

Beton- und Stahlbetonbau



Neue Ansätze zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure- Reaktion in Beton für Fahrbahndecken

Patrick Schäffel

Neue Ansätze zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion in Beton für Fahrbahndecken

1 Einleitung

Gemäß Allgemeinem Rundschreiben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ARS 04/2013 muss entweder die Alkaliempfindlichkeit einer Gesteinskörnung in einer WS-Grundprüfung, oder ein ausreichender Widerstand einer Betonzusammensetzung für Betonfahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WS gegenüber einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in einem AKR-Performance-Test nachgewiesen werden. Für Schnellbeton für die Bauliche Erhaltung von Betonfahrbahnen gilt TL BEB-StB in Verbindung mit TL Beton-StB. In TL BEB-StB wird zwischen verschiedenen Arten von Betonen mit schneller Festigkeitsentwicklung unterschieden. Beispielsweise muss ein schnellerhärtender Reparaturbeton eine Frühfestigkeit von mehr als 15 MPa nach 5 Stunden aufweisen. Für Schnellbeton dürfen Zemente gemäß DIN EN 197-1 oder Spezialzemente mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) verwendet werden. Zur Vermeidung einer schädigenden AKR darf der Alkaligehalt des Zements einen Na_2O -Äquivalent von 0,80 M.-% nicht überschreiten. Im Zusammenhang mit TL Beton-StB darf der Zementgehalt nicht größer als 360 kg/m^3 sein. Die Gesteinskörnung muss die Anforderungen der Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Betonfahrbahnen TL Beton-StB in Verbindung mit dem Allgemeinen Rundschreiben ARS 04/2013 erfüllen.

Der in dem Untersuchungsprogramm untersuchte Schnellbeton SB20 der Firma POSSEHL SPEZIALBAU GmbH wurde entwickelt, um bereits im Alter von 2 Stunden eine Festigkeit von 20 MPa aufzuweisen. Damit soll eine möglichst frühzeitige Verkehrsfreigabe bei Reparaturmaßnahmen von Betonfahrbahndecken und Flugverkehrsflächen ermöglicht werden. Um diese hohen Frühfestigkeiten zu erreichen, wurde ein Spezialzement-Gemisch mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung mit einem Alkaligehalt von $\geq 0,80 \text{ M.-%}$ verwendet, dass zu mehr als 360 kg/m^3 im Beton enthalten war. Die verwendete Gesteinskörnung wies eine WS-Grundprüfung gemäß ARS 04/2013 auf. Die deskriptiven Anforderungen zur Vermeidung einer schädigenden AKR der TL BEB-StB wurden somit nicht umfänglich erfüllt. Um den Widerstand gegenüber Alkali-Kieselsäure-Reaktion des Schnellbetons SB20 zu erhöhen, entwickelte die Firma PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG ein spezielles Compound. Der Einfluss des Compounds auf den Widerstand von Schnellbeton SB20 gegenüber einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion wurde mit dem 60°C -Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen [1] untersucht. Darüber hinaus wurde an einem Oberbeton 0/8 für Fahrbahndecken der Widerstand gegenüber AKR ebenfalls mit dem 60°C -Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen untersucht. Hierbei wurden auf der Widerstandsseite der Betonzusammensetzung sehr ungünstige Bedingungen gewählt, indem eine alkaliempfindliche Grauwacke (Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S) und AKR-Prüfzement mit einem Na_2O -Äquivalent von 1,13 M.-% und einem Gehalt von 430 kg/m^3 verwendet wurden. Damit sollte die Wirkungsweise des Compounds in Oberbeton 0/8 im Hinblick auf den AKR-Widerstand in der Feuchtigkeitsklasse WS überprüft werden. Es werden weiterhin Ergebnisse zum Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand sowie zum Eindringwiderstand gegenüber wassergefährdenden Stoffen vorgestellt.

2 Versuchsdurchführung

Die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen wurden bis auf die Druckfestigkeiten im Alter von 2 Stunden im Auftrag durch ein akkreditiertes Prüfinstitut durchgeführt. Dies schloss sowohl die Prüfungen selbst als auch die Herstellung der Betone ein.

2.1 Betonzusammensetzungen

Die Zusammensetzung der zwei untersuchten Rezepturen des Schnellbetons SB20 sind in Tabelle 1 dargestellt. Die beiden Betone unterscheiden sich lediglich in der Zusammensetzung der Basismischung SB20, die ein Gemisch aus Spezialzementen, feiner Gesteinskörnung sowie Betonzusatzmitteln darstellt. Die Basismischung SB20-oC enthält kein Compound, die Basismischung SB20-mC enthält das Compound in einer Dosierung von 2,0 M.-% v. z.

Tabelle 2 enthält die Zusammensetzung der untersuchten Oberbetonzusammensetzung 0/8 mit alkaliempfindlicher Grauwacke als grobe Gesteinskörnung und AKR-Prüfzement.

Tab. 1 Betonzusammensetzung SB20-oC ohne Compound und SB20-mC mit Compound

Ausgangsstoff	Masse in M.-%	
Basismischung SB20-oC	23,7	
Basismischung SB20-mC		24,2
Sand 0 – 4,0 mm	32,9	32,3
Splitt 5,0 – 8,0 mm	13,4	13,5
Splitt 8,0 – 11,0 mm	15,0	15,0
Splitt 11,0 – 16,0 mm	15,0	15,0
Summe	100,0	100,0
Zugabewasser	8,05	

Tab. 2 Oberbetonzusammensetzung 0/8-oC ohne Compound und 0/8-mC mit Compound

	Oberbeton 0/8-oC	Oberbeton 0/8-mC
Zement	430 kg/m^3 CEM I 32,5 R (AKR-Prüfzement 04/2016)	
Na_2O -Äquivalent	1,13 M.-%	
Wasser	193,5 kg/m^3	
Wasserzementwert	0,45	
Luftgehalt	(6,0 \pm 0,5) Vol.-%	
Compound	-	2,0 M.-% v. z.
Gesteinskörnung 0/2 mm	30 Vol.-% WS-Prüfsand	
Gesteinskörnung 2/5 mm	35 Vol.-% alkaliempfindliche Grauwacke Splitt E III-S	
Gesteinskörnung 5/8 mm	35 Vol.-% alkaliempfindliche Grauwacke Splitt E III-S	
LP-Bildner	0,035 M.-% v. z.	0,199 M.-% v. z.

2.2 Frisch- und Festbetonprüfungen

An den Frischbetonen wurden das Ausbreitmaß nach DIN EN 12350-5, die Frischbetonrohddichte nach DIN EN 12350-6 und der Luftgehalt nach DIN EN 12350-7 unmittelbar nach Mischende bestimmt.

Folgende Festbetonuntersuchungen wurden durchgeführt:

- Druckfestigkeit gemäß DIN EN 12390-3
- Widerstand gegenüber AKR mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen
- Frost-Tau-Widerstand gemäß DIN CEN/TR 15177
- Frost-Tausalz-Widerstand gemäß DIN CEN/TS 12390-9
- Eindringwiderstand gegenüber wassergefährdenden Stoffen gemäß DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, Anhang A.2

2.2.1 Betondruckfestigkeit

Die Festbetonrohddichte nach DIN EN 12390-7 und die Betondruckfestigkeit nach DIN EN 12390-3 wurden an Schnellbeton SB20 mit und ohne Compound im Alter von 2 Stunden sowie nach 28 Tagen an jeweils drei Würfeln ermittelt. Für die Bestimmung im Alter von 28 Tagen wurden drei Würfel mit 150 mm Kantenlänge nach DIN EN 12390-2/A20, bis zum Alter von 7 Tagen in einem Wasserbad mit Leitungswasser von (20 ± 2) °C und danach im Klimaraum bei (20 ± 2) °C und (65 ± 5) % r. F. (Klima 20/65) gelagert.

2.2.2 Widerstand gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

Der Widerstand der Betone gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion wurde mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen [1, 2] untersucht. Für die Alkalizufuhr wurden eine 3 %ige und eine 10 %ige Natriumchlorid-Lösung (NaCl) für jeweils drei Prismen verwendet. Die sechs Prismen lagerten bis zum Beginn der Wechsellagerung im Alter von 28 Tagen gemäß Tabelle 3. Im Alter von 28 Tagen erfolgte die Nullmessung.

Nach der 28-tägigen Vorlagerung begann die Wechsellagerung in einem 14-tägigen Zyklus gemäß Tabelle 4. Am Ende jeder Wechsellagerung wurden die Messwerte bei (20 ± 2) °C bis zum Betonalter von 224 Tagen (14 Zyklen der Wechsellagerung) bestimmt.

Tab. 3 Vorlagerung bis zum Alter von 28 Tagen

Lagerungsphase	Lagerungsdauer	Messung am Ende der Lagerung	Klima
Vorlagerung 28 Tage	1 d	-	abgedeckt in der Schalung
	6 d	-	(20 ± 2) °C und ≥ 95 % r. F.
	14 d	-	20 ± 2 °C und (65 ± 5) % r. F.
	6 d	-	(60 ± 2) °C und ≥ 98 % r. F.
	1 d	x (Nullmessung)	(20 ± 2) °C und ≥ 98 % r. F.

Tab. 4 Wechsellagerung beim 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

Lagerungsphase	Lagerungsdauer	Messung am Ende der Lagerung	Klima
Wechsellagerung im Zyklus von 14 Tagen (Zeitgrenze = 14 Wiederholungen)	5 d	-	(60 ± 2) °C im Trockenschrank
	2 d	-	(20 ± 2) °C in Prüflösung
	6 d	-	(60 ± 2) °C und ≥ 98 % r. F.
	1 d	x	(20 ± 2) °C und ≥ 98 % r. F.

2.2.3 Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand

Der Frost-Tau-Widerstand bzw. Frost-Tausalz-Widerstand wurde an Schnellbeton SB20 ohne Compound (s. Tabelle 1) mit dem CIF-Verfahren in Anlehnung an DIN-Fachbericht CEN/TR 15177 bzw. in Anlehnung an DIN CEN/TS 12390-9 bestimmt. Im Unterschied zu den genannten Regelwerken wurden die Prüfungen nicht im Alter von 28 Tagen, sondern bereits im Alter von 12 Stunden begonnen. Hierzu verblieben die Probekörper nach der Herstellung für rd. 10 Stunden in Stahlformen vor Austrocknung geschützt bei (20 ± 2) °C und > 95 % rel. F. Danach wurden die Probekörper ausgeschalt. Nach dem Ausschalen wurden die Probekörper mit Aluminiumklebeband mit Butylkautschuk versiegelt, und die Prüfung begann mit dem kapillaren Saugen im Alter von 12 Stunden.

2.2.4 Eindringwiderstand gegenüber wassergefährdenden Stoffen

Der Eindringwiderstand des Schnellbetons SB20 gegenüber wassergefährdenden Stoffen wurde gemäß DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, Anhang A.2 [6] bestimmt. Es wurde die Eindringtiefe und -menge in einen Referenz FD-Beton gemäß [6] sowie an Schnellbeton SB20-mC mit Compound über eine Beaufschlagungsdauer von 72 Stunden mit den Referenzflüssigkeiten n-Hexan und Di-Chlormethan bestimmt.

Hierzu wurden jeweils Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm zunächst für 24 Stunden von Austrocknung geschützt bei (20 ± 2) °C und einer rel. Feuchte von > 95 % gelagert. Nach dem Ausschalen im Alter von 1 Tag, wurden die Probekörper bis zum Alter von 7 Tagen konserviert bei einer Temperatur von (20 ± 1) °C gelagert. Im Alter von 7 Tagen wurden aus den Probekörpern in Herstellungsrichtung Zylinder mit einem Durchmesser von 80 mm und einer Länge von 150 mm entnommen. Die Zylinder wurden bis zum Alter von 56 Tagen im Klima 20/65 gelagert. Anschließend erfolgte das Einkleben der Metallzylinder an der Einfülloberseite des Zylinders und die Abdichtung der Mantelflächen mit Epoxidharz und Edelstahlfolie. Die Beaufschlagung mit den Referenzflüssigkeiten erfolgte über aufstehende Kapillarröhrchen mit Skalierung und begann im Alter von 63 Tagen.

Die Eindringmenge über eine Dauer von 72 Stunden wurde an aufstehende Kapillarröhrchen mit Volumenskalierung abgelesen. Zur Bestimmung der Eindringmenge wurden die Bohrkern nach der Beaufschlagungsdauer von 72 Stunden entlang der Mantellinie gespalten, und es wurden 15 s nach dem Spalten thermografische Aufnahmen gemacht. Hiermit wurde anhand der beim Verdunsten der Referenzflüssigkeiten sichtbaren negativen Temperaturdifferenz die Eindringtiefe ermittelt.

Tab. 5 Zementart, Zementgehalt, Wasserzementwert w/z, Ausbreitmaß a_0 nach Mischende und a_{10} nach 10 min und Frischtemperatur T_f des FD-Betons

Zementart	Zementgehalt	w/z-Wert	a_0	a_{10}	T_f
	kg/m ³	-	mm		°C
CEM I 32,5 R	320	0,50	470	400	21,1

Die Betonzusammensetzung sowie die Frischbetoneigenschaften des zum Vergleich herangezogenen FD-Betons, der gemäß [6] hergestellt wurde, sind in Tabelle 5 angegeben.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Frischbetoneigenschaften

Das Ausbreitmaß, die Frischbetonrohddichte und der Luftgehalt des Schnellbetons SB20-oC ohne Compound und SB20-mC mit Compound sind in Tabelle 6 dargestellt. Das Compound hatte einen geringen Einfluss auf das Ausbreitmaß und den Luftgehalt des frischen Schnellbetons SB20. Zum Einstellen des Zielluftgehalts von $(6,0 \pm 0,5)$ Vol.-% beim Oberbeton 0/8 wurden eine rd. fünffach höhere Dosiermenge des luftporenbildenden Zusatzmittels benötigt (s. Tabelle 2).

3.2 Festbetoneigenschaften

3.2.1 Betondruckfestigkeit

Die Druckfestigkeit und die Festbetonrohddichte des Schnellbetons SB20-oC ohne Compound und des Schnellbetons SB20-mC mit Compound sind jeweils als Mittelwert aus drei

Tab. 6 Frischbetoneigenschaften von Schnellbeton SB20-oC ohne Compound und Schnellbeton SB20-mC mit Compound

	Ausbreitmaß in mm	Frischbetonrohddichte in kg/m ³	Luftgehalt in Vol.-%
SB20-oC	540	2470	1,7
SB20-mC	470	2490	2,0

Tab. 7 Betondruckfestigkeit und Festbetonrohddichte von Schnellbeton SB20-oC und Schnellbeton SB20-mC im Alter von 2 Stunden und 28 Tagen

	Betonalter	Betondruckfestigkeit in MPa	Festbetonrohddichte in kg/m ³
SB20-oC	2 Stunden	21,2 ¹⁾	2480
SB20-mC		20,2	2470
SB20-oC	28 Tage	75,6	2470
SB20-mC		65,2	2450

¹⁾ Mittelwert aus 5 Einzelwerten

Einzelwerten in Tabelle 7 dargestellt. Die 2 Stunden-Werte wurden im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle der Fa. PAGEL SPEZIAL-BETON ermittelt. Die 28 Tage-Werte wurden im Rahmen der AKR-Untersuchungen durch das akkreditieren Prüfinstitut bestimmt. Die Betondruckfestigkeit im Alter von 28 Tagen war beim Schnellbeton SB20-mC mit Compound um rd. 14 % geringer als beim Vergleichsbeton SB20-oC ohne Compound. Der Einfluss des Compounds auf die 2 Stunden-Festigkeit betrug rd. 5 %.

3.2.2 Widerstand gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

Die Dehnungen des Schnellbetons SB20-oC in 3 %iger und in 10 %iger NaCl-Lösung sind in Bild 1, linke Seite, dargestellt. Beim Schnellbeton SB20-oC betrug die Dehnungen nach 7 Zyklen der Wechsellagerung (Betonalter 126 Tage) 3,91 mm/m (10 %ige NaCl-Lösung) und 3,25 mm/m (3 %ige NaCl-Lösung). Die Prüfung wurden nach 7 Zyklen auf Grund der hohen Dehnungen abgebrochen.

Durch die Zugabe des Compounds verringerten sich die Dehnungen des Schnellbetons signifikant. Die Dehnungen des Schnellbetons SB20-mC in 3 %iger und in 10 %iger NaCl-Lösung sind in Bild 1, rechte Seite, dargestellt. Die Betonprismen zeigten ab einem Alter von 28 Tagen einen für das Prüfverfahren eher unüblichen, negativen Dehnungsverlauf (Schwinden). Bei der 3 %igen NaCl-Lösung stellte sich ab dem

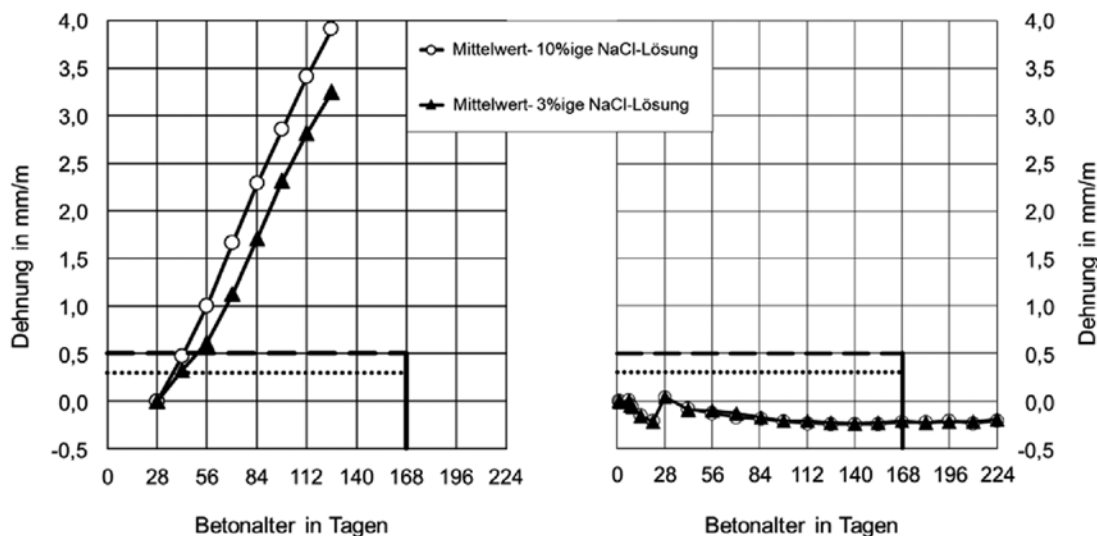


Bild 1 Dehnung des Schnellbetons SB20-oC ohne Compound (links) und des Schnellbetons SB20-mC mit Compound (rechts) im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

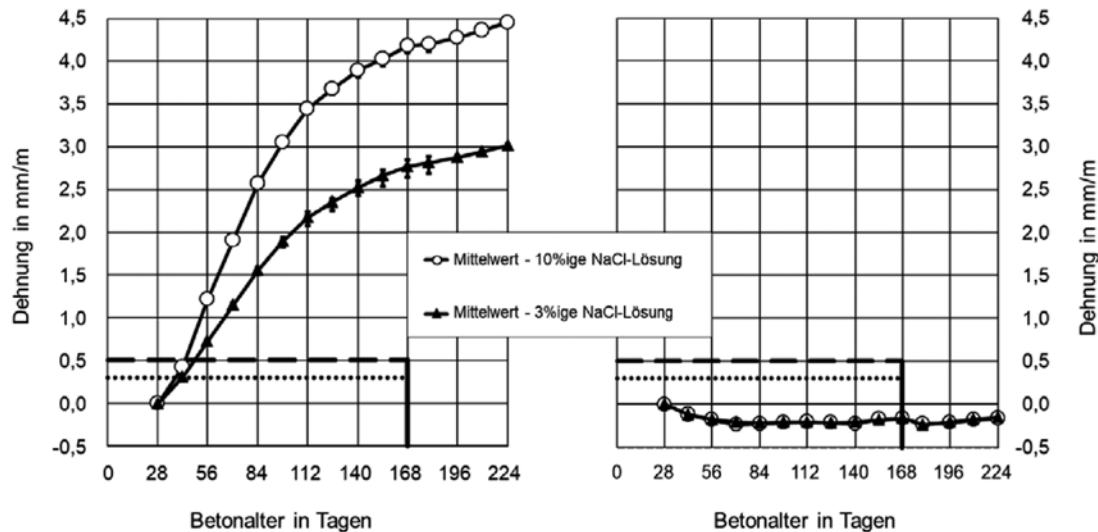


Bild 2 Dehnung des Oberbetons 0/8 ohne Compound (links) und mit Compound (rechts) im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

Alter von 85 Tagen ein asymptotischer Dehnungsverlauf ein. Die mittlere Schwinddehnung der Prismen betrug rd. $(-0,20 \pm 0,01)$ mm/m. Nach 10 Zyklen der Wechsellagerung (Betonalter 168 Tage) betragen die Schwinddehnungen $-0,15$ mm/m (10 % NaCl) und $-0,23$ mm/m (3 % NaCl). Die negativen Dehnungsverläufe deuten darauf hin, dass keine Schädigungen aufgetreten sind, die auf eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion zurückzuführen sind.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse an dem Schnellbeton SB20 wurde die gleichen Performanceprüfungen an einer Rezeptur für Oberbeton für Straßendecken mit den in Tabelle 2 angegebenen Betonzusammensetzungen durchgeführt. Die Dehnungen des Oberbetons 0/8 ohne Compound sind in Bild 2, linke Seite, jeweils für eine 3 %ige und eine 10 %ige NaCl-Lösung dargestellt. Nach 10 Zyklen der Wechsellagerung (Betonalter 168 Tage) betragen die Dehnungen rd. 4,2 mm/m (10 %ige NaCl-Lösung) und rd. 2,8 mm/m (3 %ige NaCl-Lösung). Die hohen Dehnungen deuten auf eine Schädigung hin, die auf eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion zurückzuführen ist. Erwartungsgemäß wies der Beton einen geringen AKR-Widerstand auf.

Durch Zugabe des Compounds verbesserte sich der Widerstand gegenüber einer AKR signifikant. Bild 2, rechte Seite, zeigt die Dehnungen des Oberbetons 0/8 mit Compound jeweils für eine

3 %ige und eine 10 %ige NaCl-Lösung. Die Betonprismen zeigten – wie auch schon beim Schnellbeton SB20-mC mit Compound – einen für das verwendete Prüfverfahren unüblichen, negativen Dehnungsverlauf (Schwinden). Bei beiden Prüflösungen stellte sich ab dem Alter von 56 Tagen ein asymptotischer Schwindverlauf ein. Die Schwinddehnungen betragen für beide Prüflösungen im Mittel $(0,20 \pm 0,02)$ mm/m. Vergleichbar zum Schnellbeton SB20-mC mit Compound deuten auch diese negativen Dehnungen beim Oberbeton 0/8 mit Compound darauf hin, dass keine schädigende Reaktion stattgefunden hat, die auf eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion zurückzuführen ist.

3.2.3 Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand

Für einen Schnellbeton zur Erneuerung von Verkehrsflächen sind neben einem hohen Widerstand gegenüber einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion ebenso ein hoher Frost-Tau-Widerstand bzw. Frost-Tausalz-Widerstand erforderlich. Gemäß TL BEB-StB darf die Abwitterungsmenge von Schnellbeton im Alter von 28 Tagen – bestimmt mit dem CDF-Verfahren – nicht größer als 1500 g/m^2 nach 28 Frost-Tau-Wechseln sein. Betone für die Expositions-kategorie XF3, die mit dem CIF-Verfahren untersucht werden, sind beim Einsatz in Verkehrswasserbauten entsprechend den von der Bundesanstalt für Was-

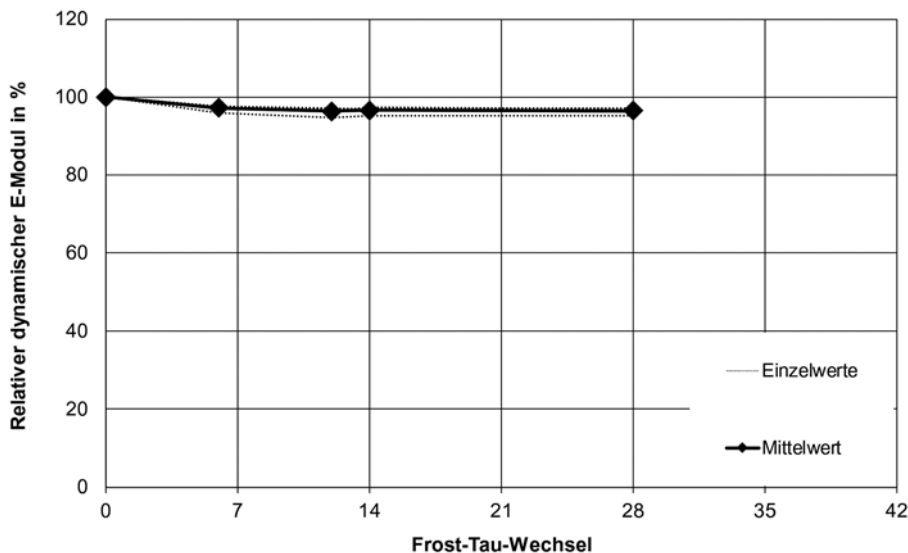


Bild 3 Zeitlicher Verlauf des relativen dynamischen E-Moduls im CIF-Test, Prüfalter 12 Stunden

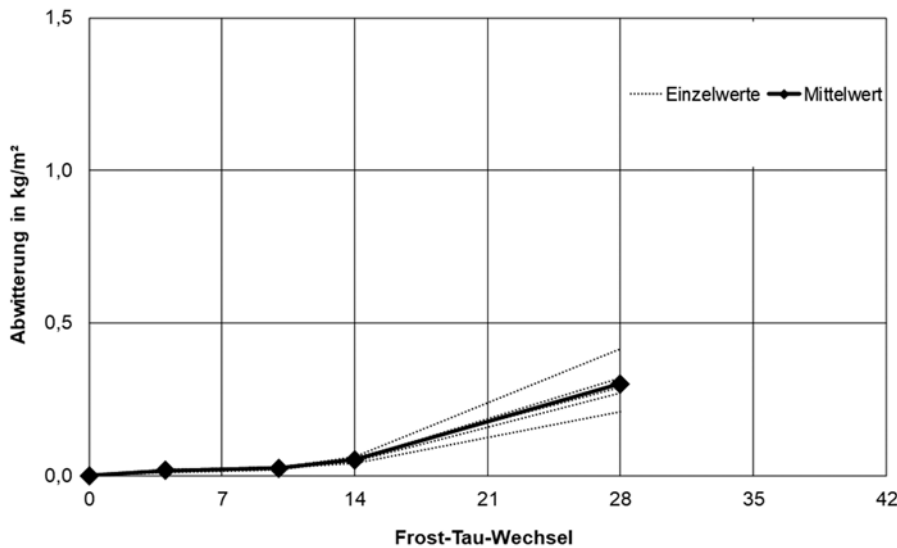


Bild 4 Zeitlicher Verlauf der Abwitterung im CDF-Test, Prüfalter 12 Stunden

serbau (BAW) [3] aufgestellten Abnahmekriterien zu bewerten. Außerhalb dieses Regelungsbereiches fehlen zurzeit Festlegungen zur Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, die in der Laborprüfung ohne Schädigung des Betons (relativer dynamischer E-Modul $\geq 80\%$ [4]) mindestens zu erreichen sind. [5]

Nach dem Merkblatt Frostprüfung von Beton (BAW-Merkblatt „Frostprüfung“) [3] gilt ein Beton als geschädigt, wenn der relative dynamische E-Modul von 75 % unterschritten wird. Als Abnahmekriterium darf dieser Wert in der Eignungsprüfung an gegen Teflon geschalteten Probekörpern erst nach mehr als 28 Frost-Tau-Wechseln erreicht werden. Als zusätzliches Abnahmekriterium darf die Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln nicht mehr als 1.000 g/m² getragen.

Der zeitliche Verlauf des relativen dynamischen E-Moduls im CIF-Test von Schnellbeton SB20-oC ohne Compound mit einem Prüfbeginn nach 12 Stunden ist in Bild 3 dargestellt. Der relative dynamische E-Modul fiel nach 28 Frost-Tau-Wechseln nicht unter 95 % ab. Die Abwitterungsmenge nach 28 Frost-Tau-Wechseln betrug weniger als 50 g/m². Auf Grund der Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass der Schnellbeton SB20-oC auch bei einem frühen Prüfbeginn von nur 12 Stunden einen hohen Frost-Tau-Widerstand gemäß der im BAW-Merkblatt „Frostprüfung“ [3] angegebenen Bewertungsgrundlage aufweist.

Die Simulation einer Frost-Tausalz-Beanspruchung von Beton mit hoher Wassersättigung kann gemäß [5] mit dem CDF-Prüfverfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 durchgeführt werden, mit dem die in der Praxis maßgebenden Schädigungsprozesse beschleunigt ablaufen. Damit ist auf Basis der Abwitterung eine Bewertung von Betonen für die Expositionsklasse XF4 möglich. Das Abnahmekriterium von 1.500 g/m² nach 28 Frost-Tau-

Wechseln hat sich zur Bewertung einer ausreichenden Leistungsfähigkeit als geeignet herausgestellt.

Der zeitliche Verlauf der Abwitterung des Schnellbetons SB20-oC im CDF-Test ist in Bild 4 dargestellt. Die mittlere Abwitterungsmenge nach 28 Frost-Tau-Wechseln bei einem Prüfbeginn im Alter von 12 Stunden betrug rd. 300 g/m². Der relative dynamische E-Modul fiel nach 28 Frost-Tau-Wechseln nicht unter 95 % ab. Auf Grund der Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass der Schnellbeton SB20-oC auch bei einem frühen Prüfbeginn von nur 12 Stunden einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand gemäß der oben angegebenen Bewertungsgrundlage aufweist.

3.2.4 Eindringwiderstand gegenüber wassergefährdenden Stoffen

Neben einem hohen Widerstand gegenüber AKR sowie Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Angriff stellt eine hohe Dichtigkeit gegenüber eindringenden Medien eine wichtige dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaft von Beton dar. Vor diesem Hintergrund wurde der

Tab. 8 Eindringtiefen und -mengen der Referenzflüssigkeiten Di-Chlormethan und n-Hexan in FD-Beton gemäß [6] und in FDE-Schnellbeton SB20-mC mit Compound

	Eindringtiefe in mm		Eindringmenge in l/m ²	
	Di-Chlormethan	n-Hexan	Di-Chlormethan	n-Hexan
FD-Beton	39,2	32,3	1,53	1,37
FDE-SB20-mC	20,9	12,1	0,57	0,61

Tab. 9 Ermittlung der neuen Grenzlinie für FDE Schnellbeton SB20-mC mit Compound

Prüfflüssigkeit	$(\sigma/\eta)^{0,5}$	Eindringtiefe				Mittel X %
		mm		%	Bild 2-1 ^a	
		FD	FDE	FDE/FD		
Di-Chlormethan	7,97	39,3	20,9	21/37 = 57	47	
n-Hexan	7,83	32,3	12,1	12/32 = 38		

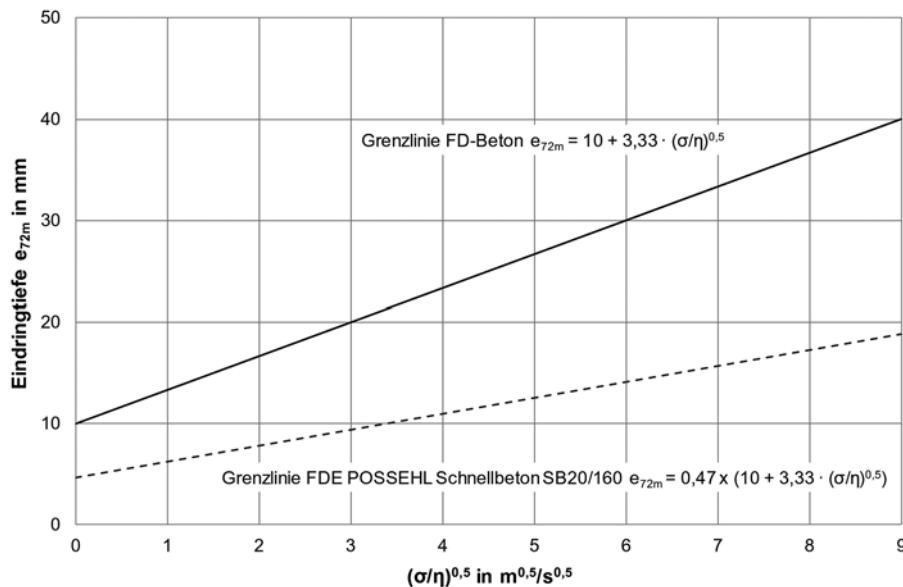


Bild 5 Grenzlinie für FDE Schnellbeton SB20-mC mit Compound gemäß DAfStb-Richtlinie [6]

Eindringwiderstand von Schnellbeton SB20-mC mit Compound gegenüber wassergefährdenden Stoffen überprüft.

Die mittleren Eindringtiefen und -mengen in den Referenz FD-Beton gemäß DAfStb-Richtlinie und in FDE-Schnellbeton SB20-mC sind in Tabelle 8 angegeben.

Gemäß Anhang B: Erläuterungen zu 4.2.2 der DAfStb-Richtlinie [6] kann für einen FDE-Beton eine neue Grenzlinie mit den Bemessungs-Eindringtiefen ermittelt werden. Die neue Grenzlinie für FDE Schnellbeton SB20-mC mit Compound, ausgedrückt als prozentuale Absenkung FDE/FD in % ist in Tabelle 9, letzte Spalte, angegeben. Die neue Grenzlinie ist in Bild 5 dargestellt.

4 Diskussion der Ergebnisse

Ausgangssituation und Motivation der vorgestellten Untersuchungen war die Fragestellung, ob das neu entwickelte Compound eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion in Schnellbeton für Reparaturmaßnahmen von Verkehrsflächen vermindern kann. Der Widerstand der SB20-Betonzusammensetzung gegenüber einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion wurde gemäß ARS 04/2013 in einem AKR-Performance-Test untersucht. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass das neu entwickelte Compound zur Vermeidung einer schädigenden AKR in Beton zu einer signifikanten Verminderung der Dehnungen im 60 °C-Betonversuch führten. Es wurden hierbei nicht nur die Dehnungen vermindert, vielmehr führte die Verwendung des Compounds in Schnellbeton SB20-mC zu einem Schwindverhalten jeweils am Ende einer Lagerungsphase über eine Dauer von 224 Tagen. Ein vergleichbarer Einfluss des Compounds wurde auf das Dehnungsverhalten von Oberbeton 0/8 festgestellt. Die für eine schädigende AKR typischen Dehnungsverläufe wurden vollständig unterbunden. Sowohl beim Schnellbeton SB20-mC mit Compound als auch beim hoch reaktiven Oberbeton 0/8 mit Compound deuten die negativen Dehnungen hin, dass keine schädigenden Reaktionen stattgefunden haben, die auf eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion zurückzuführen sind. Diese Ergebnisse wurden durch Dünnschliffuntersuchungen bestätigt, wonach im Gefüge des Betons, das mittels Lichtmikroskopie an einem Dünnschliff untersucht wurde, keine Hinweise auf Reaktionsprodukte einer AKR beobachtet wurden. Unter Bezug auf den für übliche Fahr-

bahndeckenbetone bestehenden Erfahrungs- bzw. Bewertungshintergrund kann für den Schnellbeton SB20-mC mit dem verwendeten Prüfverfahren und den an Fahrbahndeckenbetonen verschiedener Bundesautobahnen ermittelten Bewertungskriterien von einem ausreichenden AKR-Widerstand in der Feuchtigkeitsklasse WS ausgegangen werden. Basierend auf den Anforderungen im ARS 04/2013, wonach entweder die Alkaliempfindlichkeit einer Gesteinskörnung in einer WS-Grundprüfung, oder ein ausreichender Widerstand einer Betonzusammensetzung gegenüber einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion in einem AKR-Performance-Test nachgewiesen werden muss, erscheint der 60 °C-Performance Test eine zielführende Maßnahme zu sein, den Widerstand von Schnell- und Spezialbeton für Reparaturmaßnahmen von Verkehrsflächen gegenüber einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion zu beurteilen.

Die Ergebnisse des mit dem CIF-Test untersuchten Frost-Tau-Widerstands von Schnellbeton SB20-oC ohne Compound zeigen, dass auf Grundlage der Bewertungskriterien der BAW bereits mit einem Prüfbeginn im Alter von 12 Stunden von einem hohen Widerstand gegenüber einer Frost-Tau-Beanspruchung, so wie sie in der Expositionsklasse XF3 vorgefunden wird, ausgegangen werden kann. Das gleiche gilt für den Widerstand gegenüber einer Frost-Tausalz-Beanspruchung der Expositionsklasse XF4, die mit dem CDF-Verfahren untersucht wurde. Die Anforderungen in TL BEB-StB hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstands wurden erfüllt.

Die Untersuchungen zum Eindringwiderstand des Schnellbetons SB20-mC mit Compound gemäß DAfStb-Richtlinie zeigten, dass gegenüber einem nach Richtlinie hergestellten FD-Beton eine um rd. 50 % verringerte Eindringtiefe von wassergefährdenden Stoffen ermittelt wurde. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere für Flächen, bei denen Beton die Funktion einer Dichtkonstruktion zu erfüllen hat, Schnellbeton SB20-mC einen erhöhten Widerstand gegenüber eindringenden wassergefährdenden Stoffen aufweist. Diese Eigenschaft ist insbesondere für Flächen und Konstruktionen von Bedeutung, bei denen Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) einzuhalten sind. Beispielhaft sind hierbei Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umfüllen von wassergefährdenden Stoffen zu nennen, wie z. B. Tankstellen, Anlagen der chemischen Industrie, Betankungsflächen- und Enteisungsflächen auf Flughäfen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorgestellte POSSEHL Schnellbeton SB20 zeichnet sich durch eine hohe Frühfestigkeit sowie durch eine hohe Dauerhaftigkeit aus. Durch eine Druckfestigkeit von 20 MPa im Alter von nur zwei Stunden kann bei Reparaturmaßnahmen von Verkehrs- und Flugflächen bereits nach kürzester Zeit eine Verkehrsfreigabe erfolgen. Dadurch werden der Verkehr und der Betriebsablauf während der Reparaturmaßnahme nur geringfügig beeinträchtigt. Im AKR-Performance Test wurde nachgewiesen, dass durch die Verwendung des neu entwickelten PAGEL Compounds eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion vollständig vermieden wird. Der Schnellbeton SB20-oC ohne Compound zeichnet sich durch einen hohen Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand aus und erfüllt damit die entsprechenden Anforderung der TL BEB-StB. Gegenüber einem flüssigkeitsdichten FD-Beton weist der Schnellbeton SB20-mC einen rd. doppelt so hohen Eindringwiderstand gegenüber wassergefährdenden Stoffen auf. Dieser erhöhte Eindringwiderstand kann für die Dichtheitsnachweise gemäß DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ sowie zur Prüfung des Umläufigkeitsverhaltens wassergefährdender Stoff im Bereich von wasserrechtlich zugelassenen, eingebauten Fugenabdichtungssystemen herangezogen werden.

Um den Kenntnisstand zum Einfluss des Compounds auf weitere dauerhaftkeitsrelevante Eigenschaften von Schnellbeton und Normalbeton zu erweitern, werden derzeit weitere Dauerhaftigkeitsuntersuchungen, z. B. zum Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand durchgeführt. Darüber hinaus werden derzeit Untersuchungen zur Wechselwirkung mit anderen Betonzusatzmitteln und dem Einfluss auf maßgebliche Frischbetoneigenschaften, wie z. B. die Konsistenz und den Luftgehalt durchgeführt.

6 Literatur

- [1] Müller, C.; Borchers, I.; Eickschen, E.: Erfahrungen mit AKR-Prüfverfahren : Hinweise zur Ableitung praxisgerechter Bewertungskriterien für Performance- und WS-Grundprüfungen. In: Beton 62 (2012) 10, S. 397–404
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Erläuterungen zum Verfahren V3. Bergisch Gladbach, (Download 24.10.2017). Download: http://www.bast.de/DE/Strassenbau/Qualitaetsbewertung/Listen/pdf/AKR-Gesteinsliste-Erlaeterungen.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [3] Bundesanstalt für Wasserbau, BAW (Hrsg): Merkblatt Frostprüfung von Beton. Karlsruhe; (u.a.), 2004 (BAW-Merkblatt: Frostprüfung)
- [4] Setzer, M. J.; Heine, P.; Kasperek, S.; Palecki, S.; Auberg, R.; Feldrappe, V.; Siebel, E.: RILEM TC 176-IDC: Internal damage of concrete due to frost action Final Recommendation : Test methods of frost resistance of concrete: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Reference method and alternative methods A and B. In: Materials and Structures/Materiaux et Constructions 37 (2004) 274, S. 743–753
- [5] Müller, H. S.; Guse, U.: Zusammenfassender Bericht zum Verbundforschungsvorhaben „Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse“. Berlin: Beuth, 2010 (DAfStb: Schriftenreihe 577)
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) (Hrsg): DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BumwS). Berlin; 2011 (DAfStb-Richtlinie BumwS)

P. Schäffel

PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG
schaeffel@pagel.de



PAGEL® SPEZIAL-BETON

Seit mehr als vier Jahrzehnten bestimmt die Firma **PAGEL® SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG**, Essen, die Entwicklung von Verguss-, Reparatur- und Spezialmörteln. Dabei sind insbesondere die **PAGEL® VERGUSSMÖRTELSYSTEME** mit der bekannten Marke **V1®** sowie die **PAGEL® BETONINSTANDSETZUNGS-SYSTEME** für ihre gleichbleibende und stets höchste Qualität bekannt – und das weltweit in mehr als 50 Ländern!

• VERGUSSMÖRTEL

• BETONINSTANDSETZUNG

- Produkte nach ZTV-ING, Rili-SiB, EN 1504
- Verarbeitung von Hand und spritzbar
- Instandsetzung von Beton-, Stahlbeton mit geringen Druckfestigkeiten S-A2, S-A3 und CE EN1504-3
- Feinbeton mit Textilbewehrung zur Verstärkung von Betonbauteilen und CE EN1504-3
- Vergussbeton zur Instandsetzung gemäß DAfStb-Richtlinie sowie CE EN1504-3

• OBERFLÄCHENSCHUTZ

• INDUSTRIEBODEN

• REAKTIONSHARZE

• BAUPRODUKTE

• OFF-/ONSHORE-VERGUSS

*...wir machen gute Mörtel
– weltweit!*

