

Ingmar Borchers und Christoph Müller, Düsseldorf

# Praxisgerechte Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA in AKR-Performance-Prüfungen

## Practical testing of alkali reactivity of concrete compositions of the WF and WA moisture classes in ASR performance tests

### Übersicht

Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) an Betonbauwerken können vermieden werden, indem Betone eingesetzt werden, deren Alkaliempfindlichkeit gering ist. Um die Alkaliempfindlichkeit von Betonen für Bauteile der Feuchtigkeitsklassen WF (feucht) und WA (feucht + Alkalizufuhr von außen) praxisgerecht bewerten zu können, hat der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) nun Kriterien für AKR-Performance-Prüfungen entwickelt. Dazu wurde untersucht, unter welchen Bedingungen der 60 °C-Betonversuch mit und ohne Alkalizufuhr von außen die Festlegungen zu Maßnahmen der Alkali-Richtlinie in den Feuchtigkeitsklassen WF und WA abbildet.

### 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 erhalten werden. Eine schädigende AKR tritt nicht auf, wenn die Gesteinskörnung ausreichend alkaliempfindlich, der Beton ausreichend trocken oder der wirksame Alkaligehalt in der Porenlösung des Betons entsprechend gering ist. Die Alkalien stammen aus den Betonausgangsstoffen, vorwiegend dem Zement, und in manchen Fällen aus Tau- bzw. 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 den folgenden Parametern festgelegt:

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

Zur Vermeidung von AKR-Schäden dürfen in bestimmten Fällen alkaliempfindliche Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S nur in Kombination mit einem NA-Zement nach DIN 1164-10 oder aber alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (E I, E I-O – E I-OF oder E I-S) eingesetzt werden. Diese Festlegungen berücksichtigen alle potenziell möglichen stofflichen Kombinationen („worst-case-Betrachtung“). Es gibt also Betone, die die zuvor genannten Festlegungen nicht erfüllen, die aber dennoch in der Praxis zu keinem AKR-Schaden führen würden. Um solche Betone einsetzen zu können, ermöglicht die Alkali-Richtlinie seit der Ausgabe 2007 deren Verwendung, wenn durch ein Gutachten die Alkaliempfindlichkeit nachgewiesen wird. Ein solches Gutachten wird i.d.R. auf einer AKR-Performance-Prüfung beruhen. Die AKR-Performance-Prüfung soll Auskunft geben, ob ein Beton in der entsprechenden Feuchtigkeitsklasse ausreichend alkaliempfindlich ist, sodass er während der ge-

### Abstract

Damage caused by an alkali-silica reaction (ASR) in concrete structures can be avoided by using concrete composition with a low alkali reactivity. The German Cement Works Association (VDZ) has now developed criteria for ASR performance tests in order to make a practical evaluation of the lack of alkali reactivity of concrete composition for components of the WF (moist) and WA (moist + external supply of alkalis) moisture classes. Investigations were carried out to find the conditions under which the 60 °C concrete test with and without external supply of alkalis reproduces the requirements concerning measures in the Alkali Guidelines for the WF and WA moisture classes.

### 1 Introduction and research objective

An alkali silica reaction (ASR) can damage concrete and reduce the intended service life of concrete structures. In this situation the serviceability can sometimes only be retained by expensive repairs. Damaging ASR will not occur if the aggregate is sufficiently non-reactive to alkalis, the concrete is sufficiently dry or the effective alkali content in the pore solution of the concrete is appropriately low. The alkalis come from the constituents of the concrete composition, predominantly the cement, and in some cases from de-icing agents that can penetrate into the concrete from outside. The Alkali Guidelines of the DAfStb (German Committee for Structural Concrete) [1] specify measures that have to be applied in Germany for concrete compositions complying with DIN EN 206/DIN 1045-2 in order to avoid ASR damage. The measures are specified in relation to the following parameters:

- alkali reactivity class of the aggregate
- moisture class of the concrete element
- cement content of the concrete composition.

In certain cases it is only permissible to use alkali-reactive aggregates of the E III-S alkali reactivity class in combination with low-alkali cement as specified in DIN 1164-10 or other aggregates that are not reactive to alkalis (alkali reactivity class: E I, E I-O – E I-OF or E I-S) in order to avoid ASR damage. These requirements take all the potentially possible material combinations into account (“worst-case scenario”). This means that there are concrete compositions that do not fulfil the above-mentioned requirements but which, in spite of this, would not lead to any ASR damage in practice. In order to be able to use such concrete compositions the Alkali Guidelines have, since the 2007 edition, allowed their use if the lack of reactivity to alkalis is verified by an expert report. As a rule, such an expert report is based on an ASR performance test. The ASR performance test should provide information about whether a concrete composition is sufficiently non-reactive to alkalis in the appropriate moisture class so that it will not be damaged by an ASR during the planned service life. The ASR performance

Tafel 1: Gesteinskörnungen und Dehnungen im 60 °C-Betonversuch nach Alkali-Richtlinie in mm/m  
 Table 1: Aggregates and expansions in mm/m in the 60 °C concrete test as specified in the Alkali Guidelines

Gesteinskörnung Aggregate	Alkaliempfindlichkeitsklasse Alkali reactivity class	Dehnung im 60 °C-Betonversuch Expansion in the 60 °C concrete test
Rheinkies <i>Rhine gravel</i>	E I	0,24
Rhyolith-Splitt <i>Crushed rhyolite</i>	E I-S	0,07
Kies-Edelsplitt vom Oberrhein <i>Crushed gravel from the Upper Rhine Graben</i>	E III-S	1,22
Grauwacke-Splitt <i>Crushed greywacke</i>	E III-S	2,04
Natursand <i>Natural sand</i>	E I	–

planten Nutzungsdauer nicht durch eine AKR geschädigt wird. Die AKR-Performance-Prüfverfahren und die Bedingungen für den Konformitätsnachweis sind bisher nicht in der Alkali-Richtlinie beschrieben. CEN/TR 16349 sieht grundsätzlich die Möglichkeit vor, die Alkaliempfindlichkeit eines Betons mithilfe von AKR-Performance-Prüfungen zu beurteilen [2], enthält aber ebenfalls keine weiteren Details. Der 60 °C-Betonversuch (ohne Alkalizufuhr) ist seit 2004 in AFNOR P 18-454 [3] genormt und wird in Frankreich und der Schweiz zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen angewendet [4, 5].

Bevor auch in Deutschland AKR-Performance-Prüfungen Eingang in die Alkali-Richtlinie finden können, muss der Nachweis erbracht werden, dass Betone, die nach den Regeln der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt und anwendbar sind, auch entsprechend bewertet werden. Die Festlegungen der Alkali-Richtlinie spiegeln die Erfahrungen mit Betonen in Deutschland wider, die entweder keine AKR-Schäden aufweisen oder mit denen nachweislich AKR-Schäden aufgetreten sind. Mit der Alkali-Richtlinie können Hoch- und Ingenieurbauwerke mit regional verfügbaren Betonausgangsstoffen sicher gebaut werden.

Im IGF-Vorhaben 16569 N wurden der

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

verwendet.

Um festzustellen, unter welchen Bedingungen die Prüfverfahren die Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklassen WF und WA in Übereinstimmung mit den Festlegungen der Alkali-Richtlinie abbilden, wurden Betone entsprechend den Festlegungen der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt und unter Variation der Prüfbedingungen (Vorlagerung und Natriumchlorid-Konzentration) untersucht.

## 2 Untersuchungen

### 2.1 Ausgangsstoffe und Betone

Mit groben Gesteinskörnungen 2/16 mm unterschiedlicher Alkaliempfindlichkeitsklassen (Tafel 1) wurden in Kombination mit verschiedenen Zementen (Tafel 2) Betone hergestellt. Der Zementgehalt betrug 300, 350, 370, 400 oder 430 kg/m<sup>3</sup> und der Wasserzementwert lag bei 0,42 oder 0,45. Sand wurde in allen Betonen zu rd. 30 Vol.-% eingesetzt. Von der groben Gesteinskörnung wurden in der Regel 40 Vol.-% der Korngruppe 2/8 und 30 Vol.-% der Korngruppe 8/16 verwendet. Tafel 1 zeigt die Dehnung der groben Gesteinskörnungen im 60 °C-Betonversuch nach Alkali-Richtlinie. Die Dehnung der Grauwacke E III-S und des Kies-Edelsplitts vom Oberrhein E III-S lag im Alter von 140 Tagen deut-

test methods and the conditions for attestation of conformity have not yet been described in the Alkali Guidelines. CEN/TR 16349 allows, in principle, for the possibility of assessing the alkali reactivity with the aid of ASR performance tests [2] but contains no further details. The 60 °C concrete test (without alkali supply) has, since 2004, been included in the AFNOR P 18-454 standard [3] and is used in France and Switzerland for evaluating the alkali reactivity of concrete compositions [4, 5].

Before the ASR performance tests can also find their way into the Alkali Guidelines in Germany it must be proved that concrete compositions that are composed, and can be used, in accordance with the rules in the Alkali Guidelines can also be evaluated appropriately. The requirements in the Alkali Guidelines reflect the experience in Germany with concrete compositions that either exhibit no ASR damage or with which ASR damage has been shown to occur. Using the Alkali Guidelines it is possible to construct buildings and civil engineering works safely with regionally available concrete constituents.

The following tests were used in the IGF project 16569 N:

- “the 60 °C concrete test without alkali supply” for evaluating the alkali reactivity of concrete compositions of the WF moisture class (environment: concrete element is exposed to extraneous moisture, complies with E2 of CEN/TR 16349 [2]) and
- “the 60 °C concrete test with alkali supply” for evaluating the alkali reactivity of concrete compositions of the WA moisture class (environment: concrete element is exposed to extraneous moisture and to external supply of alkalis, complies with E3 of CEN/TR 16349 [2]).

In order to establish the conditions under which the test methods reproduce the lack of reactivity to alkalis of concrete compositions of the WF and WA moisture classes in agreement with the requirements of the Alkali Guidelines, concretes were made up in accordance with the requirements of the Alkali Guidelines and examined under varying test conditions (preliminary storage and sodium chloride concentration).

## 2 Investigations

### 2.1 Initial constituents and concrete compositions

Concrete compositions were produced with coarse 2/16 mm aggregates of different alkali reactivity classes (Table 1) in combination with various cements (Table 2). The cement content was 300, 350, 370, 400 or 430 kg/m<sup>3</sup> and the water/cement ratio was 0.42 or 0.45. Sand was used in all the concrete compositions at about 30 vol. %. As a rule the coarse aggregate contained 40 vol. % of the 2/8 particle size group and 30 vol. % of the 8/16 particle size group. Table 1 shows the expansion of the coarse aggregates in the 60 °C concrete test as specified in the Alkali Guidelines. After 140 d the expansion of the reactive greywacke (E III-S) and of the reactive crushed gravel from the Upper Rhine Graben (E III-S) lay significantly above the limit value of 0.30 mm/m. The non-reactive

Tafel 2: Zemente, Zusammensetzung und Na<sub>2</sub>O-Äquivalent  
 Table 2: Cements, composition and Na<sub>2</sub>O-equivalent

Zement/Cement		Anteil <sup>1)</sup> /Bestandteil [M.-%] Proportion <sup>1)</sup> /constituent [mass %]	Na <sub>2</sub> O-Äquivalent [M.-%] Na <sub>2</sub> O-equivalent [mass %]		
			Zement ohne S Cement without S	S, FA	Gesamtzement Total cement
1	CEM I 42,5 R	–	–	–	1,19
2	CEM I 42,5 R	–	–	–	1,01
3	CEM I 42,5 R	–	–	–	0,99
4	CEM I 42,5 N	–	–	–	0,81
5	CEM I 42,5 N	–	–	–	0,62
6	CEM III/A [42,5 R]	44 S	1,19	0,61	0,94
7	CEM III/A [42,5 N]	44 S		0,92	1,07
8	CEM I 32,5 R	–	–	–	0,89
9	CEM I 42,5 N (st)	–	–	–	0,67
10	CEM I 42,5 N-NA	–	–	–	0,56
11	CEM I 42,5 R (1) + 20 M.-%/mass % FA	–	–	2,47	1,19
12	CEM I 42,5 R (1) + 30 M.-%/mass % FA	–			

S: Hüttensand, FA: Flugasche/S: granulated blastfurnace slag, FA: fly ash  
 [ ]: Festigkeitsklasse des Laborzements/[ ]: strength class of the laboratory cement  
<sup>1)</sup> Anteil bezogen auf den sulfatfrei Zement/<sup>1)</sup> Proportion relative to the cement without sulfate agent

lich über dem Grenzwert von 0,30 mm/m. Der Rheinkies E I und der Rhyolith E I-S zeigten Dehnungen unterhalb des Grenzwerts.

## 2.2 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr

Die Betone für die Feuchtigkeitsklasse WF wurden mit dem „60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr“ geprüft. Der Prüfverlauf entspricht dem 60 °C-Betonversuch nach Alkali-Richtlinie, Anhang C [1]. Die Prüfungen wurden als bestanden bewertet, wenn die Dehnungen im Alter von 140 Tage  $\leq$  0,20 mm/m betragen. Dieser Orientierungswert wurde in Anlehnung an AFNOR FD P 18-456 [4] gewählt. Bei flugaschehaltigen Betonen 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 28 bzw. 91 Tagen anstelle von nur einem Tag durchgeführt.

## 2.3 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr

Die Betone für die Feuchtigkeitsklasse WA wurden mit dem „60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr“ von außen geprüft [6, 7]. Das Prüfverfahren wurde ursprünglich zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für Fahrbahndecken aus Beton (Feuchtigkeitsklasse WS) entwickelt. Hier wurde das Verfahren zur Bewertung von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA mit einer 3 %igen bzw. einer 10 %igen Natriumchlorid-Lösung (NaCl) verwendet, um das Verfahren auf die Feuchtigkeitsklasse WA anzupassen und eine praxisgerechte Bewertung zu erzielen. Bei einigen Betonen wurde zusätzlich eine Prüfung mit einer Vorlagerung von 91 Tagen durchgeführt.

## 2.4 Freilagerlagerung

Um die Ergebnisse der Laboruntersuchungen mit dem Verhalten der Betone unter praktischen Bedingungen vergleichen zu können, lagerten einige Betone zusätzlich im Freilager. Die Prüfung wird seit den 1970er-Jahren in dieser Form durchgeführt [8].

Rhine gravel (E I) and the non-reactive rhyolite (E I-S) exhibited expansions below the limit value.

## 2.2 60 °C concrete test without alkali supply

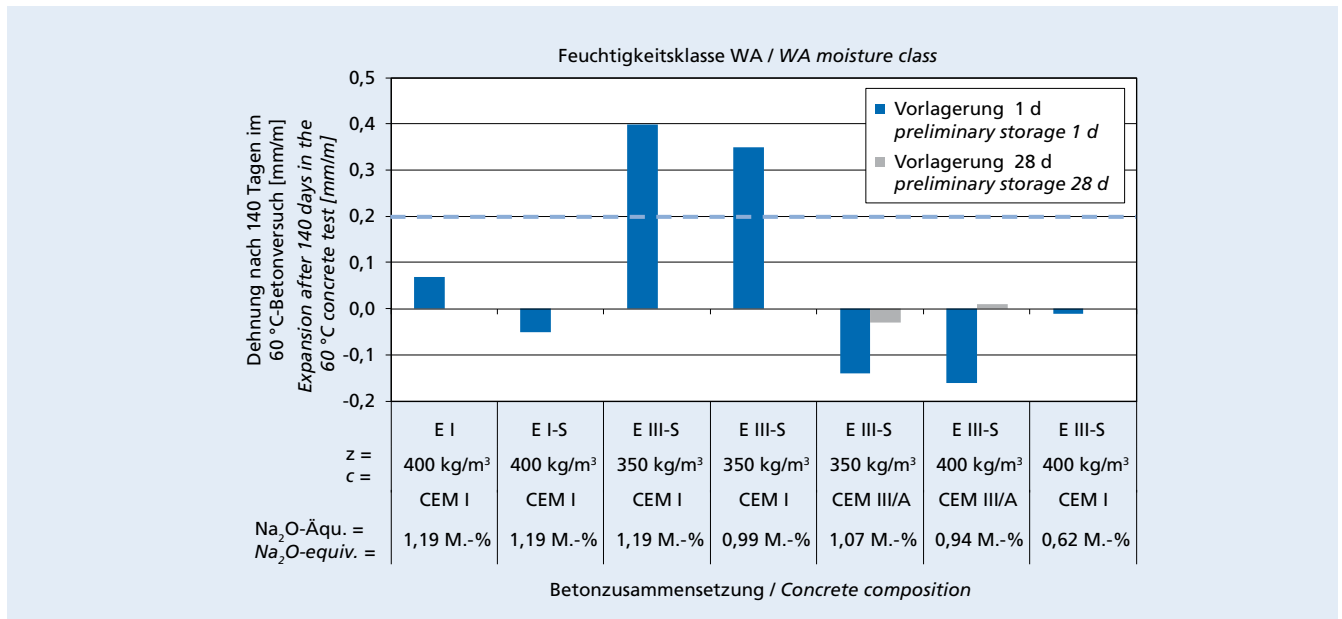
The concrete compositions for the WF moisture class (wet environment) were tested with the “60 °C concrete test without alkali supply”. The test procedure corresponded to the 60 °C concrete test as specified in the Alkali Guidelines, Appendix C [1] that is based on AFNOR P 18-454 standard [3]. The tests were evaluated as passed if the expansions after 140 d were  $\leq$  0.20 mm/m. This limit value was chosen on the basis of AFNOR FD P 18-456 [4]. For concrete compositions containing fly ash the expansion based on AFNOR FD P 18-456 was compared with the limit values of 0.20 mm/m after 140 d and 0.30 mm/m after 52 weeks. Additional investigations were carried out in some cases with preliminary storage of 28 or 91 d instead of only one day.

## 2.3 60 °C concrete test with alkali supply

The concrete compositions for the WA moisture class (wet environment + external alkali supply) were tested with the “60 °C concrete test with external alkali supply” [6, 7]. The test method was originally developed for evaluating the alkali reactivity of concrete compositions for concrete road surfaces (WS moisture class: wet environment + external alkali supply + dynamic loads). The method was used here for evaluating concrete compositions for the WA moisture class with a 3 % or 10 % sodium chloride solution (NaCl) in order to adapt the method to the WA moisture class and achieve a practical method of evaluation. Tests were also carried out with a preliminary storage time of 91 d for some concrete compositions.

## 2.4 Storage in the outdoor exposure site

Some concrete compositions were also stored in the outdoor exposure site in order to compare the results of the laboratory investigations with the behaviour of the concrete compositions under practical conditions. The testing has been carried out in this way since the 1970s [8].



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

**Figure 1:** Expansion of various concrete compositions after 140 days in the 60 °C concrete test without external alkali supply, 1 day preliminary storage at 20 °C/100 % r.h. (blue) and 28 days preliminary storage at 20 °C/100 % r.h. (grey), limit based on AFNOR FD P 18-456 [4]

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Feuchtigkeitsklasse WF

Es wurden Betone entsprechend den Festlegungen der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt. Gemäß Alkali-Richtlinie sind bei diesen Betonen in Bauwerken, die feuchter Umgebung ausgesetzt sind, während einer Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren keine AKR-Schäden 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. 28 Tage bei 20 °C und 100 % r. F. (graue Werte).

Die Ergebnisse zeigen, dass fünf Betone bei Ansatz des Orientierungswerts von 0,20 mm/m gemäß AFNOR FD P 18-456 [4] die Prüfung bestanden. Zwei Betone (E III-S, z = 350 kg/m<sup>3</sup> 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 zunächst 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 [9, 10]. Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

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.

Bei Beton der Feuchtigkeitsklasse WF, einem Zementgehalt von 400 kg/m<sup>3</sup> und Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S muss gemäß Alkali-Richtlinie ein NA-Zement eingesetzt werden. Deshalb wurde ein Beton mit Grauwacke-Splitt (E III-S) und Portlandzement mit einem Na<sub>2</sub>O-Äquivalent von 0,62 M.-% untersucht. Das Na<sub>2</sub>O-Äquivalent 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.

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-Richt-

### 3 Results

#### 3.1 WF moisture class

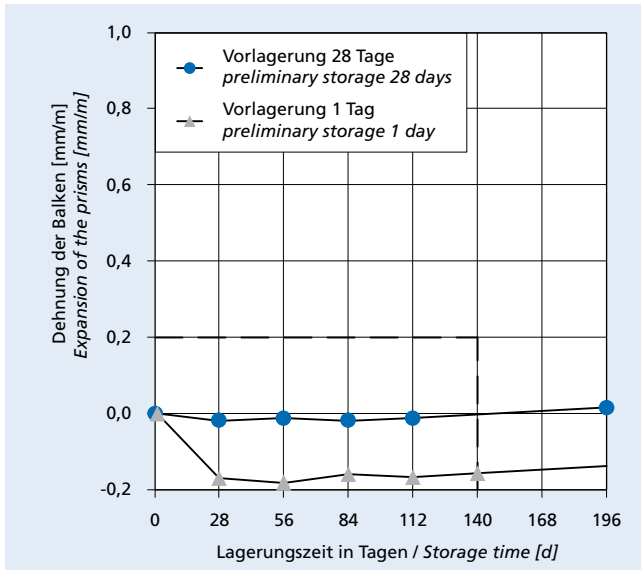
Concrete compositions were made up in accordance with the requirements of the Alkali Guidelines. According to the Alkali Guidelines these concretes are not expected to exhibit any ASR damage in structures that are exposed to a moist environment during a service life of at least 50 years. The expansions after 140 d in the 60 °C concrete test are summarized in Fig. 1. In some cases the concrete compositions containing blastfurnace cements were stored for 28 d at 20 °C and 100 RH (grey values) before the start of the test.

The results show that five concrete compositions passed the test when employing the limit value of 0.20 mm/m as specified in AFNOR FD P 18-456 [4]. Two concrete compositions (E III-S, z = 350 kg/m<sup>3</sup>, and CEM I cement) exhibited expansions above the limit value. In these cases the results of the “60 °C concrete test without alkali supply” lay on the safe side. It is recommended that the limit value should not be changed initially because investigations in Switzerland show that with this method it is possible to differentiate appropriately between non-reactive and potentially reactive concrete compositions if the concrete compositions are produced with Portland cement [9, 10]. The results are discussed in detail below.

Concrete compositions containing aggregates that are non-reactive to alkalis (E I and E I-S) passed the 60 °C concrete test even though the cement content of 400 kg/m<sup>3</sup> and the Na<sub>2</sub>O-equivalent of the cement of 1.19 mass % were high. In both cases the test method correctly reproduces the requirements of the Alkali Guidelines that do not lay down any requirements for the alkali content of the cement or for the cement content for the E I and E I-S alkali reactivity classes (non-reactive aggregates).

According to the Alkali Guidelines, low-alkali cement must be used for concrete compositions in the WF moisture class with a cement content of 400 kg/m<sup>3</sup> and reactive aggregates in the E III-S alkali reactivity class. An investigation was therefore carried out on a concrete composition containing crushed greywacke (E III-S) and Portland cement with Na<sub>2</sub>O-equivalent of 0.62 mass %. The Na<sub>2</sub>O-equivalent lies only slightly above the limit of 0.60 mass % that, according to DIN 1164-10, applies to Portland cement with low-alkali content. The concrete composition exhibited no expan-





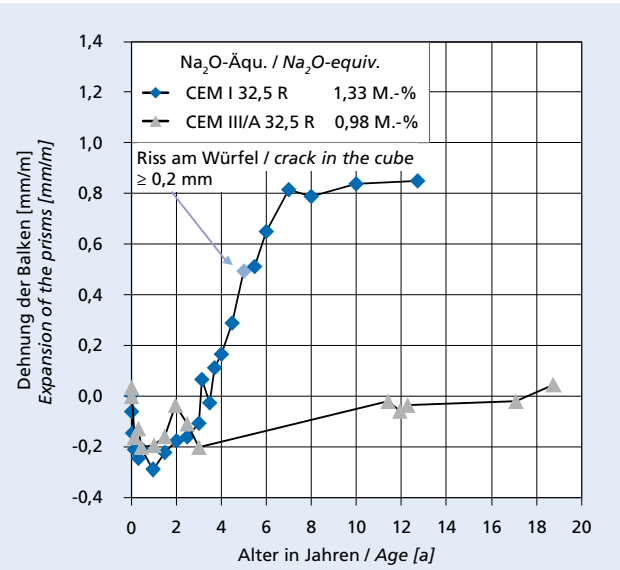
**Bild 2:** Dehnung eines Betons mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und CEM III/A 42,5 R (Laborzement) im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr bei verschiedenen Vorlagerungen. CEM III/A 42,5 R,  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äqu. = 0,94 M.-%,  $z = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z$ -Wert = 0,45, 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16.  
**Figure 2:** Expansion of a concrete composition made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and CEM III/A 42,5 R (laboratory cement) in the 60 °C concrete test without alkali supply. Concrete with different preliminary storage times. CEM III/A 42,5 R cement,  $\text{Na}_2\text{O}$ -equiv. = 0.94 mass %,  $c = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/c$  ratio = 0.45, 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % greywacke E III-S 2/16

linie bewertet (Bild 2). 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, könnte nicht 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, verringert sich die Schwinddehnung in der Prüfung deutlich. Bei Betonen mit hüttensandhaltigen und flugaschehaltigen Zementen ist eine Vorlagerung von 28 Tagen aus diesem Grund zu empfehlen.

In Bild 3 ist u.a. die Dehnung eines Betons im Freilager dargestellt, der mit einer präkambrischen Grauwacke der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und CEM III/A hergestellt wurde. Nach 17 Jahren traten weder Risse noch Dehnungen auf. Im Vergleich dazu traten Dehnungen und Risse auf, wenn statt des CEM III/A ein CEM I mit einem hohen Alkaligehalt verwendet wird. Das Ergebnis bestätigt, dass bei dem in Bild 2 gezeigten Beton auch unter praxisnahen Bedingungen keine schädigende AKR zu erwarten ist.

In einem zweiten Schritt wurden Betone untersucht, die nur zum Teil die Anforderungen der Alkali-Richtlinie erfüllen. Bild 4 zeigt die Dehnungen von Betonen, die mit dem Grauwacke-Splitt E III-S, einem Zementgehalt von  $370 \text{ kg/m}^3$  und in Kombination mit verschiedenen Zementen hergestellt wurden. Die Alkali-Richtlinie legt für diesen Fall fest, dass ein NA-Zement eingesetzt werden muss. Mit dem Prüfverfahren konnte gut zwischen Betonen mit verschiedenen Zementen und Alkaligehalten unterschieden werden. In der vorliegenden Materialkombination und Betonzusammensetzung könnte auf die Verwendung eines NA-Zements verzichtet werden. Ein Alkaligehalt des Portlandzements ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent) von 0,90 M.-% wäre aber bereits zu hoch.

Im dritten Schritt wurden flugaschehaltige Betone 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 die Orientierungswerte nach 140 Tagen ( $\leq 0,20 \text{ mm/m}$ ) und 52 Wochen ( $\leq 0,30 \text{ mm/m}$ ) nicht (Bild 5). Die Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Festlegungen



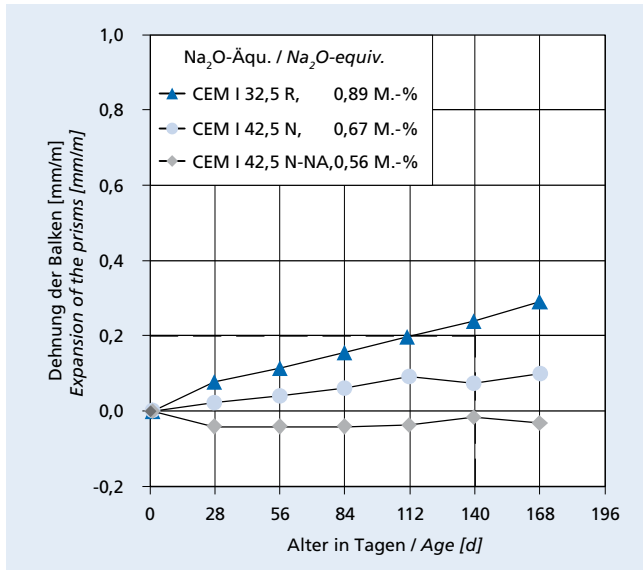
**Bild 3:** Dehnung eines Betons mit präkambrischer Grauwacke der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S mit verschiedenen Zementen im Freilager.  $z = 500 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z = 0,45$ , 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% präkambrische Grauwacke E III-S 2/16.  
**Figure 3:** Expansion of a concrete composition made with crushed precambrian greywacke of the E III-S alkali reactivity class and various cements, stored in the outdoor exposure site.  $c = 500 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/c = 0.45$ , 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % crushed precambrian greywacke E III-S 2/16

sions. The 60 °C concrete test therefore correctly reproduces the requirements of the Alkali Guidelines.

A concrete composition made with laboratory cement containing granulated blastfurnace slag that fulfils the requirements for low-alkali cements as specified in DIN 1164-10 also passed the test and the evaluation corresponded to the Alkali Guidelines (Fig. 2). With cements containing granulated blastfurnace slag the concrete initially exhibited shrinkage deformation within the first 28 d when it was stored above water at 60 °C in the test reactor at the age of one day. If expansion due to an ASR occurred in the first 28 d it would not be possible to differentiate between the shrinkage and the ASR expansion. The shrinkage during the test is significantly reduced if the concrete is exposed to hydration through preliminary storage at 20 °C for 28 d. Preliminary storage for 28 d is therefore to be recommended for concrete compositions made with cements containing granulated blastfurnace slag and fly ash.

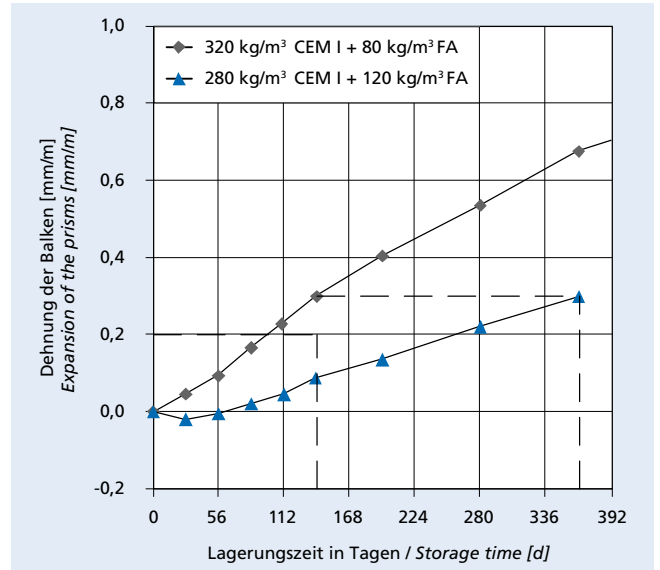
Fig. 3 shows, among other things, the expansion of a concrete in the outdoor exposure site that was produced with a Precambrian greywacke of the E III-S alkali reactivity class and CEM III/A cement. Neither cracks nor expansion had occurred after 19 years. In contrast to this, expansion and cracks occurred when a CEM I cement with high alkali content was used instead of the CEM III/A cement. This result confirms that no damaging ASR is to be expected under practical conditions with the concrete composition shown in Fig. 2.

Concrete compositions that only partially fulfil the requirements of the Alkali Guidelines were investigated in a second stage. Fig. 4 shows the expansions of concrete compositions that were produced with the E III-S crushed greywacke and a cement content of  $370 \text{ kg/m}^3$  in combination with various cements. The Alkali Guidelines stipulate that low-alkali cement must be used in this situation. With the test method it was possible to differentiate well between concrete compositions made with different cements and alkali contents. The use of low-alkali cement could be dispensed with the above-mentioned material combination and concrete composition. However, an alkali content of the Portland cement ( $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent of 0.90 mass %) would be too high.



**Bild 4:** Dehnung unterschiedlicher Betone mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und unterschiedlichen Portlandzementen im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr.  $z = 370 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z$ -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

**Figure 4:** Expansion of various concrete compositions made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and various Portland cements in the 60 °C concrete test without alkali supply.  $c = 370 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/c \text{ ratio} = 0,42$ , air voids =  $4.5 \pm 0.5 \text{ vol. \%}$ , 31 vol. % sand 0/2, 69 vol. % crushed greywacke E III-S 2/22



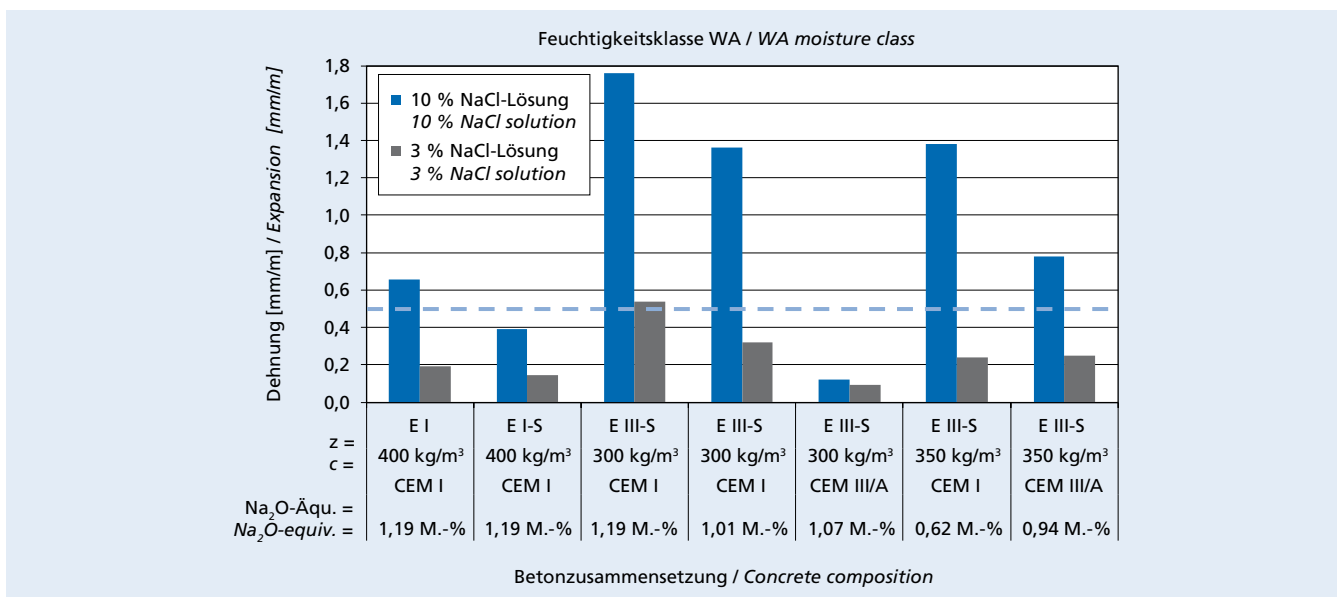
**Bild 5:** Dehnung eines Betons mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, Portlandzement und Flugasche (FA) im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr bei einer Vorlagerung von 28 Tagen. CEM I 42,5,  $z + f = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äqu. CEM I = 1,19 M.-%,  $w/(z + f) = 0,45$  ( $k = 1,0$ ), 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16

**Figure 5:** Expansion of a concrete composition made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class, Portland cement and fly ash (FA) in the 60 °C concrete test without alkali supply, with a preliminary storage time of 28 days. CEM I 42,5 cement,  $c + f = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ -equiv. CEM I = 1.19 mass %,  $w/(c + f) = 0.45$  ( $k = 1.0$ ), 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % greywacke E III-S 2/16

der Alkali-Richtlinie zu sehen, 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-Zements fest.

Der Beton mit  $320 \text{ kg/m}^3$  Portlandzement und  $80 \text{ kg/m}^3$  Flugasche zeigt deutlich höhere Dehnungen (Bild 5). 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 Prüfverfahren bewertet

Concrete compositions containing fly ash and an alkali-reactive aggregate (E III-S) were investigated in a third stage. The expansions of the concrete composition made with  $280 \text{ kg/m}^3$  Portland cement and  $120 \text{ kg/m}^3$  fly ash did not exceed the limit values after 140 d ( $\leq 0.20 \text{ mm/m}$ ) and 52 weeks ( $\leq 0.30 \text{ mm/m}$ ) (Fig. 5). The results can be regarded as being in compliance with the stipulations of the Alkali Guidelines that do not lay down any requirements for this case because the cement content is  $\leq 350 \text{ kg/m}^3$ . The Alkali Guidelines stipulate the use of low-alkali cement for cement contents  $> 350 \text{ kg/m}^3$ .



**Bild 6:** Dehnung unterschiedlicher Betone nach zehn Zyklen der Wechsellagerung im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen durch eine 3 %ige (grau) und eine 10 %ige Natriumchloridlösung (blau)

**Figure 6:** Expansion of various concrete compositions after ten cycles of alternating storage in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % (grey) and a 10 % (blue) sodium chloride solution

damit bei Ansatz der verwendeten Orientierungswerte Betone auf der sicheren Seite liegend.

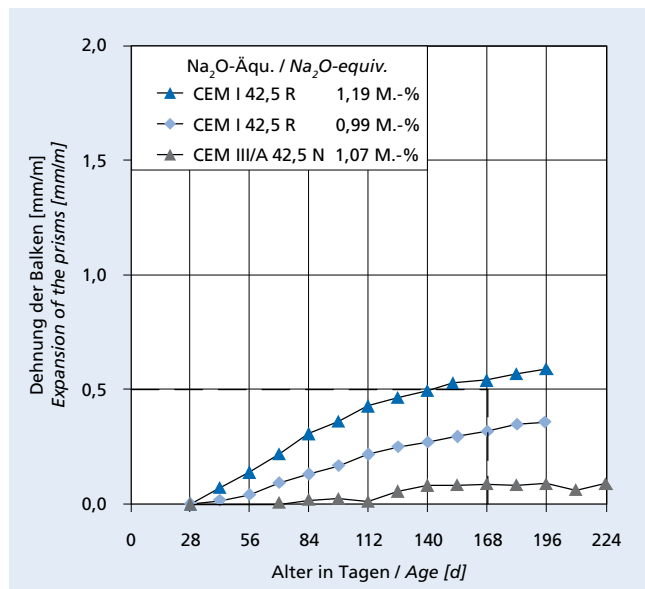
### 3.2 Feuchtigkeitsklasse WA

In Bild 6 sind die Dehnungen nach zehn Zyklen der Wechsellaagerung für verschiedene Betone bei einer Alkalizufuhr durch eine 3 %ige und eine 10 %ige Natriumchlorid-Lösung dargestellt. Die Betone entsprechen den Festlegungen der Alkali-Richtlinie. Ein AKR-Schaden ist nicht zu erwarten. Bei einer 10 %igen NaCl-Lösung weisen vier der sieben Betone nach zehn Zyklen der Wechsellaagerung Dehnungen auf, die über dem Grenzwert von 0,50 mm/m liegen. In diesem Fall würden die Betone von einer Verwendung ausgeschlossen werden, obwohl sie nach Alkali-Richtlinie eingesetzt werden dürften. Die Prüfung mit einer 10 %igen NaCl-Lösung erscheint daher nicht sachgemäß.

Werden die Betone mit einer 3 %igen Natriumchlorid-Lösung geprüft, liegen die Dehnungen bei sechs von sieben Betonen unter dem Grenzwert. Ein Beton weist Dehnungen auf, die knapp über dem Grenzwert liegen. Mit einer 3 %igen Natriumchlorid-Lösung werden Betone auf der Basis dieser Ergebnisse praxisgerecht bewertet. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Betonversuche mit einer 3 %igen Natriumchlorid-Lösung dargestellt und diskutiert.

Bei einem Beton mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und einem Zementgehalt von 300 kg/m<sup>3</sup> sind gemäß Alkali-Richtlinie keine Maßnahmen anzuwenden. Bild 7 zeigt die Dehnungen von Betonen, die mit verschiedenen Zementen hergestellt wurden. Wie bereits oben beschrieben, überschreitet die Dehnung den Grenzwert bei einem hohen Na<sub>2</sub>O-Äquivalent von 1,19 M.-% geringfügig. Gemäß diesem Ergebnis werden die Festlegungen der Alkali-Richtlinie auf der sicheren Seite liegend mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr abgebildet. Nicht alle Betone, die den Festlegungen der Alkali-Richtlinie entsprechen, würden die Prüfung bestehen.

In Bild 8 sind die Dehnungen von Betonen dargestellt, die aufgrund des Zementgehalts von 350 kg/m<sup>3</sup> gemäß Alkali-Richtlinie nur mit NA-Zementen verwendet werden dürfen. Einer der verwendeten Portlandzemente CEM I wies ein Na<sub>2</sub>O-Äquivalent von 0,62 M.-% auf und lag damit an der Grenze zum NA-Zement.



**Bild 7:** Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung.  $z = 300 \text{ kg/m}^3$ , w/z-Wert = 0,45, 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/16

**Figure 7:** Expansion of concrete compositions made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and various cements in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution.  $c = 300 \text{ kg/m}^3$ , w/c ratio = 0.45, 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % crushed greywacke E III-S 2/16

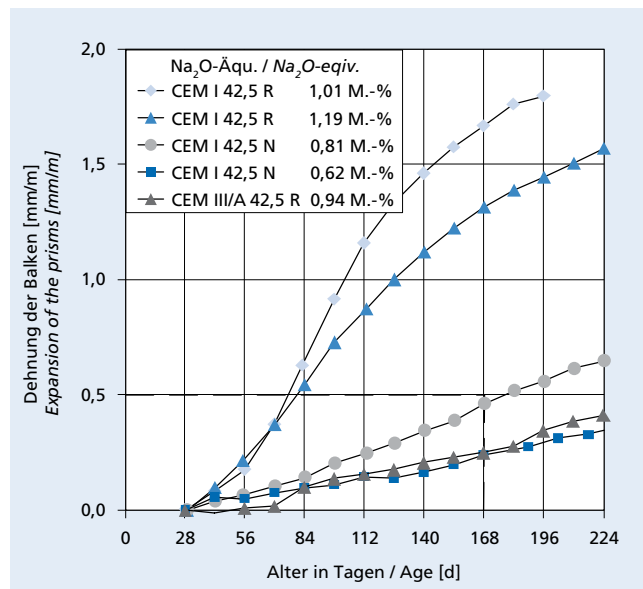
The concrete composition containing 320 kg/m<sup>3</sup> Portland cement and 80 kg/m<sup>3</sup> fly ash exhibited significantly higher expansions (Fig. 5). After both 140 d and 52 weeks the expansions lay above the limit values. According to the Alkali Guidelines this concrete composition may be used without further measures because the cement content is  $\leq 350 \text{ kg/m}^3$ . This means that when the limit values are applied then the evaluations of the concrete compositions by the test method lie on the safe side.

### 3.2 WA moisture class

The expansions after ten cycles of alternating storage are shown in Fig. 6 for various concrete compositions with supply of alkalis through a 3 % and a 10 % sodium chloride solution. The concrete compositions correspond to the requirements of the Alkali Guidelines. ASR damage is not to be expected. With a 10 % NaCl solution four of the seven concrete compositions exhibited expansions after 10 cycles of alternating storage that lay above the limit of 0.50 mm/m. In this case the concrete compositions would be debarred from use although, according to the Alkali Guidelines, their use would be permitted. Testing with a 10 % NaCl solution does not therefore appear to be appropriate.

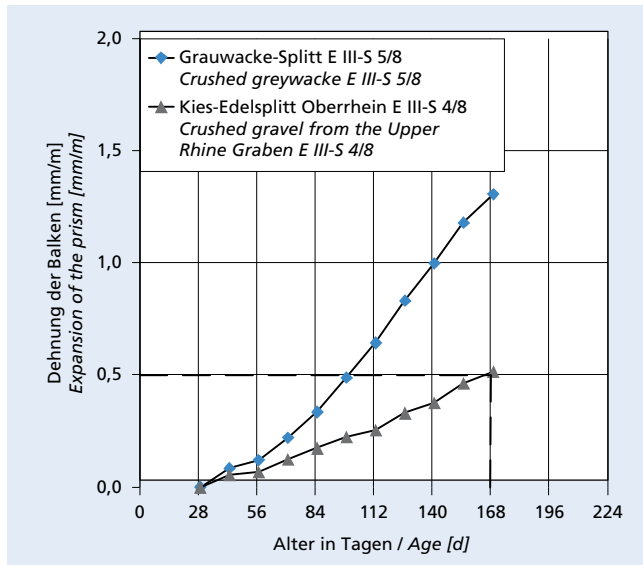
If the concrete compositions are tested with a 3 % sodium chloride solution the expansions lie under the limit value for six of the seven concretes. One concrete exhibits expansions that lie just over the limit value. On the basis of these results the evaluation of concrete compositions using a 3 % sodium chloride solution is in line with practical experience. The results of the concrete tests with a 3 % sodium chloride solution are presented and discussed below.

According to the Alkali Guidelines it is not necessary to apply any measures for a concrete composition with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and a cement content of 300 kg/m<sup>3</sup>. Fig. 7 shows the expansions of concrete compositions produced with various cements. As already described above, the expansion exceeds the limit value slightly with a high Na<sub>2</sub>O-equivalent of 1.19 mass %. This result shows that the requirements of the Alkali Guidelines are reproduced on the safe side by the 60 °C concrete test with alkali supply. However, not all the concrete compositions



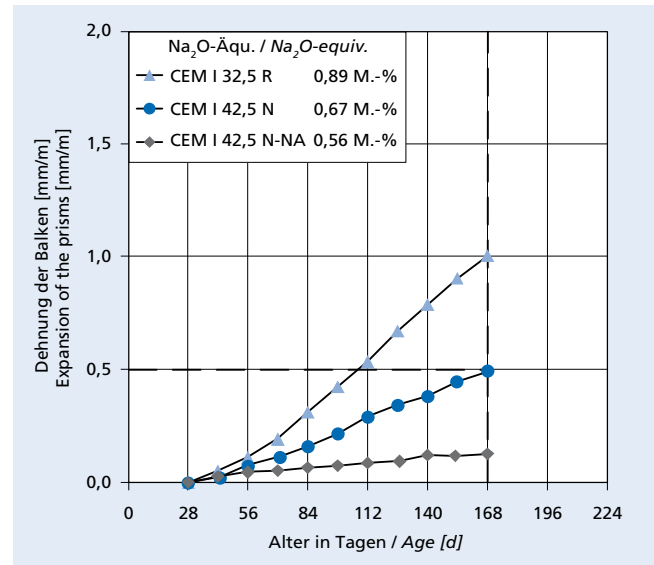
**Bild 8:** Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung.  $z = 350 \text{ kg/m}^3$ , w/z-Wert = 0,45, 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 2/16

**Figure 8:** Expansion of concrete compositions made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and various cements in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution.  $c = 350 \text{ kg/m}^3$ , w/c ratio = 0.45, 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % crushed greywacke E III-S 2/16



**Bild 9:** Dehnung von Betonen mit verschiedenen Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung. 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 =  $5,5 \pm 0,5 \text{ Vol.-%}$ , 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke-Splitt E III-S 5/8 bzw. Kies-Edelsplitt E III-S 4/8

**Figure 9:** Expansion of concrete compositions made various aggregates of the E III-S alkali reactivity class in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution. CEM I 42,5 N cement,  $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent = 0.62 mass %,  $c = 430 \text{ kg/m}^3$ , w/c ratio = 0.42, air voids =  $5.5 \pm 0.5 \text{ vol. \%}$ , 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % crushed greywacke E III-S 5/8 or crushed gravel from the Upper Rhine Graben E III-S 4/8



**Bild 10:** Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S und verschiedenen Zementen im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung.  $z = 370 \text{ kg/m}^3$ , w/z-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

**Figure 10:** Expansion of concrete compositions made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class and various cements in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution.  $c = 370 \text{ kg/m}^3$ , w/c ratio = 0.42, air voids =  $4.5 \pm 0.5 \text{ vol. \%}$ , 31 vol. % sand 0/2, 69 vol. % crushed greywacke E III-S 2/22

Der CEM III/A (Laborzement) erfüllte mit einem  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent von 0,94 M.-% ebenfalls die Anforderung für einen NA-Zement. Beide Betone bestanden mit einer 3 %igen NaCl-Lösung die Prüfung. Die Prüfung bildet damit die Alkaliempfindlichkeit des Betons entsprechend der Alkali-Richtlinie ab.

Wird kein NA-Zement eingesetzt, weisen die Betone Dehnungen über dem Orientierungswert auf. Eine Ausnahme bildet 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 Orientierungswerts und einen kontinuierlichen Dehnungsanstieg.

Die Bilder 9 und 10 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 Orientierungswerts lagen. Beide Betone dürfen gemäß der Alkali-Richtlinie nicht eingesetzt werden. Die E III-S-Gesteinskörnung müsste gegen eine alkaliempfindliche Gesteinskörnung (E I, E I-S, E I-O-E I-OF) ausgetauscht werden.

Im Einzelfall kann durch den Einsatz eines NA-Zements 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) bestand sie nicht (Bild 9).

Bei zwei flugaschehaltigen Betonen lagen die Dehnungen im Bereich bzw. über dem Orientierungswert von 0,50 mm/m (Bild 11). Die Alkali-Richtlinie legt für beide Betone keine Anforderung fest, da mit  $245 \text{ kg/m}^3$  bzw.  $280 \text{ kg/m}^3$  Portlandzement die Zementgehalte kleiner  $300 \text{ kg/m}^3$  sind. Die Ergebnisse zeigen, dass Betone auf der sicheren Seite liegend bewertet werden.

#### 4 Zusammenfassung

Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion an Betonbauwerken können vermieden werden, indem Betone mit ausreichend geringer Alkaliempfindlichkeit eingesetzt werden. Im IGF-Vorhaben 16569 N wurden Kriterien für AKR-Performance-Prüf-

that meet the requirements of the Alkali Guidelines would pass the test.

Fig. 8 shows the expansions of concrete compositions that, according to the Alkali Guidelines, may only be used with low-alkali cements because of the cement content of  $350 \text{ kg/m}^3$ . One of the CEM I Portland cements used had a  $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent of 0.62 mass % and therefore lay at the limit for low-alkali cement. The CEM III/A (laboratory) cement with a  $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent of 0.94 % also fulfilled the requirements for low-alkali cement. Both concrete compositions passed the test with a 3 % NaCl solution. The test therefore reproduces the lack of reactivity of the concrete composition to alkalis in line with the Alkali Guidelines.

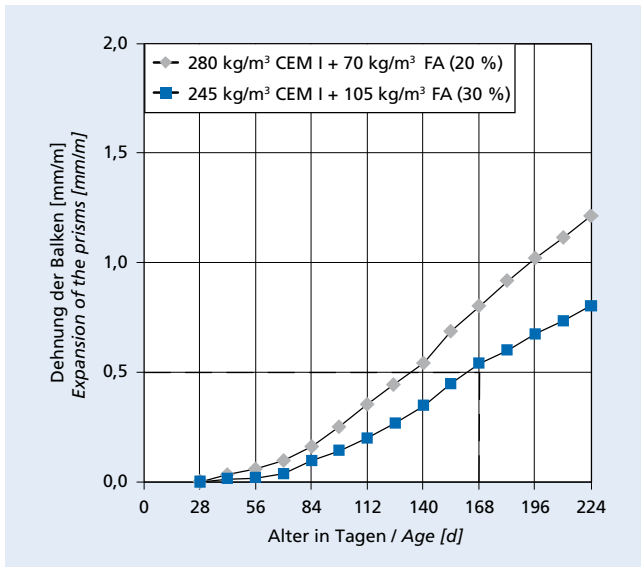
If low-alkali cement is not used the concrete compositions exhibit expansions above the limit value. One exception is the concrete composition with CEM I cement and a  $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent of 0.81 mass %. This concrete composition exhibited expansions close to the limit value and a continuous increase in expansion.

Figs. 9 and 10 show that the expansions of concrete compositions with an E III-S aggregate and  $430 \text{ kg/m}^3$  CEM I 42,5 N cement ( $\text{Na}_2\text{O}$ -equiv. = 0.62 mass %) or  $370 \text{ kg/m}^3$  CEM I 32,5 R cement ( $\text{Na}_2\text{O}$ -equiv. = 0.89 mass %) lay significantly above the limit value. According to the Alkali Guidelines neither of the two concrete compositions could be used. The reactive aggregate (E III-S) would have to be replaced by a non-reactive aggregate (E I, E I-S, E I-O-E I-OF).

In individual cases the test can be passed by using low-alkali cement but this is not generally the case. The concrete composition with  $370 \text{ kg/m}^3$  low-alkali cement ( $\text{Na}_2\text{O}$ -equivalent = 0.56 mass %) passed the test. The concrete with  $430 \text{ kg/m}^3$  low-alkali cement and the reactive crushed greywacke (E III-S) did not pass it (Fig. 9).

With two concrete compositions containing fly ash the expansions lay close to or above the limit value of 0.50 mm/m (Fig. 11). The Alkali Guidelines do not stipulate any requirements for these two concretes because the cement contents of  $245 \text{ kg/m}^3$  and  $280 \text{ kg/m}^3$  Portland cement respectively are lower than  $300 \text{ kg/m}^3$ .





**Bild 11:** Dehnung von Betonen mit Grauwacke-Splitt der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, Portlandzement und Flugasche im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung. CEM I 42,5 R, Na<sub>2</sub>O-Äqu. = 1,19 M.-%, z + f = 350 kg/m<sup>3</sup>, w/(z + f) = 0,45 (k = 1,0), 30 Vol.-% Sand 0/2, 70 Vol.-% Grauwacke E III-S 2/16  
**Figure 11:** Expansion of concrete compositions made with crushed greywacke of the E III-S alkali reactivity class, Portland cement and fly ash in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution. CEM I 42,5 cement, Na<sub>2</sub>O-equiv. = 1.19 mass %, c + f = 350 kg/m<sup>3</sup>, w/(c + f) = 0.45 (k = 1.0), 30 vol. % sand 0/2, 70 vol. % greywacke E III-S 2/16

verfahren erarbeitet, um die Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA praxisgerecht bewerten zu können. Dazu wurde untersucht, 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 Betonen in Deutschland wider, die entweder keine AKR-Schäden aufweisen oder mit denen nachweislich AKR-Schäden aufgetreten sind. Der Einfluss verschiedener Vorlagerungen und Natriumchlorid-Konzentrationen wurde untersucht.

#### 4.1 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.

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

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

- Alkalizufuhr von außen durch eine 3 %ige Natriumchloridlösung

These results show that the evaluation of the concrete compositions lies on the safe side.

## 4 Summary

Damage caused by an alkali-silica reaction in concrete structures can be avoided by using concrete compositions with a sufficiently low alkali reactivity. Criteria for ASR performance test methods were developed in IGF Project 16569 N so that practical evaluation of the alkali reactivity of concrete compositions of the WF and WA moisture classes could be carried out. Investigations were carried out to find the extent to which the 60 °C concrete test with and without external supply of alkalis reproduces the requirements concerning measures in the Alkali Guidelines issued by the German Committee for Structural Concrete (DAfStb) for the WF and WA moisture classes. The requirements in the Alkali Guideline reflect the experience with concrete compositions in Germany that either exhibit no ASR damage or with which there has been verifiable ASR damage. The influence of different types of preliminary storage and sodium chloride concentrations was investigated.

### 4.1 Evaluation of the alkali reactivity of concrete compositions in the WF moisture class

As a rule, the results of the 60 °C concrete tests (without external supply of alkalis) for evaluating the alkali reactivity of concrete composition of the WF moisture class agree well with the requirements of the Alkali Guidelines when an expansion limit of 0.20 mm/m after 140 days or 0.30 mm/m after 52 weeks is applied. Concrete compositions made with Portland cements and blastfurnace cement that had been produced while taking account of the preventive measures of the Alkali Guidelines exhibited a behaviour that, in the laboratory tests, complied almost without exception with the regulations when these criteria were applied.

Preliminary storage for 28 days at 20 °C is recommended both with cements containing granulated blastfurnace cement and when fly ash is used.

### 4.2 Evaluation of the alkali reactivity of concrete compositions of the WA moisture class

The alkali reactivity of concrete compositions of the WA moisture class was investigated using the “60 °C concrete tests with external supply of alkalis”. This method reproduces the requirements of the Alkali Guidelines under the following conditions:

- external supply of alkalis through a 3 % sodium chloride solution
- evaluation of the result using an expansion limit of 0.50 mm/m after ten cycles (168 days) of alternating storage.

The stressing and evaluation would be out of all proportion if a 10 % sodium chloride solution were used on solutions that have proved successful in practice.

### Funding note

IGF project 16569 N of the Forschungsvereinigung VDZ gGmbH was sponsored by the Federal Ministry of Economics and Energy through the AiF (Federation of Industrial Cooperative Research Associations) as part of the programme to promote Joint Industrial Research (IGF) based on a decision by the Germany Federal Parliament.

- Bewertung des Ergebnisses mit einem Dehnungsgrenzwert von 0,50 mm/m nach zehn Zyklen (168 Tagen) der Wechsellagerung

Mit einer 10 %igen Natriumchloridlösung würden praxisbewährte Lösungen unverhältnismäßig beansprucht und bewertet.

### Förderhinweis

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 Bundestags gefördert.

### Literatur / Literature

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb: Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Ausgabe Oktober 2013. 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] Siebel, E.; Böhm, M.; Borchers, I.; Müller, Ch.; Bokern, J.; Schäfer, E.: AKR-Prüfverfahren: Vergleichbarkeit und Praxis- Relevanz, Teil 1 und Teil 2. beton 56 (2006) H. 12, S. 599–604, und beton 57 (2007) H. 1+2, S. 63–71
- [7] Borchers, I.; Müller, Ch.: Assessment of the alkali-reactivity potential of specific concrete mixtures to mitigate damaging ASR in concrete structures. Proceeding of the Workshop on Performance-based Specifications for Concrete, MFPA Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen, Leipzig 2011, S. 98–106
- [8] Bonzel, J.; Dahms, J.: Alkalireaktion im Beton. beton 23 (1973) H. 11, S.495–500 und H. 12. S. 547–554; ebenso Betontechnische Berichte 1973, Beton-Verlag, Düsseldorf 1974, S. 153–189
- [9] Leemann, A.; Merz, Ch.: An attempt to validate the ultra-accelerated microbar and the concrete performance test with the degree of AAR-induced damage observed in concrete structures. Cement and Concrete Research 49 (2013) No. 7, p. 29–37
- [10] Leemann, A.; Merz, Ch.: Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung. ASTRA-Bericht. AGB 2005/023 und AGB 2006/003, Bern 2012