

Einfluss der Ausgangsstoffe und der Betonzusammensetzung auf die Luftporenbildung unter besonderer Berücksichtigung der Basis des Luftporenbildners

FA 8.161

Forschungsstelle: Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf

Bearbeiter: Siebel, E. / Eickschen, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn

Abschluss: April 2002

1. Aufgabenstellung

Fahrbahndeckenbeton wird im Winter mit Tausalz beaufschlagt und muss daher einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen. Grundvoraussetzung hierfür ist u.a. die Zugabe eines Luftporenbildners, der einen ausreichenden Gehalt an kleinen Luftporen im Beton erzeugt. Seitdem Betone für Fahrbahndecken künstlich eingeführte Luftporen enthalten, treten Schäden infolge eines Frost-Tausalz-Angriffs praktisch nicht mehr auf.

Bei einzelnen Straßenbaustellen ist jedoch in den letzten Jahren, insbesondere bei hohen Frischbetontemperaturen, eine ungewöhnliche Luftporenbildung beobachtet worden. Im Vergleich

zum Frischbeton wurde im Festbeton ein stark erhöhter Luftgehalt festgestellt. Um die Ursachen für eine nachträgliche Luftporenbildung zu ermitteln, wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) mit finanzieller Unterstützung des Verbandes "Deutsche Bauchemie e.V." erste Untersuchungen durchgeführt¹. Diese orientierenden Untersuchungen an einem Straßenbeton zeigten, dass eine wesentliche Erhöhung des Luftgehalts nur auftreten kann, wenn der Luftporenbildner im Frischbeton in Folge einer zu kurzen Mischzeit bei der Herstellung nicht ausreichend aufgeschlossen und damit ungenügend aktiviert wurde. Bei einem nachträglichen Eintrag von Mischenergie in den Frischbeton (z. B. im Bereich des Fertigers beim Einbau) kann dann der Luftgehalt ansteigen. Die vorliegenden Ergebnisse bezogen sich nur auf eine Betonzusammensetzung und mussten daher durch weitere systematische Untersuchungen ergänzt werden. Im Forschungsvorhaben des BMVBW sollte u.a. der Einfluss unterschiedlicher Ausgangsstoffe, Sieblinien (Sande) und Frischbetontemperaturen auf die Luftporenbildung untersucht werden.

¹⁾ Eickschen, E.; Siebel, E.: Einflüsse auf die Luftporenbildung im Straßenbeton. Strasse und Autobahn 52 (2001) H. 9, S 517-521

2. Untersuchungsmethodik

Ausgangspunkt der Untersuchungen waren die o.g. Versuche im FIZ mit insgesamt sechs Luftporen-(LP-)Bildnern auf synthetischer bzw. natürlicher Wirkstoffbasis mit einem Straßenbeton. Um den Versuchsaufwand einzugrenzen, wurden zwei LP-Bildner mit einem möglichst typischen Verhalten ausgewählt: ein LP-Bildner mit einer geringen und ein LP-Bildner mit einer starken Erhöhung des Luftgehalts bei überhöhter Zugabemenge. Unter Verwendung der beiden LP-Bildner wurde systematisch der Einfluss des Sandes, des Zements und der Zementart, der Frischbetontemperatur, des w/z-Werts und einer Fließmittelzugabe auf die LP-Bildung (Luftgehalt, Luftporengrößenverteilung) untersucht.

In einem Vorversuch wurde zunächst die LP-Bildner-Zugabemenge so ausgewählt, dass der Luftgehalt des Frischbetons den Sollwert von ($5 \pm 0,5$ Vol.-%) nach 2 Minuten Mischzeit erreichte. Am Frischbeton wurden außerdem das Verdichtungsmaß und die LP-Kennwerte mit dem AVA-Gerät und am Festbeton die 28-Tage-Druckfestigkeit sowie an ausgesuchten Betonen die LP-Kennwerte bestimmt.

Anschließend wurde mit der im Vorversuch bestimmten "normalen" und einer demgegenüber verdoppelten LP-Bildner-Zugabemenge die mischzeitabhängige LP-Bildung nach 30 Sekunden und 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15 Minuten Mischzeit geprüft.

In orientierenden Versuchen wurde an zwei Betonen der Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren geprüft. Um die Wirksamkeit der Luftporen bei frühzeitiger Frost-Tausalz-Bearbeitung zu untersuchen, wurde die Prüfung mit normaler Standard-Vorlagerung und mit einer verkürzten Vorlagerung durchgeführt.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Vorversuch

Unabhängig von der Mischungszusammensetzung wurde im Frischbeton ein stabiles LP-Gefüge erzeugt. Auch längere Rützelzeiten führten i.d.R. zu keinem wesentlichen Abfall des Luftgehalts. Die Konsistenz und die 28-Tage-Druckfestigkeit wurden durch die LP-Bildner nicht beeinflusst. Höhere Frischbetontemperaturen, geringere Leimgehalte und steifere Leime durch geringere w/z-Werte bei gleichbleibendem Zementgehalt, höhere Feinstsandgehalte des Betons und der Verzicht auf Fließmittel erforderten höhere LP-Bildner-Zugabemengen, um den geforderten Luftgehalt von 5 Vol.-% zu erreichen. Den größten Einfluss auf die Zugabemenge hatte die Frischbetontemperatur, wobei eine Erhöhung der Temperatur von 10 auf 30 °C bei beiden LP-Bildnern eine Verdreifachung der LP-Bildner-Zugabemenge erforderlich machte.

Die LP-Bildner erzeugten in den untersuchten Betonen ein LP-System mit einem ausreichenden Gehalt an kleinen Poren. Die Bestimmung der LP-Kennwerte am Festbeton ergab Abstandsfaktoren $\leq 0,20$ mm und Mikro-LP-Gehalte von 21,8 Vol.-%. Bei den drei Portlandzementen zeigte sich kein Unterschied in den LP-Kennwerten. Bei höherer Frischbetontemperatur und höherem Feinstsandgehalt des Betons wurde ein kleinerer Abstandsfaktor und ein größerer Mikro-LP-Gehalt bestimmt. Tendenziell verringerte sich der Abstandsfaktor und erhöhte sich der Mikro-LP-Gehalt mit höherer LP-Bildner-Zugabemenge.

Die orientierenden Frost-Tausalz-Prüfungen zeigten, dass die Betone auch nach kurzer Vorlagerung und Beginn der Frost-Tausalz-Bearbeitung in jungem Alter unabhängig vom verwendeten LP-Bildner einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen.

3.2 Mischzeitabhängige Luftporenbildung

Bei der Entwicklung der LP-Bildung in Abhängigkeit von der Mischzeit traten unabhängig von LP-Bildner, Mischungszusam-

mensetzung, Ausgangsstoff oder Frischbetontemperatur keine Unterschiede in der LP-Bildung auf, wenn die normale, im Vorversuch ermittelte LP-Bildner-Zugabemenge verwendet wurde. Der Luftgehalt stieg nach kurzer Mischzeit auf rd. 5 Vol.-% an und erreichte einen Beharrungszustand, der sich auch mit zunehmender Mischzeit nicht mehr signifikant änderte. Bei Verdoppelung der Zugabemenge zeigte sich ein unterschiedliches Verhalten der LP-Bildner. Beim ersten LP-Bildner erhöhte sich der Luftgehalt nur unterproportional um rd. 2 bis 3 Vol.-%. Beim zweiten LP-Bildner verdoppelte bzw. verdreifachte sich der Luftgehalt bei Verdopplung der LP-Bildner-Zugabemenge unabhängig von den jeweiligen Randbedingungen. Bei doppelter Zugabemenge waren bei diesem LP-Bildner zum Teil wesentlich längere Mischzeiten erforderlich, bis die LP-Bildung abgeschlossen war.

3.3 Ursachen für eine erhöhte LP-Bildung in der Praxis

Die Erhöhung des Luftgehalts ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass bereits bei der Herstellung des Betons infolge kurzer Mischzeiten oder einer zu geringen Mischwirkung der Mischanlage der LP-Bildner überdosiert wird, um den geforderten Luftgehalt von rd. 5 % zu erreichen. Nach dem Mischen weist der Frischbeton dann zwar den geforderten Luftgehalt auf, enthält aber einen Anteil an ungenügend aufgeschlossenem LP-Bildner. Nach dem Transport mit Kipperfahrzeugen zur Einbaustelle hat sich der Luftgehalt kaum verändert. Während des Einbaus kann es dann zu einem Energieeintrag in den Beton z. B. im Bereich der Verteilerschnecke des Fertigers, im Bereich der Mörtelwalze oder während der Verdichtung kommen. Dadurch kann der LP-Bildner ggf. nachträglich aufgeschlossen und der Luftgehalt erhöht werden. Bei Transportbeton kann ebenfalls eine nachträgliche Erhöhung des Luftgehalts zwischen Mischanlage und Baustelle insbesondere bei drehender Trommel auftreten.

4. Folgerungen für die Praxis

Um zukünftig einen überhöhten Luftgehalt zu vermeiden, können folgende zusätzliche, die Zusatzmittelhersteller und die Bauunternehmer (Eignungsprüfung und Bauausführung) betreffenden vorläufigen Empfehlungen gegeben werden:

a) Zusatzmittelhersteller

Die LP-Bildner unterscheiden sich bezüglich ihrer Empfindlichkeit hinsichtlich Überdosierung, Mischzeitdauer, Frischbetontemperatur sowie einer nachträglichen Erhöhung des Luftgehaltes. Um den bauausführenden Firmen die Auswahl eines LP-Bildners zu erleichtern, sollte aus den technischen Unterlagen der Zusatzmittelhersteller das Verhalten der LP-Bildner bezüglich der o. g. Einflussfaktoren erkennbar sein. Hierdurch könnte der Prüfaufwand insbesondere bei kleinen Baustellen oder bei unterschiedlichen Frischbetontemperaturen verringert werden.

b) Bauunternehmer Eignungsprüfung

Der Bauunternehmer sollte den LP-Bildner unter Berücksichtigung der jeweiligen Baustellenrandbedingungen entsprechend den Angaben der technischen Unterlagen der Zusatzmittelhersteller auswählen. Liegen keine Erfahrungen mit dem LP-Bildner vor, sollte in einem Zusatzversuch die in der Eignungsprüfung ermittelte LP-Bildner-Zugabemenge verdoppelt und der LP-Gehalt der Mischungen mit beiden LP-Bildner-Zugabemengen nach einer kurzen Mischzeit von z. B. 30 Sekunden (abhängig von der Mischwirkung des Mixers) und nach einer verlängerten Mischzeit von rd. 4 bis 6 Minuten bestimmt werden. Bei einem wesentlichen Anstieg des Luftgehalts bei doppelter LP-Bildner-Zugabemenge und verlängerter Mischzeit besteht bei der Bauausführung die Gefahr einer nachträglichen Erhöhung des Luftgehalts.

Eignungsprüfungen werden i.d.R. bei einer Frischbetontemperatur von 20 °C durchgeführt. Höhere Frischbetontemperaturen erfordern aber erfahrungsgemäß deutlich höhere LP-Bildnermengen. Bei einer Bauausführung im Sommer sollte daher – zumindest bei größeren Deckenlössen und/oder wenn keine ausreichenden Erfahrungen mit dem Luftporenbildner vorliegen – die Prüfung der Festlegung der LP-Bildner-Zugabemenge auch mit höherer Frischbetontemperatur (z. B. 30 °C) durchgeführt werden.

Bauausführung

Zu Baubeginn wird die von der Eignungsprüfung vorgegebene Mischungszusammensetzung an die Praxisverhältnisse angepasst. Um die Empfindlichkeit des Betons hinsichtlich einer nachträglichen Erhöhung des Luftgehaltes zu überprüfen, könnten nach Einstellung des Betons die Frischbeton-Luftgehalte einmalig mit der gewählten Standardmischzeit und zusätzlich mit verlängerter Mischzeit bestimmt werden. Zeigt sich bei verlängerter Mischzeit ein wesentlicher Anstieg des Luftgehaltes, sollte die Standardmischzeit verlängert werden.

Die Mindestmischzeit nach ZTV Beton von 45 Sekunden ist unbedingt einzuhalten. Bei Unterbrechungen des Betoneinbaus sollte die Verteilerschnecke des Fertigers stillgelegt werden.

Bei einer nachträglichen Fließmittelzugabe in einen Fahrmischer auf der Baustelle ist zu beachten, dass durch das Einmischen des Fließmittels nicht aktivierter LP-Bildner aufgeschlossen werden kann.

Bei Beginn der Fertigung sollte möglichst frühzeitig aus der ersten Tagesleistung eine Frischbetonprobe entnommen und daran Luftgehalt und Rohdichte bestimmt werden.

Die bauausführende Firma sollte in ihrer Eigenüberwachung zumindest zu Beginn der Deckenfertigung und insbesondere bei wechselnden Temperaturverhältnissen und Schwankungen der Betonzusammensetzung (Mehlkorngehalt) den LP-Gehalt häufiger prüfen als in den ZTV Beton-StB vorgesehen und die Einhaltung der Mischzeiten laufend kontrollieren.

Zur Vermeidung von Fehlmessungen sollten die verwendeten LP-Töpfe in regelmäßigen Abständen kalibriert und das Personal laufend geschult werden. Die bei der Bauausführung bestimmten Frischbetonrohddichten sollten mit den Werten der Eignungsprüfung übereinstimmen.

Die mit dem AVA-Gerät am Frischbeton ermittelten LP-Kennwerte können nur als orientierende Anhaltswerte verwendet werden. □