

Zusatzmittel. Teil 4, VZ

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **62 (1994)**

Heft 12

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153798>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Foto: Kurt Haberstück, TFB

Transportbeton wird vor allem im Sommer oder bei langen Fahrzeiten verzögert.

Zusatzmittel: VZ

Teil 4

Verzögerer verlängern die Zeit, während der ein Beton verarbeitbar ist, indem sie den Erstarrungsbeginn hinausschieben.

Nach einer allgemeinen Übersicht über Zusatzmittel [1] und Artikeln über Verflüssiger (BV) und Hochleistungsverflüssiger (HBV) [2] sowie über Luftporenbildner (LP) [3] stehen diesmal Verzögerer (VZ) im Mittelpunkt dieses «Cementbulletins».

Verlängerte Verarbeitungszeit

Bei der Herstellung von Frischbeton treten bereits unmittelbar nach der Zugabe des Anmachwassers chemische Reaktionen auf, durch die der flüssige Zementleim schliesslich in festen Zementstein übergeht. Der eigentliche Erstarrungsprozess setzt meistens nach 1,5 bis 5 Stunden ein. Eine etwas vertiefte Betrachtung

dieser Vorgänge ist im Kasten «Ansteifen, Erstarren und Erhärten von Beton» zu finden.

Nicht verzögerter Beton muss je nach Temperatur und Ausgangskonsistenz innerhalb von 30 bis 60 min transportiert, eingebracht und verdichtet werden. Durch VZ kann diese Frist ausgedehnt werden, denn VZ sind «Zusatzmittel, die die Zeit beim Übergang einer Mischung vom plastischen in den festen Zustand verlängern» [4]. In ihrer Wirkungsweise unterscheiden sie sich stark von den bisher behandelten Zusatzmitteln: Im Gegensatz zu BV, HBV und LP, die hauptsächlich physikalisch wirken, beeinflussen VZ wichtige chemische Reaktionen. Sie verzögern das Erstarren des Betons und verlängern dadurch die Zeit, während der dieser verarbeitbar ist.

Aus diesen Hauptwirkungen der VZ ergeben sich auch ihre wichtigsten Anwendungsgebiete:

- Transportbeton bei hohen Temperaturen und/oder grossen Distanzen
- Betonieren grosser Kubaturen oder Flächen

- Anspruchsvolle Ortbetonbauwerke, bei denen die eingestellten Erstarrungszeiten der Zemente wegen komplizierten Einbauvorgängen nicht ausreichen
- Vermeidung von Arbeitsfugen bei eingeplanten Arbeitsunterbrüchen (nahtloser Anschluss von neuem Beton an früher eingebrachten Beton)
- Dämpfung der Wärmeentwicklung bei Massenbauteilen (Vermeiden hoher Kerntemperaturen)

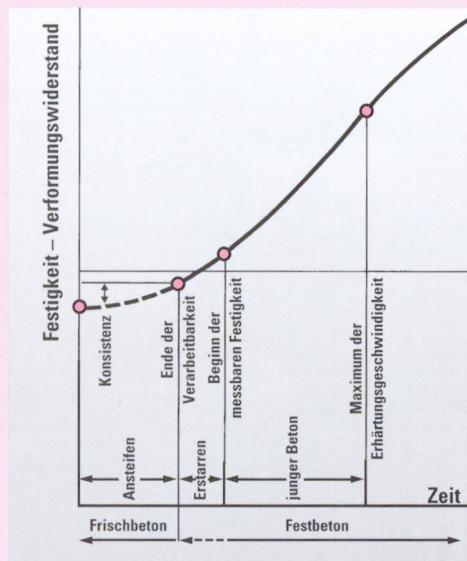
VZ in der Praxis

Die Liste der Verbindungen, die einzeln oder teilweise in Kombination miteinander als VZ verwendet wurden und werden, ist lang. Am häufigsten eingesetzt werden VZ auf der Basis von Saccharosen, Hydroxycarbonsäuren und Gluconaten bei den organischen, sowie auf der Basis von Phosphaten und Phosphonaten bei den anorganischen Zusatzmitteln. Die Saccharosen und das chemisch verwandte Gluconat werden in Lebensmitteln verwendet; sie sind nicht umweltgefährdend. Phosphate sind zwar nicht toxisch, als anorganische Verbindun-

Ansteifen, Erstarren und Erhärten von Beton

Unmittelbar nach der Zugabe des Anmachwassers setzen im Beton chemische Reaktionen ein, die schliesslich zum Festbeton führen. Dabei lassen sich verschiedene Phasen feststellen, die in *Abbildung 1* schematisch anhand der zeitlichen Veränderung des Verformungswiderstands bzw. der Festigkeit eines Betons mit weicher Ausgangskonsistenz dargestellt sind.

Frischbeton verfügt bereits während der Herstellung über einen gewissen Widerstand gegenüber Verformungen. Dieser Verformungswiderstand, der auch mit «Konsistenz» bezeichnet wird, nimmt im Verlauf der Zeit zu; der Beton steift an. Die Phase des Ansteifens ist beendet, wenn aus dem Frischbeton ein Festbeton wird, der nicht mehr verarbeitet werden kann. Die anschliessende Erstarrungs-

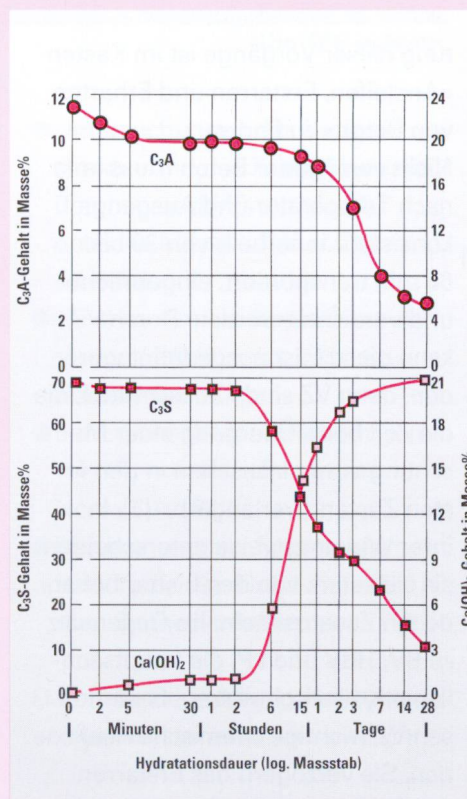


phase dauert bis zum Zeitpunkt, in dem der Beton eine gerade noch messbare Festigkeit (etwa $0,1 \text{ N/mm}^2$) aufweist. Es folgt die Erhärtung des Betons, die mit der Phase des jungen Betons beginnt. Die Phase des jungen Betons reicht vom Erstarrungsende bis zum Zeitpunkt der grössten Erhärtungsgeschwindigkeit (Wendepunkt in der Erhärtungskurve).

Abb. 1 Reaktionsphasen eines weichen Frischbetons (Schema) nach [14].

Chemische Reaktionen

Verantwortlich für das Ansteifen, Erstarren und Erhärten des Betons sind die chemischen Reaktionen zwischen Zementbestandteilen und dem Anmachwasser. Die während diesen verschiedenen Phasen ablaufenden Reaktionen sind sehr kompliziert und auch noch nicht bis ins letzte Detail abgeklärt. Sie können hier deshalb nur sehr vereinfacht wiedergegeben werden. Fest steht, dass die Zement- und die Zuschlagkörner bei der Betonherstellung mit einem dünnen, etwa 2 bis $4 \mu\text{m}$ dicken Wasserfilm bedeckt werden. In *Abbildung 2* ist die zeitliche Veränderung des Gehalts an Tricalciumaluminat (C_3A), Tricalciumsilikat (C_3S) und Calciumhydroxid als Funktion der Zeit dargestellt. Daraus geht hervor, dass unmittelbar nach der Zugabe des Anmachwassers ein Teil des C_3A (etwa 2 Masse% des PC) zu reagieren beginnt. Nach etwa 5 min setzt die sogenannte Ruheperiode ein, während der keine chemischen Reaktionen feststellbar sind. Ohne Calciumsulfat, das dem Zement als Erstarrungsregler beigegeben wird, würde der Beton bereits nach wenigen Minuten erstarren. Im Idealfall aber reagieren ge-



löstes C_3A und Calciumsulfat zu sehr feinen Ettringitkristallen, die sich auf der Oberfläche der Zementkörner niederschlagen und die spontane Weiterreaktion des C_3A behindern. Zudem vermindert sich die Dicke der Wasserschicht auf den Zementkörnern etwas. Dies bewirkt ein leichtes Ansteifen des Frischbetons. Das Erstarren setzt etwa 1 bis 3 Std. nach dem Anmachen ein, wahrscheinlich als Folge einer Umwandlung der feinen Ettringitkristalle in lange prismatische Kristalle, welche die Zwischenräume zwischen den Zementkörnern überbrücken. Tricalciumsilikat (C_3S), der mengenmässig wichtigste Zementbestandteil, beginnt erst etwa 2 Std. nach dem Anmachen zu hydratisieren. Die dabei entstehenden Produkte sind hauptsächlich für die Festigkeitsentwicklung (das Erhärten des Betons) verantwortlich. Nach einer Ruhephase von etwa 4 bis 6 Std. setzt auch die Reaktion von C_3A wieder ein.

(Hauptquellen: [14, 15])

Abb. 2 Änderung der Gehalte an C_3A , C_3S und Calciumhydroxid bei der Hydratation von PC nach [15].

gen aber schlecht abbaubar [5]. Über mögliche Vorgänge bei der Verzögerung des Erstarrens durch VZ wird im Kasten «Wie VZ wirken» (siehe Seite 6) informiert. Den Praktiker interessieren aber sicher mehr die Dinge, auf die bei der Verwendung von VZ zu achten ist.

Die sachgerechte Anwendung von VZ setzt einige Erfahrung voraus, denn das Risiko, dass unerwünschte Nebenreaktionen auftreten, ist relativ gross. Dies hat beispielsweise dazu geführt, dass die «Vorläufige Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeit» des Deutschen

Ausschusses für Stahlbeton die Forderung enthält, dass bei der Anwendung von VZ die «Zugabemengen und Verzögerungszeiten auf das für den Bauablauf unumgängliche Mindestmass zu beschränken» sind [6]. Sinnvoll eingesetzt, können VZ aber durchaus nützlich sein.

Einbau von verzögertem Beton nach über einer Stunde Transportzeit: Brückendeckbelag auf der Gotthard-südrampe.



Foto: Rolf Werner, BeAG

VZ werden in Konzentrationen von 0,5 bis 3,0 % (bezogen auf die Zementmenge) immer direkt ins Anmachwasser gegeben. (Bei einer späteren Zugabe sind die wichtigen Reaktionen, die verzögert oder unterbunden werden sollen, bereits abgelaufen!)

Einen grossen Einfluss auf die verzögernde Wirkung von VZ hat die Zementart: Bei einer umfangreichen vergleichenden Untersuchung von 19 verschiedenen Zementen dauerte es zwischen 7 bis 46 Std. bis zum Erstarrungsbeginn [7]. Hochofenzemente und C₃A-arme Zemente (PCHS) sprechen im allgemeinen besser auf VZ an als Portlandzemente.

Bei gleicher VZ-Dosierung ist die verzögernde Wirkung um so grösser, je höher der Wasserzementwert ist [8]. Ausgeprägter ist allerdings der Einfluss der Temperatur auf die Verzögerungszeit (Zeit, während der der Beton nach dem Mischen noch vibrierbar ist) bei Betonen. Als grobe Faustregeln sind bekannt (bei 1 % VZ bezogen auf Zementmenge) [8]:

- Unterhalb 20 °C bedeutet jedes Grad Temperaturerniedrigung eine Verlängerung der Verzögerungszeit um etwa eine Stunde.
- Oberhalb 20 °C bewirkt jede Tem-

peraturerhöhung um 1 °C eine Verkürzung der Verzögerungszeit um etwa eine halbe Stunde.

- Jede Erhöhung des W/Z-Wertes um 0,01 bedeutet im Mittel eine zusätzliche Verzögerung des Erstarrungsbeginns um eine halbe Stunde.

Die bei steigenden Temperaturen abnehmenden Verzögerungszeiten führen dazu, dass lange Verarbeitungszeiten (> 24 Std.) bei höheren Temperaturen (≥ 30 °C) oft nur schwer oder überhaupt nicht erreichbar sind. Eine Erhöhung der VZ-Konzentration kann zwar helfen, birgt aber je nach VZ auch die Gefahr des Umschlagens (VZ wirkt als Beschleuniger) in sich.

Wenn lange Verzögerungszeiten angestrebt werden, sind VZ auf Phosphatbasis zuverlässiger als VZ auf Saccharosebasis [9]. Zu beachten ist auch immer, dass bei Verzögerungszeiten bis 8 Std. Schwankungen um ± 2 Std., bei längeren Verzögerungszeiten noch grössere Schwankungen auftreten können [6].

Nebenwirkungen von VZ

VZ wirken oft gleichzeitig verflüssigend, wodurch Wassereinsparungen möglich sind. Allerdings ist

Vorsicht geboten, denn nicht bei allen VZ hält diese Wirkung auch bis zum Verdichten an [8].

Bei der Kombination von VZ mit anderen Zusatzmitteln empfiehlt es sich, die Hinweise der Zusatzmittelhersteller zu beachten. Nur nach Vorversuchen sollten VZ mit Zusatzmitteln kombiniert werden, die bereits verzögernd wirken, da derartige Kombinationen die Erstarrungszeit übermässig verlängern könnten [8].

Die Frühfestigkeit von verzögertem Beton nimmt langsamer zu als diejenige von nicht verzögertem Beton. Auf die Endfestigkeit hat dies allerdings keinen negativen Einfluss. Zwar sind Druckfestigkeiten auch nach sieben Tagen oft noch niedriger als bei nicht verzögertem Beton, die Endfestigkeiten aber sind häufig sogar höher.

Nachbehandlung

Frisch betonierte Abschnitte müssen laufend kontrolliert werden. Mit der Nachbehandlung, die besonders vor vorzeitigem Austrocknen oder niedrigen Temperaturen schützen soll, muss möglichst früh begonnen werden. Durch Nachverdichten lassen sich Gefügeschäden in verzögertem Beton beheben, die

Wie VZ wirken

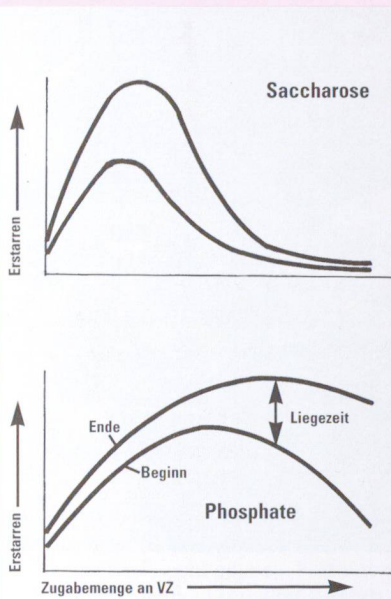


Abb. 3 Wirkung von Saccharose- und Phosphat-VZ nach [11].

In *Abbildung 3* sind die Erstarrenszeiten von Zementen in Abhängigkeit von der Zugabemenge und der Art des VZ (Saccharose- und Phosphat-VZ) qualitativ dargestellt. Beiden VZ-Typen ist gemeinsam, dass die verzögernde Wirkung mit zunehmender Konzentration zu-, dann aber wieder abnimmt. Dieses Phänomen, durch das ein VZ im ungünstigsten Fall (bei genügend hoher Konzentration) sogar zu einem Beschleuniger werden kann, ist als Umschlagen bekannt und kann bei Saccharose-VZ bereits bei praxisüblichen Konzentrationen auftreten.

während der weichen Phase aufgetreten sind; zudem entsteht dadurch ein besonders dichter Beton [10]. Ortbetonplatten sind stark rissgefährdet, da bei ihnen das Fröhschwinden infolge von Austrocknung mit einem Schwinden überlagert sein kann, das durch Temperatursenkung hervorgerufen wird [11]. Wie wirkungsvoll die Nachbehandlung sein kann, verdeutlicht folgendes Beispiel: Infolge von Überdosierung eines VZ wurde das Erhärten eines Betons innerhalb eines grösseren Abschnittes um rund vier Wochen verzögert. Dank ständigem Feuchthalten mit nasser Jute und

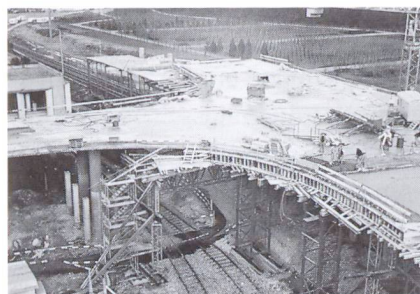
Ein weiterer unerwünschter Nebeneffekt besteht darin, dass die Liegezeit (die Zeit zwischen Erstarrungsanfang und Erstarrungsende) mit zunehmender VZ-Konzentration zunimmt.

Über den Mechanismus der Verzögerung des Erstarrens von Beton bestehen teilweise recht unterschiedliche Vorstellungen. Zu den vorgeschlagenen Mechanismen gehören [12, 16]:

- Adsorption der VZ an Oberflächen der reaktiven Klinkerphasen
- Niederschläge von Reaktionsprodukten des VZ mit den in Wasser gelösten Zementbestandteilen auf der Oberfläche der reaktiven Klinkerphasen
- Bildung schwerlöslicher Salze und Komplexe mit Calciumionen, die bei der Zementhydratation freigesetzt werden
- Behinderung des Kristallwachstums aus dem Keimstadium heraus

Sicher reagieren nicht alle VZ nach den gleichen Mechanismen. Organische VZ bilden beispielsweise keine Niederschläge, werden aber rasch von den Zementkörnern adsorbiert, wodurch diese an der Oberfläche positive Ladungen erhalten und sich gegenseitig abstossen. Zudem wird die Reaktion von Zementbestandteilen mit Wasser behindert. (Ähnliche Vorgänge werden auch bei organischen Verflüssigern (BV) und Hochleistungsverflüssigern (HBV) beobachtet [17].) Aufgrund von Abschätzung reicht übrigens 1 g Glucose aus, um die gesamte Oberfläche von 1 kg Zement vollständig zu bedecken [16].

Abdecken mit Kunststoffolie liessen sich die geforderten Festbetoneigenschaften sicher erreichen. Nach acht Wochen wiesen Bohrkerne deutlich höhere Festigkeiten auf als



Ein wichtiger Anwendungsbereich von verzögertem Beton: grosse Flächen wie Brückenplatten.

Bohrkerne von normal erhärtetem Beton [11].

Stabilisatoren, eine neue VZ-Generation

Seit einigen Jahren sind «Langzeitverzögerer» erhältlich, die die Hydratationsprozesse in einer Frischbetonmischung beinahe vollständig unterbrechen. Die stark sauren Verbindungen – sie werden von den Herstellern «Stabilisatoren» genannt – gehören zu den VZ, greifen aber wirkungsvoller als diese in das Frühstadium der Zementhydratation ein.

Gegenüber gewöhnlichen VZ weisen Stabilisatoren mehrere Vorteile auf [12]. So lassen sich mit ihnen Betonmischungen nicht nur während Stunden, sondern während mehreren Tagen stabilisieren. (Konventionelle VZ wirken normalerweise etwa 3 bis 24 Std.) Die Stabilisierungszeit kann aufgrund von Vorversuchen recht genau eingestellt werden, und nach einigen Umdrehungen in einem Fahrnischer erreicht die Betonmischung nach Ablauf der Stabilisierung erneut die Ausgangskonsistenz, wenn kein Wasserverlust aufgetreten ist. Mittels eines «Aktivators» (Beschleunigers) kann die Stabilisierung durch kurzes Durchmischen jederzeit aufgehoben werden.

Nach der Beendigung der Stabilisierung verläuft die Festigkeitsentwicklung rascher als in nicht stabilisiertem Vergleichsbeton. Durch das notwendige Auf- bzw. Durchmischen des stabilisierten Betons ist die Anwendung des Systems Stabilisator (VZ)/Aktivator fast ausschliesslich auf Spritzbeton beschränkt [13]. Trockenmischungen, deren Zuschläge 5 Masse% Eigenfeuchte aufweisen, können in Anwesenheit von 2 % Stabilisator (bezogen auf Zementgehalt) während drei Tagen gelagert werden. Beim Trockenspritzen wird der

Zement durch das Zufügen des Aktivators in der Spritzdüse reaktiviert. Da der Stabilisator auch als HBV wirkt, ist die Trockenspritzmischung kompakter und weist eine höhere Kohäsion auf, was zu weniger Rückprall führt. Vorteile sind auch beim Nassspritzen auszumachen, wo Frischbeton über längere Zeit gelagert und über grössere Strecken transportiert werden muss. Auch hier tritt weniger Rückprall auf. Da der Aktivator erst in der Spritzdüse beigefügt wird, kann der Spritzvorgang jederzeit unterbrochen werden. *Kurt Hermann*

Inhalt 1994

- Nr. 1 *Kurt Hermann*
«Spritzbeton»
- Nr. 2 *Bram van Egmond/
Kurt Hermann*
«Zementstabilisierung»
- Nr. 3 *Bram van Egmond/
Kurt Hermann*
«Kaltrecycling»
- Nr. 4 *Kurt Hermann*
«Randbeton»
- Nr. 5 *Kurt Hermann*
**«Zusammenarbeit von
Fachleuten»**
- Nr. 6/7 *Kurt Hermann*
**«Zemente: neue
Normen und Sorten»**
- Nr. 8 *Rolf Werner*
**«Betonbeläge
für Strassen, Wege
und Plätze»**
- Nr. 9 *Kurt Hermann*
«Zusatzmittel»
- Nr. 10 *Kurt Hermann*
**«Zusatzmittel:
BV und HBV»**
- Nr. 11 *Kurt Hermann*
«Zusatzmittel: LP»
- Nr. 12 *Kurt Hermann*
«Zusatzmittel: VZ»

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] prEN 934.2, «Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Spezifizierungen und Konformitätskriterien» (1992).
- [5] «Betonzusatzmittel und Umwelt», Sachstandsbericht des Industrieverbands Bauchemie und Holzschutzmittel e.V., Frankfurt am Main (1993).
- [6] «Vorläufige Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton)», Hrsg. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (1983).
- [7] *Weigler, H.*, und *Karl, S.*, «Beton – Arten, Herstellung, Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 75–78.
- [8] *Bürge, Th.*, «Der richtige Einsatz von Betonzusatzmitteln», schriftliche Unterlagen zum Wildegger Kurs «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» vom 13./14. März 1991.
- [9] *Eltawil, M.*, «Erkennen der Risiken bei Verwendung von Betonzusatzmitteln», schriftliche Unterlagen zum Wildegger Kurs «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» vom 13./14. März 1991.
- [10] *Kern, E.*, «Anwendung von Betonzusatzmitteln – Arten, Eigenschaften und Einsatzgebiete», *Beton* **37** [9], 359–362 (1987).
- [11] *Kern, E.*, «Verzögerter Beton – Hinweise für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit», *Beton* **35** [3], 100–104 (1985).
- [12] *Brianza, M.*, «Betonzusatzmittel», schriftliche Unterlagen zum TFB-Seminar «Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe» vom 27. Oktober 1994 in Wildegger.
- [13] *Fischer, H.*, «Steuerung der Zementhydratation von Spritzbeton», *Schweizer Baublatt* **102** [4], 26–32 (1991).
- [14] *Wierig, H.-J.*, «Frischbeton und Bauwerkqualität», *Beton* **33** [5], 175–179 (1983).
- [15] *Wischers, G.*, «Ansteifen und Erstarren von Zement», *Beton* **31** [9], 337–340 und [10], 385–389 (1981).
- [16] *Ludwig, U.*, «Über die Wirkung von Verzögerern auf das Erstarren von Zementen», *Beton-Informationen* **23** [3], 31–35 (1983).
- [17] *Dodson V.*, «Concrete Admixtures», Van Nostrand Reinhold, New York (1990), Seiten 102–127.