

Naßspritzverfahren im Dichtstrom – Betontechnische Einflußgrößen

Ing. Dieter GÖHRE
Philipp Holzmann Aktiengesellschaft, Zentrales Baustofflabor,
Neu-Isenburg/Bundesrepublik Deutschland

1. EINFÜHRUNG

Auf zwei Tunnelbaulosen der Neubaustrecke der Bundesbahn, zwischen Würzburg und Hannover, sind 160.000 m³ Spritzbeton herzustellen. Das eine Tunnellos liegt bei Fulda und betrifft den Dietershantunnel. Der andere Tunnel, der Rauhebergtunnel, liegt in der Nähe von Kassel. Die Länge jedes Tunnels beträgt ungefähr 7 - 8 km. Beide Tunnel werden nach der "Neuen Österreichischen Tunnelbauweise" aufgeföhren.

Die großen Spritzbetonmengen, die günstigen Tunnelquerschnitte, die geringe Staubbela-stung und nicht zuletzt wirtschaftliche Gründe führten dazu, das Trockenspritzverfahren durch das Naßspritzverfahren abzulösen.

In diesem Beitrag wird über betontechnologische Probleme bei der Anwendung des Naßspritzverfahrens im Dichtstrom mit Förderung durch Doppelkolbenpumpen berichtet.

Die gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse wurden im Rahmen folgender Tätigkeiten gewonnen:

- Vorversuche im Zentralen Baustofflabor der Philipp Holzmann AG in Frankfurt
- Versuche und Eignungsprüfungen auf den Baustellen
- Beobachtungen beim Vortrieb im Tunnel Dietershan seit August 1984

2. AUSGANGSMISCHUNG

2.1 Erforderliche Druckfestigkeit

Es ist ein Spritzbeton nach DIN 18 551 der Festigkeitsklasse B 25 gefordert.

Bei der Eignungsprüfung ist für einen B 25 eine Festigkeit von mindestens 35 N/mm² anzustreben.

Aufgrund der Erfahrungen mit Beschleunigern, sowohl beim Trockenspritz- als auch beim Naßspritzverfahren, muß die Festigkeit der Ausgangsmischung nochmals um ca. 35 % erhöht werden, so daß bei der Eignungsprüfung für die Ausgangsmischung eine Festigkeit von mindestens 47 N/mm² anzustreben ist.

2.2 Zuschlag

Es können normale Betonzuschläge bis 8 bzw. 12 mm Größtkorn verwendet werden. Der Anteil

des Sandes <0,125 sollte nicht unter 3 % liegen. Auf der einen Baustelle wird ein Basaltsplit 2 - 12 mm verwendet, der ca. 25 % formungünstige Körner enthält.

Der Kornaufbau, der für die beiden Baustellen gewählt wurde, ist in Abbildung 1 dargestellt:

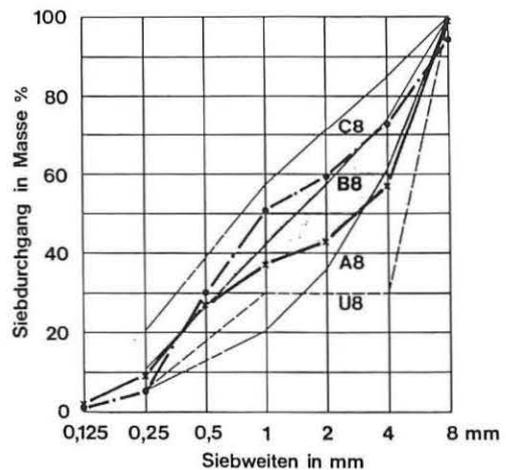


Abb.1. Sieblinien der Zuschläge.

—•— Dietershan
—x— Rauheberg

2.3 Zement

Wegen der hohen Festigkeit der Ausgangsmischung ist als Zement ein Z 45 erforderlich. Zemente mit hoher Mahlfeinheit und einer hohen Frühfestigkeit sind von Vorteil. Der geforderte W/Z-Wert von etwa 0,55 bedingt einen Zementgehalt von mindestens 400 kg/m³.

2.4 Konsistenz, Verarbeitbarkeit

Der Beton muß so gut zu verarbeiten sein, daß der Förderzylinder möglichst vollständig gefüllt wird. In der Regel ist dazu ein Ausbreitmaß von mehr als 42 cm erforderlich.

Der Durchmesser des Förderzylinders von 150 bis 125 mm reduziert sich über eine Länge von 3,8 bzw. 1 m auf einen Schlauchdurchmesser von 65 bzw. 50 mm. Dazu muß der Beton extrem verformungswillig sein.

Die Praxis hat gezeigt, daß die Stopfergefahr sehr gering ist. Bei guter Wartung des Gerätes ist mit 1 - 2 Stopfern pro Dekade - meist an der Düse auftretend - zu rechnen.

2.5 Zusatzmittel

Die Transportwege des Betons liegen zwischen 2 und 13 km. Der Transport erfolgt mit Transportbetonmischfahrzeugen. Beim Entleeren des Betons in die Betonpumpe ist der Beton bis zu 60 Minuten alt.

Der Beton hat zum Zeitpunkt der Anlieferung an die Pumpe ein Ausbreitmaß von 36 - 40 cm. Durch die Zugabe eines Fließmittels wird er auf ein Ausbreitmaß von 45 - 50 cm gebracht. Damit kann der Förderzylinder gut gefüllt werden und dem Ansteifen während des Entleerens wird Rechnung getragen.

Als Fließmittel haben sich Produkte auf Basis von Naphthalin-Melaminharz bewährt.

3. ERSTARRUNGSBESCHLEUNIGER BE

3.1 Anforderungen an den Beschleuniger

Die Aufgabe des Beschleunigers besteht beim Naßspritzen im Dichtstrom darin, zunächst den flüssigen bis weichen Beton so anzusteifen, daß er kontinuierlich aufgespritzt werden kann. Die großen Betonmengen, die bei Kolbenpumpen gefördert werden, erfordern einen dickschichtigen Spritzbetonauftrag. Das heißt, der Beton muß so ansteifen bzw. eine so hohe Klebrigkeit aufweisen, daß er in dicker Schicht auch beim Überkopfspritzen sicher hält.

Dieses sekundenschnelle Ansteifen konnte bis jetzt nur zuverlässig mit einem neutralen Natronwasserglas zielsicher erreicht werden.

In der letzten Zeit haben Versuche unter baustellenähnlichen Bedingungen gezeigt, daß mit einem Beschleuniger auf Aluminatbasis hinsichtlich des Ansteifens ähnliche Ergebnisse wie mit Wasserglas erzielbar sind. Die Festigkeitsentwicklung und auch der Festigkeitsunterschied zum Nullversuch sind jedoch günstiger als beim Wasserglas. Dieser Beschleuniger wird in der nächsten Zeit unter Baustellenbedingungen weiter geprüft.

3.2 Durchgeführte Versuche

In umfangreichen Laboruntersuchungen wurden am Mörtel bis 2 mm Größtkorn und am Spritzmörtel bis 4 mm Größtkorn die verschiedensten Einflüsse der Beschleuniger geprüft. Für die Spritzmörtelversuche wurde eine Schneckenpumpe verwendet.

Im Folgenden sind einige wichtige Einflüsse von Versuchen mit neutralem Natronwasserglas dargestellt.

3.2.1 Einfluß der Dosiermenge von Wasserglas

Wie aus den Versuchen hervorgeht, beträgt die 28-Tage-Festigkeit des Mörtels mit Wasserglas etwa zwei Drittel der Festigkeit des Mörtels ohne Wasserglas. Der Einfluß einer unterschiedlichen Wasserglasdosierung ist relativ gering (Abb. 2). Eine günstige Dosierung liegt bei 10 bis 15 % vor.

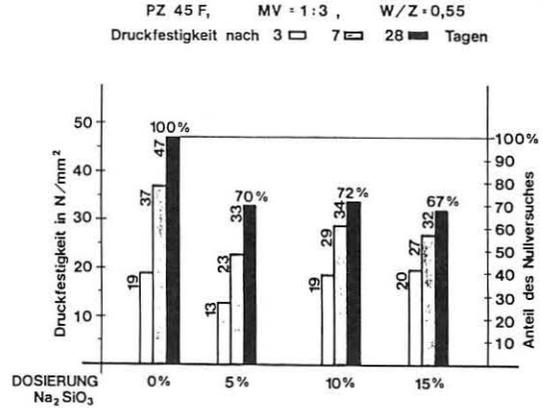


Abb. 2. Einfluß der Dosiermenge von Natronwasserglas auf die Druckfestigkeit.

3.2.2 Einfluß des W/Z-Wertes bei Zusatz von Wasserglas

Die Mörtel ohne Wasserglas zeigen den üblichen Einfluß des W/Z-Wertes auf die Druckfestigkeit.

Bei den Mörteln mit 15 % Wasserglas ist der Einfluß unterschiedlicher W/Z-Werte auf die Festigkeit geringer.

Weiter ist festzustellen, daß mit zunehmendem W/Z-Wert der Festigkeitsunterschied zum zugehörigen Mörtel ohne Wasserglas kleiner wird. Das heißt, je niedriger der W/Z-Wert, desto größer ist die Festigkeitsminderung durch das Wasserglas.

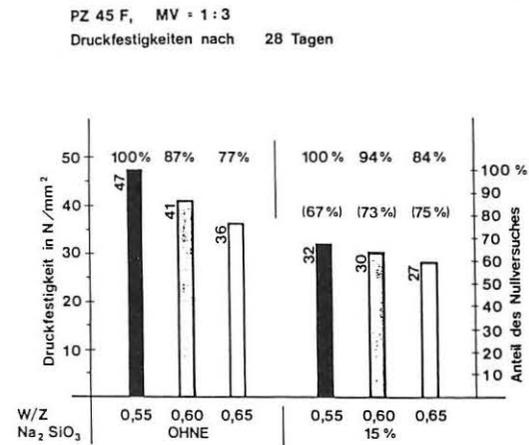


Abb. 3. Einfluß des W/Z-Wertes auf die Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Wasserglasgehalt.

3.2.3 Einfluß verschiedener Zemente auf die Druckfestigkeit

Portlandzemente 45 F verschiedener Hersteller reagieren mit Wasserglas sehr unterschiedlich. Eine Eignungsprüfung ist aus diesem Grunde unerlässlich.

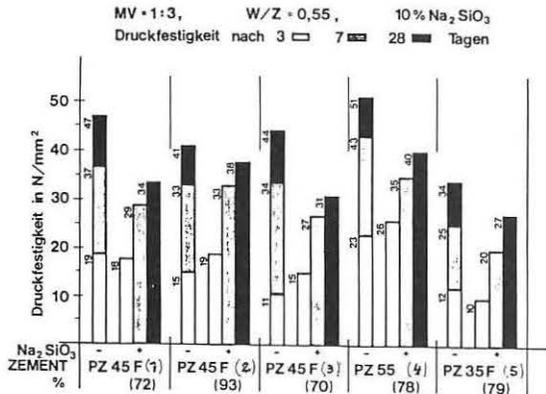


Abb.4. Einfluß der verschiedenen Zemente auf die Druckfestigkeit.

Feiner gemahlene und schnell erhärtende Zemente (Zement 2 und 4) wirken sich sowohl bei der Frühfestigkeitsentwicklung als auch beim Festigkeitsunterschied gegenüber dem Nullbeton günstiger aus.

3.3 Temperaturmessungen im Tunnel

Aufgrund der stürmischen Reaktion des Wasser-glasses mit dem Zement des Spritzbetons tritt eine beachtliche Entwicklung von Hydrationswärme auf.

Die Abbildung 5 zeigt den Temperaturverlauf von Naßspritzbeton mit ca. 15 % Wasserglas und von Trockenspritzbeton mit ca. 5 % pulverförmigem Natriumaluminat als Beschleuniger. Dieser doch sehr deutliche Temperaturunterschied ist sicher auch für die Festigkeitsunterschiede gegenüber dem Beton ohne Zusatzmittel verantwortlich.

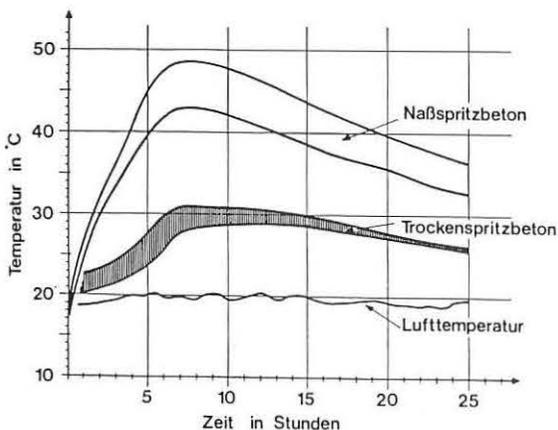


Abb.5. Temperaturentwicklung von Spritzbeton bei einer Bauteildicke von 25 - 30 cm.

4. SPRITZGUTAUFTRAG

An der Spritzdüse werden der Beschleuniger und die Luft, die zum Transport von der Düse zur Auftragsfläche benötigt wird, zugegeben.

In der Praxis werden etwa 5 m³ Luft pro Minute benötigt gegenüber 12 - 14 m³ Luft pro Minute beim Trockenspritzen. Die Düse kann von Hand - bei einer 50 mm Schlauchleitung und bei einem Hydraulikdruck am Förderzylinder bis zu 50 bar - geführt werden.

Bei der großen Förderleistung der Doppelkolbenpumpen, bis ca. 20 m³/h, ist ein automatisch gesteuerter Spritzarm unbedingt erforderlich. Der Förderdruck liegt dabei bei 100 - 120 bar. Es werden Förderschläuche mit einem Durchmesser bis 65 mm verwendet.

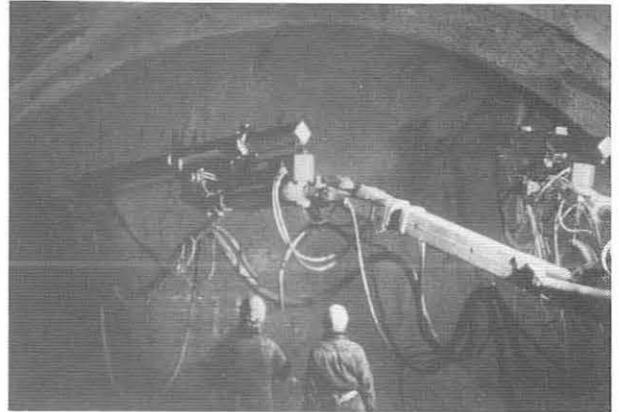


Abb.6. Automatisch gesteuerter Spritzarm.

Aufgrund der großen Spritzbetonmengen und der zur Zeit verwendeten Manipulatoren muß der Spritzbeton dickschichtig aufgetragen werden und schnell ansteifen bzw. erstarren. Der Düsenabstand sollte zwischen 50 und 100 cm liegen. Die Spritzrichtung sollte möglichst senkrecht zur Auftragsfläche sein.



Abb.7. Optimale Düsenführung mit einem Düsenabstand von 50 - 100 cm.

Der Ausgangsbeton darf nicht zu steif sein, da sich sonst der Beschleuniger nicht gleichmäßig verteilt. Ferner kann der Beton auf dem Wege von der Düse zur Auftragsfläche teilweise ansteifen, so daß sich der Spritzbeton nicht mehr ausreichend verdichtet. Die Folge davon sind Nester, Spritzschatten, erhöhter Rückprall und ungleichmäßige Spritzflächen.

Der wirksame Zusatzmittelgehalt sowie der Rückprall werden von der Art der Düsenführung stark beeinflusst. Bei großer Luftmenge und großem Düsenabstand wird ein hoher Anteil an Zusatzmittel vernebelt und nicht wirksam.



Abb. 8. Schlechte Düsenführung mit zu großem Düsenabstand und zu großer Luftmenge.

Gegenüber dem Trockenspritzverfahren konnte der Rückprall um ca. $1/4$ bis $1/3$, das heißt von etwa 35 % auf 25 % reduziert werden.

Die Einbauzeit des Spritzbetons konnte durch das gewählte Naßspritzverfahren bei einem Abschlag von 2 m von $2\ 1/2$ Stunden auf 30 - 40 Minuten verkürzt werden.

5. PRÜFERGEBNISSE

Im Rahmen der Eigenüberwachung wurden aus dem Bauwerk wie beim Trockenspritzbeton Bohrkerne von 10 cm Durchmesser entnommen. Diese wurden nach DIN 1048 geprüft und ausgewertet.

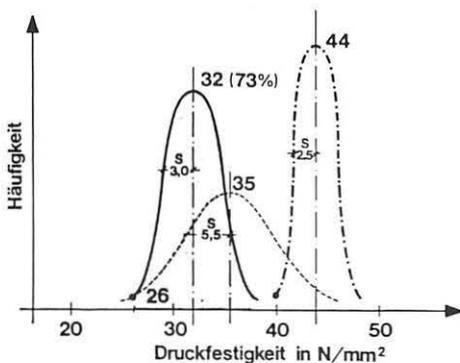


Abb. 9. Auswertung der Prüfergebnisse.
 — Naßspritzbeton - - - Ausgangsmischung
 ····· Trockenspritzbeton

Ferner wurden aus der Ausgangsmischung Würfel mit 15 cm Kantenlänge hergestellt und nach labormäßiger Lagerung geprüft.

Wie aus Abbildung 9 zu erkennen ist, wurde bei der Ausgangsmischung ein Mittelwert von 44 N/mm^2 und eine Standardabweichung von $s = 2,5\text{ N/mm}^2$ festgestellt, ein für Beton in dieser Festigkeitsklasse üblicher Wert.

An den Bohrkerne des Naßspritzbetons wurde ein Mittelwert von 32 N/mm^2 , d.h. 73 % der Ausgangsmischung, festgestellt. Die Standardabweichung lag mit $s = 3\text{ N/mm}^2$ auch im Bereich für Normalbeton. Die Bohrkerneergebnisse des Trockenspritzbetons mit Beschleuniger hatten einen Mittelwert von 35 N/mm^2 . Die Standardabweichung betrug $5,5\text{ N/mm}^2$. Sie ist damit etwa doppelt so hoch wie bei Normalbeton.

Die 5 %-Grenze der Druckfestigkeit ist beim Naß- und beim Trockenspritzbeton mit 26 N/mm^2 gleich groß.

6. SCHLUSSBEMERKUNG

Wie man den Ausführungen entnehmen kann, ist es möglich, einen Naßspritzbeton im Dichtstromverfahren der Festigkeitsklasse B 25 zielsicher herzustellen. Die Streuung der Festigkeit ist dabei wesentlich niedriger als beim Trockenspritzbeton mit pulverförmigen Beschleunigern.

Die Einflüsse der Beschleuniger müssen noch genauer untersucht werden. Beschleuniger mit einem zielsicheren Ansteifeffekt und einer mäßigen Beschleunigung des Erhärtens würden das Naßspritzverfahren im Dichtstrom einen guten Schritt weiterbringen.

Die Dosiereinrichtungen müssen weiter entwickelt und besser auf die einzelnen Beschleunigertypen abgestimmt werden.

Die Betonpumpen sollten steifere Betone gleichmäßiger fördern können. Dadurch ließe sich vermeiden, daß der Beton aus Fördergründen zunächst weich eingestellt und dann durch ein Zusatzmittel wieder übermäßig versteift werden muß.

Wenn die zuvor genannten Verbesserungen umgesetzt sind, ist es sicher möglich, einen Naßspritzbeton im Dichtstromverfahren noch zielsicherer und vor allem mit niedrigerem Vorhaltemaß herzustellen.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird auf die betontechnologischen Einflußgrößen beim Naßspritzen im Dichtstrom mit Förderung durch Doppelkolbenpumpen eingegangen.

Es ist dies die Ausgangsmischung, wobei der Einfluß des Beschleunigers auf die Festigkeit zu berücksichtigen ist. Die Konsistenz und die Verformbarkeit des Betons soll für die gewählte Pumpenförderung eingestellt werden. Als nächste Einflußgröße wird die Auswahl des Beschleunigers angesehen. Die Art des Beschleunigers muß mit dem Zement abgestimmt werden. Eine sehr wesentliche Einflußgröße ist der Spritzgutaufrag. Hier sind die Konstruktion der Düse, die Luftmenge und vor allem die Auftragsart des Spritzbetons wesentlich. Wie aus den Prüfergebnissen hervorgeht, ist die Streuung beim Naßspritzbeton, verglichen mit dem Trockenspritzbeton mit pulverförmigen Beschleunigern, wesentlich niedriger.