

INFORMATIONSSCHRIFT



Herstellen von LP-Beton

2. Ausgabe, November 2013

INHALT

1	VORBEMERKUNG	2
2	MECHANISMEN BEIM FROST- UND TAUSALZANGRIFF	3
3	ANWENDUNG VON LUFTPORENBILDNERN	5
4	WIRKUNG VON LUFTPORENBILDNERN	5
5	ROHSTOFFE ZUR HERSTELLUNG VON LUFTPORENBILDNERN	6
6	ANFORDERUNGEN AN FRISCH- UND FESTBETON	6
7	EINFLÜSSE AUF DIE LUFTPORENBILDUNG, DEN PORENGEHALT UND DIE PORENSTABILITÄT	7
8	HERSTELLUNG VON LUFTPORENBETON	10
9	ÜBERWACHUNG VON LUFTPORENBETON	14
10	ZUSÄTZLICHE MESS- UND PRÜFVERFAHREN FÜR LUFTPORENBETONE: FRISCH- UND FESTBETON	15
11	ALTERNATIVEN ZUM LP-BETON	17
12	ANHANG (LITERATUR)	19

1 VORBEMERKUNG

Diese zweite, grundlegend überarbeitete und aktualisierte Ausgabe der Informationsschrift über die Herstellung von Luftporenbeton (LP-Beton) wurde von einer Projektgruppe des Fachausschusses 2 „Betontechnik“ erarbeitet und soll den Mitgliedsunternehmen sowie der Fachöffentlichkeit zur Information dienen. Sie soll in komprimierter Form eine Arbeitshilfe für den Praktiker in Transportbetonwerken und Bauunternehmungen sein. Die Informationsschrift gibt einen schnellen Überblick über die wesentlichen Mechanismen beim Frost- und Tausalzangriff, die Anwendung und Wirkungsweise von Luftporenbildnern und erläutert Einflüsse auf die Luftporenbildung, den Porengehalt und die Porenstabilität. Darüber hinaus werden praxisgerechte Hinweise zur Herstellung und Prüfung von Luftporenbeton gegeben. Diese auf praktischen Erfahrungen basierenden Empfehlungen sollen vor allem denjenigen, die nicht tagtäglich Luftporenbeton herstellen bzw. verarbeiten hilfreich sein. Die Informationsschrift erhebt aufgrund der Kürze keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2 MECHANISMEN BEIM FROST- UND TAUSALZ- ANGRIFF

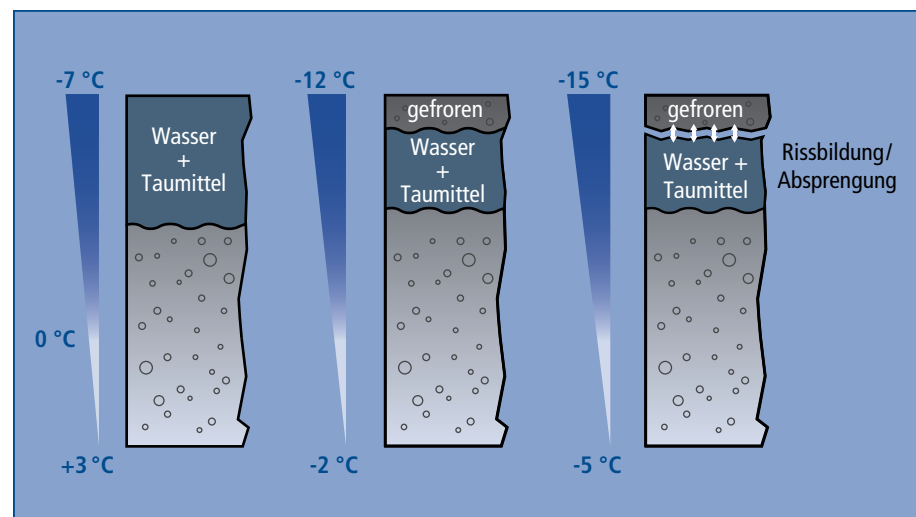
Um die Mechanismen zu verstehen, die bei Frost- und Tausalzangriff auf Beton schädigend einwirken, wurden makroskopische, mikroskopische und chemische Modelle entwickelt. Einige dieser Modelle berücksichtigen auch Transportmechanismen innerhalb des Porensystems des Betons.

■ Makroskopisches Modell

Ein sehr weit verbreitetes makroskopisches Modell (seit Powers, Helmut) stützt sich darauf, dass Eis ein um etwa 9 % größeres Volumen als Wasser hat. Beim Gefrieren des Wassers entsteht durch die Volumenvergrößerung bei Übergang von Wasser zu Eis im Beton ein Kristallisationsdruck. Dieser Innendruck kann die Zugfestigkeit des Betons überschreiten und führt damit zu Abplatzungen an der Betonoberfläche und zu Schädigungen des Betongefüges.

Auf befahrenen und begangenen Flächen werden Schnee und Eis mit Taumitteln aufgetaut. Hierbei dringen die gelösten Salze (z. B. Natriumchlorid, Calciumchlorid) in die Betonoberfläche ein und senken den Gefrierpunkt des Porenwassers ab.

Abb. 1: Makroskopisches Modell zur Frost- und Taumittel-Einwirkung auf Beton



Bei niedrigen Temperaturen gefriert nun zunächst das Wasser in den tieferen Betonschichten, in die kein Chlorid vorgedrungen ist. Bei weiter sinkender Temperatur gefriert dann, von außen beginnend, auch das salzhaltige Wasser in der oberflächennahen Betonschicht (siehe Abb. 1). Der durch die Volumenvergrößerung auftretende Kristallisationsdruck kann beim Gefrieren der unteren und oberen Schicht in benachbarte Bereiche abgeleitet werden. Bei noch tieferen Temperaturen gefriert dann letztlich auch die Wasserschicht, die zwischen den bereits gefrorenen Schichten liegt. Der Gefrierdruck



dieser Schicht kann nun nicht mehr in benachbarte Zonen abgeleitet werden. Die auftretenden Spannungen können jetzt so hoch werden, dass der Beton sie nicht mehr aufzunehmen vermag. Es kommt zur Rissbildung und zu Absprengungen in der obersten Schicht.

Abb. 2: Schadensbild eines Betons ohne ausreichendes Mikroporensystem nach Frost- und Taumittel-Beanspruchung

■ Mikroskopisches Modell

In Beton kann man makroskopische Poren, Kapillar- und Gelporen unterscheiden (Abb. 3-1). Durch Wechselwirkungen mit der inneren Oberfläche der Pore nimmt der Gefrierpunkt des Wassers bei kleineren Poren ab. Deshalb gefriert zuerst das Wasser in den makroskopischen Poren, und bei tieferen Temperaturen in den Kapillar- und Gelporen. Der Dampfdruck von Wasser ist über der Flüssigkeit höher als über Eis. Wasser entweicht aus den Gel- in die Kapillarporen. Wegen der geringen Abstände zwischen den Poren läuft dieser Vorgang sehr schnell ab. In der Folge ziehen sich die Gelporen zusammen und verursachen ein Gefrierschwinden der Matrix (Abb. 3-2).



Beim Auftauen verringern sich die Unterschiede im Dampfdruck zwischen Wasser und Eis, der Transportvorgang kommt zum Stillstand und das Gel dehnt sich wieder aus. Das Wasser, das in den Kapillarporen an Eis gebunden ist, kann nicht in die Gelporen zurückströmen. Deshalb wird externes Wasser in das Porensystem gesaugt (Abb. 3-3). Es findet das Frostsaugen statt.

Mit jedem Frost-Tau-Wechsel werden die Poren weiter mit Wasser gesättigt, bis eine schädigende Sättigung erreicht wird. In der Literatur wird dieses Modell als „Mikroislinsenpumpe“ beschrieben. Bei weiterem Frost stehen nun keine Poren mehr zur Verfügung, die sich ausdehnendes Eis aufnehmen können. Es entstehen Mikrorisse und innerhalb weniger weiterer Frost-Tau-Wechsel wird der Beton zerstört.

Die eingebrachten Luftporen unterbrechen diese Transportvorgänge im Kapillarporensystem. Die Feuchteaufnahme während der Frost-Tauwechsel und das Risiko einer schädigenden Sättigung werden verringert.

Abb. 3: Mikroskopisches Modell [4]

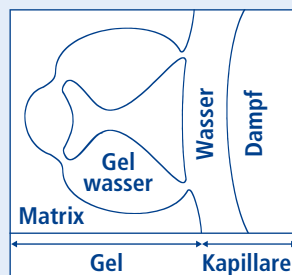


Abb. 3-1:
Kapillarsystem im Beton

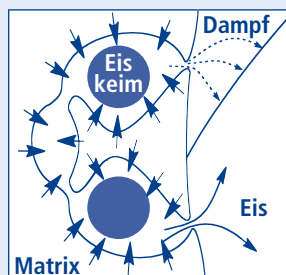


Abb. 3-2:
Bei Eisbildung Wassertransport von den Gelporen in die Kapillarporen. Die Gelporen ziehen sich zusammen (Frostschwinden).

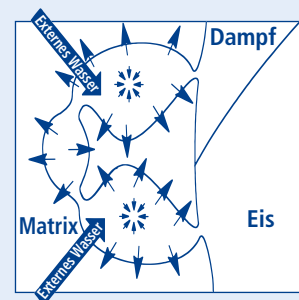


Abb. 3-3:
Frostsaugen bei Auftauen.

3 ANWENDUNG VON LUFTPORENBILDNERN



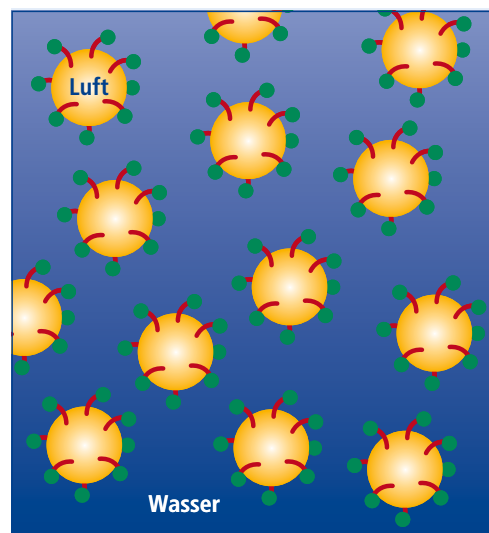
Das wichtigste und bekannteste Anwendungsfeld für Luftporenbildner ist die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des erhärteten Betons gegen den Frost- und Taumittelangriff. Die künstlich eingeführten Luftporen erhöhen die Dauerhaftigkeit des Betons. Deshalb muss Beton für Straßen, Luftverkehrsflächen, maritime Bauwerke als Luftporenbeton hergestellt werden. Aber auch Hof- und Parkflächen aus Beton, die dem Frost und Taumittel ausgesetzt sind, sollten mit Luftporen ausgeführt werden. Auch im Brückenbau und in der Fertigteilindustrie, z. B. bei der Fassadenplattenproduktion, hat sich Luftporenbeton bewährt. Diese Regeln gelten für erdfeuchte Betone nicht.

Im Frischbeton wirkt sich die Einführung von Mikroluftporen ebenfalls vorteilhaft aus. Die kleinen, gleichmäßig verteilten Luftporen wirken im Zementleim wie Kugellager und machen den Beton homogener und plastischer bzw. leichter verarbeitbar. Die Neigung des Betons zum Entmischen und Sedimentieren wird reduziert. Bei Betonen mit niedrigem Feinmörtelgehalt und bei Verwendung von Sanden mit geringem Mehlkornanteil ersetzen die Luftbläschen das fehlende Mehlkorn in der Mischung. Infolgedessen wird die Verarbeitbarkeit solcher Betone durch die künstlich eingeführten Luftporen verbessert. Mikroluftporen verleihen dem „grünen“ (frisch eingebauten) Beton einen Schutz gegen Austrocknung. Dieser Effekt kann die Nachbehandlung (s. Abschnitt 8) aber nicht ersetzen. Bei hohen Temperaturen neigt der „grüne“ LP-Beton weniger zur Rissbildung als ein Beton ohne künstlich eingeführte Luftporen.

4 WIRKUNG VON LUFTPORENBILDNERN

Luftporenbildner senken die Grenzflächenspannung zwischen Wasser und Luft.

Moleküle dieser Stoffe bestehen aus einem hydrophoben (in Abb. 4 rot dargestellt; zur Luft gerichtet) und hydrophilen Teil (in Abb. 4 grün dargestellt; zum Wasser gerichtet). Sie lagern sich an der Grenzfläche Luft/Wasser an und bilden einen Film um die Luftbläschen. Dadurch stabilisieren sie die Luftbläschen, die im Beton beim Mischen gebildet werden.



Im erhärteten Beton finden sich die Luftbläschen dann als kugelige Luftporen wieder. Es hat sich gezeigt, dass die Luftporen mit einem Durchmesser $< 0,3$ mm besonders wirksam den Frost- und Taumittelwiderstand des Betons erhöhen. Je mehr dieser kleinen Poren (Mikroporen) in einem Beton vorhanden sind, desto kürzer wird der Weg für das gefrierende Wasser in den Kapillaren bis zum nächsten „Ausweichraum“, d. h. zur nächsten Pore. Der Aufbau eines Kristallisationsdruckes wird verhindert und dadurch der Frost- und Tausalzweidstand des Betons erhöht. Es sollen also möglichst viele

kleine Poren in möglichst geringem Abstand voneinander im Beton vorhanden sein. Das Mikroluftporensystem am Festbeton wird durch die Kennwerte Abstandsfaktor (\bar{L}) und Mikroluftporengehalt (A_{300}) gekennzeichnet. (s. Abschnitt 10, Abbildung 9)

Bei der Einführung von Luftporen muss der Einfluss auf die Druckfestigkeit des Betons berücksichtigt werden. Als Faustregel kann gelten, dass eine Erhöhung des LP-Gehalts um 1 % zu einer Erniedrigung der mittleren Druckfestigkeit um ca. 3 N/mm^2 führt.

Abb. 4: Schematische Darstellung der Wirkungsweise der LP-Bildung

5 ROHSTOFFE ZUR HERSTELLUNG VON LUFTPORENBILDNERN

Zur Erzeugung von Luftporen steht eine Vielzahl an grenzflächenaktiven Substanzen, so genannte Tenside, zur Verfügung.

Der Begriff Tenside umfasst alle chemischen Verbindungen, die in der Lage sind, sich an den Grenzflächen anzureichern und dabei die Grenzflächenspannung zwischen zwei nicht mischbaren Phasen, hier Luftporen und Zementleim, herabzusetzen.

Zu diesem Zweck haben sich geringe Zugabemengen an Seifen aus natürlichen Harzen bzw. synthetischen nichtionischen und ionischen Tensiden (z. B. Alkylpolyglykolether, Alkylsulfate und -sulfonate) und deren Abmischungen bewährt.

Natürliche Harzseifen treten wegen ihrer Verfügbarkeit zunehmend in den Hintergrund, so dass heute häufig synthetische Tenside verwendet werden.

Die Eignung der verschiedenen Luftporenbildner (LP) wird durch die allgemeinen Anforderungen der europäischen Zusatzmittelnorm EN 934-1 und die zusätzlichen Anforderungen der EN 934-2, Tabelle 5, beschrieben.

6 ANFORDERUNGEN AN FRISCH- UND FESTBETON

In der Tabelle F.2.2 der DIN 1045-2 sind die Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von LP-Beton beschrieben. Betone, die die Anforderungen der Expositionsklassen XF2 und XF3 erfüllen sollen, können als LP-Beton hergestellt werden. Um die Anforderungen der Expositionsklasse XF4 zu erfüllen, muss zwingend LP-Beton verwendet werden.

Der geforderte Mindestluftgehalt im Frischbeton hängt dabei vom Verhältnis Zementleim zu Größtkorn der Gesteinskörnung ab. Üblicherweise wird der Mindest-Luftgehalt in Abhängigkeit vom Durchmesser des Größtkorns dargestellt:

Tab. 1: Mindestwerte für den mittleren Luftgehalt nach FGSV (Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton) [7]

	Mindestwert für den mittleren Luftgehalt in Vol.-%			
	8 mm	16 mm	32 mm	63 mm
nach DIN 1045-2 und FGSV-Merkblatt [7] (C1 ohne FM oder BV)	≥ 5,5	≥ 4,5	≥ 4,0	≥ 3,5
C2 bzw. F2 und F3 und C1 mit FM oder BV Fließbeton (≥ F4)	≥ 6,5	≥ 5,5	≥ 5,0	k.A.

Diese Werte dürfen in der Herstellung im Einzelwert um höchstens 0,5 % (Volumenanteil) unterschritten werden. (Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt nach EN 206-1 der festgelegte Mindestwert plus 4 % absolut.)

Darüber hinaus gibt es weitere Anforderungen, wie beispielsweise nach ZTV-ING und TL Beton-StB 07.

Durch die Zugabe von Luftporenbildnern kann der mittlere Luftgehalt im Frischbeton diesen Anforderungen entsprechend eingestellt werden.

Bei Einhaltung dieses Luftgehaltes werden i. d. R. auch die Anforderungen an die LP-Kennwerte im Festbeton erreicht. (s. Tabelle 2)

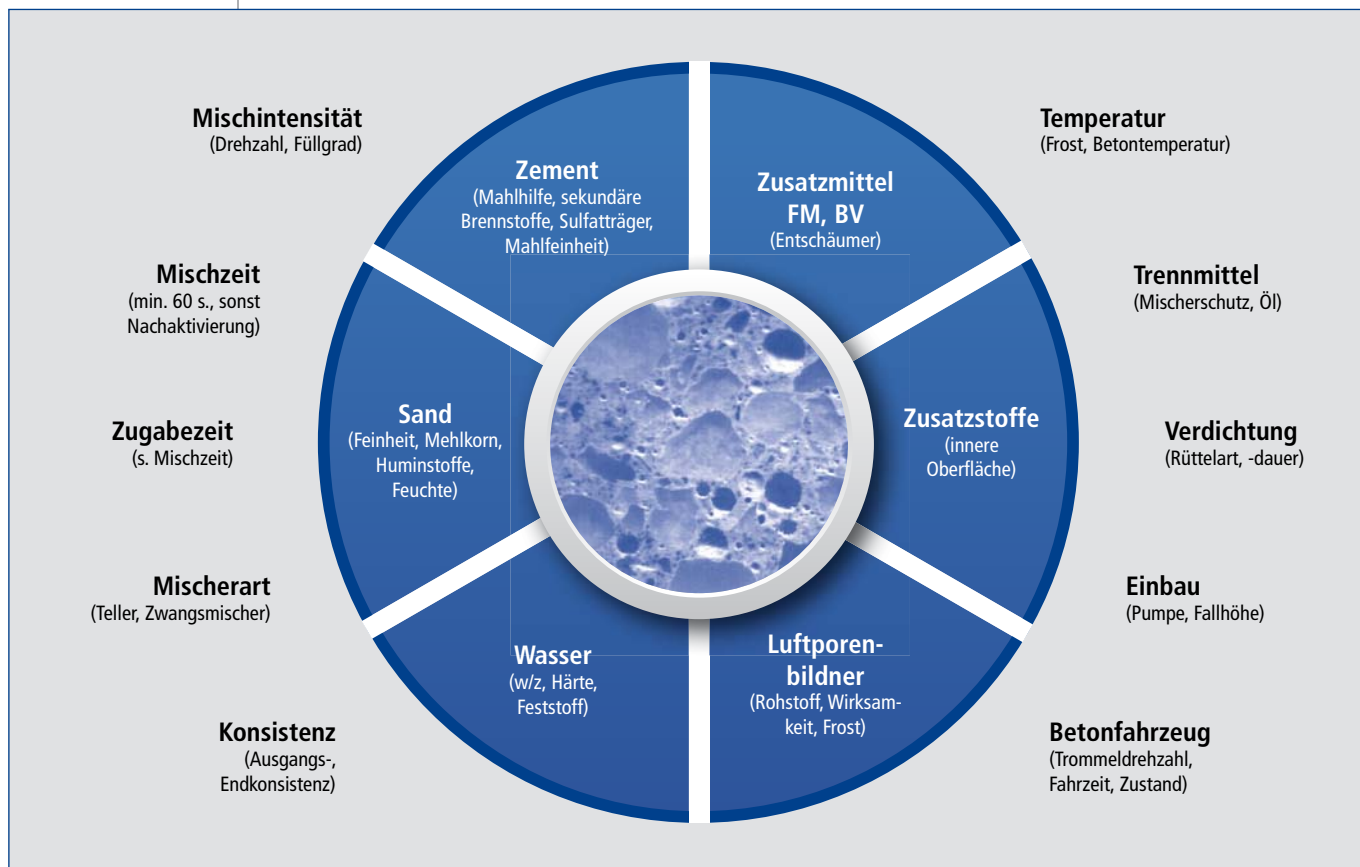
Tab. 2: Anforderungen an die Luftporenkennwerte nach FGSV (Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton) [7]

	Mikro-Luftporengehalt A_{300} [Vol.-%]	Abstandsfaktor \bar{L} [mm]
Erstprüfung	$\geq 1,8$	$\leq 0,20$
Prüfung am Bauwerk und Kontrollprüfung	$\geq 1,5$	$\leq 0,24$

7 EINFLÜSSE AUF DIE LUFTPORENBILDUNG, DEN PORENGEHALT UND DIE PORENSTABILITÄT

Die Luftporenbildung kann durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden.

Abb. 5: Einflüsse auf den Luftgehalt des Luftporenbetons (Quelle: Sika Deutschland GmbH)



Ausgangsstoffe, Mehlkorn-/Feinmörtelgehalt

Generell beeinflussen Art und Menge des verwendeten Mehlkorns ($< 0,125$ mm) (s. DIN 1045-2; Abschnitt 5.3.2; Tabelle F.4.1) den Porengehalt und die Stabilität von Luftporen. Wenn man von einer gleichbleibenden Dosierung des Luftporenbildners ausgeht, haben hohe Mehlkorngelände einen ungünstigen Einfluss auf die Luftporengehalte. Auch ein hoher Feinmörtelanteil ($< 0,25$ mm) kann sich in ähnlicher Weise auswirken, da für die Einlagerung von Mikroluftporen ($< 0,3$ mm) weniger Zwischenräume vorhanden sind. Im Einzelnen sollten bei der Herstellung von Luftporenbeton bezüglich der Ausgangsstoffe folgende Faktoren berücksichtigt werden:



■ Zement, Zusatzstoffe, Gesteinskörnung

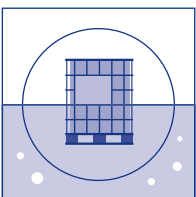
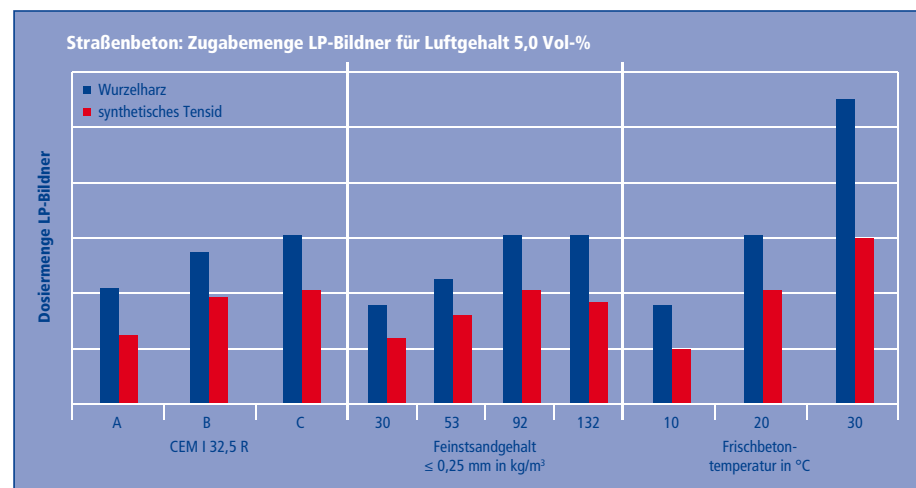
Zemente unterscheiden sich u. a. in der Festigkeitsentwicklung und in der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung (Portlandzementklinker, weitere Hauptbestandteile wie z. B. Hüttensand, Kalksteinmehl, Flugasche, Puzzolane, etc.) und Nebenbestandteile (wie z. B. Sulfatträger, Mahlhilfen). Unterschiedliche Zementarten bzw. Festigkeitsklassen haben einen mehr oder weniger starken Einfluss auf die Einführung und Stabilität von Luftporen. Bei Austausch der Zementsorte oder des Lieferwerks ist daher eine komplette Neueinstellung der Dosierung des Luftporenbildners vorzunehmen.

Mehlfeine Zusatzstoffe können die Einführung und Stabilität von Luftporen negativ beeinflussen. Hierbei spielt die chemische Zusammensetzung, aber auch die Partikelform (kugelig oder scharfkantig) eine Rolle. Die Luftporeneinführung kann sich in Kombination mit ungeeigneten Zusatzstoffen als unmöglich erweisen. Verunreinigungen, wie unverbrannte Kohle in Flugaschen oder tonige Bestandteile im Kalksteinmehl, können die Einführung geeigneter Luftporen in den Beton deutlich erschweren, da sie adsorbiert werden und nicht mehr reaktiviert werden können. Andererseits kann der Fall auftreten, dass nach dem Anmischen vorhandene Luftporen innerhalb eines kurzen Zeitraumes wieder zerstört bzw. instabil werden.

Veränderungen bei der Fraktion der Gesteinskörnung wie z. B. Wechsel des Vorkommens (Sand-, Kiesgrube), die zu einer Veränderung der Sieblinie, vor allem im Bereich < 1 mm führen, können das Luftporensystem erheblich beeinflussen. Eine Anpassung der Dosierung des Luftporenbildners ist wie folgt erforderlich: Hohe Anteile $< 0,25$ mm erschweren, hohe Anteile zwischen $0,25$ mm und 1 mm begünstigen die Einführung und den Gehalt an Luftporen. Bei Verwendung von saugender Gesteinskörnung ist mit einem Abfall des LP-Gehaltes zu rechnen.

Verunreinigungen mit organischen Stoffen, wie Huminstoffen oder Algen im Meersand, können die Luftporenbildung verändern.

Abb. 6: Beispiele für den Einfluss auf die Luftporenbildung mit unterschiedlichen Wirkstoffen



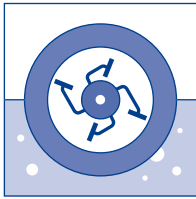
■ Zusatzmittel

Die Verwendung von Kombinationen aus Luftporenbildnern und Betonzusatzmitteln anderer Wirkungsgruppen kann zu Veränderungen des Luftporensystems führen. Es sollten nur vom Hersteller empfohlene Zusatzmittelkombinationen verwendet werden, die ggf. über eine Wirksamkeitsprüfung nachgewiesen werden können. Es sind Vorhaltemaße zu ermitteln und einzuhalten, die ausreichende LP-Gehalte an der Einbaustelle gewährleisten. (s. Abschnitt 7)



■ Zugabewasser

Als Zugabewasser ist Frischwasser zu verwenden. Recyclingwasser beinhaltet feinste Schwebstoffpartikel (Bindemittel, abschlämmbare Bestandteile) sowie geringe Mengen an Zusatzmitteln. Diese Komponenten können unkontrollierbare Veränderungen des Luftporengehalts verursachen. Recyclingwasser ist daher für LP-Beton nicht geeignet.



■ Betonherstellung

Die Luftporen im Beton entstehen durch das mechanische Untermischen von Luft unter den Beton und werden dann durch Tenside stabilisiert. Folglich haben verschiedene Mischertypen durch ihre unterschiedlichen Mischwirkungen einen direkten Einfluss. Eine höhere Mischintensität bewirkt einen höheren Gehalt an Luftporen im Beton.

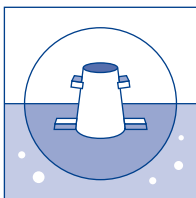
Die optimale Luftporenentwicklung ist entscheidend von der Mischzeit (Nassmischzeit) nach Zugabe des Luftporenbildners abhängig. Mit zunehmender Mischzeit erhöht sich der Luftporengehalt bis zu einem Punkt, bis sich der LP-Gehalt stabilisiert. Je nach Mischertyp ist eine Mischzeit von mindestens 60 s erforderlich.

In der Praxis sollte beachtet werden, dass Mischerschutz bzw. Pflegemittel für die Betonanlagen Auswirkungen auf die LP-Bildung haben können. Dies betrifft in besonderem Maße LP-Beton aber auch Standardbeton. Diesbezüglich ist die Rücksprache mit dem Betonzusatzmittelhersteller bzw. mit dem Mischerschutz-Lieferanten zu suchen.



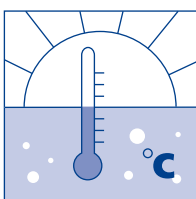
■ Transport

Beim Transport kann sich der Luftporengehalt verändern. Oberflächennahe Poren können entweichen, andere werden zerdrückt oder zerplatzen. Wird der Luftporenbeton bei der Herstellung nicht ausreichend lange gemischt, enthält der Beton nicht aktivierten LP-Bildner. Durch den Eintrag von Mischenergie während des Transports kann der Luftporengehalt ansteigen. Es sollte deshalb mit sehr langsam drehender Fahrmischertrommel gefahren werden. Messungen des LP-Gehaltes unmittelbar nach der Herstellung und kurz vor dem Einbau ergeben ein notwendiges Vorhaltemaß. Bei der Verwendung von öligen Reinigungsmitteln kann die Stabilität der Luftporen erheblich beeinträchtigt werden, deshalb ist eine umsichtige Anwendung erforderlich.



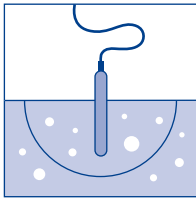
■ Konsistenz

Weiche Betone erleichtern die Bildung von Luftporen, steife Betone erschweren sie. Um einen bestimmten Luftporengehalt zu erhalten, muss bei steifen Betonen der LP-Bildner vergleichsweise höher dosiert werden als bei weichen Betonen. Andererseits ist die Stabilität der Luftporen in sehr weichen Betonen, wie z. B. SVB, geringer. Hier sind besondere Maßnahmen erforderlich. Für das Erreichen eines gleichbleibenden Luftporengehaltes ist die Einhaltung einer gleichmäßigen Konsistenz bei der Betonherstellung Voraussetzung.



■ Temperatur

Der Luftporengehalt sinkt mit steigender Temperatur, d. h. bei höheren Temperaturen ist eine höhere Dosierung erforderlich. Je 10° C Temperaturerhöhung nimmt bei gleicher Dosierung des LP-Bildners der Luftporengehalt um etwa 1 % ab. Daher muss bei unterschiedlichen Temperaturen im Tagesverlauf die LP-Bildner-Dosierung angepasst werden.



■ Betoneinbau

Beim Betoneinbau mit Pumpe beeinflussen Fallhöhe, Förderlänge und Pumpendruck den Luftporengehalt. Bei der Verdichtung werden Luftporen ausgetrieben, zerdrückt oder zu größeren Poren zusammengeführt, die für den Frost- und Taumittelwiderstand unwirksam sind. Deshalb ist zur Erzielung eines bestimmten LP-Gehaltes im eingebauten und fertig verdichteten Beton ein Vorhaltemaß bei der Dosierung zu berücksichtigen. Die Verdichtung mit Rüttelbohlen oder Schalungsrüttlern ist für Luftporenbeton günstiger als die Verdichtung mit Innenrüttlern. Bei Oberflächenbearbeitung (z. B. beim Glätten) kann sich die Charakteristik der Luftporen im oberflächennahen Bereich verändern.

8 HERSTELLUNG VON LUFTPORENBETON

Grundlage für den Mischungsentwurf eines Betons mit hohem Frost- und Taumittelwiderstand sind die normativen Regelungen des Abschnittes 6. Neben diesen Anforderungen werden für bestimmte Bauwerksgruppen, zusätzliche betontechnologische Festlegungen getroffen. Dies betrifft u. a. Ingenieur-, Straßen- und Wasserbauwerke, für die zusätzliche technische Vertragsbedingungen nach ZTV-ING, ZTV Beton-StB, TL Beton-StB bzw. ZTV-W gelten.

Besonders herausfordernd ist in vielen Fällen die Entwicklung von LP-Betonen für massive Bauteile des Wasserbaus. Die für diese Baumaßnahmen häufig notwendige Begrenzung der Hydrationswärmeentwicklung zwingt zur Entwicklung von LP-Betonen mit vergleichsweise extrem geringen Bindemittelgehalten. Durch die Begrenzung des w/z-Wertes ist dies verbunden mit niedrigen Anmachwassergehalten. Die Herstellung und Produktion derartiger LP-Betone stellt höchste Anforderungen an die Qualität und Gleichmäßigkeit der Betonausgangsstoffe (speziell Gesteinskörnung und Zement – siehe Abschnitt 7), der Produktionsabläufe sowie an das Personal. Weiterhin ist der Erstprüfung und der laufenden Qualitätsüberwachung höchste Aufmerksamkeit zu schenken. Eine intensive Abstimmung aller Beteiligten (Planer, Betonhersteller und Bauausführende) ist von besonderer Bedeutung.

Bei der Verwendung von luftporenbildenden Zusatzmitteln ist somit besondere Sorgfalt notwendig. Zum Erreichen des gewünschten Luftporengehaltes sind nur geringe Zugabemengen erforderlich. Die normative Anforderung an die Dosiergenauigkeit von Betonzusatzmitteln von $\pm 3,0$ M.-% der erforderlichen Menge ist unter Umständen nicht ausreichend. Die Genauigkeit der Dosierung von LP-Bildnern sollte bei $\pm 1,0$ M.-% liegen.

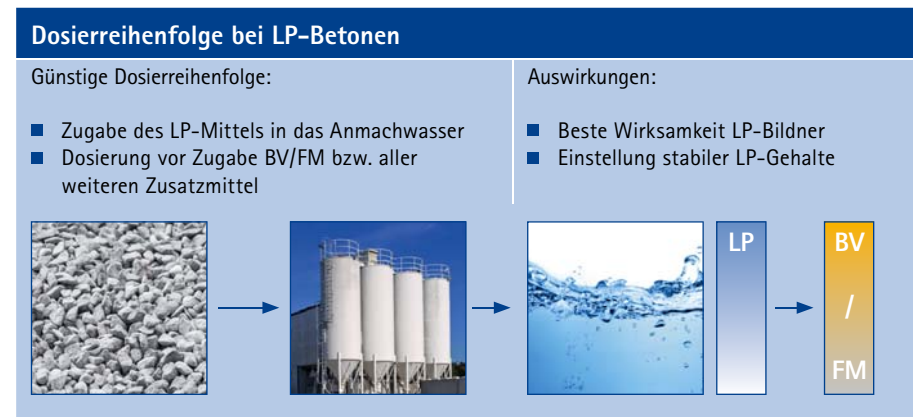
Aus diesem Grund werden LP-Bildner mit unterschiedlicher Charakteristik angeboten, um für den jeweiligen Anwendungsfall die Dosiermenge in einem optimalen Dosierfenster zu halten. Die Auswahl sollte mit dem Betonzusatzmittelhersteller abgeklärt werden.

Luftporenbildner sollten über wiegefähige Dosieranlagen dosiert werden, wobei zu beachten ist, dass Betonzusatzmittelmengen $< 0,2$ M.-% v. Zement (gem. EN 206; Abschnitt 5.2.6 Verwendung von Zusatzmitteln) vor der Dosierung in den Zwangsmischer in einem Teil des Anmachwassers aufzulösen sind. Der vom Hersteller empfohlene Dosierbereich des LP-Bildners ist zu beachten.

Weiterhin hat die Dosierreihenfolge der Ausgangsstoffe bzw. der Dosierzeitpunkt des LP-Bildners entscheidenden Einfluss auf die Qualität und Stabilität der Luftporen. Empfohlen wird: LP-Bildner gemeinsam mit dem Anmachwasser zu dosieren und alle weiteren Betonzusatzmittel erst im Anschluss. Im besten Fall sollte zwischen Zugabe des LP-Bildners und der Zugabe der weiteren Betonzusatzmittel eine Mischzeit von 15 s bis 30 s gewählt werden.



Abb. 7: Empfehlungen für die Dosierreihenfolge

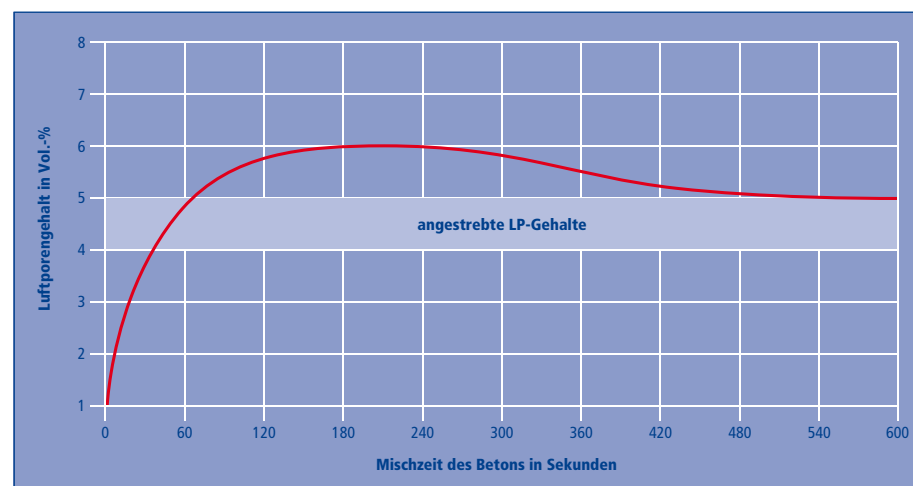


Bei gleichzeitiger Verwendung eines Luftporenbildners und eines Fließmittels oder eines Betonverflüssigers muss der Betonzusatzmittelhersteller für Anwendungen im Bereich der ZTV-ING und ZTV Beton-StB 07 in einer Wirksamkeitsprüfung nachweisen, dass im Festbeton die Luftporenkennwerte (Abstandsfaktor $\bar{L} \leq 0,20$ mm und ein Mikro-Luftporengehalt $A_{300} \geq 1,8$ Vol.-%) erzielt werden können (siehe auch Abschnitt 9).

Der Beton muss in wirksamen Mischern solange gemischt werden, bis der Luftporenbildner voll aktiviert ist.

Nassmischzeiten, das heißt die Mischzeit nach Zugabe aller Komponenten, unter 60 Sekunden sind grundsätzlich nicht zu empfehlen. Die Nassmischzeit sollte 90 s betragen. Zu kurze Mischzeiten führen dazu, dass der LP-Bildner nicht vollständig aufgeschlossen wird. Bei einem nachträglichen Energieeintrag im Fahrmaschine kann sich der Luftporengehalt erhöhen. (Nachaktivierung) (siehe Abbildung 8).

Abb. 8: Luftporenentwicklung in Abhängigkeit von der Mischzeit des Betons (Labormischer-Zyklus, optimierte LP-Zugabe)



Aktuelle Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen stellen ebenfalls eine ausreichende Mischzeit als entscheidenden Faktor zur sicheren Herstellung von Luftporenbetonen heraus.

Bei Verwendung von Transportbeton sollten durch Vorversuche die Einflüsse des Transportes (z. B. Nachaktivierung durch Mischwirkung des Fahrmischers) in ihren Größenordnungen geklärt werden, wobei Fahrmischer mit langsam drehender Trommel gefahren werden müssen. Darüber hinaus sind Einflüsse des Betoneinbaus (siehe auch Abschn. 6), wie z. B. die Förderung mittels Betonpumpen zu beachten.

Als Grundlage für die Rezepturenentwicklung und Erstprüfung von Luftporenbetonen sollte das Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen herangezogen werden. Da die Luftporenbildung von zahlreichen Einflussgrößen abhängig ist, werden im Merkblatt des FGSV ergänzende Prüfungen dargestellt.

In der folgenden Tabelle sind in Anlehnung an das Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton die Maßnahmen einer erweiterten Erstprüfung, speziell zur Untersuchung des LP-Gehaltes bzw. der LP-Stabilität eines Luftporenbetons, beschrieben. Darüber hinaus werden ergänzende Prüfhinweise gegeben. Diese Untersuchungen sind notwendig, um vorab Informationen über Einflussgrößen auf die Betonqualität während der Bauphase zu erhalten. Wesentliche veränderliche Größen sind z. B. die Betontemperatur und die Mischzeit.

Tab. 3: Prüfeempfehlungen für den Luftporengehalt eines LP-Betons im Zuge einer Basis-Erstprüfung und einer erweiterten Erstprüfung

1. Basis-Erstprüfung				
	Zusatzmittel	Mischzeit	Prüfzeitpunkt des LP-Gehaltes*	Verdichtungszeit
Basis-Erstprüfung	LP-Bildner zur Einstellung der erforderlichen LP-Gehalte im Frischbeton;	Für die Produktion geplante Mischzeit;	LP-Prüfung sofort nach Herstellung:	in Abhängigkeit von der gewählten Konsistenz; nur so viel Energie eintragen wie zur vollständigen Verdichtung notwendig ist (siehe DIN EN 12390-2)
	je nach Anforderung weitere Zusatzmittel (BV/FM)	Empfehlung: ≥ 90 s jedoch mindestens ≥ 60 s (im Labormaßstab sind die Mischzeiten ggf. anzupassen, in der Regel höher zu wählen) Vol.-% weitere LP-Prüfungen nach: 15 min: Vol.-% 45 min: Vol.-% 90 min: Vol.-% vor der jeweiligen Prüfung Beton intensiv aufmischen	

* weitere Hinweise zur Prüfung des LP-Gehaltes siehe auch Abschnitt 9

Neben den Prüfeempfehlungen für den LP-Gehalt ist die Prüfung weiterer notwendiger Frischbetonparameter zu planen. Dazu zählt u. a. die Prüfung des Konsistenzverlaufes über den zu erwartenden Einbauzeitraum. Änderungen der Konsistenz bzw. der Verarbeitbarkeit können erhebliche Auswirkungen auf den LP-Gehalt und die Luftporenkennwerte haben. Ist die Einstellung der Konsistenz durch Fließmittel im Verarbeitungszeitraum (Nachdosierung im Fahrmischer) geplant, ist die Auswirkung auf den LP-Gehalt ebenfalls zu prüfen.

Grundsätzlich ist über eine Erstprüfung im Labor hinaus der Test auf der Mischanlage anzuraten. Unter Abschnitt 8 findet man unter anderem Hinweise zum Einfluss der Mischwirkung. Die LP-Bildner Dosiermenge zwischen Erstprüfung und Praxis kann sich deutlich unterscheiden.

Für die Verarbeitung von LP-Beton gilt, dass dieser möglichst umgehend nach der Herstellung zu verarbeiten ist. Ohne zusätzliche Maßnahmen und Prüfungen sollte der Beton nach 90 min eingebaut sein (FGSV- Merkblatt [7]).

Geht im Zuge einer Baumaßnahme der Einbau nur sehr langsam von statten (z. B. Kappenbetone), ist anzuraten, die Liefermenge pro Mischfahrzeug zu reduzieren.

2. Erweiterte-Erstprüfung zur Sicherung der Stabilität des LP-Gehaltes (die Reihung entspricht der üblichen Priorität)

variable Faktoren	Zusatzmittel	Mischzeit	Prüfzeitpunkt des LP-Gehaltes*	Verdichtungszeit
Mischzeit	Wiederholung der Basis-Erstprüfung (1.) bei verlängerter Mischzeit			
	Dosierung der Betonzusatzmittel laut Basis-Erstprüfung (1.)	verlängerte Mischzeit (z. B. doppelte / dreifache)	Mischzeit: s LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Vol.-% weitere LP-Prüfung nach 15 min: Vol.-% Mischzeit: s LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Vol.-% weitere LP-Prüfung nach 15 min: Vol.-%	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Verdichtungszeit
Temperatur	Wiederholung der Basis-Erstprüfung (1.) unter geänderten Temperaturbedingungen (während der Bauphase zu erwartende Bedingungen) bzw. bei geänderter Betontemperatur : z. B. 10 °C und 30 °C			
	Dosierung der Betonzusatzmittel laut Basis-Erstprüfung (1.)	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Mischzeit	LP-Prüfung sofort nach Herstellung: T _B °C: Vol.-% T _B °C: Vol.-% LP-Prüfung nach 15 min: T _B °C: Vol.-% T _B °C: Vol.-% LP-Prüfung nach 45 min: T _B °C: Vol.-% T _B °C: Vol.-% LP-Prüfung nach 90 min: T _B °C: Vol.-% T _B °C: Vol.-%	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Verdichtungszeit
Mischanlage / Transport	Soweit dies nicht im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) erfolgt ist, ist eine Wiederholung der Prüfungen unter Praxisbedingungen auf der Mischanlage mit anschließender Simulation der Transportphase (ggf. Fahrmischer) erforderlich. <i>(siehe DIN 1045-2, Anhang A.5 Kriterien für die Annahme von Erstprüfungen: „Für die Bewertung der Betoneigenschaften insbesondere von Frischbeton müssen die Unterschiede zwischen der Mischerart und dem Mischverfahren während der Erstprüfung und denen während der laufenden Produktion berücksichtigt werden.“)</i>			
	Dosierung der Betonzusatzmittel laut Basis-Erstprüfung (1.)	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Mischzeit	LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Vol.-% weitere LP-Prüfungen nach 15 min: Vol.-% 45 min: Vol.-% 90 min: Vol.-%	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Verdichtungszeit
Dosiermenge LP	Erhöhung der LP-Bildner Dosiermenge (z. B. doppelte Dosierung gegenüber Basis-Erstprüfung 1.)	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Mischzeit	Dosierung LP-Bildner x gegenüber Basis-Erstprüfung (1.) LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Vol.-% weitere LP-Prüfung nach 15 min: Vol.-%	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Verdichtungszeit
Verdichtung	Dosierung der Betonzusatzmittel laut Basis-Erstprüfung (1.)	Im Zuge der Basis-Erstprüfung (1.) gewählte Mischzeit	LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Verdichtungszeit ... s: ... Vol.-% LP-Prüfung sofort nach Herstellung: Verdichtungszeit ... s: ... Vol.-%	Erhöhung der Verdichtungszeit (z. B. dreifach gegenüber Basis-Erstprüfung (1.))

* weitere Hinweise zur Prüfung des LP-Gehaltes siehe auch Abschnitt 9

9 ÜBERWACHUNG VON LUFTPORENBETON

Im Vergleich zu Standardbetonen ohne Luftporen ist Luftporenbeton, aufgrund der Vielzahl der Einflussgrößen und Wechselwirkungen, intensiver zu überwachen. Dies gilt für die Ausgangsstoffe, die Herstellung und den Einbau auf der Baustelle.

Luftporenbeton wird, insoweit keine anderen vertraglichen Regelungen getroffen wurden, in die Überwachungskategorie 2 (DIN 1045-3) eingeordnet. LP-Betone sind in diesem Sinne zu verarbeiten und zu überwachen.



Die Konformitätskontrolle des Betonherstellers beinhaltet neben den durchzuführenden Nachweisen nach DIN 1045-2 zusätzlich den Nachweis, dass der Frischbeton bei Übergabe an der Einbaustelle einen ausreichend hohen Luftporengehalt aufweist, der auch im eingebauten Zustand des Betons zu erwarten ist.

Bei der Probenentnahme aus dem Fahrmischer ist darauf zu achten, dass der Beton vor der Entnahme ca. 3 Minuten gründlich durchgemischt wird. Die Probe wird dann aus Teilen der Mischer- oder Fahrmischerfüllung entnommen und nochmals mittels Kelle oder Schaufel intensiv gemischt. Erst jetzt ist eine repräsentative Überprüfung des LP-Gehaltes und der Rohdichte möglich. Kontinuierliche Kontrollen des Luftgehaltes während der Produktion und Lieferung von LP-Betonen müssen weiterhin erfolgen, um bei Änderungen der Prüfergebnisse schnellstmöglich Anpassungen vornehmen zu können.

Für Transportbetonhersteller ist eine erweiterte werkseigene Produktionskontrolle in der Mischanlage zu empfehlen. Dies betrifft speziell den Produktionsbeginn, z. B. die ersten zwei Fahrmischer einer Lieferung. Diese erweiterte Kontrolle sollte eine LP-Prüfung nach dem Mischvorgang im Zwangsmischer und nach 10 bis 15 minütiger Fahrzeit-Simulation im Fahrmischer (langsam drehende Trommel) beinhalten. Auf diese Art und Weise können erste gravierende Änderungen des Luftporengehaltes bemerkt werden. Fehllieferungen durch Veränderungen des LP-Gehaltes zwischen Mischanlage und Baustellen werden reduziert.

Der Bauausführende muss unmittelbar vor dem Einbau des Frischbetons nachweisen, dass dieser einen ausreichenden Luftporengehalt aufweist. Weiterhin werden im Merkblatt der FGSV u. a. folgende Maßnahmen, Prüfungen und Prüffrequenzen für den Bauausführenden empfohlen:

- Die Konsistenz und den Luftgehalt von jedem Fahrmischer prüfen.
- Auf die Rückkopplung zum Herstellwerk achten, um Korrekturmaßnahmen schnell einleiten zu können.
- Kontrolle und Abstimmung der Einbaubedingungen und Einbaugeschwindigkeit, so dass die gelieferte Betonmenge spätestens nach 90 min eingebaut ist.

Zur Überwachung des Betoneinbaus zählen auch die richtige Auswahl der Nachbehandlungsmaßnahmen und die Überprüfung der Einhaltung der Nachbehandlungsdauer des Betons.

Um die für die Luftporenbetone erforderlichen Betoneigenschaften in der Betonrandzone zu erreichen, müssen diese Betone besonders intensiv nachbehandelt werden. Maßgebliche Hinweise zu Nachbehandlungsmaßnahmen und zur Nachbehandlungsdauer sind den Regelwerken zu entnehmen (DIN 1045-3; Pkt. 2.8.7; Tab. 5.; ZTV-StB 07).

Weiterhin sind die „Technischen Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel TL NBM-StB 09“ zu beachten und je nach Bauaufgabe zertifizierte Nachbehandlungsmittel mit entsprechenden Eigenschaften auszuwählen.

10 ZUSÄTZLICHE MESS- UND PRÜFVERFAHREN FÜR LUFTPORENBETONE: FRISCH- UND FESTBETON

Frischbeton

Am Frischbeton wird der Gesamtluftporengehalt (Vol.-%) gemäß DIN EN 12350-7 geprüft. Die Bestimmung des Luftporengehaltes erfolgt in Deutschland üblicherweise mittels Druckausgleichsverfahren im sogenannten Luftporentopf (LP-Topf).

Wichtig ist dabei, dass der Beton im LP-Topf und gegebenenfalls zusätzlich herzustellende Prüfkörper mit einer ähnlichen Intensität wie im Bauwerk verdichtet werden. Auf die vollständige Verdichtung bzw. die Entlüftung von Grob- bzw. Verdichtungs-poren ist sowohl im Bauwerk als auch im Zuge der Prüfung zu achten. Schlecht verdichtete Betone können neben künstlich eingeführten Luftporen auch Verdichtungs-poren aufweisen, die mit den Verfahren nach DIN EN 12350-7 mitgemessen werden.

Innenrüttler dürfen nicht zur Verdichtung im LP-Topf genutzt werden.

Neben der Prüfung des Luftporengehaltes sollte die Frischbetonroh-dichte nach DIN EN 12350-6 ermittelt werden. Die Bestimmung der Frischbetonroh-dichte ist im Zuge der Prüfung des Luftporengehaltes ohne zusätzlichen Aufwand möglich. Dieser Parameter dient als Anhaltswert für den Luftporengehalt des Betons, wobei die Streuung der Einzelmessdaten der Frischbetonroh-dichte oftmals geringer ist als die der Prüfung des LP-Gehaltes.

Der Vergleich zwischen gemessener Rohdichte und der Rohdichte der Erstprüfung bzw. projektierter Rohdichte (Mischungsentwurf) liefert vielfach gute Erkenntnisse über den LP-Gehalt des Betons und zeigt Tendenzen auf.

Die in Abschnitt 4 bereits erwähnten Luftporenkennwerte können nicht mittels Prüfung im LP-Topf charakterisiert werden. Ein normativ festgelegtes Verfahren zur Prüfung dieser Kennwerte am Frischbeton existiert in Deutschland nicht.

Der sogenannte Air Void Analyzer (AVA) bietet die Möglichkeit Luftporenkennwerte, wie den Abstandsfaktor \bar{L} und Mikroluftporengehalt A_{300} , am Frischbeton zu prüfen und Tendenzen hinsichtlich der Luftporenkennwerte des Festbetons abzuklären.

Festbeton

Gesamtluftporengehalt A , aber besonders der Mikroluftporengehalt A_{300} und der Abstandsfaktor \bar{L} , können am Festbeton nach dem Messlinienverfahren (Mikroskopisches Verfahren) ermittelt werden.

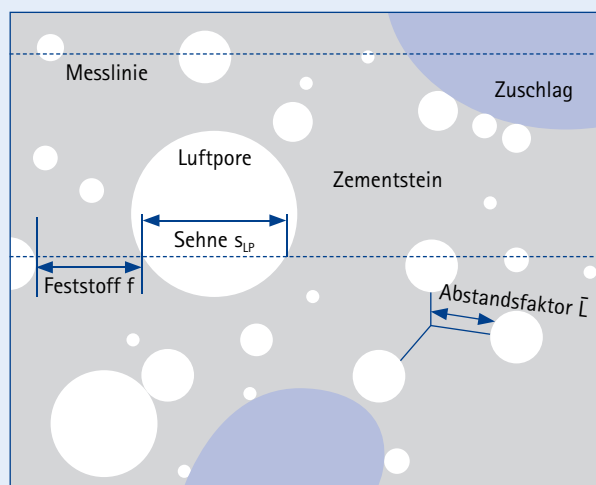
Abb. 9: Darstellung der Messwerte, die beim Messlinienverfahren bestimmt werden [7]
Messlinienverfahren (Mikroskopisches Verfahren)

LP-Gehalt

$$A = \frac{\sum S_{LP}}{\sum S_{LP} + \sum f} \cdot 100$$

\bar{L} = Abstandsfaktor

N = Anzahl der Luftporen auf der Messlinie



- **Luftporengehalt A in Vol.-%**
Gehalt an Luftporen und Verdichtungs-poren
- **Mikroluftporengehalt A_{300} in Vol.-%**
Gehalt an kleinen, kugeligen oder annähernd kugeligen Luft-poren bis zu einem Durchmesser von 300 μm
- **Abstandsfaktor \bar{L} in mm**
Ein aus einem idealisierten Porengefüge abgeleiteter Kennwert für den mittleren Abstand des am weitesten entfernten Punktes im Zementstein zum Rand der nächsten Luftpore.



Dabei beschreibt der Mikro-Luftporengehalt A_{300} (früher L_{300}) den Gehalt an kleinen, kugligen oder annähernd kugligen Poren bis zu einem Durchmesser von 300 μm . Der Abstandsfaktor \bar{L} (früher AF) wird als Kennwert aus einem idealisierten Porengefüge abgeleitet. Er bezeichnet den mittleren Abstand des am weitesten entfernten Punktes im Zementstein zum Rand der nächsten Pore.

Eine qualitative Bewertung der Frost- und Taumittelbeständigkeit von Betonen kann nur durch entsprechende Prüfverfahren erfolgen. In DIN CEN/TS 12390-9 (Vornorm) sind drei Prüfverfahren zur Bestimmung des Frost- und Frost-Taumittelwiderstands definiert:

- Plattenprüfverfahren (Referenzverfahren); Slab-test
- Würfelprüfverfahren (Alternativprüfverfahren); Cube-test
- CF- und CDF-Prüfverfahren (Alternativprüfverfahren)

In Deutschland wird, sofern eine Prüfung des Frost- bzw. Frost-Taumittelwiderstands gefordert wird, in der Regel das CF- bzw. CDF-Verfahren (Capillary Suction of De-Icing Solution and Freeze-Thaw Test) angewendet.

Für Anwendungen im Wasserbau sind die zugehörigen Prüfkriterien im BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ geregelt. Als Frostprüfverfahren wurden das CDF-/CIF-Verfahren (CIF: Capillary suction, Internal damage and Freeze-thaw-Test) ausgewählt.

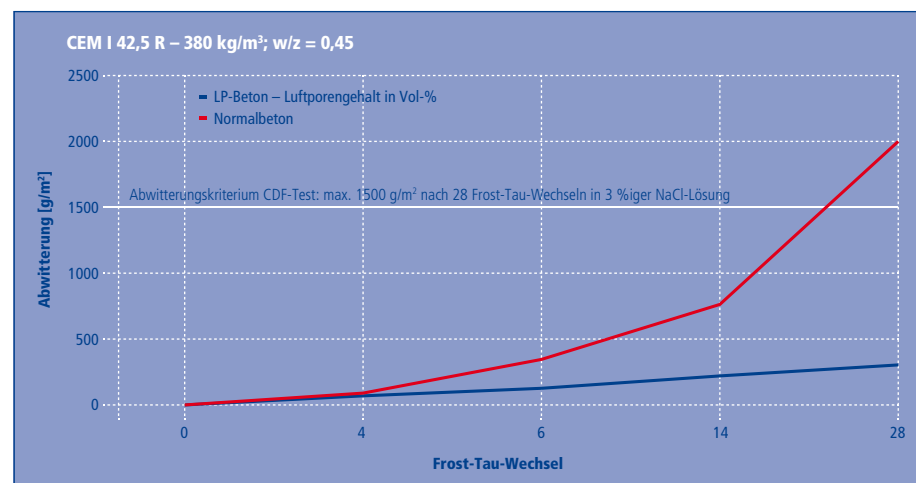
Ein Frost-Tauwechsel dauert bei CDF sowie CF/CIF-Verfahren 12 Stunden, sodass 2 Wechsel pro Tag stattfinden. Nach 4, 6, 14 und 28 Frost-Tau-Wechseln (CDF-Prüfverfahren) bzw. nach 14, 28, 48 und 56 Frost-Tau-Wechseln (CF/CIF-Prüfverfahren) werden die Kennwerte bestimmt.

Bei den genannten Verfahren (CDF- und CF/CIF-Test) handelt es sich um Eintauchverfahren, das heißt die Prüffläche bzw. der Prüfkörper wird in das Prüfmedium eingetaucht. Die Frost-Tauwechsel beginnen bei CDF- und CF/CIF-Test jeweils nach einem 7-tägigen kapillaren Saugen in der Prüflösung. Während dieser Zeit wird die Massezunahme des Betons täglich geprüft. Bereits anhand der kapillaren Wasseraufnahme können in vielen Fällen Rückschlüsse hinsichtlich des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstandes gezogen werden.

Als Prüf- bzw. Abnahmekriterium gilt beim CDF-Test die Oberflächenabwitterung in g/m^2 eines mit 3 %iger NaCl-Lösung beaufschlagten Betons nach 28 Frost-Tau-Wechseln.

Der Grenzwert der Abwitterung beträgt maximal 1500 g/m^2 (siehe Abb. 10). Weiterhin sind per Augenscheinprüfung Risse, Abwitterung von Partikeln der Gesteinskörnungen und die Tiefe der Schäden bei starker Abwitterung zu dokumentieren.

Abb. 10: Beispielhafte Entwicklung der Abwitterungsmenge im Zuge der CDF-Prüfung



11 ALTERNATIVEN ZUM LP-BETON

Neben der Möglichkeit den Frost-Taumittel-Widerstand eines Betons über Luftporenbildner zu erreichen, gibt es noch weitere Alternativen wie vorgefertigte Luftporen (Mikrohohlkugeln) oder die Herstellung eines dichten Betons.

Mikrohohlkugeln

Um die zahlreichen Einflussfaktoren, vgl. Abb. 5, wie Temperatur, Mischprozess, fließfähige Betone (SVB), etc., die die Qualität des Luftporenbetons beeinträchtigen können, zu reduzieren, kann man vorgefertigte Luftporen verwenden.

Die Mikrohohlkugeln bestehen aus kleinen (Durchmesser ca. 5 bis 100 μm) Kunststoffkugeln mit elastischer, sehr dünner Hülle. Um die Beständigkeit der Kugeln im Mischprozess zu gewährleisten, sind die Kugeln mit einem Gasüberdruck versehen.

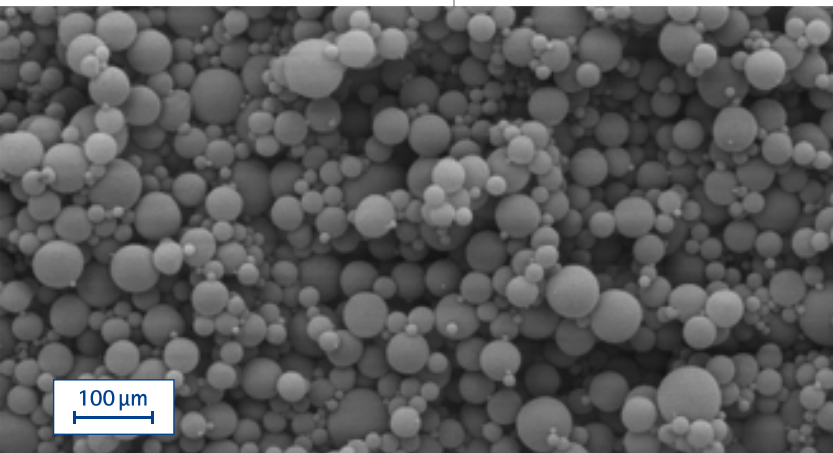
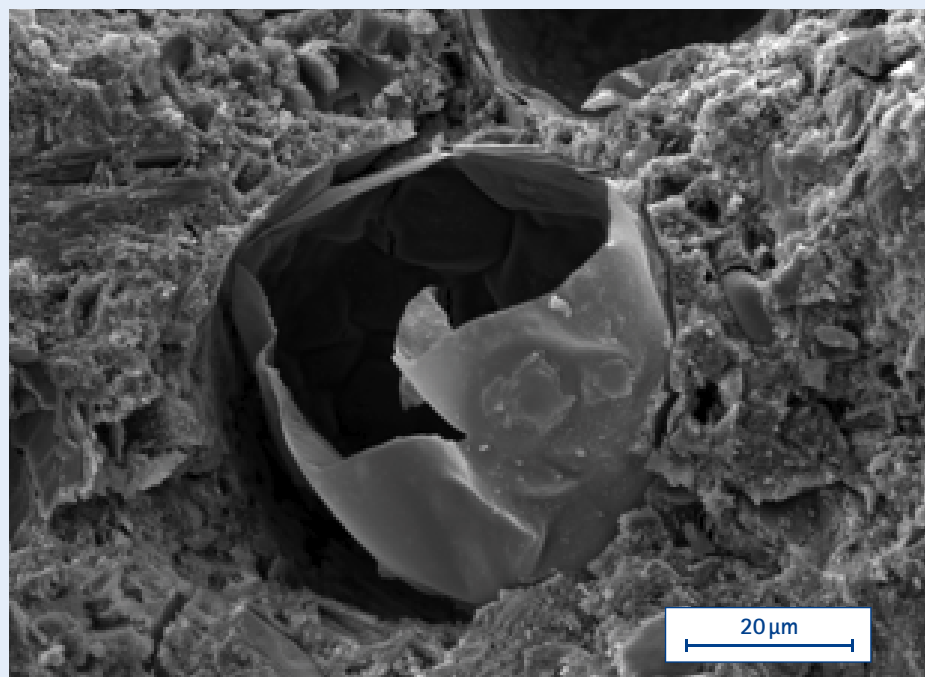


Abb. 11: Mikrohohlkugeln

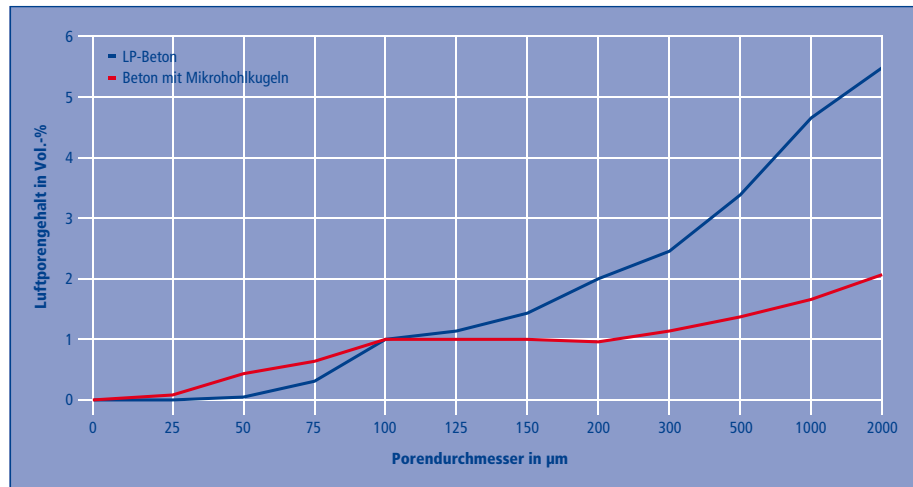
Mit diesen vorgefertigten Luftporen lässt sich - vergleichbar dem Luftporenbeton - die Frost-Taumittel-Beständigkeit sicherstellen. Durch gravimetrische Dosierung kann ein konstanter Luftporengehalt unabhängig vom Herstellungsprozess oder verwendeten Materialien erzielt werden und damit der notwendige Raum für die Ausdehnung des Wassers im Beton bei Frost gesichert werden. Gefriert das Wasser in den Kapillarporen, wird die nächstliegende Mikrohohlkugel verformt und es entsteht der zur Ausdehnung des Wassers auf Eis nötige Hohlraum.

Abb. 12: Mikrohohlkugel im Beton nach Frost/Tau-Belastung



Somit wird analog zu den o. g. Luftporen der Spannungszustand durch Gefrieren des Wassers, nicht auf den Beton übertragen. Zudem verhindert die maximale Größe der Kunststoffkugeln den Eintrag unerwünschter großer Luftporen, woraus sich eine höhere Druckfestigkeit des Betons ergibt.

Abb. 13: Mikrohohlkugeln führen keine unerwünschten großen Luftgehalte ein



Da sich diese vorgefertigten Luftporen nicht im Luftporenkopf messen lassen, wird ein Auswaschen nach ASTM C-173/C-173M-01 über ein Roll-A-Meter durchgeführt. Mit diesem Gerät separiert man die Mikrohohlkugeln vom Beton, so dass der Luftporenanteil direkt volumetrisch gemessen werden kann. Damit ist auch die Kontrolle des Mikrohohlkugelgehaltes bei der Betonübergabe auf der Baustelle gewährleistet.

Im Rahmen der Erstprüfung (vgl. Zulassung) ist der zur Dosierung gehörende Roll-A-Meter-Wert zu bestimmen und eine CDF-Prüfung nach DIN CEN/TS 12390-9, Abschnitt 7 durchzuführen.

Dichter Beton ohne LP

Bei dichten Betonen, w/z -Wert $< 0,4$, ist das Kapillarporensystem so reduziert, dass kein Wasser oder Taumittel mehr in den Beton eindringen kann. Damit besteht auch keine Gefahr auf Frost-Taumittel-Schäden mehr, vgl. hierzu DIN 1045-2, Tabelle F.2.2 Expositionsklasse XF4, Fußnote j „Erdfeuchter Beton mit w/z -Wert $< 0,4$ darf ohne Luftporen hergestellt werden“.

Für andere Anwendungsbereiche ist eine entsprechende Zulassung notwendig.



12 ANHANG (LITERATUR)



- [1] Sachstandsbericht „Betonzusatzmittel und Umwelt“ (5. Ausgabe, Mai 2011), Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt am Main
- [2] ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“ (Gründruck Juli 2012), Österreichische Bautechnik Vereinigung, Wien
- [3] Stark, J., Wicht, B.: „Dauerhaftigkeit von Beton“ (F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar, Birkhäuser 2001);
- [4] Stark, J., Wicht, B.: „Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton“ (F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar, Birkhäuser 2001); S. 222/223
- [5] Setzer M. J., Palecki S.: „Prüfung des Frost- und Frost-Tausalzwiderstandes von Beton“, Beiträge zur 6. CDF/CIF Fachtagung, S7-8, Cuvillier Verlag Göttingen, 2006.
- [6] Eickschen, E.: „Nachaktivierungspotenzial Luftporen bildender Betonzusatzmittel“ (Beton (60) 2010, Nr. 10, 11, 12)
- [7] Grübl P., Weigler H., Karl S.: „Beton – Arten, Herstellung und Eigenschaften“; 2. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2001
- [8] „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“, Ausgabe 2004, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Köln, 2004
- [9] EN 934-1:2008, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel– Teil 1: Gemeinsame Anforderungen
- [10] EN 934-2:2009+A1:2012, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel– Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung
- [11] EN 934-6:2001+A1:2005, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel– Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität
- [12] DIN 1045-2:2008, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [13] DIN 1045-3:2012, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670
- [14] EN 480-11:2005, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 11: Bestimmung von Luftporenkennwerten in Festbeton
- [15] EN 12350-7:2009, Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalt – Druckverfahren
- [16] DIN CEN/TS 12390-9:2006 (Vornorm), Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung
- [17] BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ (MFB), Ausgabe 2012, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- [18] FHWA-SA-96-062, "Air Void Analyzer Evaluation", Federal Highway Administration, Washington DC, USA, 1995
- [19] Price, B., "Measuring Air void in Fresh Concrete", CONCRETE, July/August 1996
- [20] Wojakowski, J. "Air in Portland Cement Concrete Pavements", Kansas department of Transportation, USA, 2002

Die vorliegende 2. Ausgabe der Informationsschrift „Herstellen von Luftporenbeton“ wurde von der Projektgruppe „LP-Beton“ der Deutschen Bauchemie e.V. erarbeitet und im Fachausschuss 2 „Beton-technik“ der Deutschen Bauchemie e.V. diskutiert und verabschiedet.

Die Informationsschrift soll den Mitgliedsunternehmen sowie der Fachöffentlichkeit zur Information dienen.

Der Projektgruppe gehören folgende Mitglieder an:

Dipl.-Ing. Sebastian Dittmar	BASF Construction Polymers GmbH Geschäftsbereich Betonzusatzmittel, Glöthe
Dipl.-Ing. Petra Fischer	Deutsche Bauchemie e.V., Frankfurt
Dr. Matthias Gay	MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop
Dr. Dieter Honert	Sika Deutschland GmbH, Leimen

Die Deutsche Bauchemie e.V. bittet darum, Erfahrungen und Anmerkungen zu dieser Informationsschrift der Geschäftsstelle der Deutschen Bauchemie e.V., Frankfurt am Main, mitzuteilen.

Impressum

2. Ausgabe, November 2013
Redaktionsschluss: November 2013
Auflage: 5.000

Copyright: 2013

Deutsche Bauchemie e.V.
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main
Telefon +49 69 2556 - 1318
Telefax +49 69 2556 - 1319
www.deutsche-bauchemie.de

178-IS-D-2013

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung, bleiben der Deutschen Bauchemie e.V. vorbehalten.

Gestaltung

NEEDCOM GmbH, Bad Soden am Taunus
www.needcom.de

Druck

Frotscher, Darmstadt
www.frotscher-druck.de

Bildnachweis

Mitgliedsunternehmen der Deutschen Bauchemie e.V.
Bauhaus-Universität Weimar (F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde)
BetonMarketing Deutschland GmbH
Form+Test Seidner & Co. GmbH
Fotolia
Wirtgen GmbH
Qualitätsgemeinschaft Deutsche Bauchemie e.V.

ISBN 978-3-944138-02-2 (Druckversion)
ISBN 978-3-944138-03-9 (pdf-Datei)

Diese Informationsschrift entbindet in keinem Fall von der Verpflichtung zur Beachtung der gesetzlichen Vorschriften. Die Informationsschrift wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernimmt die Deutsche Bauchemie keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben, Hinweise, Ratschläge sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können deswegen Ansprüche weder gegenüber der Deutschen Bauchemie noch den Verfassern geltend gemacht werden. Dies gilt nicht, wenn die Schäden von der Deutschen Bauchemie oder ihren Erfüllungsgehilfen vorsätzlich oder grob fahrlässig verursacht wurden.

Verantwortliches Handeln



Die Deutsche Bauchemie e.V. unterstützt
das weltweite Responsible-Care-Programm