

Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton

Dr. Gustav BRACHER
Sika AG, Zürich

1. EINLEITUNG

Bei den meisten Anwendungen des Spritzbetons, wie z.B. Abdichtungsarbeiten, Instandsetzungen, Aufbringen von rasch tragfähigen Betonschichten und Sicherungen im Berg- und Stollenbau, müssen dem Spritzgut chemische Zusätze zur Beschleunigung des Erstarrungsvorgangs der Zementhydratation beigegeben werden. Heute werden sowohl im Trocken- als auch im Naßspritzverfahren flüssige und pulverförmige Erstarrungsbeschleuniger eingesetzt und die Dosierungsverfahren weiter entwickelt.

Die wichtigsten im Einsatz befindlichen Beschleuniger sind Kombinationen von

- Aluminiumverbindungen (Alkalialuminate, Aluminiumhydroxide, Calciumsulfoaluminate)
- Alkalicarbonate
- organische Beschleuniger (z.B. Alkali-glykolate)

Daneben sind die Beschleuniger auf Wasser-glasbasis vor allem im Naßspritzverfahren "noch" stark verbreitet.

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Erstarrungsbeschleuniger verläuft wegen der Komplexität der Sachlage (Zusammenwirken von chemischen, physikalischen, maschinen- und bautechnischen Problemen) relativ langsam. Nicht außer acht zu lassen sind bei der Entwicklung von neuen Beschleunigern wirtschaftliche Betrachtungen, so daß es immer wieder vorkommt, daß das billigere und nicht das bessere Produkt zu Einsatz kommt.

2. DIE ENTWICKLUNG VON ERSTARRUNGSBESCHLEUNIGERN

Die Erstarrungsbeschleunigung von Spritzgut ist von sehr vielen Faktoren abhängig:

- Dosierung des Erstarrungsbeschleunigers
- Temperatur
- Zement (Zementtyp, C_3A -Gehalt, Feinheit, Korngrößenverteilung, Gipsmodifikation, usw.)
- Betonrezeptur (W/Z-Wert, Zuschläge, Siebkurve, Eigenfeuchte des Zuschlags usw.)
- Spritzmaschine (Fördertechnik, Verdüsung des Abbindebeschleunigers, Mischzeit usw.)
- Düsenführer (Roboter-manipulation, Spritzbetonschichtstärke, Spritzwinkel, Düsenabstand usw.)

Aus der großen Zahl von Einflußfaktoren geht ganz klar hervor, daß Baustellenbedingungen nicht im Labor oder Applikationsversuch simuliert werden können. Dies führt dazu, daß bei den meisten Großbaustellen der Erstarrungsbeschleuniger den Baustellenbedingungen angepaßt werden muß und Vorabklärungen mittels Eignungsprüfungen getroffen werden. Die Zusatzmittel-Lieferanten werden oft gezwungen, Dosierungs-garantien abzugeben.

Die meisten heute im Handel befindlichen Dosiergeräte erlauben aber keine einfache Einstellung der Dosierung. Wegen der großen Anzahl von Einflußfaktoren ist es sinnvoller, eine Qualitätsgarantie auszuhandeln. Bei auftretenden Schwierigkeiten können neben der Baustellenberatung Rückstellmuster herangezogen und analysiert werden. Erfahrungsgemäß hat sich gezeigt, daß bei den meisten auftretenden Problemen der Fehler nicht beim Erstarrungsbeschleuniger zu suchen ist. Die besten Erfolge konnten bisher erzielt werden, wenn Bauunternehmer, Spritzmaschinenlieferant und Zusatzmittel-Hersteller in gemeinsamer Zusammenarbeit die auftretenden Probleme auf dem Gebiet des Spritzbetons zu lösen versuchten.

Für den zur meisten Zeit im Labor tätigen Chemiker ist aber immer noch die Reaktion des Zementes mit dem entsprechenden Zusatzmittel von ausschlaggebender Bedeutung. Die wichtigste Aufgabe besteht darin, die auf den Baustellen gewonnenen Erfahrungen mit den entsprechenden Laborverfahren zu korrelieren.

3. LABORMESSMETHODEN

Am meisten verbreitet sind immer noch die Abbindeproben nach Vicat. Die Ergebnisse haben immer wieder zu falschen Schlußfolgerungen geführt, so daß diese Methode heute in unseren Laboratorien nur mehr selten angewendet wird. In Abbildung 1 sind die Abbindeversuche eines Zementes mit vier chemisch relativ ähnlichen Erstarrungsbeschleunigern dargestellt. Auch wenn die erhaltenen Resultate noch mit Praxisversuchen überprüft werden sollten, zeigen die Grafiken jedoch deutlich die nicht lineare Abhängigkeit der Abbindebeschleunigung von der Dosierung. Bei Schwierigkeiten mit der Abbindebeschleunigung auf der Baustelle kann somit sowohl eine Erniedrigung als auch eine Erhöhung der Dosierung, je nach System Zement/Erstarrungsbeschleuniger, zum Erfolg führen.

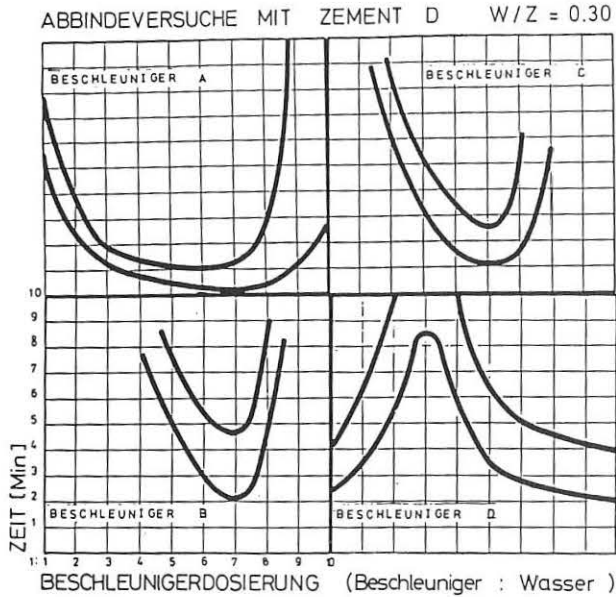


Abb.1. Die Abhängigkeit der Beschleunigerwirkung von der Dosierung bei Abbindeversuchen.

Eine sehr wertvolle Methode ist die Temperaturmeßmethode, mit der die frei werdende Reaktionswärme erfaßt wird. Die Methode hat den Vorteil, daß sie unter kontrollierten Bedingungen (Zuschläge, Temperatur, Mischvorgang) mit einem automatischen Meßsystem durchgeführt werden kann. Durch Messen der Anfangstemperaturerhöhung sowie der Verschiebung des Temperaturmaximums kann die Beschleunigerwirkung beobachtet werden. In den Abbildungen 2 und 3 sind zwei Temperatur-Meßserien mit zwei unterschiedlichen Zementen bei gleichem Erstarrungsbeschleuniger dargestellt. Zement A beschleunigt problemlos mit dem Erstarrungsbeschleuniger A. Für den Zement B konnte bisher noch kein befriedigender Beschleuniger gefunden werden. Die Temperatur-Meßmethode kann ebenfalls bei Applikationsversuchen eingesetzt werden durch Einbau von Temperaturmeßfühlern.

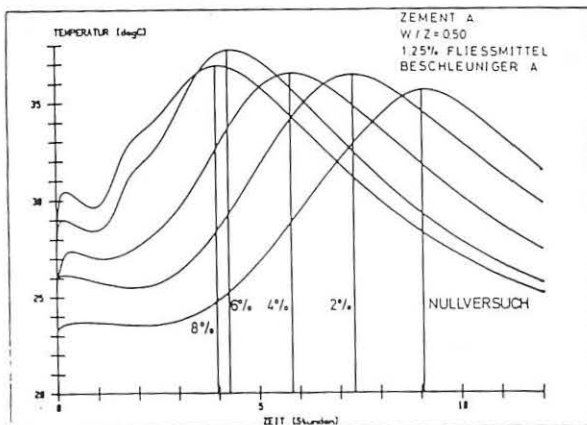


Abb.2. Temperaturverlauf eines gut reagierenden Zementes als Funktion der Beschleuniger-Dosierung.

Eine sehr erfolgversprechende Labormethode beruht auf der kernmagnetischen Resonanz (NMR). Da sich die Relaxationszeiten von chemisch gebundenem oder Kristallwasser, physikalisch adsorbiertem oder freiem Wasser - wie aus Tabelle 1 hervorgeht - um Größenordnungen unterscheiden, kann mit Hilfe von Relaxationsmessungen des adsorbierten Wassers auf die spezifische Oberfläche geschlossen werden.

Tabelle 1. Typische Relaxationszeiten von unterschiedlichen Wassermodifikationen.

Chemisch gebundenes oder kristallines Wasser	ca. 10 μ sec
adsorbiertes Wasser	ca. 10 msec
freies Wasser	ca. 1 sec

Nach (1) ist der reziproke Wert der gemessenen Relaxationszeit T_1 proportional zur spezifischen Oberfläche. Auf der anderen Seite ist die spezifische Oberfläche direkt proportional zur Druckfestigkeit (2). Durch kontinuierliches Messen der Relaxationszeit T_1 kann der Hydratationsverlauf untersucht werden, und gleichzeitig können die spezifischen Reaktivitäten der einzelnen Zemente erfaßt werden. Die Apparatur wurde mit einem Proben-sampler ausgebaut, so daß gleichzeitig der Hydratationsverlauf von mehreren Proben untersucht werden kann. Die Auswertung der Meßresultate erfolgt mit statistischen Methoden. Beachtenswert ist, daß es sich um eine zerstörungsfreie Meßmethode handelt.

Der Hydratationsverlauf der beiden besprochenen Zemente A und B ist in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Wie aus den beiden Grafiken klar hervorgeht, ist die Meßmethode sehr empfindlich und zeigt klar die unterschiedliche Reaktivität der beiden Zemente.

In den Abbildungen 6 und 7 ist der Hydratationsverlauf von zwei gleichnamigen Zementen aus unterschiedlichen Zementwerken dargestellt. Die unterschiedliche Reaktivität der beiden Zemente mit dem gleichen Erstarrungsbeschleuniger konnte mit Hilfe der Kernresonanz-Methode klar gezeigt werden, und die Baustellenerfahrung bestätigte die erhaltenen Meßresultate.

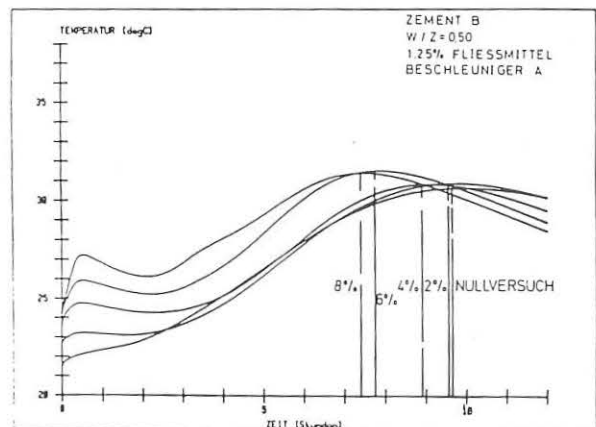


Abb.3. Temperaturverlauf eines schlecht reagierenden Zementes als Funktion der Beschleuniger-Dosierung.

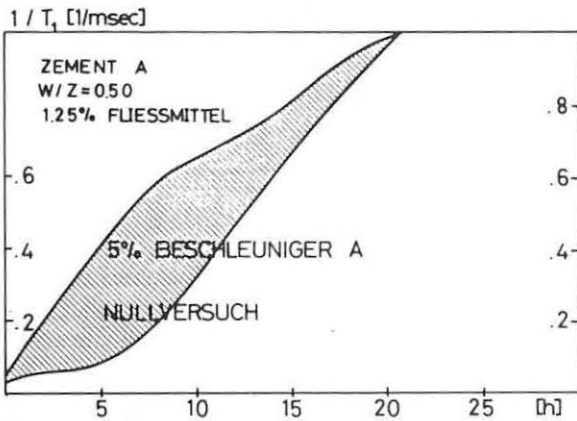


Abb. 4. Hydratationsverlauf (spez. Oberfläche mittels Kernresonanz-Messungen) eines gut reagierenden Zementes.

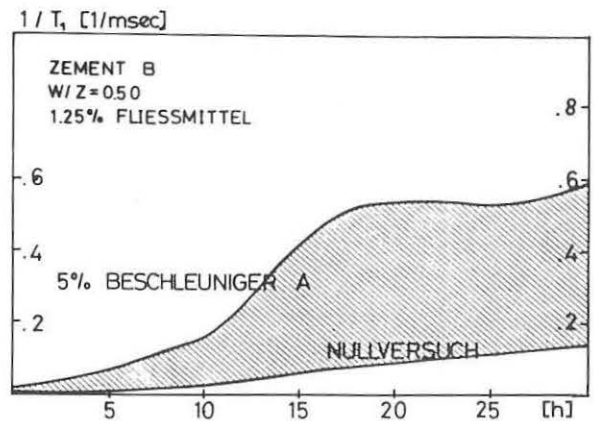


Abb. 5. Hydratationsverlauf (spez. Oberfläche mittels Kernresonanz-Messungen) eines schlecht reagierenden Zementes.

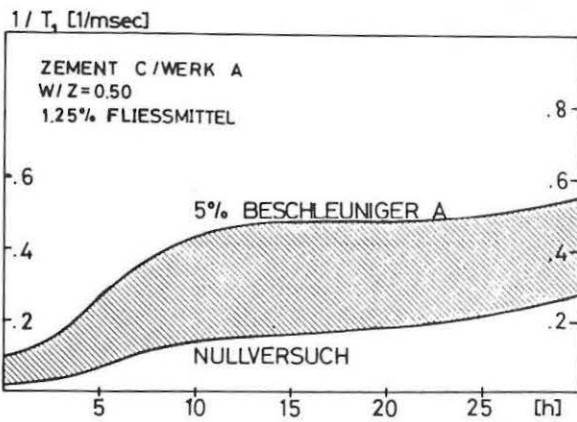


Abb. 6. Hydratationsverlauf von Zement C aus Werk A.

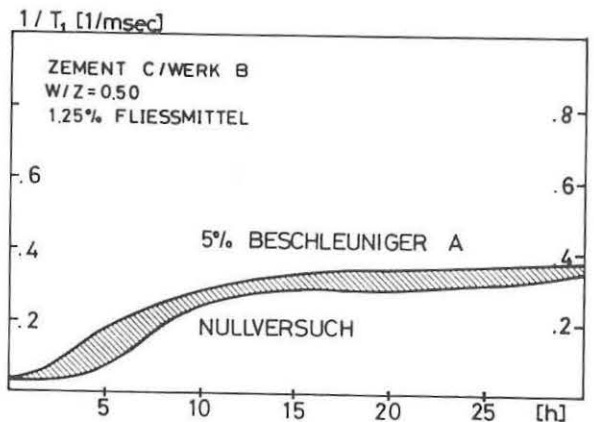


Abb. 7. Hydratationsverlauf von Zement C aus Werk B.

4. NASSSPRITZVERFAHREN

In Applikationsversuchen konnte gezeigt werden, daß auch mit Erstarrungsbeschleunigern auf Alkalialuminat-Basis erfolgreich über Kopf gespritzt werden kann, und die meist geforderten Druckfestigkeiten von 30 N/mm^2 nach 28 Tagen problemlos erreicht werden können. Neben einem geeigneten Zement und einer günstigen Siebkurve muß der steif plastische Beton mit einem Fließmittel verflüssigt werden, damit er von der Spritzmaschine gefördert werden kann ($\text{ABM} > 43 \text{ cm}$). Eine allfällige Verflüssigung mit Wasser ist zu vermeiden wegen der nachlassenden Wirkung des Erstarrungsbeschleunigers bei zunehmendem W/Z-Wert ($\text{W/Z} < 0,52$). Das Frühansteifen des Betons darf durch das Fließmittel nicht beschleunigt werden.

Nicht so ausgeprägt wie beim Wasserglas nimmt die 28-Tage-Druckfestigkeit mit zunehmender Dosierung des Erstarrungsbeschleunigers ab. Durch optimale Vermischung des Beschleunigers in den Beton (Verdüsung des Zusatzmittels, längere Mischzeiten durch Zugabe des Beschleunigers mindestens 3 Meter vor Düsenaustritt) kann die Dosierung des Abbindebe-

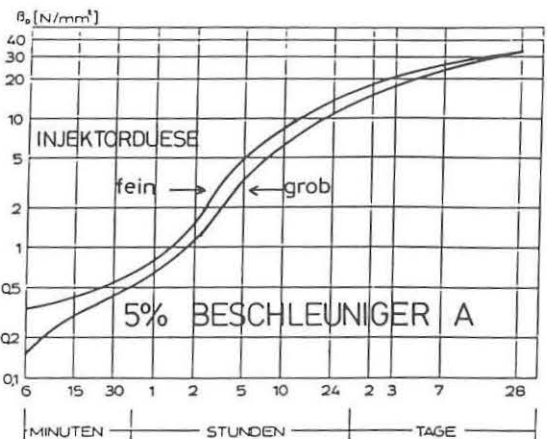


Abb. 8. Unterschiedliche Festigkeitsentwicklung von identischem Spritzgut mit verschiedenen Injektordüsen.

schleunigers reduziert werden, ohne die Anfangsbeschleunigung zu beeinflussen. In Abbildung 8 ist der Festigkeitsverlauf von zwei identischen Spritzbetonmischungen dargestellt; die Abbindebeschleuniger-Dosierung von 5 % wurde in beiden Versuchen durch Auslitern des Zusatzmittels überprüft. Die beiden Versuche unterscheiden sich lediglich durch zwei unterschiedliche Injektordüsen, durch die das Zusatzmittel verdüst wurde.

LITERATUR

1. Blinc, R. et al: Ciments - Bétons - Plâtres - Chaux; 718, S. 172 (1979).
2. Mikhail, R.Sh. et al: Cement and Concrete Research; 2, S.401 (1972).
3. Kewada, N. et al: Zement - Kalk - Gips; 20, S. 65 (1965).