

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 62 (1994)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Zusatzmittel. Teil 3, LP  
**Autor:** Hermann, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153797>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

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



Foto: Rolf Werner, BeAG, Wildegg

## Zusatzmittel: LP

### Teil 3

**Luftporenbildner (LP) werden vor allem eingesetzt, um die Frost- und Frosttausalzbeständigkeit von Beton mittels Luftporen zu verbessern.**

Luftporenbildner (LP) sind «Zusatzmittel, die den Einschluss einer kontrollierten Menge von kleinen, gleichmässig verteilten Luftporen während des Mischvorgangs ermöglichen, die nach dem Erhärten im Beton verbleibt» [1]. Die positive Wirkung von derartigen künstlich erzeugten Luftporen auf die Frost- und Frosttausalzbeständigkeit (F- und FT-Beständigkeit) von Beton ist seit mehr als 50 Jahren bekannt. In unserer Reihe über Zusatzmittel bilden LP nach einem allgemeinen Überblick [2] sowie einem Artikel über Verflüssiger (BV) und Hochleistungsverflüssiger (HBV) [3] einen weiteren Schwerpunkt. Nicht eingegangen wird auf Schaumbetone (eigentlich handelt

es sich um Schaummörtel), deren Rohdichte zwischen 400 und 1800 kg/m<sup>3</sup> liegt (siehe [4]), sowie auf Gasbetone, deren Poren durch chemische Reaktionen zwischen Treib- und Bindemitteln entstehen. Eine Sonderstellung nehmen homogen im Zementstein verteilte Mikrohohlkugeln aus Kunststoff (Durchmesser zwischen 10 und 60 µm) ein, die einem Beton ebenfalls eine erhöhte F- und FT-Beständigkeit verleihen [5]. Sie haben sich bisher aus verschiedenen Gründen (Preis, Handlingprobleme) nicht durchsetzen können.

#### Wie die Luft in den Beton kommt

Luft gelangt vor allem beim Mischen, aber auch beim Einbringen in den Frischbeton. Sie liegt in Blasen vor, die von einem dünnen Wasserfilm umgeben sind. Die Blasen können kleine Kugeln in der Grösse eines Zementkorns, aber auch unregelmässig geformte Gasblasen in der Grösse des Grobzuschlags oder noch grösser sein. Sie bewegen sich im Frischbeton, ihre Form und ihr Volumen ändern sich laufend; sie können miteinander verschmelzen oder aufbrechen, bei-

**Auch nach mehr als 25 Jahren Belastung durch Frost und Frosttausalz immer noch intakt: Brückenbelag aus Luftporenbeton auf der Gotthard-Südrampe.**

spielsweise während des Vibrierens. Im erhärteten Beton sind die Blasen an Ort fixiert; es entstehen Luftporen.

In Anwesenheit von LP verschiebt sich die Abstufung der Luftblasen zugunsten der erwünschten kleineren kugelförmigen Gebilde. LP stabilisieren die Luftblasen und halten sie im Frischbeton zurück. (Mehr zu diesem Thema ist im Kasten «Warum LP Luftporen bilden» zu erfahren.)

#### Wieviel Luft braucht ein Beton?

In der kürzlich überarbeiteten VSS-Norm SN 640 461 a für Betonbeläge [6, 7] wird vorgeschrieben, dass Frischbeton bei der Einbaustelle 4 bis 6 % Luftporen enthalten muss. Zusätzlich wird ein niedriger W/Z-Wert (< 0,45) verlangt. Dies bedingt, dass neben dem LP auch ein HBV eingesetzt werden muss.

Diese Vorschrift über den Luftgehalt ist in Übereinstimmung mit der Erfahrung, die besagt, dass fachgerecht hergestellter Frischbeton mit 4 bis 6 % Luftporengehalt frost- und frosttausalzbeständig ist und Beton, der mehr als 7 % Luftporen enthält, nicht eingebaut werden sollte. Bei

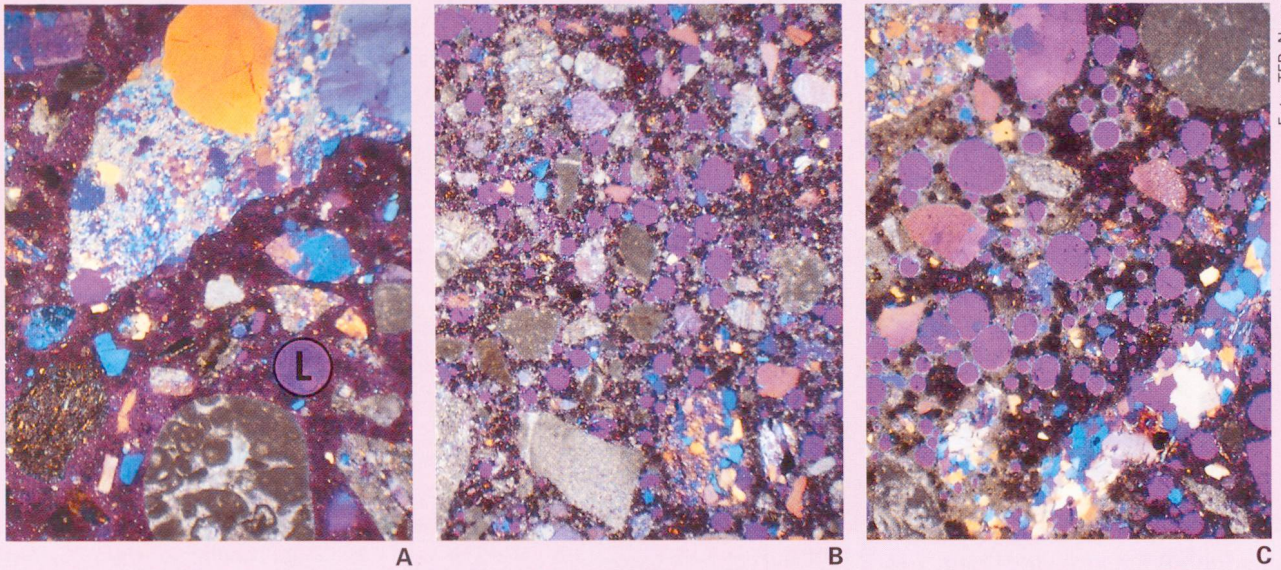


Foto: TFB, Nyon

**Mikroskopische Dünnschliffuntersuchungen von Betonen mit unterschiedlichem Luftporengehalt: (A) ausserordentlich wenig Luftporen (L), (B) zahlen- und grössenmässig gute Luftporenverteilung eines FT-beständigen Betons, (C) Beton mit viel zu grossem Luftporenanteil. (Bildausschnitt  $1,8 \times 2,7$  mm; polarisiertes Licht mit  $\gamma$ -Plättchen.)**

massigen Bauteilen darf in Deutschland der W/Z-Wert von Beton mit hohem Frostwiderstand bis zu 0,70 betragen, wenn LP in solchen Mengen zugegeben werden, dass der Luftgehalt im Frischbeton die in *Tabelle 1* angegebenen Werte erreicht [8]. Die Prüfung des Luftporengehalts nach Prüfung Nr. 21, Norm SIA 162/1 [9] gehört zu den notwendigen Frischbetonprüfungen bei frost- und bei frostausalzbeständigem Beton. Sie kann mit einem Luftporentopf erfolgen (siehe *Titelbild*). Mit dieser Methode wird allerdings nur der Gesamtluftgehalt bestimmt, Aussagen über die Zahl und die Grösse der vorliegenden Luftblasen können nicht gemacht werden. Dennoch ist dieses Verfah-

ren nützlich, denn durch das Vibrieren werden die grossen Luftblasen entfernt, die nichts zur FT-Beständigkeit beitragen. Der Luftgehalt dient deshalb als Indikator für eine gleichbleibende Qualität des Frischbetons und die geforderte F- und FT-Beständigkeit.

Entscheidend für die Frostbeständigkeit sind allerdings die Ergebnisse von Untersuchungen an Bohrkernen (Prüfungen Nr. 6 bis 9, Norm SIA 162/1 [9], FT-Beständigkeit nach Dobrolubov-Romer [10] sowie weitere Verfahren).

### Haupt- und Nebeneffekte von LP

Die Rolle der durch LP erzeugten Luftporen wird im Kasten «Wie Luftporen wirken» näher erklärt. Luftporen erhöhen primär die F- und die FT-Beständigkeit von Beton. Durch die Einführung von Luftporen werden die Kapillaren durch kugelförmige Erweiterungen unterbrochen; sie saugen weniger Wasser auf, die Zerstörung des Betons durch das gefrierende Wasser wird vermie-

den. Zudem verbessert sich der Widerstand gegenüber wasserlöslichen aggressiven Chemikalien wie Chloriden und Sulfaten [4].

Positiv auf Frisch- oder Festbetone wirken sich weiter aus [11]:

- verbesserte Verarbeitbarkeit
- erhöhter innerer Zusammenhalt der Komponenten
- gleichmässigerer Sichtbeton
- besserer Unterwasserbeton

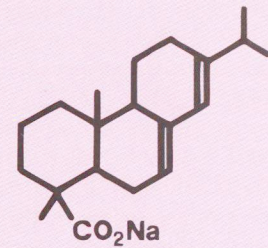
Der bedeutendste negative Effekt von LP ist sicher die Abnahme der Druckfestigkeit. Nach Norm SIA 162/1 [9] verursacht jedes Prozent Luftporen einen Druckfestigkeitsverlust von 1 bis 2 N/mm<sup>2</sup>. Aufgrund anderer Quellen kann 1 % eingeführte Luft bei einem plastischen Beton mit 300 kg PC/m<sup>3</sup> bis zu 8 % Druckfestigkeitsverlust bedeuten [12], wenn der Wassergehalt nicht erniedrigt wird: In Verbindung mit einem geeigneten HBV lässt sich der Wassergehalt oft derart stark reduzieren, dass die Festigkeitsverluste mehr als kompensiert werden [13].

Grösstkorn des Zuschlaggemisches [mm]	Mittlerer Luftgehalt [Volumenanteil in%]
8	≥ 5,5
16	≥ 4,5
32	≥ 4,0
63	≥ 3,5

**Tab. 1 Luftporengehalt in Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau (nach DIN 1045 [8]).**

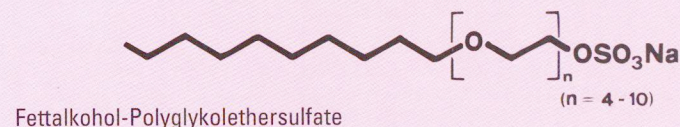
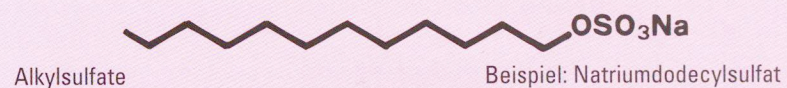
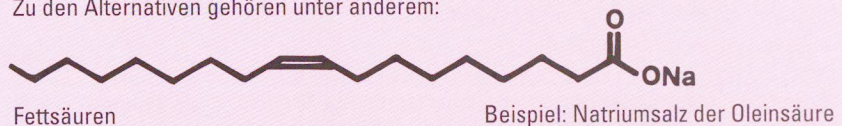
## Warum LP Luftporen bilden

In der Literatur sind viele verschiedene organische Verbindungen mit luftporenbildenden Eigenschaften beschrieben [19]. Häufig gehören die physikalisch wirkenden Substanzen zu den Seifen oder Detergenzien. Seifen sind auch die Natriumsalze von Vinsolharzen, die hauptsächlich aus Tannenwurzeln oder Tallöl gewonnen werden. Der eigentliche Wirkstoff ist das Natriumsalz der Abietinsäure (**1**). Von **1** und weiteren LP ist bekannt, dass sie fischtoxisch sind. Für den Menschen bilden sie keine akute Gefahr, auch wenn einige von ihnen Haut und Schleimhäute reizen können.



Natriumsalz der Abietinsäure

LP auf Vinsolharzbasis beherrschen gegenwärtig den Markt. Zu den Alternativen gehören unter anderem:



Die Wirkung von LP in Frischbeton lässt sich am besten grafisch verdeutlichen (*Abbildung 1*): Nach der Zugabe wird die Hauptmenge der LP über die polaren Gruppen ( $-\text{CO}_2^-$ ,  $-\text{SO}_3^-$ ,  $-\text{SO}_4^-$  usw.) an die Zementteilchen gebunden. Ein geringer Teil des LP bleibt als Calciumsalz in Lösung. Während des Mischens können die gelösten LP die Luftblasen umhüllen und so verhindern, dass sich mehrere Blasen zu größeren Gebilden verschmelzen. Derart stabilisierte Blasen werden zudem über den apolaren Teil (Kohlenstoffgerüst oder Kohlenstoffkette) der LP im Frischbeton zurückgehalten, die an den Zementkörnern fixiert sind.

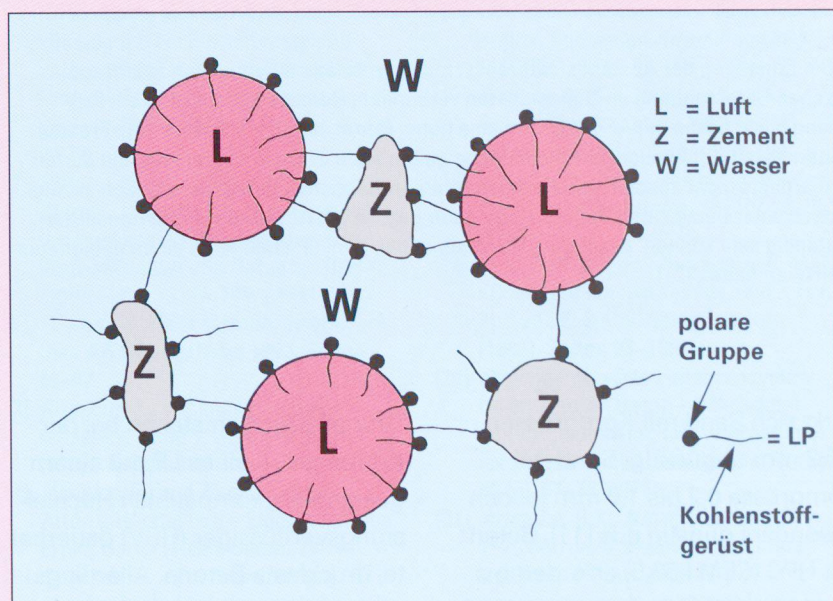


Abb. 1 Wechselwirkungen zwischen Zement, Luft, Wasser und LP-Molekülen [19].

### Einflüsse auf die Wirkung von LP

Die Wirkung von LP wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Es versteht sich deshalb von selbst, dass LP-haltige Betone nicht ohne die in der Norm SIA 162 geforderten «systematischen, schlüssigen Vorversuche» eingesetzt werden dürfen. Dabei sollen auch die Herstellerangaben berücksichtigt werden, besonders wenn LP mit anderen Zusatzmitteln kombiniert werden sollen.

Viele LP wirken bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (< 1 % des Zementgewichts). Sie werden entweder im Anmachwasser gelöst oder gleichzeitig mit dem Anmachwasser in den Mischer gegeben. Die Nassmischzeit sollte 90 s betragen. Eine Auswahl von Faktoren, die den Luftgehalt und die Grössenverteilung der Luftporen in Frischbeton beeinflussen, ist in der *Tabelle 2* zusammengefasst. Auf einige soll hier noch weiter eingegangen werden. Während grobe Zuschlagstoffe keinen Einfluss auf den Luftgehalt des Frischbetons haben, lässt sich dieser durch eine gezielte Veränderung der Granulometrie im Feinbereich wesentlich steigern: Unter günstigen Bedingungen werden auch ohne LP bis zu 3 % Luftporen eingeführt [13]. In Gegenwart von LP

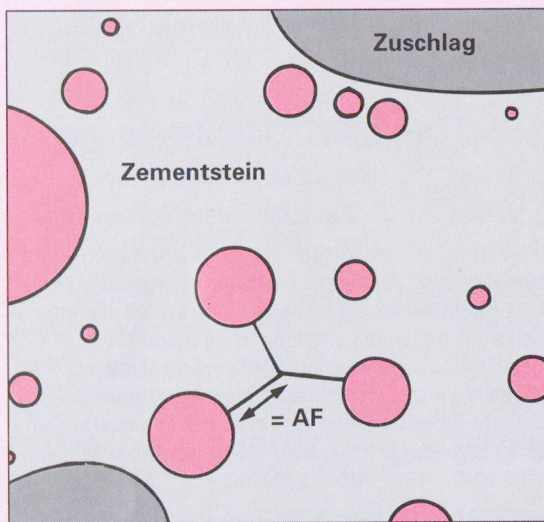
Beton, dessen W/Z-Wert grösser als etwa 0,40 ist, enthält Kapillarporen, die teilweise miteinander vernetzt, teilweise isoliert sind. Über die Kapillarporen (Durchmesser  $10^{-5}$  bis  $10^{-3}$  mm) nimmt Beton Wasser auf, wenn er Umwelteinflüssen ausgesetzt ist. Gefriert dieses sogenannte «Porenwasser», vergrössert sich sein Volumen um etwa 9 %. Dadurch belastet es den Zementstein, einerseits durch die Ausdehnung des entstehenden Eises und andererseits durch die schnelle Bewegung des nicht gefrorenen Wassers, das durch die wachsenden Eiskristalle verdrängt wird. Im Porenwasser gelöste Salze sorgen für zusätzlichen Druck.

Dieser Vorgang wiederholt sich bei jedem Frostzyklus. Der Beton wird dabei Zugspannungen ausgesetzt, das heisst, er wird in seinem schwächsten Bereich belastet. Die Folgen sind bekannt: Es treten Frost- und in Anwesenheit von Tausalzen Frosttausalzschäden auf.

Luftporen, deren Durchmesser mindestens zehnmal grösser als der Durchmesser der Kapillaren sind, unterbrechen die Kapillaren. Sie sorgen dafür, dass sich gefrierendes Wasser in den Kapillaren ohne Schädigung ausdehnen kann. Voraussetzung ist allerdings, dass die Distanz zwischen den Luftporen in den Kapillaren klein ist und die Luftporen nicht selbst mit Wasser gefüllt sind.

In Zahlen ausgedrückt, bedeutet dies:

- Der Durchmesser der Luftporen sollte zwischen 0,020 und 0,30 mm liegen.
- Der Abstandsfaktor (AF), der den maximalen Abstand zur nächsten Luftpore angibt, darf nicht grösser als 0,20 mm sein (siehe *Abbildung 2*).



AF = Abstandsfaktor

**Abb. 2 Schematische Darstellung der Luftporenverteilung im Zementstein (nach [20]).**

Die Ermittlung der Abstandsfaktoren ist mit einer relativ aufwendigen mikroskopischen Untersuchung an Dünnschliffen verbunden. Gemäss Norm SIA 162/1, Prüfung 6, hat Beton mit  $AF \leq 0,20$  mm eine hohe, Beton mit  $AF \geq 0,25$  eine tiefe Frostbeständigkeit [9]. Ähnliche Bestimmungen gelten auch in anderen Ländern. Sie dürfen allerdings nicht absolut genommen werden. Untersuchungen haben nämlich gezeigt, dass unter bestimmten Bedingungen auch Betone mit  $AF > 0,20$  mm frosttausalzbeständig sein können, besonders wenn sie neben dem LP auch noch einen geeigneten HBV enthalten [21].

wirkt sich Sand mit Korngrössen  $< 0,2$  mm ungünstig, Sand der Korngrösse 0,2 bis 1,0 mm jedoch besonders günstig aus [11]. Beton mit HPC (CEM I 52,5) erfordert bis zu 100 % mehr LP als Beton mit PC (CEM I 42,5), um die gleiche Luftmenge im Festbeton einzuführen.

Grundsätzlich entstehen bei der Kombination eines LP mit einem geeigneten, kompatiblen Hochleistungsverflüssiger (HBV) dauerhafte, druckfeste Betone. Allerdings dürfen die eingesetzten HBV keine entschäumenden Komponenten enthalten, da diese die Luftporen-

bildung vermindern oder gar unterbinden könnten [14]. Die Kombination eines LP auf Vinsolbasis mit einem HBV auf Melaminbasis soll die Gefahr der Vergrößerung des Luftporensystems erniedrigen, die bei gewissen anderen HBV besteht [15].

**Verarbeitung von LP-haltigem Beton**

Beim Transport vom Fertigbetonwerk zur Einbaustelle kann der Luftgehalt im Frischbeton um etwa 0,5 % abnehmen. Entscheidend ist deshalb der Luftgehalt unmittelbar vor dem Einbau. Dies gilt besonders bei Pumpbeton, wo sich der Luftgehalt unmittelbar vor und nach dem Pumpen um 1 bis 2 % unterscheiden kann. Bei Beton, der beim Einbringen senkrecht fällt, sind Luftverluste bis zu 1,5 % gemessen worden [16].

Das fachgerechte Vibrieren ist auch bei LP-haltigem Beton wichtig, denn dadurch werden in einer ersten Phase die grossen Luftblasen entfernt oder in kleinere Blasen aufgeteilt. Sie tragen nichts zur F- und FT-Beständigkeit bei, erniedrigen aber die Festigkeit und die Wasserdichtigkeit sowie die Porosität des Betons. Durch Übervibrieren können 10 bis 30 % der künstlich erzeugten Luftporen aus dem Beton ausgetrieben werden. Je grösser die Vi-

Tab. 2 Eine Auswahl von Faktoren, die den Luftgehalt in Frischbeton beeinflussen können.

Faktor	Einflüsse
Zement	Je feiner der Zement, desto niedriger ist der Luftporengehalt unter vergleichbaren Bedingungen (Mengen, LP-Gehalt) [17].
Feinzuschlag	Runde Zuschlagteile begünstigen die Einführung von Luft [17].
Grobzuschlag	Staub auf Zuschlagteilen vermindert den Luftgehalt [17]. Gebrochenes Zuschlagmaterial «produziert» weniger Luft als rundes Korn [17].
Zusatzstoffe	Flugaschen oder andere puzzolanisch wirkende Zusatzstoffe machen mehr LP notwendig [18].
Wasser	Wenn LP vor der Zugabe durch hartes Wasser verdünnt werden, vermindert sich ihre Wirksamkeit [17].
Konsistenz	Frischbeton mit weichplastischer Konsistenz (Ausbreitmass 35 bis 45 cm) bildet unter vergleichbaren Bedingungen am meisten wirksame Luftporen [12].
Temperatur	Eine Zunahme der Betontemperatur bedeutet eine Abnahme des Luftgehalts [17].
Mischer	Die Menge der eingeführten Luft nimmt ab, je stärker die Mischerblätter abgenutzt sind [17]. Die eingebrachte Luftmenge nimmt zu, wenn der Mischer nicht mit der Maximalmenge beschickt wird [17].
Mischzeit	Der Luftgehalt nimmt mit zunehmender Mischzeit zu, wenn 2 min bei stationären und 15 min bei Fahrmischern nicht überschritten werden [17].
Verdichtung	Übermässiges Vibrieren reduziert den Luftgehalt um 10 bis 30 % [12].
Öle und Fette	Je nach Produkt erhöhen oder erniedrigen Öle und Fette den Luftgehalt [17]. (Diese organischen Verunreinigungen treten bei schlechter Schmierpraxis in Zement- und Fertigbetonwerken auf.)
Andere Zusatzmittel	Die meisten Zusatzmittelarten erhöhen den Luftgehalt von Beton, wenn sie zusammen mit LP eingesetzt werden [17]. Wenn die Zugabe von Zusatzmitteln erst 15 s nach Mischbeginn erfolgt, wird mehr Luft eingebracht [17].

brationsfrequenz ist, desto kleiner werden die Blasen, die aufgebrochen werden [12, 16]. Bei der Endfertigung ist darauf zu achten, dass die Oberfläche nicht überbeansprucht wird: Nachdem die unerwünschten grossen Blasen entfernt sind, werden die für die F- und FT-Beständigkeit benötigten kleinen Blasen zerstört [16]. Selbstverständlich muss unbedingt nachbehandelt werden.

Kurt Hermann

## Literatur

- [1] prEn 934-2, «Zusatzmittel für Beton und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Spezifikationen und Konformitätskriterien» (1992).
- [2] Hermann, K., «Zusatzmittel», Cementbulletin **62** [9], 2–7 (1994).
- [3] Hermann, K., «Zusatzmittel: BV und HBV», Cementbulletin **62** [10], 2–7 (1994).
- [4] Hermann, K., «Schaumbetone», Cementbulletin **61** [10] (1993).
- [5] Meyer, B., «Mikrohohlkugeln», Cementbulletin **56** [5] (1988).
- [6] SN 640 461 a, «Betonbeläge (1994).
- [7] Werner, R., «Betonbeläge für Strassen, Wege und Plätze», Cementbulletin **62** [8], 2–7 (1994).
- [8] DIN 1045, «Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung» (1978).
- [9] Norm SIA 162/1 (1989), «Betonbauten – Materialprüfung».
- [10] Dobrolubov, G., und 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», schriftliche Unterlagen zum Wildegger Kurs «Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe» vom 13./14. März 1991.
- [12] Wäber, U., «Sika Betonbrevier», Sika AG (Hrsg.), März 1992, Seiten 62–67.
- [13] Krenkler, K., «Chemie des Bauwesens», Band 1, Springer, Berlin (1980), Seiten 316–345.
- [14] Weigler, H., und Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst, Berlin (1989), Seiten 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», 2nd ed., E. & F.N. Spon, London (1986), Seiten 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 superplasticizers», Concrete International **14** [7], 57–61 (1992).