

Luftporenkennwerte in Abhängigkeit der Art und Dosierung des LP-Bildners und Zusammenhang mit dem Frost-/Tausalz-Widerstand "texturierter" Betonstraßendecken

FA 8.179

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl)

Bearbeiter: Brandes, C. / Schnittger, A. / Strehlein, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Mai 2007

1 Aufgabenstellung

Betonfahrbahndecken zeichnen sich bei einer hohen Verkehrsbelastung durch eine sehr große Dauerhaftigkeit aus und werden daher vermehrt beim Bau von Autobahnen und sonstigen hoch belasteten Verkehrsflächen (z. B. Flughafenbetriebsflächen) verwendet. Während der Nutzungsphase muss einerseits die Verkehrssicherheit vor allem durch eine ausreichende Griffigkeit und andererseits eine geringe Lärmemission gewährleistet werden. Beanspruchungen durch rollenden Verkehr bzw. durch Witterung (Frost-Tausalz-Angriff) dürfen die Anforderungen während der Nutzung nicht beeinträchtigen.

Um Grundlagen zur Herstellung dauerhafter Oberflächentexturen zu schaffen, wurden in der Vergangenheit Erkenntnisse über eine optimale Betonzusammensetzung und die Gestaltung der Oberfläche gewonnen (vgl. z. B. FA 8.157 "Oberflächendauerhaftigkeit" bzw. FA 8.170 "Textur- und Rezepturoptimierung"). Die Betone können hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und der damit verbundenen Frischbetonstabilität bzw. Oberflächenmörtelfestigkeit zielsicher hergestellt werden. Des Weiteren wurde festgestellt, dass durch neue synthetische Luftporenbildner zumeist eine feinere Mikroluftporenverteilung im Beton erreicht werden kann (kleinerer Abstandsfaktor bei gleichem Mikroluftporengehalt). Untersuchungen des Frost-Widerstands hochfester Betone zeigten zudem, dass die Einhaltung des Richtwerts für den Abstandsfaktor aus den ZTV Beton-StB 01 (FGSV, 2001) nicht zwangsläufig zu einem frostbeständigen Beton führt.

Insbesondere für die neue Generation der synthetischen LP-Bildner fehlten systematische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen dem Frost-Tausalz-Widerstand von Straßenbeton und den vorhandenen Kennwerten des Mikroluftporengefüges.

Des Weiteren muss der Frost-Tausalz-Widerstand auch bei einer frühen Verkehrsfreigabe, wie sie im Bereich von Baustel-

lenumleitungen oder Überleitungen auf andere schon freigegebene Bereiche stattfindet, gewährleistet sein. Derzeit ist in den ZTV Beton-StB 01 die Verkehrsfreigabe von Betonstraßen der Bauklassen SV, I bis III ab dem Erreichen von 60 % der Nennfestigkeit vorgesehen. Der Bezug zum Frost-Tausalz-Widerstand selbst oder zum erforderlichen Austrocknungs- bzw. Reifegrad bei Verkehrsfreigabe fehlt.

Ziel der Untersuchungen war, die Luftporenverteilung in Straßenbetonen resultierend aus der Verwendung der neuen synthetischen Luftporenbildner und die Auswirkungen auf die Festbetoneigenschaften wie die Frost-Tausalz-Beständigkeit, die Biegezugfestigkeit und die Oberflächendauerhaftigkeit zu bestimmen. Zusätzlich wurde der Frost-Tausalz-Widerstand in jungem Alter bei einem frühen Angriff (frühzeitige Verkehrsfreigabe) untersucht. Damit wurden Grundlagen bezüglich der Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit bei einer frühen Verkehrsfreigabe und einer damit verbundenen frühen Frost-Tausalz-Beanspruchung geschaffen. Hierbei sollte insbesondere auch der Reife- und Austrocknungsgrad berücksichtigt werden.

Die oben genannten Fragestellungen wurden in zwei Teilen bearbeitet. In Teil A wurde der Einfluss des LP-Bildners auf die Luftporenkennwerte bzw. die Festbetonkennwerte (Frost-Tausalz-Widerstand, Biegezugfestigkeit) geklärt, während in Teil B die zeitliche Entwicklung des Widerstands gegen einen Frost-Tausalz-Angriff in jungem Alter an ausgewählten Betonen untersucht wurde.

2 Untersuchungsmethodik

In Teil A wurden Untersuchungen an den drei Laborbetonen A, B und C durchgeführt. Das Mikroluftporengefüge der Betone wurde mit 7 unterschiedlichen LP-Bildnern eingestellt. Bei jeweils 2 dieser LP-Bildner handelte es sich um herkömmliche Zusatzmittel auf Wurzelharzbasis, um Produkte auf der Basis eines modifizierten Wurzelharzes und um synthetische Zusatzmittel der "neuen Generation" (Wirkstoff: synthetische Tenside). Ein weiterer LP-Bildner war ein Kombiprodukt aus einem modifizierten Wurzelharz und einem synthetischen Tensid. Bei allen Kombinationen wurde ein Luftporengehalt im Frischbeton von 4,5 (\pm 0,5) Vol.-% gemäß dem Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton (FGSV, 2004) eingestellt. Zusätzlich wurde an ausgewählten Betonen ein Luftporengehalt von 3 (\pm 0,5) Vol.-% eingestellt. Die Betone A und B wurden, um eine Beeinflussung der Mikroluftporen durch das Fließmittel zu vermeiden, ohne ein Fließmittel hergestellt. Bei Beton C war dies aufgrund des niedrigen Wasserzementwerts nicht möglich,

er wurde unter Zugabe eines auf den jeweiligen Luftporenbildner abgestimmten Fließmittels hergestellt.

An allen Betonen wurden die für den Straßenbau relevanten Kenndaten (Frischbetonluftporengehalt und -konsistenz, Druckfestigkeit nach 7 und 28 Tagen, Biegezugfestigkeit) sowie die Luftporenkenndaten im Festbeton nach DIN EN 480-11:1999-02 (DIN, 1999) (Messlinienverfahren) ermittelt. Den Luftporenkenndaten wurde das Abwitterungsverhalten der Betone während der Frost-Tausalz-Belastung gegenübergestellt. Dazu wurde der Frost-Tausalz-Widerstand gemäß dem BAW-Merkblatt "Frostprüfung" (BAW, 2004) (CDF-Verfahren) bestimmt. Um eine Aussage hinsichtlich des Schädigungsfortschritts und der Wasseraufnahme während der Frost-Tau-Wechsel machen zu können, wurden die Probekörper abweichend von dieser Vorschrift mit 56 Frost-Tau-Wechseln beansprucht. Neben der Abwitterung wurde zusätzlich die innere Schädigung mittels Ultraschallmessung ermittelt.

Zudem sollte die Oberflächendauerhaftigkeit untersucht werden. Da der Luftporengehalt und die Luftporenverteilung im oberflächennahen Mörtel die Dauerhaftigkeit der Oberflächentextur maßgeblich beeinflusst, sollte die Dauerhaftigkeit der Textur gegenüber einem Frost-Tausalz-Angriff und einer kombinierten Beanspruchung getrennt nachgewiesen werden. Hierzu wurden von ausgewählten Betonen texturierte Probekörper hergestellt, die mit einem handelsüblichen Nachbehandlungsmittel nachbehandelt und im Klima 20 °C / 85 % r.F. gelagert wurden. An diesen wurde ebenfalls der Frost-Tausalz-Widerstand im Alter von 28 Tagen bestimmt. Außerdem wurde mit einem am cbm entwickelten Laborprüf- und Messverfahren (vgl. FA 8.157 "Oberflächendauerhaftigkeit") die Dauerhaftigkeit bewertet. Hierzu wurden die texturierten Oberflächen hinsichtlich der Entwicklung ihrer Eigenschaften infolge einer kombinierten Laborbeanspruchung (Säure, mechanischer Angriff, Frost) untersucht. Dies umfasst sowohl die Bestimmung der primären Eigenschaften (Gestalt der Oberfläche) als auch der sekundären Eigenschaften (Griffigkeitswerte).

Ergänzend wurden an den ausgewählten Betonen die freie Wasseraufnahme und die Wasseraufnahme unter Vakuum bestimmt. Zusätzlich wurde eine Messung der Gaspermeabilität nach dem Torrent-Verfahren durchgeführt.

Zur Bewertung des Widerstands gegen einen frühen Frost-Tausalz-Angriff in Teil B wurden zwei Normalbetone aus Teil A ausgewählt, die sich in der Art des LP-Bildners unterscheiden. Zusätzlich wurde auch eine Wintermischung, d. h. ein Beton mit einem CEM I 42,5 R nach ZTV Beton-StB 01 hergestellt.

Aus den Betonen wurden texturierte Probekörper hergestellt, die mit einem praxisüblichen Nachbehandlungsmittel nachbehandelt wurden. Die Lagerung dieser Probekörper erfolgte nach angepassten Verläufen, die ein Betonieren im Herbst/Winter simulieren. Nach den ZTV Beton-StB 01 ist ein Betoneinbau bis zu einer Minimaltemperatur von 5 °C (Luft und Beton) erlaubt. Die Probekörper lagerten deshalb in der Schalung bis zur jeweiligen Prüfung im Klima 5 °C, 10 °C bzw. 20 °C.

An ausgewählten Probekörpern wurde im oberflächennahen Bereich der elektrolytische Widerstand mittels Multiringmessung als Kennwert für den Feuchtegradienten ermittelt.

In den ZTV Beton-StB 01 ist eine Verkehrsfreigabe von Betonstraßen der Bauklassen SV, I bis III ab einer Druckfestigkeit von 60 % der Nenndruckfestigkeit vorgesehen. Im Vorfeld der Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit wurde daher die Druckfestigkeitsentwicklung der Betone in Abhängigkeit der Lagerungsdauer und -art ermittelt.

An den Betonen wurden anschließend in Abhängigkeit des Erreichens der 60 % Nenndruckfestigkeit je 3 Prüfalter festgelegt, zu denen der Frost-Tausalz-Widerstand nach einem modifizierten CDF-Verfahren ermittelt wurde. Hierzu wurden die Probekörper, ohne zuvor kapillar gesaugt zu haben, in die CDF-Truhe eingelagert. Die Maximaltemperatur der Frost-Tau-Zyklen wurde der jeweiligen Vorlagerung (5 °C, 10 °C bzw. 20 °C) angepasst. An den Probekörpern wurden die Abwitterung, der dynamische E-Modul und die Masseänderung ermittelt. Die Probekörper wurden mit jeweils 28 Frost-Tau-Wechseln beansprucht.

Da bei einer frühen Verkehrsfreigabe neben dem Frost-Tausalz-Widerstand des Straßenbetons auch eine Beständigkeit der Textur gewährleistet sein muss, wurde an ausgewählten Probekörpern die Dauerhaftigkeit der Textur gegen eine frühzeitige Lastbeanspruchung (Befahren durch LKWs) bewertet. Hierzu wurden nach einem modifizierten Verfahren aus FA 8.157 ("Oberflächendauerhaftigkeit"; vgl. auch Teil A dieser Untersuchungen) die Probekörper beansprucht und die Veränderung der Textur ermittelt. Die Probekörper wurden einer Frost-Tausalz-Beanspruchung und einer nachfolgenden Beprallung ausgesetzt, der lösende Angriff entfiel.

Anhand dieser Ergebnisse wurden Abhängigkeiten überprüft und es wurde eine Handlungsempfehlung für die Praxis vorgeschlagen.

3 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen in Teil A ergaben, dass die Art des Wirkstoffs im verwendeten Luftporenbildner keinen signifikanten Einfluss auf Frisch- und Festbetoneigenschaften besitzt. Die Anforderungen des BAW-Merkblatts "Frostprüfung" (BAW, 2004) an Abwitterung und innere Schädigung während der Frostprüfung wurden von allen geprüften Betonen erfüllt. Das Abwitterungsverhalten und die Oberflächendauerhaftigkeit zeigten sich unabhängig von der Art des Luftporenbildners. Einen weit größeren Einfluss hatten die im Rahmen der Untersuchungen verwendeten unterschiedlichen Zemente. Da jedoch jeweils nur ein Zement je Zementart untersucht wurde, kann im Rahmen dieses Projekts keine allgemeingültige Aussage bezüglich des Einflusses der Zementart auf den Frost-Tausalz-Widerstand bzw. die Oberflächendauerhaftigkeit getroffen werden. Die Menge und Verteilung der Mikroluftporen im Festbeton hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit der Betone. Zur Erreichung einer ausreichenden Frostbeständigkeit ist es wichtig, die Anforderungen

- an den Mindest-Mikroluftporengehalt A_{300} von 1,8 Vol.-% und
- an den maximalen Abstandsfaktor: \bar{L} von 0,20 mm

entsprechend dem "Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton" (FGSV, 2004) einzuhalten. Durch das Forschungsvorhaben wurde bestätigt, dass die Grenzwerte für Luftporenkennwerte am Festbeton auch für neuere Luftporenbildner auf der Basis synthetischer Tenside gültig sind.

Zur Ermittlung des Frost-Tausalz-Widerstands in jungem Alter wurden unterschiedliche Betone bei drei verschiedenen Temperaturen (5 °C, 10 °C, 20 °C) gelagert. Die Betone unterschieden sich in der Art des verwendeten Luftporenbildners und des Zements. Alle Betone waren nach den Anforderungen der ZTV Beton-StB 01 zusammengesetzt und wiesen ein Mikroluftporengefüge entsprechend dem Merkblatt "Luftporenbeton" auf. Die Oberflächen der Probekörper wurden praxisnah hergestellt, d. h. nach dem Rüttelvorgang wurde eine Textur

aufgebracht und es wurden die Oberflächen mit einem handelsüblichen Nachbehandlungsfilm vor einer sofortigen Austrocknung geschützt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte schon in einem sehr jungen Alter ab einer Druckfestigkeit von rund 20 N/mm² ein ausreichender Frost-Tausalz-Widerstand nachgewiesen werden. Es wurde kein Ansatz einer Begründung gefunden, der bei einer sachgerechten Anwendung von Straßenbetonen unter Berücksichtigung der ZTV Beton-StB 01 ein Frost-Tausalz-Angriff zu dauerhaften Schäden führt. Die Untersuchungen legen vielmehr nahe, dass andere Einflüsse wie zum Beispiel ein unzureichendes LP-Gefüge im Mörtelbereich, eine nicht optimal zusammengesetzte Mörtelphase bzw. eine zu dicke Mörtelschicht, eine schon sehr frühzeitig unterbrochene Hydratation (unzureichende Nachbehandlung, Temperaturen unter 0 °C) oder Mikrorisse bedingt durch Temperatur- bzw. Feuchtgradienten für Schäden, die derzeit einer frühen Verkehrsfreigabe zugeschrieben werden, verantwortlich sein müssen.

Der Rückschluss von der Druckfestigkeit auf den Frost-Tausalz-Widerstand wird als betontechnologisch nicht zu begründen, aber durchaus als praxistauglich angesehen. Bei den hier untersuchten Betonen lag der Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe nach ZTV Beton-StB 01 allerdings deutlich auf der sicheren Seite. Da jedoch nicht auszuschließen ist, dass Betone aus anderen Ausgangsstoffen und unter anderen Umgebungsbedingungen ein differenziertes Verhalten aufweisen, wird zur Optimierung des Zeitpunkts der Verkehrsfreigabe sowie zur Anpassung an die tatsächlichen Umgebungsbedingungen ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen: In einem ersten Schritt soll die Sensitivität der gewählten Rezeptur auf eine frühe Verkehrsfreigabe untersucht werden. Hierdurch sind noch in der Planungsphase eine Optimierung der Rezeptur und ein Vergleich unterschiedlicher Rezepturen hinsichtlich dieser Kenngröße möglich. In einem weiteren Schritt soll im Rahmen der Bautätigkeit sichergestellt werden, dass der tatsächlich erreichte Widerstand unter Berücksichtigung der tatsächlichen Umgebungsbedingungen ausreichend für die Verkehrsfreigabe ist.

Literatur

- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2004): Merkblatt Frostprüfung von Beton (BAW-Merkblatt "Frostprüfung").
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (1999): DIN EN 480-11: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel; Prüfverfahren – Teil 11: Bestimmung von Luftporenkennwerten in Festbeton.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Köln (FGSV ; 818).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2001): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB 01, Köln (FGSV ; 899).