

## Untersuchungen zu Gefügeänderungen an Betonfahrbahnflächen Teil II: Oberflächenrisse

8.154 II

Forschungsstelle: Bauhaus-Universität Weimar, F.A.-Finger-Institut für Baustoffkunde (FIB)  
(Prof. Dr.-Ing. J. Stark)

Bearbeiter: Bollmann, K. / Erfurt, W. / Frenz-  
zel, A.

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

Abschluss: Mai 2001

### 1. Zielstellung

Die Schädigungen von Straßenbetonen beruhen nicht nur auf physikalischen Vorgängen. Gefügeveränderungen werden häufig durch chemische Vorgänge hervorgerufen. Ein Resultat kann die Anreicherung von grobkristallin erscheinendem Ettringit im Gefüge geschädigter Betone sein.

Zu klären sind die Ursachen und Wirkungsmechanismen solcher Schäden und die Möglichkeit der Früherkennung von

Schadenspotenzialen, um Abläufe, die die Betoneigenschaften beeinträchtigen, an Betonbauwerken zuverlässig zu vermeiden. Erkenntnisse und Proben aus bisher durch das BMVBW geförderten Forschungsvorhaben (8.128 und 8.144) zur Rissbildung in Betonfahrbahndecken bildeten die Grundlage dieses Forschungsvorhabens.

Die in diese Vorhaben bereits einbezogenen Baulose wurden durch fortgesetzte Ultraschallmessungen und mikroanalytische Untersuchungen am genutzten Beton beurteilt.

Durch den Vergleich zu im Labor wechselgelagerten Proben des gleichen Betons wurden Rückschlüsse zur Übertragbarkeit von Ergebnissen zeittraffender Laboruntersuchungen angestrebt.

Zur Klärung von möglichen Schadensmechanismen wurden die Zusammenhänge zwischen dem Alkaligehalt der Zemente und in der Porenlösung, der Ettringitanreicherung im Gefüge und dem Schädigungspotenzial untersucht. Dafür wurden die Porenlösungen der Zemente analysiert, die in dem vorangegangenen Forschungsvorhaben für die Mörtel und Betone verwen-

det worden waren, die der zeitraffenden Wechsellagerung im Labor ausgesetzt und hinsichtlich Gefügeveränderungen untersucht wurden.

Im Ergebnis liegt eine Erklärung für die im Beton ablaufenden Mechanismen vor, die zu einer Anreicherung von Ettringit im Gefüge geschädigter Betone führen.

## 2. Ergebnisse

### 2.1 Untersuchungen an bereits genutzten Fahrbahnbetonen im Vergleich zu wechselgelagerten Betonen

Prinzipiell werden die bei der Wechsellagerung in den vorangegangenen Forschungsprojekten festgestellten Tendenzen durch die Untersuchungsergebnisse der mehrjährig genutzten Straßenbetone bestätigt. Jedoch fanden nach einer Nutzungszeit von 5,5–7 Jahren alle Gefügeveränderungen und Beeinträchtigungen der Festbetoneigenschaften in viel geringerem Ausmaß als bei der Wechsellagerung statt.

Das erhöhte Schädigungspotenzial des Straßenbetons 2, das aus den Ergebnissen der Wechsellagerungsversuche abgeleitet wurde, findet Bestätigung in den prinzipiell niedrigsten Ultraschallgeschwindigkeiten und dem Abfall der Ultraschallgeschwindigkeit gegenüber den Vormessungen. Auch am Dünnschliff des Straßenbetons 2 wurden, mit Risstiefen von mehr als 1,6 cm, die am tiefsten in das Gefüge hineinreichenden Risse detektiert. Eine signifikante Verschlechterung des Gesamtgefüges war jedoch weder am Dünnschliff noch an den mittels ESEM untersuchten Proben festzustellen. Da der Straßenbeton 2 gleichzeitig der am stärksten geschädigte und der am geringsten belastete Streckenabschnitt ist, kann ein Zusammenhang des vorliegenden Schädigungsgrades mit der Verkehrsbelastung ausgeschlossen werden.

Da die Laborwechsellagerung als extreme Belastung anzusehen ist, die die Einflüsse einer längeren Nutzungsdauer beschleunigt realisieren soll, sind jedoch nicht die absoluten Ergebnisse der Wechsellagerungsversuche, sondern die dabei ermittelten Tendenzen und Abstufungen der Betonqualitäten untereinander entscheidend für die Prognosen von Schädigungspotenzialen.

Um die sich jetzt abzeichnende Tendenz des Langzeitverhaltens der einzelnen Straßenbetone in einen tatsächlichen Bezug zu den Ergebnissen der Wechsellagerungsversuche zu bringen, wird das Verhalten der gewählten Autobahnabschnitte weiter beobachtet.

### 2.2 Zusammenhänge zwischen Alkaligehalt in der Porenlösung Ettringitbildung und Schädigungspotenzial

Der im Zement nachgewiesene Alkaligehalt ist ausschlaggebend für den Alkaligehalt der Porenlösung des Zementsteins. Dabei ist in der Anfangsphase der Hydratation der wasserlösliche Anteil vor allem bestimmend für den Alkaligehalt und pH-Wert der Porenlösung. Höhere Alkaligehalte der Zemente führen zu höheren Alkaligehalten und pH-Werten in der Porenlösung. Aus Untersuchungen geht hervor, dass Ettringit bei höheren pH-Werten, wie sie normalerweise in der Porenlösung bei  $w/z = 0,5$  schon nach 1 Tag auftreten, instabil wird. Ob es aber tatsächlich zu einem Abbau des primär gebildeten Ettringits durch den ansteigenden pH-Wert bei Hydratationsfortschritt kommt und damit die Möglichkeit einer Ettringitrekristallisation bei wieder sinkendem pH-Wert besteht (Schädigungspotenzial), hängt von vielen Randbedingungen ab. Dazu gehören z. B.

die stöchiometrischen Verhältnisse der Reaktionspartner für die Ettringitbildung in der Lösungsphase und das Vorhandensein weiterer Ionen ebenso, wie das Mengenverhältnis von Ettringit zur vorhandenen Lösungsphase. Deshalb ist nach Analyse der Porenlösung des Zementsteins und Bestimmung des Alkali- und OH-Ionen-Gehaltes abschätzbar, ob die Möglichkeit einer Ettringitzerzersetzung (und in der Folge einer Ettringitrekristallisation) besteht. Ob dieser Mechanismus tatsächlich abläuft, ist von den speziellen Nutzungsbedingungen abhängig und sehr schwer zu prognostizieren. Deshalb ist es sinnvoll, Maßnahmen zu nutzen, die von vornherein den pH-Wert der Porenlösung senken (z. B. Zugabe von latent hydraulischen Zusatzstoffen oder Puzzolanen – Hüttsande, Aschen, Microsilica) und damit das vorhandene Schädigungspotenzial reduzieren.

Wie bereits bei der Wechsellagerung von Mörteln aus Zementen mit unterschiedlichen Alkaligehalten festgestellt, besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Alkaligehalt der Zemente und dem Ausmaß der Dehnung. Es wurde bei den Proben mit steigendem Alkaligehalt ab 1,1 % Natriumäquivalent des Zementes nach der Wechsellagerung mit intensiven Temperatur- und Feuchtwechsels eine exponentiell ansteigende Dehnung verzeichnet. Diese Tendenz zeichnete sich bei den handelsüblichen Zementen mit  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalenten bis 1,2 % bereits ab. Bei einem Alkaligehalt deutlich über 1,2 % (Laborzement E) führten die intensiven Feuchte- und Temperaturwechsel zu extremen Dehnungen und Rissbildung. Die deutliche Zunahme der Dehnung im Verlauf der Wechsellagerung bei Alkaligehalten des Zementes über 1,1 % weist auf die hier vorhandenen Schädigungspotenziale hin. Die Veränderung der Ultraschallgeschwindigkeit im Verlauf der Wechselzyklen zeigte analoge Tendenzen in Abhängigkeit vom Alkaligehalt der Zemente, wie sie bei der Dehnungsmessung beobachtet wurden. Die mit dem Alkaligehalt ansteigenden Dehnungen waren mit abfallenden Ultraschallgeschwindigkeiten verbunden.

Die durch die Wechsellagerung provozierte Ettringitbildung in den Poren des Betons verstärkte sich bei niedrigen Belastungsstufen (1. und 2. Belastungsstufe) mit steigendem Alkaligehalt. Bei sehr intensiven Temperatur- und Feuchtwechsels (3. Belastungsstufe) war nach 3 Wechselzyklen ein Einfluss des Alkaligehaltes auf die Menge des sichtbar rekristallisierten Ettringits in den Poren nicht mehr nachweisbar. Die Porenwände waren dann unabhängig vom Alkaligehalt im Bereich zwischen  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent 0,90 % bis 1,47 % flächendeckend mit Ettringitformationen belegt.

## 3. Schlussfolgerungen

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass der Alkaligehalt des Zementes (und damit der Alkaligehalt der Porenlösung) wohl das Dehnungsverhalten und damit den Schädigungsgrad von Beton- und Mörtel bei wechselnden Temperatur- und Feuchtebelastungen beeinflussen kann. Die augenscheinlich nachweisbare Menge an rekristallisiertem Ettringit zeigt aber vor allem bei intensiven Temperatur- und Feuchtwechsels keine direkte Abhängigkeit vom Alkaligehalt. Das heißt, es ist kein direkter Zusammenhang zwischen der Menge des rekristallisierten Ettringits und dem Schädigungsgrad nachweisbar. Die Untersuchungen zeigen damit, dass die Schädigung des Mörtels oder Betons nicht durch den rekristallisierten Ettringit verursacht wird. Die Ettringitrekristallisation ist eine Folge bereits vorhandener Gefügeschäden, die durch fördern und damit eine Rekristallisation von bei hohen pH-Werten Feuchtwechsel eine Absenkung des pH-Wertes zersetztem Ettringit erst ermöglichen. □