

IGF-Vorhaben:	16569 N
Bewilligungszeitraum:	01.05.2010 - 30.04.2013
Forschungsthema:	AKR-Performance-Prüfungen: Erweiterung der Datenbasis mit dem 60 °C-Betonversuch unter besonderer Berücksichtigung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen

## 1 Einleitung und Forschungsziel

Eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) kann Beton schädigen und die vorgesehene Nutzungsdauer der Betonbauwerke vermindern. Die Gebrauchstauglichkeit kann in diesem Fall ggf. nur durch einen hohen Instandsetzungsaufwand gewährleistet werden. Eine schädigende AKR tritt nicht auf, wenn die Gesteinskörnung ausreichend alkaliunempfindlich, der Beton trocken oder der wirksame Alkaligehalt in der Porenlösung des Betons gering ist. Die Alkalien stammen aus den Betonausgangsstoffen, vorwiegend vom Zement, und in manchen Fällen aus Enteisungsmitteln, die von außen in den Beton eindringen können. Die Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [1] legt Maßnahmen fest, die in Deutschland bei Beton nach DIN EN 206/DIN 1045-2 zur Vermeidung von AKR-Schäden anzuwenden sind. Die Maßnahmen sind in Abhängigkeit von folgenden Parametern geregelt:

- Alkaliempfindlichkeitsklasse der Gesteinskörnung
- Feuchtigkeitsklasse des Betonbauteils
- Zementgehalt des Betons

Die Festlegungen, dass in bestimmten Fällen alkaliempfindliche Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S nur in Kombination mit einem NA-Zement nach DIN 1164-10 oder alkaliunempfindliche Gesteinskörnungen (E I, E I-O, E I-OF oder E I-S) eingesetzt werden dürfen, dienen der Vermeidung einer schädigenden AKR bei Berücksichtigung aller potenziell möglichen stofflichen Kombinationen. Deshalb gibt es Betone, welche die zuvor genannten Festlegungen nicht erfüllen, aber dennoch in der Praxis alkaliunempfindlich sein können. Um diese Betone nicht von einer Verwendung auszuschließen, ermöglicht die Alkali-Richtlinie mit der Ausgabe 2007 erstmalig deren Verwendung, wenn ein Gutachter deren Alkaliunempfindlichkeit durch eine AKR-Performance-Prüfung nachweist. Die AKR-Performance-Prüfung soll Auskunft geben, ob ein Beton mit gegebener Zusammensetzung in einer bestimmten Feuchtigkeitsklasse alkaliunempfindlich ist, so dass er während der geplanten Nutzungsdauer nicht durch eine AKR geschädigt wird. Ein AKR-Performance-Prüfverfahren und die Bedingungen für den Konformitätsnachweis sind bisher nicht in der Alkali-Richtlinie beschrieben. CEN/TR 16349 sieht aber grundsätzlich die Möglichkeit vor, AKR-Schäden mit Hilfe von AKR-Performance-Prüfungen zu vermeiden [2]. In Frankreich ist der 60 °C-Betonversuch (ohne Alkalizufuhr) in AFNOR P 18-454 [3] genormt und wird dort, wie auch in der Schweiz, zur Bewertung der Alkaliunempfindlichkeit von Betonen angewendet [4, 5, 6].

Bevor in Deutschland AKR-Performance-Prüfungen allgemein gültig eingeführt werden können, muss nachgewiesen werden, dass Betone, die gemäß der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt sind, auch entsprechend dieser bewertet werden.

## 2 Forschungsziel und Lösungsweg

Mit dem IGF-Vorhaben evaluierte das Forschungsinstitut der Zementindustrie folgende zwei Prüfverfahren:

- „60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr“ zur Bewertung der Alkaliunempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WF (feuchte Bauteile)
- „60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr“ zur Bewertung der Alkaliunempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA (feuchte Bauteile, die einer Alkalizufuhr von außen durch Natriumchlorid ausgesetzt sind)

Es wurde geprüft, ob die Prüfverfahren die Alkaliunempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklassen WF und WA in Übereinstimmung mit den Festlegungen der Alkali-Richtlinie abbilden. Dazu wurden Betone entsprechend der Festlegungen der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt und unter Variationen der Prüfbedingungen (Vorlagerung und Natriumchlorid-Konzentration) untersucht. Das Ziel war darüber hinaus, die Alkaliempfindlichkeit von Betonen mit hüttensandhaltigen Zementen oder mit Flugasche realitätsnäher zu prüfen und abzubilden. Schwerpunkt waren die vorbeugenden Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton bei Verwendung „weiterer Gesteinskörnungen“ nach Alkali-Richtlinie [1].

### 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr

Die Betone der Feuchtigkeitsklasse WF wurden mit dem „60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr“ geprüft. Der Prüfablauf entspricht dem 60 °C-Betonversuch nach Alkali-Richtlinie, Anhang C [1]. Die Prüfungen wurden als bestanden bewertet, wenn die Dehnungen 140 Tage nach Beginn der Lagerung bei 60 °C  $\leq$  0,20 mm/m betragen. Dieser Orientierungswert wurde in Anlehnung an AFNOR FD P 18-456 [4] gewählt. Bei Betonen mit Portlandflugaschezement wurde die Dehnung in Anlehnung an AFNOR FD P 18-456 mit den Orientierungswerten von 0,20 mm/m nach 140 Tagen und 0,30 mm/m nach 52 Wochen verglichen. In einigen Fällen wurden zusätzliche Untersuchungen mit einer Vorlagerung von 27 bzw. 90 Tagen anstelle von nur einem Tag durchgeführt.

### 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr

Die Betone der Feuchtigkeitsklasse WA wurden mit dem „60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr“ von außen geprüft [7, 8]. Das Prüfverfahren wurde ursprünglich zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für Fahrbahndecken aus Beton (Feuchtigkeitsklasse WS) entwickelt. In diesem IGF-Vorhaben wurde das Verfahren zur Bewertung von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA eingesetzt. Es wurden eine 3%ige bzw. eine 10%ige Natriumchlorid-Lösung (NaCl) verwendet, um das Verfahren auf die Feuchtigkeitsklasse WA anzupassen und eine praxisgerechte Bewertung gewährleisten zu können. Bei einigen Betonen wurde zusätzlich eine Prüfung mit verlängerter Vorlagerung von 91 Tagen durchgeführt.

### Freilagerlagerung

Einige Betone lagern zusätzlich im Freilager, um die Ergebnisse der Laboruntersuchungen mit dem Verhalten der Betone unter praktischen Bedingungen vergleichen zu können.

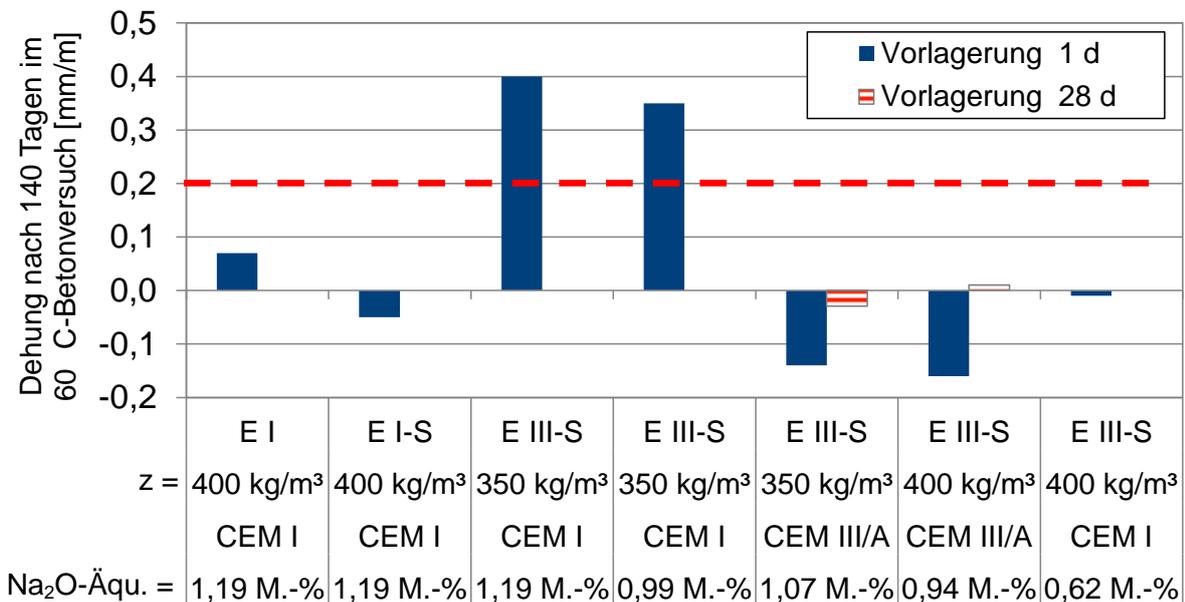
### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Feuchtigkeitsklasse WF

##### Portlandzement- und hochofenzementhaltige Betone

Im ersten Schritt wurden Betone entsprechend den Festlegungen der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt. Gemäß Alkali-Richtlinie sind bei diesen Betonen in Bauwerken, die einer feuchten Umgebung ausgesetzt sind, keine AKR-Schäden während der beabsichtigten Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren (DIN EN 206/DIN 1045-2) zu erwarten. In **Bild 1** sind die Dehnungen nach 140 Tagen im 60 °C-Betonversuch zusammengefasst. Die Betone mit Hochofenzementen lagerten vor Beginn der Prüfung z. T. für 28 Tage bei 20 °C und 100 % r. F., damit der Hochofenzement ausreichend und realitätsnah hydratisieren konnte (rot schraffierte Werte).

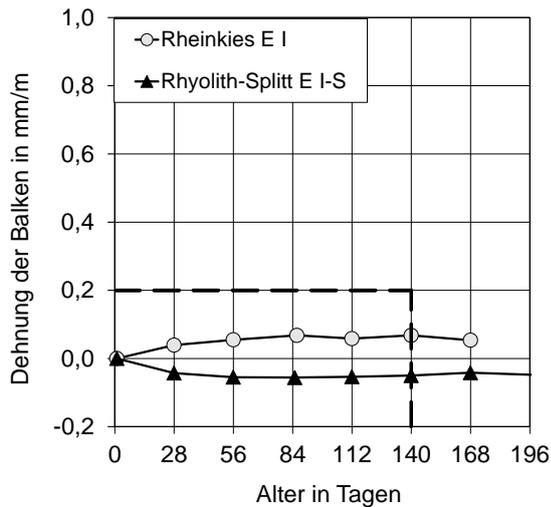
Die Ergebnisse zeigen, dass fünf Betone bei Ansatz des Orientierungswertes von 0,20 mm/m gemäß AFNOR FD P 18-456 [8] die Prüfung bestanden. Zwei Betone (E III-S,  $z = 350 \text{ kg/m}^3$  und CEM I) zeigten Dehnungen über dem Orientierungswert. In diesen Fällen läge das Ergebnis des „60 °C-Betonversuchs ohne Alkalizufuhr“ auf der sicheren Seite. Es wird empfohlen, den Orientierungswert nicht zu verändern, da Untersuchungen in der Schweiz zeigen, dass mit dem Verfahren angemessen zwischen nicht reaktiven und potenziell reaktiven Betonen unterschieden werden kann, wenn die Betone mit Portlandzement hergestellt werden [6, 7]. Die Dehnungsverläufe werden im Folgenden diskutiert.



##### Betonzusammensetzung

**Bild 1** Dehnung unterschiedlicher Betone nach 140 Tagen im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr, 1 Tag Vorlagerung bei 20 °C / 100 % r. F. (blau-voll) und 28 Tage Vorlagerung bei 20 °C / 100 % r. F. (rot-schraffiert), Grenzwert in Anlehnung an AFNOR FD P 18-456 [4]

Betone mit alkaliunempfindlichen Gesteinskörnungen (E I und E I-S) bestanden den 60 °C-Betonversuch, auch wenn der Zementgehalt mit 400 kg/m<sup>3</sup> und das Na<sub>2</sub>O-Äquivalent des Zements mit 1,19 M.-% hoch waren. In beiden Fällen bildet das Prüfverfahren die Festlegung der Alkali-Richtlinie richtig ab, die für die Alkaliempfindlichkeitsklassen E I und E I-S keine Anforderungen an den Alkaligehalt des Zements und den Zementgehalt festlegt.

**Bild 2**

Dehnung unterschiedlicher Betone mit Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E I und E I-S im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr

CEM I 42,5 R

$z = 400 \text{ kg/m}^3$

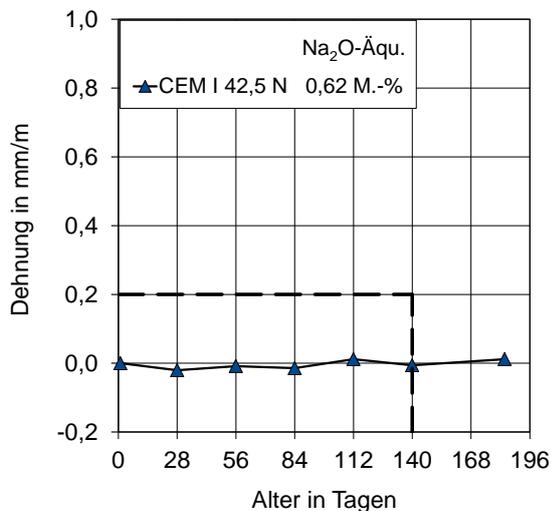
$\text{Na}_2\text{O}\text{-Äqu.} = 1,19 \text{ M.-%}$

$w/z\text{-Wert} = 0,45$

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Rheinkies bzw. Rhyolith-Splitt 2/16

Bei Beton der Feuchtigkeitsklasse WF, einem Zementgehalt von  $400 \text{ kg/m}^3$  und Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklassen E III-S muss gemäß Alkali-Richtlinie ein NA-Zement eingesetzt werden. **Bild 3** zeigt die Dehnung eines solchen Betons mit Grauwacke-Splitt. Der Portlandzement hat ein  $\text{Na}_2\text{O}\text{-Äquivalent}$  von 0,62 M.-%. Dieser Wert liegt nur geringfügig über der Grenze von 0,60 M.-%, die gemäß DIN 1164-10 für Portlandzement mit einem "niedrigen wirksamen Alkaligehalt" gilt. Der Beton zeigt keine Dehnungen. Der 60 °C-Betonversuch bildet damit die Festlegung der Alkali-Richtlinie richtig ab.

**Bild 3**

Dehnung eines Betons mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr

CEM I 42,5 N

$\text{Na}_2\text{O}\text{-Äqu.} = 0,62 \text{ M.-%}$

$z = 400 \text{ kg/m}^3$

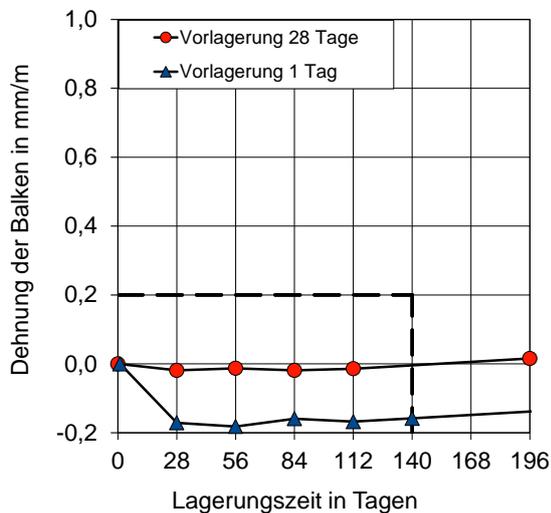
$w/z\text{-Wert} = 0,45$

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16

Auch Beton mit einem hüttensandhaltigen Laborzement, der die Anforderungen an NA-Zemente nach DIN 1164-10 erfüllt, bestand die Prüfung und wurde entsprechend der Alkali-Richtlinie bewertet (**Bild 4**). Bei hüttensandhaltigen Zementen zeigt der Beton innerhalb der ersten 28 Tage zunächst Schwindverformungen, wenn er im Alter von einem Tag in die Prüfruhe bei 60 °C über Wasser eingelagert wurde. Würde eine Dehnung infolge AKR in den ersten 28 Tagen auftreten, dann könnte nicht mehr zwischen dem Schwinden und der AKR-Dehnung differenziert werden. Wird dem Beton durch eine Vorlagerung von 28 Tagen bei 20 °C Zeit gegeben zu hydratisieren, dann verringert sich die Schwinddehnung in der Prüfung deutlich. Bei Betonen mit hüttensandhaltigen und flugaschehaltigen Zementen ist eine Vorlagerung von 28 Tagen u. a. auch aus diesem Grund zu empfehlen.

In **Bild 5** ist u. a. die Dehnung eines Betons im Freilager dargestellt, der mit einer präkambri- schen Grauwacke der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und CEM III/A hergestellt wurde. Nach 17 Jahren traten weder Risse noch Dehnungen auf. Das Ergebnis bestätigt, dass bei dem in **Bild 4** gezeigten Beton auch unter praxisnahen Bedingungen keine schädigende AKR zu erwarten ist.



**Bild 4**

Dehnung eines Betons mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und CEM III/A 42,5 R (Laborzement) im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr Beton bei verschiedenen Vorlagerungen

CEM III/A 42,5 R

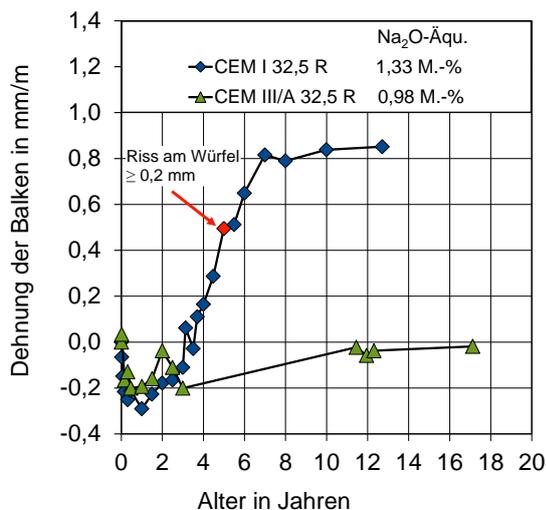
Na<sub>2</sub>O-Äqu. = 0,94 M.-%

z = 400 kg/m<sup>3</sup>

w/z-Wert = 0,45

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16



**Bild 5**

Dehnung eines Betons mit präkambri- scher Grauwacke der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S mit verschiedenen Zementen im Frei- lager

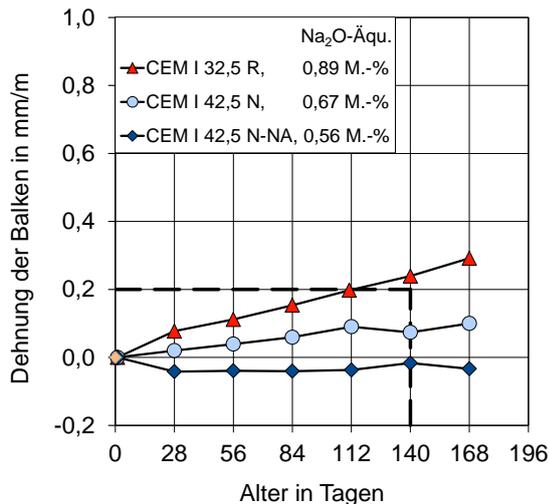
z = 500 kg/m<sup>3</sup>

w/z = 0,45

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% präkambri- sche Grauwacke E III-S 2/16

Im zweiten Schritt wurden Betone untersucht, die nur zum Teil die Anforderungen der Alkali- Richtlinie erfüllen. **Bild 6** zeigt die Dehnungen von Betonen, die mit dem Grauwacke-Splitt E III-S, einem Zementgehalt von 370 kg/m<sup>3</sup> und in Kombination mit verschiedenen Zementen hergestellt wurden. Die Alkali-Richtlinie legt für diesen Fall fest, dass ein NA-Zement einge- setzt werden muss. Mit dem Prüfverfahren konnte gut zwischen Betonen mit verschiedenen Zementen und Alkaligehalten unterschieden werden. In der vorliegenden Materialkombinati- on und Betonzusammensetzung könnte auf die Verwendung eines Portland-NA-Zementes verzichtet werden. Ein Alkaligehalt (Na<sub>2</sub>O-Äquivalent) von 0,90 M.-% wäre aber bereits zu hoch.

**Bild 6**

Dehnung unterschiedlicher Betone mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und unterschiedlichen Portlandzementen im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr

$z = 370 \text{ kg/m}^3$

$w/z\text{-Wert} = 0,42$

$LP = 4,5 \pm 0,5 \text{ Vol.-%}$

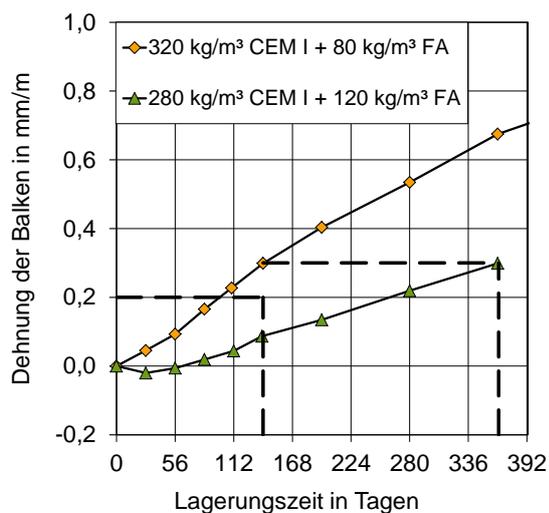
31 Vol.-% Sand 0/2

69 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/22

### Flugaschehaltige Betone

Es wurden Betone mit Portlandzement, Flugasche und mit einer alkalireaktiven Gesteinskörnung (E III-S) untersucht. Die Dehnungen des Betons mit  $280 \text{ kg/m}^3$  Portlandzement und  $120 \text{ kg/m}^3$  Flugasche überschreiten nicht die Orientierungswerte nach 140 Tagen ( $\leq 0,20 \text{ mm/m}$ ) und nach 52 Wochen ( $\leq 0,30 \text{ mm/m}$ ) (**Bild 7**). Die Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Festlegungen der Alkali-Richtlinie, die für diesen Fall keine Anforderung festlegt, da der Zementgehalt  $\leq 350 \text{ kg/m}^3$  beträgt. Die Alkali-Richtlinie legt bei Zementgehalten  $> 350 \text{ kg/m}^3$  die Verwendung eines NA-Zementes fest.

Der Beton mit  $320 \text{ kg/m}^3$  Portlandzement und  $80 \text{ kg/m}^3$  Flugasche zeigt deutlich höhere Dehnungen (**Bild 7**). Die Dehnungen liegen sowohl nach 140 Tagen als auch nach 52 Wochen über den Orientierungswerten. Nach Alkali-Richtlinie darf dieser Beton ohne weitere Maßnahmen angewendet werden, da der Zementgehalt weniger als  $350 \text{ kg/m}^3$  beträgt. Das bedeutet, dass Betone auf der sicheren Seite liegend bewertet werden.

**Bild 7**

Dehnung eines Betons mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, Portlandzement und Flugasche (FA) im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr bei einer Vorlagerung von 28 Tagen

CEM I 42,5

$z + f = 400 \text{ kg/m}^3$

$\text{Na}_2\text{O-Äqu. CEM I} = 1,19 \text{ M.-%}$

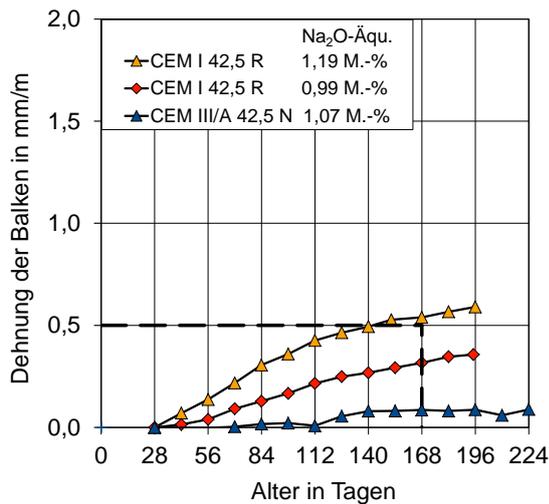
$w/(z + f) = 0,45$  ( $k = 1,0$ )

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16



Bei einem Beton mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und einem Zementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$  sind gemäß Alkali-Richtlinie keine Maßnahmen anzuwenden. **Bild 9** zeigt die Dehnungen von Betonen, die mit verschiedenen Zementen hergestellt wurden. Wie bereits oben beschrieben, überschreitet die Dehnung den Grenzwert bei einem hohen  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 1,19 M.-% nur geringfügig. Gemäß diesem Ergebnis werden die Festlegungen der Alkali-Richtlinie auf der sicheren Seite liegend mit dem  $60^\circ\text{C}$ -Betonversuch mit Alkalizufuhr abgebildet, da nicht alle Betone, die den Festlegungen der Alkali-Richtlinie entsprechen, die Prüfung bestehen würden.

**Bild 9**

Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im  $60^\circ\text{C}$ -Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung

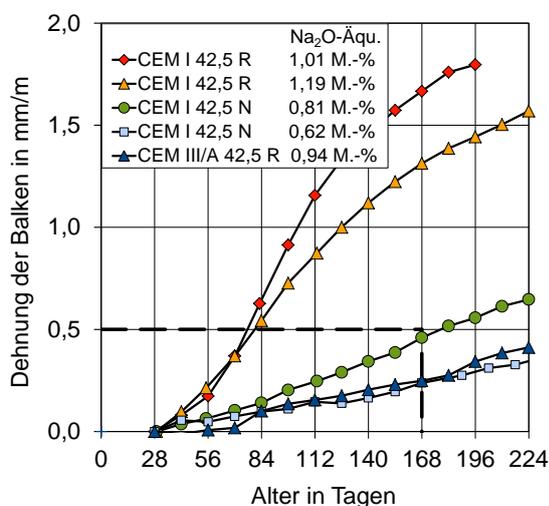
$z = 300 \text{ kg/m}^3$

w/z-Wert = 0,45

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/16

In **Bild 10** sind die Dehnungen von Betonen mit dem Grauwacke-Splitt E III-S dargestellt, der bei einem Zementgehalt von  $350 \text{ kg/m}^3$  gemäß Alkali-Richtlinie nur mit NA-Zementen verwendet werden darf. Der verwendete Portlandzement CEM I wies ein  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,62 M.-% auf und lag damit an der Grenze zum NA-Zement. Der CEM III/A (Laborzement) erfüllte die Anforderung für einen NA-Zement mit einem  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,94 M.-%. Beide Betone bestanden mit einer 3%igen NaCl-Lösung die Prüfung. Die Prüfung bildet damit die Alkaliunempfindlichkeit des Betons entsprechend der Alkali-Richtlinie ab.

**Bild 10**

Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im  $60^\circ\text{C}$ -Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung

$z = 350 \text{ kg/m}^3$

w/z-Wert = 0,45

30 Vol.-% Sand 0/2

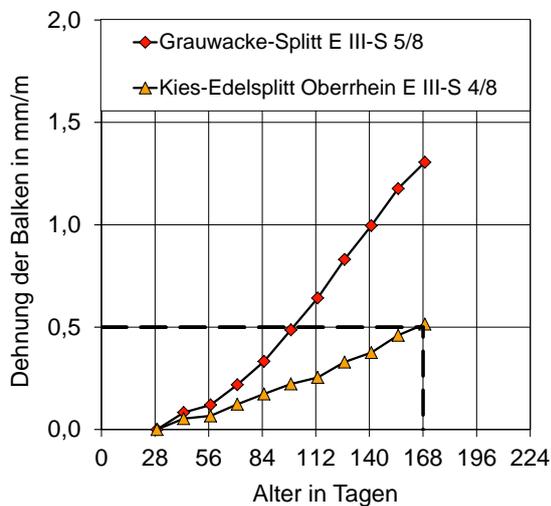
70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/16

Wird kein NA-Zement, wie von der Alkali-Richtlinie festgelegt, eingesetzt, weisen die Betone Dehnungen über dem Grenzwert auf. Eine Ausnahme ist der Beton mit dem CEM I-Zement

und einem  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,81 M.-%. Dieser Beton zeigt Dehnungen im Bereich des angedachten Grenzwertes und einen kontinuierlichen Dehnungsanstieg. In einem solchen Fall wäre an die Betonprüfung eine Dünnschliffuntersuchung anzuschließen.

**Bild 11** und **Bild 12** zeigen, dass die Dehnungen von Betonen mit einer E III-S-Gesteinskörnung und  $430 \text{ kg/m}^3$  CEM I 42,5 N ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äqu. = 0,62 M.-%) bzw.  $370 \text{ kg/m}^3$  CEM I 32,5 R ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äqu. = 0,89 M.-%) deutlich oberhalb des Beurteilungskriteriums lagen. Beide Betone dürfen gemäß der Alkali-Richtlinie nicht eingesetzt werden. Die E III-S-Gesteinskörnung müsste gegen eine alkaliunempfindliche Gesteinskörnung (E I, E I-S, E I-O, E I-OF) ausgetauscht werden.

Im Einzelfall kann durch den Einsatz eines NA-Zementes die Prüfung bestanden werden. Generell gilt dies jedoch nicht. Der Beton mit  $370 \text{ kg/m}^3$  NA-Zement ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äqu. = 0,56 M.-%) bestand die Prüfung. Der Beton mit  $430 \text{ kg/m}^3$  NA-Zement und dem Grauwacke-Splitt (E III-S) besteht sie nicht (**Bild 11**).



**Bild 11**

Dehnung von Betonen mit verschiedenen Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S im  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung

CEM I 42,5 N

$\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent = 0,62 M.-%

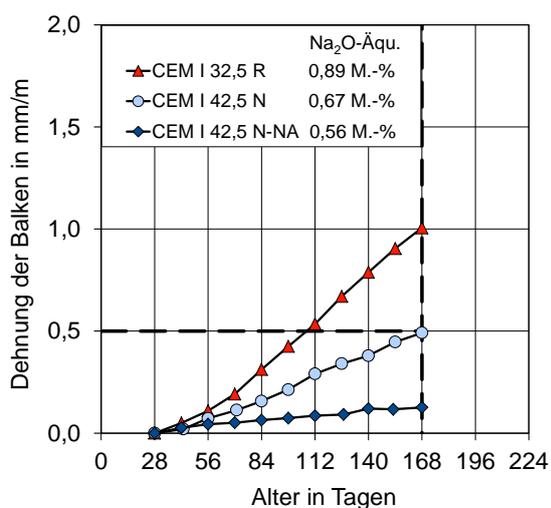
$z = 430 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z$ -Wert = 0,42

LP =  $5,5 \pm 0,5$  Vol.-%

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 5/8 bzw.

Kies-Edelsplitt E III-S 4/8



**Bild 12**

Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung

$z = 370 \text{ kg/m}^3$

$w/z$ -Wert = 0,42

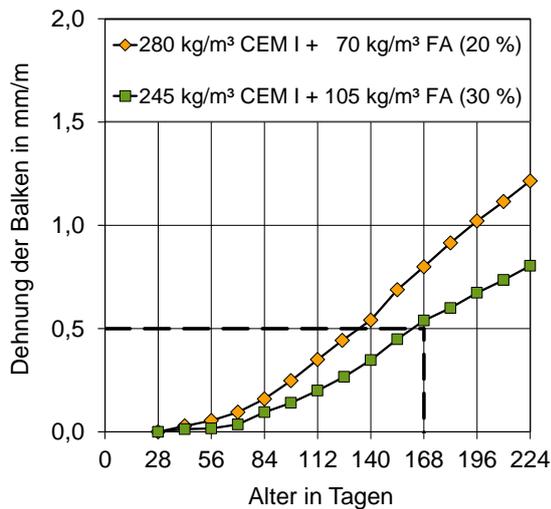
LP =  $4,5 \pm 0,5$  Vol.-%

31 Vol.-% Sand 0/2

69 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/22

## Flugaschehaltige Betone

Zwei flugaschehaltige Betone wurden mit dem „60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr außen“ geprüft (**Bild 13**). Die Dehnungen liegen im Bereich des Orientierungswerts bzw. über dem Orientierungswert von 0,50 mm/m nach 10 Zyklen der Wechsellagerung (Alter 168 Tage). Die Alkali-Richtlinie legt für beide Betone keine Anforderung fest, da mit 245 kg/m<sup>3</sup> bzw. 280 kg/m<sup>3</sup> Portlandzement die Zementgehalte weniger als 300 kg/m<sup>3</sup> betragen. Die Ergebnisse zeigen, dass Betone auf der sicheren Seite liegend bewertet werden.



**Bild 13**

Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, Portland und Flugasche im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung

CEM I 42,5 R

Na<sub>2</sub>O-Äqu. = 1,19 M.-%

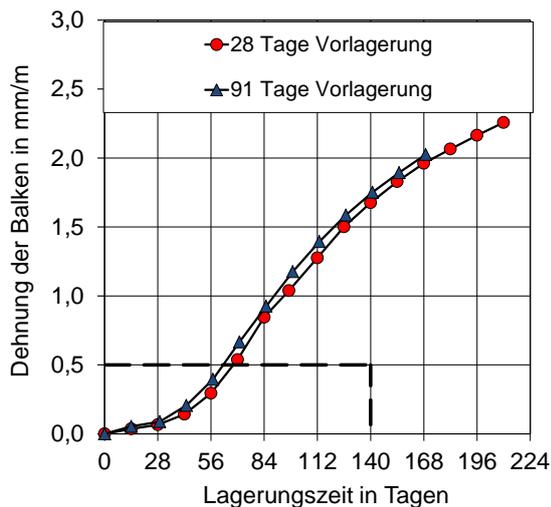
$z + f = 350 \text{ kg/m}^3$

$w/(z + f) = 0,45$  ( $k = 1,0$ )

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16

Die Ergebnisse der 60 °C-Betonversuche mit Alkalizufuhr außen durch eine 10%ige Natriumchlorid-Lösung sind in **Bild 14** dargestellt. Die Untersuchungen wurden mit einer Vorlagerung von 28 und 91 Tagen durchgeführt. Es war kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Vorlagerungszeit vorhanden.



**Bild 14**

Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, Portland und Flugasche im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 10%ige Natriumchlorid-Lösung

CEM I 42,5 R

Na<sub>2</sub>O-Äqu. = 1,19 M.-%

$z + f = 350 \text{ kg/m}^3$

$w/(z + f) = 0,45$  ( $k = 1,0$ )

30 Vol.-% Sand 0/2

70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16

## 4 Zusammenfassung

Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) an Betonbauwerken können vermieden werden, in dem in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen Beton mit ausreichend geringer Alkaliempfindlichkeit eingesetzt werden. In diesem IGF-Vorhaben wurden Kriterien für AKR-Performance-Prüfverfahren abgeleitet, um die Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA praxisgerecht bewerten zu können. Dazu untersuchte das Forschungsinstitut der Zementindustrie, inwieweit der 60 °C-Betonversuch mit und ohne Alkalizufuhr von außen die Festlegungen zu Maßnahmen der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) in den Feuchtigkeitsklassen WF und WA abbildet. Die Festlegungen der Alkali-Richtlinie spiegeln die Erfahrungen mit AKR-Schäden an Betonbauwerken in Deutschland wieder. Sie gewährleisten, dass das nutzungsgerechte Verhalten eines Betonbauwerks über die geplante Dauer von mindestens 50 Jahren (EN 206/DIN 1045-2) gewährleistet und nicht durch eine schädigende AKR beeinträchtigt wird. Der Einfluss verschiedener Vorlagerungen und Natriumchlorid-Konzentrationen wurde untersucht.

### **Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WF**

Die Ergebnisse der 60 °C-Betonversuche (ohne Alkalizufuhr) zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WF stimmen in der Regel gut mit den Festlegungen der Alkali-Richtlinie überein, wenn ein Dehnungsgrenzwert von 0,20 mm/m nach 140 Tagen bzw. 0,30 mm/m nach 52 Wochen verwendet wird. Betone mit Portlandzementen und Hochofenzement, die unter Berücksichtigung der vorbeugenden Maßnahmen der Alkali-Richtlinie hergestellt wurden, zeigten in den Laborversuchen bei Anwendung dieser Kriterien fast ausnahmslos ein regelwerkgerechtes Verhalten.

Sowohl bei hüttensandhaltigen Zementen als auch bei Verwendung von Flugasche ist eine Vorlagerung von 28 Tagen bei 20 °C zu empfehlen.

### **Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA**

Die Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA wurde mit dem „60 °C-Betonversuche mit Alkalizufuhr außen“ untersucht. Das Verfahren bildet die Festlegungen der Alkali-Richtlinie unter folgenden Bedingungen ab:

- Alkalizufuhr von außen durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung
- Bewertung des Ergebnisses mit einem Dehnungsgrenzwert von 0,50 mm/m nach zehn Zyklen (140 Tagen) der Wechsellagerung

Mit einer 10%igen Natriumchlorid-Lösung würden praxisbewährte Lösungen unverhältnismäßig beansprucht und bewertet.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 16569 N der Forschungsvereinigung VDZ gGmbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert

## 5 Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton : Alkali-Richtlinie. Berlin : Beuth, 2013
- [2] DIN CEN/TR 16349:2012-11. Grundsätze für eine Spezifikation zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in Beton; Englische Fassung CEN/TR 16349:2012
- [3] AFNOR P 18-454, Béton – Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali réaction – Essai de performance, Association Française de Normalisation, Paris, 2004
- [4] AFNOR FD P 18-456, Béton – Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali réaction – Critères d'interprétation des résultats de l'essai de performance, Association Française de Normalisation, Paris, 2004
- [5] Merkblatt SIA 2042: Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten, 2012
- [6] Verband der Schweizerischen Cementindustrie, Cemsuisse (Hrsg): Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) in der Schweiz. Bern, 2005
- [7] Siebel, E., Böhm, M., Borchers, I.; Müller, Ch., Bokern, J. und Schäfer, E.: AKR-Prüfverfahren: Vergleichbarkeit und Praxis- Relevanz; Teil 1; Teil 2. In: Beton 56; 57 (2006; 2007) 12; 1–2, S. 599–604: S. 63–71
- [8] Borchers, I.; Müller, Ch.: Assessment of the alkali-reactivity potential of specific concrete mixtures to mitigate damaging ASR in concrete structures  
In: Dehn, Frank; Beushausen, Hans: Performance-based Specifications for Concrete: Proceedings. Leipzig : MFPA, Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig, 2011, S. 98-106