

Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten

FA 84.109

Forschungsstelle: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet für Baustoffe und Bauchemie (apl. Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. K.-J. Hüniger)

Bearbeiter: Börner, C. / Hüniger, K.-J.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Mai 2013

1 Aufgabenstellung

Das Grundprinzip einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) ist die Realisierung einer schubfesten, vollflächigen Verbindung aller Körner untereinander in einem Baustoffgemisch. Die Übertragung der Druckkräfte erfolgt dann von Korn zu Korn. Erreicht wird dieser Zustand, wenn das Baustoffgemisch den optimalen Wassergehalt aufweist, das heißt optimaler Wassergehalt bei größter Dichte des Baustoffgemischs (Proctordichte). Bei dieser Dichte sind alle Hohlräume mit Mörtel gefüllt, aber die Körner berühren sich noch. Hierfür ist ein geringer Zementgehalt von wenigen Masseteilen ausreichend, dessen exakte Menge jedoch über entsprechend geplante Voruntersuchungen bestimmt werden muss.

Die Verwendung von RC-Baustoffen aus "normalem" Betonaufbruch in HGT ist Stand der Technik, da solche Baustoffgemische in der Regel die Anforderungen nach TL Beton-StB und TP HGT-StB erfüllen. Bei RC-Baustoffgemischen aus alkalischgeschädigten Betonen ist die Situation dadurch verändert, dass die einzusetzenden Gesteinskörnungen erstens einen entsprechenden Vorschädigungsgrad infolge einer schädigenden AKR besitzen (geringere Kornfestigkeit, Gelmengen, die den Wasserbedarf für die optimale Verdichtung beeinflussen können) und zweitens durch noch nicht abgeschlossene Reaktionen ihr Volumen auch nachträglich ändern können. Diese beiden Grundprämissen bestimmen das durchgeführte Untersuchungsprogramm, da bei einer HGT deren Qualität (Festigkeit, Dauerhaftigkeit, Formänderung) insbesondere von der Kontaktzone der RC-Gesteinskörnungen untereinander abhängt.

Damit bestand die Aufgabenstellung darin, vergleichende Untersuchungen an einem Referenz-Baustoffgemisch (AKR-unempfindlich) und einem AKR-geschädigten RC-Baustoffgemisch hinsichtlich der Eignung des RC-Gemischs aus alkalischgeschädigtem Betonaufbruch für die Verwendung als Baustoffgemisch in hydraulisch gebundenen Tragschichten (HGT) durchzuführen. Das Referenz-Baustoffgemisch erfüllt die Anforderungen nach Norm, was nachfolgend anhand von Prüfergebnissen dokumentiert wird. Die Kennwerte beim RC-Baustoffgemisch aus alkalischgeschädigtem Betonaufbruch werden analog zum Referenzgemisch gewonnen. Durch eine vergleichende Darstellung der gewonnenen Ergebnisse zu den untersuchten Baustoffgemischen soll eine Bewertung dahin gehend vorgenommen werden, inwieweit das alkalischgeschädigte RC-Baustoffgemisch für eine Verwendung in einer HGT geeignet ist.

Das Referenz-Baustoffgemisch stammt aus einer Recyclinganlage für Betonbruch aus der Region Cottbus, das vergleichend zu bewertende RC-Baustoffgemisch aus alkalischgeschädigtem Fahrbahndeckenbeton stammt aus einem Abschnitt der BAB A 14.

2 Untersuchungsmethodik

Zur Charakterisierung der beiden RC-Ausgangsstoffe wurden nachfolgend aufgeführte Kennwerte nach DIN EN 13242 und TL Gestein-StB 04/07 ermittelt:

1. stoffliche Kennzeichnung
2. Rohdichte
3. Bruchflächigkeit
4. Kornformzahl
5. Widerstand gegen Zertrümmerung
6. Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel

An den Baustoffgemischen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Korngrößenverteilung und Bestimmung der Feinanteile für Schottertragschichten, Frostschutzschichten und HGT nach DIN EN 933-1
2. Bestimmung von organischen Bestandteilen nach DIN EN 1744-1
3. Proctorversuch nach DIN EN 13286-2
4. Schüttdichte
5. Chemische Untersuchung gemäß BTR RC-StB 04 nach LAGA

Aus den Baustoffgemischen wurden HGT-Probekörper hergestellt und an diesen weitere wichtige Kennwerte bestimmt:

1. Festigkeiten vor Klimalagerung
2. Festigkeiten nach Klimalagerung (40 °C Nebelkammerlagerung) mit und ohne Alkalizufuhr
3. Formänderungen/Dehnungen unter den reaktionsbeschleunigenden Bedingungen der Nebelkammer (40 °C, 100 % rel. Luftfeuchte)
4. Formänderungen/Dehnungen unter den reaktionsbeschleunigenden Bedingungen des Betonversuchs (60 °C)
5. Formänderungen/Dehnungen unter den reaktionsbeschleunigenden Bedingungen einer AKR-Performance-Prüfung (VDZ-Verfahren) mit und ohne Alkalizufuhr.

Zur Beschreibung von Gefügeveränderungen in den HGT-Probekörpern, aber auch zum Nachweis einer betonschädigenden AKR in den Bohrkernen des RC-Ausgangsmaterials der

BAB A 14, wurden mikroskopische Untersuchungsmethoden angewandt.

3 Untersuchungsergebnisse

Die als Referenzgemisch geprüfte RC-Gesteinskörnung 0/45 entspricht in den Eigenschaften den Anforderungen für eine

- Schottertragschicht 0/45
- Frostschuttschicht 0/45
- hydraulisch gebundene Tragschicht

und kann demzufolge als Bezugsmaterial dienen.

Das alkaligeschädigte RC-Ausgangsgemisch 0/45 aus der BAB A 14 erfüllt die Anforderungen hinsichtlich der gesteins- und gemischspezifischen Kennwerte an Baustoffgemische für eine Frostschuttschicht 0/45 und entspricht in den Eigenschaften den Anforderungen für eine hydraulisch gebundene Tragschicht.

Die Unterschiede zwischen den beiden untersuchten RC-Gemischen in den erzielbaren Druckfestigkeiten nach 28 Tagen bei Lagerung unter Normbedingungen sind sehr gering, sodass aus diesen Ergebnissen eine Eignung auch des alkaligeschädigten RC-Baustoffgemischs für die Verwendung in HGT erst einmal nicht ausgeschlossen werden kann. Die Festigkeiten sind in der gleichen Größenordnung (15 N/mm²), womit auch gezeigt wird, dass die Herstellung mit beiden Gemischen möglich ist und prinzipiell gleiche Gefüge erzielbar sind. Auch bei der Bestimmung der Druckfestigkeit der RC-Gemische an HGT-Probekörpern nach Nebelkammerlagerung (ohne Alkalizufuhr) gibt es sowohl zwischen den beiden RC-Gemischen als auch im Vergleich zu den 28-Tage-Druckfestigkeiten ohne Klimalagerung keine signifikanten Unterschiede in den Festigkeiten. Beim AKR-RC-Baustoffgemisch aus der BAB A 14 werden mit ca. 17 N/mm² sogar geringfügig höhere Werte bestimmt als beim Referenzmaterial. Infolge Klimalagerung (Nebelkammer) mit Alkalizufuhr gibt es interessante Ergebnisse in der Weise, dass keine Veränderungen bei den HGT-Proben, hergestellt mit dem AKR-RC-Gemisch BAB A 14, festzustellen sind. Bei der HGT-Referenzprobe wird eine Abnahme der Druckfestigkeit auf ca. 12 N/mm² gemessen, was nicht überbewertet werden soll, da auch dieser Wert noch ausreichend ist für den Anwendungsfall HGT.

3.1 40 °C-Nebelkammerlagerung

Im Ergebnis der Nebelkammerlagerung von Probekörpern, hergestellt mit dem AKR-RC-Gemisch, kann festgestellt werden, dass an einigen Stellen gelartige Produkte gefunden werden, die Reste des originalen AKR-Reaktionsprodukts oder auch Neubildungen innerhalb der HGT-Probekörper infolge Nebelkammerlagerung sein können. Es gibt Hinweise unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) auf Treibreaktionen exakt durch dieses gelartige Material. Zusätzlich wird an ganz wenigen Stellen eine Anreicherung von Ettringit gefunden, das möglicherweise zusätzlich zu Dehnungen geführt hat. Diese Gefügebesonderheiten in den Probekörpern, hergestellt mit dem AKR-RC-Gemisch, können wahrscheinlich die mit ca. 0,6 mm/m erhöhten Dehnungen gegenüber den Probekörpern,

hergestellt mit dem Referenz-Baustoffgemisch, erklären (0,45 mm/m). Das Dehnungsniveau bleibt jedoch relativ gering, was sich auch in den nur gering nachgewiesenen Gelmengen in den Probekörpern zeigt.

3.2 60 °C-Betonversuch

Im Ergebnis des 60 °C-Betonversuchs an den AKR-RC-Gemischen kann festgestellt werden, dass es zur Bildung großflächiger, gelartiger Ablagerungen in Poren beziehungsweise im gesamten Gefüge der HGT-Proben gekommen ist. Solche Bereiche sind überwiegend gekennzeichnet durch den Nachweis von Calciumsilicatgelen. Es werden stellenweise auch Bereiche mit erhöhten Alkaligehalten (Natrium und auch Kalium) detektiert. An manchen Stellen wird auch unter diesen Lagerungsbedingungen Ettringit gefunden, welches aufgrund der höheren Menge durchaus einen zusätzlichen Beitrag zur Dehnung der Proben geliefert haben kann. Dieses Ergebnis der Gefügeuntersuchungen deckt sich gut mit den Dehnungsverläufen und den gemessenen Endwerten. Mit ca. 0,7-0,8 mm/m werden unter den Bedingungen des 60 °C-Betonversuchs deutlich erhöhte Dehnungen gemessen, erhöht gegenüber dem Grenzwert, der bei 0,3 mm/m liegt (auch wenn dieser hier nicht gilt), erhöht auch gegenüber den Dehnungen, gemessen an Probekörpern des Referenzgemischs (0,4 mm/m). Ob es sich bei diesem Dehnungszuwachs zweifelsfrei ausschließlich um einen Beitrag der AKR handelt, kann nicht abschließend entschieden werden. Der Nachweis von Sulfat und damit zusammenhängend von Ettringit muss bei der Kurvendiskussion und den Dehnungsendwerten jedenfalls mit berücksichtigt werden.

3.3 AKR-Performance-Prüfung – Wasserlagerung

Im Vergleich der Dehnungswerte zwischen den HGT-Proben, hergestellt mit dem Referenzgemisch, und denen, hergestellt mit dem AKR-RC-Gemisch, muss festgestellt werden, dass es nahezu zu einer Verdoppelung des Dehnungsendwerts beim AKR-RC-Gemisch kommt (von 0,5 mm/m auf 1,0 mm/m bei Alkalizufuhr). Worin können die Ursachen hierfür liegen? Es gibt an vielen Stellen Hinweise auf die Bildung von Ettringit im Gefüge der HGT-Proben mit AKR-RC-Gemisch, welches als großflächig vorkommender Kristallrasen ausgebildet ist. Es werden auch Kalk und CSH im Gefüge gefunden, ähnlich wie bei den Untersuchungen während der AKR-Performance-Prüfung mit Alkalizufuhr. Hinweise auf eine Beteiligung einer AKR an den Dehnungen gibt es jedoch an dieser Stelle nicht. Möglicherweise werden die Alkalien in den bereits vorhandenen Gelen aufgrund des offenporigen Gefüges der HGT-Proben und der Wasserlagerung ausgelaugt. Eine Ettringitbildung wird demgegenüber offensichtlich gefördert. Damit ist der sehr stark unterschiedliche Dehnungsverlauf durchaus auf eine zusätzliche Bildung sekundären Ettringits zurückzuführen.

3.4 AKR-Performance-Prüfung – Alkalizufuhr (10 %-ige NaCl-Lösung)

Im Ergebnis der Untersuchungen der HGT-Proben unter den Bedingungen der AKR-Performance-Prüfung mit Alkalizufuhr (10 %-ige NaCl-Lösung) lässt sich feststellen, dass auch hier

keine Hinweise auf das Stattfinden einer zusätzlichen AKR gefunden werden können. Viele der sichtbaren Ablagerungen in Poren und im Betongefüge zwischen den HGT-Bestandteilen bestehen aus Kalk, CSH und NaCl. Solche festgestellten i.d.R. massiven Reaktionsprodukte, ob bereits vorhanden oder durch die Lagerung neu gebildet, enthalten dann meist auch zusätzlich Sulfat. An zahlreichen Stellen im Gefüge gibt es Hinweise darauf, dass genau diese Mischung aus den unterschiedlichen Bestandteilen zu einer treibenden Wirkung führt. Wie das Sulfat vorliegt, geht aus den Untersuchungen nicht hervor. Es werden jedenfalls keine für Ettringit typischen fasrigen Kristalle nachgewiesen, demzufolge kann es auch Monosulfat sein. Das nachgewiesene Sulfat kann aber auch ein Hinweis dafür sein, dass Ettringit in amorpher Form vorhanden ist. Ein gestörter Verbund zwischen den RC-Bestandteilen aufgrund der Einlagerung von NaCl zwischen den Körnern wird festgestellt.

Damit muss abschließend konstatiert werden, dass es infolge reaktionsbeschleunigender Bedingungen, die durch erhöhte Temperaturen und Feuchten und zusätzlich durch eine Alkalizufuhr von außen gekennzeichnet sind, messbare Formänderungen an den HGT-Probekörpern gibt, die auf treibende, quellende Reaktionen im Gefüge der HGT-Probekörper hinweisen. Als Ursachen sind nicht zwangsläufig AKR-Gelbildungen und das Aufquellen solcher Gele im Gefüge auszumachen. Es werden doch auch deutliche Hinweise auf die Bildung von Ettringit beziehungsweise ettringitähnliche Substanzen gefunden, die ebenfalls einen Beitrag zur Dehnung der Proben liefern. Unabhängig von den Ursachen muss aufgrund der stellenweise doch deutlich messbaren Dehnungen auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse ein Einsatz AKR-geschädigten Betonaufbruchs als Komponente für hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT) für jedes Bauvorhaben gesondert bewertet werden.

4 Folgerungen für die Praxis

Der hier untersuchte AKR-geschädigte Betonaufbruch hat bezüglich seiner körnungsspezifischen Eigenschaften das Potenzial für eine Verwendung als Frostschuttschicht und auch für eine hydraulisch gebundene Tragschicht. Eine entsprechende Klassierung zum Erreichen beziehungsweise Einstellen der nach Norm geforderten Kennwerte ist ohne Weiteres möglich. Auch die mit so einem Baustoffgemisch erreichbaren Druckfestigkeiten liegen mit deutlich über 10 N/mm^2 (im Mittel 15 N/mm^2) in einem Bereich, der das Material für den Anwendungsfall HGT interessant erscheinen lässt. An diesen Festigkeiten ändert sich auch signifikant nichts bei Veränderung der Umgebungsbedingungen (erhöhte Temperaturen bis $40 \text{ }^\circ\text{C}$, hohe Luftfeuchten bis 100 % und Alkalizufuhr).

Einschränkungen gelten für das Formänderungsverhalten der mit den AKR-geschädigten RC-Baustoffgemischen hergestellten HGT-Baustoffen, insbesondere dann, wenn diese den reaktionsbeschleunigenden Bedingungen einer AKR-Performance-Prüfung ausgesetzt sind. Die an den Baustoffproben gemessenen Dehnungen sind mit ca. 1 mm/m (sowohl bei Beaufschlagung mit Wasser als auch mit NaCl-Lösung) doch recht hoch, nicht nur im Vergleich zum aktuell geltenden Grenzwert von $0,5 \text{ mm/m}$ (der hier nicht anzusetzen ist), auch insbesondere im Vergleich zu den Messwerten, die am Referenzmaterial ermittelt wurden. Anhand des Kurvenverlaufs ist ersichtlich, dass der Dehnungsendwert nach 10 Zyklen noch nicht erreicht ist. Als

Ursache für dieses Verhalten kann eine Kombination/Überlagerung aus einer möglicherweise weiterhin stattfindenden schädigenden AKR (was durch die Untersuchungen unter dem Mikroskop aber nicht zweifelsfrei bestätigt werden konnte) und einer sekundären Ettringitbildung in Betracht gezogen werden. Inwieweit die Temperaturerhöhung auf $60 \text{ }^\circ\text{C}$ die Bildung von Ettringit befördert, kann anhand der Ergebnisse nicht entschieden werden, ist aber durchaus in die Diskussion des Mechanismus der weiteren Schädigung von AKR-RC-Gemischen als HGT mit einzubeziehen. Aus diesen Ergebnissen heraus ist eine Verwendung von AKR-geschädigten RC-Baustoffgemischen für HGT für jede Baumaßnahme separat zu bewerten.