

1634

T 3120

| | | |
|------------|-----------------|-----------------------|
| RUB | Lehrstuhl für | Kurzbericht - DBV 257 |
| | Baustofftechnik | Seite 1 von 5 |

Kurzbericht – DBV 257

„Prüfverfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit alkalifreier Beschleuniger“

Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher
Dipl.-Ing. Hursit Ibuk



KB

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Mit der Entwicklung alkalifreier Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbetone konnten mehrere, bisher vor allem im Tunnelbau aufgetretene Probleme gelöst werden. Insbesondere haben diese Produkte gegenüber den klassischen Beschleunigern den Vorteil, dass infolge des deutlich reduzierten Natrium- und Kaliumanteils auch die Alkalität im Spritzbeton und damit dessen Eluierbarkeit entsprechend vermindert wird. Ebenso verhalten sich diese alkalifreien Beschleuniger in der Früh- und Endfestigkeit günstiger als die früher auf hohen Alkaligehalten basierenden Spritzbeton-Zusatzmittel. Obwohl die alkalifreien Beschleuniger der neuesten Generation einen hohen Wirkstoffanteil aufweisen, hängt ihr Wirkungsgrad nach wie vor auch maßgeblich von den chemischen, mineralogischen und physikalischen Eigenschaften des jeweils verwendeten Zement ab.

Für die Qualitätskontrolle auf der Baustelle ist es somit sehr wichtig, aber gleichzeitig auch schwierig, die Gleichmäßigkeit dieser Beschleuniger hinsichtlich deren Auswirkung auf das Erstarrungsverhalten mit dem jeweiligen Zement zu prüfen. Zur raschen Überprüfung der Wirksamkeit von Beschleunigern, bei der das Erstarrungsverhalten von damit versetzten Zementleimen bestimmt wird, fehlt bisher ein geeignetes Prüfverfahren, das ohne großen Aufwand auch auf der Baustelle durchgeführt werden kann.

Im Rahmen dieses vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V. finanzierten Forschungsprojektes wurde eine spezielle Misch- und Prüftechnik entwickelt, mit der sowohl ausreichend homogen mit Beschleunigern vermischte Zementleime hergestellt als auch anschließend sofort das Erstarrungsverhalten von diesen ermittelt werden kann. Kernstück dieser Mischapparatur ist eine Zweikomponenten-Mischanlage, bei der Beschleuniger und Zementleim erst unmittelbar vor der Mischstrecke vermengt werden.

2 Misch- und Prüfverfahren

2.1 Prinzip und Anforderungen

Ein vorab definiert hergestellter Zementleim und der beizumischende Beschleuniger werden in zwei getrennten Kammern vorgehalten. Durch synchrones Auspressen der beiden flüssigen bzw. zähflüssigen Komponenten – bei denen das vorgegebene Mischungsverhältnis (Dosiermenge) berücksichtigt wird – wird in einer unmittelbar anschließenden Mischstrecke der Beschleuniger homogen in den Zementleim eingemischt und dieser direkt in den Prüfring (Vicat-Ring) gefüllt. In diesem kann durch Penetrationsprüfungen, die innerhalb von rd. 40 sec nach dem ersten Vermischen beginnen können, das Erstarrungsverhalten vom frühesten Zeitpunkt an erfasst werden.

Das zu entwickelnde Prüfverfahren muss dabei folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Vermischung des Zementleims mit dem Beschleuniger muss innerhalb kürzester Zeit (max. rd. 40 sec) zu einem homogenen Gemisch führen.
- Unmittelbar daran anschließend müssen die Erstarrungsprüfungen beginnen können.
- Die Prüfergebnisse müssen reproduzierbar sein.
- Das Verfahren muss mit vertretbarem Aufwand auch auf Baustellen bzw. in Baustellenlabors anwendbar sein.

2.2 Entwicklung eines Prototyps

- Mischapparatur:

Die nachfolgend beschriebene Mischapparatur stellt einen Prototyp dar, auf der parallel zwei unterschiedlich große Kartuschen mit röhrenförmigen Querschnitten angeordnet sind (Bild 1). Die größere Kartusche für den vorgemischten Zementleim hat immer gleiche Größe. Demgegenüber werden für den Beschleuniger unterschiedliche Kartuschen eingesetzt, um darüber verschiedene Dosierungen (in Abstufungen von 1 % vom Zementgewicht) einstellen zu können. Durch das Vordrücken eines Kolbens in die Kartusche wird der vorgemischte Zementleim in eine Zwischenkammer gepresst.

Synchron dazu wird auch in die BE-Kartusche ein Kolben gedrückt – im vorliegenden Fall durch eine gekoppelte Führungsscheibe –, so dass der BE parallel dazu ebenfalls in die o.g. Zwischenkammer eingepresst wird.

Beide Komponenten werden anschließend aus der Zwischenkammer in den statischen Mischer gepresst und dort homogen vermengt.

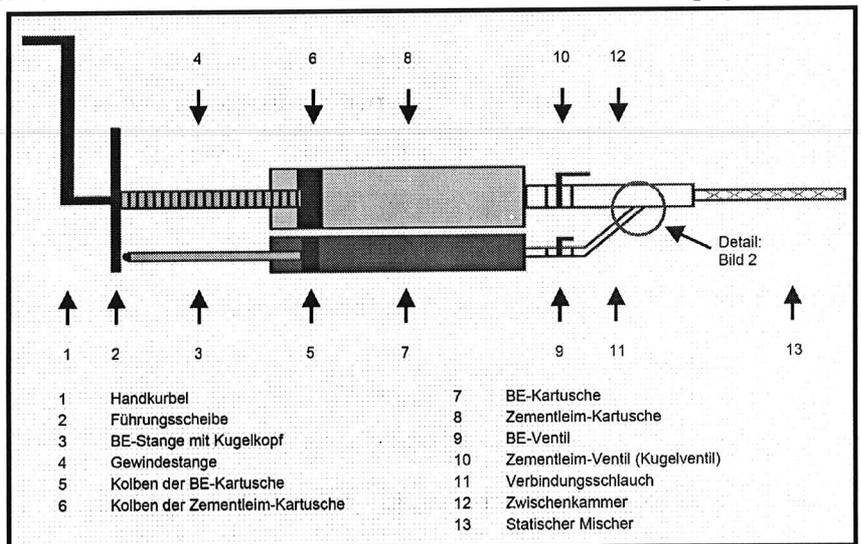


Bild 1: Prinzipkizze (oben) und Originalbild (unten) der entwickelten Mischapparatur

- Zuführung des Beschleunigers:

Als maßgebend hat sich u.a. die Art der Zuführung des Beschleunigers in die Zwischenkammer erwiesen. Es wurden vier Varianten der BE-Zuführung eingesetzt und erprobt (Bild 2). Die Zuführung des Beschleunigers erfolgte am günstigsten über ein 3-kanüliges Röhrrchen (Variante D), das in den Zementleimstrom einbindet. Damit war sowohl ein nahezu ungehinderter Zementleimstrom als auch eine gute Eindüsung des Beschleunigers ohne lokale Erstarrungsprobleme möglich.

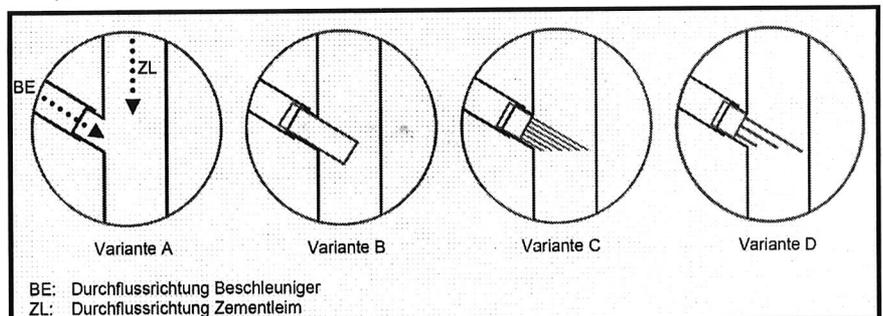


Bild 2: Übersicht über die untersuchten Varianten der BE-Zuführung in die Zwischenkammer (Prinzipkizzen)

- Mischkörper:

Um eine möglichst homogene Mischung des Beschleunigers mit dem Zementleim vor dem Erstarren zu erlangen, wurden vier verschiedene Mischertypen mit rohrförmigen Gehäusen untersucht, wobei alle jeweils noch in zwei verschiedenen Längen (rd. 147 mm; rd. 207 mm) erprobt wurden. Der Durchmesser des Mischrohrs betrug bei allen untersuchten Mischern 17 mm (außen) bzw. 13 mm (innen).

Um die Mischwirkung qualitativ beurteilen zu können, wurde zunächst an Stelle des Beschleunigers eine dickflüssige rote Farbdispersion über das Dosiersystem (Variante D) in die Zwischenkammer und somit in den vorgemischten Zementleim (CEM I 42,5 R; w/z-Wert = 0,40) eingedüst. Der Pigmentanteil, bezogen auf den Zementleim, betrug 4,5 M.-%. In der anschließenden Mischstrecke wurden die beiden Komponenten beim Durchlaufen der verschiedenen statischen Mischer miteinander vermengt. Zur Bewertung

der jeweils erreichten Mischwirkung wurde am Ende der Mischstrecke der Zementleim in einen becherförmigen Behälter ($\varnothing = 8 \text{ cm}$) gefüllt. An gesägten Schnittflächen der erhärteten Zementleimproben wurde die Gleichmäßigkeit der Farbeinmischung visuell beurteilt.

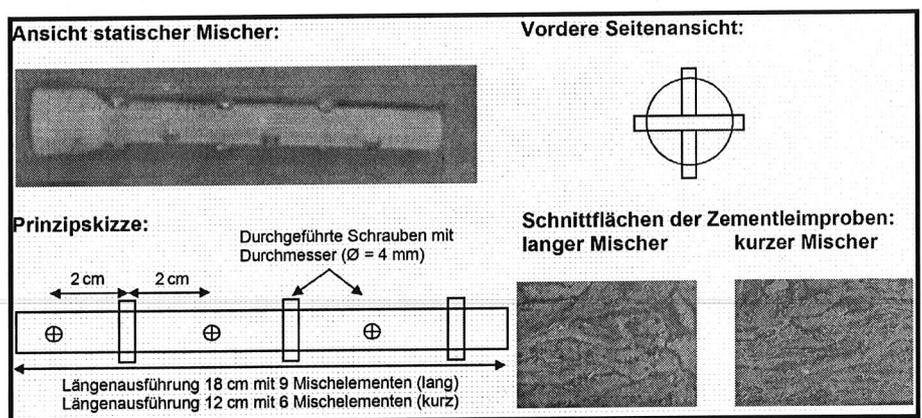


Bild 3: Abbildung des günstigsten Mischertyps und Prinzipskizze des Mischrohrs mit zugehörigen Schnittflächen

Der Einsatz des Mischertyps mit quer eingebauten Verdrängungskörpern (Bild 3) wies eine hinreichende Mischwirkung auf, mit der auch Zementleim-BE-Mischungen mit praxisrelevanten BE-Dosierungen herstellbar waren.

2.3 Modifizierte Erstarrungsprüfung

Aufgrund der notwendigerweise raschen Durchmischung lassen sich auch mit den beschriebenen Einmischsystemen gewisse Inhomogenitäten nicht vollständig ausschließen. Damit können in der Zementleimprobe im Vicatring feinste Teilbereiche mit etwas mehr und solche mit etwas weniger Beschleuniger vorliegen. Um ein repräsentatives Ergebnis hinsichtlich der Wirksamkeit von unterschiedlichen Beschleunigern zu gewinnen, ist es daher zweckmäßig anstelle der klassischen Vicat-Nadel einen Tauchkonus nach DIN 1068, Teil 2 mit gewisser Verdrängung einzusetzen. Die Zusatzmasse zur Bestimmung von Erstarrungszeiten wird für diese modifizierte Erstarrungsprüfungen beibehalten, so dass das Fallgewicht 304,5 g beträgt.

Die Zeitspanne, die vom Austritt der beschleunigten Zementleimprobe aus dem statischen Mischer bis zu dem Zeitpunkt vergeht, bei dem der Abstand zwischen Tauchkonus und Glasplatte $6 \pm 3 \text{ mm}$ beträgt, kann als Erstarrungsbeginn des beschleunigten Zementleims definiert werden. Im Gegensatz zu den Angaben der DIN EN 196-3 wird bei der Prüfung des Erstarrungsendes auf einen Wechsel der Probenstirnfläche verzichtet. Auch hierzu wird der vorgenannte Tauchkonus verwendet. Sobald der Abstand zwischen Glasplatte und Tauchkonusspitze 39,5 mm beträgt, ist per Definition das Erstarrungsende erreicht.

3 Untersuchte Leim-BE-Kombinationen

Um die Anwendungsgrenzen dieses Prüfverfahrens festzustellen und seine Reproduzierbarkeit nachzuweisen, wurden damit verschiedene Zementleim-BE-Kombinationen untersucht. Dabei wurden drei verschiedene alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger (BE 1 - 3), zwei verschiedene Zemente (CEM I 32,5 R; CEM I 42,5 R) und vier verschiedene Wassermenge (0,30; 0,35; 0,40; 0,45) in die Untersuchungen einbezogen. Um den Einfluss von unterschiedlichen BE-Dosierungen auf das Erstarrungsverhalten zu erfassen, wurde auch die Zugabemenge der Beschleuniger variiert.

4 Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit des entwickelten Prüfverfahrens

Um die Reproduzierbarkeit des entwickelten Prüfverfahrens nachzuweisen, wurden folgende mit BE vermischte Zementleimmischung mehrfach hergestellt und untersucht:

A: CEM I 32,5 R; w/z = 0,35; BE 3; Dosierung: 8,0 % v. Zem. (4-fach; Bild 4 links)

B: CEM I 42,5 R; w/z = 0,45; BE 1; Dosierung: 6,5 % v. Zem. (3-fach; Bild 4 rechts)

In Bild 4 sind die Eintauchtiefen des modifizierten Vicatversuchs für die am CEM I 32,5 R 4-fach und CEM I 32,5 R 3-fach durchgeführten Erstarrungsprüfungen in den zeitlich relevanten ersten Minuten dargestellt.

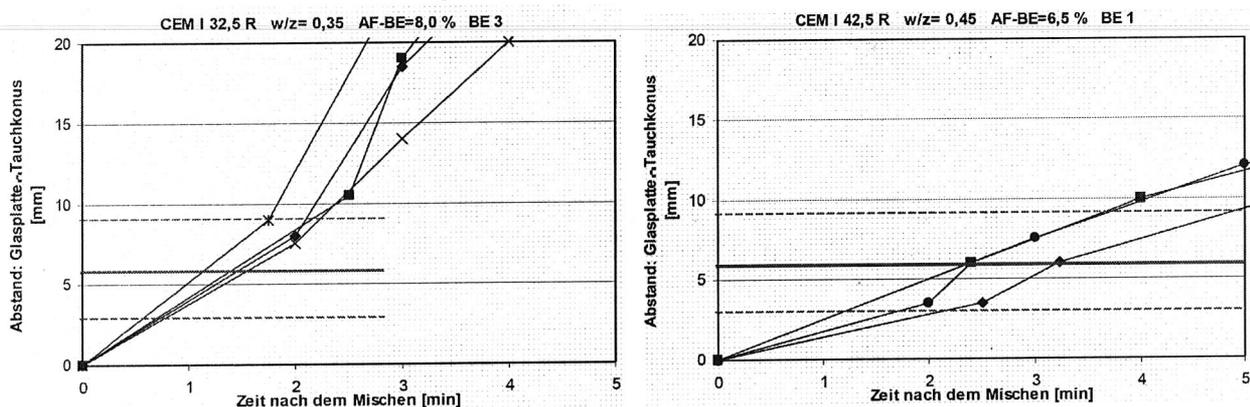


Bild 4: Mehrfachmessungen zum Erstarrungsverhalten der Leim-BE-Kombination A (links) und B (rechts) in den maßgebenden Anfangsminuten des Erstarrens

Bei allen vier Wiederholversuchen (Bild 4 links) blieb der Tauchkonus innerhalb von 70 bis 94 Sekunden nach dem Mischen 6 mm über der Glasplatte im Zementleim stecken. Im Mittel wurde dieser für den Erstarrungsbeginn definierte Abstand 84 Sekunden nach dem Mischen erreicht. Die größte Abweichung von diesem Mittelwert betrug 14 Sekunden. Bei dem am CEM I 42,5 R 3-fach durchgeführten Erstarrungsprüfungen (Bild 4 rechts) lag der Erstarrungsbeginn bei 161 ± 33 Sekunden nach dem Mischen. Aus diesen beiden Reihen von Wiederholversuchen lässt sich ableiten, dass mit den hier verwendeten Misch- und Prüfverfahren unter den gegebenen Randbedingungen das Erstarrungsverhalten von mit BE vermischten Zementleimen durchaus reproduzierbar erfasst werden kann.

5 Ergebnisse zum Erstarrungsverhalten verschiedener Leim-BE-Kombinationen

Einfluss der BE-Dosierung auf das ermittelte Erstarrungsverhalten von beschleunigten Zementleimproben:

In Bild 5 ist das Erstarrungsverhalten für Zementleimmischungen mit BE-Dosierungen von 2,00; 3,75; 5,75 und 8,00 % von der Zementmasse mit ansonsten identischer

Zementleimzusammensetzung (CEM I 42,5 R; $w/z = 0,35$; BE 1) dargestellt. Die Messungen endeten mit Erreichen des jeweiligen Erstarrungsendes.

Mit dieser Versuchsreihe konnte somit nachgewiesen werden, dass mit dem entwickelten Misch- und Prüfverfahren das Erstarrungsverhalten bei üblichen BE-Dosierungen ausreichend differenziert und der Praxis entsprechend erfasst werden kann. Die Unterschiede im Erstarrungsverhalten verschiedener beschleunigter Zementleimproben können dabei eindeutig ausgewiesen werden.

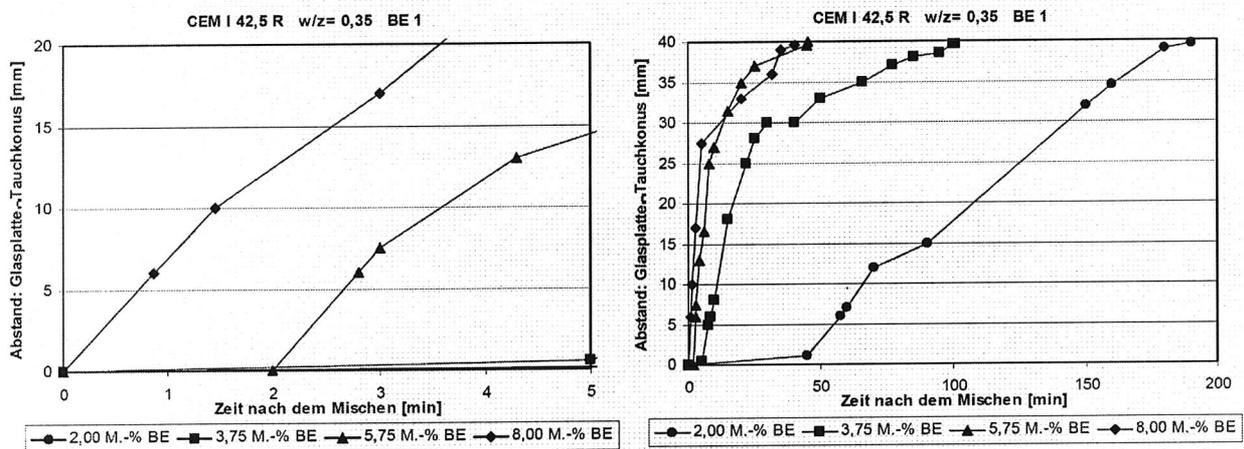


Bild 5: Erstarrungsverhalten von Zementleim aus CEM I 42,5 R ($w/z = 0,35$) mit verschiedenen Dosierungen; links: innerhalb der ersten 5 Minuten; rechts: bis zum Erstarrungsende

6 Anwendungsgrenzen des entwickelten Prüfverfahrens

Aus den durchgeführten Versuchen wurde deutlich, dass die Erstarrungszeiten der Zementleime maßgeblich vom Zement (Art, Festigkeitsklasse), dem Wasserzementwert und der Zugabemenge des Beschleunigers abhängen. Für vergleichende Prüfungen bezüglich der Wirksamkeit von verschiedenen Erstarrungsbeschleunigern bzw. von verschiedenen Lieferchargen eines definierten BE-Produkts wird sicherlich der beim konkreten Projekt jeweils zum Einsatz kommende Zement verwendet. Dann stehen als Steuergrößen nurmehr der Wasserzementwert des Zementleims und die BE-Dosiermenge als Variable zur Verfügung, die – einmal festgelegt – bei den Vergleichsprüfungen stets konstant gehalten werden müssen.

Im Extremfall (niedriger w/z -Wert, hohe BE-Dosierung) kann das Erstarren schon so frühzeitig eintreten, dass auch mit dem hier entwickelten Misch- und Prüfverfahren die festgelegten Kennwerte nicht mehr exakt genug bestimmt werden können.

In den bisherigen Versuchen zeigte sich, dass das Misch- und Prüfverfahren in den meisten Fällen einwandfrei anwendbar ist, wenn die Zugabewassermenge höher als etwa das 1,2-fache des Wasseranspruchs zur Normsteife des verwendeten Zements war. Lediglich bei extrem hohen Beschleunigerdosierungen in Verbindung mit sehr reaktiven Zementen (z.B. CEM I 42,5 R) kann das Erstarren noch vor Verlassen der Mischstrecke eintreten und somit die Bestimmung des Erstarrungsbeginns unmöglich machen.