Zeitschrift: Bulletin du ciment

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

Band: 62 (1994)

Heft: 11

Artikel: Les adjuvants : LP

Autor: Hermann, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-146349

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

Photo: Rolf Werner, BeAG, Wildegg

Toujours intact, même après plus de 25 ans de sollicitation par le gel et les fondants chimiques: tablier de pont en béton aéré sur la rampe sud du Saint-Gothard.

Les adjuvants: LP

3e partie

Les entraîneurs d'air (LP) s'utilisent principalement pour améliorer la résistance du béton au gel et aux fondants chimiques au moyen de bulles d'air.

Les entraîneurs d'air (LP) sont des «adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air uniformément réparties et qui subsistent après durcissement» [1]. L'action positive que ces bulles d'air produites artificiellement exercent sur la résistance du béton au gel et aux fondants chimiques est connue depuis plus de 50 ans. Après une vue d'ensemble sur les adjuvants [2] et un article consacré aux plastifiants (BV) et superfluidifiants (HBV) [3], nous continuons notre série avec les LP, dont l'importance est également capitale. Nous ne traiterons pas des bétons mousse (qui sont à vrai dire des mortiers mousse), dont la masse volumique varie entre 400 et 1800 kg/m^3, ni des bétons-gaz, dont les pores résultent de réactions chimiques entre liants et agents gonflants. Les microbulles en plastique (de diamètre entre 10 et 60 µm) réparties de façon homogène dans la pâte de ciment durcie, qui augmentent également la résistance du béton au gel et aux fondants chimiques, occupent une place à part [5]. Pour diverses raisons (prix, problèmes de maniement), elles n'ont pas pu s'imposer jusqu'à présent.

Comment l'air arrive dans le béton

L'air arrive dans le béton frais principalement lors du malaxage, mais également lors de la mise en place. Il se présente sous forme de bulles enrobées d'un mince film d'eau. Ces bulles peuvent être de petites sphères de la grosseur d'un grain de ciment, mais aussi des poches de gaz de formes irrégulières, de la grandeur d'un gros granulat ou d'une grandeur encore supérieure. Elles se déplacent dans le béton frais et changent constamment de forme et de volume; elles peuvent fusionner ou se rompre, par exemple pendant le vibrage. Dans le béton durci, les bulles sont fixées, et il en résulte des pores.
En présence de LP, l'échelonnement des bulles d'air se décale pour former l'édifice sphérique plus petit souhaité. Les LP stabilisent les bulles d'air et les maintiennent dans le béton frais. (Pour en savoir plus, voir l'encadré «Pourquoi les LP forment-ils des pores?».)

De combien d'air un béton a-t-il besoin?

Dans la norme VSS SN 640 461 a «Revêtements en béton» [6, 7], récemment remaniée, il est prescrit que, sur le chantier, le béton frais doit contenir 4 à 6 % d'air. Un facteur e/c bas (< 0,45) est en outre exigé, ce qui implique qu'en dehors du LP, il faut également utiliser un HBV.
Cette prescription sur la teneur en air concorde avec l'expérience, qui prouve qu'un béton frais d'une teneur en air de 4 à 6 %, fabriqué dans les règles de l'art, résiste au gel et aux fondants chimiques, et qu'un béton contenant plus de 7 % d'air ne doit pas être mis en place. En Allemagne, pour les éléments de construction massifs, le facteur

4

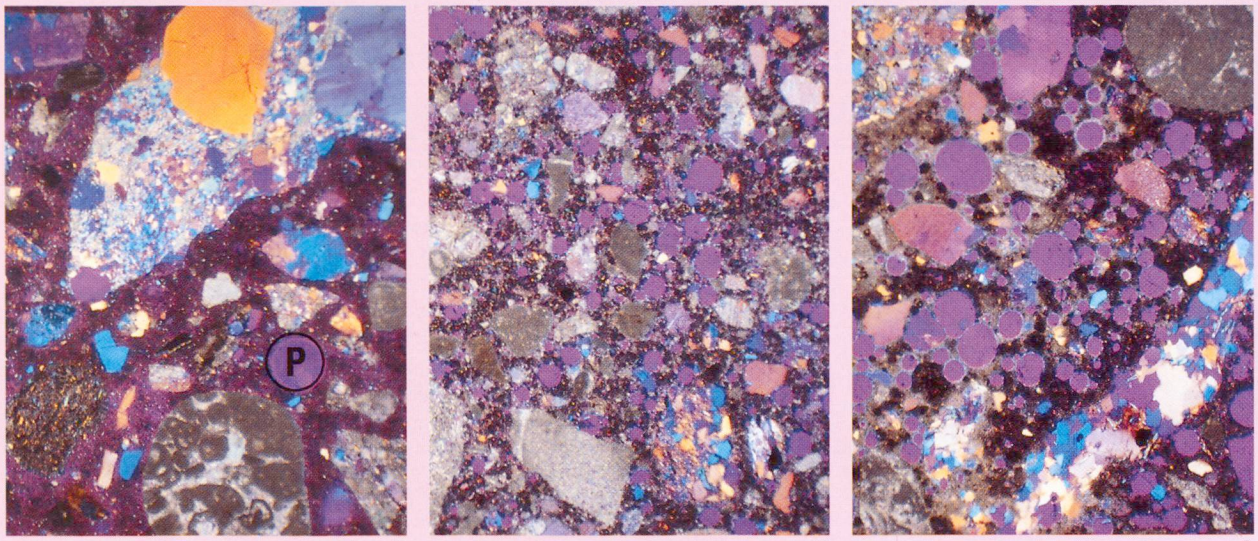


Photo: TFB, Nyon

Analyses microscopiques de lames minces de bétons dont la teneur en air diffère:
A) extrêmement peu de pores (P)
B) bonne répartition numérique et dimensionnelle des pores d'un béton résistant aux fondants chimiques
C) béton avec un pourcentage de pores beaucoup trop élevé.
(Coupe d'une photo: 1,8 × 2,7 mm; lumière polarisée et plaquettes lambda.)

e/c du béton peut aller jusqu'à 0,70 si l'on ajoute un LP en quantité suffisante pour que la teneur en air du béton frais indiquée dans le *tableau 1* soit atteinte [8].
Le contrôle de la teneur en air selon essai no 21 de la norme SIA 162/1 [9] fait partie des contrôles du béton qui doivent être faits pour un béton résistant au gel et aux fondants chimiques. Ce contrôle peut se faire avec un pot à air (voir photo de la *page de titre)*. Cette méthode permet toutefois uniquement de déterminer la teneur en air totale et non d'obtenir des indications sur le nombre et la grosseur des bulles d'air. Elle est cependant utile, car le vibrage élimine les grosses bulles d'air qui ne contribuent pas à la résistance aux fondants chimiques. La teneur en air sert donc d'indicateur pour la qualité constante du béton frais et pour la résistance au gel et aux fondants chimiques exigée.
Pour la résistance au gel, ce sont toutefois les résultats des analyses sur carottes (essais nos 6 à 9 de la norme SIA 162/1 [9], résistance au gel selon Dubrolubov-Romer [10], ainsi qu'autres méthodes) qui sont déterminants.

Diamètre de grain maximal du mélange de granulats [mm]	Teneur en air moyenne [part de volume en %]
8	≥ 5,5
16	≥ 4,5
32	≥ 4,0
63	≥ 3,5

Tab. 1 Teneur en air dans le béton frais juste avant la mise en place selon DIN 1045 [8].

Effets principaux et secondaires des LP

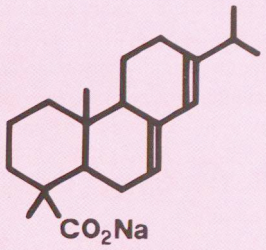
Le rôle de l'air généré par les LP est expliqué plus en détail dans l'encadré «Voici comment agit l'air».
D'abord, l'air augmente la résistance du béton au gel et aux fondants chimiques. Grâce à l'introduction d'air, les capillaires sont interrompus par des élargissements sphériques; ils absorbent moins d'eau, et la destruction du béton par l'eau gelée est évitée. De plus, la résistance aux agents chimiques solubles dans l'eau agressifs, tels que chlorures et sulfates, est améliorée [4].

Autres effets positifs sur le béton frais ou durci [11]:
- amélioration de l'ouvrabilité
- augmentation de la cohésion interne des composants
- amélioration de la régularité du béton apparent
- amélioration des bétons immergés

La diminution de la résistance à la compression est certainement le principal effet négatif des LP. Selon la norme SIA 162/1 [9], chaque pourcent d'air provoque une diminution de la résistance à la compression de 1 à 2 N/mm^2. Selon d'autres sources, 1 % d'air occlus peut signifier une perte de résistance à la compression allant jusqu'à 8 % pour un béton plastique à 300 kg CP/m^3, si l'on ne réduit pas la teneur en eau [12]. L'utilisation combinée d'un LP et d'un HBV approprié permet toutefois de réduire la teneur en eau si fortement, que les pertes de résistance mécanique sont plus que compensées [13].

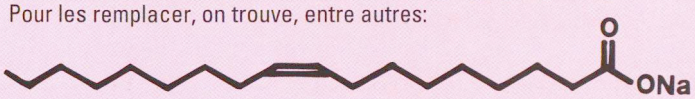
Pourquoi les LP forment-ils des pores?

Dans une des publications citées dans la bibliographie, on trouve la description de diverses combinaisons organiques ayant des propriétés porogènes [19]. Les substances à action physique font souvent partie des savons ou des détergents. Les savons sont également les sels de sodium de résines vinsol, que l'on extrait principalement des souches de sapin ou du tallöl. L'agent actif proprement dit est le sel de sodium de l'acide abiétique (**1**). On sait de **1** et d'autres LP qu'ils sont toxiques pour les poissons. Ils ne sont pas vraiment dangereux pour l'homme, même si quelques-uns d'entre eux peuvent irriter la peau et les muqueuses.



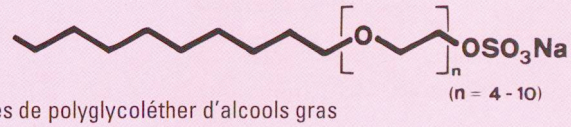
sel de sodium
de l'acide abiétique

Les LP à base de résines vinsol dominent actuellement le marché.
Pour les remplacer, on trouve, entre autres:



les sels d'acides gras — exemple: sel de sodium de l'acide oléique

les sulfates d'alkyle — exemple: dodécylsulfate de sodium



les sulfates de polyglycoléther d'alcools gras

C'est graphiquement que l'on peut le mieux expliquer l'action des LP dans le béton frais *(figure 1)*: Après l'adjonction, la majeure partie des LP est fixée aux particules de ciment par les groupes polaires ($-CO_2^-$, $-SO_3^-$, $-SO_4^-$, etc.). Une petite partie de LP reste en solution sous forme de sel de calcium. Pendant le malaxage, les LP dissous peuvent enrober les bulles d'air et empêcher ainsi qu'elles fusionnent et forment de plus grands édifices. Les bulles ainsi stabilisées sont en outre retenues dans le béton frais par la partie apolaire des LP (squelette carboné ou chaîne des carbones) qui est fixée aux grains de ciment.

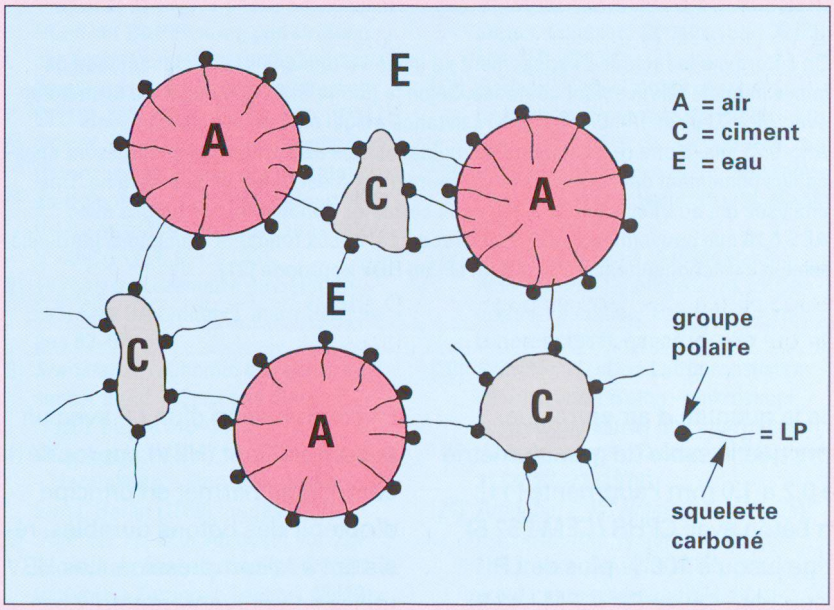


Fig. 1 Interactions entre ciment, air, eau et molécules de LP [19].

Influences sur l'action des LP

L'action des LP est influencée par de nombreux facteurs. Il va donc de soi que l'on ne doit pas utiliser de bétons contenant des LP sans procéder aux «essais préliminaires systématiques» exigés dans la norme SIA 162. Il faut également observer les indications du fournisseur, particulièrement lorsque les LP sont combinés avec d'autres adjuvants.

Plusieurs LP agissent déjà en de très faibles concentrations (< 1 % du poids du ciment). Ils sont soit dissous dans l'eau de gâchage, soit versés dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage. Le malaxage doit durer 90 s.

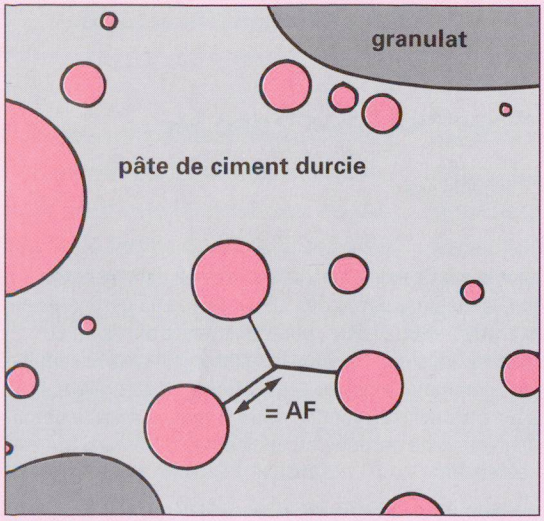
Une sélection des facteurs exerçant une influence sur la teneur en air et la répartition dimensionnelle des pores dans le béton frais figure dans le *tableau 2*. Nous allons ici nous étendre plus en détail sur quelques-uns de ces facteurs.

Alors que la teneur en air du béton frais n'est pas influencée par les gros granulats, elle peut être considérablement augmentée par une modification adéquate de la granulométrie dans le domaine des fines: dans de bonnes conditions, on peut entraîner jusqu'à 3 % d'air, sans LP [13]. En présence de LP, le sable de granulométrie de < 0,2 mm dimi-

6 Comment agissent les pores

Un béton dont le facteur e/c est supérieur à 0,40 environ, contient des pores capillaires, en partie communicants, et en partie isolés. C'est par les pores capillaires (diamètre 10^{-5} à 10^{-3} mm) que le béton absorbe l'eau lorsqu'il est exposé aux influences de l'environnement. Si cette eau dite interstitielle gèle, son volume augmente de quelque 9 %. La pâte de ciment durcie s'en trouve soumise à des contraintes, dues d'une part à l'expansion de la glace en formation et d'autre part au déplacement rapide de l'eau non gelée, qui est refoulée par les cristaux de glace croissant. Et les sels dissous dans l'eau interstitielle exercent une pression supplémentaire.
Ce processus se renouvelle lors de chaque cycle de gel-dégel. Le béton est soumis à des efforts de traction, ce qui signifie qu'il est sollicité dans sa zone la plus faible. On en connaît les conséquences: des dégâts dus au gel ou aux fondants chimiques apparaissent. Les pores d'air, dont le diamètre est au moins dix fois supérieur à celui des capillaires, interrompent les capillaires. Ils permettent ainsi une expansion non destructive de l'eau gelant dans les capillaires, à condition toutefois que la distance entre les pores d'air se trouvant dans les capillaires soit petite et que les pores d'air ne soient pas eux-mêmes remplis d'eau.

Exprimé en chiffres, cela signifie:
- Le diamètre des pores d'air doit se situer entre 0,020 et 0,30 mm.
- Le facteur d'espacement (AF), qui indique la distance maximale jusqu'au prochain pore d'air, ne doit pas être supérieur à 0,20 mm (voir *figure 2)*.



AF = facteur d'espacement

Fig. 2 Représentation schématique de la répartition des pores d'air dans la pâte de ciment durcie (selon [20]).

On détermine le facteur d'espacement au moyen d'une analyse microscopique de lames minces, relativement coûteuse. Selon la norme SIA 162/1, essai no 6, un béton avec AF < 0,20 mm témoigne d'une résistance au gel élevée, et un béton avec AF > 0,25 mm, d'une résistance au gel faible [9]. Des dispositions similaires sont applicables également dans d'autres pays. Leur valeur n'est toutefois pas absolue. Des analyses ont en effet démontré que dans certaines conditions, des bétons avec AF > 0,20 mm peuvent également résister au gel et aux fondants chimiques, particulièrement s'ils contiennent, en plus d'un LP, un HBV approprié [21].

nue la quantité d'air entraînée, alors que le sable de granulométrie de 0,2 à 1,0 mm l'augmente [11]. Un béton avec CPHR (CEM I 52,5) exige jusqu'à 100 % plus de LP qu'un béton avec CP (CEM I 42,5) pour que la même quantité d'air soit entraînée dans le béton durci.

La combinaison d'un LP avec un superfluidifiant (HBV) approprié compatible permet en principe d'obtenir des bétons durables, résistant à la compression. Les HBV utilisés ne doivent toutefois pas contenir d'agents antimousse, car ceux-ci peuvent réduire la formation de pores ou même l'empêcher [14]. La combinaison d'un LP à base de vinsol avec un HBV à base de mélamine doit diminuer le danger de grossissement du système de pores, qui existe avec certains autres HBV [15].

Mise en œuvre des bétons contenant des LP

La teneur en air du béton frais peut diminuer de quelque 0,5 % pendant le transport de la centrale à béton au chantier. C'est donc la teneur en air juste avant la mise en place qui est déterminante. Cela s'applique particulièrement au béton pompé, dont la teneur en air juste avant et juste après le pompage peut varier de 1 à 2 %. On a mesuré des pertes d'air allant jusqu'à 1,5 % dans le béton tombant à la verticale lors de la mise en place [16].
Il est également important de vibrer comme il se doit les bétons contenant des LP, car on peut ainsi, dans une première phase, éliminer les grosses bulles d'air ou les diviser en de plus petites. Ces bulles n'entrent pour rien dans la résistance au gel et aux fondants chimiques, mais elles diminuent la résistance mécanique et l'étanchéité à l'eau ainsi que la porosité du béton. Un vibrage trop long peut chasser du béton de 10 à 30 % de l'air entraîné

Tab. 2 Une sélection des facteurs pouvant exercer une influence sur la teneur en air du béton frais.

Facteur	Influences
Ciment	Plus le ciment est fin, plus, dans des conditions comparables, la teneur en air est faible (quantités, teneur en LP) [17].
Granulats fins	Les granulats ronds favorisent l'entraînement d'air [17].
Gros granulats	Les granulats empoussiérés diminuent la teneur en air [17]. Les granulats concassés génèrent moins d'air que les ronds [17].
Ajouts	Les cendres volantes ou autres ajouts ayant des propriétés pouzzolaniques augmentent la quantité de LP nécessaire [18].
Eau	Si les LP sont dilués par de l'eau dure avant l'adjonction, ils perdent de leur efficacité [17].
Consistance	Dans des conditions comparables, c'est le béton frais à consistance plastique qui forme le plus de pores actifs [12].
Température	Une augmentation de la température du béton signifie une diminution de la teneur en air [17].
Malaxeur	Plus les lames du malaxeur sont usées, plus la quantité d'air occlus diminue [17]. La quantité d'air occlus augmente lorsque le malaxeur n'est pas chargé au maximum [17].
Durée du malaxage	La teneur en air augmente parallèlement à la durée du malaxage, à condition de ne pas dépasser 2 min avec les malaxeurs stationnaires et 15 min avec les malaxeurs sur camion [17].
Compactage	Un vibrage excessif réduit la teneur en air de 10 à 30 % [12].
Huiles et graisses	Les huiles et graisses augmentent ou diminuent la teneur en air, selon le produit [17]. (Ces impuretés organiques apparaissent lorsque le lubrifiage est mal fait dans les cimenteries et les centrales à béton.)
Autres adjuvants	La plupart des adjuvants augmentent la teneur en air du béton lorsqu'ils sont utilisés avec des LP [17]. La quantité d'air occlus est plus élevée si les adjuvants ne sont ajoutés que 15 secondes après le début du malaxage [17].

artificiellement. Plus la fréquence du vibrage est élevée, plus les bulles rompues deviennent petites [12, 16]. Lors de la finition, il faut veiller à ne pas soumettre la surface à des contraintes excessives, car une fois les grosses bulles indésirables éliminées, ce sont les petites bulles nécessaires pour la résistance au gel et aux fondants chimiques qui sont détruites [16]. Et il faut bien sûr absolument faire un traitement de cure. *Kurt Hermann*

Bibliographie

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

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

[3] *Hermann, K.*, «Les adjuvants: BV et HBV», Bulletin du ciment **62** [10], 2–7 (1994).

[4] *Hermann, K.*, «Les bétons mousse», Bulletin du ciment **61** [10] (1993).

[5] *Meyer, B.*, «Microbulles de plastique», Bulletin du ciment **56** [5] (1988).

[6] SN 640 461 a, «Revêtements en béton» (1994).

[7] *Werner, R.*, «Revêtements en béton pour routes, chemins et places», Bulletin du ciment **62** [8], 2–7 (1994).

[8] DIN 1045, «Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung» (1978).

[9] Norme SIA 162/1 (1989), «Ouvrages en béton – Essais des matériaux».

[10] *Dobrolubov, G.*, et *Romer, B.*, «Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung der Frost-Tausalzbeständigkeit von Zementbeton», Strasse und Verkehr **63** [10], 405–411; [11] 432–436 (1977).

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

[12] *Wäber, U.*, «Bréviaire du béton Sika», Sika SA (éditeur), mars 1992, pages 62–67.

[13] *Krenkler, K.*, «Chemie des Bauwesens», Band 1, Springer, Berlin (1980), pages 316–345.

[14] *Weigler, H.*, et *Karl, S.*, «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst, Berlin (1989), pages 73/74.

[15] *Sommer, H.*, «Zur Auswahl von Zusatzmitteln für Luftporenbeton», Betonwerk + Fertigteil-Technik **43** [12], 813–816 (1977).

[16] *Hover, K.*, «Air bubbles in fresh concrete», Concrete Construction **38** [2], 148–152 (1993).

[17] *Dodson, V. H.*, «Concrete admixtures», Van Nostrand Reinhold, New York (1990), Seiten 129–158.

[18] «Chemical admixtures for concrete», Concrete International **15** [10], 48–53 (1993).

[19] *Rixom, M. R.*, and *Mailvaganam, N. P.*, «Chemical admixtures for concrete», 2e édition, E. & F.N. Spon, Londres (1986), pages 95–139.

[20] *Sommer, H.*, «Das Luftporensystem im erhärteten Beton – mikroskopische Ausmessung und internationaler Ringversuch, Zement und Beton **21** [2], 67–72 (1976).

[21] *Attiogbe, E. K.*, *Nmai, C. K.*, and *Gay, F. T.*, «Air-void system parameters and freeze-thaw durability of concrete containing superplasticizisers», Concrete International **14** [7], 57–61 (1992).