Zeitschrift: Bulletin du ciment

Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)

Band: 62 (1994)

Heft: 12

Artikel: Les adjuvants : VZ

Autor: Hermann, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-146350

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: 06.08.2025

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

Photo: Kurt Haberstich, TFB

Le béton prêt à l'emploi est retardé principalement en été ou en cas de longs trajets.

Les adjuvants: VZ

4e partie

Les retardateurs de prise prolongent le temps pendant lequel un béton peut être mis en œuvre.

Après avoir donné un aperçu général des adjuvants [1], et publié des articles sur les plastifiants (BV) et superfluidifiants (HBV) [2], ainsi que sur les entraîneurs d'air (LP) [3], nous consacrons le présent numéro du «Bulletin du ciment» aux retardateurs de prise (VZ).

Temps de mise en œuvre prolongé

Lors de la fabrication du béton frais, des réactions chimiques se produisent immédiatement déjà après l'adjonction de l'eau de gâchage, qui finalement transforment la pâte de ciment fluide en pâte de ciment durcie. Le processus de prise proprement dit commence généralement après 1,5 à 5 heures. On trouve des considérations un peu plus approfondies sur ces phénomènes dans l'encadré «Raidissement, prise et durcissement du béton».

Le béton non retardé doit être transporté, mis en place et compacté dans les 30 à 60 minutes, selon la température et la consistance de départ. Les VZ permettent de prolonger ce délai, car ce sont des «adjuvants qui augmentent le temps de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide» [4]. Leur mode d'action est très différent de celui des adjuvants dont nous avons traité jusqu'à présent: contrairement aux BV, HBV et LP, dont l'action est principalement physique, les VZ influent sur d'importantes réactions chimiques. Ils retardent la prise du béton, prolongeant ainsi le temps pendant lequel ce dernier peut être mis en œuvre.

Ce sont ces actions essentielles qui déterminent les principaux domaines d'utilisation des VZ:

- béton transporté lors de températures élevées ou sur de grandes distances, ou l'un et l'autre;
- bétonnage de grands volumes ou surfaces;
- ouvrages en béton coulé sur place complexes, pour lesquels les temps de prise du ciment imposés ne suffisent pas en raison de procédés de mise en place compliqués;
- pour éviter les joints de reprise lors d'interruptions du travail programmées (raccord sans joint du nouveau béton au béton mis en place précédemment);
- réduction du développement de chaleur dans les éléments de construction massifs (pour éviter des températures élevées du noyau).

Les VZ dans la pratique

La liste des composés qui, seuls ou parfois combinés, ont été et sont utilisés en tant que VZ, est longue. Les VZ les plus fréquemment utilisés sont à base de saccharoses, d'acides hydroxycarboniques et de gluconates pour les adjuvants organiques, et à base de phosphates et de phosphonates pour les adjuvants inorganiques. Les saccharoses ainsi que le gluconate, du même groupe chimique, sont utilisés dans les denrées alimentaires. Ils ne portent pas atteinte à l'environnement. Les phosphates ne sont pas toxiques, mais sous forme de composés inorgani-

4 Raidissement, prise et durcissement du béton

Immédiatement après l'adjonction de l'eau de gâchage, des réactions chimiques se déclenchent dans le béton frais, qui finalement le transforment en béton durci. Ce processus comprend différentes phases, qui sont représentées schématiquement à la *figure 1*, par l'évolution dans le temps de la résistance à la déformation ou de la résistance mécanique d'un béton à consistance de départ plastique.
Le béton frais témoigne d'une certaine résistance aux déformations déjà pendant sa fabrication. Cette résistance à la déformation, désignée aussi par «consistance», augmente avec le temps; le béton raidit. La phase du raidissement est terminée au moment où le béton frais se transforme en béton ferme, qui ne peut plus être travaillé. La phase de la prise faisant suite dure jusqu'au moment où le béton témoigne d'une résistance juste encore mesurable (environ 0,1 N/mm$_2$). Vient ensuite le durcissement du béton, qui commence avec la phase du béton jeune. La phase du béton jeune va de la fin de la prise jusqu'au moment de la plus grande vitesse de durcissement (point d'inflexion dans la courbe du durcissement).

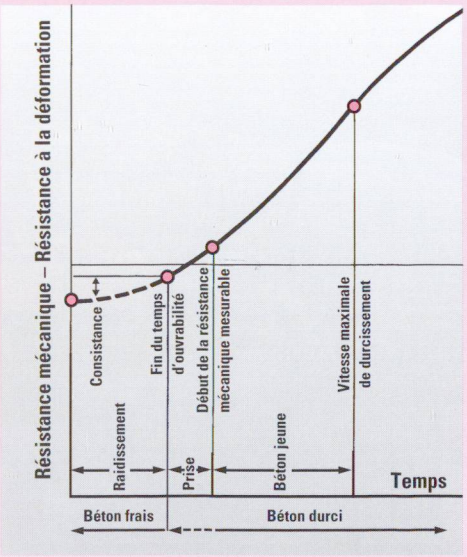

Fig. 1 Phases réactionnelles d'un béton frais plastique (schéma) selon [14].

Réactions chimiques

Le raidissement, la prise et le durcissement du béton sont dus aux réactions chimiques entre les composants du ciment et l'eau de gâchage. Les réactions se développant pendant ces différentes phases sont très complexes, et pas encore entièrement expliquées. C'est pourquoi elles ne peuvent être représentées ici que sous une forme très simplifiée.
On sait avec certitude que lors de la fabrication du béton, les grains de ciment et les granulats sont recouverts d'un film d'eau d'environ 2 à 4 µm d'épaisseur. L'évolution de la teneur en aluminate tricalcique (C_3A), en silicate tricalcique (C_3S) et en hydroxyde de calcium en fonction du temps, est représentée dans la *figure 2*. Il en ressort qu'une partie du C_3A (environ 2 % de la masse du CP) commence à réagir immédiatement après l'adjonction de l'eau de gâchage. Ce que l'on appelle la période de repos, pendant laquelle il n'y a pas de réactions chimiques décelables, commence après environ 5 minutes.
Sans le sulfate de calcium qui est ajouté au ciment en tant que régulateur de prise, le béton ferait sa prise après quelques minutes déjà. Mais dans le cas idéal, le C_3A et le sulfate de calcium dissous réagissent et forment de très fins cristaux d'ettringite, qui se déposent sur la surface des grains de ciment, et empêchent la réaction ultérieure spontanée du C_3A. L'épaisseur de la couche d'eau sur les grains de ciment diminuent en outre un peu, ce qui entraîne un léger raidissement du béton frais.
La prise commence environ 1 à 3 heures après le gâchage, vraisemblablement par suite d'une transformation des fins cristaux d'ettringite en longs cristaux prismatiques, qui comblent les vides entre les grains de ciment.
Le silicate tricalcique (C_3S), quantitativement le plus important composant du ciment, ne commence de s'hydrater qu'environ 2 heures après le gâchage. Les produits qui en résultent sont la principale cause du développement de la résistance (le durcissement du béton). Après une phase de repos d'environ 4 à 6 heures, la réaction du C_3A recommence également.

(Principales sources: [14, 15])

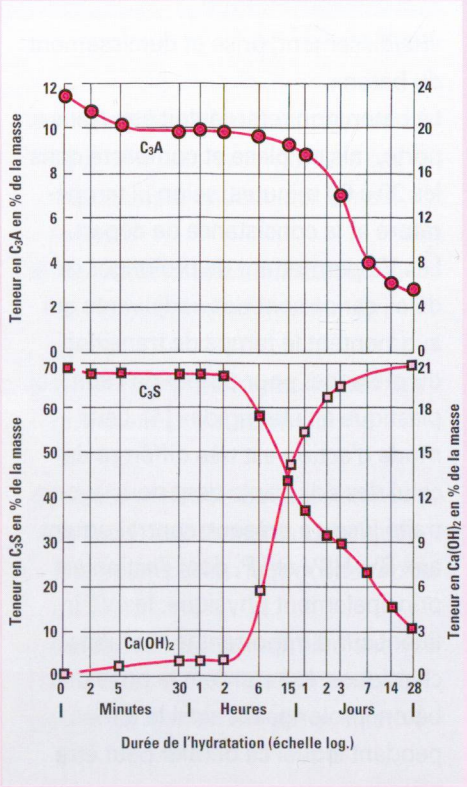

Fig. 2 Modification des teneurs en C_3A, C_3S et hydroxyde de calcium lors de l'hydratation de CP, selon [15].

ques, ils sont difficilement dégradables [5]. Des informations sur les phénomènes pouvant se produire lors du retardement de la prise par des VZ sont données dans l'encadré «Voici comment agissent les VZ» (voir page 6). Mais le praticien est certainement plus intéressé par les choses auxquelles il faut faire attention lors de l'utilisation de VZ.
Utiliser les VZ convenablement suppose une certaine expérience, car le risque que des réactions secondaires indésirables se produisent est relativement grand. C'est ce qui explique par exemple que dans la «Vorläufige Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeit» (Directive temporaire pour le béton à temps de mise en œuvre prolongé) du Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, il est dit que lors de l'utilisation de VZ, le dosage et le retardement doivent être limités au minimum indispensable

Photo: Rolf Werner, BeAG

Mise en place de béton retardé après plus d'une heure de transport: tablier de pont sur la rampe sud du Saint-Gothard.

pour le déroulement des travaux [6]. Mais utilisés judicieusement, les VZ peuvent être très utiles.

Les VZ sont toujours ajoutés directement dans l'eau de gâchage, en concentrations de 0,5 à 3,0 % (par rapport à la quantité de ciment). (En cas d'adjonction ultérieure, les réactions importantes, qui doivent être retardées ou empêchées, se sont déjà produites!)

La sorte de ciment a une grande influence sur l'action retardatrice des VZ. Lors d'un examen comparatif très poussé de 19 ciments, il s'est écoulé entre 7 et 46 heures jusqu'au commencement de la prise [7]. Les ciments de haut fourneau et les ciments pauvres en C_3A (CPHS) réagissent généralement mieux aux VZ que les ciments Portland.

Pour un même dosage de VZ, l'action retardatrice est d'autant plus longue que le facteur eau/ciment est élevé [8]. La température exerce toutefois une influence plus prononcée sur la durée du retardement (temps pendant lequel le béton peut encore être vibré après le malaxage). Avec 1 % de VZ par rapport à la quantité de ciment, on peut appliquer les règles empiriques approximatives suivantes [8]:

- en-dessous de 20 °C, chaque degré d'abaissement de la température signifie une prolongation du retardement d'environ une heure;
- en-dessus de 20 °C, chaque degré d'élévation de la température provoque un raccourcissement du retardement d'environ une demi-heure;
- chaque augmentation du facteur e/c de 0,01 signifie en moyenne un retardement supplémentaire du début de la prise d'environ une demi-heure.

Avec des durées de retardement inférieures et des températures en hausse, il est souvent difficile, ou même impossible, d'obtenir de longs temps de mise en œuvre (> 24 h) à des températures élevées (> 30 °C). Augmenter la concentration de VZ peut aider, mais, selon le type de VZ, cela comporte le risque d'inversion (le VZ agit en tant qu'accélérateur). Si l'on désire des retardements de longue durée, il faut préférer les VZ à base de phosphates aux VZ à base de saccharoses [9]. Il faut également toujours prendre en considération qu'avec des durées de retardement allant jusqu'à 8 h, il peut y avoir des écarts de ± 2 h, et des écarts encore plus grands avec des durées de retardement supérieures [6].

Actions secondaires des VZ

Souvent, les VZ ont simultanément une action fluidifiante, ce qui permet de réduire la quantité d'eau. La prudence est toutefois de mise, car avec certains VZ, cette action ne dure pas jusqu'au moment du compactage [8]. Si l'on combine des VZ avec d'autres adjuvants, il convient de tenir compte des indications du fabricant d'adjuvants. La combinaison de VZ avec des adjuvants exerçant déjà une action retardatrice exige des essais préalables, car des combinaisons de ce genre pourraient entraîner un retardement de la prise excessif [8].

La résistance initiale du béton retardé augmente plus lentement que celle du béton non retardé, mais cela n'a aucune influence négative sur la résistance finale. Il est vrai que même à 7 jours, les résistances à la compression sont encore souvent inférieures à celles du béton non retardé, mais les résistances finales sont fréquemment même supérieures.

Traitement de cure

Les lots fraîchement bétonnés doivent être contrôlés régulièrement. Il faut commencer le plus tôt possible le traitement de cure, qui doit en particulier empêcher un dessèchement prématuré et protéger contre les basses tem-

Voici comment agissent les VZ

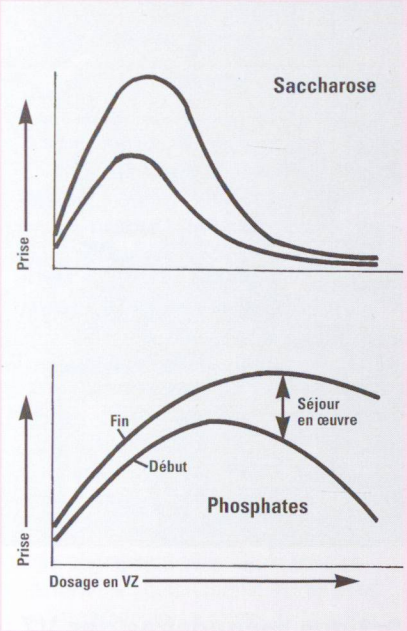

Fig. 3 Action des VZ à base de saccharoses ou de phosphates, selon [11].

Les temps de prise des ciments en fonction du dosage et du genre de VZ (VZ à base de saccharose ou de phosphates) sont représentés qualitativement à la *figure 3*. Les deux types de VZ ont en commun que l'action retardatrice augmente parallèlement à l'augmentation de leur concentration, mais diminue ensuite. Ce phénomène par lequel, dans le pire des cas (avec une concentration suffisamment élevée), un VZ peut même se transformer en accélérateur, est connu sous le nom d'inversion, et avec les VZ à base de saccharoses, peut même se produire avec des concentrations usuelles. Un autre effet secondaire indésirable est que le séjour en œuvre (le temps entre le début et la fin de la prise) augmente parallèlement à l'augmentation de la concentration de VZ.
Concernant le mécanisme du retardement de la prise du béton, des explications parfois très divergentes ont été avancées. On trouve parmi les mécanismes proposés [12, 16]:

- adsorption des VZ aux surfaces des phases clinker réactives;
- dépôts de produits de réaction des VZ avec les composants du ciment dissous dans l'eau sur la surface des phases clinker réactives;
- formation de sels et de complexes avec ions de calcium difficilement solubles, qui sont libérés lors de l'hydratation du ciment;
- entrave à la croissance cristalline à partir du germe.

Il est certain que les VZ ne réagissent pas tous selon les mêmes mécanismes. Les VZ organiques ne forment par exemple pas de dépôts, mais ils sont adsorbés rapidement par les grains de ciment qui, de ce fait, reçoivent des charges positives à la surface, et se repoussent mutuellement. La réaction des composants du ciment avec l'eau est en outre entravée. (On observe des phénomènes similaires avec les plastifiants (BV) et les superfluidifiants (HBV) organiques [17].) Selon une estimation, 1 g de glucose suffit pour que la surface que représente 1 kg de ciment soit entièrement recouverte [16].

pératures. Les altérations de structure du béton retardé qui se sont produites pendant la phase plastique peuvent être éliminées par un nouveau compactage; il en résulte en outre un béton particulièrement compact [10]. Les dalles en béton coulé sur place sont fortement menacées de fissuration, car dans ces dalles, un retrait provoqué par une baisse de température peut s'ajouter au retrait précoce dû au dessèchement [11].
L'exemple suivant illustre l'importance du traitement de cure: à la suite de surdosage d'un VZ, le durcissement d'un béton dans un grand lot a été retardé d'environ quatre semaines. En maintenant le béton constamment humide au moyen de toile de jute mouillée recouverte d'une feuille de plastique, il a été possible d'assurer les propriétés requises du béton durci. Après huit semaines, les carottes prélevées témoignaient de résistances nettement supérieures à celles des carottes d'un béton ayant durci normalement [11].

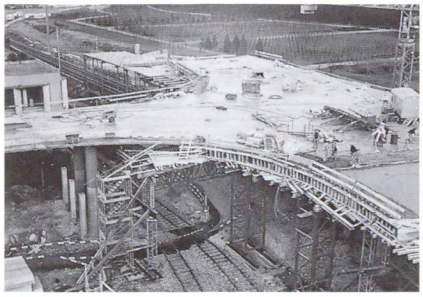

Photo: archives TFB

Un important domaine d'utilisation du béton retardé: les grandes surfaces telles que dalles de pont.

Les stabilisateurs, une nouvelle génération de VZ

Depuis quelques années, on trouve sur le marché des retardateurs à longue durée d'action, qui interrompent presque complètement les processus d'hydratation dans un mélange de béton frais. Ces composés fortement acides – appelés «stabilisateurs» par les fabricants – font partie des VZ, mais interviennent plus efficacement que ces derniers au stade initial de l'hydratation du ciment.
Les stabilisateurs offrent des avantages que n'ont pas les VZ ordinaires [12]. Ils permettent par exemple de stabiliser des mélanges de béton non seulement pour quelques heures mais pendant plusieurs jours. (Les VZ traditionnels agissent normalement entre 3 et 24 heures.) La durée de la stabilisation peut être réglée avec précision sur la base d'essais préalables, et après quelques tours dans un malaxeur sur camion, le mélange du béton retrouve sa consistance de départ une fois la stabilisation arrivée à terme, s'il n'y a pas eu de perte d'eau. En utilisant un «activateur» (accélérateur), il est possible

d'annihiler la stabilisation n'importe quand par un bref malaxage. Une fois la stabilisation terminée, le développement de la résistance est plus rapide que dans un béton témoin non stabilisé.

En raison du malaxage nécessaire du béton stabilisé, l'utilisation du système stabilisateur (VZ) / activateur se limite à peu près exclusivement au béton projeté [13]. Les mélanges secs dont les granulats ont une humidité propre représentant 5 % de la masse peuvent, avec 2 % de stabilisateur (par rapport à la teneur en ciment), être entreposés pendant 3 jours. Avec la projection à sec, le ciment est réactivé dans la buse par l'adjonction de l'activateur. Et le stabilisateur agissant également comme HBV, la cohésion du mélange sec à projeter est plus élevée, ce qui réduit le rebond.

Ce système présente aussi des avantages lorsque le béton frais doit être entreposé pendant longtemps, et transporté sur de grandes distances. Dans ce cas également, le rebond est moindre. L'activateur n'étant ajouté au mélange que dans la buse, la projection peut être interrompue n'importe quand.

Kurt Hermann

Sommaire 1994

No 1 *Kurt Hermann* **«Béton projeté»**

No 2 *Bram van Egmond/ Kurt Hermann* **«Stabilisation au ciment»**

No 3 *Bram van Egmond/ Kurt Hermann* **«Recyclage à froid»**

No 4 *Kurt Hermann* **«Béton superficiel»**

No 5 *Kurt Hermann* **«Collaboration entre professionnels»**

No 6/7 *Kurt Hermann* **«Ciments: des nouvelles normes et sortes»**

No 8 *Rolf Werner* **«Revêtements en béton pour routes, chemins et places»**

No 9 *Kurt Hermann* **«Les adjuvants»**

No 10 *Kurt Hermann* **«Les adjuvants: BV und HBV»**

No 11 *Kurt Hermann* **«Les adjuvants: LP»**

No 12 *Kurt Hermann* **«Les adjuvants: VZ»**

Bibliographie

[1] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel», Bulletin du ciment **62** [9], 2–7 (1994).

[2] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: BV und HBV», Bulletin du ciment **62** [10], 2–7 (1994).

[3] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: LP», Bulletin du ciment **62** [11], 2–7 (1994).

[4] prEN 934–2, «Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis – Partie 2: Adjuvants pour bétons – Définitions, spécifications et critères de conformité» (1992).

[5] «Betonzusatzmittel und Umwelt», rapport de l'Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel e.V., Francfort-sur-le-Main (1993).

[6] «Vorläufige Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton)», édité par le Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (1983).

[7] *Weigler, H.*, et *Karl, S.*, «Beton – Arten, Herstellung, Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), pages 75–78.

[8] *Bürge, Th.*, «Der richtige Einsatz von Betonzusatzmitteln», documentation écrite pour le cours de Wildegg «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» des 13/14 mars 1991.

[9] *Eltawil, M.*, «Erkennen der Risiken bei Verwendung von Betonzusatzmitteln», documentation écrite pour le cours de Wildegg «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» des 13/14 mars 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», documentation écrite pour le séminaire TFB «Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe» du 27 octobre 1994, à Wildegg.

[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 et [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), pages 102–127.