

This article deals with the technological assessment of paved surfaces where concrete pavers were damaged due to freeze-thaw impact. Part 1 concentrates on the test and assessment methods available for identifying root causes of the damage as well as for determining appropriate remedial actions.

Im nachfolgenden Fachbeitrag wird auf die technologische Bewertung von Flächenbefestigungen eingegangen, bei denen Schäden an Betonpflasterbelägen durch Frost-Tausalz-Einwirkungen entstanden sind. Hier in Teil 1 wird ein besonderes Augenmerk auf die Untersuchungsmethoden zum Nachweis der Schadensursache und zur Festlegung der Mangelbeseitigungsmaßnahmen gelegt.

Assessment of frost and freeze-thaw damage to concrete pavers (Part 1)

Bewertung von Frost- und Frosttausalz-Schäden an Betonpflastersteinen (Teil 1)

Text: Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß

High weather resistance of concrete pavers is crucial wherever paved surfaces are exposed to frequent freeze-thaw cycles. In this respect, it should be noted that the climatic conditions prevailing in “warm inner-city areas” (with only a few frost days) and in the high mountains (with only a few days above the frost threshold) are usually less critical than in areas continuously exposed to freeze-thaw impact. For instance, the increased susceptibility to damage of car wash areas is due to the large number of freeze-thaw cycles.

In Germany, concrete pavers with increased weather resistance (Class 3 in accordance with DIN EN 338) must be used for paved surfaces owing to the prevailing climatic conditions. Yet damage such as concrete spalling is often found in paved areas and frequently gives rise to legal disputes (see Fig. 1).

Against this backdrop, this article primarily deals with the technological assessment of paved surfaces where concrete pavers were damaged due to freeze-thaw impact. In so doing, this article concentrates on the test and assessment methods available for identifying root causes of the damage as well as for determining appropriate remedial actions. Further information regarding

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 Bedingungen 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 Bild 1).

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

Fig. 1a: Freeze-thaw damage to concrete pavers ...

Abb. 1a: Frost-Tausalz-Schäden an Betonpflastersteinen ...



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 1b: ... in a quiet residential street

Abb. 1b: ... einer ruhigen Anliegerstraße



Figure: MPVA Neuwied



Figure: MPVA Neuwied



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 2a: Low-depth cement paste scaling ...

Abb. 2a: Zementsteinabwitterungen an Betonpflastersteinen ...

Fig. 2b: ... on concrete pavers

Abb. 2b: ... mit einer geringen Abwitterungstiefe

the damage mechanisms and the assessment of samples taken from paved surfaces is provided in [3].

1 Appearance

1.1 Damage patterns

Damage caused by freeze/de-icing salt impact on paved surfaces can become visible in a wide variety of patterns, including locally restricted or widespread cement paste scaling or punctiform pop-outs on top of individual aggregate particles.

Widespread cement paste scaling is the most common phenomenon usually found after freeze-thaw impact on concrete pavers, but the scaling rate can vary strongly (see Figs. 1 and 2). The same is true for the number of affected paving stones even if items from a single production batch are installed. In many cases, only isolated pavers or small areas are affected, whereas in others, almost all pavers of a large paved surface show signs of damage.

Other phenomena frequently seen besides more or less extensive scaling include locally restricted patterns also referred to as pop-outs on the paver surface. This type of damage usually starts from the near-surface aggregate particles of the face mix and continues in the direction of the cement paste (see Fig. 3).

More often than not, even experts in the field attribute this type of scaling to the use of inappropriate, and thus “defective”, aggregate particles in the event of a complaint without carrying out further tests.

Upon closer inspection, the notion of aggregate particles with insufficient weather resistance causing the damage is frequently proved to be incorrect. Although aggregate particles susceptible to disintegration are often found in the center of such scaling patterns (see Fig. 3), entirely intact particles with a dense structure and high freeze-thaw resistance (Fig. 4) are identified much more frequently in the center of such phenomena.

In the cases shown in Fig. 4, cement paste scaling (so-called pop-outs) occurred not because of an insufficient freeze-thaw resistance of the aggregates but due to the following interacting effects:

- » Dense aggregate particles (appearing in a dark shade in Fig. 5) are significantly less porous than the cement paste (i.e. the green zones in Fig. 5). Thus, the water freezing in the transition zone between the

entstanden sind. Hierbei wird u. a. ein besonderes Augenmerk auf die Untersuchungsmethoden gelegt, 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-



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 3a: Cement paste scaling on top of individual ...

Abb. 3a: Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner ...



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 3b: ... non-weather-resistant aggregate particles

Abb. 3b: ... verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner

Fig. 4a: Aggregate particles with a dense structure and high freeze-thaw resistance ...



Abb. 4a: Gesteinskörner mit einem dichten Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand ...

Fig. 4b: ... in the center of cement paste scaling



Abb. 4b: ... im Zentrum von Zementsteinabwitterungen

cement paste and the aggregates cannot expand in the direction of the aggregate particle (because of the very small available space for expansion) and thus blows off the cement paste that forms the top layer.

- » Owing to the low water absorption capacity of the aggregate particles, a thin cement paste layer with increased porosity (see the red arrows in Fig. 6), higher water absorption capacity and reduced weather resistance often forms in the contact zone between the dense aggregate particles and the paste.

We thus find that, in the above cases, cement paste scaling was caused by insufficient freeze-thaw resistance of the cement paste in conjunction with very dense aggregate particles rather than by inferior aggregate quality.

Yet the quality of the face mix is not the only factor that contributes to the onset of frost and freeze-thaw damage to concrete block pavements; the weather resistance of the mineral aggregates used in the concrete is just as important in this regard. For instance, cement paste scaling may also occur on top of individual aggregate particles (see the pop-out in Fig. 7) if these exhibit an insufficient weather resistance.

When assessing related damage patterns, we should bear in mind that neither the aggregate nor the concrete produced with it needs to be free from scaling according to the applicable standards (see also Section 1.2 in the second part of this article and Section 1 in [3]).

1.2 Cracks

Clients often submit product deficiency complaints on the grounds of reduced weather resistance if the product surface exhibits cracking patterns. In this respect, the weather resistance of curbs and pavers can indeed be

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 (Bild 1 und Bild 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 häufig auch lokal begrenzt 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 (siehe Bild 3).

Diese Witterungsschäden werden im Reklamationsfall nicht selten (leider auch von Sachverständigen) ohne Durchführung weiterer Untersuchungen auf die Verwendung nicht geeigneter und damit „mangelhafter“ Gesteinskörner zurückgeführt.

Die Vermutung, dass nicht ausreichend witterungsbeständige Gesteinskörner verantwortlich für diese Schäden sind, erweist sich bei näherer Untersuchung in vielen Fällen als falsch. So finden sich zwar nicht selten zersetzliche Gesteinskörner im Zentrum dieser Abwitterungen (siehe Bild 3). Viel häufiger werden im Zentrum dieser Abwitterungen aber völlig intakte Gesteinskörner mit einem dichten Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand (Bild 4) vorgefunden.

Bei den in Bild 4 dargestellten Fällen war die Entstehung der Zementsteinabwitterungen (sog. „Pop outs“) 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 (im Bild 5 an deren dunkler Farbe erkennbar) ist deutlich geringer als die des Zementsteins (grüne Teilflächen aus Bild 5). Das im Übergangsbereich vom Zementstein zur Gesteinskör-

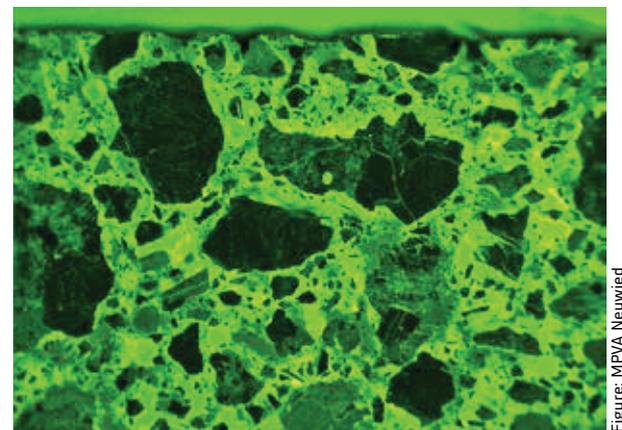


Fig. 5: Small expansion space in the aggregate particle (black) compared to the cement paste (green)

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

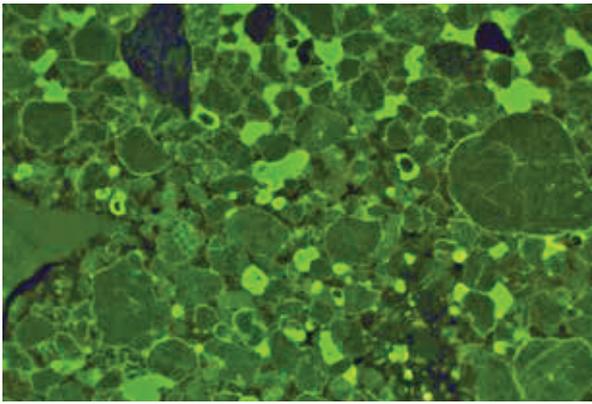


Figure: MPVA Neuwied

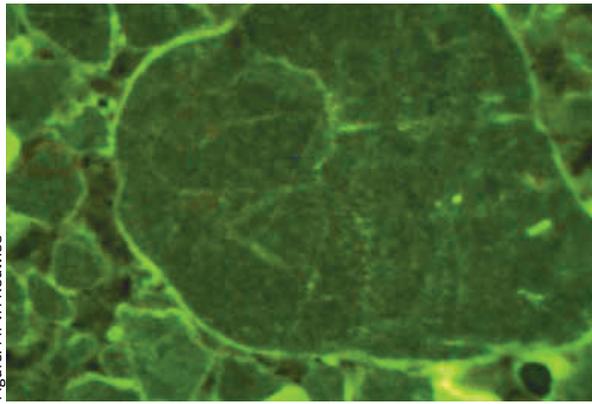


Figure: MPVA Neuwied

Fig. 6a: Thin cement paste layer with increased porosity ...

Abb. 6a: Dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität um ...

Fig. 6b: ... around aggregate particles contained in the concrete

Abb. 6b: ... im Beton enthaltene Gesteinskörner herum

compromised by the occurrence of cracks, but this need not necessarily be the case. Accordingly, cracks such as shown in Fig. 8, for instance, not necessarily constitute a technical defect.

As demonstrated by the results of the freeze-thaw tests performed on cracked curbstones, purely superficial cracking as shown on the right-hand side of Fig. 8 does not necessarily make the curbs less durable or serviceable. Rather, such cracks are often mere visual imperfections.

Cracks become critical only if they transport water so that the expansion pressure of the freezing water can act on the face mix via the crack edges. Cracks occurring in conjunction with additional small voids between the face and the core mix also often lead to a reduced freeze-thaw resistance of the product.

2 Causes of damage

2.1 Influence of standard of workmanship

Experience proves that the standard of workmanship of the concrete block pavement has only little influence on the weather resistance of products. Rather, such a reduction is mainly due to the installation of a subbase and/or bedding with insufficient drainage capacity.

The risk of frost and freeze-thaw damage to concrete block pavements increases if the pavers are laid on a subbase with insufficient permeability, which is associated with water penetration into the structure. This water is then entrapped and cannot drain into the substructure properly (see Fig. 9).

As a result, the core mix and, potentially, the face mix will be saturated with water, which also fills at least a certain portion of the expansion space within the concrete pore system. The greater the proportion of water-filled pores in the pavers, the higher the risk for frost and/or freeze-thaw damage to occur.

2.2 Influence of use

Besides the standard of workmanship with which the concrete pavement was installed (with respect to its drainage capacity) and the quality of the pavers, the type and intensity of use can also influence the weather resistance of the products the paved surface consists of. The following two points are considered to be the most relevant in this regard:

- » Influence of de-icing service
- » Influence of pavement cleaning

nung 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 Bild 6), erhöhter Wasseraufnahmefähigkeit und einer reduzierten Witterungsbeständigkeit.

In den oben beschriebenen 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 dichten Gesteinskörnung ursächlich für die aufgetretenen Schäden.

Neben der Qualität des Vorsatzbetons wirkt sich selbstverständlich aber auch die Witterungsbeständigkeit der Gesteinskörnung auf die Entstehung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Pflasterbelägen aus. So können Zementsteinabwitterungen auch oberhalb einzelner Gesteinskörner (Pop out aus Bild 7) entstehen, wenn diese keine ausreichende Witterungsbeständigkeit aufweisen.

Bei der Bewertung entsprechender Schäden ist darauf hinzuweisen, dass weder die Gesteinskörnung noch der daraus hergestellte Beton normativ frei von Abwitterungen sein muss (Abschnitt 1 aus [3]).

1.2 Risse

Nicht selten werden seitens der Bauherren Produkte mit dem Hinweis auf eine reduzierte Witterungsbeständigkeit reklamiert, wenn diese Risse in der Produktoberfläche besitzen. An dieser Stelle ist festzustellen, dass der Witterungswiderstand von Bord- oder Pflastersteinen tatsächlich durch das Vorhandensein von Rissen beeinträchtigt werden kann, aber nicht muss. So stellen Risse, wie diese in Bild 8 abgebildet sind, 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 rechts in Bild 8 dargestellt sind, nicht zwingend mit einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit oder der Gebrauchstauglichkeit der Bordsteine gleichzusetzen. Vielmehr handelt es sich bei derartigen Rissen häufig in erster Linie um optische Beeinträchtigungen.

Kritisch sind Risse erst, wenn sie wasserführende



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 7a: Cracks in curbstones (1)

Abb. 7a: Risse in Bordsteinen (1)



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 7b: Cracks in curbstones (2)

Abb. 7b: Risse in Bordsteinen (2)

Furthermore, any factors causing high water saturation of the products installed in the paved area will also have an influence on the frost or freeze-thaw resistance of the pavement.

Applicable standards and guidelines also refer to the relationship between the appearance of areas covered with concrete pavers and the duration and intensity of their use. The FGSV M FP Code of Practice, for instance, states that signs of wear and tear will inevitably occur even if the surface is used as intended. In the event of a dispute, officially appointed experts providing their opinion will thus have to judge if the identified level of scaling is commensurate with the age, ambient conditions and use of the concrete block pavement (see [3] for more detailed information).

These considerations show that, in response to relevant complaints, the expert is also to assess the amount of scaling that can be considered to be in line with expectations with a view to the actual use whilst considering previous weather impact on the pavement. Only if the actual scaling rate exceeds the “usual level” under the given ambient conditions can surface scaling be classed as a defect from a technical standpoint.

2.2.1 De-icing service

In the winter season, a wide range of de-icing chemicals is used for ensuring safe pedestrian access to concrete block pavements. The most important de-icing agent continues to be sodium chloride although there is a marked trend towards applying other agents such as potassium, calcium and magnesium chlorides.

There is generally no reason why these agents should not be used. However, DIN EN 1338 specifies that the standard verification of the freeze-thaw resistance (such as for concrete pavers) be carried out for sodium chloride rather than calcium or magnesium chloride.

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) 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 Bild 9).

In der Folge wird zuerst der Kernbeton und später ggf. auch der Vorsatzbeton mit Wasser gesättigt, wodurch der im Porensystem des Betons enthaltene Expansionsraum zumindest zum 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.

2.2 Einfluss der Nutzung

Neben der Qualität der Herstellung der Pflasterdecke (Wasserdurchlässigkeit) 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.

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 beitragen.

Auch in den einschlägigen Technischen Regelwerken wird auf den Zusammenhang zwischen dem optischen Eindruck von Pflasterdecken und der Nutzung (Nutzungsdauer und -intensität) hingewiesen. So ist dem FGSV-Merkblatt M FP zu entnehmen, dass Nutzungs-

Fig. 8a: Surface scaling in a laboratory test

Abb. 8a: Abwitterung im Laborversuch

Prüfkörpernummer	Prüf-fläche [mm ²]	Abgewitterte Masse [mg]	Massenverlust	
			Einzelwerte [kg/m ²]	Mittelwert [kg/m ²]
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

Figure: MPVA Neuwied

Against this backdrop, we should take note of tests conducted at TU Munich according to which the scaling rate of concrete pavers was found to be 30% and 60% higher in the freeze-thaw tests (slab tests including 28 freeze-thaw cycles) for magnesium and calcium chloride, respectively, compared to using sodium chloride as a de-icing agent (see Fig. 10).

We thus find that concrete block pavements fulfilling the requirements stipulated in the standard by reaching, for instance, a mean scaling rate of 900 g/m² during the laboratory freeze-thaw test using sodium chloride fail to exhibit sufficient weather resistance as defined in applicable standards if magnesium chloride (with a calculated scaling rate of 1,170 g/m²) or calcium chloride (calculated scaling rate of 1,440 g/m²) is used for de-icing.

As demonstrated by the above tests, the suitability testing of concrete pavers must include exposure to the specific de-icing agent used if the pavers are to also exhibit sufficient freeze-thaw resistance to de-icing agents other than sodium chloride.

Yet the situation is even more complex in applications beyond road construction, such as in wastewater treatment plants, airports or similar projects because other, additional types of de-icing agent are sometimes used, including:

- » Alcoholic de-icing agents (containing ethylene glycol, for instance)
- » Urea or urethane-containing de-icing agents
- » De-icing agents such as Safeway, especially at airports.



Figure: MPVA Neuwied



Figure: MPVA Neuwied

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).

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 erwartungsgemäß ist. Nur, wenn die vorliegende Abwitterungsmenge bei den gegebenen Umgebungsbedingungen über das „übliche Maß“ hinausgeht, kann es sich bei den Abwitterungen aus technischer Sicht um einen Mangel handeln.

2.2.1 Winterdienst

Als Streumittel kommen im Winter heutzutage unterschiedlichste Chemikalien zur Sicherstellung der Begehungssicherheit von 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-Widerstandes (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 Bild 10).

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/m² erfüllen, weder bei Verwendung von Magnesiumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.170 g/m²) noch von Calciumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1.440 g/m²) als Taumittel eine im Sinne des technischen Regelwerks ausreichende Witterungsbeständigkeit aufweisen.

Wie diese Untersuchungen zeigen, müssen Betonpflastersteine, 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. ethylenglykohlhaltige) Auftaumittel,
- » Harnstoff- oder urethanhaltige Taumittel oder
- » gerade im Bereich von Flugplätzen auch Enteisungsmittel wie z. B. Saveway.

Fig. 9a: Insufficient drainage capacity ...

Abb. 9a: Nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit ...

Fig. 9b: ... of the sub-base

Abb. 9b: ... der Unterlage

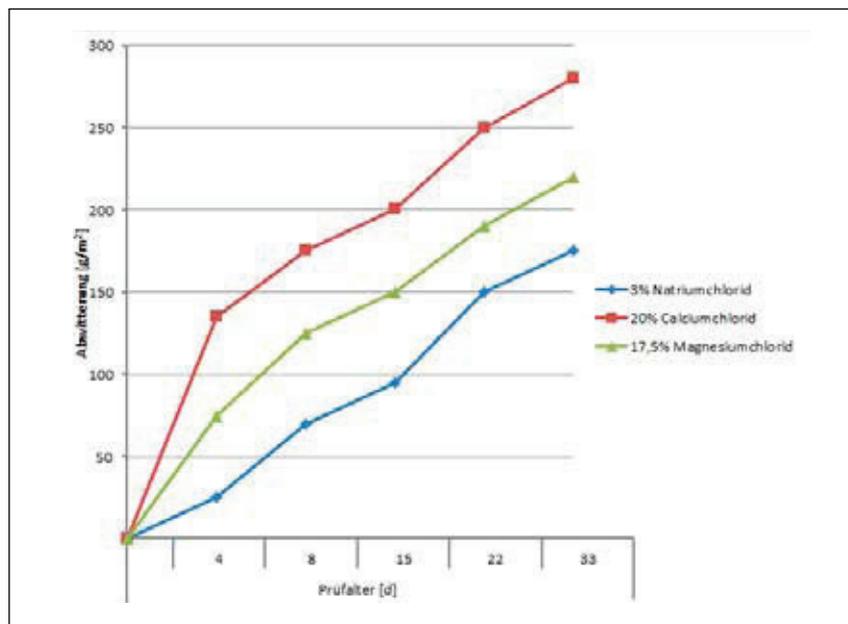


Figure: MPVA Neuwied

Fig. 10: Influence of the type of de-icing agent on the scaling rate determined in the freeze-thaw resistance test performed for concrete pavers

Abb. 10: Einfluss der Art des Taumittels auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstandes von Betonpflastersteinen

If one of the above de-icing chemicals is used, we cannot necessarily assume transferability of the standard verification of an increased freeze-thaw resistance according to DIN EN 1338 to the actual freeze-thaw impact caused by these agents.

Conventional de-icing agents are often replaced with more modern de-icing agents particularly in heavily frequented paved areas such as railway stations, parking facilities next to supermarkets, or pedestrian precincts.

After only a few years of use, many of these surfaces will be damaged although the installed concrete or natural stone products should provide sufficient freeze-thaw resistance according to the related test certificates. Moreover, these products were successfully installed in many other properties without showing signs of damage. In terms of its appearance, such damage cannot be distinguished from “typical” freeze-thaw damage so that liability for this damage is usually attributed to the construction materials producer although the damage may be due to the application of particularly aggressive de-icing agents.

This is why, in the event of a dispute, experts need to clarify if one of the above-mentioned “modern” de-icing agents was applied to the concrete pavement. If

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

Gerade bei intensiv genutzten Pflasterdecken, wie z. B. Bahnhöfen, Parkplätzen von Lebensmittelmärkten oder in Fußgängerzonen werden althergebrachte Taumittel häufig durch modernere Taumittel ersetzt.

Nach wenigen Jahren treten bei diesen Flächen Schäden auf, obwohl es sich bei den eingesetzten Produkten aus Beton- oder Naturstein gemäß den vorliegenden Prüfzeugnissen um Frost-Taumittel-beständige Produkte handelt, die auch 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 Benennung der „Verantwortlichkeiten“ somit die vertragliche Situation prüfen. War in der Ausschreibung ein Hinweis auf die Verwendung dieser 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 zum Nachweis der (nicht mit Natriumchlorid geprüften) Frost-Taumittel-Beständigkeit? Gab es überhaupt eine gesonderte Vereinbarung zur Durchführung dieser Erstprüfung?

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?

Fig. 11a: Frost damage ...

Abb. 11a: Frosts Schäden ...



Fig. 11b: ... to “water guzzlers”

Abb. 11b: ... an „Wassersäufern“



Figure: MPVA Neuwied

Figure: MPVA Neuwied



Figure: MPVA Neuwied



Figure: MPVA Neuwied

Fig. 12a: More pronounced frost damage ...

Abb. 12a: Verstärkte Frostschäden ...

Fig. 12b: ... in areas with high water saturation

Abb. 12b: ... an besonders wassergesättigten Teilflächen

the answer to this question is “Yes”, it should be verified if the concrete block producer had been aware of the intent to use these de-icing agents prior to delivery of its products.

This means that experts need to verify the contractual situation before identifying “responsibilities”, asking questions such as: Did the specification contain any indication of the use of such de-icing agents? Were these particular agents used without consultation with the construction materials supplier, or did the latter approve their use? Who was responsible for conducting the initial tests for verifying freeze-thaw resistance of the products (not tested with sodium chloride)? Was there a separate agreement in place at all for initial testing?

Experience shows that the products used for the installation of concrete block pavements are normally not subjected to separate initial tests. Nor would any party to the contract be informed of the intended application of specific de-icing agents at this stage. Should the planner have coordinated and forwarded this information?

2.2.2 Moisture content of paved surface

We can identify the influence of the water absorption by the face mix on the weather resistance of the products already on the basis of the applicable standard limiting the water absorption of the face mix to less than 6 percent by mass in the declaration of Class 2 (Label B) included in Tab. 4.1 of DIN EN 1338.

This limit imposed on the water absorption of the facing layer can be explained by the fact that no major expansion pressure can develop in the face mix during the freezing of water in the absence of significant amounts of water penetrating into the facing layer (see [3]). Nor will significant frost damage to the facing layer of the concrete pavers occur in this case.

Note: The above-mentioned value of 6 m% is purely indicative, which is why it provides no basis for properly assessing the freeze-thaw resistance of concrete pavers.

Higher water absorption leads to a greater degree of water saturation in the facing layer of concrete pave-

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 Begrenzung der Wasseraufnahme des Vorsatzbetons lässt sich so erklären, 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-Widerstandes von Betonpflastersteinen ist auf Basis dieses Richtwertes nicht möglich.

Eine höhere Wasseraufnahme führt zu einer größeren Wassersättigung des Vorsatzbetons der Pflasterbeläge und erhöht demnach die Gefahr für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden. Genau aus diesem Grunde ist die Dauerhaftigkeit von sog. „Wassersäufern“ auch als eher kritisch zu bewerten.

Bei „Wassersäufern“ 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 Abtrochnungsverhalten (Bild 11)). 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 sind, in einem



Fig. 13b: ... owing to insufficient cleaning of the joints between concrete pavers

Abb. 13b: ... durch eine nicht ausreichende Reinigung der Fugen einer Pflasterdecke

Fig. 13a: Aggravated frost or freeze-thaw attack ...

Abb. 13a: Steigerung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriffes ...

ments, thus increasing the risk for frost or freeze-thaw damage to occur. It is exactly for this reason that the durability of so-called “water guzzlers” should be questioned.

The notion of “water guzzlers” refers to concrete block pavements installed in an “exceedingly dry” process or with “too little compaction energy” that absorb penetrating water very quickly (strong capillary suction) and release this water very slowly (slow drying behavior (Fig. 11)). Although the durability of such block pavements need not necessarily be compromised, the risk of freeze-thaw damage increases for the above-mentioned reasons even if the concrete recipes used for the pavers conform to applicable codes and standards.

The correlation between the water saturation of the pavers’ facing layer and the risk of frost or freeze-thaw damage also means that concrete block pavements with greater use-related water exposure will sustain more pronounced frost and/or freeze-thaw damage. This is why frost or freeze-thaw damage will predominantly occur in areas subject to significant water exposure and thus comparatively high water saturation, such as in the area of drip edges of structural components (see Fig. 12).



Fig. 14a: Prolonged drying of pavers ...

Abb. 14a: Langsames Abtrocknungsverhalten der Pflastersteine ...



Fig. 14b: ... near a highly water-retaining joint

Abb. 14b: ... im Bereich einer stark wasserrückhaltenden Fuge

stärkeren Ausmaß durch Frost- bzw. Frost-Tausalzangriffe geschädigt werden. Aus diesem Grunde finden sich Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden auch bevorzugt in Teilflächen, die einer besonders hohen Wasserversorgung ausgesetzt sind und damit auch eine höhere Wassersättigung aufweisen, wie dies z. B. im Bereich von Wassertropfkanten an Bauteilen (siehe Bild 12) der Fall ist.

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

Sowohl die Verwendung wasserrückhaltender Fugenmaterialien (siehe [2]) als auch die Bildung von Grünbelägen in den Fugen wirken sich negativ auf den Feuchtezustand der Pflasterdecke aus. So ziehen stark verschmutzte und mit Grünbelägen gefüllte Fugen (siehe Bild 13) eine deutliche Verlangsamung des Abtrocknungsverhaltens der Pflasterbeläge (siehe Bild 14) nach sich.

2.2.3 Cleaning

Concrete block pavements must undergo regular cleaning in order to retain their specified durability. Joints need to be refilled with appropriate material after cleaning.

Note: References [2] und [3] refer in more detail to damage attributable to inappropriate cleaning or insufficient joint filling.

Both the use of water-retaining jointing materials (see [2]) and the formation of green deposits in the joints adversely affect the block pavement's moisture level. This is why heavily soiled joints filled with green deposits (see Fig. 13) cause a significant slowdown of the drying process of the paved surface (see Fig. 14).

3 Outlook

The first part of this article dealt with the different patterns associated with freeze-thaw damage, the impact of cracks occurring in products, and the influence of installation and use on the onset of damage. Its second part will concentrate on the expert assessment of freeze-thaw damage in relation to specific projects. More specifically, it will cover the following points:

- » Possible methods for verifying the freeze-thaw resistance of products
- » Permissible scaling rates on samples taken from installed pavements
- » Assessing the weather resistance of installed products and considering specific factors relevant to evaluating products with particular visual appeal.

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 eingegangen auf:

- » die möglichen Verfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstandes der Produkte,
- » die zulässigen Abwitterungsraten an Bauwerksproben und
- » die Bewertung des Witterungswiderstandes bereits verbauter Produkte sowie auf Besonderheiten bei der Bewertung optisch hochwertiger Produkte eingegangen.

Voß, Karl-Uwe

1985 bis 1992 Chemiestudium und Promotion an der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster; 1992 bis 1997 Sachbearbeiter und stellvertretender Prüfstellenleiter beim ZEMLABOR, Beckum; 1998 bis 2000 technischer Geschäftsführer der Duisburger Bundesüberwachungsverbände und des Baustoffüberwachungsvereins Nordrhein-Westfalen; 2000 bis 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 Q5-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

voss@mpva.de



REFERENCES/LITERATUR

- [1] FGSV-Merkblatt M FP-2: 2015. Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen
- [2] Dr. Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster – Teil 1: Ausblühungen, Kantenabplatzungen und Verfärbungen. 1. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2017
- [3] Dr. Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster – Teil 2: Frostschiäden, gebundene Bauweise, oberflächenvergütete Produkte. 1. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018
- [4] Prof. Dr. Setzer, Max; Dipl.-Ing. Hartmann, Volker: Verbesserung der Frost-Tausalz-Widerstandsprüfung von Betonzeugnissen. In: BWI BetonWerk International (1991), Heft Juni September
- [5] Klöppner, Bernhard: Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit von Betonwaren – ein Standpunkt aus der Sicht eines Herstellers. In: Betonwerk + Fertigteiltechnik BFT International (2008)
- [6] Dr. Voß, Karl-Uwe: Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonteilen. In: Straße und Autobahn (2011), Heft November
- [7] Dr.-Ing. Krell, Jürgen: Abplatzungen über gesunden, oberflächennahen Gesteinskörnern? Mangel trotz bestandener Erstprüfung? In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2013), Heft Februar
- [8] Dr. Voß, Karl-Uwe: Tausalzbedingte Schäden an Flächenbefestigungen aus wasserdurchlässigen Betonpflastersteinen. In: BWI BetonWerk International (2015), Heft Juni
- [9] Dr.-Ing. Schäffel, Patrick: Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenerzeugnissen unter praxisnahen Verhältnissen. In: Betonwerk + Fertigteiltechnik BFT International (2016), Heft Februar
- [10] Dr.-Ing. Krell, Jürgen: Wen trifft die Erfolgshaftung – Frost-Tausalzschaden an Blockstufen im Garten. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2017), Heft Februar