

Bewertung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonpflastersteinen – Teil 1

Der Witterungsbeständigkeit von Betonpflastersteinen kommt insbesondere dort große Bedeutung zu, wo Pflasterdecken häufigen Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt sind. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die Bedingungen in »warmen Innenstädten« (nur wenige Frosttage) und auf hohen Bergen (wenige Tage oberhalb der Frostgrenze) im Regelfall weniger kritisch sind, als in Teilflächen, wo ständige Frost-Tauwechsel auftreten. So ist die erhöhte Schadensanfälligkeit im Bereich z. B. von Autowaschplätzen im Wesentlichen auf die große Anzahl der Frost-Tau-Wechsel zurückzuführen.

Aufgrund der klimatischen Rahmenbedingungen müssen Pflasterdecken in Deutschland unter Verwendung von Betonpflastersteinen ausgeführt werden, die erhöhte Anforderungen an den Witterungswiderstand (Klasse 3 nach DIN EN 1338) erfüllen. Trotzdem werden immer wieder Schäden in Form von Betonabplatzungen an Pflasterbelägen vorgefunden, die nicht selten Gegenstand von Rechtsstreitigkeiten sind (siehe Abb. 1).



Abb. 1 a+b: Frost-Tausalz-Schäden an Betonpflastersteinen einer ruhigen Anliegerstraße

Vor diesem Hintergrund wird im nachfolgenden Artikel in erster Linie auf die technologische Bewertung von Flächenbefestigungen eingegangen, bei denen Schäden an Pflasterbelägen durch Frost-Tausalz-Einwirkungen entstanden sind. Hierbei werden u. a. im Besonderen die Untersuchungsmethoden aufgezeigt, die zum Nachweis der Schadensursache und zur Festlegung der Mangelbeseitigungsmaßnahmen eingesetzt werden können. Nähere Einzelheiten u. a. zu den Schadensmechanismen sowie der Beurteilung von Bauwerksproben sind [3] zu entnehmen.

1 Optisches Erscheinungsbild

1.1 Schadensbilder

Frost-Tausalz-Schäden an Pflasterbelägen können ein sehr unterschiedliches Erscheinungsbild aufweisen. So können sie in Form von lokal begrenzten oder flächigen Zementsteinabwitterungen oder als punktförmige Pop-Outs oberhalb einzelner Gesteinskörner auftreten.

Flächige Zementsteinabwitterungen stellen das übliche Erscheinungsbild von Frost-Tausalz-Schäden an Pflasterbelägen dar, wobei das Ausmaß der Abwitterungen stark variieren kann (s. Abb. 1 und Abb. 2). Auch die Anzahl der betroffenen Pflastersteine kann (selbst bei Verwendung von Produkten aus einer Produktionscharge) in erheblichem Umfang variieren. So sind

häufig nur Einzelsteine oder kleinflächig begrenzte Teilflächen betroffen, in Einzelfällen können aber auch nahezu alle Pflastersteine einer Pflasterdecke geschädigt sein.

Neben flächigen bzw. teilflächigen Abwitterungen finden sich nicht selten auch punktuell auftretende Abwitterungen (sog. Pop-Outs) an den Oberflächen der Pflastersteine. Diese Schäden beginnen im Normalfall über oberflächennahen Gesteinskörnern des Vorsatzbetons und setzen sich von hier aus in Richtung des Zementsteins fort (s. Abb. 3).



Abb. 2 a+b: Zementsteinabwitterungen an Betonpflastersteinen mit einer geringen Abwitterungstiefe

1.2 aus dem zweiten Teil des Artikels oder Abschnitt 1 aus [3]).

Darüber hinaus hat die Witterungsbeständigkeit der Gesteinskörnung bei vielen Fällen gar keinen konkreten Einfluss auf die Entstehung der Schäden. Bei diesen Fällen stellt sich bei näherer Untersuchung der Schadensursache nicht selten heraus, dass sich im Zentrum dieser Abwitterungen völlig intakte Gesteinskörner mit einem dichten Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand finden (Abb. 4).

Bei den in Abb. 4 dargestellten Fällen war die Entstehung der Zementsteinabwitterungen oberhalb der Gesteinskörner nicht auf einen unzureichenden Frost-Tausalz-Widerstand der Gesteinskörnung, sondern auf das Zusammenspiel der nachfolgend genannten Effekte zurückzuführen:

- Die Porosität dichter Gesteinskörner (in Abb. 5 an deren dunkler Farbe erkennbar) ist deutlich geringer als die des Zementsteins (grüne Teilflächen aus Abb. 5). Das im Übergangsbereich vom Zementstein zur Gesteinskörnung gefrierende Wasser kann sich demnach nicht in Richtung des Gesteinskorns ausdehnen (hier liegt nur ein sehr kleiner freier Expansionsraum vor) und sprengt den aufsitzenden Zementstein ab.
- In der Kontaktzone zwischen den dichten Gesteinskörnern und dem Zementstein bildet sich aufgrund der geringen Wasseraufnahmefähigkeit der Gesteinskörner häufig eine dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität (rote Pfeile aus Abb. 6), erhöhter Wasseraufnahmefähigkeit und einer reduzierten Witterungsbeständigkeit.

Bei diesen Schadensfällen war somit nicht eine reduzierte Qualität der Gesteinskörnung verantwortlich für die Abwitterung des Zementsteins, vielmehr war ein nicht ausreichend Frost-Tausalz-beständiger Zementstein in Verbindung mit einer sehr

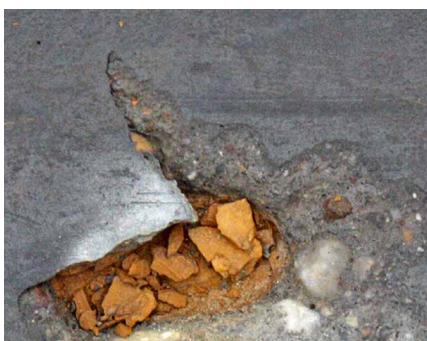


Abb. 3 a+b: Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner

Bei einigen Schäden sind diese punktuellen Abwitterungen auf die Verwendung einzelner Gesteinskörner ohne eine ausreichende Witterungsbeständigkeit zurückzuführen (s. Abb. 3). Mit dieser Kenntnis wird eine Vielzahl von Witterungsschäden im Reklamationsfall nicht selten ohne Durchführung weiterer Untersuchungen auf die Verwendung nicht ausreichend witterungsbeständiger und damit »mangelhafter« Gesteinskörner zurückgeführt. Eine derartige Schlussfolgerung ist nicht selten falsch. So dürfen auch regelwerkskonforme Gesteinskörnungen normativ gewisse Anteile an nicht verwitterungsbeständigen Anteilen enthalten (siehe hierzu auch Abschnitt



Abb. 4 a+b: Gesteinskörner mit einem dichten Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand im Zentrum von Zementsteinabwitterungen

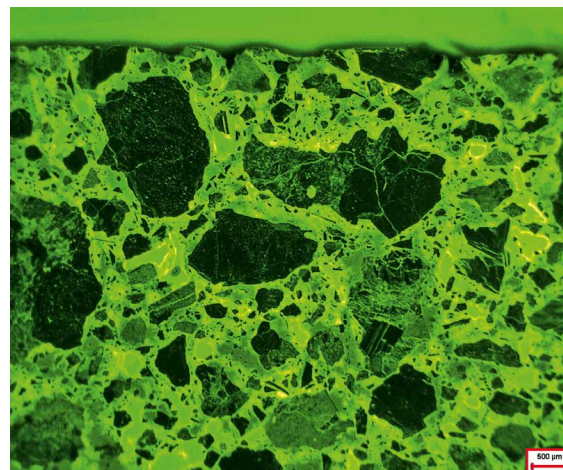


Abb. 5: Geringer Expansionsraum im Gesteinskorn (im Bild schwarz) im Vergleich zum Zementstein (im Bild grün)

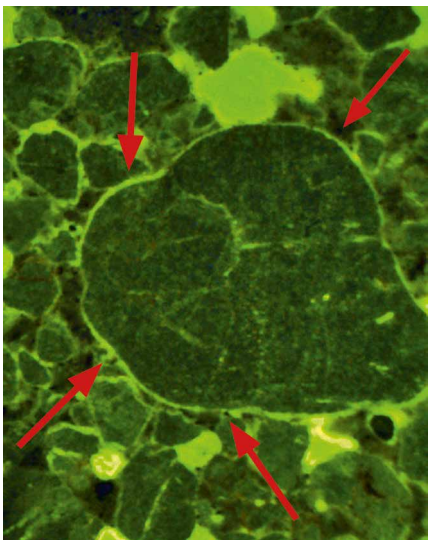
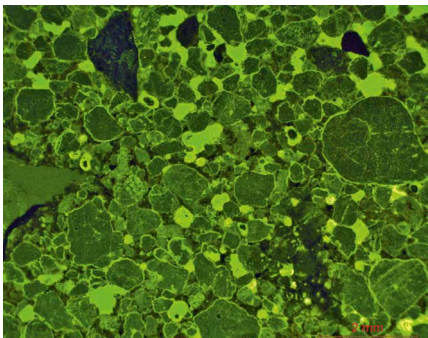


Abb. 6 a+b: Dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität um im Beton enthaltene Gesteinskörner herum

dichten Gesteinskörnung ursächlich für die aufgetretenen Schäden.

1.2 Risse

Nicht selten werden seitens der Bauherrn Produkte mit dem Hinweis auf eine reduzierte Witterungsbeständigkeit reklamiert, wenn diese Risse in der Produktoberfläche besitzen. In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass der Witterungswiderstand von Bord- oder Pflastersteinen tatsächlich durch das Vorhandensein von Rissen beeinträchtigt werden

kann, aber nicht muss. So haben Risse, wie sie beispielhaft in Tabelle 1 dargestellt sind, nicht unbedingt eine reduzierte Dauerhaftigkeit zur Folge und stellen demnach auch nicht unbedingt einen technischen Mangel dar.

Wie die Ergebnisse der Frost-Tausalz-Prüfung an den gerissenen Bordsteinen zeigen, ist eine rein oberflächliche Rissbildung, wie sie in dem Bild rechts von Tabelle 1 dargestellt ist, nicht zwingend mit einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit oder der Gebrauchstauglichkeit der Bordsteine verbunden. Vielmehr handelt es sich bei derartigen Rissen häufig in erster Linie um optische Beeinträchtigungen. Kritisch sind Risse erst, wenn sie wasserführende Eigenschaften aufweisen, sodass der Expansionsdruck des gefrierenden Wassers über die Rissflanken auf den Vorsatzbeton einwirken kann. Auch Risse, die zusätzlich mit kleinen Hohlstellen zwischen dem Vorsatz- und dem Kernbeton in Verbindung stehen, haben erfahrungsgemäß häufig eine eingeschränkte Frost-Tausalz-Beständigkeit der Produkte zur Folge.

2 Schadensursachen

2.1 Einfluss der Verlegung

Der Einfluss der Ausführungsqualität der Pflasterdecke auf die Witterungsbeständigkeit der Produkte ist erfahrungsgemäß gering. In erster Linie ist diesbezüglich der Einbau einer nicht ausreichend wasserdurchlässigen Unterlage (Tragschicht und Bettung) als Einflussfaktor zu nennen. Die Gefahr für die Entstehung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Pflasterbelägen steigt an, wenn die Pflasterbeläge auf einer nicht ausreichend wasserdurchlässigen Unterlage verlegt werden. In diesem Fall dringt Wasser in die Konstruktion ein und kann nicht sachgerecht in den Unterbau abgeleitet werden (siehe Abb. 7).



Abb. 7 a+b: Nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Unterlage

In der Folge wird zuerst der Kernbeton und später ggf. auch der Vorsatzbeton mit Wasser gesättigt, wodurch der im Porensystem des Betons enthaltene Expansionsraum zum großen Teil mit Wasser gefüllt wird. Je höher der Anteil an mit Wasser gefüllten Poren der Pflasterbeläge ist, desto größer ist das Risiko für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an diesen Produkten.

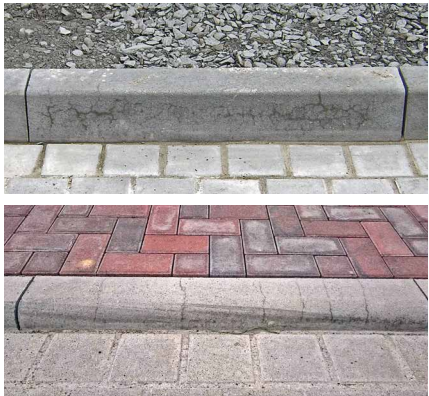
2.2 Einfluss der Nutzung

Neben der Qualität der Herstellung der Pflasterdecke (Wasserdurchlässigkeit der Unterlage) und der Steinqualität kann sich auch die Art und Intensität der Nutzung auf die Witterungsbeständigkeit der Produkte in den Pflasterdecken auswirken. Diesbezüglich sind in erster Linie die nachfolgenden Punkte zu beachten:

- Einfluss des Winterdienstes und
- Einfluss der Reinigung der Pflasterdecke.

Tabelle 1: Risse in Bordsteinen (rechts) und Abwitterung im Laborversuch (links)

Prüfkörpernummer	Prüffläche [mm²]	Abgewitterte Masse [mg]	Massenverlust	
			Einzelwerte [kg/m²]	Mittelwert [kg/m²]
1	11.648	70	0,01	≤ 0,0
2	11.977	120	0,01	
3	11.639	70	0,01	
Sollwerte an neue und noch nicht verbaute Bordsteine aus Beton nach DIN EN 1340			< 1,5	< 1,0



Darüber hinaus wirken sich alle Einflüsse auf die Frost- bzw. Frost-Tausalz-Beständigkeit der Pflasterbeläge aus, die zu einer hohen Wassersättigung der Produkte in der Pflasterdecke führen. Auch in den einschlägigen Technischen Regelwerken wird auf den Zusammenhang zwischen dem optischen Eindruck der Pflasterdecken und der Nutzung (Nutzungsdauer und -intensität) hingewiesen. So ist dem FGSV-Merkblatt M FP zu entnehmen, dass Nutzungs- und Gebrauchsspuren auch bei bestimmungsgemäßer Nutzung nicht vermeidbar sind. Der Sachverständige hat im Streitfall demnach zu bewerten, ob die aufgetretenen Abwitterungen erwartungsgemäß für das Alter, die Umgebungsbedingungen und die Nutzung der Pflasterdecke sind (Details sind [3] zu entnehmen) oder ob sie »über das übliche Maß hinausgehen«.

Wie diese Ausführungen zeigen, muss der Sachverständige bei entsprechenden Reklamationen u. a. bewerten, welche Menge an Abwitterungen bei der vorliegenden Nutzung und unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Witterungseinflüsse und der Nutzungszeit erwartungsgemäß ist. Nur wenn die vorliegende Abwitterungsmenge bei den gegebenen Umgebungsbedingungen und der Nutzungszeit über das »übliche Maß« hinausgeht, handelt es sich bei den Abwitterungen aus technischer Sicht um einen Mangel.

2.2.1 Winterdienst

Als Streumittel kommen im Winter heutzutage unterschiedlichste Chemikalien zur Sicherstellung der Begehungssicherheit der Pflasterdecken zum Einsatz. Bei dem wichtigsten Taumittel handelt es sich noch immer um Natriumchlorid, doch nimmt die Tendenz zur Verwendung anderer Taumittel (Kalium-, Calcium- und Magnesiumchloride) deutlich zu. Grundsätzlich spricht nichts gegen die Verwendung dieser Streumittel, allerdings ist zu beachten, dass der normative Nachweis des Frost-Taumittel-Widerstandes z. B. der Betonpflastersteine gemäß DIN EN 1338 mit Natriumchlorid und nicht mit Calcium- oder Magnesiumchlorid zu erfolgen hat.

Vor diesem Hintergrund sind Untersuchungen der TU München besonders zu beachten, die belegen, dass die Abwitterungsrate von Betonpflastersteinen im Rahmen der Überprüfung des Frost-Taumittel-Widerstands (Slab-Test mit 28 Frost-Tau-

Wechseln) bei Verwendung von Magnesiumchlorid ca. 30 % und bei Verwendung von Calciumchlorid ca. 60 % größer als bei Verwendung von Natriumchlorid als Taumittel ist (siehe Grafik 1). Somit ist festzustellen, dass Pflasterbeläge, die im Rahmen des Nachweises des Frost-Taumittel-Widerstandes im Labor bei Verwendung von Natriumchlorid die normativen Anforderungen mit einer mittleren Abwitterungsrate von beispielsweise 900 g/m^2 erfüllen, weder bei Verwendung von Magnesiumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.170 g/m^2) noch von Calciumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.440 g/m^2) als Taumittel eine im Sinne des technischen Regelwerks ausreichende Witterungsbeständigkeit aufweisen. Wie diese Untersuchungen zeigen, müssen Pflasterbeläge, sofern sie einen ausreichenden Frost-Taumittel-Widerstand gegenüber anderen Taumitteln aufweisen sollen, im Rahmen des Eignungsnachweises auch mit dem konkret zum Einsatz kommenden Taumittel geprüft werden.

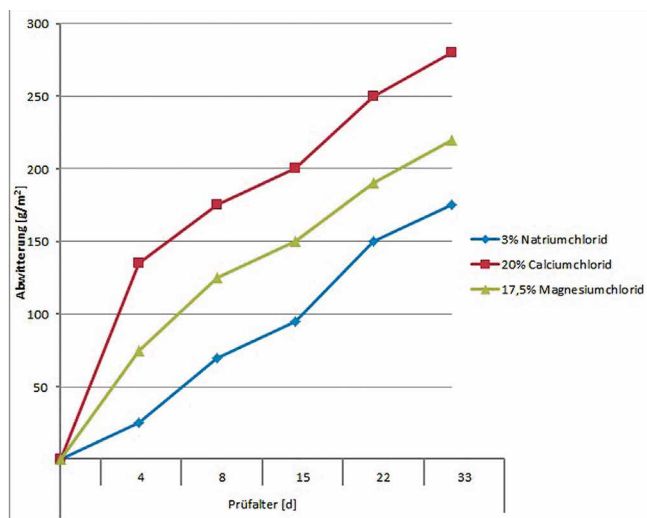
Außerhalb des Straßenbaus (z. B. im Bereich von Kläranlagen, Flugplätzen oder ähnlichen Objekten) wird die Sachlage noch komplizierter, da bei diesen Objekten zum Teil weitere Taumittel zur Anwendung kommen:

- alkoholische (z. B. ethylenglykolhaltige) Auftaumittel,
- Harnstoff- oder urethanhaltige Taumittel oder
- im Bereich von Flugplätzen auch Enteisungsmittel wie z. B. Saveway.

Werden diese Taumittel verwendet, dann kann nicht ohne Weiteres davon ausgegangen werden, dass der normative Nachweis eines erhöhten Frost-Taumittel-Widerstands nach DIN EN 1338 sachgerecht auf die tatsächlich vorliegende Frost-Taumittel-Belastung mit diesen Auftaumitteln übertragbar ist.

Gerade bei intensiv genutzten Pflasterdecken, wie z. B. an Bahnhöfen, auf Parkplätzen von Lebensmittelmärkten oder in Fußgängerzonen werden althergebrachte Taumittel häufig durch modernere Taumittel ersetzt. Nach wenigen Jahren treten bei diesen Flächen nicht selten Schäden auf, obwohl es sich bei den eingesetzten Produkten aus Beton- oder Naturstein gemäß den vorliegenden Prüfzeugnissen um Frost-Taumittel-beständige Produkte handelt, die in vielen anderen Objekten schadensfrei zur Anwendung gekommen sind. Optisch sind diese Schäden nicht von denen »typischer« Frost-Tausalz-Schäden zu unterscheiden, sodass den Baustoffproduzenten i. d. R. die Verantwortung für die vorgefundenen Schäden zugeordnet wird, obwohl die Schäden ggf. auf den Einsatz besonders aggressiver Taumittel zurückzuführen sind. Aus diesem Grunde müssen Sachverständige im Streitfall u. a. klären, ob vor Ort eines dieser »modernen« Taumittel eingesetzt wurde. Wenn ja, dann ist zu prüfen, ob der Steinproduzent vor der Lieferung seiner Produkte gewusst hat, dass diese Taumittel zur Anwendung kommen sollten.

Bei entsprechenden Schäden müssen Sachverständige vor der sachverständigen Festlegung der »Verantwortlichkeiten« somit die vertragliche Situation prüfen. War in der Ausschreibung ein Hinweis auf die Verwendung dieser gemäß DIN EN 1338, DIN EN 1339 bzw. DIN EN 1340 »nicht regelwerkskonformen« Taumittel enthalten? Kamen diese besonderen Taumittel ohne Rücksprache mit dem Baustofflieferanten zur Anwendung oder hatte dieser deren Nutzung freigegeben? Wer war verantwortlich für die Durchführung der Erstprüfungen an den Produkten zum Nachweis der (nicht mit Natriumchlorid zu prüfenden) Frost-Taumittel-Beständigkeit? Gab es überhaupt eine gesonderte Vereinbarung zur Durchführung dieser vom Regelwerk abweichenden Erstprüfung mit anderen Taumitteln?



Grafik 1: Einfluss der Art des Taumittels auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstands von Betonpflastersteinen

Die Erfahrung zeigt, dass Pflasterdecken normalerweise unter Verwendung von Produkten hergestellt werden, die keiner gesonderten Erstprüfung unterzogen wurden. Im Normalfall war auch niemand darüber informiert, dass gesonderte Taumittel zum Einsatz kommen sollten. Hätte das der Planer koordinieren müssen?

2.2.2 Feuchtezustand der Pflasterdecke

Der Einfluss der Wasseraufnahme des Vorsatzbetons auf den Witterungswiderstand der Produkte lässt sich bereits an der normativen Begrenzung der Wasseraufnahme des Vorsatzbetons bei der Deklaration der Klasse 2 (Kennzeichnung B) gemäß Tabelle 4.1 der DIN EN 1338 auf <6 M.-% erkennen.

Die normative Begrenzung der Wasseraufnahme des Vorsatzbetons ist darauf zurückzuführen, dass im Vorsatzbeton kein großer Expansionsdruck beim Gefrieren des Wassers entstehen kann, wenn keine signifikanten Wassermengen in den Vorsatzbeton eindringen (siehe [3]). In diesem Fall werden erfahrungsgemäß auch keine signifikanten Frostschäden am Vorsatzbeton der Pflastersteine entstehen.

Anmerkung: Bei den o. g. 6 M.-% handelt es sich nur um einen groben Richtwert. Eine sachgerechte Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands von Pflasterbelägen ist auf Basis dieses Richtwerts nicht möglich.

Eine höhere Wasseraufnahme führt zu einer größeren Wassersättigung des Vorsatzbetons der Pflasterbeläge und erhöht demnach auch die Gefahr für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden.

den. Genau aus diesem Grunde ist die Dauerhaftigkeit von sog. »Wassersäufnern« im Normalfall auch als eher kritisch zu bewerten.

Bei »Wassersäufnern« handelt es sich um »zu trocken« oder mit einer »zu geringen Verdichtungsenergie« hergestellte Pflasterbeläge, die einwirkendes Wasser sehr schnell aufnehmen (starkes kapillares Saugen) und sehr langsam wieder abgeben (langsam Abtrocknungsverhalten (Abb. 8)). Derartige Pflasterbeläge weisen zwar nicht zwingend eine reduzierte Dauerhaftigkeit auf, doch steigt das Risiko für die Bildung von Frost-Tausalz-Schäden bei diesen Pflasterbelägen aus den o. g. Gründen an, selbst wenn diese ansonsten unter Verwendung sachgerechter Betonrezepte hergestellt werden.

Der Zusammenhang zwischen der Wassersättigung des Vorsatzbetons der Pflasterbeläge und der Gefahr für die Bildung von Frost- und Frost-Tausalzschäden hat auch zur Folge, dass Pflasterbeläge, die nutzungsbedingt einer größeren Wasserbeanspruchung ausgesetzt werden, in einem stärkeren Ausmaß durch Frost- und Frost-Tausalzangriffe geschädigt werden. Aus diesem Grunde finden sich Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden bevorzugt in Teilflächen, die einer besonders hohen Wasserzufuhr ausgesetzt sind und damit auch eine höhere Wassersättigung aufweisen, wie dies z. B. im Bereich von Wasertropfkanten an Bauteilen (siehe Abb. 9) der Fall ist.

Anmerkung: Sättigungsporositäten von > 90 Vol.-% des Gesamtporenraums des Vorsatzbe-



Abb. 10 a+b: Steigerung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriffes durch eine nicht ausreichende Reinigung der Fugen einer Pflasterdecke

tons sind hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstands als kritisch einzustufen, da sich das Wasser beim Gefrieren um ca. 10 Vol.-% ausdehnt.

2.2.3 Reinigung

Pflasterdecken müssen zur Sicherstellung der geplanten Dauerhaftigkeit einer regelmäßigen Reinigung unterzogen werden. Anschließend sind die Fugen wieder mit Fugenmaterial zu füllen.

Anmerkung: Auf Schäden, die auf eine nicht sachgerechte Reinigung oder auf nicht ausrei-



Abb. 8 a+b: Frostschäden an »Wassersäufnern«

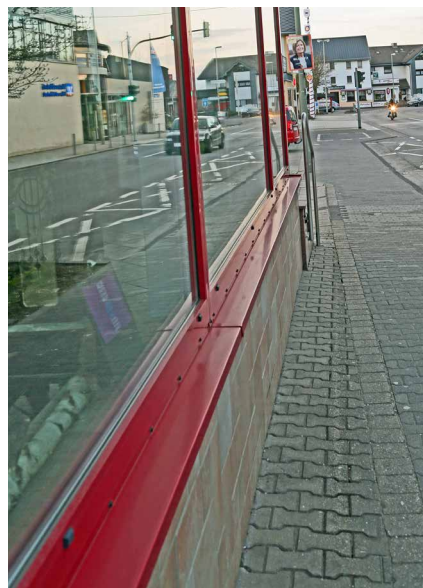


Abb. 9 a+b: Verstärkte Frostschäden an besonders wassergesättigten Teilflächen

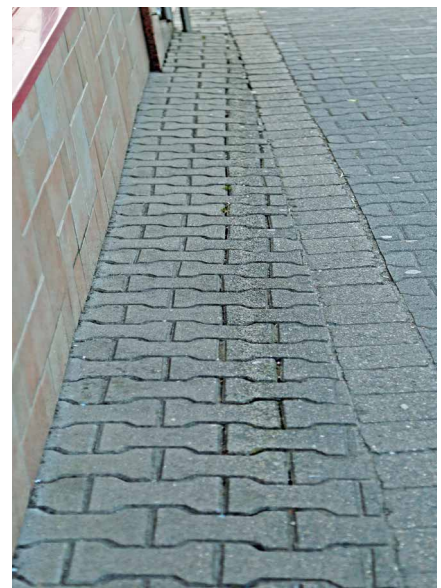




Abb. 11 a+b: Langsames Abtrocknungsverhalten der Pflastersteine im Bereich einer stark wasserrückhaltenden Fuge

chend gefüllte Fugen zurückzuführen sind, wird ausführlich in [2] und [3] eingegangen.

Die Erfahrung zeigt, dass sowohl die Verwendung wasserrückhaltender Fugenmaterialien (siehe [2]) als auch die Bildung von Grünbelägen in den Fugen zu einer erhöhten Feuchtebeanspruchung der Pflasterbeläge in Pflasterdecken führt. So ziehen stark verschmutzte und mit Grün-

belägen gefüllte Fugen (siehe Abb. 10) eine deutliche Verlangsamung des Abtrocknungsverhaltens der Pflasterbeläge (siehe Abb. 11) nach sich. Je länger die Pflasterbeläge feucht bleiben, desto größer ist die Gefahr für die Entstehung von Ausblühungen und Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden.

3 Ausblick

Während im ersten Teil der Artikelserie über die unterschiedlichen Schadensbilder von Frost-Tausalz-Schäden, den Einfluss von Rissen in den Produkten und die Einflüsse der Verlegung und Nutzung auf die Entstehung der Schäden eingegangen wurde, wird sich der zweite Teil des Artikels mit der gutachterlichen Bewertung von Frost-Tausalz-Schäden in Objekten beschäftigen. Hierbei wird im Besonderen

- auf die möglichen Verfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands der Produkte,
- auf die zulässigen Abwitterungsraten an Bauwerksproben und
- auf die Bewertung des Witterungswiderstands bereits verbauter Produkte sowie auf Besonderheiten bei der Bewertung optisch hochwertiger Produkte

eingegangen.

Literaturverzeichnis

- [1] FGSV-Merkblatt M FP-2: 2015. Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen
- [2] Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster – Teil 1: Ausblühungen, Kantenabplatzungen und Verfärbungen. 2., aktual. u. erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020
- [3] Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster – Teil 2: Frostschäden, gebundene Bauweise, oberflächenvergütete Produkte. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
- [4] Setzer, Max; Hartmann, Volker: Verbesserung der Frost-Tausalz-Widerstandsprüfung. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT 57(1991), Nr. 9, S. 73–82
- [5] Voß, Karl-Uwe: Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonteilen. In: Straße und Autobahn 64(2013), Nr. 11, S. 854–860
- [6] Krell, Jürgen: Abplatzungen über gesunden, oberflächennahen Gesteinskörnern? Mangel trotz bestandener Frostprüfung? In: BFT International 79(2013), Nr. 2, S. 50–51
- [7] Schäffel, Patrick: Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenbauerzeugnissen unter praxisnahen Verhältnissen. In: BFT International 82(2016), Nr. 2, S. 30–31
- [8] Krell, Jürgen: Wen trifft die Erfolgshaftung? Frost-Tausalzschaden an Blockstufen im Garten. In: BFT International 83(2017), Nr. 2, S. 21–22

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 Bestellungstenor 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

