

# Alkali-Kieselsäure Reaktion im Beton – Untersuchungen zum Alkalihaushalt und den Transporteigenschaften

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 17 (2010)

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

Arbeitsgruppe 1: Bindemittel und Zusatzstoffe

Förderer: DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft HE 3217/5-2

## 1 Einleitung

Die Alkalireaktionen reaktiver Gesteinskörnungen im Beton werden wesentlich von der Stärke des chemischen Angriffs der alkalischen Porenlösung des Zementsteins bestimmt. Da die Alkali-Kieselsäure Reaktion (AKR) ein chemischer Vorgang ist, bei dem die Alkali- und Hydroxyionen ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{OH}^-$ ) aus der Porenlösung des Betons bei der Reaktion mit der Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) der Gesteinskörnung gebunden werden, ist ein entscheidender Faktor für die Geschwindigkeit des Reaktionsfortschrittes die Beweglichkeit der Ionen in dem mit Wasser gesättigten Porensystem der Zementsteinmatrix. Nur bei ausreichendem Nachschub an Reaktionspartnern kann eine schädigende AKR stattfinden. Somit ist auch davon auszugehen, dass sich eine Verdichtung des Zementsteins über den Hydratationsprozess hinweg und grundsätzlich eine Verdichtung der Matrix durch eine Verminderung des w/z-Wertes und damit die Verlangsamung von Transportprozessen im Beton vermindern auf eine AKR auswirken.

## 2 Untersuchungen

Anhand von Voruntersuchungen am Zementstein wurden die Auswirkung einer Variation des w/z-Wertes (0,3 - 0,6) auf Porosität und Porenlösungszusammensetzung untersucht. Daraus wurden Rezepturen entwickelt, die trotz veränderter w/z-Werte ein konstantes Angriffspotential ( $[\text{OH}^-] = 600 \text{ mmol/l}$ ) auf die reaktive Gesteinskörnung besitzen.

Da ab einem w/z-Wert von 0,4 ein verstärkter Anstieg der Kapillarporosität zu verzeichnen ist, resultiert hieraus auch eine Verstärkung der Transportfähigkeit von Alkalien. Die Gesamtporosität steigt über den gesamten untersuchten Wertebereich (w/z 0,3 - 0,6) nahezu linear an. Diese Ergebnisse finden u.a. bei Taylor Bestätigung [1]. Somit wurde für die Untersuchung am Beton Rezepturen mit w/z-Werten  $\geq 0,4$  gewählt.

Entsprechend der Porenlösungszusammensetzung der Zementsteine wurden „künstliche Porenlösungen“ hergestellt, die dem Angriffspotential in den Zementsteinen mit w/z-Werten von 0,4 ( $[\text{OH}^-] = 660 \text{ mmol/l}$ ) und 0,5 ( $[\text{OH}^-] = 550 \text{ mmol/l}$ ) entsprachen. In 1 l der Lösung wurden 500 g Grauwacke eingelagert und bis zum Lagerungsalter von etwa einem Jahr die Zusammensetzung der Lösung analysiert. Damit sollte der Effekt eines nicht durch Zementstein behinderten Ionen transports zur reaktiven Gesteinskörnung untersucht werden.

Die Betone wurden mit w/z-Werten von 0,4, 0,45, 0,5 und 0,6 sowie einer Sieblinie A/B8 (Grauwacke) hergestellt. Ausgehend von der Rezeptur mit einem w/z-Wert von 0,45 und einem Zementgehalt von  $400 \text{ kg/m}^3$  wurde das Leimvolumen mit  $322,4 \text{ l/m}^3$  konstant gehalten.

Von Zementstein- und Betonproben wurde die Porenlösung ausgepresst und chemisch mittels ICP-OES analysiert. Diese Proben waren in PE-Flaschen bei  $40^\circ\text{C}$  gelagert, um einen Stoffaustausch mit der Umgebung zu verhindern. Die Kennwerte für das Porensystem der Zementsteine wurden an Bruchstücken mittels Quecksilberdruckporosimetrie ermittelt.

## 3 Ergebnisse

Abbildung 1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Alkalien und dem w/z-Wert im Beton im Laufe der Zeit. Im jungen Alter, bis etwa 2 Tage, findet eine schnelle Anfangsreaktion statt. In diesem Zeitraum wird der Verbrauch von Alkali-Ionen durch die lösungs gesteuerten Alkalireaktionen der Gesteinskörnung bestimmt. Die Zementsteinmatrix befindet sich im Aufbau. Der ausschlaggebende Faktor in diesem Alter ist die Ionenkonzentration der Porenlösung. Im höheren Alter wird bei höheren w/z-Werten (0,5 bzw. 0,6) eine größere Menge an Alkalien verbraucht als bei niedrigen w/z-Werten (0,4 bzw. 0,45). Dieser Verbrauch wird nun über den Transport der Ionen durch die Bindemittelmatrix

und über die Reaktion mit der Gesteinskörnung gesteuert. Die erhöhte Kapillarporosität bei höheren w/z-Werten wirkt sich deutlich auf den Transport und damit den Verbrauch der Ionen aus. Mit zunehmender Reaktionszeit wird dieser Effekt immer deutlicher, siehe Abbildung 1.

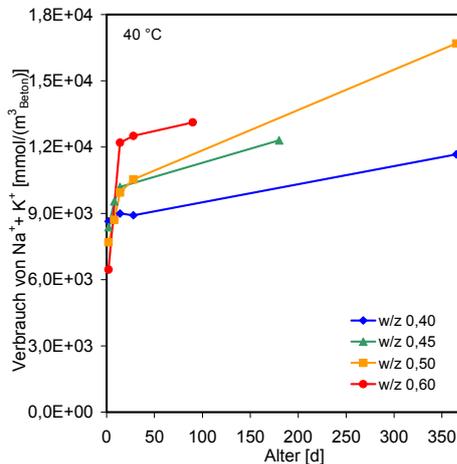


Abbildung 1: Verbrauch von  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ -Ionen pro  $\text{m}^3$  Beton über die Zeit in Abhängigkeit vom w/z-Wert bei  $40^\circ\text{C}$

In Abbildung 2 wird der Verbrauch der  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ -Konzentration nach 28 Tagen im Beton mit dem von Grauwacke in der Lagerungslösung verglichen, wobei der Verbrauch jeweils auf die Kapillarporosität im Beton bezogen wird. Für die Gesteinskörnung in „künstlicher“ Porenlösung wurde eine theoretische Porosität von 100 % angenommen.

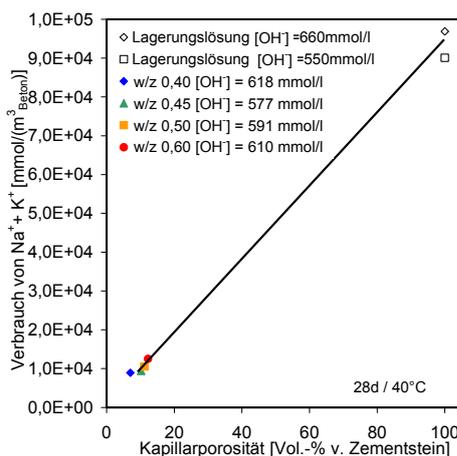


Abbildung 2: Verbrauch von  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ -Ionen nach 28 Tagen in Abhängigkeit von der Kapillarporosität bei  $40^\circ\text{C}$

Gegenüber dem theoretisch möglichen Verbrauch von Alkalien in der Lagerungslösung (freie Diffusion in Wasser) wird der Verbrauch von Alkalien in den Betonen mit w/z-Werten von

0,4 - 0,6 durch die Hemmung des Ionen transports in der Zementsteinmatrix um rund eine Zehnerpotenz verringert. Dies zeigt, dass in praxisüblichen Betonen die Alkali-Kieselsäure Reaktion der Gesteinskörnung erheblich gehemmt wird. Eine ausführliche Beschreibung dieser Untersuchungen ist unter [2] nachzulesen.

#### 4 Zusammenfassung

Anhand von Voruntersuchungen am Zementstein konnten Betonrezepturen entwickelt werden, die trotz unterschiedlicher w/z-Werte (0,4 - 0,6), ein konstantes Angriffspotential an  $\text{OH}^-$ -Ionen auf die reaktive Gesteinskörnung im Beton liefern. Da in diesen Betonen zusätzlich der Diffusionsweg über ein gleich bleibendes Leimvolumen konstant gehalten wurde, konnte die Auswirkung unterschiedlicher Porositäten und damit Dichtigkeiten der Zementsteinmatrix auf den Transport von Alkali- und Hydroxylionen in der Porenlösung und somit auf den Verbrauch durch die reaktive Gesteinskörnung quantifiziert werden.

Es zeigte sich, dass bei konstantem Angriffspotential eine Reduzierung des w/z-Wertes zu einem verringerten Verbrauch von Alkaliionen führt. Unterhalb eines Grenzbereiches des w/z-Wertes von 0,4 ist davon auszugehen, dass keine signifikante Verringerung des Alkaliverbrauches mehr erreicht wird, da hier die Kapillarporosität im Zementstein und somit auch dessen Transporteigenschaften nur noch geringfügig abnehmen.

Inwieweit sich die, innerhalb der Bandbreite der w/z-Werte, unterschiedlichen Ionen transportgeschwindigkeiten, auf eine schädigende Alkali reaktion im Beton auswirken, kann mit diesen Ergebnissen bislang noch nicht abgeschätzt werden. Dazu sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

#### 5 Literatur

- [1] Taylor, H. F. W.: Cement Chemistry, ISBN 0-12-683900-X, S. 255
- [2] Dressler, A.; Matschi, C.; Schmidt, K.; Heinz, D.: Einfluss der Diffusion auf eine Alkali-Kieselsäure Reaktion im Beton - Untersuchungen zum Alkalihaushalt und den Transporteigenschaften, (2009), 17. ibausil, Weimar, S.2-0699 ff.