

---

# Grundsätzliche Eignung von Spritz-Bindemitteln für das Nassspritzverfahren

---

## THE BASIC SUITABILITY OF SPRAY CEMENT (OPC WITH SHORT SETTING TIME) FOR THE WET-MIX SHOTCRETE PROCESS

**KLAUS FELSCH, ROLAND MURR**

Spritz-Bindemittel (SBM) werden erfolgreich im Trockenspritzverfahren verarbeitet. Ihr Einsatz im Nassspritzverfahren ist hingegen neu und wenig erprobt. Systematische Grundsatzforschung zeigt, dass mit verschiedenen, verzögernden Zusätzen eine ausreichend lange Verarbeitungszeit der schnell erstarrenden SBM zu erzielen ist. Die Hydratationsprozesse, die Auswirkungen auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften der neuen Technologie werden in diesem Beitrag dargestellt.

Zur Durchführung des Nassspritzverfahrens mit Spritz-Bindemittel stehen zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Diskussion:

- A) Das langzeitverzögerte SBM (bis ca. 2,0 Stunden) mit der Zufuhr eines Aktivators an der Spritzdüse. Die Betonherstellung kann aus dem Tunnel heraus an einen frei wählbaren Ort verlegt werden.
- B) Das kurzzeitverzögerte SBM (ca. 5 Minuten). Bei einer Mischung vor Ort kann eine Systemvereinfachung durch den Entfall der Aktivatorzugabe erzielt werden.

Durch die Existenz beider technischen Möglichkeiten können alle derzeit verwendeten Verfahren des Nassspritzens auch mit dem Einsatz von Spritz-Bindemitteln durchgeführt werden.

*Spray cements (special binding agent for use in shotcrete (SBM)) have been successfully processed with the dry-mix method. Using them with the wet-mix process, on the other hand, is a new venture, with which there has been little experience to date. Systematic research into the underlying principles has shown that with the help of various retarding admixtures a sufficient working time may be ensured for the rapidly hardening SBM. The hydration processes, and the effects of this new technique on the properties of fresh and hardened concrete, will be displayed.*

*For implementation of the wet-mix method with spray cement there are two principal possibilities to be taken into account:*

- A) Long-term retarded SBM (up to 2.0 hours), with the addition of an activator at the nozzle. Concrete production may be transferred from the tunnel to a place chosen at will.*

B) Short-term retarded SBM (ca. 5 minutes). With the concrete being mixed on site, a simplified system can be achieved, dispensing with the need of an activating admixture.

Given that both technical options are possible, spray cements can now be implemented with all wet mix processes currently in use.

## 1. Entwicklungsschritte

Bei der Herstellung von Zementen wird dem Klinker bei der Mahlung Calciumsulfat in Form von Gips, Halbhydrat und Anhydrit zur Erstarrungsregulierung zugesetzt. Normalzemente nach DIN EN 197-1 erstarrten erst nach einigen Stunden und bilden dann Festigkeit aus.

### 1.1 Spritz-Bindemittel

Seit einigen Jahren sind auch sulfatfreie oder sulfatreduzierte Portlandzemente als Spritz-Bindemittel bekannt. In Österreich werden die Bindemitteltypen SBM-T und SBM-FT unterschieden. Der erstgenannte Bindemitteltyp hat seinen Erstarrungsbeginn innerhalb weniger Sekunden und wird deshalb im Trockenspritz-Verfahren unter Verwendung ofentrockener Zuschläge eingesetzt. Der Bindemitteltyp SBM-FT hat seinen Erstarrungsbeginn später als 90 Sekunden und erlaubt damit eine Vorbefeuchtung bzw. die Verarbeitung erdfechter Zuschläge im Zweikammersystem.

Bindemittel auf Basis sulfatfreier oder sulfatarmer Klinker	
Typ SBM-T	sehr schnelles Erstarren ↳ Verarbeitung als Trockenmischgut (ofentrockene Zuschläge)
Typ SBM-FT	Erstarrungsbeginn > 90 sec ↳ Verarbeitung als Feuchtmischgut (feuchte Zuschläge)

Bild 1: Spritz-Bindemittel - Stand der Technik

### 1.2 Bindemittelvergleich

Vergleicht man die chemische Analyse und Zusammensetzung von Normalzementen und Spritz-Bindemitteln werden die Unterschiede deutlich (Tabelle 1). Spritz-Bindemittel werden aus dem gleichen Klinker gemahlen. Sie werden aber deutlich feiner ausgemahlen und sind so reaktiver. Der Sulfatgehalt, ausgedrückt als  $SO_3$  liegt niedriger. Die Erstarrungszeiten sind verändert, die 28 Tage Festigkeiten sind in der Regel geringer.

CEM I 32,5 R (Schelklingen)		SBM-FT (Chronolith ST)
Phasen		
$C_3S$	56 %	56 %
$C_2S$	18 %	18 %
$C_3A$	11 %	11 %
$C_4AF$	9 %	9 %
Sulfatgehalt gesamt		
$SO_3$	3,0 %	1,1 %
Mahlfeinheit:		
	3.100 $cm^2/g$	4.800 $cm^2/g$
Erstarrungsbeginn		
	170 min	280 sec
2 Tage-Druckfestigkeit (Normenmörtel)		
	27,0 $N/mm^2$	27,0 $N/mm^2$
28 Tage-Druckfestigkeit (Normenmörtel)		
	48,5 $N/mm^2$	40,9 $N/mm^2$

Tab. 1: Vergleich der Bindemittel

### 1.3 Anwendung von Spritz-Bindemitteln

Spritz-Bindemitteltyp SBM-FT (Bild 2) wurde in den letzten Jahren in zahlreichen Vortrieben, insbesondere auf der NBS Köln-Frankfurt, Eggequerung oder Mainzer Tunnel eingesetzt. Gewählt wurde das 2-Kammer-Verfahren unter Verwendung von Zuschlägen mit max. 4-5 % Feuchte. Die Frühfestigkeiten lagen im J2 - J3 Bereich (Bild 3).



Bild 2: 2-Kammer-System, Ploderer-Anlage

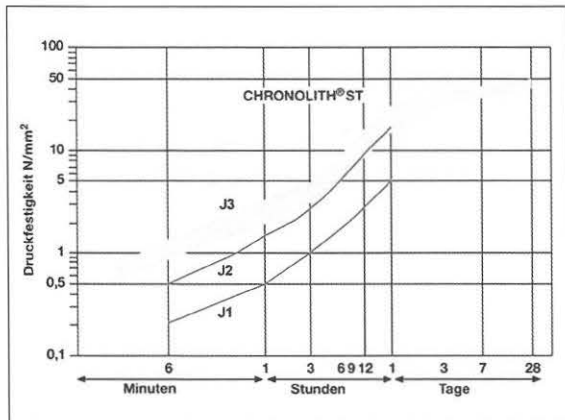


Bild 3: Festigkeitsentwicklung Chronolith ST

### 1.4 Trendwende

Noch vor einigen Jahren wurden die meisten Tunnel in Deutschland und Österreich trocken gespritzt. Heute wird eindeutig der Nassspritzbeton favorisiert. Die Gründe für die Trendwende liegen primär im Leistungsvergleich und der verbesserten Arbeitshygiene.

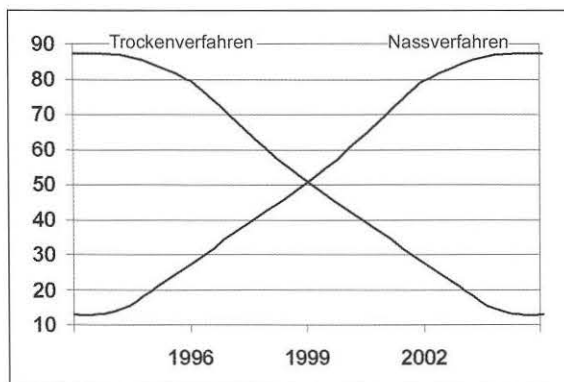


Bild 4: Tendenz Spritzbeton - Trendwende von trocken zu nass

### 1.5 Entwicklungsbogen Spritzbetontechnologie

Die Entwicklung der Nass- und Trockenspritzbetontechnologie wird im Bild 5 dargestellt. Im Trockenspritzverfahren wurde früher mit Normalzementen

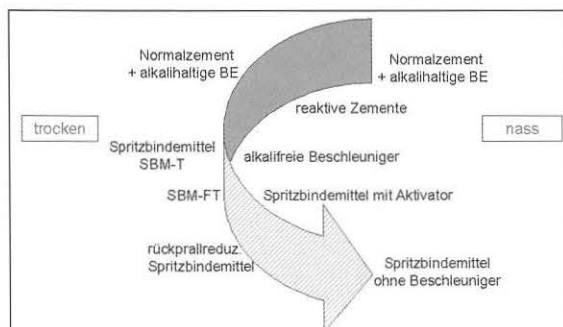


Bild 5: Entwicklungsbogen Spritzbetontechnologie

(in Österreich Tunnelzementen) und alkalihaltigen (später alkalifreien) Beschleunigern gespritzt. Diese Technologie wurde durch die Spritz-Bindemittel, die keine Beschleuniger benötigen, abgelöst. Durch Optimierung der Spritz-Bindemittel wurde die Verwendung erdfeuchter Zuschläge möglich und der bislang erhöhte Rückprall reduziert. (Zusätzlich erfolgte teilweise der Zusatz von Rückprallminderern.) Im Nassspritzverfahren wurden Zemente der Klasse CEM I 42,5 R oder CEM I 52,5 R verwendet. Sie wurden zunächst mit alkalihaltigen Beschleunigern, später alkaliarmen und -freien Beschleunigern kombiniert. Die Normalzemente wurden hinsichtlich Reaktivität optimiert. Die neueste Entwicklung am Sektor des Nassspritzens sieht den Einsatz von verzögertem SpB vor, der anschließend je nach Verfahrenstechnik an der Düse mittels "Aktivator" wieder aktiviert oder alternativ dazu nach der Verarbeitungszeit aktiv wird (entfallen des Aktivators aufgrund kürzerer Verzögerungszeit) (Kapitel 2).

### 1.6 Fragestellungen

Um schnell erstarrende Spritz-Bindemittel im Nassspritzverfahren verarbeiten zu können, müssen bestimmte Fragestellungen beantwortet werden:

- Können die Verarbeitungszeiten von SBM verlängert werden?
- Wie verläuft die Hydratation verzögerter SBM?
- Sind die gewünschten Erstarrungszeiten zielsicher einzustellen?
- Wie wirken sich verzögernde Zusätze auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften aus?
- Welche Verfahrenstechnik ist für die Verarbeitung zu wählen?

### 1.7 Konsistenz

Mit dem fließfähigen Spritzbeton (Bild 6), der durch eine bestimmte Zusatzmittelkombination eingestellt



Bild 6: Konsistenz - Nassspritzbeton mit SBM

wurde, konnte belegt werden, dass Spritz-Bindemittel gezielt verzögert werden können.

### 1.8 Verzögerende Wirkstoffe

Es gibt eine Reihe verzögernder Zusätze, die Spritz-Bindemittel in ihrem Erstarrungsverhalten verändern. Diese können auch kombiniert werden. Es zeigt sich, dass einige anorganische Zusatzmittel (z.B. Phosphate) eine kurze Verzögerung bewirken. Effektiver ist die Verwendung bestimmter organisch-

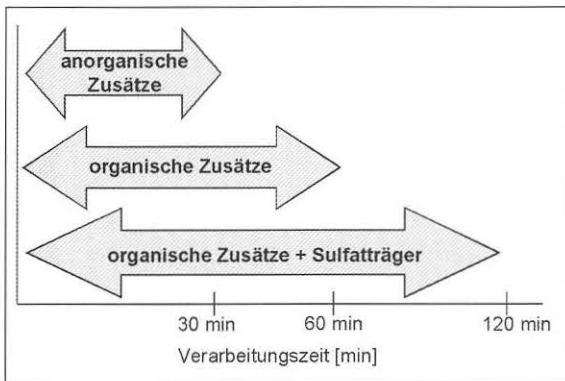


Bild 7: Wirkung verzögernder Zusätze auf die Verarbeitungszeit

er Zusatzmittel (z.B. Zitronensäure). Die verzögernde Wirkung wird verstärkt, wenn nachträglich ein Sulfatträger zudosiert wird.

### 1.9 Temperaturentwicklung / Hydratationswärmeeentwicklung

Die Zeit-Temperaturkurven verzögerter und nicht-verzögerter Spritz-Bindemittel zeigen die Einflüsse der Verzögerung auf den Hydratationsfortschritt (Beispiel Normenmörtel in quasi adiabatischen Verhältnissen) (Bild 8).

Unverzögerte Spritz-Bindemittel reagieren sofort. Es bildet sich etwas Monosulfat sowie vor allem Tetra-calciumaluminat aus. Der Temperaturanstieg über ca. 30 min ist steil. Eine sich anschließende Ruheperiode ist ca. 1-2 Stunden lang. Es folgt eine weitere Reaktion, an der die Silikate beteiligt sind. Durch verzögernde Zusätze eingestellte Spritz-Bindemittel erstarren erst nach einigen Minuten bzw. Stunden. Dies ist primär von Wirkstoffart und Dosierung abhängig. Die verzögernde Wirkung beeinflusst auch die Hydratation der Aluminate. Die Temperaturkurve ist anfangs etwas flacher geneigt. Die vorhin erwähnte Ruheperiode ist ausgeprägter und zeitlich verlängert. Auch die Hydratation der Silikate ist leicht verzögert. Mit bestimmten Zusätzen bzw. deren Kombinationen gelingt es aber den ver-

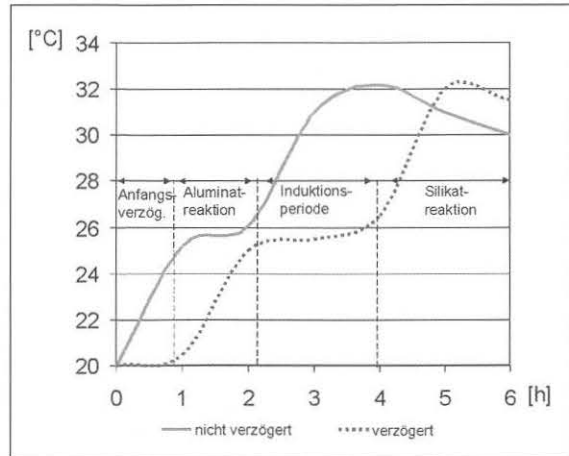


Bild 8: Zeit/Temperaturkurven verzögerter/nicht verzögerter Spritz-Bindemittel (Normenmörtel) (Reaktionsperioden nur für verzögertes SBM)

zögernden Einfluss im späteren Abbindeprozess zu reduzieren.

Positiv ist, dass die Charakteristik der Spritz-Bindemittel durch verzögernde Zusätze nicht aufgehoben wird.

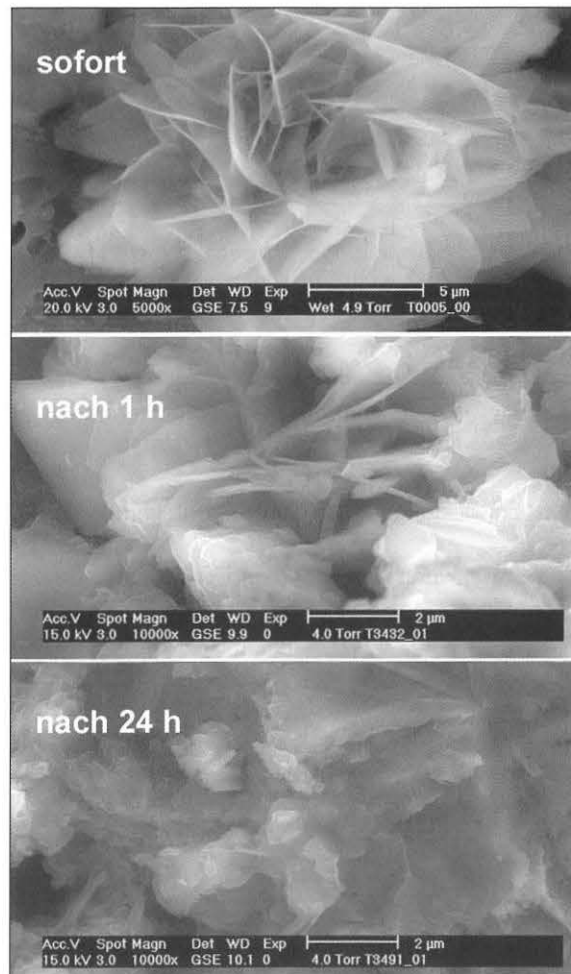


Bild 9a: ESEM-Bild; unverzögertes Spritz-Bindemittel nach unterschiedlichen Zeiten

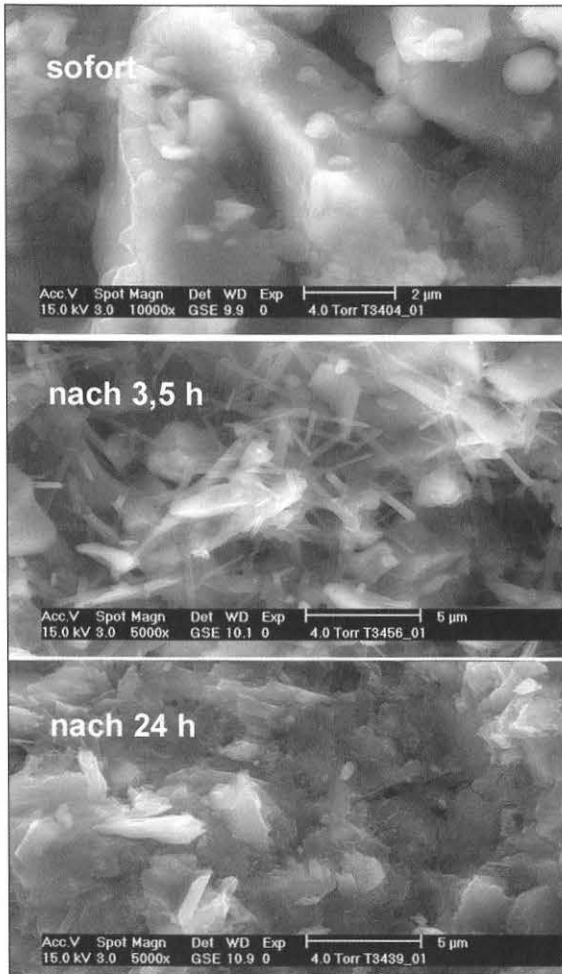


Bild 9b: ESEM-Bild; verzögertes Spritz-Bindemittel nach unterschiedlichen Zeiten

### 1.10 ESEM Aufnahmen

Die Untersuchung im ESEM zeigt die Kristallstrukturen / Morphologie der Hydratationsprodukte. Unverzögert: Ausbildung von tafelförmigen C-A-H. Nach 24 Stunden bilden sich auch Calciumsilikathydrate aus, die die Räume zwischen den Aluminathydraten ausfüllen.

Verzögert: In der Anfangsverzögerung ist keine Ausbildung von Hydratationsprodukten erkennbar. Später wird die Bildung von Ettringiten sichtbar. Diese führen zum Erstarren. Auch die Ausbildung von C-A-H und C-S-H wird deutlich.

### 1.11 Ansteifverhalten

Das Ansteifen des verzögerten Betons mit SBM-FT ist sehr gering, wenn der Sulfatträger fehlt. Entsprechend gering ist der Wasseranspruch des Bindemittels. Die Neigung zum Bluten ist jedoch dann verstärkt.

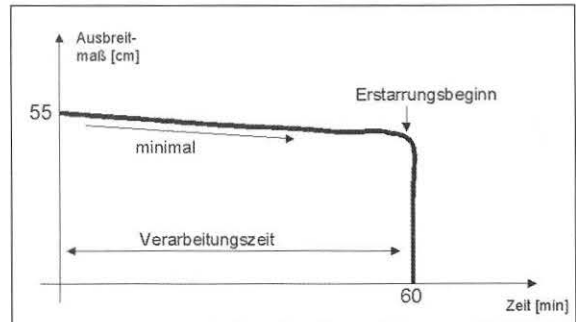


Bild 10: Ansteifverhalten - Nassspritzbeton mit SBM

Im Tunnel Fiecht konnte der Nassspritzbeton, der auf ca. 60 min verzögert war, verspritzt werden.

Es zeigte sich, dass der im Baustellenbereich eingesetzte Beschleuniger nicht funktionierte und die aufgespritzte Menge zurückfiel. Dies hat zu Untersuchungen der Wirkung unterschiedlicher BE-Typen in Kombination mit verzögertem SBM-FT geführt.

### 1.12 Wirksamkeit von Aktivatoren

Wir haben erkannt, dass bestimmte EB-Typen unzureichende Beschleunigungswirkung haben. So sprechen alkalifreie EB vor allem die Ettringitbildung an. Das Erstarren wird durch rasches Wachstum der Ettringite eingeleitet. In sulfatfreien/armen Systemen wirken diese Beschleuniger unzureichend.

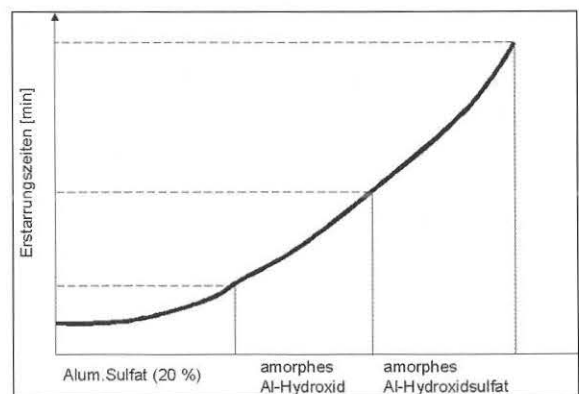


Bild 11: Erstarrungszeiten beschleunigter Mörtel (Dosierung 2 % bez. auf Bindemittel)

### 1.13 Festigkeitsentwicklung

Die Festigkeiten verzögerter Nassspritzbetone mit SBM-FT sind denen, die wir aus dem Trockenspritzverfahren unter Einsatz von Spritz-Bindemitteln kennen, ähnlich. Es gibt im Zeitraum 2 - 6 Stunden leichte Verzögerungen, aber insgesamt Werte die im J2-Bereich liegen.

**2. Verfahrenstechnik Nassspritzbeton**

Im Folgenden werden die zwei prinzipiellen Möglichkeiten zur Durchführung des Nassspritzverfahrens mit Spritz-Bindemitteln erläutert.

Es handelt sich dabei um:

- A) Das Nassspritzverfahren mit Spritz-Bindemitteln in Langzeitverzögerung (bis ca. 2,0 Stunden) unter Zufuhr eines Aktivators an der Spritzdüse.
- B) Das Nassspritzverfahren mit Spritz-Bindemittel mit Kurzzeitverzögerung (im Bereich von ca. 3 Minuten).

Durch Verzögerung des Spritz-Bindemittels ist es denkbar, alle derzeit technisch angewandten Verfahren des Nassspritzens auch unter Zuhilfenahme von Nass-Mischgut mit Spritz-Bindemitteln auszuführen.

Beiden Verarbeitungsverfahren gemeinsam ist die Zugabe des verzögernden Zusatzmittels zeitgleich mit dem Anmachwasser. Anhand einer guten Homogenisierung durch den Mischer kann das Spritz-Bindemittel ausreichend verzögert werden, so dass der Abbindeprozess gezielt gesteuert und für ein vorher definiertes Zeitintervall gestoppt werden kann.

**2.1 Nassspritzen mit Spritz-Bindemittel unter Verwendung einer langzeitigen Verzögerung**

Der Grundgedanke bezüglich des Verarbeitungsablaufes für ein Spritzbetongemisch mit langfristig verzögertem Spritz-Bindemittel kann folgendermaßen beschrieben werden:

Es soll eine vom Einbauzeitpunkt des Spritzbetons weitestgehend entkoppelte Herstellzeit des Nass-Mischguts gewählt werden können. Diese Trennung ermöglicht eine flexiblere Wahl der Betonherstellung, sowohl bezüglich der Menge, als auch bezüglich des Ortes. Bei einem gut abgestimmten System kann eine hohe Betriebssicherheit erreicht werden.

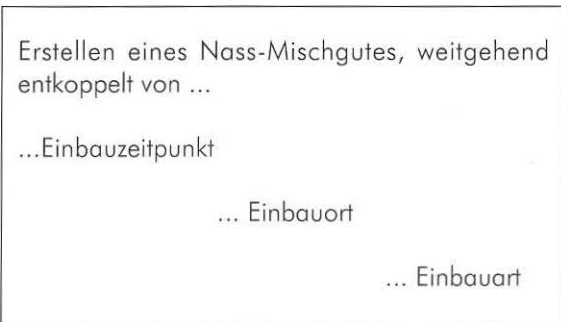


Bild 12: Grundgedanke bezüglich des Verarbeitungsablaufes

Die Mischung des Betons erfolgt auf einer Baustellenmischanlage oder in einem nahegelegenen Transportbetonwerk. Es werden, entsprechend der Betonherstellung, eine getrennte Lagerung der Zuschläge und des Bindemittels, sowie die Möglichkeit der Dosierung von Zusatzmitteln benötigt.

Die Mischung des Betons kann mit den herkömmlichen Mixern durchgeführt werden. Die Reihenfolge der Zugabe der Einzelkomponenten muss dem Spritz-Bindemittel angepasst sein. Erst werden die Zuschläge, dann das Zugabewasser und zuletzt das Spritz-Bindemittel zugegeben. Die wichtige Forderung ist, dass das verzögernde Zusatzmittel zeitgleich mit dem Anmachwasser, jedoch auf alle Fälle vor der Beschickung der Mischtrommel mit dem Spritz-Bindemittel zugegeben werden muss. Das verzögernde Zusatzmittel muss eine beginnende Hydratisierung des Bindemittels bei Wasserkontakt verhindern.



Bild 13: Reihenfolge der Komponentenzugabe

Das am besten einzusetzende Spritz-Bindemittel wird bislang zumeist für die Herstellung von Spritzbeton im Trockenspritzverfahren mit erdfeuchten Zuschlägen verwendet. In der österreichischen Richtlinie für Spritzbeton werden diese Bindemittel mit SBM-FT bezeichnet. Aufgrund der notwendigen Verzögerung des Spritz-Bindemittels erscheint es günstiger (im Sinne der Betriebssicherheit), ein Bindemittel einzusetzen, das einen natürlichen Abbindebeginn innerhalb weniger Minuten aufweist. Ein zu schlagartig einsetzender Hydratationsprozess könnte Anpackungen im Mischer verursachen, da sich erst im Zuge der Durchmischung der Einzelkomponenten die Wirkung des verzögernden Zusatzmittels entfalten und der Abbindeprozess vorläufig gestoppt werden kann. Nach einer ausreichenden Homogenisierung im Zwangsmischer wird das Nass-Mischgut an einen Fahrmischer übergeben, der den Transport zum Einbauort übernimmt. Als Spritzmaschinen kommen für den Einsatz des verzögerten Nass-Mischguts sowohl Betonpumpen, als auch Rotormaschinen in Betracht. Es kann somit

die Technologie des langzeitverzögerten Spritz-Bindemittels sowohl im Dünnstrom-, als auch im Dichtstromverfahren angewandt werden. Wie bei der Verwendung von herkömmlichem Nass-Mischgut richtet sich die erforderliche Konsistenz nach der Art der Spritzmaschine. Üblicherweise werden Betone mit einem Ausbreitmaß um die 60 cm eingebaut. Eine entsprechend weiche Konsistenz ist erforderlich, um einen guten Füllgrad der Fördereinrichtung der Spritzmaschine zu erreichen. Eine schlechte Befüllung der Fördereinrichtung ist an einem pulsierenden Auswurf des Spritzguts zu erkennen. Neben einem unangenehmen Schlagen sind schlechtere Spritzqualität, Verstopfungen, sowie Überdosierungen des beschleunigenden Zusatzmittels häufig die Ursache zu steifer Konsistenzen. Die entsprechend weichen Konsistenzen sind auch bei der Verwendung von Spritz-Bindemitteln nur unter Zuhilfenahme von Verflüssigern erzielbar, da der Wasseranteil im Beton aufgrund der geforderten Eigenschaften beschränkt werden muss.

Der weitere Verarbeitungsablauf des Mischguts durch die Spritzmaschine unterscheidet sich in der Maschinenteknologie nicht von den Nassspritzverfahren mit Tunnelzementen. So wie bei den herkömmlichen Verfahren muss aufgrund der Langzeitverzögerung des Spritz-Bindemittels an der Düse ein Zusatzmittel zugegeben werden. Als wesentlichen Unterschied muss man jedoch die Charakteristik des Bindemittels sehen, bei dem durch die Verzögerung der Abbindeprozess zuerst gestoppt wurde, um ihn dann zeitgerecht wieder zu aktivieren. Im Gegensatz dazu stehen die Normalzemente, bei denen der Prozess durch einen Beschleuniger erst initiiert werden muss. Dementsprechend wird auch beim Verfahren mit Spritz-Bindemitteln von einem Aktivator gesprochen, der auf den Verzögerer abgestimmt sein muss. Der Aktivator wird mittels einer Zusatzmittel-Dosiereinrichtung gezielt zugegeben, regt den gestoppten Abbindevorgang wieder an und ermöglicht ein Applizieren des Spritzbetons an der Auftragsfläche.

## 2.2 Nassspritzen mit Spritz-Bindemittel unter Verwendung einer kurzzeitiger Verzögerung

Der Grundgedanke bezüglich der Verarbeitung des kurzzeitig verzögerten Spritz-Bindemittels kann folgendermaßen beschrieben werden:

Die Dauer der Verzögerung des Spritz-Bindemittels ist nur solange erforderlich, wie eine Verarbeitung des Nassmischguts stattfindet. Bei Kenntnis der Verarbeitungszeit kann die Verzögerung gezielt darauf abgestimmt werden; auf eine zusätzliche ak-

tivierende Komponente kann verzichtet werden. Durch den Wegfall eines aktivierenden Zusatzmittels sind maschinelle Vereinfachungen und damit auch Kosteneinsparungen möglich.

Die Verarbeitungszeit setzt sich aus der Mischdauer, der Verweilzeit des Mischguts im Trichter der Spritzmaschine, dem Füll- und damit auch dem Fördervorgang des Mischguts innerhalb der Maschine und der Dauer des Transports des Mischguts durch den Förderschlauch zusammen.

Praktische Erfahrungen bei der Durchführung von Versuchen haben gezeigt, dass Unregelmäßigkeiten verschiedener Art zu zeitlichen Schwankungen in der Verarbeitungsgeschwindigkeit führen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Regelmäßigkeit der Förderung haben die richtige Konsistenz des Nass-Mischguts, sowie eine gut abgestimmte Beschickung der Spritzmaschine in Hinblick auf den möglichen Abtransport. Das heißt, die Maschinenkomponenten müssen leistungsmäßig aufeinander abgestimmt sein und jener Teil, der die geringste Leistungsfähigkeit aufweist, bestimmt die generelle Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Das Spritz-Bindemittel wird derart zu verzögern sein, dass zusätzlich zu der reinen Verarbeitungszeit ein Sicherheitsabstand zwischen dem theoretischen Verarbeitungsende und dem realen Erstarrungsanfang des Bindemittels nötig sein wird, um mögliche und vorhandene Unterbrechungen im Arbeitsablauf ohne Schaden auszugleichen.

Die technische Umsetzung des Nassspritzverfahrens mit kurzzeitig verzögertem Spritz-Bindemittel erfolgte in Zusammenarbeit und mit Unterstützung der Firma Mobil-Crete und wurde an deren Versuchsstand praktisch getestet.

Um unbekannte, zeitlich nicht genau fixierbare Einzelschritte in der Betonherstellung möglichst zu minimieren, ist eine Herstellung des Nass-Mischguts direkt vor Ort, bei der Spritzmaschine nötig. Dadurch entfallen die Transportwege des Betons zur Spritzmaschine inklusive aller zeitlichen Schwankungen. Die Herstellung des Mischguts erfolgt erst in dem Augenblick, in dem der Spritzbeton tatsächlich benötigt wird. Dementsprechend werden auch nur die Mengen hergestellt, die momentan benötigt werden.

Das MobilCrete-System enthält zwei getrennte Silos für Zuschläge und Spritz-Bindemittel (Bild 14). Das bietet einerseits den Vorteil einer Verwendung von erdfeuchten Zuschlägen für eine Herstellung des Nass-Mischguts, andererseits kann der Bindemittel-

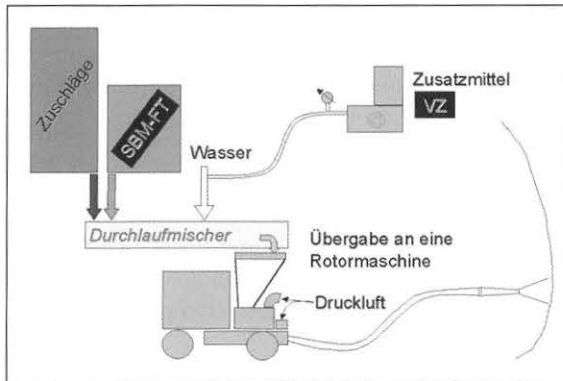


Bild 14: Herstellung des Nass-Mischgutes direkt vor Ort, bei der Spritzmaschine

gehalten den Erfordernissen angepasst werden. Die Komponenten Zuschlag und Spritz-Bindemittel werden über Zellrad dosiereinheiten unabhängig voneinander in einem voreingestellten Verhältnis einem Doppelwellen-Durchlaufmischer laufend zugeführt. In einer kurzen Trockenmischstrecke werden zuerst Zuschlag und Spritz-Bindemittel vorhomogenisiert. Anschließend wird das Zugabewasser, dem schon vorher das verzögernde Zusatzmittel in Abhängigkeit vom Zementgehalt des Mischguts zudosiert wurde, unter Niederdruck in den Mischer eingebracht. Durch eine Verschiebemöglichkeit der Wasseraufabeeinheit in Längsrichtung, also parallel zur Mischerachse, kann der Zugabeort verändert werden. Dementsprechend länger oder kürzer kann die Trocken-/Nassmischstrecke gewählt werden. Die Frequenz des Antriebsmotors der Mischerwellen kann variiert und dem Füllungsgrad des Mixers entsprechend angepasst werden. Durch die Möglichkeit der Verdrehung der Mischerarme des Durchlaufmischers ist weiters der Durchsatz des Mischguts durch den Mischer und somit auch die Mischqualität beeinfluss- und steuerbar. Die dem System zugehörige Spritzmaschine ist eine Rotormaschine der Firma Aliva AL 285. Diese Spritzmaschine eignet sich sowohl für das Nassspritzen, als auch für das Trockenspritzen. Es gibt trotz der vielseitigen Verwendbarkeit der Spritzmaschine einen Konsistenzbereich, bei dem die Förderung nicht mehr in einem ausreichenden Maße funktioniert. Der Grund liegt in der Befüllung der Rotorkam-

mern. Diese kann auf zwei Arten erfolgen: Entweder ist das Material noch so trocken, dass es rieselfähig ist, oder aber es ist so weich, dass das Nassmischgut in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit in die Rotorkammern hineinfließen kann. Somit ist im Falle des Nassspritzens auch bei der Rotormaschine analog zu Betonpumpen eine ausreichend weiche Konsistenz des Betons für eine mögliche vollständige Befüllung der Kammern von Vorteil.

Versuche mit unterschiedlichen Konsistenzen haben zusätzlich zur schlechteren Füllung der Kammern eine Entmischung des Nassmischguts während des pneumatischen Transports gezeigt.

Im weiteren Verfahrensablauf des Nassspritzens mit Spritz-Bindemittel unter kurzzeitiger Verzögerung ist keine Zugabe eines zusätzlich benötigten Additivs an der Spritzdüse nötig. Der nasse Spritzbeton trifft an der Wand auf und beginnt nach der Überbrückung des kurzen benötigten Sicherheitszeitraumes mit der vom Spritz-Bindemittel gewohnten Hydrationsgeschwindigkeit abzubinden.

Abschließend seien die bei den Versuchen aufgetretenen Problempunkte geschildert:

Bei der langzeitigen Verzögerung erwies sich die Aktivierung des verzögerten Spritzguts bei der Umsetzung des Labormaßstabs in den großtechnischen Maßstab als noch nicht gänzlich gelöste Fragestellung. Das Spritz-Bindemittel konnte trotz einer guten Verarbeitbarkeit über einen vordefinierten Zeitraum nicht in dem gewünschten Maße aktiviert werden.

Bei der kurzzeitigen Verzögerung sind bislang noch maschinentechnische Probleme zu lösen. Die problematischen Punkte sind primär die geforderten, möglichst geringen zeitlichen Schwankungen im Verarbeitungsprozess. Der schnelle Zugriff auf die betonfördernden Teile, um im Unterbrechungsfall eine rasche Reinigung durchführen zu können, ist ebenfalls nicht in einem ausreichenden Maße gegeben. Bezüglich der Betonkonsistenz wird ebenfalls noch an Verbesserungsmöglichkeiten gearbeitet, um einerseits eine gute Förderung zu erreichen, andererseits ein gutes Haften an der Wand zu gewährleisten.