

Vermeidung von AKR durch Flugasche bei Alkaliangriff von außen

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 32 (2012)

Dipl.-Ing. Anne Dressler, Dr.-Ing. Liudvikas Urbonas, Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz

Arbeitsgruppe 1: Bindemittel und Zusatzstoffe

1 Einleitung

In Deutschland sind Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Beton durch die Verwendung von alkalireaktiven Gesteinskörnungen bekannt [1]. Ursache war hier die Verwendung reaktiver Gesteinskörnungen, die, zusammen mit den Alkalien des Zementsteines und der Einwirkung von Wasser, quellfähige Gele bilden. Überschreitet die Quellschwellung der Gele die Festigkeit der Zementsteinmatrix, kommt es zu Rissen in der Matrix und fortlaufend zu einer Schädigung des Betons. In neuerer Zeit sind bekanntlich auch an Beton-Fahrbahndecken Schäden aufgetreten, die nach ersten Untersuchungsergebnissen auf eine AKR zurückzuführen sind. In Straßenbetonen sowie in Betonen im Sprühnebelbereich von Straßen, in Beton-Flugbetriebsflächen und in Betonbauwerken mit Meerwasserkontakt kann die Alkali-Kieselsäure-Reaktion durch eine zusätzliche Alkalizufuhr von außen ausgelöst werden. Die in den letzten Jahren aufgetretenen AKR-Schadensfälle an Fahrbahndecken und Flugbetriebsflächen aus Beton in Deutschland lassen vermuten, dass hier eine Alkalizufuhr von außen eine schädigende AKR verursacht oder verstärkt hat.

2 Betone und Untersuchungsmethoden

Verschiedenste Betonrezepturen fanden bei dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben Berücksichtigung. Zum einen als Normalbetone bezeichnete Rezepturen nach DAfStb-Alkali-Richtlinie, mit einer Flugascheanrechnung von $k = 1$ und einem Bindemittelgehalt von 400 kg/m^3 zum anderen praxisnahe Betonrezepturen ($k = 0,4$), die einem Straßenbeton nachempfunden waren, mit einem nach Austauschgrad gestaffelten Bindemittelgehalt von $350 - 420 \text{ kg/m}^3$. Als Gesteinskörnungen wurden eine als reaktiv eingestufte Grauwacke und ein Splitt aus dem Oberrheingraben und zwei als inert eingestufte (Diabas, Kalkstein) Splitte eingesetzt. Darüber hinaus wurden Feinbetone mit Duranglas, als künstlichem, reaktivem Material, hergestellt. Zur Klärung der Fragestellungen wurde der Zement massebezogen durch zwei Flugaschen ausgetauscht. Diese beiden Flugaschen (F1, F2) un-

terschieden sich im Alkaligehalt. Zum Vergleich wurde als weitgehend inerte Betonzusatzstoffe ein Kalksteinmehl (KSM) verwendet. Die eingesetzten Zemente (CEM I 32,5 R) variierten im Alkaligehalt von 1,02 bis 0,56 M.-%. Die Betone wurden mittels „Betonversuch bei 60°C mit Wechsellagerung“ [2] geprüft. Dabei wurden die Betonproben allerdings 91 statt 28 Tage vorgelegt, um der puzzolanischen Reaktion der Flugasche Rechnung zu tragen. In diesem Versuch werden zehn 14-tägige Zyklen mit Trocken- und Feuchtphasen sowie verschiedenen Temperaturen (20 und 60°C) und eine Lagerung in 10%iger NaCl-Lösung durchgeführt. Daneben wurden die Porositäten und Porengrößenverteilungen mit einem Quecksilberdruckporosimeter untersucht. Die Zusammensetzungen der Porenlösungen und der gebildeten AKR-Gele (REM/EDX) wurden ebenfalls analysiert.

3 Ergebnisse

Exemplarisch wird der Einfluss von NA-Zement und einem Zementaustausch durch verschiedene Betonzusatzstoffe am Normalbeton B1 dargestellt (Bild 1).

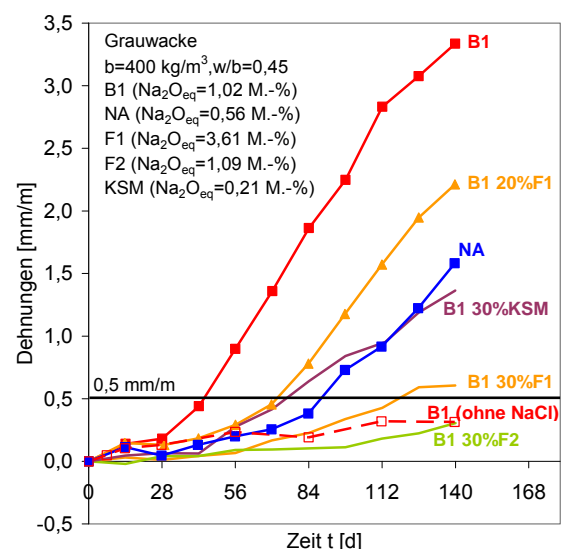


Bild 1: Dehnungsverläufe der Normalbetone B1 mit Grauwacke und Betonzusatzstoffen F1, F2 und KSM

Des Weiteren ist eine Betonprobe (B1 ohne NaCl) dargestellt, die keiner Salzbeanspruchung ausgesetzt wurde. Diese Probe zeigt eine signifikant niedrigere Dehnung und damit Schädigung gegenüber der gleichen Probe B1, die dem Einfluss von NaCl ausgesetzt war.

Daneben konnte durch zusätzliche Porositäts- und Porenlösungsuntersuchungen an diesen Proben festgestellt werden, aus welchem Grund die Verwendung von CEM I NA-Zement zur Vermeidung von AKR bei einem Angriff mit Alkalien von außen nicht ausreichend ist. Der ursprüngliche, geringe wirksame Alkaligehalt des Betons wird durch eindringendes NaCl stark erhöht.

Ein Einsatz von Flugasche verringert die Dehnungen an Betonprobekörpern unter NaCl-Einfluss deutlich, da vor allem die Dichtigkeit des Baustoffes erhöht wird. In flugaschehaltigen Betonen ist durch ein weniger tiefes Eindringen von Tausalzen ein kleinerer Anteil des reaktiven Gesteins betroffen. Darüber hinaus liegt durch den Verdünnungseffekt durch Zementaustausch und auch durch Alkalibindung in die flugaschespezifischen Hydratationsprodukte zu Beginn des Alkaliangriffes von außen eine geringere Alkalikonzentration im Beton vor. Diese geringere Konzentration verzögert das Auftreten der Schädigung. Ein geringerer Alkaligehalt der Flugasche selbst wirkt zusätzlich verbessernd auf eine AKR durch Alkaliangriff von außen.

Weitergehende Untersuchungen der AKR-Gelzusammensetzung mittels REM/EDX zeigen zudem weitere Einflüsse von NaCl auf das AKR-Schädigungspotential auf (Bild 2).

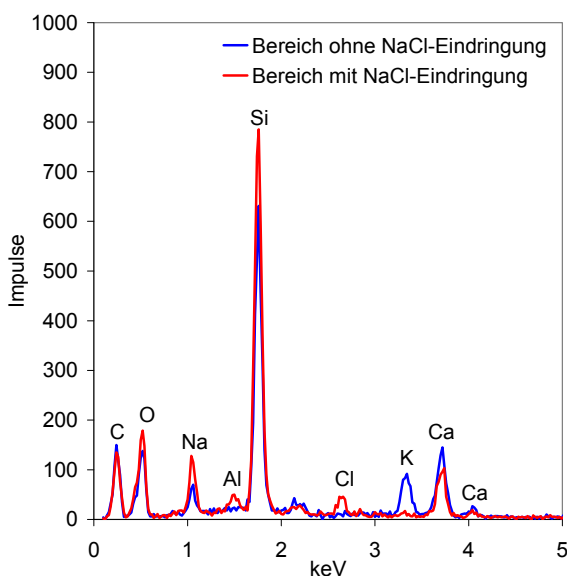


Bild 2: semiquantitative EDX-Analyse von AKR-Gel in flugaschehaltigem Beton

Vor allem Na_2O - und K_2O -Gehalt sind abhängig davon, ob NaCl in den betrachteten Bereich der Matrix eingedrungen ist oder nicht. Hohe Gehalte an Natrium in der Porenlösung verdrängen Kalium aus dem Gel. Natriumreiche Gele führen zu stärkerem Quellen [3], was höhere Dehnungen und damit auch stärkere Schäden hervorruft.

4 Zusammenfassung

Anhand der Untersuchungen wird ersichtlich, dass eine Schädigung AKR-gefährdeter Betone durch einen Alkaliangriff von außen durch die Wahl einer geeigneten Rezeptur (Bindemittelzusammensetzung, Zementgehalt, w/b-Wert) nahezu ausgeschlossen werden kann. Eine absolute Sicherheit ist allerdings schwer zu erreichen, da nicht bekannt ist, wie viele Alkalien während der unterschiedlichen Lebensdauern der jeweiligen Bauwerke eingetragen werden. Durch den Einsatz von Flugasche können Schäden aus nachträglich eingetragenen Alkalien allerdings deutlich verzögert, wenn nicht sogar ausgeschlossen werden. Anhand der Ergebnisse dieser und früherer Arbeiten [4] eröffnet sich für Zement-Flugasche-Gemische (≥ 30 M.-% Flugasche im Bindemittel) die Möglichkeit im Sinne eines NA-Zements nach Alkali-Richtlinie des DAfStb eingesetzt zu werden.

5 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben (15866 N) der VGB-Forschungsstiftung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

6 Literatur

- [1] Sprung, S. und Sylla, H.-M.: Ablauf der Alkali/Kieselsäure-Reaktion im Beton bei unterschiedlichen Zuschlagsgesteinen. Zement, Kalk, Gips, 51 (6), 1998, S. 334-348.
- [2] Siebel, E., Böhm, M., Borchers, I., Müller, C., Bokern, J. and Schäfer, E. (2006): AKR-Prüfverfahren - Vergleichbarkeit und Praxis-Relevanz, Teil 1. Betontechnische Berichte: S. 599-604
- [3] Wieker, W., Hübert, C., Heidemann, D. und Ebert, R.: Zur Reaktion von Alkaliverbindungen mit Kieselsäure und Silicaten im Hinblick auf betonschädigende Dehnungsreaktionen 14. Internationale Baustofftagung, i-bausil, Weimar, 2000, S. 1-0911 - 1-0929.
- [4] Heinz, D., Urbonas, L., Schmidt, K.: Einsatz von Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion bei alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen; 2006, Abschlussbericht AiF-Nr. 13605, VGB-Nr. 245