

Rissbildung an Fahrbahndecken aus Beton – Auswirkungen von Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR); Phase 1: In-situ Untersuchungen an Fahrbahndecken aus Beton mit/ohne Rissen

FA 8.182

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher) / Technische Universität München, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl) / Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde (FIB) (Prof. Dr.-Ing. habil. J. Stark) / Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf

Bearbeiter: Sievering, C. / Wenzl, P. / Seyfarth, K. / Siebel, E. / Müller, C. / Eickschen, E. / Böhm, M.

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

Abschluss: Oktober 2008

1 Aufgabenstellung

In den vergangenen Jahren wurden über ganz Deutschland verteilt Risse in verschiedenen Fahrbahndecken aus Beton festgestellt, denen in den meisten Fällen keine eindeutige Rissursache zugeordnet werden konnte. Für diese Risse kommen mehrere, sowohl lastabhängige als auch lastunabhängige Ursachen in Betracht, die sich zeitlich und räumlich überlagern können. Dies ist insbesondere bei einer ganzheitlichen Ursachenfindung zu berücksichtigen. In letzter Zeit wurde mit den aufgetretenen Rissen auch häufig eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in Verbindung gebracht. Wenngleich auch an Dünnschliffen von Bohrkernen gerissener Streckenlose Reaktionsprodukte einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion vorgefunden wurden, bleibt jedoch unklar, inwieweit diese AKR tatsächlich zur Rissbildung in Betonfahrbahndecken beiträgt. Um dieser Fragestellung näher zu kommen, wurden in Phase 1 dieses Forschungsprojekts neben gezielten Literaturstudien insbesondere Auswertungen von Bauwerksakten und einschlägige AKR-Untersuchungen an ausgewählten Betonfahrbahndecken (mit und ohne Rissbildung) durchgeführt.

2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen der Literaturstudie wurden verschiedene Einflüsse, die potenziell zur Rissbildung in Betonfahrbahndecken beitragen können, analysiert. Dabei wurden insbesondere einschlägige Forschungsarbeiten aus jüngster Zeit berücksichtigt.

In die projektspezifischen Untersuchungen wurden insgesamt 21 Streckenlose aus den Bundesautobahnen A 9 (Raum Leipzig), A 10 (südlich von Berlin), A 40 (Raum Duisburg – Venlo) sowie A 67 (Darmstadt – Mönchhof-Dreieck) einbezogen. Kriterien für die Auswahl dieser Streckenabschnitte waren u. a., dass innerhalb dieser Lose zumindest teilweise vergleichbare Betonzusammensetzungen verwendet wurden und gleichzeitig Teilabschnitte mit und ohne Rissbildungen vorlagen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden alle zugänglichen und noch verfügbaren Dokumentationen über den Bau, die Nutzung und bisherige Beobachtungen für die entsprechenden Streckenlose ausgewertet. Zusätzlich wurden die Rissbilder im Zuge von Streckenbegehungen repräsentativ aufgenommen. Dabei wurden je Platte die Rissanzahl, die Rissbreite und die Risslänge ermittelt, wobei die Risslänge in

den meisten Fällen mit der Plattenlänge identisch ist. Um das vorhandene Rissbild bezüglich der maßgebenden Längsrisse auch quantitativ vergleichen zu können, wurde aus diesen Daten die repräsentative Rissöffnungsfläche (aus dem Produkt von Rissanzahl, Risslänge und Rissbreite) je Platte errechnet. Aus der Überlagerung aller Teilergebnisse sollten für jedes Streckenlos die spezifischen Einflüsse für die jeweilige Rissbildung identifiziert und wenn möglich sogar quantifiziert werden.

Neben diesen Recherchen von Dokumentationen wurden aus 12 ausgewählten Streckenlosen Bohrkernproben entnommen, an denen gezielte AKR-Untersuchungen durchgeführt wurden. Im Rahmen dieser AKR-Untersuchungen wurden die Bohrkernproben bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen (40 °C-Nebelkammerlagerung, 60 °C-FIB-Klimawechsellaagerung und 60 °C-FIZ-Wechsellaagerung) mit und ohne Einwirkung externer Alkalien gelagert. Während dieser Lagerungen wurden die Dehnungsentwicklungen der Proben gemessen. Zusätzlich wurden Dünnschliffproben aus den Bohrkernen vor bzw. nach den entsprechenden Lagerungen hergestellt, um anhand mikroskopischer Untersuchungen gegebenenfalls Reaktionsprodukte einer abgelaufenen AKR nachweisen zu können.

3 Untersuchungsergebnisse

Die durchgeführte Literaturstudie ergab, dass eine Rissbildung in Betonfahrbahndecken durch lastunabhängige Einwirkungen vor allem infolge thermischer und hygrischer Änderungen auftreten kann. Bereits bei der Herstellung einer Betonfahrbahndecke ergeben sich durch die Einwirkungen aus Temperatur und Feuchte Spannungszustände im Querschnitt, die auch das Spannungsniveau während der Nutzungsdauer beeinflussen. Die hierzu bereits durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass es infolge von Zwangs- und Eigenspannungen zur Rissbildung kommen kann, wenn sich während der Herstellung ein ungünstiger Nullspannungstemperaturgradient einprägen konnte und sich im Laufe der Nutzungsdauer eine ungünstige jahreszeitlich bedingte Temperaturverteilung über den Querschnitt einstellt. Zusätzlich kann eine ungünstige Feuchteverteilung über den Querschnitt (oben trocken und unten feucht) einen maßgeblichen Beitrag zu diesen Zwangs- und Eigenspannungen liefern.

Bei einer betonschädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR), die ebenfalls zu den lastunabhängigen Einwirkungen zu zählen ist, reagieren amorphe Kieselsäure (aus der Gesteinskörnung) und Alkalihydroxid – unter Anwesenheit von Feuchtigkeit – zu mehr oder weniger quellfähigem Alkali-Kieselsäure-Gel. Infolge behinderter Volumenzunahme im Beton baut sich so ein innerer Quelldruck auf, der die aufnehmbare Zugfestigkeit überschreiten und so zur Rissbildung beitragen kann. Dabei kann mit fortschreitender Gelbildung das Betongefüge vollständig zerstört werden, worin die maßgebliche Gefährdung durch eine AKR besteht. Bei Betonfahrbahndecken kommt gegenüber herkömmlichen Betonbauwerken die Besonderheit hinzu, dass Alkalien neben dem internen Eintrag über die Betonausgangsstoffe (Zement und Betonzusätze) während der Nutzung auch extern über alkalihaltige Taumittel eingetragen werden können.

Neben den dargelegten lastunabhängigen Einwirkungen liefern bei Fahrbahndecken auch lastabhängige Einwirkungen einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zu den Spannungen.

Hierzu zählt in erster Linie die Beanspruchung der Fahrbahnen infolge der Verkehrslasten, die in den letzten Jahren signifikant zugenommen hat. Insbesondere durch dynamische, im Laufe von mehreren Millionen Lastwechseln zyklisch wiederkehrende Belastungen können im Mikrogefüge des Betons Gefügestörungen nicht ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Auswertungen der Bauwerksakten zeigte sich ein relativ deutlicher Zusammenhang zwischen den bei der Herstellung der Betonfahrbahndecken vorliegenden Temperaturverhältnissen und der jetzt vorgefundenen Rissbildung. Mit steigender Herstelltemperatur über rund 15 – 20 °C nahm auch die vorgefundene Rissöffnungsfläche in den jeweiligen Streckenlosen tendenziell zu (vgl. Bild 1). Ebenso war in einem Fall (Los BAB A 10-6), bei dem sehr ungünstige hygrische Verhältnisse (hoher Grundwasserstand) vorlagen, eine extreme Rissbildung aufgetreten.

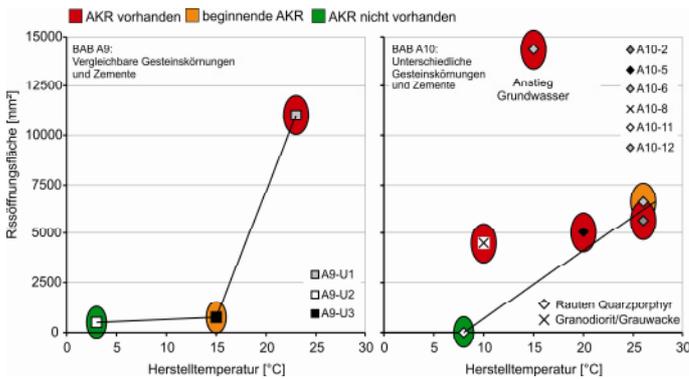


Bild 1: Gegenüberstellung der Herstelltemperaturen, Rissöffnungsflächen und globalen Ergebnissen der AKR-Untersuchungen für die Streckenlose der BAB A 9 und A 10

Im Rahmen der mikroskopischen Untersuchungen wurden in entsprechenden Dünnschliffproben in 8 der 12 bzgl. AKR untersuchten Streckenlose AKR-Produkte bereits im Entnahmestand nachgewiesen. In 2 dieser 8 Lose ist jedoch aufgrund der geringen Menge an Reaktionsprodukten erst von einer beginnenden AKR auszugehen. In den übrigen 4 Streckenlosen waren keine AKR-Produkte in den Bohrkernproben nachweisbar. Die Gegenüberstellung dieser globalen Ergebnisse mit den jeweiligen berechneten durchschnittlichen Rissöffnungsflächen zeigte, dass in den 4 Streckenlosen, in denen keine AKR-Produkte festgestellt wurden, die Rissöffnungsflächen unter rund 500 mm² lagen. In den beiden Streckenlosen, die geringe AKR-Produkte aufwiesen (beginnende AKR), lagen die Rissöffnungsflächen zwischen rund 750 und 5 650 mm². Wurden hingegen große Mengen an Reaktionsprodukten in den Dünnschliffproben festgestellt, waren die Rissöffnungsflächen bei 6 der 7 verbleibenden Streckenlose mit Werten zwischen 4 500 mm² und 14 000 mm² sehr groß (vgl. Bilder 1 und 2).

Die Gegenüberstellung der durchschnittlichen Rissöffnungsflächen mit den jeweiligen Herstelltemperaturen unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den AKR-Untersuchungen zeigte, dass trotz vergleichbarem AKR-Potenzial (gleicher durch den Zement eingetragener Alkaligehalt und vergleichbare gebrochene Gesteinskörnung) nicht zwangsläufig eine AKR in den Betonfahrbahndecken initiiert wurde. Dieser Zusammenhang zwischen den Herstelltemperaturen und der AKR-Ausprägung lässt sich für die Streckenlose der BAB A 9 (vgl. Bild 1, links) und für 4 der 6 Streckenlose der BAB A 10 herstellen (Bild 1, rechts). Hieraus ist abzuleiten, dass die eigentliche Rissinitiation deutlich stärker durch thermische / hygrische Zwangsspannungen beeinflusst wird als durch eine

AKR, Letztere bei Vorhandensein von ersten Rissen (auch Mikrorissen) vor allem zur Schadensausweitung beiträgt.

Der Vergleich der Streckenlose BAB A 10-8 und 11, die sich maßgeblich hinsichtlich der verwendeten gebrochenen Gesteinskörnung unterscheiden, zeigte, dass hier offensichtlich der Einfluss der Reaktivität des Granodiorit-/Grauwackesplitts überwog und der Grad der Vorschädigung einen eher untergeordneten Einfluss auf die Rissbildung hatte.

In Bild 2 sind die Herstelltemperaturen und Rissöffnungsflächen unter Einbeziehung der Erkenntnisse der AKR-Untersuchungen für die Streckenlose der BAB A 40 dargestellt, deren Beton mit Grauwackesplitt aus einem Steinbruch hergestellt wurde. Der Beton dieser Streckenlose unterscheidet sich jedoch hinsichtlich des über den Zement eingetragenen Alkaligehalts.

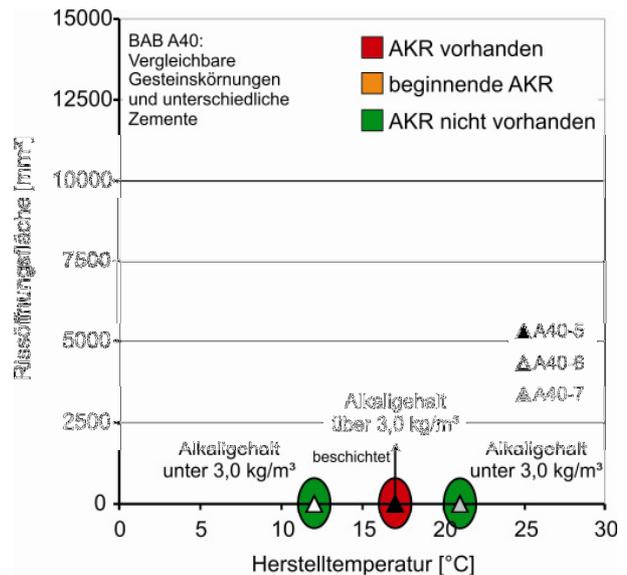


Bild 2: Gegenüberstellung der Herstelltemperaturen, Rissöffnungsflächen und Ergebnissen der AKR-Untersuchungen für die Streckenlose der BAB A 40

Dabei zeigte sich, dass im Streckenlos BAB A 40-7 trotz einer vergleichsweise hohen Herstelltemperatur (21 °C), jedoch nur einem geringen AKR-Potenzial (über den Zement eingetragener Alkaligehalt deutlich unter 3,0 kg/m³), keine AKR-Produkte in den Dünnschliffen festgestellt werden konnten. Demgegenüber wurden im Streckenlos BAB A 40-5, dessen Beton mit gleichem Gestein, jedoch mit einem Alkaligehalt über 3,0 kg/m³ bei einer niedrigeren Temperatur (17 °C) hergestellt wurde, AKR-Produkte in den Dünnschliffen bereits im Entnahmestand detektiert. Hieraus lässt sich folgern, dass mit Ausnahme eines Streckenloses (BAB A 10-8 mit 2,89 kg/m³ Gesamtalkaligehalt) trotz Vorhandensein alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen keine AKR in schädigendem Ausmaß festgestellt werden konnte, wenn der Gesamtalkaligehalt im Beton unter 3,0 kg/m³ gehalten wurde.

Neben diesen über den Zement eingetragenen Alkalien führte eine externe Alkalizufuhr in den Untersuchungen zu größeren Dehnungen als eine reine Feuchtlagerung ohne solche externe Alkalizufuhr. Besonders ausgeprägt war dieser Dehnungszuwachs wiederum dann, wenn die Proben aus bereits rissvorgeschädigten Streckenlosen stammten. Bei den Bohrkernuntersuchungen zeigten sich auch unterschiedliche Dehnungszuwächse infolge externer Alkalizufuhr für Betone mit verschiedenen Gesteinskörnungen (Granodiorit/Grauwacke, Quarzporphyr), bei denen die übrigen Randbedingungen (insbesondere der Alkalieintrag durch den Zement) gleich waren (vgl. Bild 3).

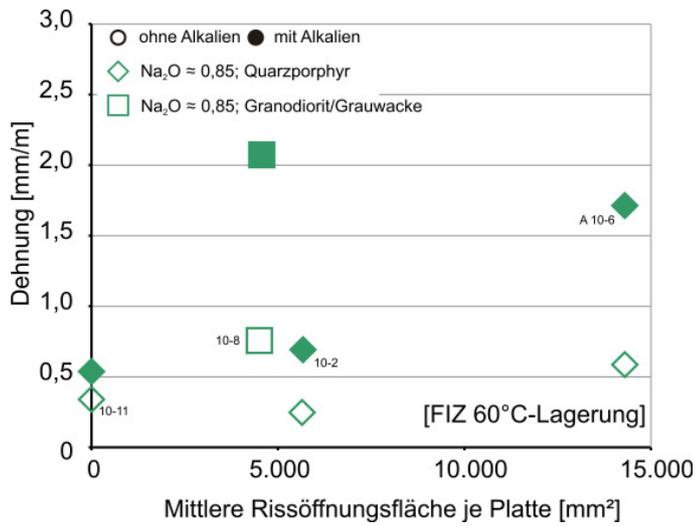


Bild 3: Gegenüberstellung der Dehnungen (Mittelwerte) der Bohrkernhälften nach 147 Tagen FIZ 60 °C-Lagerung und der Rissöffnungsflächen in den zugehörigen Streckenlosen