

---

# Praktische Erfahrung mit Naßspritzbeton

## Beton-Gerät-Mensch

---

### PRACTICAL EXPERIENCE WITH REGARD TO WET-MIX SHOTCRETE

CONCRETE - EQUIPMENT - PERSONNEL

#### KARL PRAX

Beton: Das Zuschlagstoff-Größtkorn sollte grundsätzlich 8 mm gewählt werden. Rundkorn hat Vorteile für Betonfestigkeiten, Zementverbrauch, Betonoberfläche und Maschinenverschleiß. Bei Verwendung von gebrochenem Korn (2 bis 8 mm) müssen die einzelnen Korngruppen gewaschen und kubisiert sein. Der Rohstoff des Zement-Klinkers, die Mahlfeinheit, die Zugabe von Gips oder anderen Zumahlstoffen muß nach erfolgter Abstimmung immer gleich bleiben. Die Zugabe von Steinmehl oder Flugasche muß bei der Eignungsprüfung festgelegt werden.

Verflüssiger ist für die Pumpbarkeit des Betones erforderlich. Beim Naßspritzverfahren sind Beschleuniger in flüssiger Form einzusetzen. Es stehen im wesentlichen zwei Erstarrungsbeschleuniger zur Verfügung: alkalifreie und alkaliarme Beschleuniger.

Stabilisatoren dienen zur Verzögerung des Betones bei langen Transportwegen oder Standzeiten.

Der Wasser/Zement-Wert darf 0,5 nicht übersteigen.

Geräte: Es ist sinnvoll, ein mobiles Kompaktgerät mit integrierter Druckluftversorgung sowie einen hydraulisch ausfahrbaren Spritzkorb für den Düsenführer einzusetzen, um nahe an der Betoneinbaustelle zu sein.

Der Mensch: Ein wichtiges Bindeglied zur Erreichung eines Qualitätspritzbetones, für gute Leistung sowie Spritzgenauigkeit und eine saubere Betonoberfläche ist der Düsenführer. Es ist daher unbedingt erforderlich, daß der Düsenführer Grundkenntnisse über Beton sowie Gerätetechnik besitzt.

*Concrete: The maximum grain size of the aggregate should basically be 8 mm. Round grain has advantages in terms of concrete strength, cement consumption, concrete surface as well as the wear and tear of the equipment. If crushed grain (2 to 8 mm) is used the individual fractions must be washed and be formed cubically. The raw material of the cement clinker, its fineness of grinding, the quantities of gypsum and other additions - once finetuned - must not be changed any more. The admixture of stone dust or fly ash must be determined in the course of the qualification test.*

*Plasticizer is needed to increase the concrete's pumpability. If the wet-mix method is applied, liquid accelerators must be used. There are essentially two types of accelerators: alkali-free and low-alkali accelerators.*

*Stabilizers serve for retardation if the concrete is transported over long distances or cannot be placed immediately once arrived at the building site.*

*The water/cement ratio must not exceed 0.5.*

*Equipment: It makes sense to use mobile compact equipment with integrated compressed air system and hydraulically operated basket for the nozzleman to get as close as possible to the point of placement.*

*The human factor: The skill of the nozzleman is essential in achieving top-quality shotcrete, high output, satisfactory nozzle technique and a smooth concrete surface. It is therefore indispensable that the nozzleman has some basic knowledge of shotcrete and the equipment used.*

## 1. Der Baustoff Spritzbeton

Bei Besuchen von verschiedenen Tunnelbaustellen fiel mir auf, daß auf den Baustoff Beton zu wenig Augenmerk gelegt wird. Der wohl wichtigste Faktor eines Naßspritzbetones ist der Zuschlagstoff. Ein Größtkorn von acht Millimeter ist anzustreben. Rundkorn hat gegenüber gebrochenem Korn einige Vorteile, die sich vor allem im Frischbeton (Rückansteifung), auf die Betonoberfläche und den Maschinenverschleiß positiv auswirken, scheitert jedoch sehr oft an den höheren Kosten (Transportkosten). Bei Verwendung von gebrochenem Korn ist eine wesentlich genauere Überprüfung der Zuschlagstoffe erforderlich. Eine visuelle Besichtigung der ankommenden Kiestransporter genügt nicht (Prüfen abschleimbarer Bestandteile). Es ist notwendig den Produktionsbetrieb (Steinbruch) zu besichtigen, denn dort beginnt meistens das Übel. Der Rohstoff muß frei von irgendwelchen Einlagerungen, wie z.B. Mergel sein. Die Kornfraktion 2 - 8 soll gewaschen werden, um eine gleichbleibende Kontinuität des Feinstanteiles zu gewährleisten, die Kornfraktionen sollen kubiziert sein, daß heißt die Kanten werden durch ein spezielles Verfahren in der Brecheranlage gebrochen. Die Vorteile durch das Kubizieren liegen im wesentlich geringerem Materialverschleiß, in besserer Verarbeitbarkeit des Betons sowie der feineren Oberfläche des Spritzbetons.

Eine wesentliche Entscheidung für eine gleichbleibende Spritzbetonqualität liegt bei der Wahl des Zements. Durch eine relativ breite Streuung der Zement-Norm ist es sehr schwierig, den für die Spritzbetonherstellung benötigten Zement zu erhalten. Zum einen ist das Zusammenwirken des Zementes mit dem Beschleuniger ein wichtiger Faktor zum anderen aber auch die Menge des Zementes die pro Kubikmeter Spritzbeton beigegeben werden muß.

Beim Zement ist das Verhalten so ähnlich wie bei den Zuschlagstoffen. Hier ist ebenfalls sehr wichtig, daß der Rohstoff des Klinkers, die Mahlfeinheit, die

Zugabe von Gips/Anhydrit oder anderer Mahlstoffe nach erfolgter Abstimmung im Labor immer gleichbleiben müssen. Für die Zementindustrie war es eine Aufforderung, die Bandbreite für den speziellen Zement für Naßspritzbeton wesentlich einzugrenzen. Mit den heute zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten ist dies kein Problem. Die Zugabe von Steinmehl oder Flugasche muß bei der Eignungsprüfung festgelegt werden. Dies beeinflusst in erster Linie den Zementverbrauch und die Homogenität des Spritzbetones.

Fließmittel ist für die Pumpbarkeit des Betons sowie die Einhaltung des Ausbreitmaßes absolut erforderlich. Die Zugabe von Fließmittel erfolgt im Betonwerk. Es sollten solche Fließmittel ausgewählt werden, die eine lange Konsistenzhaltung gewährleisten.

Beim Naßspritzverfahren müssen Erstarrungsbeschleuniger eingesetzt werden.

Es stehen im wesentlichen zwei Erstarrungsbeschleuniger zur Verfügung, alkalifreier- und alkalihaltiger Beschleuniger. Über das Thema Beschleuniger alkalifrei oder alkalihaltig wird in letzter Zeit viel diskutiert. In den österreichischen Richtlinien wird der Alkaligehalt ausdrücklich als  $NA_2O$  auf maximal 1 Prozent Massenanteil beschränkt.

In Deutschland besagt die Richtlinie, daß der  $NA_2O$ -Anteil 1,5 Prozent Massenanteil betragen kann. Es wäre sicherlich sinnvoll, wenn sich die Normen im europäischen Raum, wie z.B. Österreich, Deutschland und Schweiz auf dieselbe  $NA_2O$  Äquivalente einigen könnten. Mir erscheint, daß die Expertise von Herrn Professor Manns von der FMPA Stuttgart, der die Meinung vertritt im Trinkwasserschutzgebiet A, daß eher selten anzutreffen ist, das gesamt  $NA_2O$  Äquivalent kleiner 1,3 Prozent und im Trinkwasserschutzgebiet B, daß ja sehr häufig anzutreffen ist, das gesamt  $NA_2O$  Äquivalent kleiner als 1,5 Prozent sinnvoll wäre, gelten sollte. Je nach Baustellenstruktur ist die Zugabe eines Verzögerers zum

Spritzbeton, der die Verträglichkeit mit dem Beschleuniger gewährleistet, notwendig. Dies trifft meistens bei langen Transportwegen oder bei langen Standzeiten zu. Der Wasserzementwert darf beim Naßspritzbeton 0,5 nicht übersteigen, das Ausbreitmaß soll sich zwischen 42 und 46 cm konstant halten. Die Spritzbetontemperatur darf an der Einbaustelle +18 °C nicht unterschreiten.

Die Zugabe von Bindemittel (Zement) variiert zwischen 360 - 400 kg m<sup>3</sup> Beton.

Ein wichtiger und ganz entscheidender Faktor für das Naßspritzverfahren ist die Arbeitsplatzhygiene. Die Staubentwicklung, wie sie beim Trockenspritzverfahren üblich ist, wird beim Naßspritzen fast zur Gänze ausgeschaltet.

Die Emissionswerte die als MAK-Werte beurteilt werden, liegen beim Naßspritzen unter den Grenzwerten. Die Gesundheit der Menschen, die vor Ort arbeiten, muß Priorität haben.

## 2. Geräte

Betonanlage: Um eine qualitativ hochwertige und kontinuierliche Spritzbetonherstellung zu garantieren, bedarf es einer modernst ausgerüsteten Betonmischanlage (Bild 1).



Bild 1: Modern ausgerüstete Betonmischanlage

Die Belieferung von Tunnelbaustellen durch örtliche Transportbetonwerke ist in den meisten Fällen sehr problematisch. Die Hauptgründe dafür sind die durchlaufenden Arbeitszeiten der Baustellen, die anspruchsvolle Spritzbetonqualität sowie der Transport durch bewohntes Gebiet. Deshalb tendiert man auf den meisten Tunnelbaustellen zur eigenen Betonanlage.

Eine moderne computergesteuerte Turmanlage (Bild 2) mit genauen Rezepturangaben, Zugabe von verschiedenen Fließmitteln, konstanter Frischbetontemperatur, sowie Gleichmäßigkeit der Konsistenz des Betons ist von großer Wichtigkeit.



Bild 2: Computersteuerung einer Turmanlage

Ein beheizter Zuschlagstoffturm mit einer Kapazität von mindestens 500 m<sup>3</sup> garantiert eine gleichbleibende Kornverteilung sowie eine hundertprozentige Möglichkeit die Eigenfeuchte zu messen und für kalte Jahreszeiten einen nicht gefrorenen Zuschlag zu gewährleisten.

Die Praxis zeigt, daß für das Mischen von Naßspritzbeton ein Doppelwellenmischer von Vorteil ist. Die Mischzeit für eine Charge (2,5 m<sup>3</sup>) beträgt 60 Sekunden. Alle diese Überlegungen sprechen für die Investition einer Turmanlage, die zwar in der Anschaffung teurer ist, auf längere Sicht gesehen jedoch enorme Vorteile hat wie: platzsparend, hohe Leistung, wenig bewegliche Teile und damit weniger Verschleiß und Wartung, kostensparende Einmannbedienung, gut isolierte Bauweise. Weitere Vorteile für den Ganzjahresbetrieb sind geringe Wärmeemission durch weitgehende Einhausung der Wärmequellen und weniger Staubemission durch geschlossene Zuschlaglagerung. Zusammenfassend ist zu sagen, daß der Einsatz einer Turmanlage für eine Großbaustelle von Vorteil ist.

Der Transport des Naßspritzbetons von der Mischanlage bis zur Einbaustelle erfolgt mit normalen Drei- bzw. Vierachs-fahrmischern.

Für das Aufbringen des Naßspritzbetons stehen heute dem Unternehmer Gerätschaften von verschiedenen Anbietern zur Verfügung. Nach meiner Erfahrung ist ein mobiles Kompaktgerät mit integrierter Luftversorgung sowie einem hydraulisch ausfahrbaren Spritzkorb für den Düsenführer sinnvoll. Der hydraulische Spritzkorb hat den Vorteil, daß der Düsenführer aufgrund des geringen Abstandes von der Düse zur Einbaustelle, Spritzschatten und Hohlräume hinter den Einbaubögen oder der Armierung im wesentlichen vermeiden kann. Die Spritzbetonstärke und Profilgenauigkeit können genau eingehalten und kontrolliert und die Spritzbetonoberfläche sauber hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil durch das Kompaktgerät ist die Rüstzeit.

Dazu bedarf es eines Stromanschlusses und einer hydraulischen Kabeltrommel mit ca. 150 m Kabel (Bild 3).



Bild 3: Mobile Naßspritzanlage

Das Anstecken des Stromkabels sowie das Vorfahren und Positionieren des Gerätes benötigt einige Minuten. Die Rüstzeiten in der Kalkulation fallen somit unbedeutend ins Gewicht. Die BE-Mittelzugabe erfolgt in flüssiger Form über ein 1000-Liter Tank (Bild 4) der direkt am Spritzgerät aufgebaut ist sowie mit einer synchron gesteuerten Kolben-Dosierpumpe.



Bild 4: Spritzgerät mit 1000 l BE-Mittel-Tank

Die Betonpumpen selbst sind herkömmliche Typen wie sie auf normalen Autobetonpumpen im Einsatz sind. Die theoretischen Pumpenleistungen werden mit ca. 30 m<sup>3</sup> pro Stunde angegeben. Diese hohen Leistungen sind in der Praxis nicht einzuhalten. Die anzustrebende Spritzbetonleistung liegt zwischen 12 und 15 m<sup>3</sup> Festbeton am Einbauort über Kopf. Jede höhere Einbauleistung ist nicht sinnvoll, denn sie führt dazu, daß die Betonqualität nicht den Anforderungen entspricht, Spritzschatten entstehen, Hohlräume nicht richtig verfüllt werden, die Profilgenauigkeit nicht eingehalten wird und der Rückprall sich in einer Weise erhöht, daß sich die Wirtschaftlichkeit des Naßspritzbetons um ein wesentliches verringert. Der Rückprall im Naßspritzverfahren darf generell 10 Prozent nicht überschreiten.

Der dritte wichtige Faktor im Naßspritzbetonverfahren:

### 3. Der Mensch

Ein wichtiges Bindeglied zur Erreichung eines Qualitäts-spritzbetones, guter Leistungen sowie von Spritzgenauigkeit und einer sauberen Betonoberfläche ist der Mensch (Düsenführer sowie der Pumpenfahrer). Es ist daher unbedingt erforderlich, daß die Düsenführer und Pumpenfahrer Grundkenntnisse über Beton sowie die Gerätetechnik besitzen. Auf der Baustelle sind Schulungen über Beton und Gerätetechnik durchzuführen. Beton-Maschinenisten müssen wissen, was ein W/Z-Faktor, ein Ausbreitmaß, die Zugabe eines Verflüssigers, Frühfestigkeit sowie Endfestigkeit bedeuten. Es darf beim Naßspritzverfahren nicht passieren, daß der Beton etwas angesteift sein, nach seinem Gütanken Wasser in den Mischer gibt. Das ist für den Naßspritzbeton, vor allem für das Aufbringen des Naßspritzbetons, absolut schädlich. Solche Situationen können durch Nachdosieren einer gewissen Menge von Fließmittel geklärt werden. Von der maschinentechnischen Seite ist es für den Düsenführer enorm wichtig zu wissen, daß der Abstand der Spritzdüse zur Einbaustelle nicht größer als 1,5 bis maximal 2,0 Meter betragen darf. Der Düsenstrahl muß immer senkrecht zur Einbaustelle sein. Das Einhalten der eingestellten BE-Menge ist ebenfalls von enormer Wichtigkeit, da bei zu wenig BE-Mittelbeigabe der Beton nicht den gewünschten Erstarrungseffekt erzielt, bei zuviel Dosierung des BE-Mittels die Endfestigkeit bzw. Qualität des Betons nicht erreicht wird.

Beim Zusammenspiel im Naßspritzbetonverfahren zwischen Beton als Baustoff und Gerät spielt der Mensch eine ganz entscheidende Rolle. Dieser kurze Beitrag sollte aufzeigen, was die Erfahrung in den letzten Jahren auf diesem Gebiet gebracht hat. Es sollte aber nicht heißen, daß dies der endgültige Stand der Dinge ist. Hier geht die Bitte an die Universitäten, an die Zuschlagstoffhersteller, an die Zementhersteller sowie an die Chemiehersteller, weiterhin an diesem Thema zu arbeiten und die ausführenden Firmen vor Ort zu unterstützen.

### 4. Allgemeines

#### 4.1 Anwendungsbereiche Naßspritzbeton

In vergangener Zeit wurde davon ausgegangen, daß das Naßspritzverfahren nur auf Großbaustellen, bei großen Querschnitten und langen Tun-

nels sinnvoll eingesetzt werden kann. Diese Einstellung ist nach meiner Auffassung nicht relevant. Der Naßspritzbeton kann heute durch die Zugabe von chemischen Produkten wie Verzögerer oder Superverflüssiger ohne weiteres, auch bei kleinen Mengen, durch fixe Rohrleitungen bis zu 300 Meter gepumpt werden.

Eine spezielle Betonpumpe ist dazu nicht erforderlich. Als Spritzroboter kann ebenfalls ein mobiles Minibaggergerät eingesetzt werden. In Zukunft sollte daher aus arbeitsplatzhygienischen Gründen versucht werden, auch kleinere Projekte mit dem Naßspritzverfahren auszuführen.

### 5. Kostenanalyse

Es werden vielfach Kostenanalysen bzw. Vergleichsrechnungen zwischen Naßspritzverfahren und dem Trockenspritzverfahren angestellt. Das Ergebnis ist meist so, daß das Naßspritzverfahren zu teuer ist. Es ist in beiden Fällen wichtig, daß sämtliche Kompo-

nenten gegenübergestellt werden. Dabei stelle ich immer wieder fest, daß beim Trockenspritzen sehr kostenentscheidende Faktoren bewußt vergessen werden. Einige dieser Faktoren sind die Energie und Luft, weitere Faktoren sind der Lohn (Stunden) für Rüstzeiten und der Rückprall (bis 35 Prozent). Wenn diese Randbedingungen genau aufgezeichnet werden, bin ich überzeugt, daß das Naßspritzverfahren wegen der besseren Qualität, Wirtschaftlichkeit und Arbeitsplatzhygiene dem Trockenspritzen vorzuziehen ist. Ein tabellarischer Vergleich soll dies verdeutlichen:

#### Spritzverfahren

Naßspritzbeton:

#### Unterschiede

Fertigprodukt - einbringen durch Düsenführer

**Vorteil:** gleichbleibende Qualität (Festigkeiten)

Trockenspritzbeton:

Trockengemisch - Düsenführer ist der Mischmeister

**Nachteil:** schwankende Qualität