

## Mindestluftporengehalt in Waschbeton

FA 8.202

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Bearbeiter: Köster, C.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: März 2012

### 1 Aufgabenstellung

Fahrbahndecken aus Beton unterliegen zum einen dynamischen Beanspruchungen infolge des überrollenden Verkehrs und zum anderen klimatischen Einwirkungen aus Temperaturwechseln, Wechsel von Nass und Trocken sowie im Winter bei hoher Wassersättigung aus Frost-Tau-Wechseln mit und ohne den Eintrag von Taumitteln. Um diesen Einwirkungen standzuhalten, müssen Fahrbahndecken aus Beton hohe Anforderungen insbesondere im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit erfüllen. Zudem wird in vielen Streckenabschnitten gefordert, dass durch den über Betonfahrbahndecken rollenden Verkehr eine möglichst geringe Lärmbelastung verursacht wird. Wesentliche Anforderungen, die heute an lärmindernde Betonfahrbahndecken gestellt werden, sind eine dauerhaft hohe Griffigkeit und gleichzeitig ein geringes Reifen/Fahrbahn-Geräusch. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist die Standardbauweise für lärmindernde Betonfahrbahndecken seit der Einführung des ARS Nr. 5/2006 die Waschbetonbauweise.

Aufgrund ihrer horizontalen Lage, damit hoher Wassersättigung und Beanspruchung aus Frost mit gleichzeitiger Einwirkung von Taumitteln, sind Betonfahrbahndecken in die Expositionsklasse XF4 einzuordnen. Zur Sicherstellung des Frost-Tausalz-Widerstands wird ein ausreichender Luftgehalt im Frischbeton gefordert. Dieser ist umso höher, je mehr Zementstein bzw. Feinmörtel im Beton enthalten ist, da sich nur in diesem die künstlich eingeführten Luftporen entfalten können. Für einen Beton mit einem Größtkorn von 8 mm (Waschbeton) wird nach TL Beton-StB 07 ein Mindestluftgehalt von 5,5 Vol.-% gefordert. Werden dem Beton verflüssigende Betonzusatzmittel (Betonverflüssiger bzw. Fließmittel) zugemischt, was beim Waschbeton zum Erzielen einer ausreichenden Verarbeitbarkeit nahezu immer der Fall ist, erhöht sich der Mindestluftgehalt auf 6,5 Vol.-%. Die Anforderung an die Mindestluftgehalte wurde jedoch aufgrund von Erfahrungswerten zunächst nur für Betone mit großem Größtkorn (32 mm) festgelegt, für die Betone mit kleinerem Größtkorn wurde diese lediglich grob extrapoliert. Konkrete Nachweise für den tatsächlich notwendigen Luftgehalt fehlen hierzu bislang. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass sich bei sehr hohen Luftgehalten die Festigkeit entsprechend vermindert. Zudem bereitet die zielsichere Einhaltung solch hoher Luftgehalte bei den feinkörnigen Betonen in der Praxis immer wieder Schwierigkeiten.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es daher, den für einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand tatsächlich notwendigen Mindestluftgehalt im Frischbeton (mit Größtkorn 8 mm) experimentell zu bestimmen.

### 2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen einer Literaturstudie wurden zunächst die maßgeblichen Schadensmechanismen, die infolge einer Frost-Tausalz-Belastung auftreten können, erörtert. Des Weiteren wurden die betontechnologischen Aspekte zur zielsicheren Herstellung von Waschbeton sowie Luftporenbeton zusammengefasst.

Bei den Untersuchungen an typischen Waschbetonen wurden folgende Parameter variiert:

- Luftgehalt im Frischbeton ( $3,5 \pm 0,5$  Vol.-%;  $4,5 \pm 0,5$  Vol.-%;  $6,0 \pm 0,5$  Vol.-%),
- Basis des Luftporenbildners (je zwei Produkte auf synthetischer und natürlicher Basis),
- Zementart (CEM I 42,5 N,  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent = 0,35 M.-%; CEM I 42,5 N,  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent = 0,66 M.-%; CEM II/B-S 42,5 N; CEM III/A 42,5 N),
- Mischdauer (60; 120; 240 Sekunden).

Damit wurden Betonprobekörper für CDF-Prüfungen, 28 Tage-Druckfestigkeitsprüfungen sowie für die Bestimmung der Luftporenkennwerte am Festbeton hergestellt.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die Betone, die mit einem Luftgehalt von  $3,5 \pm 0,5$  Vol.-% hergestellt wurden, wiesen im Vergleich zu denen mit höheren Luftgehalten im Frischbeton erwartungsgemäß höhere Abwitterungsmengen auf. Die höchsten Abwitterungen mit  $1\,511\text{ g/m}^2$  aller im Rahmen dieses Projekts untersuchten Betone zeigten sich bei dem Beton mit CEM III/A 42,5 N mit einem tatsächlichen Luftgehalt im Frischbeton von 3,1 Vol.-% bei Verwendung eines synthetischen Luftporenbildners auf Basis einer wässrigen Tensidlösung und einer Mischzeit von 120 Sekunden. Durch die Erhöhung des angestrebten Luftgehalts im Frischbeton von 3,5 Vol.-% auf 4,5 Vol.-% konnte die maximale Abwitterungsmenge je nach verwendeter Zementart nach 28 FTW um rd. 15 - 40 % gesenkt werden.

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse, die mit den verschiedenen Luftporenbildnern erzielt wurden, ist ersichtlich, dass die mit verschiedenen synthetischen Luftporenbildnern hergestellten Betone bei nahezu gleichen Luftgehalten die gleichen Abwitterungsmengen aufwiesen. Dies gilt ebenso für die verschiedenen natürlichen Luftporenbildner. Die Wirkstoffart des Luftporenbildners zeigte hier somit keinen nennenswerten Einfluss auf den Frost-Tausalz-Widerstand.

Im Vergleich der Zementarten wiesen die Betone mit den beiden Portlandzementen die geringsten Abwitterungsmengen auf. Diese stiegen mit zunehmendem Hüttensandanteil im Zement an. Diese Tendenz zeigte sich sowohl bei einem angestrebten Luftgehalt im Frischbeton von  $3,5 \pm 0,5$  Vol.-%, von  $4,5 \pm 0,5$  Vol.-% (Bild 1) als auch bei  $6,0 \pm 0,5$  Vol.-%. Die Ursache für die höheren Abwitterungen eines Betons mit hüttensandhaltigem Zement im Vergleich zum Portlandzement können entsprechenden Ausführungen in der Literatur zufolge in einer etwas poröseren Randschicht solcher Betone liegen. Zemente

mit reduziertem Klinkeranteil, wie die hier verwendeten hüttsandhaltigen Zemente, verfügen über weniger  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sodass diese im Beton gegenüber solchen mit Portlandzementen schneller karbonatisieren. Ebenso ist nicht auszuschließen, dass die Festigkeitsentwicklung langsamer als bei Betonen mit Portlandzement verläuft und somit auch der Hydratationsgrad nach 28 Tagen möglicherweise niedriger ist. Innerhalb der einzelnen Kurvenverläufe fällt auf, dass die Verläufe der Abwitterungsmengen bei Verwendung eines hüttsandhaltigen Zements (CEM II/CEM III) in den ersten fünf Tagen (entsprechend 10 FTW) steil anstiegen und im weiteren Verlauf etwas abflachten, dennoch war im Verlauf über die 28 FTW keine Stagnation zu erkennen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die oberflächennahe, karbonatisierte Schicht schneller abwitterte als der nicht karbonatisierte Bereich, der bei Betonen mit hüttsandhaltigen Zementen ein sehr dichtes Gefüge

aufweist. Die Abwitterungsmengen der beiden Portlandzemente stiegen nahezu linear an. Auch diese Verläufe wiesen nicht auf eine Stagnation innerhalb der 28 FTW hin. Die Betone mit Portlandzement mit dem niedrigeren  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,35 M.-% wiesen im Gegensatz zu denen mit  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,66 M.-% im Zement geringere Abwitterungsmengen bei nahezu gleichen Luftgehalten auf.

Innerhalb der untersuchten Mischzeiten (60 bis 240 Sek.) wurden bei gleichen Luftgehalten keine nennenswerten Unterschiede in den Abwitterungsmengen festgestellt.

Die nach 28 FTW zu erwartenden Abwitterungsmengen bei einem Luftgehalt im Frisch- und Festbeton von rd. 4,5-Vol.-% liegen zwischen 380 (CEM I 42,5 N,  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent = 0,35 M.-%) und 1 172  $\text{g}/\text{m}^2$  (CEM III/A) und somit deutlich unter dem Grenzwert von 1 500  $\text{g}/\text{m}^2$  (Bild 1)

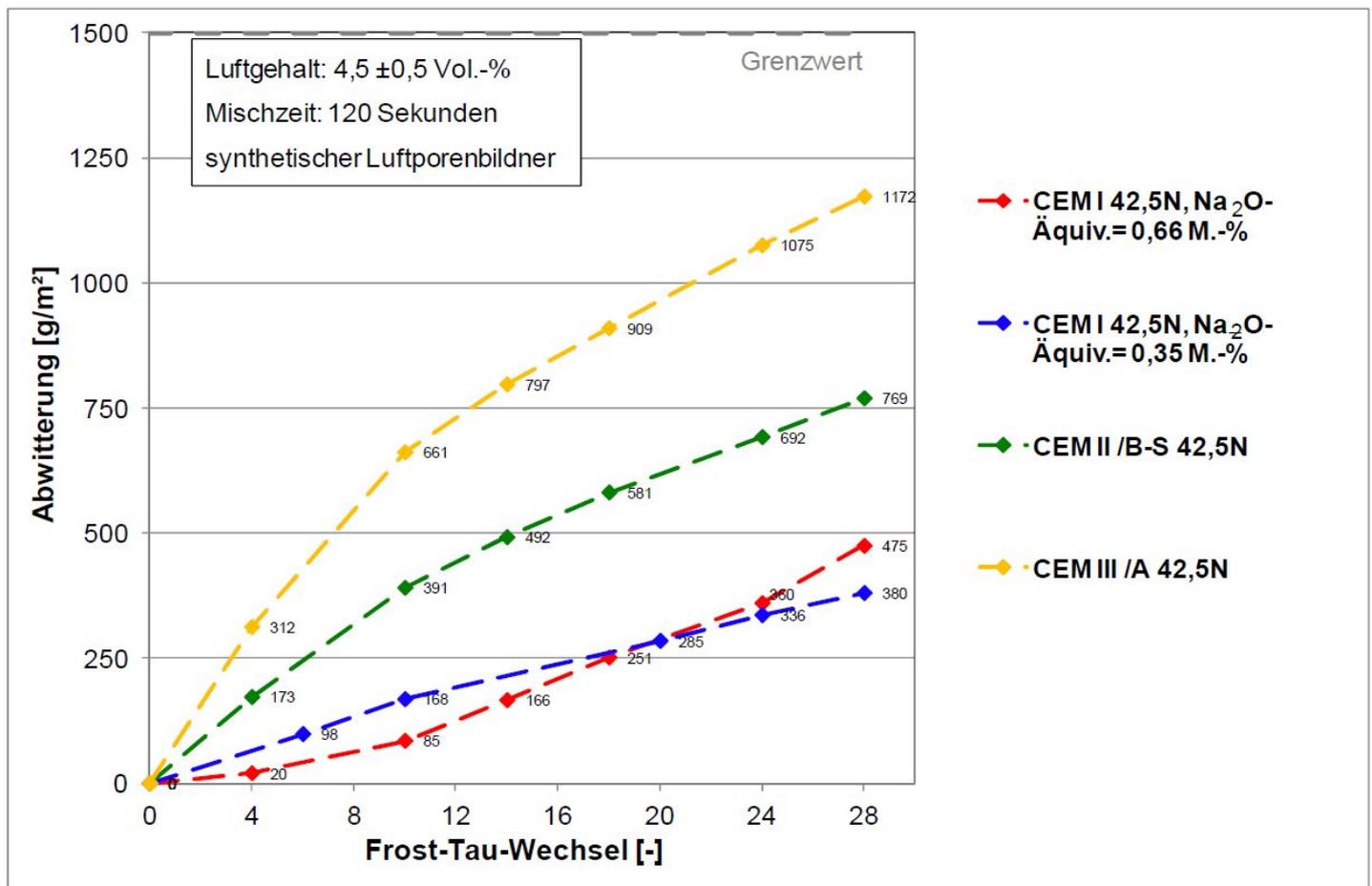


Bild 1: Abwitterungsmengen der Betone mit einem Luftgehalt von  $4,5 \pm 0,5$  Vol.-%, einer Mischzeit von 120 Sekunden, synthetischem Luftporenbildner unter Variation der Zementarten

Anhand der während der CDF-Prüfung ermittelten Ultraschalllaufzeiten wurde bei keinem der Betone eine nennenswerte innere Schädigung festgestellt.

Zusätzlich zu den Luftgehalten im Frischbeton wurden orientierend an ausgewählten Proben die Luftporenkennwerte im Festbeton bestimmt. Die dabei ermittelten Gesamtluftgehalte waren größtenteils identisch mit den Werten aus der Frischbetonprüfung. Bei Verwendung der hüttensandhaltigen Zemente und einer Mischzeit von 120 Sekunden wurde ein sehr feines Luftporensystem mit Abstandsfaktoren von 0,12 - 0,14 mm und Mikroluftporengehalten von rd. 2,20 Vol.-% erzeugt. Im Vergleich dazu war das Luftporensystem der Betone mit Portlandzementen mit Abstandsfaktoren von 0,22 - 0,28 mm gröber. Somit erfüllten nicht alle Betone die Anforderungen an das Luftporensystem im Festbeton mit  $\bar{L} \leq 0,20$  mm und  $A_{300} \geq 1,8$  Vol.-%. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Anforderungen nach TL Beton-StB 07 auf Betonen mit einem Luftgehalt von 6,5 Vol.-% (bei Größtkorn 8 mm) basieren, und hier planmäßig niedrigere Luftgehalte angestrebt wurden. Somit können die originär geforderten LP-Kennwerte gar nicht immer erreicht werden.

Anhand der im Rahmen dieses Forschungsprojekts erzielten Untersuchungsergebnisse bzgl. der Dauerhaftigkeit von Waschbeton bei verschiedenen Luftgehalten, erscheint der derzeit geforderte Mindest-Luftgehalt im Frischbeton von 6,5 Vol.-% nicht zwingend notwendig, um einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand sicherzustellen. Alle untersuchten Betone wiesen auch bei einem Luftgehalt im Frischbeton von 4,5 Vol.-% einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand mit Abwitterungsmengen  $< 1\,500$  g/m<sup>2</sup> auf. Ebenso konnten bei diesen Luftgehalten keine inneren Schädigungen festgestellt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint ein Mindest-Luftgehalt im Frischbeton von 4,5 Vol.-% für einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand für Waschbetone mit einem Größtkorn von 8 mm hinreichend. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass nicht alle untersuchten Betone die Anforderungen an das Luftporensystem im Festbeton mit  $\bar{L} \leq 0,20$  mm und  $A_{300} \geq 1,8$  Vol.-%. erfüllten. In Folge müssten bei einer Übernahme des hier ermittelten tatsächlich notwendigen Luftgehalts im Frischbeton in die einschlägigen Regelwerke auch die Anforderungen an die Luftporenkennwerte im Festbeton angepasst werden.