

Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied, 56564 Neuwied, Deutschland

# Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Durch die Gesteinskörnung verursachte Schäden an Betonbauteilen und Betonwaren

Einige der heute verwendeten Gesteinskörnungen enthalten alkalireaktive Kieselsäure. Diese kann mit dem im Porenwasser des Betons gelösten Alkalihydroxid unter Aufquellen zu einem Alkali-Kieselsäure-Gel reagieren. Diese Reaktion wird „Alkali-Kieselsäure-Reaktion“ (AKR) genannt und kann unter bestimmten Bedingungen zur massiven Schädigung des Betons führen.

Nach der bauaufsichtlichen Einführung der neuen Alkali-Richtlinie [5] und der neuen DIN 1045 2 [1] ergeben sich in ganz Deutschland weitreichende Konsequenzen sowohl für die Hersteller von Gesteinskörnungen und Betonen als auch für die Planer von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton.

■ Dipl. Min. Henning Rohowski,  
Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied,  
Deutschland ■

Zur Vermeidung einer beton-schädigenden AKR müssen die Hersteller von natürlichen und rezyklierten Gesteinskörnungen in Deutschland zur Verwendung in Betonen neuerdings die Alkaliempfindlichkeitsklasse ihrer Materialien angeben. Die Hersteller von Transportbeton und Fertigteilen aus Beton sind aus demselben Grunde verpflichtet, die Feuchtigkeitsklasse gemäß DIN 1045 2 [1] anzugeben, in welchen die gelieferten Betonprodukte eingesetzt werden dürfen.

## Alkali-Richtlinie

Die neueste Ausgabe der Alkali-Richtlinie [5] gliedert sich in drei Hauptteile und zwei informative Anhänge.

In Teil 1 wird dargestellt, welche Gesteinskörnungen hinsichtlich einer AKR als poten-

tiell alkaliempfindlich einzustufen sind und wie mit diesen Gesteinskörnungen im Rahmen der Alkalideklaration zu verfahren ist. Außerdem werden die Feuchteklassen (WO, WF, WA, WS) beschrieben. Die Feuchteklassen stellen die Umweltbedingungen dar, welchen die Betonbauteile im Einbauzustand dauerhaft ausgesetzt werden können.

In Teil 2 der Richtlinie werden Gesteinskörnungen aus dem Norden der Bundesrepublik Deutschland behandelt (siehe Abb. 1), die hinsichtlich der Alkali-reaktion als potentiell kritisch einzustufen sind (Alkalideklaration E I-O, E II-O, E III-O und E I-OF, E II OF, E III-OF).

In Teil 3 der Richtlinie wird die Vorgehensweise beschrieben, die bei bestimmten gebrochenen, potentiell alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen anzuwenden ist (Alkalideklaration E I-S und E III-S).

## Neuerungen durch die Einführung der neuen Alkali-Richtlinie

Die grundsätzliche Anwendung der Alkali-Richtlinie [5] auf jede Gesteinskörnung in Deutschland stellt die wichtigste Änderung der aktuellen Alkali-Richtlinie dar. Gemäß der aktuellen Bauregelliste muss zukünftig jede zur Betonherstellung verwendete Gesteinskörnung in eine Alkaliempfindlichkeitsklasse gemäß der Alkali-Richtlinie [5] eingestuft werden.

Wenn keine alkaliempfindlichen Bestandteile vorliegen und unter baupraktischen Bedingungen keine Alkali-Kieselsäure-Schäden für die Gesteinskörnung bekannt sind, wird die Gesteinskörnung durch eine bauaufsichtlich anerkannte Überwachungs- und Zertifizierungsstelle in die Klasse E I eingestuft (Bauregelliste A1, Produkt 1.2.7.2 [4], Abb. 2).

Gesteinskörnungen mit der Klassifizierung E I unterliegen keiner Anwendungseinschränkung nach der Alkali-Richtlinie [5]. Auf

besondere Regelungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Liegt für eine Gesteinskörnung ein Verdachtsmoment dafür vor, dass diese nicht vollständig beständig gegenüber einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion ist, so ist auf Basis des Befundes der petrographischen Untersuchung nach DIN EN 932-2 [1] zu entscheiden, ob die Gesteinskörnung nach Teil 2 oder Teil 3 der Richtlinie zu behandeln ist. Unabhängig von der weiteren Vorgehensweise nach Teil 2 oder nach Teil 3 ist diese Gesteinskörnung dann fremdüberwachungspflichtig gemäß der Ziffer 1.2.7.1 der Bauregelliste Teil A1 [4].

Darüber hinaus wird in der neuen Alkali-Richtlinie [5] erstmalig ein bauaufsichtlich anerkanntes Schnellprüfverfahren zur Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit potentiell alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen zur Verfügung gestellt.

## Alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

Nach der Alkali-Richtlinie [5] sind Flinte, Opalsandsteine und Kieselkreide aus dem Anwendungsgebiet der Alkali-Richtlinie Teil 2 (siehe Abb. 1) grundsätzlich als potentiell alkaliempfindliche Bestandteile einer Gesteinskörnung zu beurteilen und die Gesteinskörnung ist entsprechend dieses Teils der Alkali-Richtlinie zu behandeln. In Abb. 4 ist ein Beispiel der genannten Gesteinskörnungen dargestellt.

Die Regelungen zu den Flinten, Opalsandsteinen und Kieselkreiden gelten grundsätzlich auch, wenn die genannten Gesteinskörnungsbestandteile in einem Vorkommen auftauchen, welches außerhalb des in Teil 2 der Alkali-Richtlinie definierten Gewinnungsgebiets bzw. des daran angrenzenden Bereichs liegt. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass es sich nur dann um einen kritischen Flint im Sinne der Alkali-Richtlinie handelt, wenn alle nachfolgend genannten Bedingungen vorliegen:



Abb. 1: Anwendungsbereich der Alkali-Richtlinie Teil 2 aus [5]





■ Dipl. Min. Henning Rohowski (1967). Studium der Mineralogie an der TU München. Seit 1994 bei der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH. Mitglied der PÜZ-Stellenleitung; Leiter der Qualitätssicherung; Tätigkeit als Fremdüberwachungsbeauftragter auch im Bereich Betonwaren, von der Industrie- und Handelskammer zu Koblenz öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Natursteine, einschl. Dachschiefer.

Lfd. Nr.	Bauprodukt	Technische Regeln	Übereinstimmungsnachweis	Verwendbarkeitsnachweis bei wesentl. Abweichung von den technischen Regeln
1	2	3	4	5
1.2.7.2	Gesteinskörnungen nach EN 12620 mit Alkaliempfindlichkeitsklasse E I aus unbedenklichem Vorkommen	DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion in Beton (Alkali-Richtlinie) -AlkR- (2007-02), Teil 1, Abschn. 1.1 (2)	ÜZ	Z

Abb. 2: Bauregelliste Teil A1 [4]

Lfd. Nr.	Bauprodukt	Technische Regeln	Übereinstimmungsnachweis	Verwendbarkeitsnachweis bei wesentl. Abweichung von den technischen Regeln
1	2	3	4	5
1.2.7.1	Gesteinskörnungen nach EN 12620 mit Alkaliempfindlichkeitsklasse	DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion in Beton (Alkali-Richtlinie) -AlkR- (2007-02) in Verbindung mit Anlage 1.4	ÜZ	Z

Abb. 3: Bauregelliste Teil A [4]

- 1)Gestein, welches überwiegend aus kryptokristallinem Quarz besteht;
- 2)Gestein, welches als Feuerstein oder Flint anzusprechen ist;
- 3)Gestein, welches der Maastricht-Stufe im geologischen Zeitalter der Oberkreide zugeordnet werden kann.

Die o. g. Einschränkung, dass ein Flint nur dann automatisch als potentiell alkalireaktiv eingestuft wird, wenn er der Maastricht-Stufe zuzuordnen ist, ist von wesentlicher Bedeutung, da ansonsten bundesweit etliche kryptokristalline Bestandteile, wie z. B. Hornstein oder Kieselschiefer automatisch als potentiell alkalireaktiv eingestuft werden müssten.

Daneben war gemäß der Vorgängerausgabe der Alkali-Richtlinie [6] nur die präkambrische Grauwacke (siehe Abb. 5) aus einem begrenzten Gebiet im Osten der Bundesrepublik Deutschland als potentiell alkalieempfindlich zu beurteilen.

Entsprechende Vorkommen waren dann gemäß Teil 3 der Richtlinie zu behandeln. Nach der aktuellen Ausgabe der Richtlinie gilt diese Vorgabe in Deutschland für alle gebrochenen Gesteinskörnungen

- aus Grauwacke,
- aus Quarzporphyr (Rhyolith),
- aus Kiesen des Oberrheins

und für

- rezyklierte Gesteinskörnungen sowie für
- Kiese, welche mehr als 10% der genannten Bestandteile enthalten.

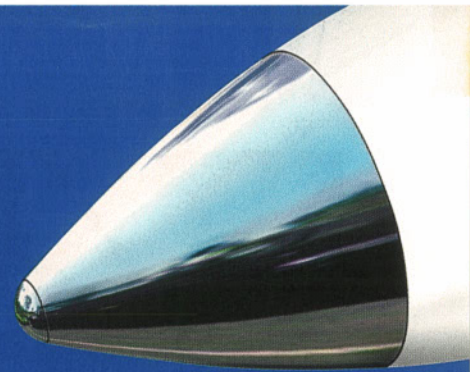
Gemäß der Alkali-Richtlinie [5] sind weiterhin alle Gesteinskörnungen als alkalieempfindlich zu beurteilen, bei deren Verwendung es in der Praxis zu einer Schädigung des Betons aufgrund einer AKR gekommen ist. Darüber hinaus sind alle Gesteinskörnungen aus einem Neuauftschluss mit einem Verdacht auf Alkaliempfindlichkeit sowie alle Gesteinskörnungen, für die keine baupraktischen Erfahrungen vorliegen, als potentiell alkalieempfindlich im Sinne der Alkali-Richtlinie zu beurteilen und nach Teil 3 der Richtlinie zu behandeln.

### Verfahren

#### Petrographische Untersuchung

Auf Basis einer petrographischen Untersuchung nach DIN EN 932 3 [1] legt die bauaufsichtlich anerkannte Zertifizierungsstelle fest, ob die Gesteinskörnung entweder als unbedenklich hinsichtlich einer Alkalireaktion und damit als E I zu zertifizieren ist oder nicht.

www.hydrostop.fr



## Feuchtemesssysteme für die Betonindustrie

### MISCHER-HYGROMETER

> Ein komplettes Programm für höchste Leistungsfähigkeit

H2004 - 4 bis 100 Programme

H2000 - Einzelprogramm

H2000WM - Auto-Wattmesser



### SONDE ZUR FEUCHTEMESSUNG IN ZUSCHLÄGEN

- > Feuchtemessung in Sand und Kies
- > Mikrowellentechnologie
- > Patentiertes System



Mikrowellensonde

Anzeigesystem - für 1 bis 4 Sonden

Weitere Informationen unter

**+33(0)2 41 56 82 93**

oder **info@hydrostop.fr**

**HYDROSTOP®**

ZI des Grands Bois • BP 35  
49280 St Léger sous Cholet • FRANKREICH  
+33 (0)2 41 56 82 93 • Fax +33 (0)2 41 56 92 92

www.hydrostop.fr

photographie: B. G. 19.05





Abb. 4: Potentiell alkaliempfindliche Gesteinskörnung gemäß Teil 2 der Alkali-Richtlinie

Erfolgt eine Zertifizierung in die Klasse E I, ist diese Einstufung alle 3 Jahre durch die Zertifizierungsstelle auf Basis einer erneuten petrographischen Prüfung zu bestätigen. In Abhängigkeit von den Informationen zur Gewinnungsstätte kann sich diese petrographische Prüfung auf eine rein augenscheinliche Untersuchung beschränken. Häufig, insbesondere bei gebrochenem Festgestein, wird zumindest eine mikroskopische Untersuchung an speziellen Präparaten notwendig sein. Durch diese Untersuchungsmethode können Gesteinsbestandteile und deren räumliche Anordnung zueinander erkannt werden. In Einzelfällen sind bei bestimmten Gesteinen noch weiterführende Untersuchungen, wie z. B. die Röntgenfluoreszenz- oder Röntgenbeugungsanalyse, oder in Einzelfällen auch die Rasterelektronenmikroskopie, notwendig.

**Prüfungen mit heißer Natronlauge nach dem Teil 2 der Alkali-Richtlinie**

Gesteinskörnungen, welche nach Teil 2 der Alkali-Richtlinie [5] zu untersuchen sind, werden nach einer speziellen Aufbereitung und ggf. einer petrographischen Voruntersuchung mit heißer Natronlauge beaufschlagt. Durch diese extreme Alkali-Beanspruchung werden die alkaliempfindlichen Bestandteile der Gesteinskörnung entweder gelöst oder soweit erweicht, dass sie als alkaliempfindlich erkannt und entsprechend beurteilt werden können (siehe Abb. 6). Je nachdem, wie hoch der Anteil dieser alkaliempfindlichen Bestandteile ist, erfolgt die Einstufung der untersuchten Gesteinskörnung in die Klassen E I-O bis E III-O bzw. E I-OF bis E III-OF. In diese Beurteilung geht auch der Anteil an Flint und dessen Dichte mit ein.

**Schnellprüfverfahren nach dem Teil 3 der Alkali-Richtlinie**

Gemäß Teil 3 der aktuellen Alkali-Richtlinie [5] wird erstmalig ein Verfahren zur schnellen Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von bestimmten Gesteinskörnungen bauaufsichtlich eingeführt.

Bei diesem Schnellverfahren wird eine Prüfkörnung mit einer genau definierten Sieblinie aus der Lieferkörnung hergestellt. Diese Prüfkörnung wird mit einem speziellen Portlandzement nach DIN EN 197 mit einem Na<sub>2</sub>O-Äquivalent von (1,3 ± 0,1) M. % und Wasser gemäß der Rezeptvorgabe der Richtlinie zu einem Mörtel verarbeitet. Unter Verwendung dieses Mörtels werden Standardmörtelprismen hergestellt und mit Meßzapfen für die Dehnungsmessungen versehen (Abb. 7). Diese Mörtelprismen werden in 80 °C heißer Natronlauge über einen Zeitraum von 13 Tagen gelagert und deren Dehnung gemessen. Wenn die Dehnung unter 1,0 mm/m bleibt, kann die Gesteinskörnung mit E I-S klassifiziert werden. Ansonsten ist der nachfolgend beschriebene Nebelkammerversuch zur endgültigen Beurteilung der Gesteinskörnung durchzuführen.

**Nebelkammerlagerung nach dem Teil 3 der Alkali-Richtlinie**

Alkaliempfindliche Gesteinskörnungen nach dem Teil 3 der Alkali-Richtlinie [5] sind nach dem Ergebnis des so genannten Nebelkammer-Verfahrens in eine Alkali-Empfindlichkeitsklasse einzuteilen.

Bei diesem Verfahren wird ein definiertes Gesteinskörnungsgemisch aus den Lieferkörnungen und einem alkaliunempfindlichen Sand hergestellt. Aus diesem Gesteinskörnungsgemisch werden drei Betonbalken und ein Betonwürfel nach genauer Mischvorgabe mit dem zuvor schon beim

Mörtelprismenverfahren beschriebenen Zement hergestellt. Im Rahmen einer Erstprüfung wird eine zweite Serie nach denselben Vorgaben, jedoch mit einem NA-Zement, hergestellt. Diese Serie dient als Referenzserie.

24 Stunden nach der Herstellung werden die Proben bei 40 °C und mindestens 99 % relativer Luftfeuchte in einer Nebelkammer eingelagert. Über einen Zeitraum von 9 Monaten werden die Balken auf ihre Dehnung und alle Proben auf Rissbildung und sonstige Veränderungen augenscheinlich untersucht. Liegen die Dehnungen nach 9 Monaten unter 0,6 mm/m und zeigen die Würfel keine Risse mit Rissweiten ≥ 0,2 mm, so ist das Material in E I-S einzustufen.

Zu dem Nebelkammerverfahren wird in der aktuellen Alkali-Richtlinie [5] ein Alternativverfahren beschrieben, welches die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit einer Gesteinskörnung bereits nach knapp 5 Monaten er-



Abb. 5: Anwendungsbereich des Teil 3 nach der Alkali-Richtlinie von 2001 [6]





Abb. 6: Erweichte Bestandteile



Abb. 7: Mörtelprismen nach der Natronlaugenlagerung entsprechend dem Schnellverfahren nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie [5]

möglichst. Dieses Verfahren wurde auf der Grundlage eines RILEM-Prüfverfahrens entwickelt und wird in Frankreich normativ seit langem angewendet. In Deutschland fehlen bisher Erfahrungen mit diesem Verfahren, so dass eine allgemein gültige Klassifizierung der Alkaliempfindlichkeit auf Basis dieser Versuchsergebnisse derzeit nicht möglich erscheint. Da das Alternativverfahren wesentlich schneller als das Nebelkammerverfahren ist, sollen jedoch möglichst schnell Prüferfahrungen mit diesem Verfahren gesammelt werden.

### Kennzeichnung von Beton

Zur Vermeidung schädigender Alkalireaktionen im Beton beschreibt die Alkali-Richtlinie

[5] Bedingungen und vorbeugende Maßnahmen, unter denen Gesteinskörnungen verwendet werden können.

Bis zur bauaufsichtlichen Einführung der neuen Alkali Richtlinie [5] und der neuen DIN 1045 2 [1] beschränkte sich der Einsatz der Richtlinie auf einige Regionen in Deutschland, in denen bekannterweise Gesteinskörnungen mit alkalireaktiver Kieselsäure vorkommen. In DIN 1045 2 [1] wurden jetzt für ganz Deutschland die Feuchtigkeitsklassen der Alkali-Richtlinie [5] als weitere Expositionsklassen im Bereich „Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion“ aufgenommen. Somit muss bei der Ausschreibung und Herstellung von Betonen nach DIN 1045 2 [1] nun grundsätzlich

- der Verfasser der Festlegung eine der nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen ausschreiben (Tabelle 1);
- der Produzent des Betons die Feuchtigkeitsklasse und die Alkali-Empfindlichkeitsstufe der verwendeten Gesteinskörnung bei der Erstellung der Betonrezeptur berücksichtigen.

Nach dem aktuellen Überarbeitungstand der Alkali-Richtlinie, wird die Feuchtigkeitsklasse WS wahrscheinlich in zukünftigen Ausgaben der Alkali-Richtlinie nicht mehr genannt werden.

Wie zuvor ausgeführt, muss für jeden Beton nach Eigenschaften auch die Feuchtigkeitsklasse ergänzend zu den bisherigen Expositionsklassen als grundlegende Anforderung



Abb. 8: Nebelkammer-Verfahren nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie [5]

Tab. 1: Feuchtigkeitsklassen

WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.
WS	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.





Abb. 9: Typisches Rissbild „Map cracking“ an einem AKR-geschädigten Beton aus [7]

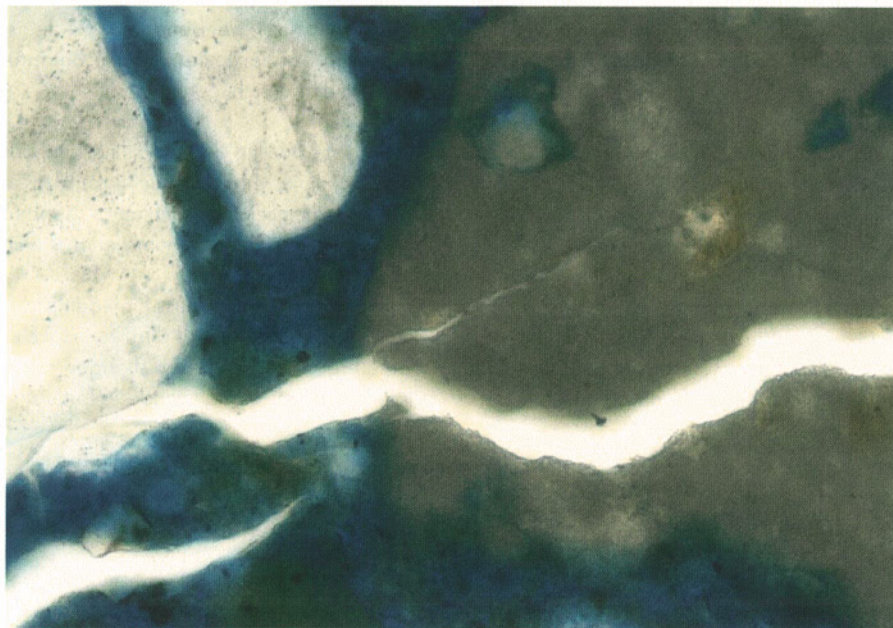


Abb. 10: Mikroskopische Aufnahme

durch den Verfasser der Festlegung angegeben werden. Die Feuchtigkeitsklasse ist dann auf dem Lieferschein zu dokumentieren.

### Schadensfälle

An stark durchfeuchteten Bauteilen aus Beton, insbesondere wenn weitere Belastungen wie der Eintrag von Alkalien von außen vorliegen, kann es zu einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Beton kommen. Dabei ist eine völlige Zerstörung des Bauteils möglich. National wie international sind viele AKR-Schäden, insbesondere an Fahrbahndecken und Flugplatzbelägen sowie an Küstenbauwerken und Brücken dokumentiert.

Zur Festlegung möglicher Sanierungsvorgaben ist die genaue Kenntnis des Schadensmechanismus zwingend notwendig. Durch

- sachgerechte Erhebungen zum Bauwerk und den verwendeten Ausgangsstoffen,
- einer genauen Aufnahme des Schadensbildes vor Ort und
- der Durchführung verschiedener Untersuchungen an Ausbauproben

lässt sich die Schadensursache häufig ermitteln.

Besondere Bedeutung im Rahmen der Ursachenermittlung kommt hierbei den petrographischen Untersuchungsmethoden zu.

So lassen sich charakteristische Merkmale für AKR-Schäden, durch licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen finden. Abb. 10 zeigt ein alkalireaktives Gesteinskorn (rechts im Bild) mit einem Riss, welcher mit gelförmigen Reaktionsprodukten verfüllt ist.

Weitere Hinweise auf AKR-bedingte Schäden können durch Alkaligehaltsbestimmungen, Untersuchungen mit Uranylacetat oder mittels der o. g. Verfahren (Nebelkammerversuch oder Schnell-Test) an Ausbauproben in Anlehnung an die Alkali-Richtlinie [5] gewonnen werden.

Die MPVA Neuwied GmbH bietet auch im ersten Quartal 2010 eine Seminarreihe zu aktuellen Themen aus den Bereichen Beton und Betonwaren - historische Bauwerke - Gesteinskörnungen und Naturstein - Mauerwerk sowie der Bauphysik an. Informationen dazu erhalten Sie rechtzeitig unter [www.mpva.de](http://www.mpva.de) und hier in BWI BetonWerk International.

### ■ Literatur

- [1] DIN EN 932-3 „Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen Durchführung und Terminologie einer vereinfachten petrographischen Beschreibung“ (Fassung August 2008);
- [2] DIN 1045-2 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Beton-Feststellung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ (Fassung Dezember 2003);
- [3] ASTM C 1260-94 „Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)“;
- [4] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Bauregelliste C (Fassung 2008/1);
- [5] Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ (Fassung Februar 2007);
- [6] Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ (Fassung Mai 2001);
- [7] Starke, J. & Wicht, B.: „Dauerhaftigkeit von Beton“, Birkhäuser Verlag, Basel, 2001;

### WEITERE INFORMATIONEN



Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied  
 Sandkauler Weg 1  
 56564 Neuwied, Deutschland  
 T +49 2631 39930  
 F +49 2631 399340  
[info@mpva.de](mailto:info@mpva.de)  
[www.mpva.de](http://www.mpva.de)