



Alkali-Kieselsäure-Reaktion

**Erfahrungen aus der Praxis
und aktuelle Regelwerke**

Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Erfahrungen aus der Praxis und aktuelle Regelwerke

Herausgeber:
BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath

Impressum



Bundesverband Betonbauteile Deutschland e.V.
Kochstraße 6-7
10969 Berlin



Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V.
Düsseldorfer Str. 50
47051 Duisburg



Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V.
Annastraße 67-71
50968 Köln



Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Tannenstr. 2
40476 Düsseldorf

Titelbild: AKR-Schaden an einer Betonfahrbahndecke, Foto: BDZ

Herausgeber:
BetonMarketing Deutschland GmbH
www.beton.org

Gesamtproduktion:
Verlag Bau+Technik GmbH
Postfach 12 01 10, 40601 Düsseldorf
www.verlagbt.de

1103/9.10/4

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung _____	4
2	Prinzip der AKR _____	5
3	Schäden in der Praxis _____	6
3.1	Betonfahrbahndecken nach ZTV Beton-StB der Bauklassen SV und I bis III _____	6
3.2	Brücken- und Wasserbauwerke nach ZTV-ING bzw. ZTV-W _____	7
4	Aktuelle Regelwerke _____	8
4.1	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 – Vermeidung einer schädigenden AKR _____	8
4.2	Betonfahrbahndecken nach ZTV Beton-StB der Bauklassen SV und I bis III _____	10
4.3	Flugbetriebsflächen _____	10
5	Zusammenfassung _____	11
6	Regelwerke _____	12

1 Einleitung

Ende 2009 häuften sich Pressemeldungen über „Betonkrebs“, wie die schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in den Medien bezeichnet wird. Im Februar 2009 hatte es eine Anfrage an die Bundesregierung zu diesem Thema gegeben. Es wird daher in verschiedenen Zusammenhängen die Frage gestellt, ob die in Deutschland bestehenden Regelungen ausreichen, um Schäden an Betonbauwerken durch eine AKR sicher zu vermeiden. Nachfolgend werden der Schadensmechanismus und AKR-Schäden dargestellt sowie die Prinzipien der Schadensvermeidung und der aktuelle Stand des Regelwerks erläutert.

Bei der AKR reagieren alkaliempfindliche, kieselsäurehaltige Bestandteile der Gesteinskörnung mit den Alkalihydroxiden (NaOH, KOH) der Porenlösung im Beton, die aus dem Zement, den Betonzusatzstoffen, den Betonzusatzmitteln und der Gesteinskörnung stammen können sowie ggf. durch Alkalien aus Taumitteln von außen in den Beton eingetragen werden. Als Reaktionsprodukt bildet sich ein quellfähiges Alkali-Kieselsäuregel, das bestrebt ist, Wasser aufzunehmen. Die damit verbundene Volumenvergrößerung wird als Treiben bezeichnet und kann zu Rissen im Beton führen.

Eine AKR läuft in vielen Betonen ohne eine Schädigung des Betons ab, ohne dass die Stand- bzw. Verkehrssicherheit gefährdet ist oder die Dauerhaftigkeit verringert wird. Die Auslösung und der Ablauf einer schädigenden AKR im Beton sind von Art, Reaktivität, Menge und Korngrößenverteilung der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung, vom wirksamen Alkaligehalt in der Porenlösung sowie von einer ausreichenden Feuchtigkeit abhängig. Fehlt eine der drei genannten Voraussetzungen, tritt eine schädigende AKR nicht auf. Sind die Bedingungen für eine schädigende AKR gegeben, so können sichtbare Risse im Beton entstehen. Diese Risse lassen sich jedoch optisch nicht immer einwandfrei von Rissen unterscheiden, die aufgrund anderer Belastungen, z. B. aufgrund der Hydratationswärme oder fehlender Nachbehandlung, entstanden sind. Wird in Bauteilen eine schädigende AKR vermutet, muss daher eine eingehende Untersuchung durch einen Sachverständigen erfolgen, um zu klären, ob eine schädigende AKR vorliegt.

3 Schäden in der Praxis

In Deutschland sind erste Schäden, an denen eine AKR maßgeblich beteiligt war, Ende der 1960er-Jahre in Schleswig-Holstein bekannt geworden. Als alkaliempfindliche Gesteinskörnungen wurden darauffolgend im gesamten norddeutschen Raum der Bundesrepublik Opalsandstein und poröser Flint nachgewiesen.

Ab Mitte der 1970er-Jahre wurde man vermehrt auf Schäden im Bereich der ehemaligen DDR aufmerksam. Während die Schäden nördlich einer gedachten Linie von Wittenberge über Berlin nach Frankfurt/Oder den alkaliempfindlichen Gesteinen Norddeutschlands zugeordnet werden konnten, mussten die Schäden im südlichen Bereich eingehender untersucht werden. Als alkaliempfindliche Gesteinskörnungen wurden dabei dichte, langsam reagierende Gesteinskörnungen aus präkambrischer Grauwacke, Kiesel-schiefer und vereinzelt Quarzporphyren identifiziert. Hohe Zementgehalte in den Bauwerksbetonen trugen zusätzlich zu den Schäden bei. Diese Schäden, die – wenn überhaupt – wesentlich später als bei Opalsandstein und Flint auftreten, beeinträchtigen meist nicht unmittelbar die Standsicherheit, können aber die Dauerhaftigkeit herabsetzen.

In den Jahren 1996 bis 1998 sind dann erstmals Schäden an Betonfahrbahn-decken in Südwestdeutschland aufgetreten, an denen eine AKR beteiligt war. Für die geschädigten Betone waren Kies-Edelsplitt aus dem Bereich des Oberrheins südlich von Karlsruhe und Zemente mit hohen Alkaligehalten verwendet worden. Diese Zemente dürfen heute zum Bau von Betonfahr-bahndecken nicht mehr eingesetzt werden. Später traten weitere Schäden an einigen Autobahnabschnitten auf. Als gebrochene Gesteinskörnungen waren Grauwacke, Quarzporphyr und Granodiorit verwendet worden. Ausschlag-gend für die Bewertung des Schadensverlaufes bei Betonfahrbahndecken ist dabei der Aspekt der Verkehrssicherheit.

3.1 3.1 Betonfahrbahndecken nach ZTV Beton-StB der Bauklassen SV und I bis III

In einem Bericht der Bundesregierung vom 10.03.2009 als Antwort auf eine parlamentarische Anfrage wird ausgeführt, dass folgende Autobahnen von AKR-Schäden betroffen seien:

■ Sachsen-Anhalt	A14:	32	km	Richtungsfahrbahn (RF)
	A9:	83	km	RF
■ Brandenburg	A10:	53	km	RF
	A24:	6	km	RF

■ Hessen	A5: 79 km RF
	A6: 0,7 km RF
	A67: 57 km RF
■ Nordrhein-Westfalen	A40: 3 km RF
	A61: 0,1 km RF
■ Mecklenburg-Vorpommern	A19: 27 km RF
■ Sachsen	A14: 9,5 km RF

Es wird jedoch einschränkend festgestellt, dass es sich dabei überwiegend um Verdachtsfälle handelt, deren gutachterliche Bestätigung noch ausstehe. Aus in der Aufstellung nicht genannten Bundesländern seien keine Fälle berichtet worden. Bei Fahrbahndecken aus Beton für Autobahnen erfolgt die Betonherstellung in so genannten „Baustellenanlagen“, die unter der Verantwortung des bauausführenden Unternehmens betrieben werden. Dieses übernimmt auch die Herstellung der Fahrbahndecke. Die Vorgaben für die Zusammensetzung des Betons ergeben sich dabei aus den Festlegungen und Anforderungen der ZTV Beton-StB, der TL Beton-StB und den Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS). Zusätzlich ist zu beachten, dass bei dem Spezialfall Betonfahrbahn die Alkalizufuhr von außen zu berücksichtigen ist. Des weiteren unterliegen Fahrbahndecken einer dynamischen Belastung. Diese erhöht das Rissbildungspotenzial an der Fahrbahnoberfläche. Hierdurch kann das Eindringen der Alkalien von außen über Taumittel ermöglicht werden. Dieser Effekt wird durch neue Forschungserkenntnisse bestätigt. Es stellt sich die Frage, ob die aktuellen Regelungen ausreichen, um AKR-Schäden an Betonfahrbahndecken sicher zu vermeiden. Die Beantwortung der Frage gestaltet sich schwierig, da derzeit keine zugängliche Dokumentation der Schadensfälle vorliegt, aus der die notwendigen Informationen bezogen werden könnten. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) plant auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse die Herausgabe eines neuen Allgemeinen Rundschreibens Straßenbau (ARS).

3.2 Brücken und Wasserbauwerke nach ZTV-ING bzw. ZTV-W

3.2

Der Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt berichtete über nachgewiesene AKR-Schäden an Wasserbauwerken und Brücken in Sachsen-Anhalt und Sachsen. Die Bauwerke wurden in den 1970er-Jahren bis Anfang der 1990er-Jahre gebaut. Der Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt hat vorläufig weitere Anforderungen für Bauleistungen gemäß ZTV-ING zur Vermeidung von AKR-Schäden erlassen. Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb) wird eine vorläufige Empfehlung herausgeben, die diesen neuen Erfahrungen Rechnung trägt.

4 Aktuelle Regelwerke

Die Erfahrungen mit Betonen, die in der Praxis zu AKR-Schäden führten, finden stets zeitnah Eingang in die Regelwerke: Allgemeine Rundschreiben Straßenbau (ARS) 12/2006, Alkali-Richtlinie des DAfStb Ausgabe 2007 inkl. Berichtigung April 2010, TL Beton-StB 07, Verfügung für ZTV-ING-Bauwerke in Sachsen-Anhalt Ausgabe 2009. Eine AKR läuft in der Regel sehr langsam ab, sodass Betone erst viele Jahre nach ihrem Einbau geschädigt werden. Aufgrund dieses Zeitversatzes können weitere Schäden insbesondere auf Autobahnen nicht ausgeschlossen werden, wenn sie vor 2005 und damit noch nicht nach den aktuellen Regelwerken gebaut wurden.

Die in den zurückliegenden Jahren gewonnenen praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen führten zu folgenden grundsätzlichen Regelungen:

- Betone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Regelung durch die Alkali-Richtlinie des DAfStb (Feuchtigkeitsklassen WO, WF und WA)
- Fahrbahndecken aus Beton nach ZTV Beton-StB 07 – Regelung durch TL Beton-StB 07 und ARS (Feuchtigkeitsklassen WA und WS)

4.1 4.1 Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 – Vermeidung einer schädigenden AKR

Bei allen Baumaßnahmen unter Anwendung von Stahl- bzw. Spannbeton einschließlich der Ingenieurbauwerke – mit Ausnahme von Betonfahrbahndecken und Flugbetriebsflächen – bietet das bestehende Regelwerk, und hier insbesondere die Alkali-Richtlinie des DAfStb, nach derzeitigem Kenntnisstand generell eine ausreichende Grundlage, AKR-Schäden zu vermeiden. Allerdings können regionale Lösungen eine sinnvolle Ergänzung darstellen. In Sachsen-Anhalt wurde im August 2009 eine entsprechende Verfügung für Bauwerke nach ZTV-ING erlassen.

Um Maßnahmen zur sicheren Vermeidung einer schädigenden AKR festlegen zu können, müssen die Umgebungsbedingungen des Betons in Form der Feuchtigkeitsklasse und die Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnung in Form der Alkaliempfindlichkeitsklasse beschrieben werden. Hierzu ist jede Gesteinskörnung nach DIN EN 12620, die in Deutschland für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 verwendet werden soll, in eine Alkaliempfindlichkeitsklasse einzustufen. Diese muss im Sortenverzeichnis und auf dem Lieferschein der Gesteinskörnung für alle Korngruppen angegeben sein. Bei bestimmten Kombinationen aus Feuchtigkeitsklasse, Alkaliempfindlichkeitsklasse und ggf.

Zementgehalt des Betons sind vorbeugende Maßnahmen anzuwenden. Die Alkali-Richtlinie gibt sowohl die Prüfmethode und Kriterien zur Einstufung von Gesteinskörnungen in eine der Alkaliempfindlichkeitsklassen als auch die vorbeugenden betontechnologischen Maßnahmen an.

Der Planer muss dem Beton anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen eine der vier nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen nach DIN 1045-2 bzw. Alkali-Richtlinie zuordnen:

Feuchtigkeitsklasse	Umgebung	Beispiele
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	<ul style="list-style-type: none"> - Innenbauteile des Hochbaus; - Bauteile, die auf die Außenluft, nicht jedoch z. B. auf Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt werden.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Ungeschützte Außenbauteile, die z. B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; - Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z. B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80 % ist; - Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z. B. Schornsteine, Wärmeübertragerstationen, Filterkammern und Viehställe; - Massige Bauteile gemäß DAFStB-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt).
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Feuchtigkeitsklasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteile mit Meerwassereinwirkung; - Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z. B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern, Brückenkappen); - Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z. B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung. - Betonschutzwände - Betonfahrbahnen der Bauklassen IV bis VI¹⁾
WS ²⁾	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Feuchtigkeitsklasse WA hoher dynamischer Beanspruchung ausgesetzt ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (Betonfahrbahnen der Bauklassen SV und I bis III¹⁾)

¹⁾ Bauklassen nach RStO; laut TL Beton-StB 07

²⁾ Maßnahmen für WS gemäß TL Beton-Stb 07 und ARS

Im Rahmen der Festlegung des Betons wird die Feuchtigkeitsklasse dann zusammen mit den Expositionsclassen an den Betonhersteller weitergegeben. Der Lieferschein für den Beton oder das Betonbauteil enthält damit immer auch die Angabe der zulässigen Feuchtigkeitsklasse.

4.2 Betonfahrbahndecken nach ZTV Beton-StB der Bauklassen SV und I bis III

Ausschließlich Betonfahrbahndecken der Bauklassen SV und I bis III gemäß RStO sind nach der TL Beton-StB 07 der Feuchtigkeitsklasse WS zuzuordnen. Deshalb werden die Anforderungen durch die TL Beton-StB 07 und durch Allgemeine Rundschreiben Straßenbau (ARS) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) festgelegt. Neben den deskriptiven Anforderungen an die Ausgangsstoffe sehen diese Regelungen im Fall der Verwendung von bestimmten Gesteinskörnungen auch eine gutachterliche Stellungnahme zur Gesteinskörnung sowie zum vorgesehenen Beton vor.

Grundlage gutachterlicher Stellungnahmen sind häufig die Ergebnisse von AKR-Performance-Prüfungen, mit denen das AKR-Schädigungspotenzial von Betonen untersucht wird. Durch die Untersuchung von Betonen vor deren Einbau können bei neuen Betonfahrbahndecken AKR-Schäden heute sehr viel zielsicherer vermieden werden. An der Bauhaus-Universität Weimar und im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf wurde jeweils ein AKR-Performance-Prüfverfahren entwickelt. Beide Verfahren führen zu einer vergleichbaren Bewertung identischer betontechnischer Lösungen und sind vom BMVBS anerkannt. Unter den besonderen Bedingungen des Betonstraßenbaus (Alkalizufuhr von außen, starke dynamische Beanspruchung, Vorschädigungen infolge lastunabhängiger Einwirkungen möglich), werden ausreichend unempfindliche Betone identifiziert. Dabei zeigt sich, dass bei entsprechender Reaktivität der Gesteinskörnung und bei einer Alkalizufuhr von außen durch Streusalze auch dann schädliche Dehnungen infolge AKR induziert werden, wenn Zemente mit einem niedrigen wirksamen Alkali-Gehalt (NA-Zement) zum Einsatz kommen. Bei Fahrbahndeckenbetonen müssen deshalb immer ausreichend alkaliunempfindliche Gesteinskörnungen eingesetzt werden.

4.3 Flugbetriebsflächen

Die Eignung von Betonen, die auf Flughäfen eingesetzt werden und mit Flugzeug- und Flächenenteisungsmitteln in Kontakt kommen, ist durch einen Gutachter zu beurteilen, der vorbeugende Maßnahmen festlegt.

Im Bereich von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 legen die Alkali-Richtlinie des DAfStb und ggf. regionale Regelungen deskriptive Vorgaben zur Vermeidung von AKR-Schäden fest. Diese gelten für die Feuchtigkeitsklassen WO, WF und WA. Im Bereich der ZTV Beton-StB (Feuchtigkeitsklassen WA und WS) fehlen zurzeit vergleichbare deskriptive Regelungen. Deshalb obliegt es gegenwärtig noch Gutachtern, die Eignung von Betonen zu bewerten und vorbeugende Maßnahmen in diesem Bereich festzulegen. An deskriptiven Regelungen im Bereich der ZTV Beton-StB wird derzeit intensiv gearbeitet.

Eine schädigende AKR läuft in der Regel sehr langsam ab, sodass Betone erst viele Jahre nach ihrem Einbau geschädigt werden. Aufgrund dieses Zeitversatzes können weitere Schäden insbesondere auf Autobahnen nicht ausgeschlossen werden, wenn sie vor 2005 und damit noch nicht nach den aktuellen Regelwerken gebaut wurden.

Bei neuen Betonfahrbahndecken können AKR-Schäden heute sehr viel zielsicherer vermieden werden, indem das AKR-Schädigungspotenzial von Beton vor dem Einbau in sog. AKR-Performance-Prüfungen untersucht wird. An der Bauhaus-Universität Weimar und im Forschungsinstitut in Düsseldorf wurde jeweils ein AKR-Performance-Prüfverfahren entwickelt. Beide Verfahren führen zu einer vergleichbaren Bewertung identischer betontechnischer Lösungen und sind vom BMVBS anerkannt.

6 Regelwerke

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V., DAfStb (Hrsg): Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton: Teil 1: Allgemeines; Teil 2: Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint; Teil 3: Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen. Berlin: Beuth, 2007-02 (DAfStb-Richtlinie)

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V., DAfStb (Hrsg): Berichtigung zur DAfStb-Richtlinie
Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton: Ausgabe Februar 2007. Berlin: Beuth, 2010-04 (DAfStb-Richtlinie). http://www.dafstb.de/akt_bericht_alkali-richtl.html (03.08.2010)

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV; Arbeitsgruppe Betonbauweisen (Hrsg): Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton – TL Beton-StB 07: Ausgabe 2007. Köln: FGSV-Verl., 2007 (FGSV R1)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS (Hrsg.): Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 12/2006: Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton in Folge von Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR); Aktenzeichen S 17/7183.3/2-2. Bonn, 17.05.2006. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/rundschreiben/de/download/rs/2006/anlagen/zu_VIC_02_2006.pdf (03.08.2010)

Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Vorläufige zusätzliche Anforderungen an Beton der Feuchtigkeitsklasse WA, Anwendungsbereich ZTV-ING, für den Bereich des Landesbetriebes Bau Sachsen-Anhalt zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Verfügung V-07/2009-22. 22.07.2009. http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_MBV/PDF/Strasse/Bau-technik_Info/V-07_2009_22.pdf (03.08.2010)

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

BetonMarketing Nord GmbH

Anderter Straße 99D
30559 Hannover
Telefon 0511 554707-0
Telefax 0511 554707-15
hannover@betonmarketing.de

BetonMarketing Ost

Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH

Teltower Damm 155
14167 Berlin-Zehlendorf
Telefon 030 3087778-0
Telefax 030 3087778-8
mailbox@bmo-berlin.de

BetonMarketing Süd GmbH

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4
73760 Ostfildern
Telefon 0711 32732-200
Telefax 0711 32732-202
info@betonmarketing.de

Beethovenstr. 8
80336 München
Telefon 089 450984-0
Telefax 089 450984-45
info@betonmarketing.de

BetonMarketing West

Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH

Annastraße 3
59269 Beckum
Telefon 02521 8730-0
Telefax 02521 8730-29
info@bmwest.de

Die Verunsicherung bei Planern, Behörden und Betonanwendern beim Thema Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) ist zum Teil erheblich. Die vorliegende Broschüre gibt eine differenzierte Hilfestellung zum Umgang mit diesem Thema.

Die Broschüre erläutert zunächst den Schadensmechanismus einer schädigenden AKR und gibt einen historischen Überblick der AKR-Schäden in Deutschland. Der aktuelle Stand der Regelwerke sowohl für Bauwerke aus Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 als auch für Betonfahrbahndecken der Bauklassen SV und I bis III nach ZTV-Beton-StB wird dargestellt und erläutert.