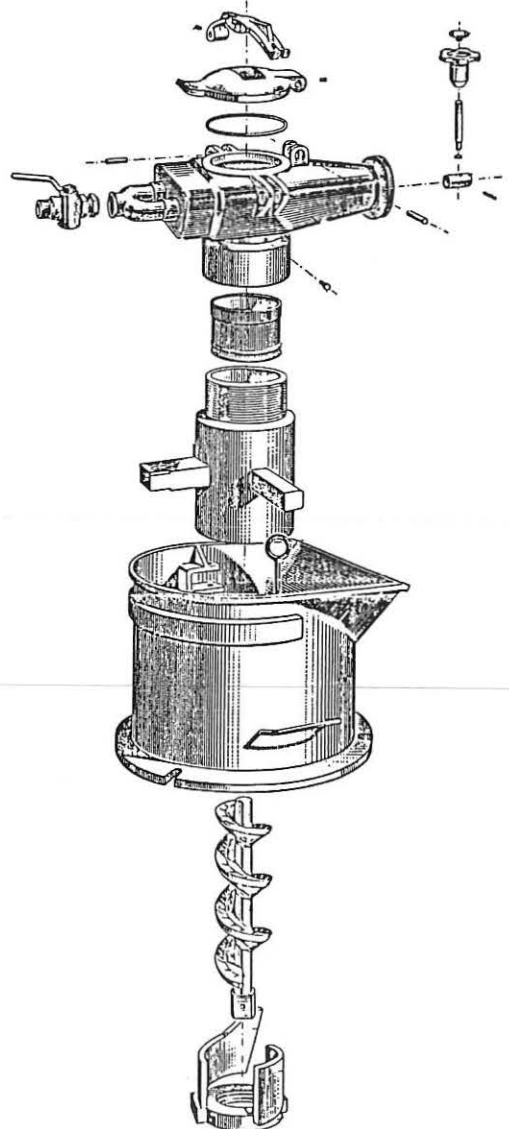


Abb. 1: Zweikammerprinzip

Chargenweise wird die obere Kammer beschickt.

Abb. 2: Schneckenmaschine

Einige Jahre später wurde die erste Zweikammer-Maschine auch in Europa fabriziert. Mit der Maschine konnte ein Maximalkorn von 10 mm verarbeitet werden. Da mit diesen Maschinentypen kein kontinuierliches Fördern möglich war, wurde durch die Industrie nach neuen Möglichkeiten gesucht. 1940 wurde Herr Senn, der spätere Gründer der ALIVA AG, in der Schweiz fündig. Er entwickelte die Schneckenmaschine (Abb. 2).

Das Trockengemisch wird mit einer archimedischen Schnecke in die Förderleitung gehoben. Mit der Schneckenmaschine konnten erdfeuchte Zuschlagstoffe bis zu 30 mm Korngröße kontinuierlich gefördert werden. Da die Verschleißkosten beträchtlich waren, wurde weiter nach neuen Lösungen gesucht.

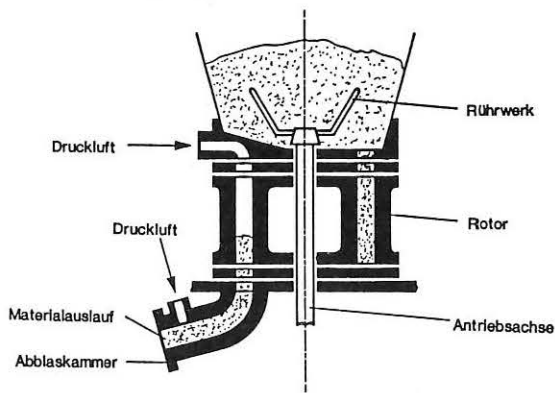


Abb. 3: Schnitt durch Rotorspritzmaschine

Nach dem Zweiten Weltkrieg eroberte dann die Rotor-Maschine (Abb. 3) den Markt.

Durch den offenen Einfülltrichter gelangt das Gemisch durch einen Rotor mit senkrechter Drehachse in die Förderleitung.

Heute sind auf den Baustellen nebst wenigen Zweikammer-Maschinen noch einige Taschenrad- sowie kombinierte Druckkammer-/Taschenrad-Maschinen anzutreffen.

Im Tief- sowie Tunnelbau, wo nur selten dehydriertes Gemisch, sondern meistens erdfeuchtes Trockengemisch zur Anwendung kommt, ist das Taschenrad (Abb. 4) aus folgenden Gründen weniger geeignet:

- Das Gemisch baut in den Taschen auf;
- Der Luftverbrauch für das Ausblasen der Taschen ist hoch;
- Die Reinigung der Taschen ist aufwendig.

Entsprechend hat sich im BAU-Sektor das einfache Konzept des Rotors weltweit durchgesetzt.

Meine weiteren Ausführungen werden sich auf die Rotor-Maschine beschränken (Abb. 5).

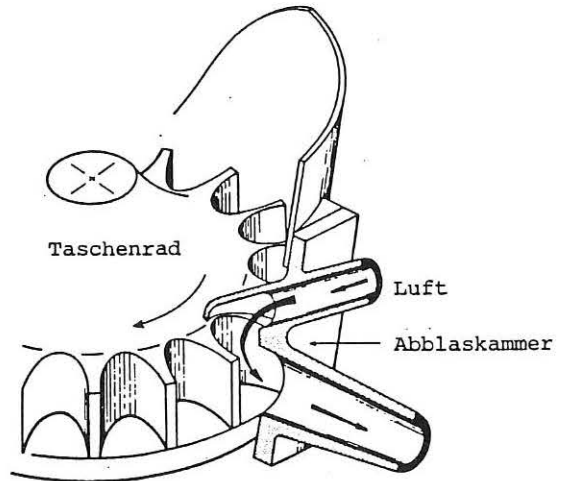


Abb. 4: Taschenrad einer Zweikammermaschine

1.2 Stand der Technik

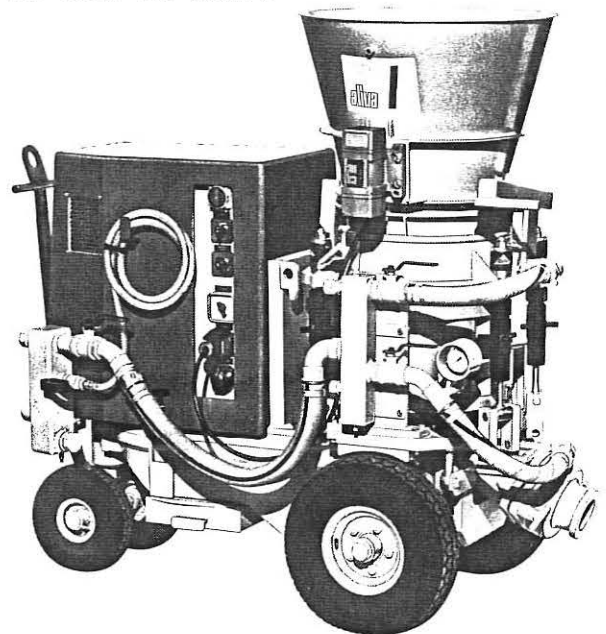


Abb. 5: Moderne Trockenspritzmaschine

1.2.1 Grundelement/Chassis

Das Grundelement muß für die extrem harten Baustellenbedingungen konzipiert sein. Die Übertragung der Antriebskraft erfolgt mittels Keilriemen oder via Reduktionsgetriebe. Maschinen mit Reduktionsgetrieben sind selbstverständlich teurer, jedoch lohnt sich die Investition, da die Wartung praktisch entfällt und der Wirkungsgrad bedeutend höher ist als bei einer Keilriemenübertragung.

1.2.2 Antrieb

Heute sind praktisch sämtliche Rotormaschinen mit elektro- sowie Luft-Antrieb erhältlich. Falls zwei Drehgeschwindigkeiten des Rotors gewünscht werden, bieten die Hersteller entweder 2-stufige Motoren oder umhängbare Keilriemen an.

Die neueste Entwicklung ist der stufenlose Antrieb. Zum Beispiel kann mit der ALIVA-280 UNIVERSAL Trocken- Naßspritzmaschine dank dem stufenlos regulierbaren Hydraulikantrieb die Förderleistung von 3 - 11 m³/h Gemisch variiert werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu wissen, daß alle durch die Fabrikanten angegebenen Leistungen immer theoretische Werte sind, die auf einer hundertprozentigen Füllung des Rotors beruhen. Die Leistungen, welche in der Praxis erreicht werden, liegen entsprechend immer etwas tiefer.

1.2.3 Aufbau

Zu allen modernen Rotormaschinen sind verschiedene Rotoren lieferbar. Variabel sind Rotorinhalt sowie Rotorform. Der Rotorinhalt ist für die theoretische Leistung verantwortlich, während die Rotorform maßgebend den Füllungsgrad beeinflusst (Abb. 6).

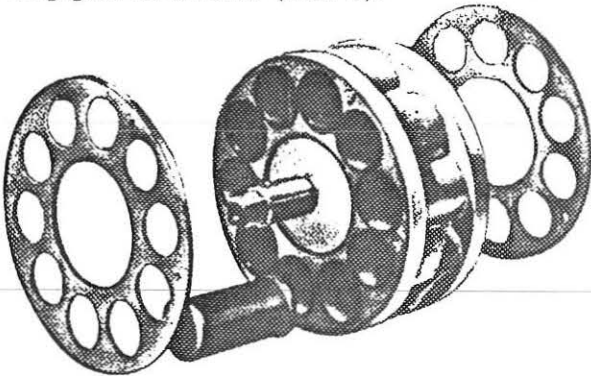


Abb. 6: theoret. Leistung = Rotorinhalt x Upm

Durch die Firma ALIVA wurde weltweit der Schlauchrotor patentiert. Dank den Bewegungen (Atmen) der Schlaucheinsätze sind diese selbstreinigend. Also auch bei Verwendung von pulverförmigen BE-Mitteln und feuchtem Ausgangsgemisch kann sich in den Rotorkammern praktisch nichts ansetzen. Somit werden Ersatzrotoren auf der Baustelle überflüssig. Infolge der massiven Reduktion der Reinigungszeit werden somit pro Arbeitsschicht bis zu 2 Stunden eingespart.

1.2.4 Spannsystem

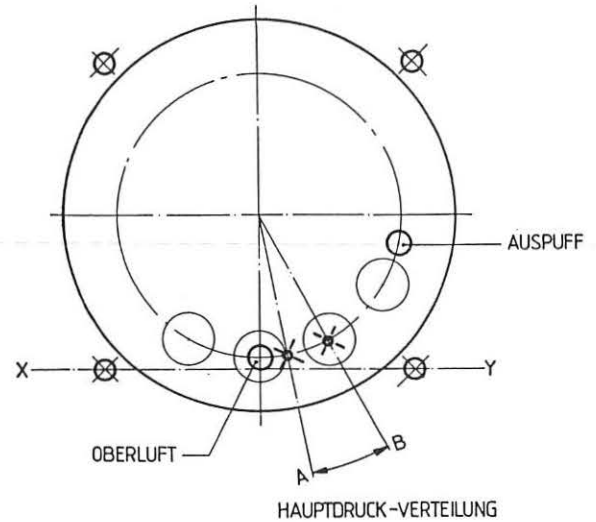


Abb. 7: Druckverteilung auf die Dichtungsplatten

Die gewählte Spannvorrichtung ist maßgeblich für die Verschleißkosten verantwortlich, denn der Druck auf die Dichtungsplatten ist nicht überall gleich groß (Abb. 7). Er ist im Bereich zwischen Abblaskammer und Auspuff am größten und wandert fortwährend, mit der Drehung des Rotors, vor und zurück.

Mit der 4-Punkt-Spannung können diese Druckdifferenzen optimal berücksichtigt werden, indem man jeden Punkt individuell spannen kann. So können kleine Undichtigkeiten während dem Betrieb örtlich korrigiert werden, was bei der 1-Punkt-Spannung unmöglich ist. Diese ist sowohl handlicher und bequemer, aber umso größer ist der Verschleiß an Dichtungsplatten und deren Kosten. Ebenfalls einen wesentlichen Einfluß auf die Verschleißkosten hat das richtige Spannen. Auf dem Markt sind heute Maschinen mit Spannungs-Anzeigern erhältlich.

- Bei zu geringer Spannung entweicht die Druckluft zwischen den Platten. Diese Luft reißt Feinanteile mit, und es entsteht Staub an der Maschine. Durch die Sandstrahlwirkung wird die Dichtungsplatte in kurzer Zeit erodiert und unbrauchbar.

- Beim Überspannen der Platte entsteht zusätzlicher Verschleiß infolge der hohen "Reibwärme".

1.2.5 Luftverteilung

Bei modernen Trockenspritzmaschinen ist die Ober- und Unterluft individuell regulierbar.

Dadurch hat man eine weitere Möglichkeit, feine Korrekturen vorzunehmen, geschaffen. Alle diese Zusatzvariationen helfen, den Staub an der Maschine gering zu halten.

1.2.6 Staubquellen beim Trockenspritzen

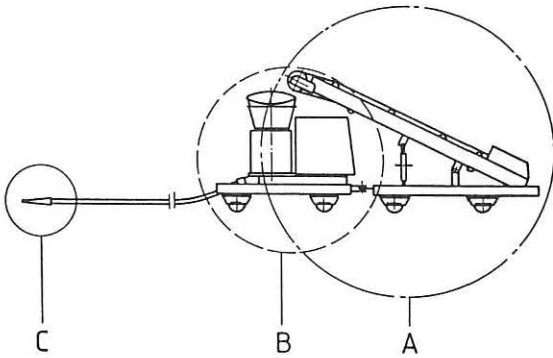


Abb. 8: Staubquellen beim Trockenspritzverfahren

Grundsätzlich kennt man beim Trockenspritzen drei Staubquellen (Abb. 8):

A. Bei der Beschickung der Maschine

Vor allem beim Verwenden von ofengetrocknetem Gemisch ist diese Quelle erheblich. Versuche haben gezeigt, daß beispielsweise dank Vorbenetzung des Gemisches auf eine Eigenfeuchtigkeit von 1 - 3 % (via Durchlaufmischer) gute Ergebnisse erzielt werden.

Im Bergbau, wo teilweise Ansaug- resp. Einblas-Vorrichtungen Verwendung finden, wird diese Quelle praktisch eliminiert.

B. Bei Maschine

Folgende Maßnahmen helfen, die Staubentwicklung minimal zu halten:

- Richtige Einstellung von Ober- und Unterluft;
- Verwendung von geschmierten Dichtungsplatten (Patent angemeldet);

(Im Bergbau werden teilweise Maschinen mit automatischer Plattenschmierung verwendet);

- Verwendung von Staubsack am Auspuff.

C. Bei Düse

Die Haupt-Staubquelle beim Trockenspritzen

ist an der Düse. Der optische Eindruck jedoch täuscht, da die Wolke an der Düse zu einem großen Teil aus Wasserdampf besteht.

2. Düsentechnik

Während Jahren haben sich die technischen Verbesserungen auf die Trockenspritzmaschinen konzentriert, während die Düsentechnik vernachlässigt wurde. Die in etlichen Ländern geforderten verbesserten Arbeitsplatzbedingungen haben nun in den letzten Jahren dazu geführt, daß die Hauptstaubquelle Düse genauer unter die Lupe genommen wurde.

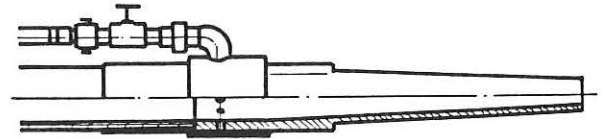


Abb. 9: Trockenspritzdüse

In einer ersten Phase wurde bei der Trockenspritzdüse (Abb. 9) die Benetzung vorverlegt.

Die Feinpartikel im Gemisch haben somit Zeit, sich auf den letzten Metern der Flugförderung mit dem Anmacherwasser zu binden (Abb. 10). Zusätzlich wurde damit bei Zugabe von flüssigen Beschleunigungsmitteln ein besserer Mischeffekt erzielt.

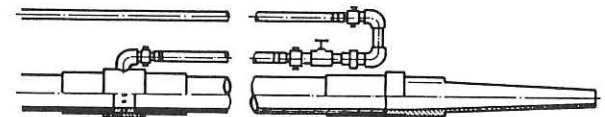


Abb. 10: Halbnäß - Düse

Da das zusätzliche Gewicht des Wasserschlauches bei der Düsenführung von Hand als Erschwernis empfunden wird, werden die Halbnäß-Spritzeinrichtungen vor allem zusammen mit Manipulatoren eingesetzt.

Nebst den konischen Düsen (Abb. 11), die das Spritzgut an der Wand konzentrieren und die Aufprallgeschwindigkeit erhöhen, wurden in den USA sowie in Japan spiralförmige und gerippte Düsen entwickelt. Die Spirale soll ebenfalls den Mischeffekt erhöhen und entsprechend die Staubentwicklung minimieren.

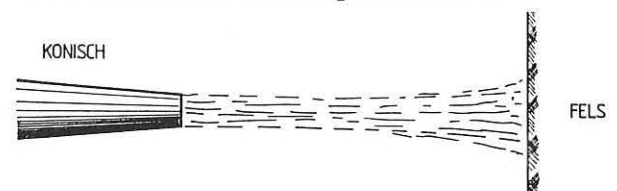


Abb. 11: Spritzbild mit konischer Düse

Nebst all diesen technischen Raffinessen wurde durch die Hersteller der Zugabedruck des Wassers immer erhöht. Der erhöhte Wasserdruck garantiert das Schließen des Wasservorhanges im Wasserring und somit eine vollständige Benetzung des Gemisches. Mit Hilfe von Druckerhöhungspumpen wird der Zugabedruck auf 10, 15, teilweise bis auf 100 bar erhöht. Diese erhöhten Drücke sind einerseits sehr verschleißintensiv (Kavitation) und andererseits verlangen die hohen Drücke kleinere Lochdurchmesser im Wasserring, was wiederum mit Reinigungsproblemen verbunden ist.

Betrachten wir doch an dieser Stelle einmal etwas genauer die hydraulischen Verhältnisse, die in einer herkömmlichen Spritzdüse vorherrschen:

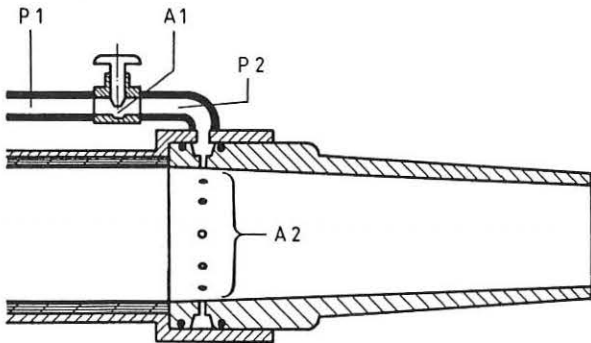


Abb. 12: Schnitt durch Düse

- P_1 : Wasserdruck vor Ventil
- P_2 : Wasserdruck nach Ventil
- A_1 : Durchflußquerschnitt Ventil
- A_2 : Durchflußquerschnitt Wasserring (Löcher)

Die Wassermenge wird mit dem Nadelventil reguliert und via Wasserring erfolgt die Benetzung (Abb. 12).

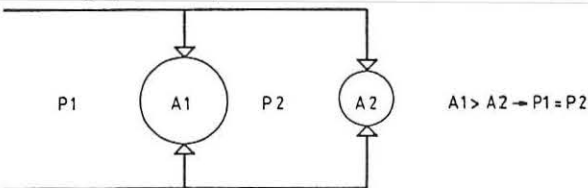


Abb. 13: Wasserdruckverteilung im Düsenbereich

In der Praxis wird jedoch mit verschiedenen Leistungen gefahren. Der Rotor sowie die Drehgeschwindigkeit ist variabel. Je nach Eigenfeuchtigkeit des Gemisches ist mehr oder weniger Anmachwasser an der Düse notwendig. Verarbeiten wir nun beispielsweise ein Gemisch mit hoher Eigenfeuchtigkeit, ist wenig Wasser an der Düse erforderlich (Abb. 13).

Das Nadelventil wird geschlossen und bald wird der kritische Moment erreicht, und es gilt (Abb. 14):

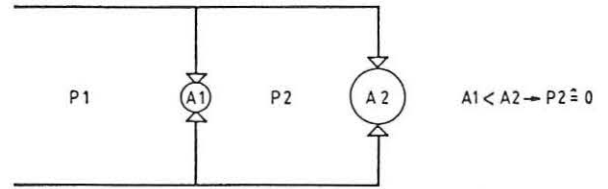


Abb. 14: Wasserdruckverteilung im Düsenbereich

Trotz eines hohen Druckes P_1 vor dem Ventil von 10 und mehr bar fällt der effektive Zugabedruck P_2 zusammen.

Messungen in der Praxis haben gezeigt, daß der Druck weit unter 1 bar zusammenfällt. Dieses hydraulische Grundgesetz wurde in der Düsenteknik bis vor kurzem nicht berücksichtigt. Erst 1985 wurde durch ALIVA SCHWEIZ die MS Düse angemeldet, die als einzige Düse diesem Umstand Rechnung trägt, indem auf das Nadelventil verzichtet wird. Die Wassermenge wird durch Änderung des Querschnittes im Wasserring A_2 reguliert.

Das Phänomenale an der MS Düse ist:

Im Normalfall kann auf teure und störungsanfällige Druckerhöhungspumpen verzichtet werden. Der Netzdruck von 3 - 6 bar genügt vollkommen, um einen geschlossenen Wasservorhang im Wasserring zu bilden, denn der Druckabfall Nadelventil wurde eliminiert.

Die neuartige Düse erfüllt alle Anforderungen, die der Unternehmer an sie stellt:

- Anschaffungskosten sind gering
- Verschleißkosten sind gering
- Benetzung optimal
- Staub minimal
- Reinigung unproblematisch
- Handhabung leicht.

Selbstverständlich genügt eine gute Düse nicht. Ihre Handhabung ist von ausschlaggebender Bedeutung, denn sie beeinflusst die Rückprallmenge sowie die Qualität des Spritzbetons direkt.

Darum gilt: AN DIE DÜSE GEHÖRT DER BESTE MANN!

3. Anwendung Tief- und Tunnelbau

Die Wahl des Spritzverfahrens wird heute vor allem durch die gewünschte Spritzleistung sowie die geforderte Betonqualität bestimmt. Die Vielfalt der Tunnelquerschnitte, die verschiedenen Vortriebsmethoden sowie andere Entscheidungskriterien verlangen für jede Baustelle eine erneute Beurteilung der Spritzmethode. Grundsätzlich stehen zwei Verfahren zur Verfügung:

- a) Dünnstrom (Trocken- und Naßspritzen)
- b) Dickstrom (Naßspritzen).

Je nachdem, ob die Optimierung in der Leistung oder in der Spritzbetonqualität liegt, kommt das eine oder andere Verfahren zur Anwendung.

Bei der Dünnstromförderung werden keine besonderen Anforderungen an das Gemisch (TG oder Beton) gestellt, während beim Pumpen zusätzlich den Anforderungen für Pumpbeton Rechnung getragen werden muß.

Pumpbeton verlangt zum Beispiel einen hohen W/Z-Wert, sowie ein Plastifizierungsmittel. An der Wand hingegen wünschen wir minimale W/Z-Werte und oft ein Beschleunigungsmittel.

Anhand von diesem Beispiel sehen wir:

Das Anforderungspaket an den Beton beim Naßspritzen Dickstromverfahren (Abb. 15) ist bedeutend komplexer als beim Naßspritzen im Dünnstromverfahren (Abb. 16) (ALIVA-280-Konzept).

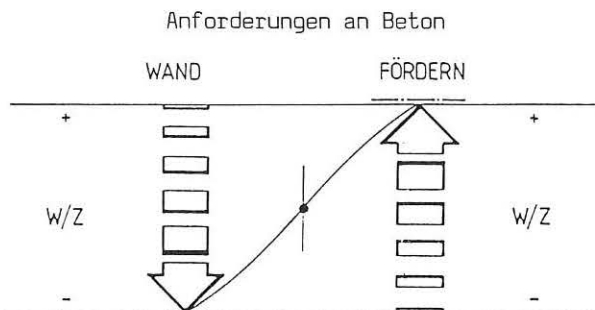


Abb. 15: Dickstrom - Verfahren

Wohl der Hauptvorteil beim Dünnstromverfahren ist die hohe Austrittsgeschwindigkeit des Mischgutes an der Düse. Messungen zeigen, daß die Luftgeschwindigkeit dreimal höher ist als im Dickstromverfahren. Entsprechend steht mehr Verdichtungsenergie zur Verfügung, was die

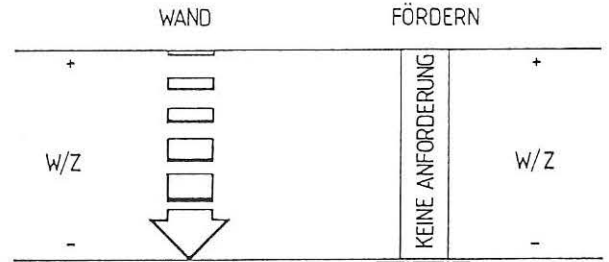


Abb. 16 Dünnstrom - Verfahren

Betonqualität zusätzlich positiv beeinflusst. Auch wird durch das pneumatische Fördern Wasser absorbiert, was zu tiefen W/Z-Werten an der Wand führt. Beim Naßspritzen im Dünnstromverfahren werden im Schnitt mit 350 kg/m^3 Zement 40 kg/mm^2 Festigkeit nach 28 Tagen erreicht.

Diese Universal-Trockennaßspritz-Maschinen sind weltweit auf einigen hundert Baustellen im Einsatz und zeichnen sich dadurch aus, daß im Bereiche von schlechtem Felse innert Minutenschnelle auf Trockenspritzen umgestellt werden kann. Mit den Rotormaschinen werden im Naßspritzverfahren - je nach Baustelle - $7-10 \text{ m}^3/\text{h}$ Leistung erzielt.

Verschleißkosten von Rotormaschinen

Nicht selten werden im Tunnelbau die Verschleißkosten falsch beurteilt. Schon beim Kauf einer Maschine dürfen die Verschleißwerte nie außer acht gelassen werden, sind ihre Auswirkungen auf die Endabrechnung doch bedeutend schwerwiegender als die einmaligen Anschaffungskosten.

Die Verschleißkosten sind abhängig von:

- Rotormaschine (Technik, Spann-System, usw.)
- Qualität Verschleißteile
- Bedienung, Wartung
- Art des Gemisches
- etc.

Werte sind von den Herstellern zwar erhältlich, jedoch im allgemeinen nur mit Vorsicht zu verwenden.

Gültige Werte können nur auf der Baustelle ermittelt werden. 1985 wurden auf einer Tunnel-Baustelle in Österreich zwei Konkurrenzprodukte mit Original-Verschleißteilen unter gleichen Bedingungen getestet.

Die Verschleißkosten pro m³ Durchsatz betragen bei:

Modell A	öS 29,--
Modell B	öS 45,--,

was klar zeigt, daß die Maschine selbst die Verschleißkosten wohl am maßgeblichsten beeinflusst.

4. Anwendung Reparatur-Sektor

Das Instandstellen und Verstärken von Betonbauteilen im Trockenspritzverfahren wurde in den letzten Jahren ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet der Rotor-Maschine.

Neue Anforderungen wie Minimal-Leistung, Mobilität der Gesamtinstallation etc. werden an die Maschinen gestellt. Die Hersteller haben diese Herausforderung angenommen.

Heute sind auf dem Markt Rotormaschinen erhältlich, die auf 150 Liter/Std. Minimalleistung gedrosselt werden können. Damit wurden schon Kanalisationsleitungen von 70 cm Durchmesser inwendig saniert.

Um solche Instandstellungsarbeiten ohne großen Installationsaufwand bewältigen zu können, wurde 1985 eine erste kompakte Reparatureinheit entwickelt.

Die Einheit besteht aus:

einem Kompressor

einer stufenlos regulierbaren Trockenspritzmaschine sowie

einer Druckerhöhungspumpe für das Anmachwasser.

Innert Minuten ist die Einheit installiert, und alle bei einer Instandstellungsarbeit anfallenden Arbeiten, wie Abstemmen mit Hämmern, Sandstrahlen, Reinigen mit Wasser sowie Trockenspritzen können damit ausgeführt werden.