

---

# Untersuchungen über Spritzbetone mit verzögerter Ausgangsmischung

---

RESEARCH ON SHOTCRETE WITH RETARDED PREMIX

DIPL.-ING. ALBRECHT ENZENBERG, INTERNATIONALES BRENNERKONSORTIUM, INNSBRUCK  
DIPL.-ING. DR. TECHN. WOLFGANG KUSTERLE, INSTITUT FÜR BAUSTOFFLEHRE UND MATERI-  
ALPRÜFUNG, UNIVERSITÄT INNSBRUCK

Für Baustellen, bei denen aufgrund der Arbeitsweise ein jederzeitiger und rascher Zugriff auf Spritzbeton möglich sein muß, wie z. B. beim Vortrieb unter Tag oder bei Hangsicherungen, ist die gute Versorgung ein wesentlicher Faktor. Diese kann zum einen wegen einer extremen Verkehrslage oder Tunnellänge schwierig sein, zum anderen erschweren in jüngster Zeit immer mehr restriktive Maßnahmen wie Nachtfahrverbot oder Verbot der Errichtung einer Baustellenmischanlage die rechtzeitige Anlieferung.

Unabhängig davon, ob Naß- oder Trockenspritzbeton verwendet wird, sinkt mit längerer Lagerung die Qualität des Materials bis zur Unbrauchbarkeit. Gleichfalls verschlechtert sich die Verarbeitbarkeit; der Rückprall und die Zugabemenge von Erstarrungsbeschleunigern erhöhen sich. Die Wirtschaftlichkeit nimmt ab.

Um den aufgezeigten Problemen entgegenzuwirken, wurden verschiedene mechanische und chemische Lösungsmöglichkeiten untersucht. Die Verzögerung der Ausgangsmischung mit Zusatzmitteln und die zeitversetzte Zugabe von Beschleunigern beim Spritzvorgang stellen einen starken Eingriff in die Zementhydratation dar. Daher interessiert nicht nur das Funktionieren solcher Systeme beim Frischbeton, sondern auch deren Auswirkungen auf den Festbeton. Untersuchungen der technologischen Eigenschaften solcher Spritzbetone über ein Jahr geben dazu erste Anhaltspunkte.

*At construction sites where shotcrete must be readily available at any time, e.g. tunnel driving or slope protection, good logistics constitutes an essential factor. Difficulties may arise as a result of the extreme traffic situation or the length of the tunnel. Moreover, delivery in good time has recently been impeded by an increasing number of restrictive measures, such as an overnight traffic ban or the rejection of a site mixing plant.*

*Regardless of whether wet-mix or dry-mix shotcrete is used, the material suffers a quality loss depending on the duration of storage, and may even become unusable. Furthermore, workability deteriorates, while rebound and the accelerator dosage increase. Economic viability, by contrast, decreases.*

*In order to overcome the aforementioned problems, various mechanical and chemical approaches were studied. The retardation of the premix by means of appropriate agents and later on the admixture of accelerators in the spraying process strongly interfere with cement hydration. Therefore it is interesting not only to examine the functioning of such systems with fresh concrete, but also to study their effects on the hardened concrete. Tests of the technological properties of such shotcrete systems for one year have provided first results.*

## 1. Allgemeines

Spritzbeton ist ein Baustoff, der immer zum richtigen Zeitpunkt da zu sein hat - auch wenn er unvorhergesehen benötigt wird - und das natürlich in frischem Zustand, mit guter Qualität.

Längere Lagerungszeiten des Trockenmischgutes führen zu Vorhydratation. Dadurch erhöht sich der Bedarf an Beschleuniger, es folgt eine erhebliche Einbuße an Festigkeit sowie die Zunahme des Rückpralls. Diverse Verbote wie Nachfahrverbot, Wochenendfahrverbot oder Auflagen, daß in manchen Fällen keine Baustellenmischanlagen errichtet werden dürfen, fördern Überlegungen, wie der Baubetrieb trotzdem weitergeführt werden kann. Lange Tunnel sowie schwierige Vortriebsverhältnisse mit geringen, über den Tag verteilten Spritzbetonmengen, können ebenso zu Schwierigkeiten mit der Versorgung an frischem Spritzbeton führen. Normale Lagerzeiten beim Trockenspritzbeton sollten 1,5 Stunden nicht überschreiten. Die Lagerzeit ist daher auf jeder gut geführten Baustelle zu beschränken /1, 2/.

Beim Naßspritzverfahren im Dichtstrom ist die Verarbeitungszeit durch das Ansteifen des Pumpbetons, vor allem nach Zugabe von Superverflüssiger, begrenzt.

Die Verarbeitungszeiten können noch kürzer sein und erfordern daher exakte Zeitplanung im Vortriebsablauf und richtige Entscheidungen über den Bestellzeitpunkt.

Um diesen hohen Baustellenanforderungen gerecht werden zu können, gibt es verschiedene Lösungswege.

### - Vorhaltung der Einzelkomponenten

Naturfeuchte Zuschläge und Zement werden getrennt gelagert. Bei Bedarf erfolgt das Zusammenmischen über Förder- und Mischschnecken vor Ort.

Dieses Verfahren wurde in einem Großversuch in Tirol erprobt /3/. Wegen der Beschickung der Mischschnecken mittels Schrapper bzw. Zugabe von Sackzement war dieser Versuch sehr personalintensiv und daher unwirtschaftlich.

Bei anderen Anwendungsbeispielen wurde das Verfahren unter Anwendung von Transportsilos weiter mechanisiert und erfolgreich eingesetzt /4,5/.

### - Einsatz von ofentrockenem Material

Im Werk werden die Zuschläge - meist mit Abwärme von Brennvorgängen - getrocknet und mit Zement gemischt. Das Fertigprodukt ist als Sackware, im Big Bag oder als Siloware erhältlich. Höhenbeschränkungen im Tunnel sind mit Flachsilos technisch lösbar.

Bei entsprechender Lagerung ist das Trockenmischgut nahezu unbeschränkt haltbar.

Das Staubproblem beim Spritzen kann durch Maßnahmen wie Zugabe von staubmindernden Zusätzen, durch Vorbenetzung, oder durch Verwendung von Hochdruckpumpen mit speziellen Mischdüsen gemildert werden.

### - Einen anderen Lösungsweg, auf den hier näher eingegangen wird, beschreitet die Bauchemie. /6, 7, 8/

Aus der Mörtelerzeugung sind Verzögerer bekannt, die eine einwandfreie Verarbeitung des Materials bis zu drei Tagen ermöglichen /9/.

Aufgrund dieser Erfahrungen wurden Mittel und Wege gesucht, um Spritzbeton, sowohl Trocken- als auch Naßspritzbeton, für längere Zeit zu verzögern bzw. zu stabilisieren. Mit den heute vorhandenen Produkten kann die Zementhydratation bis zu drei Tage unterbunden werden.

Bei Bedarf ist durch die Zugabe eines Beschleunigers trotzdem ein rasches Abbinden des Spritzbetons jederzeit erzielbar.

Diese Verzögerer finden auch bei Lieferbetonwerken Anwendung. Sie werden benützt, um Restbetone für eine Verwendung am nächsten Tag zu stabilisieren, des weiteren um Wasser zu reduzieren /10/.

## 2. Untersuchungsziel

Ziel des vorliegenden Untersuchungsprogrammes war es, die Langzeitauswirkungen von Verzögerer und Beschleuniger auf die Betonqualität darzustellen.

Wie aus anderen Untersuchungen /11,12,13/ hervorgeht, können Zusatzmittel vor allem bei höheren Dosiermengen negative Auswirkungen auf das Langzeitverhalten der damit erstellten Spritzbetone haben. Da die vorliegenden Produkte einen starken Eingriff auf den Hydratationsvorgang darstellen (Verzögerung über längere Zeiträume und anschließende Beschleunigung), waren die Einflüsse auf verschiedene technologische Eigenschaften nach 28 Tagen und nach einem Jahr nach der Herstellung von Interesse.

### 3. Versuchsbedingungen

In der vorliegenden Untersuchungsreihe wurden zwei Verzögerersysteme für das Naßspritzverfahren untersucht. Durch Zusatz von Verzögerer wurde dabei die Zementhydratation bis zu einem Tag unterbunden, der Spritzbeton anschließend an der Düse mit Beschleuniger versetzt und die gewohnte hohe Frühfestigkeit erreicht.

Die Versuche wurden mit folgenden Bedingungen durchgeführt:

#### a) Mischanlage - Versuchsort:

Der Beton wurde in einer modernen vollautomatischen Mischanlage eines Lieferbetonwerkes erzeugt und mittels Fahrmischer in ca. 20 minütigem Transport zum Versuchsort gebracht. Damit war gewährleistet, daß nur frischer Spritzbeton zum Einsatz gelangte.

Die Frischbetonprüfung erfolgte im Labor der Mischanlage.

Als Versuchsort stand ein konventionell ausgebrochener Straßentunnel zur Verfügung.

#### b) Ausgangsmischung:

Nach Überprüfung der Ausgangssieblinien wurde der Beton mit den zwei Kornfraktionen 0/4 und 4/8 unter Zugabe von 400 kg Portlandzement PZ 375 HS je Kubikmeter und einem Wasserzementfaktor  $W/Z = 0,5$  hergestellt. Das Ausbreitmaß ohne Zusatzmittel lag bei 34 cm, nach Zugabe erhöhte es sich je nach Dosierung auf 60 bis 70 cm.

Als Frischbetonrohddichte wurde  $2375 \text{ kg/m}^3$  ermittelt. Die 28 Tage Würfeldruckfestigkeit dieses Ausgangsbetons wird mit  $51 \text{ N/mm}^2$  angegeben.

#### c) Versuchsreihen:

Als Spritzgeräte standen zwei verschiedene, moderne, für den Spritzbetoneinsatz modifizierte Kolbenpumpen mit Spritzarm zur Verfügung.

Weiters kamen zwei verschiedene Verzögerer (mit A und B bezeichnet) zum Einsatz.

Um den Einfluß des Fließmittels nachzuweisen, enthalten die Proben Nr. 2 und 11 nur Fließmittel, während die restlichen Proben

Fließmittel und Verzögerer enthalten, wobei der Verzögerer in unterschiedlicher Dosierung zugegeben wurde.

Die Proben wurden nach unterschiedlicher Vor-Lagerungsdauer (Als Vor-Lagerungszeit wird jener Zeitraum bezeichnet, der zwischen der Mischung des Betons und dem Spritzvorgang liegt) verspritzt. Dabei war das Ausbreitmaß in jedem Fall größer 50 cm.

Die Beschleunigerdosierung von ca. 6 % des Zementgewichtes erfolgte über eine in den Hydraulikkreislauf der Betonpumpe integrierte Dosieranlage an der Düse (eine kurze Dünnstromförderstrecke war nachgeschaltet). Um die Pulsation des Materialstromes zu vergleichen, wurde die Dehnung des Spritzschlauches über die Zeit gemessen (Bild 1). Dadurch ließen sich Aufschlüsse über die Güte des Pumpvorganges erzielen.

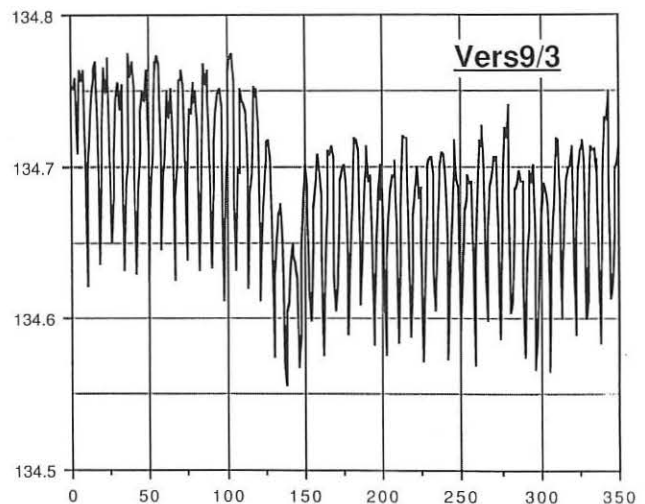


Bild 1: Pulsation des Spritzschlauches (Dünnstrombereich) infolge der Kolbenbewegungen und Umschaltphasen der Betonpumpe

#### d) Meßprogramm:

Folgende Werte wurden gemessen:

- Wasser/Zementfaktor
- Dichte
- Temperaturen
- Ausbreitmaß
- Erstarrungsverlauf
- Druckfestigkeitsverlauf
- Spaltzugfestigkeit
- E-Modul
- Frostbeständigkeit
- kapillares Saugen
- Wasserundurchlässigkeit
- Schwinden

#### 4. Interpretation der Versuchsergebnisse

Ausgewählte Versuchsergebnisse sind im folgenden getrennt nach den Zusatzmittelsystemen A oder B erläutert. Auf die Präsentation der Ergebnisse der Spaltzugfestigkeits- und Frostbeständigkeitsprüfung, sowie der Ermittlung des kapillaren Saugens und der Eindringtiefe bei der Wasserundurchlässigkeitsprüfung wird verzichtet. Sie ergaben die etwa gleichen Tendenzen wie die angeführten Versuchsergebnisse.

##### 4.1 Serie A

Für den Baustelleneinsatz ist nicht nur die Endfestigkeit wichtig, sondern auch das Verhalten des jungen Spritzbetons. Daher wurde die Frühfestigkeit bzw. der Festigkeitsverlauf überprüft.

In Bild 2 sind die Ergebnisse der Serie A als Band dargestellt. Bei ausschließlicher Verwendung von Fließmittel werden gute Frühfestigkeiten erreicht. Mit Verzögerer und ausgenutzter Vor-Lagerungszeit sind die Werte etwa gleich, während mit Verzögerer und sofortiger Verarbeitung die Frühfestigkeit geringere Werte aufweist.

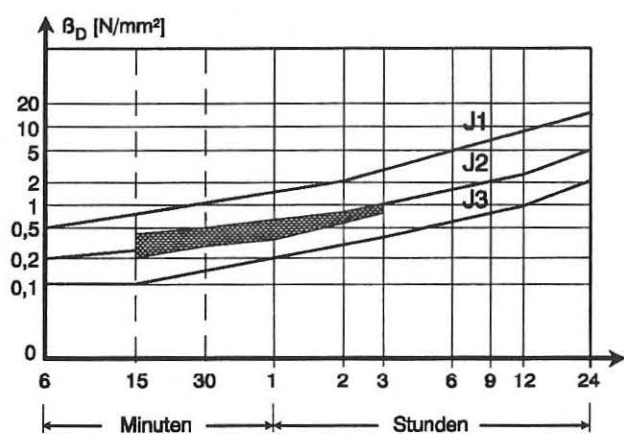


Bild 2: Bandbreite der Frühfestigkeiten der mit System A verzögerten Spritzbetone

In Bild 3 ist das Ergebnis der Druckfestigkeitsentwicklung der Spritzbetone mit dem Verzögerer A dargestellt.

Die Bohrkern wurden bis etwa zwei Wochen nach dem Spritzen gebohrt. Die Spritzkisten vor dem Bohren und die Kerne nach dem Bohren wurden laufend feucht gehalten. Nach 28 Tagen wurde ein Teil der Proben unter Wasser, ein Teil bei Raumklima 20/65 weitergelagert.

Die Probe 2 wurde ohne Verzögerer nur mit 0,8 % Fließmittel sofort (nach 0 Stunden -0h-)

verarbeitet und weist je nach Lagerung der Kerne (F = unter Wasser, T = trocken) unterschiedliche Druckfestigkeiten nach 360 Tagen auf.

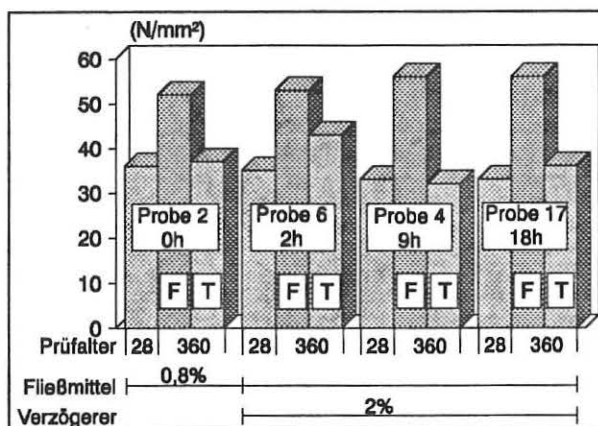


Bild 3: Druckfestigkeiten nach 28 und 360 Tagen der Proben des Verzögerersystems A bei unterschiedlichen Vorlagerungszeiten der Ausgangsmischung  
F... Wasserlagerung  
T... Trockenlagerung

Bei Trockenlagerung ist fast kein Anstieg zwischen 28 und 360 Tagen feststellbar.

Die Proben 6, 4 und 17 wurden mit 2 % Verzögerer versetzt und nach 2, 9 und 18 Stunden Vor-Lagerungsdauer verarbeitet.

Bei Trockenlagerung nimmt die Festigkeit mit höherer Vor-Lagerungsdauer leicht ab, während sie bei Feuchtlagerung mit Zunahme der Vor-Lagerungsdauer etwas steigt.

Es kann festgestellt werden, daß sich die Zugabe des Verzögerers bei Ausnutzung der möglichen Vor-Lagerungsdauer positiv auswirkt.

Die gleiche Tendenz ist beim E-Modul (Bild 4) zu beobachten. Daß der E-Modul bei Trockenlagerung etwas abnimmt wird bereits in /13/ erwähnt.

##### 4.2 Serie B

In Bild 5 sind die Frühfestigkeiten (dargestellt als Band) der Serie B wiedergegeben. Bei ausschließlicher Verwendung von Fließmittel werden durchschnittliche Werte erreicht.

Mit Verzögerer und ausgenutzter Vor-Lagerungszeit werden geringere Werte erreicht, während bei sofortiger Verarbeitung höhere Werte erzielt werden.

In Bild 6 ist das Ergebnis der Druckfestigkeitsentwicklung mit dem verwendeten Verzögerer B dargestellt.



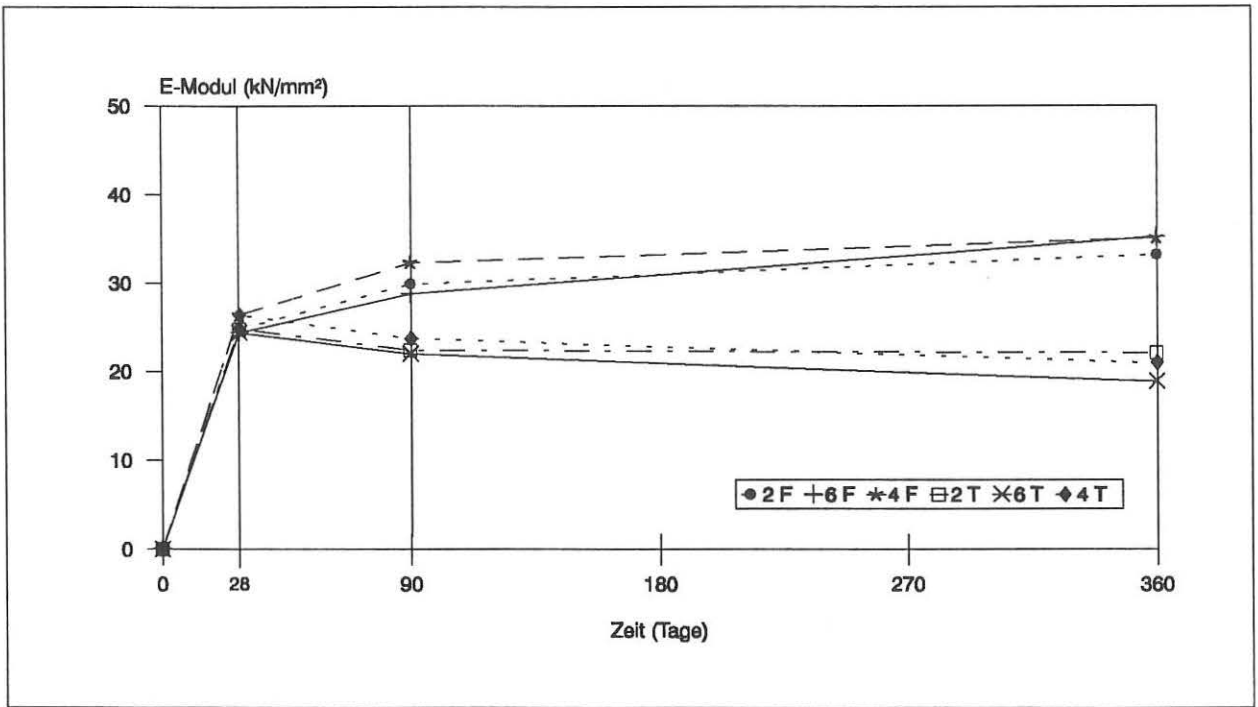


Bild 4: Entwicklung des E-Moduls über die Zeit der Proben des Verzögerungssystems A bei verschiedenen Vor-Lagerungszeiten (2 = 0h, 6 = 2h, 4 = 9h) der Ausgangsmischung (F ... Wasserlagerung, T ... Trockenlagerung)

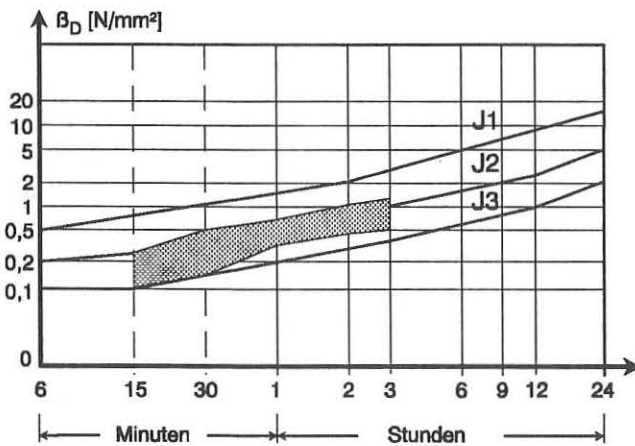


Bild 5: Bandbreite der Frühfestigkeiten der mit System B verzögerten Spritzbetone

Bei dieser Serie wurde die Probe 11 ohne Verzögerer nur mit 0,8 % Fließmittel hergestellt und sofort verarbeitet, während die Proben 7 und 9 mit 1,2 % Verzögerer, 8 und 10 mit 1,7 % Verzögerer versetzt wurden.

Auch hier ist kein negativer Einfluß des Verzögerers feststellbar.

Mit zunehmender Vor-Lagerungsdauer (2 und 16 Stunden) kann nach 28 Tagen eine erhöhte Festigkeit nachgewiesen werden. Gleichfalls ergibt

die Erhöhung der Dosierung des Verzögerers von 1,2 % auf 1,7 % eine Zunahme der Festigkeit.

Nach 360 Tagen ist bei Feuchtlagerung eine Zunahme der Festigkeit nachzuweisen, während bei Trockenlagerung ein leichter Abfall eintritt.

Wie die Bilder 7 und 8 (nächste Seite) zeigen, wird die Tendenz durch die Ergebnisse des E-Moduls der Serie B bestätigt.

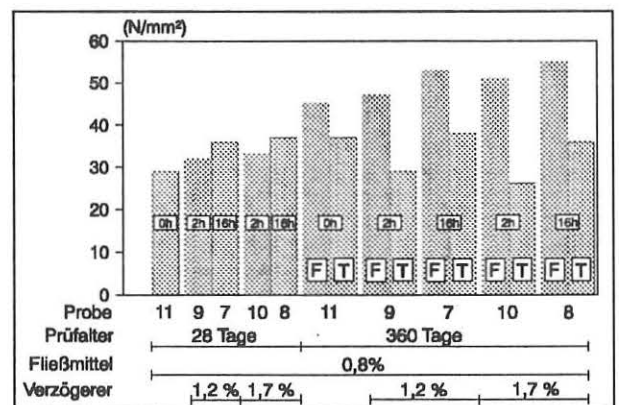


Bild 6: Druckfestigkeiten nach 28 und 360 Tagen der Proben des Verzögerersystems B bei verschiedenen Vor-Lagerungszeiten der Ausgangsmischung F... Wasserlagerung T... Trockenlagerung

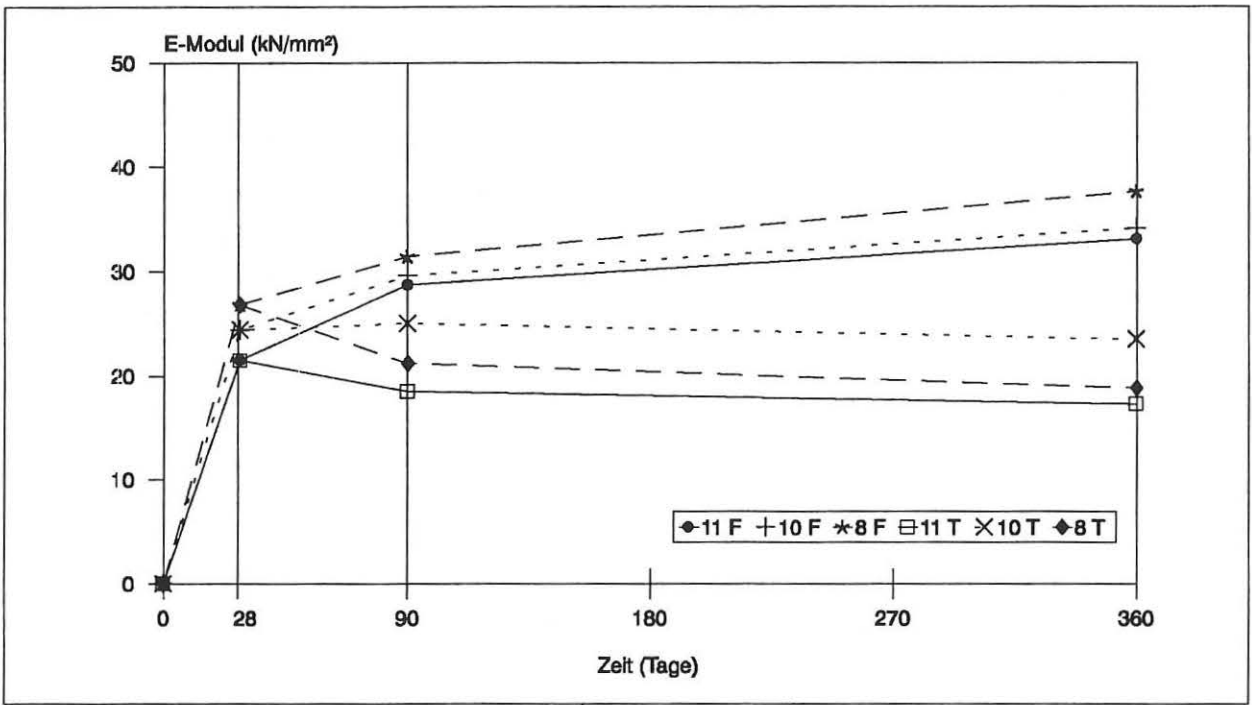


Bild 7: Entwicklung des E-Moduls über die Zeit der Proben des Verzögerersystems B bei unterschiedlichen Vor-Lagerungszeiten der Ausgangsmischung (11 = 0h, 10 = 2h, 8 = 16h)  
 F ... Wasserlagerung  
 T ... Trockenlagerung

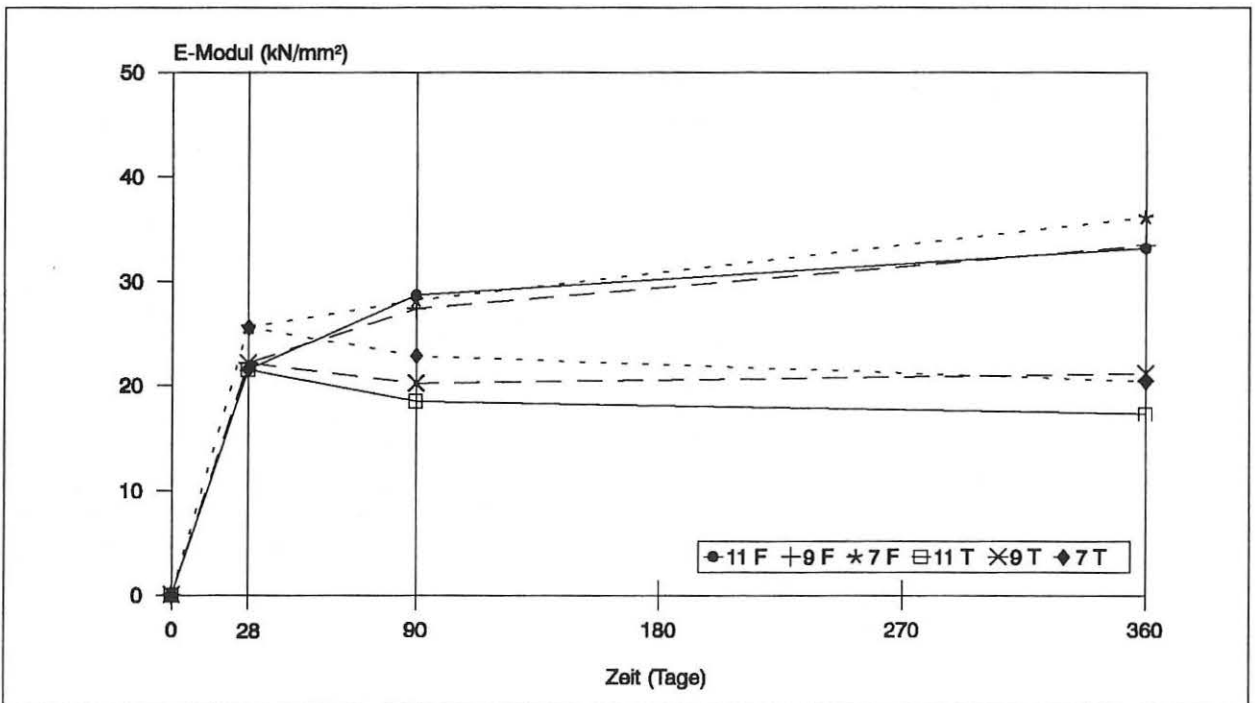


Bild 8: Entwicklung des E-Moduls über die Zeit der Proben des Verzögerersystems B bei unterschiedlichen Vor-Lagerungszeiten der Ausgangsmischung (11 = 0h, 9 = 2h, 7 = 16h)  
 F ... Wasserlagerung  
 T ... Trockenlagerung

## 5. Zusammenfassung

In vorliegender Untersuchungsreihe wurden 2 Verzögerungssysteme für das Naßspritzverfahren untersucht. Durch Zusatz von Verzögerer wurde dabei die Zementhydratation bis zu einem Tag unterbunden, der Spritzbeton anschließend an der Düse mit Beschleuniger versetzt und die gewohnte hohe Frühfestigkeit erreicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß dieses Verfahren technisch anwendbar ist und der Verzögerer auf das Langzeitverhalten des Spritzbetons nachweisbar keinen negativen Einfluß nimmt.

Die erzielten Festigkeiten und Güteeigenschaften sind zufriedenstellend.

Die Kosten des Verfahrens sind kalkulierbar.

Als Nachteil wird der hohe Anteil an chemischen Zusatzmitteln empfunden, der eventuell zu einer hohen Eluierbarkeit des Spritzbetons führen könnte.

Der Einsatz dieser Verzögerer wird in der Regel auf spezielle Anwendungsfälle beschränkt bleiben, bei diesen aber zu einem guten Ergebnis führen.

## 6. Literatur

- /1/ **Österr. Betonverein:**  
Richtlinie Spritzbeton, Teil 1, S 11, Wien 1989.
- /2/ **Österr. Betonverein:**  
Richtlinie Spritzbeton, Teil 2, S 20-22, Wien 1991.
- /3/ **Werthmann, E.:**  
Praktische Erfahrung mit PSZ-400-Spritzbeton. Zement und Beton, S164 - 165, 4/87.
- /4/ **Alberts, C.; Kramers, M.:**  
Swedish shotcrete equipment and developments in fibrous shotcrete. American Concrete Institute, ACI - Publication SP-54, 254-268, 1977.
- /5/ **Zimmerling, D.:**  
Frischbeton am Einsatzort. In: Tagungsband Spritzbetontechnologie. Innsbruck: Institut für Baustofflehre und Materialprüfung, Innsbruck 1993.
- /6/ **Drs, J.F.:**  
New Advances in Shotcrete Additives-The Delvo System. In: Proceedings Conf. on Shotcrete for Underground Support V, Uppsala: Engineering Foundation, 1990.
- /7/ **Fischer, H.:**  
Steuerung der Zementhydratation von Spritzbeton - Praxiseinsatz beim Flurlinger Tunnel. Schweizer Baublatt 102 (1991) 4, S 26-32.
- /8/ **Bracher, G.:**  
Zusatzmittel für die moderne Spritzbetontechnologie. Europäisches Symposium für Tunnelbau, Olten, 5. Februar 1992.
- /9/ **Wien Beton (Firmenunterlagen):**  
Fertig-Mörtel
- /10/ **n.n.:**  
Chemical system puts hydration on hold for hours or even days. Concrete Construction. May 1988.
- /11/ **Manns, W.; Neubert, B.; Zimbelmann, R.:**  
Spritzbeton im Test - Festigkeitsentwicklung und Verformungsverhalten. In: Beton 37 (1987) 8, S 317-319.
- /12/ **Kern, E.:**  
Naßspritzen mit Aluminatbeschleuniger bei einem Autobahntunnel. In: Tagungsband Spritzbeton-Technologie. Institut für Baustofflehre und Materialprüfung, Innsbruck 1987.
- /13/ **Lukas, W.; Kusterle, W.:**  
The Influence of Water Glass on the Technological Parameters of Shotcrete. In: Proceedings Conf. on Shotcrete for Underground Support V, Uppsala: Engineering Foundation, 1990.

