

Die VD-Prüfung

Einflüsse auf das Dehnungsverhalten von Straßendeckenzementen

TEXT | Christian Schneider, Peter Pratscher

BILD | © ASFINAG

Unter einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion, kurz als AKR bezeichnet, versteht man eine chemische Reaktion zwischen den in der Porenlösung des Betons vorhandenen Alkalien mit den reaktiven, nicht kristallinen (amorphen) Silikatbestandteilen der Gesteinskörnung. Hierbei entsteht zuerst ein hygroskopisches Gel, welches an sich keinen schädlichen Einfluss auf das Betongefüge hat. Kommt es aber in Kontakt mit ausreichend Wasser, zeigt es starke Quellerscheinungen und beginnt, vorhandene Hohlräume zu füllen (Risse, künstliche und natürliche Luftporen). Dieses Gel ist in verschiedenen alten Betonen auffindbar, ohne dass dadurch unbedingt Schäden verursacht wurden. Sind jedoch ausreichend Ausgangskomponenten (reaktive Bestandteile der Gesteinskörnung, Alkalien und Feuchtigkeit) vorhanden, kommt es zunächst zu Dehnungen, feinen Rissen und anschließend zu Rissen an der Betonoberfläche, welche zumeist mehrere Zentimeter tief ins Gefüge hineinreichen (Bild 1).



Bild 1 – Zusammenspiel der Ausgangsfaktoren einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Die Bildungsgeschwindigkeit des AKR-Gels wird wesentlich von dem in der Porenlösung des Betons vorliegenden pH-Wert beeinflusst. Ausgangspunkt hierfür ist die Alkalinität, welche ihrerseits durch die Gehalte an gelösten Alkali- und Calciumverbindungen bestimmt wird. Dabei entstammen die Alkalien in der Regel aus dem löslichen Alkaligehalt des eingesetzten Zements sowie aus weiteren, teils externen Quellen, beispielsweise durch die Verwendung von Taumitteln auf Betonstraßen. Alkalien sowie Calciumhydroxid steigern die Alkalität der Porenlösung und wirken sich damit fördernd auf die Bildung eines schädigenden Alkali-Kieselsäure-Gels aus. Die Alkalinität und damit das Dehnungspotenzial kann jedoch wirksam durch die Zugabe von puzzolanischen oder latent-hydraulischen Zusatzstoffen wie z. B. Hüttensand gesenkt werden. Dieser Einfluss beruht nicht nur auf einer Verdünnung der Klinkeralkalien, sondern vor allem auf einer Veränderung der Reaktionsprodukte bei der Hydratation durch den Hüttensand. Es ist bekannt, dass die Hydratphasen hüttensandhaltiger Zemente die Fähigkeit besitzen, Alkalien zu binden und diese somit an der Bildung von Alkalisilikatgel zu hindern. Darüber hinaus sorgt die Zugabe von Hüttensand für ein dichteres Zementsteingefüge und reduziert damit weiter die Bildungsgeschwindigkeit eines AKR-Gels [1, 5].

Die Problematik einer AKR wurde bisher insbesondere in Ländern mit größeren Vorkommen an Flint, Grauwacke und Opal behandelt, die in erheblichem Umfang als Gesteinskörnungen zur Betonherstellung

eingesetzt werden. Durch deren Gehalt an reaktiver Kieselsäure führen diese Gesteine häufig zu gravierenden AKR-Schäden [6]. In Österreich kommen reaktive Gesteinskörnungen nur in sehr geringem Maße zum Einsatz, wodurch die durch AKR nachweislich verursachten Schäden bis heute eine untergeordnete Rolle einnehmen. Jedoch wird auch hier das Thema seit längerer Zeit umfangreich behandelt, da insbesondere beim Einsatz von nicht erprobter Gesteinskörnung die Anwesenheit reaktiver Kieselsäure nicht ausgeschlossen werden kann. Die zugehörigen nationalen Regeln wurden im Zuge mehrerer Forschungsprojekte im Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie entwickelt und resultierten in der Veröffentlichung der ÖNORM B 3100 – Beurteilung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität im Beton.

Anforderungen an Zemente für Straßendecken

Zemente, die für den Bau von Betonstraßendecken eingesetzt werden und damit grundsätzlich einer Gefährdung durch AKR unterliegen, müssen dem in der ÖNORM B 3327:1 definierten Kriterium „Verringerte Dehnung – (VD)“ entsprechen. Im Gegensatz zum deutschen Ansatz der Begrenzung des Gesamtalkaligehalts der Zemente werden hier der Einsatz von Hüttensand als Zementhauptbestandteil und zusätzlich das Bestehen einer Dehnungsprüfung unter Laborbedingungen gefordert. Die Festlegung des Mindestgehalts an Hüttensand erfolgt durch die Forderung der Verwendung eines CEM II („Portlandhüttenzement“), welcher laut ÖNORM EN 197 1 einen Anteil von zumindest 6 % und maximal 35 % Hüttensand, bezogen auf den sulfatträgerfreien Zement, vorschreibt. Bei der Prüfung handelt es sich um eine beschleunigte Simulation des Dehnungsverhaltens bei Vorhandensein einer reaktiven Gesteinskörnung. Der üblicherweise verwendete Normensand wird hier gegen eine Gesteinskörnung

ausgetauscht, welche nachweislich reaktive Bestandteile enthält. Zusätzlich werden ein externer Alkalieintrag und ein beschleunigter Reaktionsablauf durch Lagerung in 1-molarer Natriumhydroxidlösung bei 80 °C simuliert. Nach 27-tägiger Lagerung darf die Dehnung des Versuchsprismas maximal 70 % jener eines Vergleichsprismas betragen. Das Vergleichsprisma wird unter Verwendung derselben Gesteinskörnung und eines Zementes mit einem Mindestalkaligehalt von 0,9 % Na₂O-Äquivalent hergestellt.

Im Vergleich zum reinen Festschreiben von Parametergrenzwerten im Zement hat dieser Ansatz den Vorteil, dass der komplexe Reaktionsverlauf einer AKR im Zeitraffer unter verschärften Bedingungen simuliert wird und sich damit eine durch den Zement verursachte maximal zu erwartende Dehnung abschätzen lässt. Oftmals wird die Forderung in Erwägung gezogen, statt des VD-Nachweises oder gar darüber hinausgehend den Alkaligehalt des Zementes zu regulieren. Dieser Ansatz steht unter dem Gesichtspunkt, die für eine AKR verfügbaren Alkalien in der Porenlösung des Betons auf ein Minimum zu beschränken. Formal würde dies in den meisten Fällen bedeuten, auf den Einsatz von Hüttensand als Inhibitor zur Gänze zu verzichten, da Hüttensande, insbesondere österreichischer Provenienz, selbst einen – wenn auch im Hinblick auf das Schädigungspotenzial irrelevanten – Beitrag zum Gesamtalkaligehalt leisten. Dem ist vor allem im Straßenbau entgegenzusetzen, dass durch eine Begrenzung des Alkaligehalts zwar die Alkalinität der Porenlösung zu Beginn der Hydratation reduziert wird, diese jedoch im Bauprodukt durch den externen Alkalieintrag aus Tausalzen langfristig wieder ansteigen kann.

Untersuchungen und Ergebnisse

Jüngere Erfahrungen eines lokalen AKR-Schadensfalls einer Betonfahrbahndecke nach Verwendung im Nachhinein als nachweislich reaktiv beurteilten Gesteinskörnung gaben Anlass, nicht



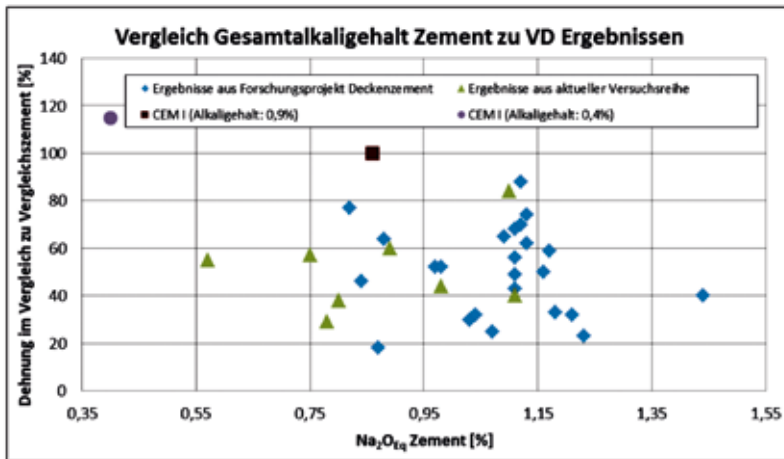


Bild 2 – Vergleich des Gesamtalkaligehalts zur Dehnung der untersuchten Zemente

nur an einer Verbesserung der Qualitätssicherung für die im Straßenbau zum Einsatz kommenden Hartgesteine zu arbeiten, sondern sicherheitshalber zusätzlich auch die derzeit verfügbaren Straßendeckenzemente einer Reihenuntersuchung im Hinblick auf das VD-Kriterium zuzuführen. Dieses Untersuchungsprogramm im Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie hatte zum Ziel, festzustellen, ob die frühere Erfahrung bestätigt werden kann, dass weniger der Zementalkaligehalt, sondern vielmehr der Hüttensandgehalt ausschlaggebend für die Ergebnisse der VD-Prüfung ist. Dazu wurden zunächst die bereits vorhandenen Erkenntnisse, welche im Zuge des FFG-Forschungsprojektes „Neuer Deckenzement für AGR-gefährdete Gesteinskörnungen“ gesammelt wurden, aufgearbeitet und im Anschluss neun österreichische Straßendeckenzemente, die dem Kriterium VD entsprechen, sowie ein Zement mit niedrigem Alkaligehalt ($\text{Na}_2\text{O}\text{-Äq.} = 0,4\%$) der VD-Prüfung unterzogen. Als Vergleichszement diente ein österreichischer CEM I mit einem $\text{Na}_2\text{O}\text{-Äquivalent}$ von 0,9 %.

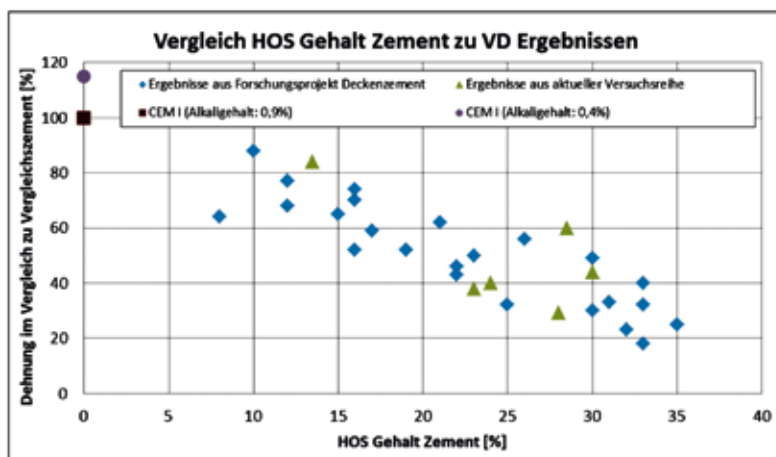


Bild 3 – Vergleich des Hüttensandgehalts zur Dehnung der untersuchten Zemente

Bei den derzeit in Österreich produzierten Zementen handelt es sich großteils um CEM II/B S mit einem minimalen Hüttensandgehalt von 21 %, wodurch von einer Absenkung der Dehnung von rund 35 % ausgegangen werden kann.

Um den Einfluss des Alkaligehalts der Zemente auf das Ergebnis der VD-Prüfung zu charakterisieren, wurden beide Parameter in einem XY-Diagramm dargestellt (Bild 2). Aus diesem geht hervor, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen dem Alkaligehalt und dem Dehnungsverhalten des Zementes sichtbar ist. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Zement mit niedrigerem Alkaligehalt (NA) eine höhere Dehnung als der Vergleichszement aufweist, wodurch die Aussagekraft des Gesamtalkaligehalts des Zementes weiter relativiert wird.

Eine Darstellung der Dehnungswerte gegenüber dem Hüttensandgehalt der Zemente ergibt im gesamten Bereich zulässiger Zusammensetzungen eine gute Korrelation, und es zeigt sich, dass bereits Zemente mit 15 % Hüttensand eine um mehr als 20 % verringerte Dehnung als der Vergleichszement aufweisen (Bild 3). Bei den derzeit in Österreich produzierten Zementen handelt es sich großteils um CEM II/B S mit einem minimalen Hüttensandgehalt von 21 %, wodurch von einer Absenkung der Dehnung von rund 35 % ausgegangen werden kann.

LITERATUR:

- [1] Schäfer, E.: Einfluss der Reaktionen verschiedener Zementhauptbestandteile auf den Alkalihaushalt der Porenlösung des Zementsteins. Dissertation, TU Clausthal (2004)
- [2] Siebel, E., Bokern, J., Sylla, H. M.: Entwicklung neuer NA-Zemente auf Basis von Zementen mit Hüttensand als Hauptbestandteil – Teil 1. Beton 51 (2001), Nr. 12, S. 693–697
- [3] Siebel, E., Bokern, J., Sylla, H. M.: Entwicklung neuer NA-Zemente auf Basis von Zementen mit Hüttensand als Hauptbestandteil – Teil 2. Beton 52 (2002), Nr. 1, S. 47–50
- [4] Thomas, M. D. A. und Innis, F. A.: Effect of slag on expansion due to alkali-aggregate reaction in concrete. ACI Minerals Journal 95 (1998) Nr. 6, S. 716–724
- [5] Thomas, M. D. A.: The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review. Cement and concrete research 41 (2011) Nr. 12, S. 1224–1231
- [6] Nischer, P. und Krispel, S.: Neuer Deckenzement für AGR-gefährdete Gesteinskörnung. Projekt Nr.: 808975/1844 des österreichischen Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft, FFF (2006)
- [7] Thomas, M. D. A., Fournier, B., Folliard, K. J., Shehata, M. H., Ideker, J. H. und Rogers, C.: Performance limits for evaluating supplementary cementing materials using accelerated mortar bar test. ACI Materials Journal 104 (2007) Nr. 2, S. 115–122
- [8] Bokern, J.: Betonprüfungen zur Beurteilung einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Auswirkungen der klimatischen Bedingungen auf die Übertragbarkeit von Prüfergebnissen. Dissertation, TU Braunschweig (2008)

Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick

Die hier dargestellten aktuellen Untersuchungsergebnisse bestätigen, dass im Gesamtalkaligehalt von Portlandhüttenzementen kein systematischer Einfluss auf das Ergebnis der Dehnungsprüfung nach ON B 3100 begründet ist. Gleichwohl legt die auffällig hohe Dehnung des Zementes mit 0,4 % Na_2O -Äquivalent nahe, dass vielmehr der Hütten sandgehalt maßgeblich das Dehnungspotenzial beeinflusst. Die Darstellung der Dehnungswerte belegt diese Annahme und eröffnet eine nahezu lineare Verringerung der Dehnung mit zunehmendem Hütten sandgehalt. Dies entspricht früheren nationalen Erkenntnissen während der Entwicklung des Prüfverfahrens sowie der einschlägigen Erfahrung internationaler Forschung. Da österreichische Hütten sande – auch der im vorliegenden Projekt verwendete – im internationalen europäischen Vergleich tendenziell leicht erhöhte Alkaligehalte in der Größenordnung von 1 % aufweisen, bestätigt sich außerdem die Annahme, dass der Alkalibetrag durch den Hütten sand keinen ungünstigen Einfluss auf das Dehnungsmaß hat. Im Gegenteil würde eine pauschale Begrenzung des Alkaligehalts im Zement nahelegen, in der Praxis der Zementherstellung die Hütten sandgehalte in Straßendecken zu verringern, was für den gewünschten baupraktischen Effekt kontraproduktiv wäre. Damit stellt zur Vermeidung einer schädigenden AKR die Festlegung eines Mindesthütten sandgehalts in österreichischen Straßendeckenzementen eine wirksamere Alternative dar als die Begrenzung des Gesamtalkaligehaltes.

Es bleibt bis auf Weiteres zu beachten, dass jede Form von Schnelltest unter verschärften Bedingungen die Bedingungen der baupraktischen Anwendung nur beschränkt widerspiegeln kann. Eine Validierung der Übertragbarkeit auf die Praxis ist daher unerlässlich, wobei bislang vorliegende Erkenntnisse auf eine hinreichende Übereinstimmung zwischen Mörtelschnelltests und Langzeit-Betonversuchen bei der Verwendung von Hütten sanden hinweisen [4, 5, 7, 8]. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass in der Baupraxis und -nutzung weitere Einflussgrößen, wie z. B. die Güte der Nachbehandlung sowie die Streckenpflege durch Wartung der Fugen und dergleichen, maßgebliche Einflüsse auf die Dichtigkeit und damit auf die Vermeidung des Eindringens von Alkalien in den Beton haben. Bei aller gebotenen Sorgfalt in der Auswahl und Überwachung der Betonausgangsstoffe ist diesen bau- und nutzungsbegleitenden Faktoren daher gleichermaßen Rechnung zu tragen.

AUTOREN

Dr.-Ing. Christian Schneider
Senior Quality Engineer,
Industrial Performance Cement – Industrial Expert Services

■ www.lafarge.at

Ing. Peter Pratscher, MSc

■ www.zement.at

BETON SCHAFFT LEBENS(T)RÄUME.

LAFARGE
Building better cities™



Beton punktet mit idealen thermischen Eigenschaften, Brandbeständigkeit, enorm hoher Wiederverwertbarkeit und gestalterischen Möglichkeiten.
Beton – der innovative Baustoff für Raumplanungs- und Architektur Lösungen.

www.lafarge.at