Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 63 (1995)
Heft: 1

Artikel: Zusatzmittel. Teil 5, BE
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153799

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Foto: TFB-Archiv

Wenn schnelles Ausschalen erwünscht ist, können BE das Mittel der Wahl sein.

Zusatzmittel: BE

Teil 5

Beschleuniger (BE) sind chemisch wirkende Zusatzmittel, die das Erstarren und/oder das Erhärten von Beton beschleunigen.

Beschleuniger (BE) sind das Thema des fünften und letzten Teils der kleinen Serie im «Cementbulletin» über Zusatzmittel. Schwerpunkte der vorausgegangenen Teile waren Zusatzmittel im allgemeinen [1], Verflüssiger (BV) und Hochleistungsverflüssiger (HBV) [2], Luftporenbildner (LP) [3] sowie Verzögerer (VZ) [4].

Was Beschleuniger bewirken

BE sind chemisch wirkende Zusatzmittel, die das Erstarren und/oder das Erhärten von Beton beschleunigen. Eigentlich müsste man deshalb zwischen Erstarrungs- und Erhärtungsbeschleunigern unterscheiden, wie dies in der europäischen Vornorm über Zusatzmittel [5] tatsächlich geschieht:

- Erstarrungsbeschleuniger sind Zusatzmittel, «die die Zeit beim Übergang von einer Mischung vom plastischen in den festen Zustand verkürzen.»
- Erhärtungsbeschleuniger sind Zusatzmittel, «die die Frühfestigkeit beschleunigen, mit oder ohne Beeinträchtigung der Erstarrungszeit.»

Die wichtigsten Anforderungen an BE nach prEN 934.2 [5] sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.
Über gewisse Frostschutzmittel (FS), die ebenfalls zu den BE gezählt werden, wird weiter hinten im Kasten «Betonieren bei tiefen Temperaturen» informiert.

Wie BE wirken

Die Vorgänge, die bei der Umwandlung von Frischbeton in Festbeton ablaufen, wurden im Kasten «Ansteifen, Erstarren und Erhärten von

Eigenschaft	Anforderung
Erstarrungsbeschleuniger	
Luftgehalt (Frischbeton)	nicht mehr als 2 % über dem Luftgehalt von Nullbeton, sofern vom Hersteller nicht ausdrücklich anders angegeben
Erstarrungsbeginn bei 20 °C	frühestens nach 30 min
Erstarrungsbeginn bei 5 °C	mindestens 40 % früher als bei Nullbeton
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	mindestens 80 % des Nullbetons
Druckfestigkeit nach 90 Tagen	mindestens Wert, der nach 28 Tagen gemessen wurde
Erhärtungsbeschleuniger	
Luftgehalt (Frischbeton)	nicht mehr als 2 % über dem Luftgehalt von Nullbeton, sofern vom Hersteller nicht ausdrücklich anders angegeben
Druckfestigkeit nach 24 Std. (20 °C)	mindestens 120 % des Nullbetons
Druckfestigkeit nach 28 Tagen (20 °C)	mindestens 90 % des Nullbetons
Druckfestigkeit nach 48 Std. (5 °C)	mindestens 130 % des Nullbetons

Tab. 1 Anforderungen an Erstarrungs- und Erhärtungsbeschleuniger nach prEN 934.2 [5].

Foto: Sika AG, Zürich

Durch den Einsatz von BE bei der Tübbingfabrikation lässt sich Energie sparen, da weniger stark erwärmt werden muss.

Beton» im Artikel über Verzögerer ausführlich beschrieben [4]. Als kleine Hilfe wurde die darin enthaltene *Abbildung 1* auch in diesen Artikel integriert. Sie zeigt auf qualitative Weise die sich zeitlich folgenden verschiedenen Phasen der Festigkeitsentwicklung eines Betons. Erstarrungsbeschleuniger verkürzen die Zeit vom Ende der Verarbeitbarkeit des Frischbetons bis zum Beginn der messbaren Festigkeit, während Erhärtungsbeschleuniger hauptsächlich die Phasen des jungen Betons verkürzen.

Vereinfacht betrachtet, sind die Reaktionen von Tricalciumaluminat (C_3A) für das Erstarrungsverhalten und diejenigen von Tri- und Dicalciumsilikat (C_3S, C_2S) für die Festigkeitsentwicklung eines Betons bestimmend. Sie werden durch BE beeinflusst. Auf eine Besprechung der Wirkungsmechanismen der Beschleunigung muss hier verzichtet werden, da diese nur teilweise bekannt sind. Zudem bestehen grosse Unterschiede zwischen BE, die im Spritzbeton- und BE, die in anderen Bereichen eingesetzt werden.

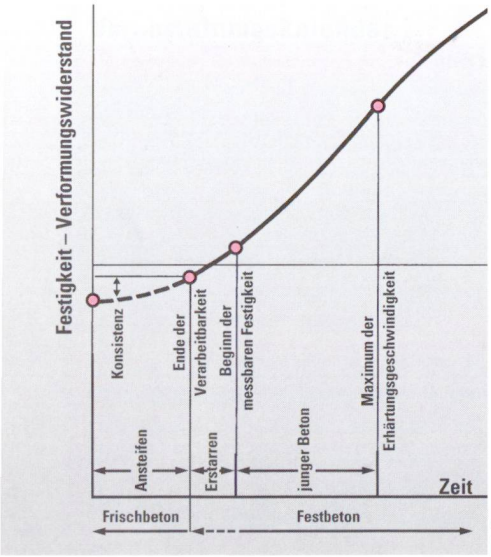

Abb. 1 Reaktionsphasen eines weichen Frischbetons (Schema) nach [13].

Beschleunigter Konstruktionsbeton

Der Einsatz von BE (oder Spezialzementen!) ist dann sinnvoll, wenn ein schneller Baufortschritt oder technische Überlegungen ein rasches Erstarren oder Erhärten des Betons erfordern. Abgesehen von Spritzbeton stehen folgende Einsatzgebiete im Vordergrund [6]:

- Betonieren bei tiefen Temperaturen
- Betonieren mit kurzen Ausschalfristen
- Betonieren in fliessenden Gewässern
- Verkürzung der Erstarrungszeit bei Reprofilierungen und Reparaturen
- schnelles Abdichten von Wasserinfiltrationen und Wassereinbrüchen mittels Zementsuspensionen und Zementmörtel

Bei den aufgezählten Anwendungen dürften meistens Erhärtungsbeschleuniger verwendet werden; Erstarrungsbeschleuniger sind im Zusammenhang mit Spritz- und Unterwasserbeton interessant.

Erhärtungsbeschleuniger ohne erstarrungsbeschleunigende Wirkung steigern die Frühfestigkeit, sind aber relativ lange verarbeitbar, da nur die Hydratation von C_3S und C_2S beschleunigt wird.

Als Erhärtungsbeschleuniger werden vor allem Calciumformiat, Calciumnitrat und Aluminiumsulfat eingesetzt [6]. Im Gegensatz zu Calciumchlorid (siehe Kasten «Das älteste Betonzusatzmittel») wirken diese Substanzen nicht korrosiv auf Stahl.

Das älteste Betonzusatzmittel

Calciumchlorid ist das älteste Betonzusatzmittel; es wurde bereits im Jahr 1886 in einem Artikel von *E. Candelot* über «Zement mit schneller Bindezeit» erwähnt [13]. Es wird in maximal 2 % der Zementmasse eingesetzt.
Calciumchlorid ist nicht nur billig, es führt auch zu Frühfestigkeitszunahmen im Bereich von 100 bis 200 %, je nach Zement, und auch die Endfestigkeiten werden oft nur leicht erniedrigt.
Seine Wirkung beruht sowohl auf der Beschleunigung der Hydratation der C_3A- als auch der C_3S-Phasen.
Als Frostschutzmittel allerdings ist Calciumchlorid nicht geeignet, denn es wird in zu niedriger Konzentration eingesetzt. Auch als Beschleuniger ist sein Anwendungsbereich sehr stark eingeschränkt: Es fördert die Stahlkorrosion und darf deshalb in Stahl- und Spannbeton nicht eingesetzt werden.

Ein wesentlicher Nachteil älterer Beschleunigergenerationen war die Verminderung der Endfestigkeit des Betons. Heute sind bereits Produkte im Handel, bei denen dieser Nachteil eliminiert wurde.
Zahlreiche Parameter beeinflussen die Wirksamkeit von BE. Besonders wichtig sind [6]:

- Dosierung (in der Regel stärkere Beschleunigung mit höherer BE-Dosierung); üblich sind 0,5 bis 2 % der Zementmasse, die direkt im Anmachwasser zugegeben werden
- Temperatur (Abnahme der Beschleunigungswirkung mit sinkender Temperatur)
- Zement (Art, Alter und Temperatur)

Durch das Zufügen von BE wird oft weniger Luftporenbildner benötigt, um auf den gleichen Luftporengehalt zu kommen. Allerdings werden gelegentlich grössere Luftporen und Abstandsfaktoren beobachtet [14].
Viele BE haben auch verflüssigende Nebenwirkungen. Dies lässt sich beispielsweise durch Reduktion des W/Z-Wertes im Vergleich zum unbeschleunigten Beton positiv ausnützen. Schliesslich kann Beton mit BE ein grösseres Schwindmass aufweisen als nicht beschleunigter Beton [15].
Erinnert sei daran, dass beschleunigte Frühfestigkeitsentwicklungen nicht allein mit BE erzielt werden können. Oft geben hochwertige Portlandzemente mit erhöhter 28-Tage-Festigkeit (HPC), niedrige W/Z-Werte oder Wärmebehandlungen gleiche oder bessere Ergebnisse – ohne Verluste an Endfestigkeit.

Beschleunigter Spritzbeton

Über die Anwendung von Beschleunigern in Spritzbeton gehen die Meinungen auseinander.
Einig sind sich die Experten darin,

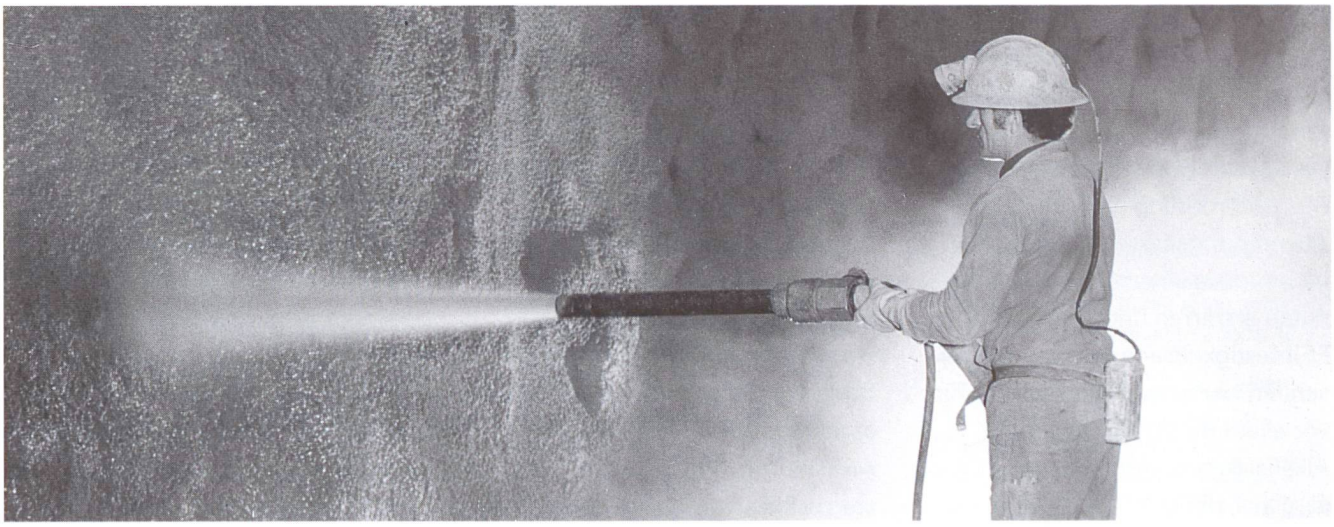

Foto: Laich SA, Avegno

Bei Spritzbetonanwendungen im Tunnelbau wird häufig mit Erstarrungsbeschleunigern gearbeitet.

6 Betonieren bei tiefen Temperaturen

Die Hydratation von PC besteht aus exothermen Reaktionen zwischen Zement und Wasser, die unmittelbar nach dem Mischen beginnen und Jahre dauern. Während der anfänglichen Druckfestigkeitsentwicklung wird der Beton kontinuierlich durch die intern gebildete Wärme erwärmt. Die Grösse der Erwärmung hängt von der Schnelligkeit der Wärmeentwicklung und dem Ausmass der Wärmeabgabe an die Umgebung ab.
Die Geschwindigkeit von chemischen Reaktionen ist temperaturabhängig: je tiefer die Temperatur, desto langsamer ist eine Reaktion. Dies gilt auch für die Hydratation. Aus praktischen Gründen wird angenommen, dass sie ab etwa –5 °C stoppt, da nur noch wenig Wasser (< 5 %) nicht gefroren ist und für chemische Reaktionen zur Verfügung steht. Bei Temperaturerhöhung setzt die Hydratation wieder ein. Wenn im frühen Stadium der Festigkeitsentwicklung von Beton einmal Eis entstanden ist, kann Beton nur etwa die Hälfte der vorgesehenen Endfestigkeit erreichen. Zurückzuführen ist dies auf die Volumenzunahme von gefrierendem Porenwasser um 9 %. Dadurch entstehen Spannungen, die die Zugfestigkeit des jungen Betons übersteigen und ihn dauerhaft schädigen. Beim Betonieren bei tiefen Temperaturen wird man deshalb danach trachten, die intern entwickelte Wärme im Beton zu halten, damit eine Temperatur aufrechterhalten werden kann, die eine vernünftige Druckfestigkeitsentwicklung gewährleistet und ein Einfrieren des Wassers verhindert.
Beim Einbringen sollte die Betontemperatur mindestens + 5 °C betragen (eventuell Anmachwasser und Zuschlagstoffe erwärmen). Der Beton sollte nicht auf gefrorenen Untergrund eingebracht werden, und die Schalungen müssen schnee- und eisfrei sein. Wenn die Aussentemperaturen nicht zu niedrig sind, reicht das Isolieren der Schalung und der exponierten Betonoberflächen aus, um den Beton genügend warmzuhalten. Tiefere Temperaturen erfordern in der Regel das Erwärmen durch externe Quellen.
Eine Alternative besteht darin, Frostschutzmittel (FS) zuzugeben, die einerseits den Gefrierpunkt von Wasser erniedrigen und andererseits die Zementhydratation beschleunigen und dadurch den Beton erwärmen. (Theoretisch hydratisiert Beton auch bei –20 °C, wenn das Porenwasser nicht auskristallisiert.) Wenn der Beton einmal eine Druckfestigkeit von 10 N/mm^2 und mehr erreicht hat, kann ihm Kälte nichts mehr anhaben; er ist gefrierstabil. «Normale» BE eignen sich nicht als FS, da sie den Gefrierpunkt des Wassers zu wenig senken. Als FS werden beispielsweise Natrium- und Calciumnitrit allein und in Kombination eingesetzt.

Hauptquelle: [16]

dass BE beispielsweise bei der Vortriebsicherung im Untertagebau sinnvoll sind. Hier muss in einem Arbeitsgang eine mehr als 15 cm dicke Betonschicht aufgetragen werden, die haftet und auch schnell erhärtet [6, 7].
Daraus ergibt sich bereits eine wichtige Anforderung an BE für diesen Anwendungsbereich: Der Spritzbeton muss innerhalb weniger Minuten erstarren und eine rasche Frühfestigkeitsentwicklung aufweisen. Früher verwendete man dafür vor allem BE auf der Basis von Alkalisilikaten, sogenanntem «Wasserglas», deren Wirkung mehr auf einem Klebeeffekt denn auf dem schnellen Erstarren des Betons beruht [11]. Zudem müssen sie in sehr hoher Konzentration (≥ 15 %, bezogen auf Zementmasse) eingesetzt werden. Sie erniedrigen die Endfestigkeit im Vergleich zu nicht beschleunigtem Beton um 50 und mehr Prozent und sind auch ökologisch bedenklich [11, 12]. Auf Wasserglas wird deshalb zunehmend verzichtet.
Bessere Resultate werden mit Erstarrungsbeschleunigern auf der Basis von Alkalicarbonaten (Kaliumcarbonat), Alkalihydroxiden oder Alkalialuminaten erzielt. Am häufigsten scheinen Alkalialuminate in fester oder flüssiger Form eingesetzt zu werden, die auch in kleineren Konzentrationen (üblich sind etwa 3–5 % der Zementmasse) wirksam sind. Die Dosierung ist sehr sorgfältig an die jeweiligen Anforderungen des Spritzbetons anzupassen. Die Zudosierung geschieht in der Spritzdüse oder im Pulsationsdämpfer, als konzentrierte Lösung beim Nassspritzen und im Spritzwasser beim Trockenspritzen.
Durch die Verwendung von Alkalialuminaten anstelle von Wasserglas verbessert sich auch das Auslaugverhalten von Spritzbeton, das schlechter als bei «normalem» Beton ist [12].
Spritzbeton kommt im Tunnelbau relativ häufig mit sulfathaltigem Wasser in Kontakt, was zu einem treibenden Angriff (Reaktion zwischen Sulfationen und Aluminathydraten unter Bildung von Ettringit) mit Zerstörung des Gefüges führen kann. Dem wird oft begegnet, indem ein Zement mit hoher Sulfatbeständigkeit (PCHS oder HPCHS) verwendet wird, der einen erniedrigten C_3A-Gehalt aufweist [17]. Dadurch muss jedoch die Konzentration des aluminathaltigen Erstarrungsbeschleunigers erhöht werden, um eine ausreichende Erstarrungsgeschwindigkeit zu erzielen. Da Aluminate mit den Sul-

Dank

Beim Verfassen der Artikel über Zusatzmittel wurde ich nicht nur durch Mitarbeiter der TFB unterstützt. Vielmehr konnte ich auch auf wertvolle Anregungen und aufbauende Kritik von *Ernesto Schümperli* (Sika, Zürich), *Willi Suter* (Holderchem Euco, Kirchberg) und *Ulrich Wäber* (Sika, Zürich) zählen.

fationen ebenfalls Ettringit bilden, darf ihre Konzentration aber nicht zu hoch sein. Als Ausweg bietet sich der Zusatz von Microsilica an, das eine Reduktion der BE-Konzentration erlaubt und zu einem dichteren Beton führt, der reaktionsfähiges Aluminat abschirmt [11].

Über eine Entwicklung neueren Datums wurde bereits im letzten «Cementbulletin» berichtet [4]: Trockenmischungen oder Frischbeton lassen sich mit einem besonderen Verzögerer, Stabilisator genannt, während mehreren Tagen stabilisieren und beim Trocken- bzw. Nassspritzen mit einem Spezialbeschleuniger, dem Aktivator, in der Spritzdüse reaktivieren [8].

Neuentwicklungen sind auch weniger aggressive BE – anorganische Neutralsalze oder neutral reagierende bzw. alkalifreie organische Substanzen –, die teilweise physiologisch unbedenklich sind und die Haut nicht angreifen. Gleichsam als Bonus für die geringere Alkalienkonzentration ist ein im Vergleich zu Spritzbeton mit Alkalialuminatbeschleunigern geringerer Abfall in der Endfestigkeit festzustellen [9, 10].

K. Hermann

Literatur

[1] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel», Cementbulletin **62** [9], 2–7 (1994).
[2] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: BV und HBV», Cementbulletin **62** [10], 2–7 (1994).
[3] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: LP», Cementbulletin **62** [11], 2–7 (1994).
[4] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: VZ», Cementbulletin **62** [12], 2–7 (1994).
[5] prEN 934.2, «Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Spezifizierungen und Konformitätskriterien» (1992).
[6] *Brianza, M.*, «Betonzusatzmittel», schriftliche Unterlagen zum TFB-Seminar «Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe» vom 27. Oktober 1994 in Wildegg.
[7] *Teichert, P.*, «Spritzbeton», Hrsg. E. Laich SA, Avegno (1991), Seiten 46/47.
[8] *Fischer, H.*, «Steuerung der Zementhydratation von Spritzbeton», Schweizer Baublatt **102** [4], 26–32 (1991).
[9] *Bürge, Th.*, «Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton» in «Sika im Tunnelbau», Seiten 4–9 (1991).
[10] *Bracher, G.*, «Nassspritzbeton – ökologisches und wirtschaftliches Qualitätsprodukt», Schweizer Baublatt **105** [76], 32–40 (1994).
[11] *Löschnig, P.*, «Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton», schriftliche Unterlagen zum Wildegger Kurs «Beton im Untertagebau» vom 3./4. März 1992.
[12] *Manns, W.*, und *Neubert, B.*, «Spritzbeton mit Erstarrungsbeschleuniger», Beton **43** [1], 20–25 (1993).
[13] *Wierig, H.-J.*, «Frischbeton und Bauwerkqualität», Beton **33** [5], 175–179 (1983).
[14] «Chemical admixtures for concrete», ACI Manual of Concrete Practice, part 1, Seiten 212.3R.10–212.3R.14 (1994).
[15] *Weigler, H.*, und *Karl, S.*, «Beton – Arten, Herstellung, Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 78–79.
[16] *Korhonen, C. J., Cortez, E. R.*, and *Charest, B. A.*, «Strength development of concrete cured at low temperature», Concrete International **14** [12], 34–38 (1992).
[17] *Hermann, K.*, «Betonschäden durch den Angriff von Sulfationen», Cementbulletin **60** [4] (1992).
[18] *Dodson, V.*, «Concrete Admixtures», Van Nostrand Reinhold, New York (1990), Seiten 73–102.