

## Untersuchungen zu Gefügeänderungen an Betonfahrbahnlflächen Teil I: Aluminiumreaktionen

FA 8.154 I

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

Bearbeiter: Beckhaus, K / Schachinger, I. / Wenzl, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: März 2003

### 1. Schadensvorgang und durchgeführte Untersuchungen

Beim Abkippen von Straßenbeton aus Aluminiummulden können durch den Zuschlag Aluminiumspäne vom Boden- oder Wandblech abgerieben und lokal konzentriert in den noch frischen Beton eingebracht werden. Auf Grund des hohen pH-Wertes des Zementleims kommt es zu einer Aluminiumreaktion, bei der Wasserstoffgas entsteht und Gefügeänderungen im Beton auftreten können. In Laboruntersuchungen und in der Praxis treten die Gefügeänderungen in Form zweier Schadenstypen auf. Zum einen der Schadenstyp I "Aufwölbung mit Riss" und zum anderen der Schadenstyp II "Krater mit Aufstiegskanal". Beide aus der Praxis bekannten Schadenstypen konnten im Labor nachgestellt werden.

Die Korrosion von Aluminium und die Entstehung des Wasserstoffgases wurden im Rahmen einer Parameterstudie in Kalziumhydroxidlösungen und in Zementleimen untersucht. Anschließend wurde das Schadensbild an Straßenbeton nachgestellt sowie die Beständigkeit der geschädigten Oberflächen untersucht.

### 2. Grundlagenversuche

In den Versuchen zur Aluminium-Korrosion bei hohen pH-Werten (12,7–13,2) wurden verschiedene Aluminiumlegierungen untersucht, die in Lkw-Mulden zum Einsatz kommen. Alle untersuchten Aluminiumlegierungen reagierten im basischen Milieu ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung bzw. Zementleim) unter Wasserstoffentwicklung mit dem Alkalihydroxid. Es zeigte sich, dass eine Erhöhung des pH-Wertes der  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung eine Zunahme des pro Zeit gebildeten  $\text{H}_2$ -Gases zur Folge hatte. Es wurden hierbei auch legierungsabhängige Unterschiede in der Korrosionsgeschwindigkeit festgestellt. Die Legierung, die für das Bodenblech verwendet wird, wies in den Versuchen mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung eine höhere Reaktionszahl ( $\text{ml H}_2/\text{h}$ ) als die Legierung des Wandblechs auf. Die Untersuchungen der Reaktion von Aluminium in reiner Form aber auch von Alu-Legierungen im basischen Milieu haben generell eine Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit mit Zunahme des pH-Wertes ergeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich infolge des starken Angriffs keine Deckschichten ausbilden konnten, die zu einer Hemmung der Korrosionsgeschwindigkeit führen.

Die Versuche mit Aluminiumspänen im Zementleim zeigten in den ersten Stunden ein ähnliches Verhalten hinsichtlich der Reaktionszahl. Anschließend gab es einen schnellen Rückgang der Reaktionszahl. Das ergibt sich aus einer Verschlechterung der Mobilität der lösenden Phase durch das Erstarren, die somit zu einer Verringerung der Bildung von  $\text{H}_2$ -Gas bzw. der Reaktionszahl führt.

Der Einfluss der Temperatur ist bei chemischen Prozessen eine wichtige Größe, da eine Erhöhung der Umgebungstemperatur zu einer Beschleunigung des Reaktionsprozesses führt. Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur um 10 K führte bei Versuchen in reiner  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung zu einer Verdoppelung der Korrosionsrate. Im Zementleim hingegen führte dies in der Anfangsphase (erste Stunden) zu einer 13 % höheren Wasserstoffentwicklung. Die Ursache für die nur geringfügige Zunahme der Wasserstoffentwicklung infolge der Aluminiumreaktion bei erhöhter Temperatur war das schnellere Erstarren. Die Untersuchungen am Zementleim hinsichtlich der Feinheit des Aluminiumabriebs (Partikeldurchmesser 0,125–0,250 mm bzw. 0,250–0,500 mm) auf die Bildung von  $\text{H}_2$ -Gas ergaben den zu erwarteten Anstieg des gebildeten Wasserstoffvolumens mit zunehmender Feinheit auf Grund der größeren Reaktionsoberfläche.

Hinsichtlich der Schadensbildung bei Betonstraßen infolge des Aluminiumabriebs ist aber nicht das insgesamt entstandene Wasserstoffvolumen sondern die zeitliche Entwicklung des Gasdruckes und das im Zementstein verbleibende Wasserstoffvolumen maßgeblich.

### 3. Versuche mit Straßenbeton

Die Ursache für das Entstehen der beiden Schadenstypen "Aufwölbung mit Riss" und "Krater mit Aufstiegskanal" wurde unter Berücksichtigung folgender Parameter untersucht:

- Konsistenz,
- Umgebungstemperatur während der Erhärtung,
- Einfluss der Lage des Aluminiums im Querschnitt.

Als maßgebender Einfluss hat sich die Höhenlage des Aluminiums und somit die des Reaktionsortes im Querschnitt herausgestellt. So zeigte sich der Schadenstyp "Aufwölbung mit Riss", wenn die Reaktion im oberen Drittel des Querschnitts stattfand, der Schadenstyp "Krater mit Aufstiegskanal" entstand, wenn die Reaktion im mittleren bzw. unteren Drittel des Querschnitts erfolgte. Anzumerken ist aber hierbei, dass die Schadenstypen nur dann entstehen, wenn das Aluminiumpulver konzentriert an der jeweiligen Stelle vorliegt.

Ein maßgebender Einfluss der Konsistenz und der Umgebungstemperatur während der Erhärtung auf die Entstehung der Schadensbilder konnte nicht nachgewiesen werden.

Anschließend wurden die beiden Schadenstypen mit einem Laborprüfverfahren, in dem die Oberflächen der Probekörper mit einem kombinierten Beanspruchungszyklus aus lösendem Angriff, Prallabrieb und Frost-Tau-Wechsel in 3%-iger NaCl-Lösung beansprucht werden, hinsichtlich des Einflusses auf die Dauerhaftigkeit untersucht.

Probekörper mit dem Schadenstyp "Krater mit Aufstiegskanal" und Referenzprobekörper ohne Schaden unterschieden sich hinsichtlich ihres Schädigungsgrades nur unwesentlich.

Probekörper mit dem Schadenstyp "Aufwölbung mit Riss" wiesen nach der mechanischen Beanspruchung eine Abplatzung im Bereich der Aufwölbung auf. Durch die anschließende Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung entstanden kaum noch Schäden. Eine Untersuchung des Schadenstyps "Aufwölbung mit Riss" hinsichtlich seiner Beständigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung in 3%-iger NaCl-Lösung ohne vorherigen

lösenden Angriff und Prallabrieb ergab keine Abplatzung im Bereich der Aufwölbung. Daraus lässt sich schließen, dass für das Schadensausmaß im Bereich des Schadenstyps "Aufwölbung mit Riss" die mechanische Beanspruchung (Überrollung) ursächlich ist.

An einer Autobahnteilstrecke, die 1996 hergestellt wurde, traten beide Schadenstypen nach der Herstellung auf. Kurz nach Verkehrsöffnung kam es dann zu lokalen Abplatzungen (Längenausdehnung bis zu 40 cm; Tiefe ca. 4 cm). Die Stellen wurden daraufhin entsprechend der ZTV SIB mit PCC erfolgreich saniert. Bei einer Besichtigung im Jahre 2002 waren an den sanierten Stellen keine Schäden erkennbar. Allerdings wurden neue lokale Abplatzungen im Bereich der Rollspur des 1. Fahrstreifens (Lastspur) festgestellt.

Betrachtet man abschließend die im Labor durchgeführten Untersuchungen, ist festzustellen, dass die hierbei hergestellten und beanspruchten Probekörper die gleichen Schadenstypen ("Aufwölbung mit Riss" und "Krater mit Aufstiegskanal") wie die in der Praxis zeigten, und dass sich nach der Laborbeanspruchung der gleiche Schaden eingestellt hat. Der sich in der Praxis wie auch im Labor eingestellte Schaden trat nur bei der "Aufwölbung mit Riss" nach einer mechanischen Beanspruchung auf. Für die auf Praxisstrecken noch intakten "Aufwölbungen mit Riss" bedeutet dies, dass sich die bekannten Schäden durch eine weitere kontinuierliche mechanische Beanspruchung durch Fahrzeugreifen infolge Materialermüdung einstellen werden.

#### 4. Folgerungen für die Praxis

Die Reaktion zwischen Aluminium und dem Kalziumhydroxid des Zementleims ("Aluminiumreaktion"), die zu einer H<sub>2</sub>-Gas-Entwicklung führt, beginnt unmittelbar nach dem Kontakt des Aluminiums mit dem Zementleim und endet mit dem Erstarren des Zementleims. Die beiden bekannten Schadenstypen "Aufwölbung mit Riss" und "Krater mit Aufstiegskanal" entstehen nur bei lokal hoher Konzentration der Aluminiumspäne im Frischbeton.

Eine Anlieferung der Zuschläge mit Aluminiummulden kann nach aktuellem Kenntnisstand als unbedenklich für die beiden

o. g. Schadenstypen angesehen werden, da Aluminiumspäne, die durch ein Abkippen der Zuschläge abgerieben werden, beim Mischvorgang im Beton fein verteilt werden und somit nicht konzentriert im Frischbeton vorliegen. Anschließend kann der Großteil des entstehenden H<sub>2</sub>-Gases bereits vor dem Einbau während des Mischens und beim Transport zur Einbaustelle sowie mit dem Verdichten aus dem Frischbeton schadlos entweichen. Außerdem ist kein Schadensfall bekannt, der durch die Anlieferung von Zuschlägen in Aluminiummulden verursacht wurde.

Um in der Betonfahrbahndecke die durch Aluminiumreaktion verursachten Schadenstypen "Aufwölbung mit Riss" bzw. "Krater mit Aufstiegskanal" zielsicher zu vermeiden, muss der Transport des Frischbetons von der Mischanlage bis zur Einbaustelle in Aluminiummulden bzw. sogar jeglicher Kontakt zu Aluminiumflächen ausgeschlossen werden. Zum einen werden unmittelbar vor dem Einbau des Frischbetons abgeriebene Aluminiumspäne konzentriert in den noch frischen Beton eingebracht, sodass die folgende Aluminiumreaktion auch nur lokal im Betonquerschnitt auftritt und dort ein vergleichsweise hohes H<sub>2</sub>-Gasvolumen entsteht. Zum anderen ist die Zeitspanne zwischen dem Beginn der Aluminiumreaktion (nach dem Abkippen) und dem Ende der Betonverarbeitung (nach der Verdichtung) klein, sodass hier der Großteil des produzierten H<sub>2</sub>-Gasvolumens auch schadenswirksam wird. Als Folge stellen sich in Abhängigkeit der Höhenlage im Querschnitt die Schadenstypen "Aufwölbung mit Riss" (geringe Betondeckung über Reaktionssort) bzw. "Krater mit Aufstiegskanal" (hohe Betondeckung) ein.

Nach Untersuchungen im Labor und Beobachtungen in der Praxis hat der Schadenstyp "Krater mit Aufstiegskanal" keine Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit der Betonfahrbahndecke. Der Schadenstyp "Aufwölbung mit Riss" hingegen führt bei mechanischer Beanspruchung (Überrollungen durch Fahrzeugreifen) zu Abplatzungen in diesen Bereichen, woraus sich eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit der Betonfahrbahndecke ergibt.

Bereiche des Schadenstyps "Aufwölbung mit Riss", in denen Abplatzungen auftreten sind, können mit PCC entsprechend der ZTV-SIB instandgesetzt werden. □