

## Untersuchungen zur Verzögerung des Schadensfortschritts bei AKR-geschädigten Fahrbahndecken aus Beton

FA 8.190

Forschungsstelle: Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf

Bearbeiter: Pierkes, R. / Eickschen, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Januar 2009

### 1 Aufgabenstellung

Durch die Zugabe von Lithium bei der Herstellung von Beton kann unter bestimmten Voraussetzungen eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) verhindert werden. Auch bei bereits geschädigten Betonen soll eine Tränkung mit Lithium das Fortschreiten der Schädigung zumindest verringern können. Hierüber liegen jedoch in Deutschland noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

Die Restnutzungsdauer einer Betonfahrbahndecke könnte deutlich verlängert werden, wenn die schädigende AKR verzögert oder möglicherweise sogar gestoppt werden könnte. In dem Forschungsvorhaben wurde daher untersucht, ob mit einer Lithiumtränkung der Schadensfortschritt einer AKR-geschädigten Betonfahrbahndecke beeinflusst werden kann.

Mit dem Forschungsvorhaben sollte geklärt werden, ob der Schadensfortschritt einer AKR-geschädigten Betondecke mit einer Lithiumtränkung beeinflusst werden kann.

### 2 Untersuchungsmethodik

In einem ersten Arbeitsschritt wurde die vorhandene Literatur zur Wirkung von Lithium ausgewertet. Dabei wurde insbesondere der Fragestellung nachgegangen, ob sich eine schädigende AKR nach einer Tränkung mit Lithium weiterentwickelt, ob diese zum Stillstand kommt oder zumindest verzögert wird. Die Erkenntnisse der Literaturlauswertung wurden in der Planung der Laboruntersuchungen berücksichtigt.

Für die Laboruntersuchungen wurde ein Baulos mit geringer Schädigung ausgewählt, das augenscheinlich AKR-spezifische Schadensmerkmale aufwies. Die Untersuchungen an den aus der Betonfahrbahndecke entnommenen Bohrkernen sollten Aufschluss darüber geben, ob der Schadensverlauf durch eine Lithiumtränkung zumindest verzögert werden kann. Die Bohrkernkerne wurden praxisgerecht über die obere Stirnseite mit Lithiumprodukten zweier Hersteller beaufschlagt. Anschließend wurde die Dehnung der Bohrkernkerne mit und ohne Lithiumbeaufschlagung bei zwei Lagerungsvarianten (40 °C-Nebelkammer und 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen) ermittelt. Durch Vergleich der Versuchsergebnisse mit und ohne Lithiumtränkung wurde die Wirksamkeit der Behandlung beurteilt.

Zusätzlich wurde die Eindringtiefe des Lithiums bestimmt, indem Bohrkernkerne in 1 cm dicke Scheiben parallel zur Bohrkernoberfläche aufgeteilt wurden. Die Analyse des Lithiumgehalts der Scheiben ermöglichte die Erstellung eines Lithiumprofils über die Bohrkernhöhe.

Außerdem wurden aus Bohrkernkerne vor und nach einer neun- bzw. achtzehnmonatigen 40 °C-Nebelkammerlagerung Betonproben entnommen und daraus Dünnschliffe hergestellt. Die Dünnschliffe wurden hinsichtlich einer Rissbildung und der Bildung von Alkali-Kieselsäure-Gel beurteilt.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Literaturlauswertung

Durch die Zugabe von Lithium bei der Herstellung von Beton kann unter bestimmten Voraussetzungen eine schädigende AKR verhindert werden. In Deutschland liegen jedoch noch keine gesicherten Erkenntnisse vor, ob bei bereits geschädigten Betonen eine Tränkung mit Lithium das Fortschreiten der Schädigung zumindest verringern kann. Um die Erfolgsaussichten einer derartigen Tränkung abzuschätzen, wurde in der Literaturlauswertung insbesondere der Fragestellung nachgegangen, ob sich eine schädigende AKR nach einer Tränkung mit Lithium weiterentwickelt, ob diese zum Stillstand kommt oder zumindest verzögert wird.

In den USA wurden Praxisversuche mit einer Lithium-Tränkung von AKR-geschädigten Betonfahrbahndecken durchgeführt. Es werden Empfehlungen über Art und Menge der Lithiumverbindung und Ausführungshinweise für die Tränkung gegeben. Von wesentlicher Bedeutung ist, dass das Lithium tief genug in den Beton eindringen kann. Risse erleichtern das Eindringen des Lithiums. Eine positive Wirkung im Sinne einer Verzögerung einer schädigenden AKR konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Bisher fehlt daher der Nachweis, dass durch eine Lithiumtränkung die Lebensdauer einer AKR-geschädigten Betonfahrbahndecke verlängert werden kann.

#### 3.2 Laborversuche

##### 3.2.1 Prüfung der Bohrkernkerne in den unterschiedlichen Lagerungen

Um praxisgerechte Bedingungen nachzubilden, wurden die Bohrkernkerne an der Mantelfläche abgedichtet und über die obere Stirnseite mit Lithiumprodukten zweier Hersteller (Lithium 1 bzw. 2) beaufschlagt. Zum Vergleich wurden auch Bohrkernkerne ohne Lithiumtränkung gelagert. Bei der 40 °C-Nebelkammerlagerung nahmen die Dehnungen aller Bohrkernkerne mit wachsender Lagerungsdauer zu. Nach neun Monaten betrug die Dehnung zwischen 0,53 mm/m und 0,8 mm/m. Nach 18 Monaten Nebelkammerlagerung wiesen alle Bohrkernkerne mit Werten zwischen 0,6 bis 1,1 mm/m Dehnungen auf, die über die normale Temperatur- und Feuchtedehnung von rund 0,30 bis 0,60 mm/m hinausgehen.

Bei der Prüfung im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr war hingegen bei allen Bohrkernkerne eine Abnahme der Dehnungen zu verzeichnen. Die bei der Prüfung von nicht abgedichteten Bohrkernhälften im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr übliche Dehnungszunahme war nicht festzustellen. Der Unterschied kann damit begründet werden, dass die auf der Mantelfläche abgedichteten Probekörper während der gesamten Lagerungsdauer in der Nebelkammer Feuchte aufnehmen. Bei der Wechsellagerung mit Alkalizufuhr hingegen können die abgedichteten Probekörper nur während der sechstägigen Lagerung in der 60 °C-Prüfruhe (Klima 60 °C, 100 % rel. F.) und während der zweitägigen Beaufschlagung mit Tausalz-lösung Flüssigkeit aufnehmen, die sie im Verlauf der fünf-tägigen Trocknung bei 60 °C wieder verlieren. Der Feuchteverlust überwiegt während der 14-tägigen Wechsellagerung, sodass die Probekörper einen Masseverlust während der Lagerung aufweisen. Die Probekörper schwinden daher und die Dehnungen nehmen insgesamt ab.

Bei beiden Lagerungsvarianten war kein nennenswerter Einfluss der Art (Lithium 1 bzw. 2) und Menge (keine Lithium-

Beaufschlagung, 2 X 250 g/m<sup>2</sup> Lithium 1 bzw. 2 bzw. 4 X 250 g/m<sup>2</sup> Lithium 2) auf die Dehnungsverläufe bzw. die Verläufe der rel. dyn. E-Moduln zu verzeichnen.

### 3.2.2 Dünnschliffuntersuchungen

Aus Betonproben, die vor und nach einer neunmonatigen Nebelkammerlagerung eines Bohrkerns entnommen wurden, wurden Dünnschliffe hergestellt. Als Gesteinskörnung wurde u. a. Rhyolith gefunden, der u. U. eine schädigende AKR auslösen kann. Nach der neunmonatigen Nebelkammerlagerung war eine Zunahme der feinen Mikrorisse zu verzeichnen. An diesen Dünnschliffen konnten weder vor noch nach einer neunmonatigen Nebelkammerlagerung Riss- bzw. Gelbildungen festgestellt werden, die ursächlich auf eine schädigende AKR hinweisen. Nach 18 Monaten Lagerung in der 40 °C-Nebelkammer wurden nochmals Betonproben aus dem Bohrkern und zusätzlich aus einem weiteren Bohrkern mit der höchsten Dehnung entnommen und weitere Dünnschliffe hergestellt. Nach 18 Monaten Lagerung konnten deutliche Hinweise auf eine schädigende AKR festgestellt werden.

### 3.2.3 Eindringtiefe des Lithiums

Die Lithiumprodukte sind nur zwischen 1 und 2 cm tief in den oberflächennahen Bereich des Betons eingedrungen. Der mit Lithium 1 beaufschlagte Beton wies im oberflächennahen Bereich eine doppelt so hohe Lithiumkonzentration auf wie der mit Lithium 2 beaufschlagte Beton.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Durch die Zugabe von Lithium in den Frischbeton kann unter bestimmten Umständen trotz Verwendung reaktiver Gesteinskörnungen eine schädigende AKR verhindert werden. Die Wirkungsweise beruht darauf, dass Lithium deutlich besser an die Alkalisilikatgele gebunden wird als Natrium oder Kalium und das entstehende Gel bei Wasserzutritt nicht zum Quellen neigt. Auch bei bereits geschädigten Betonen soll eine Tränkung mit Lithium das Fortschreiten der Schädigung zumindest verzögern können. Hierüber liegen jedoch in Deutschland noch keine Erkenntnisse vor.

Daher wurde untersucht, ob die Nutzungsdauer einer AKR-geschädigten Betonfahrbahndecke durch eine Lithiumtränkung verlängert werden kann. Hierzu wurden die vorhandene Literatur ausgewertet und Laboruntersuchungen an Bohrkernen aus einer gering geschädigten Betonfahrbahndecke mit AKR-spezifischer Rissbildung durchgeführt.

Bei der Literaturobwertung wurde insbesondere der Fragestellung nachgegangen, ob sich eine schädigende AKR nach einer Tränkung mit Lithium weiterentwickelt, ob diese zum Stillstand kommt oder zumindest verzögert wird. In den USA wurden bereits Versuche mit der Lithium-Beaufschlagung AKR-geschädigter Betonfahrbahndecken durchgeführt. Eine positive Wirkung im Sinne einer Verzögerung einer schädigenden AKR konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

Laboruntersuchungen an Bohrkernen mit und ohne Lithiumbeaufschlagung sollten Aufschluss darüber geben, ob der Schadensverlauf durch eine Lithiumtränkung beeinflusst werden kann. Es wurde ein Baulos mit geringer Schädigung ausgewählt, das augenscheinlich AKR-spezifische Schadensmerkmale aufwies. Um praxisgerechte Bedingungen nachzubilden, wurden die aus der Decke entnommenen Bohrkernkerne an der Mantelfläche mit Epoxydharz abgedichtet, sodass eine Wasseraufnahme bzw. Wasserabgabe nur über die beiden Stirnflächen möglich war. Anschließend wurde ein Teil der Bohrkernkerne über die obere Stirnseite mit Lithiumprodukten

zweier Hersteller beaufschlagt. Danach wurde die Dehnung der Bohrkernkerne mit und ohne Lithium-Beaufschlagung bei zwei Lagerungsvarianten (40 °C-Nebelkammer und 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen) ermittelt. Zusätzlich wurde die Eindringtiefe des Lithiums bestimmt, indem Bohrkernkerne in 1 cm dicke Scheiben parallel zur Bohrkernoberfläche aufgeteilt wurden. Die Analyse des Lithiumgehalts der Scheiben ermöglichte die Erstellung eines Lithiumprofils über die Bohrkernhöhe.

Nach 18 Monaten Einlagerung in einer 40 °C-Nebelkammer wiesen die Bohrkernkerne mit Werten zwischen 0,6 und 1,1 mm/m Dehnungen auf, die über die normale Temperatur- und Feuchtedehnung von rund 0,30 bis 0,60 mm/m hinausgehen. Dies zeigt, dass in dem eingebauten Beton die Gefahr einer schädigenden AKR besteht. Sowohl bei der 40 °C-Nebelkammerlagerung als auch beim 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen konnte kein nennenswerter Einfluss der Art und Menge der Lithiumverbindung auf die Dehnungsverläufe nachgewiesen werden. Eine Verringerung der Dehnungen durch die Lithium-Beaufschlagung konnte nicht festgestellt werden.

Ursache hierfür ist vermutlich, dass das Lithium nur 1 bis 2 cm tief in den oberflächennahen Bereich des Bohrkerns eindringt.

Aus Betonproben, die vor und nach einer neunmonatigen Nebelkammerlagerung eines Bohrkerns entnommen wurden, wurden Dünnschliffe hergestellt. Als Gesteinskörnung wurde u. a. Rhyolith gefunden, der u. U. eine schädigende AKR auslösen kann. An diesen Dünnschliffen konnten weder vor noch nach der neunmonatigen Nebelkammerlagerung Riss- bzw. Gelbildungen festgestellt werden, die ursächlich auf eine schädigende AKR hinweisen.

Dass an dem vor der Nebelkammerlagerung entnommenen Dünnschliff kein Hinweis auf eine schädigende AKR gefunden wurde, ist insofern nicht unplausibel, da eine Strecke mit geringer Schädigung ausgewählt worden war. Auch nach rund 9 Monaten Nebelkammerlagerung konnte keine Riss- bzw. Gelbildung festgestellt werden. Ursache hierfür ist wahrscheinlich, dass sich die Feuchteaufnahme der Bohrkernkerne infolge der Abdichtung verzögert.

Dies zeigt auch die geringe Dehnungszunahme der Bohrkernkerne, die bei nicht abgedichteten Bohrkernen in den ersten Wochen wesentlich stärker auftritt. AKR-bedingte Treibreaktionen können bei den abgedichteten Bohrkernen somit auch erst zeitlich verzögert auftreten. Nach 18 Monaten Nebelkammerlagerung wurden daher nochmals Betonproben entnommen und Dünnschliffe hergestellt. Die Analyse der Dünnschliffe ergab nunmehr deutliche Hinweise auf eine schädigende AKR.

Die zusammenfassende Analyse der Bohrkernlagerungen in der 40 °C-Nebelkammer und im 60 °C-Betonversuch, der Dünnschliffuntersuchungen und der Eindringversuche zeigt, dass die Lithium-Beaufschlagung die Dehnungen nicht verringert hat und das Fortschreiten einer schädigenden AKR nicht verhindern konnte. Ursache hierfür ist wahrscheinlich, dass das Lithium nur in den oberflächennahen Bereich und nicht bis in den unteren Bereich der 26 cm dicken einschichtigen Betondecke eindringt. Die Risschädigung der Decke müsste für eine entsprechende Eindringtiefe bereits stärker ausgeprägt sein. Eine derart geschädigte Betondecke dürfte aber infolge der andauernden Dauerschwingbeanspruchung nur noch eine geringe Restlebensdauer aufweisen, sodass durch eine Lithiumtränkung keine Verlängerung der gesamten Nutzungsdauer zu erwarten wäre. Die Lithiumbehandlung einer Betondecke mit zweischichtiger Bauweise mit geschädigtem Oberbeton (Schichtdicke rund 7 cm) hat größere Erfolgsaussichten.

## 5 Empfehlungen zur Wahl einer Versuchsstrecke sowie einer Lithiumtränkung

### 5.1 Wahl einer Versuchsstrecke

Um den Erfolg der Lithiumtränkung in einer Praxis-Anwendung nachzuweisen, müssen aussagekräftige Langzeituntersuchungen an einer Versuchsstrecke mit und ohne Lithiumtränkung durchgeführt werden. Das Bauteil sollte eine ausreichende Länge mit möglichst gleichartiger Schädigung aufweisen. Nach Möglichkeit sollten die Bauunterlagen vorhanden sein.

Die Tränkung einer einschichtigen Betondecke wird als nicht Erfolg versprechend angesehen, da das Lithium nur in den oberflächennahen und nicht bis in den unteren Bereich der rund 26 cm dicken Betondecke eindringt. Rissbildungen könnten das Eindringen des Lithiums erleichtern. Ein derartig vorgeschädigter Beton würde aber allein durch die andauernde Verkehrsbeanspruchung vermutlich so geschädigt, dass selbst bei einer möglichen positiven Wirkung der Lithiumbehandlung keine Verlängerung der Lebensdauer zu erwarten wäre.

Die Lithium-Beaufschlagung einer zweischichtigen Betondecke mit geschädigtem Oberbeton (Schichtdicke rund 7 cm) hat größere Aussicht auf Erfolg. Die Decke sollte zum Zeitpunkt der Tränkung nur eine geringe Schädigung aufweisen. Es ist vorstellbar, dass das Lithium im Fugenbereich leichter in den Beton eindringen kann. Möglicherweise lässt sich durch eine frühzeitige Tränkung die Schädigung der Fugenbereiche aufhalten, die üblicherweise zu vorzeitigen Erhaltungsmaßnahmen führt.

### 5.2 Tränkung einer Versuchsstrecke

Aus den Laboruntersuchungen und den in den USA durchgeführten Praxisversuchen können Empfehlungen für eine Lithiumtränkung einer Betonfahrbahndecke gegeben werden. Von wesentlicher Bedeutung ist, dass das Lithium tief genug in die Decke eindringen kann.

#### a) Art und Menge der Lithiumverbindung

Es wird eine Lithiumnitratlösung empfohlen. Die Laborversuche zeigen, dass mit Lithium 1 höhere Lithiumkonzentrationen im oberflächennahen Bereich des Betons bestimmt wurden. Die erforderliche Auftragsmenge muss in Vorversuchen festgelegt werden. Die Menge sollte nicht zu hoch sein, um ein Abfließen der Lösung zu verhindern. Es wird eine Beaufschlagung mit einer Menge von rund 200 g/m<sup>2</sup> in einem Arbeitsgang empfohlen. Die Tränkung sollte wiederholt werden.

#### b) Durchführung der Tränkung

Vor einer Tränkung sollte ein Tastversuch zur Festlegung der aufzubringenden Menge durchgeführt werden. Vor der Behandlung sollte die Fahrbahndecke gründlich gereinigt werden. Um das Eindringen der Lösung zu erleichtern, sollte die Tränkung im Sommer nach einer Trockenperiode erfolgen. Um ein Auswaschen der Lösung zu vermeiden, sollte in einem Zeitraum von mindestens sechs Stunden nach der Behandlung kein Niederschlag fallen. Bei sehr großer Hitze kann die aufgebrachte Lösung so schnell verdunsten, dass Lithiumsalz bereits auf der Oberfläche der Betonfahrbahndecke auskristallisiert. Hierdurch kann die Griffbarkeit beeinträchtigt werden. In diesem Fall wird empfohlen, das ausgefallene Salz nachträglich durch eine Bewässerung der Decke zu lösen. Um ein Auswaschen der Lösung zu vermeiden, sollte ein Mindestzeitraum zwischen Auftrag und Bewässerung (siehe Anmerkung oben: sechs Stunden zwischen Auftrag und Niederschlag) eingehalten werden. Zur Kontrolle sollte nach der Tränkung die Griffbarkeit gemessen werden.