

---

# Neue Entwicklungen im Bereich Spritz-Bindemittel

---

## NEW DEVELOPEMENTS CONCERNING SPRAY CEMENT

THOMAS DEUSE

Spritz-Bindemittel bestimmen in den letzten Jahren zunehmend die Technologie des Trockenspritzbetons. Es wurde ein neues Spritz-Bindemittel entwickelt, das die Verarbeitungssicherheit in bestehenden Techniken erhöht und Möglichkeiten mit erdfeuchten Zuschlägen als Lieferbeton eröffnet.

Langjährige Baustellenpraxis können Spritz-Bindemittel im Werk trockenmörtel mit ofentrockenen Zuschlagstoffen nachweisen. Die systembedingten hohen Rückprall- und Staubwerte werden durch speziell rezeptierte Spritz-Bindemittel und neu entwickelte Vorbefeuchtungstechniken deutlich reduziert.

Erdfeuchte Zuschlagstoffe lassen sich mit herkömmlichen Spritz-Bindemitteln nur unmittelbar in Verbindung mit speziellen Verfahrenstechniken verarbeiten. Kontaktzeiten und Zuschlagfeuchte sind dabei die entscheidenden Parameter.

Erdfeuchte Zuschläge und Spritz-Bindemittel als Lieferbeton war bislang nicht möglich. Die vorgestellten Entwicklungen bieten hier neue Ansätze.

*Spray cements are having a big influence on the dry-shotcrete-method in the last years. A new spray cement was developed, which can be used to improve the properties of common procedures and opens new opportunities for spray cement with natural moist aggregates delivered from ready mix plants.*

*Years of experience exist with spray cements and oven-dry aggregates in factory-produced shotcrete. The high amounts of dust and rebound can be reduced by special spray cements in combination with new pre-wetting systems.*

*Natural moist aggregates and common spray cements must be applicated immediately after mixing. Contact period and moisture content are the main parameters.*

*Shotcrete with natural moist aggregates and spray cement delivered from a ready mix plant was not possible up till now. The presented developments open new opportunities.*

An Spritzbeton als Baustoff zur Vortriebssicherung werden hohe Anforderungen gestellt. Unabdingbar für das rasche Auftragen größerer Schichtdicken ist das schnelle Erstarren. Wichtig für die Vortriebsgeschwindigkeit ist eine hohe Frühfestigkeit. Unverzichtbar für die Sicherheit des gesamten Ausbaus ist eine gute Endfestigkeit. Neben diesen komplexen baustofftechnischen Anforderungen soll sich der Spritzbeton selbstverständlich auch noch staub- und rückprallarm umweltverträglich verarbeiten lassen.

## 1. Spritz-Bindemittel (SBM)

Spritz-Bindemittel ermöglichen die Herstellung von Trockenspritzbeton mit definierten Anforderungen ohne Beigabe eines Erstarrungsbeschleunigers. Spritz-Bindemittel reagieren bei Kontakt mit Wasser sehr schnell. Ein konventionelles Mischen mit feuchten Zuschlägen ist daher nicht möglich.

Aufgrund ihrer Reaktionsgeschwindigkeit wird zwischen zwei Spritz-Bindemitteln unterschieden:

- Spritz-Bindemittel SBM-T:

Dieses Spritz-Bindemittel hat eine Reaktionszeit von unter 1 Minute und ist daher nur verwendbar zur Herstellung von Spritzbeton mit trockenen Zuschlägen (Wassergehalt  $W \leq 0,2$  M.-% bzw. nach Angabe des Herstellers) Die Lagerung des Mischgutes im Silo (Behälter) ist über längere Zeit möglich.

- Spritz-Bindemittel SBM-FT:

Dieses SBM hat eine zulässige Verarbeitungszeit von wenigen Minuten. Daher ist es auch zur Herstellung von Spritzbeton mit feuchten Zuschlägen (Wassergehalt  $W$  in der Regel 2,0 M.-% bis 4,0 M.-%) verwendbar.

Bei Verwendung von feuchten Zuschlägen erfordert die begrenzte Verarbeitungszeit eine abgestimmte Verfahrenstechnik. Das SBM-FT wird mit dem feuchten Zuschlag unmittelbar vor Ort in einer geeigneten Anlage gemischt und sofort verarbeitet. [1]

Die Spritz-Bindemittel SBM-T und -FT haben entsprechend der vorgenannten Definition unterschiedliche Einsatzgebiete. SBM-T findet man hauptsächlich in werkgemischtem Trockenmörtel und SBM-FT in speziellen Verfahren in Verbindung mit erdfeuchten Zuschlagstoffen. Der Einsatz von SBM-T in Verbindung mit erdfeuchten Zuschlägen scheidet aufgrund der Vorreaktion mit den erdfeuchten Zuschlägen im allgemeinen aus. SBM-FT dagegen wird auch in werkgemischtem Trockenspritzbeton, z.B. mit Vorbefeuchtung, eingesetzt. Dabei sind allerdings die Zeiten von der ersten Benetzung bis zum Auftreffen auf der Bearbei-

tungsfläche gegenüber dem 2-Kammer-Verfahren stark verkürzt. Bei letzterem sind für Dosierung, Mischen, Aufgabe und Einschleusung in der Trockenspritzmaschine 30 bis 60 Sekunden anzusetzen. Je nach Einstellung der Reaktionszeit verbleiben anschließend noch einmal 30 bis 60 Sekunden bis zum Erstarrungsbeginn. In werkgemischtem Trockenspritzbeton wird im allgemeinen nach dem Fördergerät bzw. je nach Förderstrecke ca. 40 - 60 m vor der Spritzdüse vorbeefeuchtet. Das heißt, das Auftreffen auf der Bearbeitungsfläche findet bei einer Fördergeschwindigkeit von 20 - 40 m/sec etwa 2 - 3 Sekunden nach der Vorbefeuchtung statt. Im Falle eines reaktionszeitgesteuerten Bindemittels mit der üblichen Einstellung auf 90 bis 100 Sekunden verbleibt noch eine relativ lange Zeit bis zum Erstarrungsbeginn. Dies kann im Falle von Wasserandrang bzw. beim Auftragen großer Schichtdicken über Kopf von Nachteil sein.

Beim Einsatz von SBM-FT im dafür vorgesehenen 2-Kammer-Verfahren stellen Zuschlagfeuchte und eine ggfs. über die eingestellte Reaktionszeit hinausgehende Kontaktzeit mit dem erdfeuchten Zuschlag erhöhte Anforderungen.

Die in den vergangenen Jahrzehnten neben dem Naßspritzverfahren angewandte Trockenspritzbetontechnik der Anlieferung eines begrenzt lagerfähigen Bereitstellungsgemischs aus Zement und erdfeuchten Zuschlägen aus einem stationären Mischwerk war aufgrund der hohen Feuchtigkeitsempfindlichkeit von SBM-T und SBM-FT bislang überhaupt nicht möglich.

## 2. Neues Spritz-Bindemittel

Ziel der Entwicklung war, ein universell in allen gängigen Trockenspritzverfahren einsetzbares Spritz-Bindemittel herzustellen. Dabei war das Bindemittel so zu modifizieren, daß es den Einfluß der Zuschlagfeuchte oder auch einer Vorbefeuchtung unbeschadet übersteht, im Moment des Spritzens aber seine Eigenschaften voll entfaltet. Dieses Problem konnte durch zusätzliche Verfahrensschritte bei der Herstellung gelöst werden. Es entstand ein Spezialbindemittel, das sich gezielt auf die vorgenannten Anforderungen einstellen läßt.

Es wurde ein neues Spritz-Bindemittel entwickelt, das relativ unempfindlich gegenüber Feuchtigkeitseinwirkung vor dem eigentlichen Spritzvorgang ist. Es ist im Falle werkgemischten Trockenspritzbetons ohne Einschränkungen vorbeefeuchtbare und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Staubreduzierung an der Düse. In baustellengemischtem Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen

zeichnet sich das neue Spritz-Bindemittel durch deutlich verlängerte Kontaktzeit und Unempfindlichkeit gegenüber höherer Zuschlagfeuchte aus.

Neu ist die Möglichkeit, mit einem Spritz-Bindemittel Trockenspritzbeton konventioneller Prägung mit erdfeuchten Zuschlägen im Transportbetonwerk zu produzieren und mittels LKW zur Einbaustelle zu transportieren [2].

### 3. Werkgemischter Trockenspritzbeton mit trockenen Zuschlägen

Im Laufe der letzten Jahre wurde im Tunnelbau für die Verarbeitung ofentrockener Baustoffe das Druckkesselsystem häufig eingesetzt. Diese Maschinenteknik arbeitet staubfrei bei der Übergabe vom Silo zur Fördereinrichtung und kann nach dem neuesten Stand der Entwicklung mit speziellen Vorbefeuchtungsdüsen ausgerüstet werden. Durch Einsatz des neuen Spritz-Bindemittels läßt sich hier eine deutliche Staubreduzierung an der Spritzdüse erzielen. Der erste längere Praxiseinsatz mit dem Druckkessel-

system (Bild 1) erfolgte beim Vortrieb eines kurzen Tunnels unter der Bundesstraße B 475 (Bild 2) zur Verbindung zweier Abbaugelände des Dyckerhoff Werks Neubeckum. Der werkgemischte Trockenspritzbeton wurde nach der Dosierblassschnecke mittels Testor-Düse vorbefeuchtet.

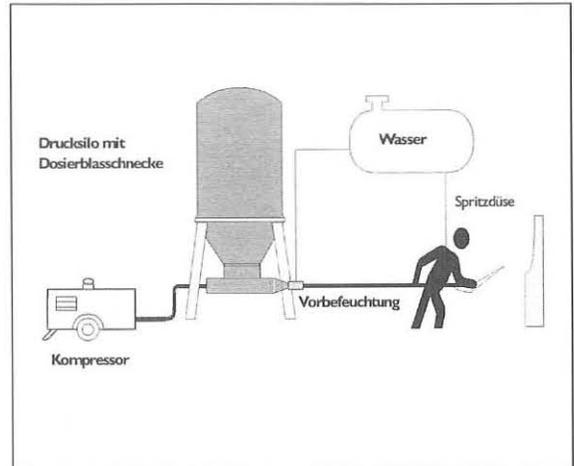


Bild 1: Prinzip des Druckkesselsystems



Bild 2: Tunnel unter der B 475 in Neubeckum zur Erschließung eines neuen Abbaugeländes der Dyckerhoff Zement GmbH

#### 4. Düsenteknik

Derzeit sind die vielfältigsten Vorbefeuchtungsdüsen auf dem Markt. Aufgrund der unterschiedlichsten Wirkungsweisen und teilweise schwer zu beeinflussender Parameter wurde eine eigene Düsenkonstruktion entwickelt. Wichtige Punkte waren dabei gleichmäßige Benetzung und Wartungsfreiheit. Zur Herstellung der Düse wurde eine konventionelle Reduzierung DN 65/50 aus der Naßspritzbetonförderung gekürzt und mit Flanschringen und Hüllrohr versehen. Der so entstandene Hohlraum erhält 3 Bohrungen á 2 mm zum Ausgang in den Spritzschlauch und wird durch ein aufgeschweißtes Rohr mit Druckluft/Wasser beaufschlagt. Infolge der Reduzierung wird der Materialförderstrom durch die Beschleunigung gleichmäßiger und bei der Übergangslosen Aufweitung von 60 auf 65 mm entsteht ein leichter Unterdruck. So wird das Eindüsen des Wasser-Luft-Gemischs erleichtert und gleichzeitig erfolgt eine gute Benetzung des sich aufweitenden Förderstroms. Die 2 mm großen Düsen sind reinigungsfreundlich und werden durch eine besondere Konstruktion der Zuleitung immer von Druckluft und/oder Wasser durchströmt. Dazu ist in der Druckluftleitung ein T-Stück eingebaut, durch das im Winkel von 90° das Wasser mit einem Druck von > 6 bar eingespeist wird. Die senkrecht auftreffende Druckluft reißt den Strom auf und verdüst das Wasser. In den Zuleitungen befinden sich in gleichem Abstand vom T-Stück zwei Kugelhähne, deren Hebel durch eine Gelenkstange fest verbunden sind. Dadurch wird in jeder Stellung der in die eigentliche Düse einmündende Querschnitt konstant gehalten.

Mit anderen Worten, man kann entweder nur Wasser oder nur Druckluft sowie auch alle Mischungsverhältnisse dazwischen stufenlos einstellen. Durch

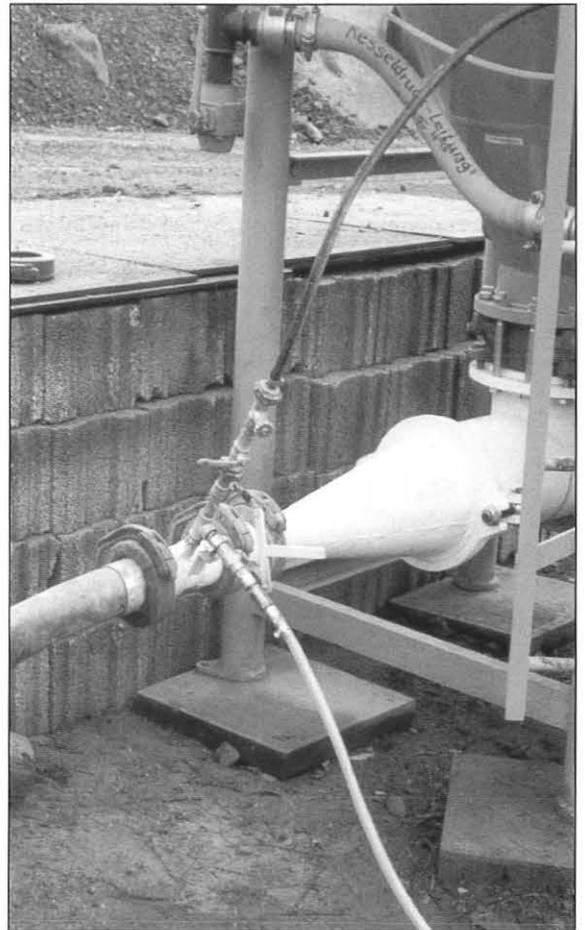


Bild 3: Vorbefeuchtungsdüse im Einsatz

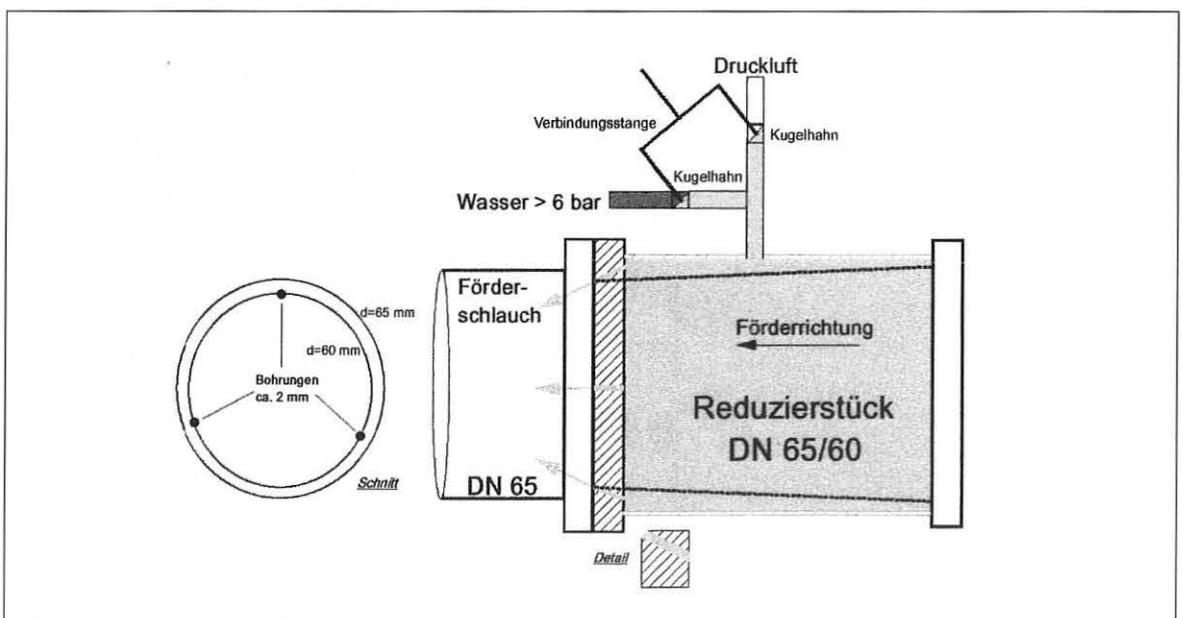


Bild 4: Vorbefeuchtungsdüse

die miteinander verbundenen Kugelhähne ist es unmöglich, die Düse versehentlich komplett außer Betrieb zu setzen.

### 5. In situ hergestellter Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen

Schnell erstarrende Spritz-Bindemittel sind feuchtigkeitsempfindlich. Bei Verwendung naturfeuchter Zuschläge (2 - 4% Feuchte) kommen speziell rezeptierte Bindemittel zur Anwendung, die eine besondere Verfahrenstechnik erfordern. Das Maschinenkonzept (2-Kammer-System) (Bild 5) beruht in der Regel auf der getrennten Vorhaltung beider Komponenten, die nach volumetrischer bzw. gravimetrischer Dosierung in Durchlaufmischern homogenisiert und anschließend konventionellen Trockenspritzmaschinen zugeführt werden. Üblich sind im Tunnelbau Großgeräte mit entsprechender Leistungsfähigkeit und flexibler Arbeitsweise direkt vor der Ortsbrust.

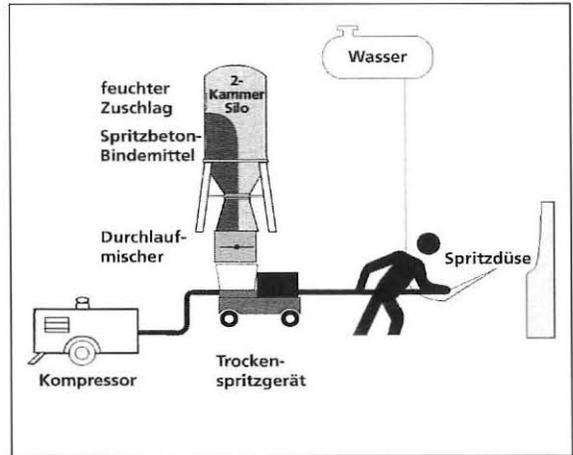


Bild 5: Maschinenkonzept (2-Kammer-System)

einer Spritzkiste beträgt dabei rund 3 Minuten. Mit dieser Technik wurde der nachfolgend dargestellte optimierte Festigkeitsverlauf ermittelt (Bild 6).

Wesentlicher Parameter ist die sogenannte Kontaktzeit, die das Spritz-Bindemittel ohne Einbußen beim Erstarren mit dem naturfeuchten Zuschlag überstehen muß. Je nach Geräteauslegung sind dafür in der Praxis 30 Sekunden bis 2 Minuten anzusetzen. Um eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten wurde für Versuche die folgende Verfahrenstechnik entwickelt: Abwiegung von Spritz-Bindemittel : naturfeuchtem Zuschlag im Verhältnis 1 : 5, etwa 30 - 60 Sekunden homogenisieren in einem handelsüblichen Freifallmischer auf einer durch Gabelstapler angehobenen Palette und sofortigem Einfüllen des Bereitstellungsgemischs in die laufende Spritzmaschine. Die Zeit vom ersten Kontakt bis zum Füllen

### 6. Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen als Transportbeton

Die Herstellung von konventionellem Trockenspritzbeton aus naturfeuchten Zuschlägen und Normzement war bis vor kurzer Zeit im Tunnelbau Stand der Technik (Bild 7). Das im Transportbetonwerk oder in einer Baustellenmischanlage produzierte Bereitstellungsgemisch konnte maximal 1,5 Stunden lang verarbeitet werden. Üblich war die Zumischung von alkalihaltigem Beschleuniger als Pulver an der Spritzmaschine bzw. in flüssiger Form über das Anmachwasser. Mit Entwicklung neuer Verfahrenstechniken und neuer Produkte, speziell der Spritz-

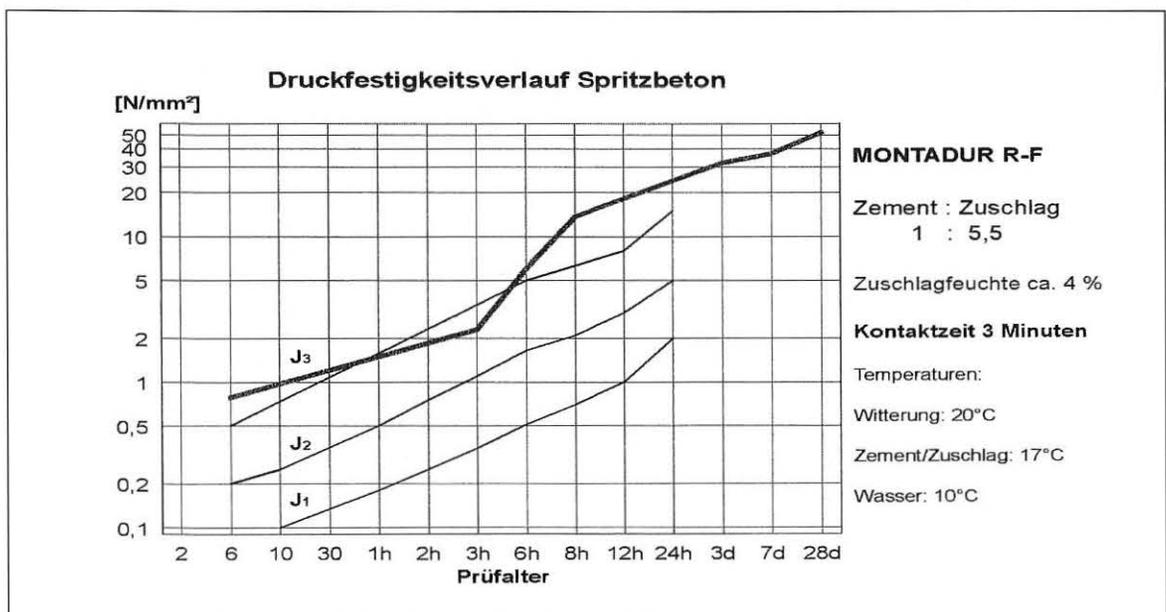


Bild 6: Festigkeitsentwicklung, bei in situ hergestelltem Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen

Bindemittel, nahm die Bedeutung des Trocken-spritzbetons als Lieferbeton sehr stark ab.

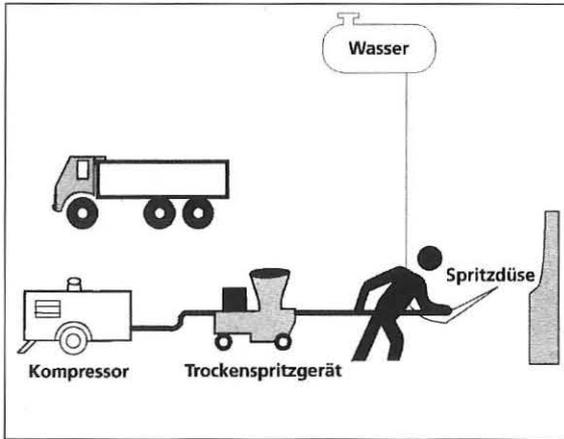


Bild 7: Trockenspritzmethode mit bereitgestellten naturfeuchten Zuschlägen und Normzement

Die Herstellung eines über eine begrenzte Zeit lagerstabilen Trockenspritzbetons mit erdfeuchten Zuschlägen und Spritz-Bindemittel war bis heute unmöglich. Das neuentwickelte Produkt kann werksseitig gezielt auf vorgegebene Anforderungen, speziell auf eine längere Vorlagerung, eingestellt werden. Wesentlicher Parameter ist dabei die Zuschlagfeuchte, die im Bereich von 3 % liegen sollte. Im Falle höherer Feuchte nähert man sich den Grenzen der Förderbarkeit und die Produktionskosten des Spritz-Bindemittels steigen unverhältnismäßig.

Für die Versuche sind Zement : Zuschlag im Verhältnis 1 : 5 verwogen und im Freifallmischer 30 - 60 Sekunden gemischt worden. Anschließend lagerte das Bereitstellungsgemisch bis zur Verarbeitung in einem Big Bag. Die nachfolgend aufgezeigte Festigkeitsentwicklung entstammt einem Spritzversuch nach 2 Stunden Vorlagerung ohne Zusatzmittel bei der Verarbeitung. Das so eingestellte Bindemittel wäre genauso zu jeder beliebigen Zeit vorher verarbeitbar gewesen und hätte dabei einen vergleichbaren Festigkeitsverlauf gezeigt.

### 7. Zusammenfassung

Ein neues universell einsetzbares Spritz-Bindemittel, das entsprechend der Anforderungen der Baustelle werkseitig gezielt eingestellt werden kann wurde vorgestellt. Mit der Standard-Variante können vorbefeuchteter Werk trockenmörtel und das 2-Kammer-System mit naturfeuchten Zuschlägen gleichermaßen gut bedient werden. Die Reaktion dieses Spritz-Bindemittels ist nicht über die Zeit gesteuert, sondern sie beginnt mit der Verarbeitung des Spritzbetons. Hinsichtlich Zuschlagfeuchte und Kontaktzeit ist große Sicherheit gegeben. Erstarren und Frühfestigkeit bewegen sich auf hohem Niveau, die Druckfestigkeiten nach 28 Tagen liegen je nach Rezeptur zwischen B 25 und B 45.

Die berechtigte Aussicht, Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen und einem speziellen Spritz-Bindemittel als Lieferbeton aus einem Transportbetonwerk zu beziehen, eröffnet neue Dimensionen.

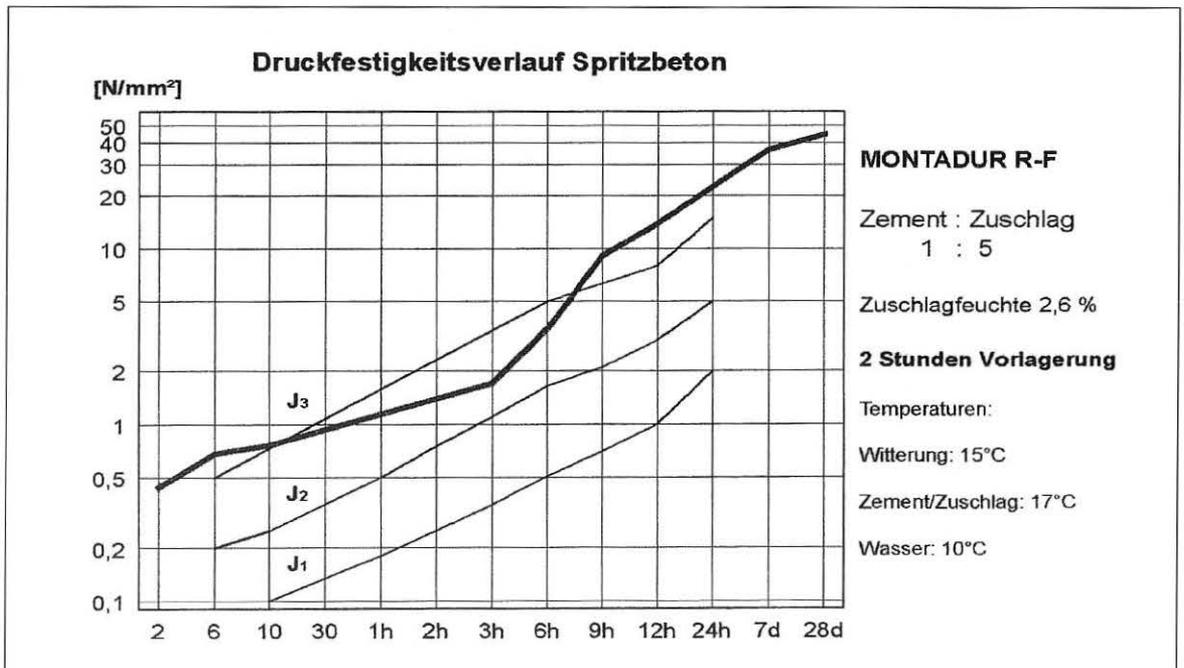


Bild 8: Festigkeitsentwicklung, Trockenspritzbeton mit naturfeuchten Zuschlägen als Transportbeton

8. Literatur

[1] ÖBV:

Richtlinie Spritzbeton. Österr. Betonverein, Wien  
1998.

[2] Deuse Th., Mann; Rüßmann:

Neues Spritzbetonbindemittel zur Verarbeitung  
erdfeuchter Zuschläge im Trockenspritzverfahren,  
Tunnel 6/98.