

Schäden durch die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) bei beschichteten Industrieböden

1 Schadensmechanismus einer »üblichen« AKR

Bei der Alkali-Kieselsäure-Reaktion (nachfolgend AKR genannt) handelt es sich um die Reaktion zwischen alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen mit in den Poren des Betons gelösten Alkalihydroxiden. Bei den alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen ist zu differenzieren zwischen

- sehr schnell reagierenden Gesteinskörnungen (hierbei handelt es sich um Gesteine wie Flinte, Kieselkreiden und Opalsandsteine),
- eher langsam reagierenden Gesteinskörnungen wie gebrochene Grauwacken, gebrochene Quarzporphyre (Rhyolithe), gebrochene Kiese des Oberrheins sowie gebrochene und ungebrochene Kiese aus den Einzugsgebieten verschiedener Flussläufe überwiegend im Bereich der neuen Länder,
- anderen ggf. als kritisch anzusehenden, eher langsam reagierenden Gesteinskörnungen wie Graniten, Granodioriten, Andesiten oder Quarziten.

Um die Reaktion auszulösen, muss ein hohes Alkalipotenzial im Beton enthalten sein oder von außen in Form von Tausalzen zugeführt werden. Außerdem muss eine ausreichend hohe Feuchtigkeit für die Ausbildung einer schädigenden AKR zur Verfügung stehen. Der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Alkali-Zuschlag-Reaktion der Gesteinskörnung wird auch durch die Differenzierung der Feuchtebedingungen in der AKR-Richtlinie [1] (Tabelle 1) und den damit in Verbindung stehenden betontechnologischen Maßnahmen (Tabelle 2) deutlich.

Liegen die oben genannten Voraussetzungen vor, so entstehen quellfähige, gelartige Reaktionsprodukte in Form von Alkalisilikathydraten. Die Entstehung des treibenden AKR-Gels erfolgt dabei vorwiegend in der Grenzfläche zwischen den Gesteinskörnern und der Bindemittelma-

trix sowie bei vorliegenden Wegsamkeiten auch im Korn. Das hier entstandene »AKR-Gel« diffundiert in die Zementsteinmatrix und füllt selbst grobe Teile des Porensystems aus. Aufgrund des mit dieser Reaktion in Verbindung stehenden Expansionsdrucks bilden sich Mikro-

Tabelle 1: Feuchtigkeitsklassen gemäß der AKR-Richtlinie [1]

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 sind
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 VI

Tabelle 2: Betontechnologische Maßnahmen zur Vermeidung von AKR-Schäden in Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsklasse [1]

	1 Alkaliempfindlichkeitsklasse (verkürzt)	2 Zementgehalt kg/m ³	3, 4, 5 Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse		
			WO	WF	WA
1	E I, E I-O, E I-OF, E I-S	ohne Festlegung	keine		
2	E II-O	≤ 330	keine		NA-Zement
3	E III-O		keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
4	E II-OF	> 330	keine	NA-Zement	
5	E III-S		keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
6	E III-S	≤ 330	keine	keine	keine
7		≤ 350	keine		NA-Zement oder gutachterliche Stellungnahme
8		> 350	keine	NA-Zement oder gutachterliche Stellungnahme	Austausch der Gesteinskörnung oder gutachterliche Stellungnahme

2 Voraussetzungen für eine AKR bei beschichteten Betonböden

Wie die obigen Ausführungen zeigen, stellt die Anwesenheit von Wasser eine zwingende Voraussetzung für das Auftreten einer schädigenden AKR dar. Da es sich bei Industrieböden im Regelfall um (mit Ausnahme von kurzzeitigen Reinigungsmaßnahmen und von Wasserzutritten in Torbereichen) »trockene Innenräume« handelt, die der Expositionsklasse XC1 (und damit in erster Linie der Feuchtigkeitsklasse WO) zuzuordnen sind, wurden Blasenbildungen an beschichteten Industrieböden in der Vergangenheit üblicherweise eher »osmotischen Drücken« oder anderen Ursachen zugeordnet.

Vermutlich finden sich gerade aus diesem Grunde derzeit nur wenige Veröffentlichungen in der einschlägigen Literatur, die sich mit der schädigenden AKR bei beschichteten Industrieböden beschäftigen [5]. Somit verwundert es nicht, dass sich die Vorstellung, dass die im Beton durch die Beschichtung »eingesperrte« Feuchtigkeit ausreichen könnte, um eine schädigende AKR auszulösen, erst in jüngerer Zeit entwickelte. In [5] wurde in der Folge darüber »diskutiert«, ob sich die nachfolgend genannten Einflüsse begünstigend auf eine schädigende AKR auswirken könnten:

1. Reaktion lösungsmittelhaltiger Bestandteile der Grundierung mit vereinzelt gebildeten AKR-Gelen. Diese AKR soll durch Mikrorisse ermöglicht werden, die den Zutritt lösemittelhaltiger Bestandteile der Grundierung in tiefer liegende Betonzonen ermöglicht. Im Innern des Betons beschleunigen die lösungsmittelhaltigen Bestandteile dann die Bildung von AKR-Gelen.
2. Durch die Veränderung des Diffusionsverhaltens des unter der Beschichtung befindlichen Betons werden lösliche Alkalien an die Grenzfläche zwischen der Beschichtung und der Betonoberfläche transportiert, sodass es hier zu einer lokalen Konzentrationserhöhung der Alkalien und damit zur Steigerung des reaktiven Potentials enthaltener alkalireaktiver Gesteinskörner kommt.

Tabelle 3: Zuordnung der Expositionsklassen zu den Feuchtigkeitsklassen (DAFStb Heft 526)

	1 Expositionsklasse	2 Umgebungsbedingungen	3 Feuchtigkeitsklasse ^{1), 2), 3)}	4 Bemerkung
1	XC1	trocken, ständig nass	WO, WF	massige trockene Bauteile mit <i>b</i> bzw. <i>h</i> ≤ 800 mm in WF
2	XC3	mäßige Feuchte	WO oder WF	Beurteilung im Einzelfall
3	XC2, XC4, XF1, XF3	nass, selten trocken, wechselnd nass und trocken, mäßige bis hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	WF	–
4	XF2, XF4, XD2, XD3, XS2, XS3	mäßige bis hohe Wassersättigung, mit Taumittel bzw. Salzwasser, nass, selten trocken, wechselnd nass und trocken	WA oder WS ⁵⁾	Eintrag von Alkalien von außen (z. B. Chloride)
5	XD1, XS1, XA	mäßige Feuchte	WF ⁴⁾ oder WA (oder WS ⁵⁾)	Beurteilung im Einzelfall

¹⁾ Im Regelungsbereich der ZTV-ING sind alle Bauteile im Bereich von Bundesfernstraßen in die Feuchtigkeitsklasse WA einzustufen.
²⁾ Infolge der Bauteilabmessungen kann eine abweichende Einstufung erforderlich werden.
³⁾ Werden Bauteile ein- oder mehrseitig abgedichtet, ist dies bei der Wahl der Feuchtigkeitsklasse zu beachten.
⁴⁾ wenn die Alkalibelastung von außen gering ist
⁵⁾ Feuchtigkeitsklasse WS gilt i. d. R. nur für Fahrbahndeckenbeton der Bauklassen SV, I, II und III gemäß TL Beton-StB 07 für Ober- und Unterbeton. Für Fahrbahndeckenbeton der Bauklassen IV, V und VI ist eine Einstufung in die Feuchtigkeitsklasse WA ausreichend.

Daneben verdichteten sich in der jüngeren Vergangenheit die Verdachtsmomente, dass sich das im Beton befindliche Wasser aufgrund der nahezu wasserdampfdurchlässigen Beschichtung knapp unter der Beschichtung »staut« und diese erhöhte Feuchtigkeit die schädigende AKR auslöst. Hierzu passend sind massige Bauteile mit großen Bauteilabmessungen gemäß Tabelle 3 der Feuchteklasse WF zuzuordnen, da die Austrocknung des Betons bei diesen Bauteilen sehr viel Zeit in Anspruch nimmt. Aus diesem Grunde müssen massige Bauteile bei Vorhandensein



Abb. 1 a-c: Abriss im Beton unterhalb einer Kunstharzbeschichtung

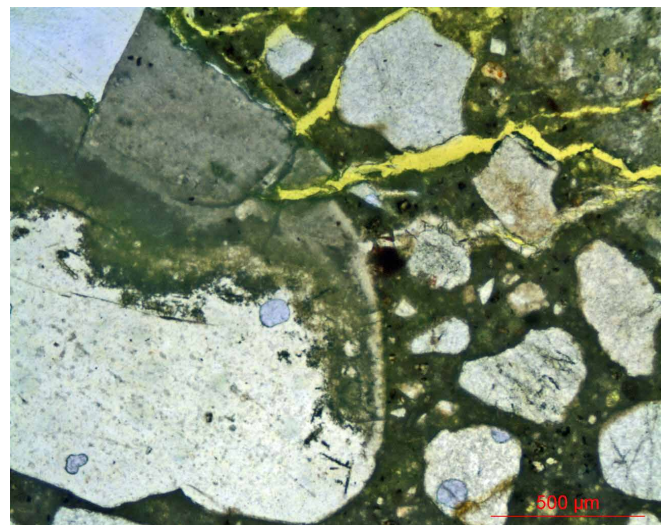
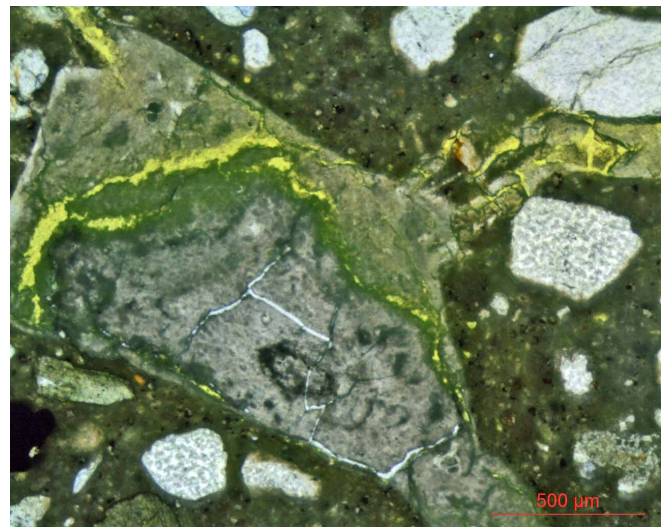


Abb. 2 a-b: Alkaliempfindliche Gesteinskörner, die Schäden in Form von Rissen aufwiesen, die sich in Richtung des Zementsteins fortsetzen

kritischer Gesteinskörnungen zur Vermeidung von Alkali-Zuschlag-Reaktionen gemäß Tabelle 2 unter Verwendung von NA-Zement hergestellt werden. Eine Analogie zu beschichteten Bodenplatten, bei denen ebenfalls eine deutlich verlangsamte Austrocknung vorliegt, liegt auf der Hand.

3 Aktuelle Schadensfälle, die mit einer AKR von beschichteten Industrieböden in Verbindung stehen

Nach derzeitigem Erkenntnisstand sind zwei Schadenstypen zu unterscheiden:

- Schäden durch eine »normale« AKR, die darauf zurückzuführen sind, dass das Wasser durch die aufgebraute Beschichtung im Beton »eingesperrt« wird, sodass eine für die schädliche AKR ausreichende Wassermenge zur Verfügung steht, obwohl es sich um Innenbauteile handelt,
- Schäden, die auf eine direkte Wechselwirkung zwischen alkaliempfindlichen Gesteinskörnern und Bestandteilen der Beschichtung zurückzuführen sind.

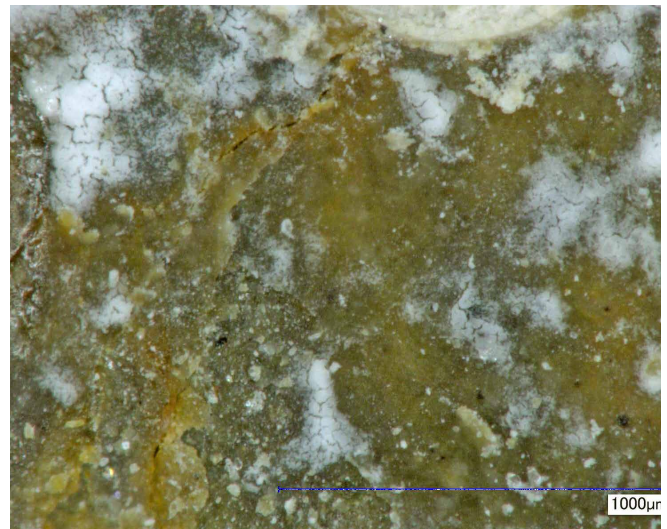
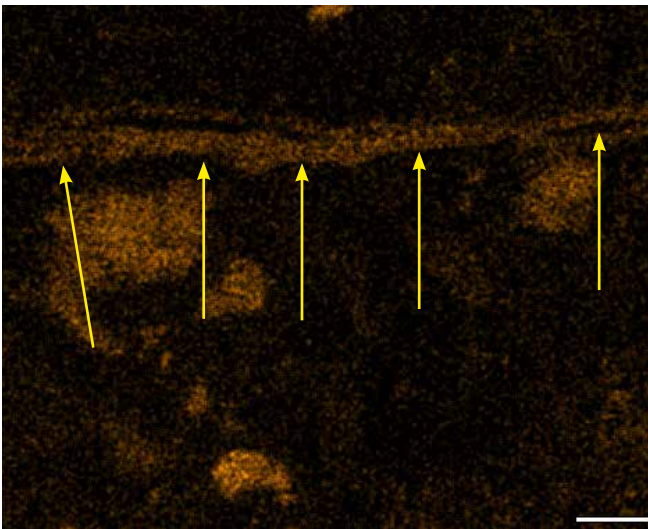
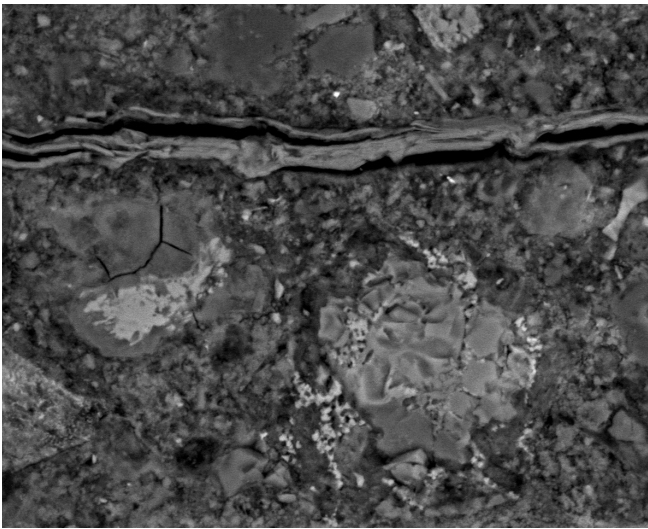


Abb. 3 a+b: Mit Alkalisilikathydraten gefüllte Risse

Abb. 4 a-b: Geschädigtes Korn im Zentrum unter einer Blase mit aufsitzenden weißen Ablagerungen

3.1 »Normale« AKR im Beton eines beschichteten Industriebodens

In [5] führt Mulkenthin aus, dass die Beschichtung von Bodenplatten mit lösemittelhaltigen oder wässrigen Beschichtungssystemen möglich erscheint, ohne dass eine AKR-Schädigung einsetzt, sofern die Beschichtung auf einen trockenen Beton (die tatsächliche Feuchte sollte dabei im Bereich der Ausgleichsfeuchte liegen) aufgebracht wird. Derartige Rahmenbedingungen liegen im Normalfall aber erst nach jahrzehntelanger Nutzung vor. Anders herum bedeutet dies aber auch, dass AKR-bedingte Schäden auftreten können, wenn vor der Beschichtungsmaßnahme im Beton signifikant über der Ausgleichsfeuchte liegende Feuchtigkeiten enthalten sind. Dies ist bei allen neu hergestellten Betonplatten der Fall. Vor dem Hintergrund dieser Ausführungen stellt sich die Frage, ob die bisherigen Maßnahmen zur Vermeidung von AKR-Schäden bei beschichteten Industrieböden geeignet sind.

Aus der bisherigen Betrachtungsweise heraus sind im Halleninnern liegende Industrieböden gemäß Tabelle 1 und Tabelle 3 der Feuchtigkeitsklasse »W0« zuzuordnen, was zur Folge hat, dass gemäß Tabelle 2 keine weitergehenden Maßnahmen zur Vermeidung AKR-bedingter Schäden zu ergreifen sind.

Im Sinne dieser Ausführungen stellt sich die Frage, ob mit Kunstharzsystemen beschichtete Industrieböden unter bestimmten Bedingungen nicht eher der Feuchtigkeitsklasse »WF« oder bei Verwendung bestimmter Grundierungen sogar der Feuchtigkeitsklasse »WA« zuzuordnen sind. Diesbezüglich ist festzustellen, dass in der jüngeren Vergangenheit immer wieder Schäden an beschichteten Industrieböden vorgefunden wurden, bei denen sich eine Blasenbildung der Kunstharzbeschichtung zeigte, die mit der schädigenden AKR einer im Beton enthaltenen Gesteinskörnung in Verbindung stand.

Im nachfolgend vorgestellten Fall enthielt der untersuchte Beton neben anderen Gesteinskörnungen alkaliempfindliche Bestandteile in Form von kieseligen Sedimentgesteinen (ähnlich Kieselkreide und Flint), von denen die Schäden ausgingen. Der Schadensherd wurde im beschriebenen Fall im oberflächennahen Beton (d. h. mehrere Millimeter unterhalb der Beschichtung) des beschichteten Industriebodens vorgefunden.

Auffällig war, dass im Zentrum dieser Abplatzungen zum Teil glasartig erscheinende Körner (rote Pfeile Abb. 1) erkennbar waren, die einen deutlichen Reaktionssaum (Eintrübung) aufwiesen. Im Rahmen der mikroskopischen Untersuchung dieser Proben zeigte sich, dass die im Beton enthaltenen, alkaliempfindlichen Gesteinskörner bereits deutliche Schäden in Form von

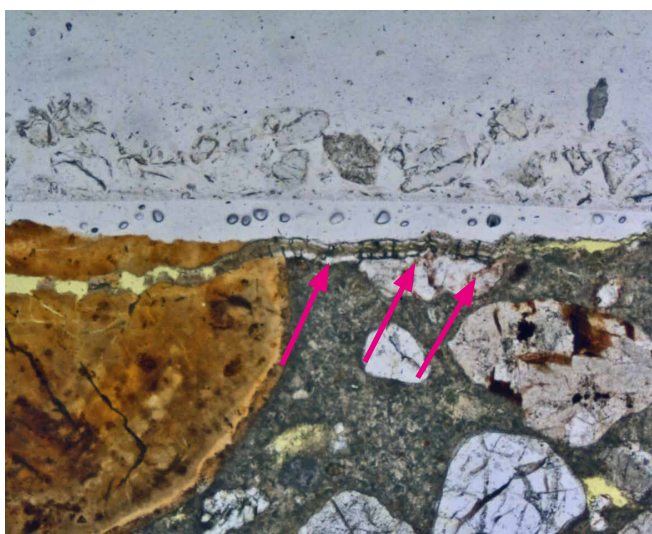
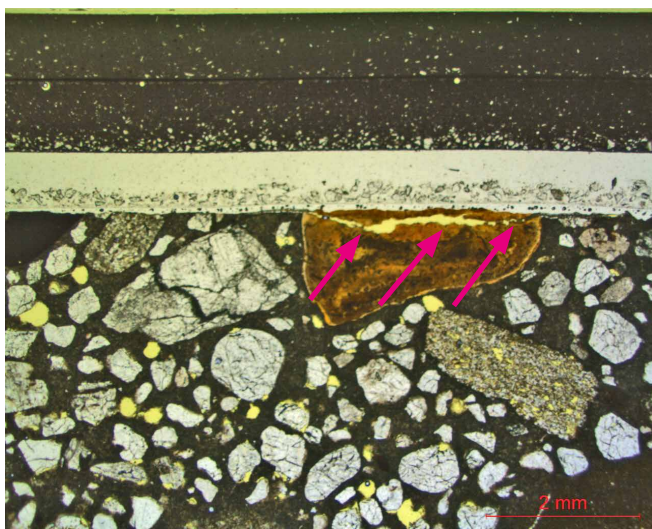


Abb. 5 a-b: Oberflächenparallel gerissenes Flintkorn unter der Beschichtung mit Ablagerungen eines AKR-Gels

Rissen aufwiesen, die sich in Richtung des Zementsteins fortsetzten. Mittels des nachfolgend dargestellten »Silicium-Mappings« (Abb. 3) konnte im Rahmen rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen darüber hinaus nachgewiesen werden, dass die Risse im Bereich des alkaliempfindlichen Gesteinskorns zum großen Teil mit Alkalisilikathydraten gefüllt waren.

3.2 AKR-Schäden, die vermutlich auf eine direkte Wechselwirkung zwischen alkaliempfindlichen Gesteinskörnern und Bestandteilen der Beschichtung zurückzuführen sind

Sehr vereinzelt wurden neben dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Schadensbild auch Treibschäden in Form von Rissbildungen an Gesteinskörnern vorgefunden, die im direkten Kontakt zum Beschichtungssystem standen. Bei einem Fall wurde keinerlei Flüssigkeit in den geöffneten Blasen des Industriebodens vorgefunden. Knapp unterhalb des Zentrums einer Blase war dafür aber ein bräunliches Gesteinskorn mit aufsitzenden weißen Ablagerungen erkennbar. (Abb. 4)

Die dünnschliffmikroskopische Untersuchung zeigte, dass es sich bei dem oben erwähnten braunen Korn vermutlich um einen Flint handelt. Dieses Korn befand sich direkt unter der Beschichtung und besaß im Schadensbereich keinen direkten Kontakt zum Zementstein des Betons. Das betroffene Gesteinskorn

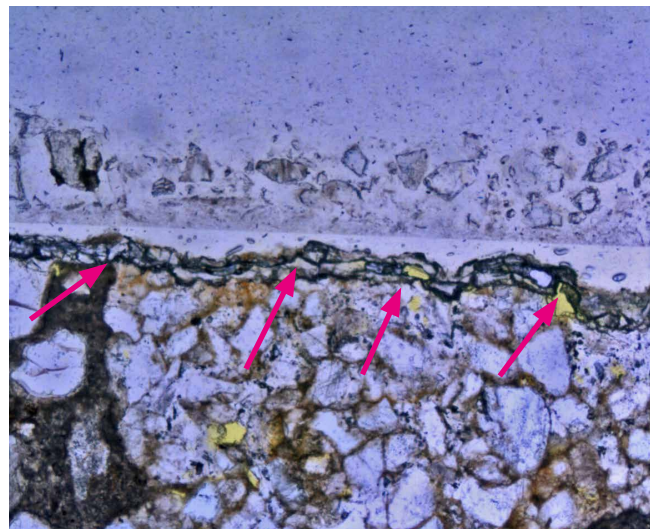


Abb. 6: Opalsandsteinkorn unter der Beschichtung mit Ablagerungen eines AKR-Gels

zeigte einen oberflächenparallelen Riss, der sich bis in den Zementstein fortsetzte. (Abb. 5)

In diesem Riss wurden Ablagerungen vorgefunden (rote Pfeile in Abb. 5 b), die bei gekreuzt polarisiertem Licht isotrope (also nicht kristalline) Eigenschaften aufwiesen. Dieses Erscheinungsbild ist typisch für Ablagerungen eines AKR-Gels. Neben dem oben erwähnten braunen Korn wurde im Bereich einer anderen Blase zusätzlich ein Korn vorgefunden, das einem alkaliempfindlichen Opalsandstein zuzuordnen war. Auch dieses Korn befand sich direkt unter der Beschichtung und war nicht von einem zementären Bindemittel umgeben. Dafür fanden sich auch im Bereich dieses Korns die oben beschriebenen Ablagerungen, die einem AKR-Gel zuzuordnen waren (s. rote Pfeile in Abb. 6).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Bildung des AKR-Gels weder bei dem Flintkorn noch bei dem Opalsandsteinkorn mit einem direkten Kontakt zum Zementstein in Verbindung stand. Wie die Ergebnisse zeigen, wiesen beide Gesteinskörner (trotz der Bildung des AKR-Gels) nur einen direkten Kontakt zum Beschichtungssystem auf.

4 Verantwortlichkeit für diese Schäden

Die Problematik bei der Bewertung der Verantwortlichkeit für AKR-Schäden an beschichteten Industrieböden besteht darin, dass man bei der Planung dieser Objekte regelwerkskonform bislang von »trockenen Rahmenbedingungen« (Feuchtekategorie »W0«) ausgegangen ist. Für die Feuchtekategorie »W0« müssen gemäß der »Alkali-Richtlinie« (siehe Abb. 2) keine Maßnahmen zur Vermeidung einer schädigenden AKR geplant werden, sodass gemäß dem einschlägigen Technischen Regelwerk weder ein Verschulden des Planers noch des Ausführenden vorliegt. Tatsächlich wurden in der Vergangenheit aber diverse Schäden in Form von Blasenbildungen und Treibschäden an beschichteten Industrieböden vorgefunden, die mit einer schädigenden AKR in Verbindung standen.

Juristisch ist die Frage nach der Verantwortlichkeit für die Entstehung der mit einem Beschichtungssystem in Verbindung ste-

Der Autor**Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß**

Dr. Karl-Uwe Voß (1966), 1985 – 1992 Chemiestudium und Promotion an der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster; 1992 – 1997 Sachbearbeiter und stellvertretender Prüfstellenleiter beim ZEMLABOR, Beckum; 1998 – 2000 technischer Geschäftsführer der Duisburger Bundesüberwachungsverbände und des Baustoffüberwachungsvereins Nordrhein-Westfalen; 2000 – 2002 Prüfstellenleiter beim ZEMLABOR; seit 2002 Geschäftsführer und Institutsleiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied; seit 2005 von der IHK Koblenz als Sachverständiger für Analyse zementgebundener Baustoffe öffentlich bestellt und vereidigt; seit 2013 im Vorstand des QS-Pflaster; seit 2014 im Vorstand des LVS Rheinland-Pfalz; seit Dezember 2014 wurde der Bestellungsenor auf den Bereich der Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen und anderen Betonwaren ausgedehnt.

Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH
Sandkauler Weg 1, 56564 Neuwied
Tel. 02631/3993-23, Fax 02631/3993-40
voss@mpva.de



henden AKR-Schäden noch nicht vollständig geklärt. Bis dahin verbleibt wohl eine haftungsrechtliche Unsicherheit bei der Bewertung derartiger Schäden.

5 Literatur

- [1] DAfStb Alkali-Richtlinie:2013-10 DAfStb-Richtlinie – Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Beuth
- [2] BetonMarketing Deutschland GmbH: Alkali-Kieselsäure-Reaktion. Erfahrungen aus der Praxis und aktuelle Regelwerke. 1. Aufl. Erkrath: Verlag Bau + Technik, 2010
- [3] Rheinwald, G.: Blasenbildung an Beschichtungen durch Substratreaktion. In: 5. Internationales Kolloquium Industrieböden. Ostfildern: 2003, S. 733–740
- [4] Rohowski, H.: Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Durch die Gesteinskörnung verursachte Schäden an Betonbauteilen und Betonwaren. BWI BetonWerk International, 2009, Nr. 4, S. 42 ff.
- [5] Molkenthin, A.; Wilsch, G.; Huckebrink, D.: Frühreaktionen beim Beschichten von Betonflächen mit Neigung zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion, 2. Kolloquium CCM
- [6] Schäper, M.; Wächter, B.: Vermeidung der Blasenbildung von Reaktionsharzbeschichtungen hinterfeuchteten Betons. In: ibausil 2012, Bauhaus Universität Weimar, Tagungsband 2, S. 928–936