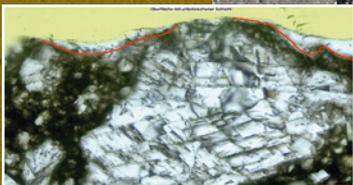


Karl-Uwe Voß

# Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster II

Frostschäden, gebundene Bauweise,  
oberflächenvergütete Produkte



Fraunhofer IRB  Verlag

Karl-Uwe Voß

Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster II  
Frostschäden, gebundene Bauweise, oberflächenvergütete Produkte



Karl-Uwe Voß

# **Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster II**

Frostschäden, gebundene Bauweise,  
oberflächenvergütete Produkte

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0170-5

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0171-2

Lektorat: Claudia Neuwald-Burg

Redaktion: Annemarie Klepacki

Layout · Herstellung: Andreas Preisling

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Satz: Gabriele Wicker

Druck: Bosch-Druck GmbH, Ergolding

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2019

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Bewertung von Verwitterungsschäden	11
1.1 Ursachen für Frost- und Frost-Tausalz-Schäden	13
1.2 Maßnahmen zur Erhöhung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands von Betonwaren	16
1.2.1 Herstellung eines Vorsatzbetons mit hoher Festigkeit	17
1.2.2 Optimierung der Wasseraufnahme des Betons	18
1.2.3 Herstellung eines Vorsatzbetons mit einem ausreichend großen Expansionsraum in Form eines Mikroluftporensystems	20
1.2.4 Weitere betontechnologische Möglichkeiten zur Erhöhung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen	21
1.3 Abgrenzung zu weiteren Verwitterungsschäden	24
1.3.1 Kantenabplatzungen	24
1.3.2 Kerndurchschläge	25
1.3.3 Löcher in der Oberfläche des Vorsatzbetons	26
1.3.4 Risse in der Oberfläche des Vorsatzbetons	27
1.4 Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an Kernbetonen von Betonpflastersteinen	28
1.5 Verlegebedingte Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden	31
1.6 Nutzungsbedingte Abwitterungen	32
1.6.1 Winterdienst	32
1.6.2 Reinigung	34
1.6.3 Weitere schädigende Einflüsse	36
1.7 Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben	37
1.7.1 Bewertung von Natursteinen	39
1.7.2 Nachweisverfahren für Betonprodukte	40
1.7.3 Normative Grundlagen	47
1.7.4 Vortests	50
1.7.5 Pop outs oberhalb von Gesteinskörnern	52
1.7.6 Flächige Zementsteinabwitterungen	55
1.8 Sanierung von Produkten mit Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden	57
1.9 Besonderheiten bei der Bewertung wasserdurchlässiger Pflastersteine	58
1.9.1 Stellplatz eines Privathauses	62
1.9.2 Parkplatz eines Lebensmittelmarktes	63
1.9.3 Nicht befahrene Pflasterdecke eines Mehrfamilienhauses	64

2	Ausbrüche, Löcher, Risse und Verbundstörungen	69
2.1	Ausbrüche und Löcher	69
2.2	Verwölbungen	73
2.3	Risse	75
2.4	Verbundverhalten	76
3	Vollgebundene Bauweise	79
3.1	Technisches Regelwerk	79
3.1.1	Fugenmörtel zur Herstellung einer gebundenen Pflasterdecke	81
3.1.2	Bettungsmörtel zur Herstellung einer vollgebundenen Pflasterdecke	81
3.1.3	Anforderungen an die Haftzugfestigkeit von Fugen- und Bettungsmörteln	82
3.1.4	Druckfestigkeitsanforderungen an Fugen- und Bettungsmörtel	83
3.1.5	Ausschreibung von Mörteln der Mörtelgruppe MG III	83
3.1.6	Verwendung werksgemischter Bettungsmörtel	84
3.2	Risse in gebundenen Pflasterdecken	86
3.2.1	Thermische Beanspruchungen	87
3.2.2	Fehlende Einfassungen	91
3.3	Auswittern des Fugenmaterials	94
3.3.1	Mörtelzusammensetzung	94
3.3.2	Bewegungsfugen	100
3.4	Verfärbungen an gebundenen Pflasterdecken	102
3.5	Entwässerungsrinnen und Einfassungen	104
3.5.1	Entwässerungsrinnen	105
3.5.2	Rückenstützen	107
3.6	Festigkeitsnachweis an Bauwerksproben aus gebundenen Pflasterdecken	109
3.6.1	Verbundfestigkeit	109
3.6.2	Druckfestigkeit des Bettungsmörtels	110
3.6.3	Druckfestigkeit des Fugenmörtels	111
3.6.4	Druckfestigkeit des Fundamentbetons von Rinnen	111
3.6.5	Druckfestigkeit des Rückenstützenbetons von Bordsteinanlagen	112
4	Anwendungsgrenzen bei außergewöhnlichen Beanspruchungen	115
4.1	Stahlrollenbereifte Container	116
4.2	Böden von Fahrsilos in der Landwirtschaft	118
4.2.1	Betonaggressivität von Maissilage	118
4.2.2	Wasserrechtliche Anforderungen an Flächen für die Lagerung von Maissilage	119
4.2.3	Gesamtbeurteilung	119
4.3	Verschubsicherheit von Pflasterdecken	119
4.3.1	Vertikale Verschiebungen	120
4.3.2	Horizontale Verschiebungen	121

5	Oberflächenvergütete Produkte	125
5.1	Erwartungen des Bauherrn	126
5.2	Besondere Kenntnisse der Sachverständigen	129
5.3	Oberflächenvergütungssysteme	130
5.4	Reinigungsmittel	133
	5.4.1 Reinigungsmittelklassen	133
	5.4.2 Reinigungsmittlempfindlichkeit der Vergütungssysteme	135
5.5	Besondere Eigenschaften vergüteter Produkte	136
	5.5.1 Anschmutzungsverhalten und Reinigungsfähigkeit	136
	5.5.2 Neigung zur Bildung von Ausblühungen	139
	5.5.3 Kratzempfindlichkeit	140
	5.5.4 Eintrübung bei Einwirkung von Wasser	144
	5.5.5 UV-Beständigkeit	145
5.6	Labortechnischer Nachweis der Vergütungssysteme	146
	5.6.1 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten	146
	5.6.2 Mikroskopische Untersuchungen	146
5.7	Beispiele aus der Gutachterpraxis	147
	5.7.1 Ausblühungen auf oberflächenvergüteten Betonprodukten	147
	5.7.2 Verfärbung der Plattenoberfläche durch Einwirkung von Wasser	155
	5.7.3 Verfärbungen bei gebundenen Pflasterdecken aus vergüteten Betonplatten	159
	5.7.4 Reinigungsfähigkeit vergüteter Betonplatten	164
	5.7.5 Schäden durch die Reinigung vergüteter Betonplatten	168
	5.7.6 Bewertung der Kratzempfindlichkeit vergüteter Betonprodukte	171
6	Weitere Reklamationsursachen	177
6.1	Bestellungskonformität	177
	6.1.1 Basaltbeton	177
	6.1.2 Gleichwertigkeit ein- und zweischichtiger Produkte	179
6.2	Optische Beeinträchtigungen	180
	6.2.1 Schwankungen im Strahlbild der Betonprodukte	180
	6.2.2 Abmehlen der Produktoberflächen	182
6.3	Sulfattreiben	188
	Anhang	191
I	Checkliste zur Bewertung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden	193
II	Checkliste zur Bewertung gebundener Pflasterdecken	197
III	Checkliste zur Bewertung von Oberflächenvergütungen	201
IV	Literaturverzeichnis	203
V	Sachregister	207



## Vorwort

Dieses Buch richtet sich in erster Linie an Sachverständige für die Bewertung von Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen, an Mitarbeiter, die sich mit der Reklamationsbearbeitung entsprechender Flächen beschäftigen sowie an Planer, ausführende Firmen oder Bauherren, die eine möglichst hohe Qualität von Pflasterdecken sicherstellen wollen.

Bei diesem Buch handelt es sich um eine Ergänzung des ersten Bandes »Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster« [38], welcher sich in erster Linie mit den Ursachen für die Entstehung von Ausblühungen, Verfärbungen und Kantenabplatzungen an Betonpflastersteinen in Pflasterdecken sowie deren sachverständiger Bewertung beschäftigt. Der inhaltliche Schwerpunkt dieses zweiten Bandes liegt auf folgenden häufig auftretenden Schäden an Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen bzw. Betonplatten:

- Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden,
- Oberflächenveränderungen an Produkten,
- Schäden an der gebundenen Bauweise und
- Schäden an Pflasterdecken, die unter Verwendung vergüteter Betonprodukte hergestellt wurden.

Die verschiedenen Schadensbilder werden beschrieben. Es wird dargelegt, welche Einflüsse die Entstehung dieser Schäden begünstigen und wer im Schadensfall die Verantwortung zu tragen hat. Darüber hinaus werden, sofern dies möglich ist, Maßnahmen zur Reduzierung der Schadensrisiken erläutert. Die Ausführungen werden anhand einer Vielzahl von Fallbeispielen konkretisiert und ergänzt. Der Leser erhält Hilfe bei der Beantwortung der Fragen, die sich bei der Erstellung von Gutachten oder der Reklamationsbearbeitung stellen:

- Worauf sollte im Rahmen des Ortstermins geachtet werden?
- Welche Prüfungen sollten vor Ort durchgeführt werden?
- Welche Proben sollten vor Ort entnommen werden?
- Welche Laboruntersuchungen helfen bei der (gutachterlichen) Bewertung der Schäden?
- Worin könnten mögliche Schadensursachen begründet sein?
- Welche Einflüsse begünstigen die Entstehung der Schäden?
- Wer ist verantwortlich für die Schäden?



# 1 Bewertung von Verwitterungsschäden

Der Witterungsbeständigkeit von Betonpflastersteinen kommt insbesondere dort große Bedeutung zu, wo die Pflasterdecke durch häufige Frost-Tau-Wechsel beansprucht wird. Dabei sind die Bedingungen in vergleichsweise warmen Innenstädten mit wenigen Frosttagen sowie in extremen Höhenlagen, in denen Tage oberhalb der Frostgrenze seltener sind, weniger kritisch als die Bedingungen in Teilflächen mit ständigen Frost-Tau-Wechseln. Kommt zur Temperaturbeanspruchung noch ein hoher Wassereintrag hinzu, zum Beispiel bei Auto-waschplätzen, stellt sich die Situation noch ungünstiger dar. Aufgrund der relativ ungünstigen klimatischen Bedingungen müssen Pflasterdecken in Deutschland üblicherweise unter Verwendung von Betonpflastersteinen mit erhöhten Anforderungen an den Witterungswiderstand (Klasse 3 der DIN EN 1338) hergestellt werden. Trotzdem werden in Objekten nicht selten Betonpflastersteine, Betonplatten oder auch Bordsteine mit zum Teil erheblichen Witterungsschäden vorgefunden (Bild 1 bis Bild 3), und das obwohl im Rahmen der Eignungsprüfung sowie der Fremdüberwachung dieser Produkte ein ausreichender Witterungswiderstand nach DIN EN 1338, DIN EN 1339 oder DIN EN 1340 nachgewiesen wurde.



Bild 1: Durch Frost-Tausalz-Einwirkung verursachte Zementsteinabwitterungen an Betonpflastersteinen

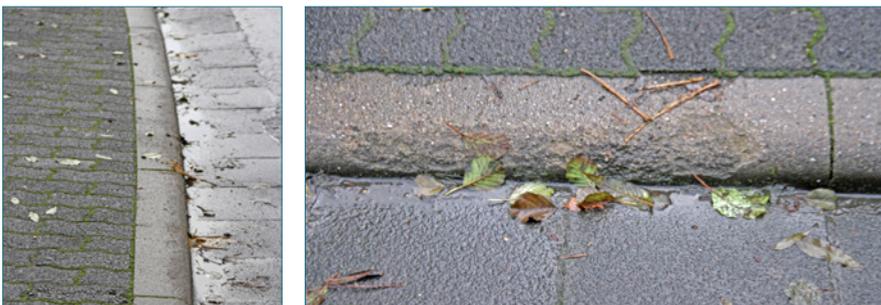


Bild 2: Durch Frost-Tausalz-Einwirkung verursachte Zementsteinabwitterungen an Bordsteinen



Bild 3: Durch Frost-Tau-salz-Einwirkung verursachte Zementsteinabwitterungen an Bordsteinen

Derzeitige Schäden führen dazu, dass die Diskussion über Änderungen an den Prüfverfahren bzw. an den Produkthanforderungen immer wieder neu aufflammt [42], [40], [45]. Diskutiert wird insbesondere über

- die Nutzung anderer Verfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands (z. B. mittels des CDF-Tests anstelle des Slab-Tests),
- eine größere Anzahl an Frost-Tau-Wechseln im Rahmen der Laborversuche (56 anstelle von 28 Frost-Tau-Wechseln),
- geringere zulässige Abwitterungsraten im Rahmen der Frost-Tauwechsel-Versuche.

Vielfach wird bemängelt, dass Frost-Tausalz-Versuche im Labor nicht die Wirklichkeit abbilden. Diese Aussage ist grundsätzlich auch richtig: Es ist nahezu unmöglich ein Prüfverfahren zu entwickeln, das die Wirklichkeit innerhalb angemessener Prüfzeiten sachgerecht simulieren kann. Prüfverfahren zum Nachweis von Produkteigenschaften im Labor können die Wirklichkeit nicht allgemeingültig real abbilden. Es ist zum Beispiel zu bedenken, dass eine Pflasterdecke in der Innenstadt von Köln mit Sicherheit einer völlig anderen Beanspruchung ausgesetzt ist als eine regelmäßig mit Taumitteln beaufschlagte Pflasterdecke in Höhenlagen des Schwarzwalds. Sollen Laborversuche die Wirklichkeit also tatsächlich realitätsgetreu simulieren, dann stellt sich sofort die Frage, ob das Laborverfahren den Angriffsgrad des Kölner oder des süddeutschen Klimas abbilden muss?

Des Weiteren ist es allein aus Gründen der Prüfzeit auszuschließen, dass ein Laborverfahren die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen angemessen nachstellt. Alle Laborversuche müssen zwangsläufig »Zeitrafferverfahren« darstellen, denn kein Kunde und kein Gericht kann mehrere Jahre auf die Ergebnisse eines Frost-Tau-Wechsel-Versuchs warten. Da mehrjährige Prüfzeiten nicht umsetzbar sind, müssen Rahmenbedingungen, wie die Prüftemperaturen, die Steilheit der Aufheiz- bzw. Abkühlkurven, der Salzgehalt während der Prüfung des Frost-Tau-Wechsel-Widerstands im Labor, zwangsläufig massiv von den in der Praxis auftretenden Bedingungen abweichen.

Diese kurze Einführung zeigt bereits, welchem Spannungsfeld sowohl die Sachbearbeiter im Prüflabor als auch die Sachverständigen bei der Bewertung von Frost-Tausalz-Schäden im Objekt ausgesetzt sind.

Bevor sich ein Sachverständiger mit den Anforderungen beschäftigt, die an den Frost-Tausalz-Widerstand von Bauwerksproben zu stellen sind (Diskussion zur Anwendbarkeit der Grenzwerte aus dem Technischen Regelwerk für die Bewertung von Bauwerksproben siehe Abschnitt 1.7), muss er sich mit folgenden Fragen befassen:

- Wie sehen die Schadensbilder bei Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an Pflasterdecken aus?
- Warum entstehen Zementsteinabwitterungen bei Einwirkung von Frost-Tau-Wechseln mit oder ohne Tausalz?
- Worauf sind die Verwitterungsschäden an Betonprodukten in der Praxis ursächlich zurückzuführen?
- Welche Verfahren sind zum Nachweis des Witterungswiderstands von Betonprodukten anzuwenden?

## 1.1 Ursachen für Frost- und Frost-Tausalz-Schäden

Durch Frost-Tau-Wechsel laufen in Betonprodukten zum Teil sehr komplexe chemische und/oder physikalische Vorgänge ab, die Zementsteinabwitterungen verursachen können (siehe hierzu exemplarisch [45]). Der grundsätzliche Schadensmechanismus sei hier kurz erläutert: Frost-Tau-Wechsel-Schäden sind ursächlich darauf zurückzuführen, dass sich das Volumen des Wassers beim Gefrieren um ca. 9% vergrößert. Sind die Poren des Betons zu Beginn des Frosteintritts vollständig mit Wasser gefüllt, stehen keine freien Expansionsräume zur Aufnahme des gefrierenden Wassers im Porensystem zur Verfügung und es entsteht ein Überdruck im Zementstein des Betons. Im Schadensfall bilden sich aufgrund dieses Expansionsdrucks zunächst feine Mikrorisse im Gefüge des oberflächennahen Zementsteins (Bild 4). Bei weiterer Frosteinwirkung wird im Schadensfall der oberflächennahe Zementstein vollständig abgesprengt (Bild 3).

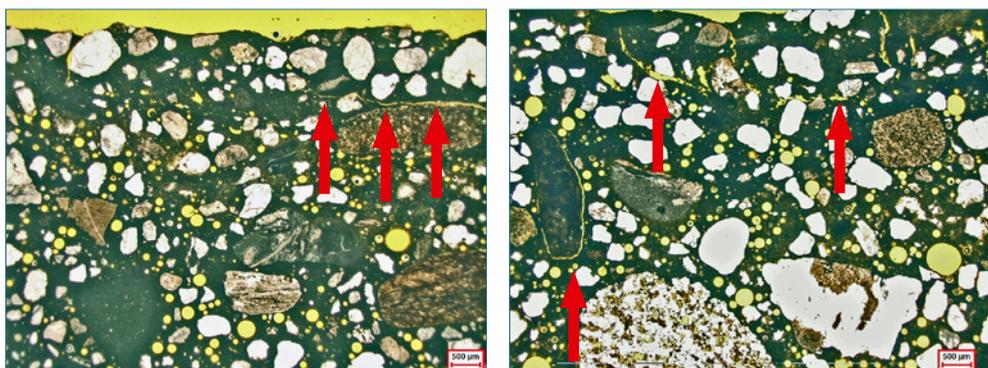


Bild 4: Mikrorissbildung im Bereich einer geschädigten Betonoberfläche

Frost- und Frost-Tausalz-Schäden treten üblicherweise nach den ersten Winterperioden auf und stellen sich

- zum Teil als flächige, d. h. über die gesamte Produktoberfläche erkennbare (Bild 5),
- zum Teil aber auch als lokal begrenzt auftretende Abwitterungen über einzelnen Gesteinskörnern (Bild 6 und Bild 7) oder über kleineren Teilflächen der Produkte dar.

Flächig auftretende Zementsteinabwitterungen können Einzelsteine, kleinflächig begrenzte Teilflächen (Bild 5) bis hin zu gesamten Pflasterdecken betreffen.



Bild 5: Schädigung der gesamten Produktoberfläche an einzelnen Pflastersteinen einer Pflasterdecke

Neben flächigen bzw. teilflächigen Abwitterungen finden sich nicht selten auch lokal begrenzt auftretende Abwitterungen an den Produktoberflächen. Diese beginnen des Öfteren über den im Beton befindlichen Gesteinskörnern und werden, da sie sich von hier ausgehend in Richtung des Zementsteins fortsetzen (siehe diesbezüglich auch Abschnitt 1.7.4), häufig ohne weitere Untersuchungen auf die Verwendung »mangelhafter« bzw. nicht geeigneter Gesteinskörnungen zurückgeführt.

Die Vermutung, dass nicht ausreichend witterungsbeständige Gesteinskörner verantwortlich für diese Schäden sind, erweist sich bei näherer Untersuchung häufig als falsch. So finden sich zwar im Zentrum dieser Abwitterungen mitunter zersetzliche Gesteinskörner (Bild 6), viel häufiger aber völlig intakte Gesteinskörner mit einem dichtem Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand (Bild 7).



Bild 6: Zersetzliches Gesteinskorn im Zentrum einer Betonabwitterung

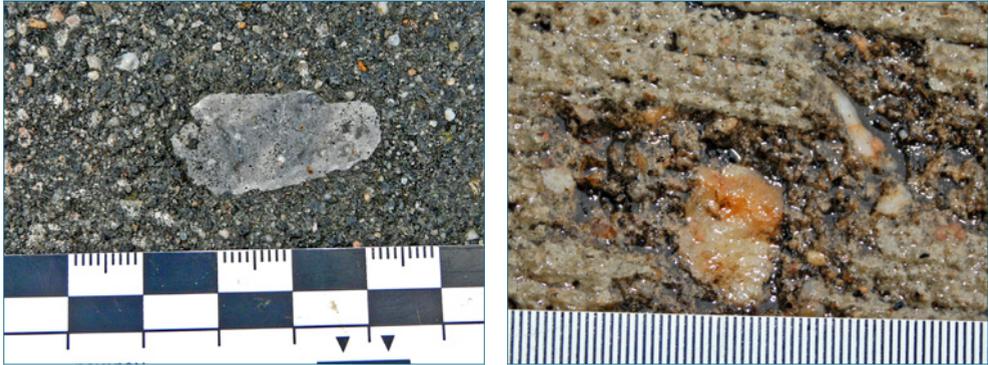


Bild 7: Gesteinskörner mit dichtem Gefüge und hohem Frost-Tausalz-Widerstand im Zentrum von Zementsteinabwitterungen

Bei dem in Bild 7 beschriebenen Fall ist die Entstehung der Zementsteinabwitterungen (sogenannter 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 (die Gesteinskörnung in Bild 8 und Bild 9 ist an ihrer dunkleren Farbe erkennbar) ist deutlich geringer als die des Zementsteins (grüne Teilflächen im Bild 8), sodass dem gefrierenden Wasser im Gesteinskorn nur ein sehr kleiner freier Expansionsraum zur Verfügung steht. Das im Bereich der Kontaktfläche zwischen dem Zementstein und der Gesteinskörnung befindliche Wasser kann sich somit beim Gefrieren nicht in Richtung der Gesteinskörnung ausdehnen und sprengt den aufsitzenen Zementstein ab.
- Zusätzlich bildet sich in der Kontaktzone zwischen dem Zementstein und der dichten Gesteinskörnung aufgrund der geringen Wasseraufnahmefähigkeit dichter Gesteinskörner häufig eine dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität (hellere Farbe in der Kontaktfläche in Bild 9), die eine deutlich erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit und damit eine reduzierte Witterungsbeständigkeit besitzt.

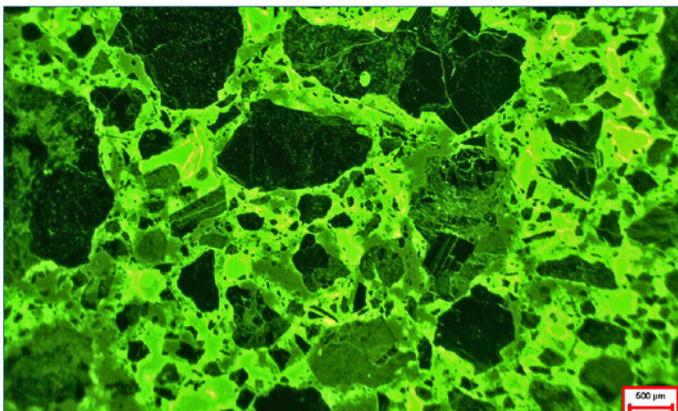


Bild 8: Geringer Expansionsraum im Gesteinskorn (im Bild schwarz) im Vergleich zum Zementstein (im Bild grün)

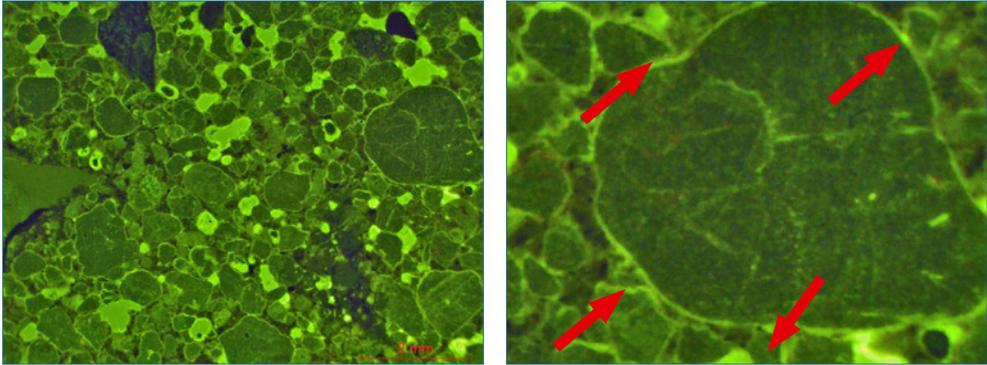


Bild 9: Eine dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität umgibt die Gesteinskörnung des Betons.

Die Ursache für die Abwitterung der Betonfläche in den oben beschriebenen Schadensfällen war somit nicht eine verminderte Qualität der Gesteinskörnung, sondern ein nicht ausreichend frost-tausalzbeständiger Zementstein in Verbindung mit einer sehr dichten Gesteinskörnung (siehe Abschnitt 1.2.1).

Die Ursachen von Frost-Tausalz-Schäden an Betonprodukten lassen sich im Wesentlichen in drei Gruppen einteilen:

- Fehler bei der Verlegung (z. B. Verlegung auf einer nicht ausreichend wasserdurchlässigen Unterlage etc.),
- Unzulässige Nutzung der Pflasterdecke (z. B. Verwendung unzulässiger Taumittel),
- unzureichende Steinqualität.

Im Folgenden werden zunächst die materialbedingten Einflussparameter beschrieben und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung oder zur Reduzierung des Schadensrisikos aufgezeigt.

## 1.2 Maßnahmen zur Erhöhung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands von Betonwaren

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstands von Betonprodukten kommen unterschiedliche Verfahren in Betracht. Der Witterungswiderstand von erdfeucht hergestellten Produkten wie Betonpflastersteinen wird in erster Linie über hohe Druckfestigkeiten sichergestellt (Variante 1), gemäß dem Ansatz der DIN 18501. Als weitere Möglichkeit kommt in Betracht, die Wasseraufnahme zu reduzieren (Variante 2), oder den Expansionsraum im Stein zu erhöhen (Variante 3).

### *Variante 1:*

Herstellung eines Vorsatzbetons mit einer hohen Festigkeit, der in der Lage ist, die im Kapillarporensystem entstehenden Spannungen schadensfrei aufzunehmen (vergl. 1.2.1). Dies ist die übliche Vorgehensweise bei der Herstellung von Betonpflastersteinen.

### *Variante 2:*

Reduzierung der Wasseraufnahme der Produkte durch Herstellung sehr dichter Vorsatzbetone, vergl. 1.2.2. Als ergänzende Maßnahme dieses betontechnologischen Ansatzes können geeignete Massenhydrophobierungsmittel oder Oberflächenvergütungen zur Optimierung der wasserabweisenden Eigenschaften der Produkte eingesetzt werden.

Als alleinige Maßnahme ist die Verwendung von Massenhydrophobierungsmitteln oder Oberflächenvergütungen aber nicht geeignet, um hochwertige Betonprodukte mit einem ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand herzustellen. Nur in den seltensten Fällen lassen sich hochwertige Produkte fertigen, indem Betone mit einer nur eingeschränkt geeigneten Betonrezeptur durch Verwendung von Vergütungen optimiert werden. Im Regelfall ist eine gute Betonzusammensetzung eine zwingende Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz entsprechender Vergütungen.

### *Variante 3:*

Herstellung eines Vorsatzbetons mit einem ausreichend großen Expansionsraum im Kapillarporengefüge (z. B. durch die Herstellung eines geeigneten Mikroluftporensystems), damit der Beton die Volumenexpansion des gefrierenden Wassers schadensfrei aufnehmen kann (vergl. 1.2.3). Werden fließfähige Betone verwendet, ist dies die übliche Vorgehensweise.

## **1.2.1 Herstellung eines Vorsatzbetons mit hoher Festigkeit**

Erdfreucht hergestellte Betone mit einer ausreichenden Druckfestigkeit weisen nach langjährigen Erfahrungen bei üblichen Umgebungsbedingungen einen ausreichenden Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand auf. Bei diesen Produkten ist deshalb nicht mit der Entstehung von Frost-Tausalz-Schäden zu rechnen, die über das übliche Maß hinausgehen.

Die »alte« DIN 18501 enthielt die Forderung, dass Betonpflastersteine eine Mindestdruckfestigkeit von 50 N/mm<sup>2</sup> (kleinster Einzelwert) und eine mittlere Druckfestigkeit von 60 N/mm<sup>2</sup> aufweisen sollten. Diese Druckfestigkeitsanforderung gründete auf der jahrzehntelangen Erfahrung, dass monolithisch hergestellte Betonpflastersteine mit einer Mindestdruckfestigkeit von über 50 N/mm<sup>2</sup> einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufwiesen.

---

*Seit der Umstellung der Pflastersteinproduktion auf die Herstellung zweischichtiger Pflastersteine (Steine mit einem Vorsatzbeton) hat die Bedeutung der Druckfestigkeit zur Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonpflastersteinen deutlich abgenommen, da die Steindruckfestigkeit in erster Linie durch die Qualität des Kernbetons und nicht durch deren Vorsatzbetonqualität bestimmt wird. Gerade die Qualität des Vorsatzbetons ist aber maßgeblich für den Frost-Tausalz-Widerstand der Betonpflastersteine.*

---

Erst mit der Umstellung des Technischen Regelwerkes für Betonpflastersteine von DIN 18501 auf DIN EN 1338 wurde die Druckfestigkeit als wesentliches Qualitätskriterium zur Bewertung der Steinqualität durch die Spaltzugfestigkeit abgelöst.

Groß angelegte Untersuchungen (z. B. von Bonzel [39]) haben ergeben, dass kein strenger Zusammenhang zwischen der Druck- und der Spaltzugfestigkeit der Betonpflastersteine besteht, und dass die Druckfestigkeitsanforderung der alten DIN 18501 bei der Herstellung von Betonpflastersteinen nach DIN EN 1338 (Spaltzugfestigkeit  $\geq 3,6 \text{ N/mm}^2$ ) zum Teil weit unterschritten wird. So ergaben die Untersuchungen von Bonzel, dass bei Einhaltung der normativen Spaltzugfestigkeit von  $3,6 \text{ N/mm}^2$  nach DIN EN 1338 Steindruckfestigkeiten zwischen ca.  $35 \text{ N/mm}^2$  und über  $60 \text{ N/mm}^2$  erreicht wurden. Für die zielsichere Einhaltung der Druckfestigkeitsanforderungen nach der alten DIN 18501 wären nach seinen Untersuchungen aber Spaltzugfestigkeiten zwischen  $3,6 \text{ N/mm}^2$  und annähernd  $5,0 \text{ N/mm}^2$  erforderlich gewesen.

Diese und weitere Untersuchungen zeigen, dass Betonpflastersteine nach der Umstellung von der DIN 18501 auf die DIN EN 1338 mit deutlich geringeren Steindruckfestigkeiten und damit auch deutlich zementärmer hergestellt werden konnten, was einige Hersteller aufgrund des starken marktbedingten Preisdruckes daraufhin auch taten. In der Konsequenz stieg bei diesen verhältnismäßig zementarmen Produkten die Gefahr für Frost- und Frost-Tausalz-Schäden sowohl am Vorsatz- als auch am Kernbeton deutlich an.

### 1.2.2 Optimierung der Wasseraufnahme des Betons

Der Einfluss der Wasseraufnahme des Vorsatzbetons auf den Witterungswiderstand der Pflastersteine ist bereits daran zu erkennen, dass die Wasseraufnahme des Vorsatzbetons bei der Deklaration der Klasse 2 (Kennzeichnung B) gemäß Tabelle 4.1 der DIN EN 1338 auf  $\leq 6 \text{ M.-%}$  begrenzt wird. Diese Anforderung lässt sich so erklären, dass kein großer Expansionsdruck beim Gefrieren des Wassers entstehen kann, wenn keine signifikanten Wassermengen in den Vorsatzbeton eindringen. Somit werden bei ausreichend geringer Wasseraufnahme auch keine signifikanten Frostschäden am Vorsatzbeton der Pflastersteine entstehen.

---

*Bei den oben genannten 6 M.-% handelt es sich nur um einen groben Richtwert. Eine sachgerechte Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonpflastersteinen ist auf Basis dieses Richtwertes nicht möglich.*

---

Eine höhere Wasseraufnahme führt zu einer größeren Wassersättigung des Vorsatzbetons der Pflastersteine und erhöht demnach die Gefahr für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden. Deshalb ist die Dauerhaftigkeit von sogenannten »Wassersäufern« auch eher kritisch zu bewerten.

Bei »Wassersäufern« handelt es sich um zu trocken oder mit einer zu geringen Verdichtungsenergie hergestellte Betonpflastersteine, die einwirkendes Wasser sehr schnell aufnehmen (starkes kapillares Saugen) und sehr langsam wieder abgeben (langsames Abtrocknungsverhalten, siehe Bild 10).

Derartige Pflastersteine weisen nicht zwingend eine reduzierte Dauerhaftigkeit auf, doch steigt das Risiko für die Bildung von Frost-Tausalz-Schäden bei diesen Pflastersteinen aus den genannten Gründen an, selbst wenn diese ansonsten unter Verwendung sachgerechter Betonrezepte hergestellt werden.



Bild 10: Frostschäden an »Wassersäufern«

Der Zusammenhang zwischen der Wassersättigung der Pflastersteine und der Gefahr für die Entstehung von Frostschäden hat auch zur Folge, dass Betonpflastersteine, die nutzungsbedingt einer größeren Wasserbeanspruchung ausgesetzt sind, in einem stärkeren Ausmaß durch Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriffe geschädigt werden, als Steine, die in trockenen Teilflächen verlegt werden. Aus diesem Grund finden sich diese Schäden unter anderem bevorzugt in Teilflächen, die eine besonders hohe Wasserzufuhr erfahren und damit auch eine höhere Wassersättigung aufweisen, wie dies z. B. im Bereich der Wassertropfkante von Bauteilen (siehe Bild 11) der Fall ist.



Bild 11: Verstärkte Frostschäden in besonders wasser-sättigten Teilflächen

### 1.2.3 Herstellung eines Vorsatzbetons mit einem ausreichend großen Expansionsraum in Form eines Mikroluftporensystems

Weisen Betone eine große Wasseraufnahme auf, dann müssen diese auch einen großen Expansionsraum enthalten, um die Volumenexpansion des gefrierenden Wassers kompensieren zu können. Das bedeutet, dass auch Vorsatzbetone frost-tausalzbeständig sein können, selbst wenn sie eine große Wasseraufnahme besitzen. Allerdings müssen dann Maßnahmen ergriffen werden, die ein vollständiges Füllen der Porenräume bei Wasserzufuhr (z. B. bei Regen) verhindern, sodass leere (nicht mit Wasser gefüllte) Expansionsräume im Beton verbleiben.

Dies so auch der Grund dafür, warum fließfähige Betone, die einer Frost-Tausalz-Belastung ausgesetzt werden, auf Basis der einschlägigen Betonnormen unter Verwendung von sogenannten Luftporenbildnern hergestellt werden müssen.

Die damit in den Beton eingebrachten Mikroluftporen werden bei einer normalen Wasserbeaufschlagung nicht vollständig mit Wasser gefüllt und verbleiben als freier Expansionsraum im Beton. Weisen diese Mikroluftporen ausreichend geringe Abstände zueinander auf, dann besitzt der Beton normalerweise einen ausreichenden Widerstand gegenüber Frost- und Frost-Tausalz-Angriffen (siehe Bild 12).



Bild 12: Bestimmung der Gehalte von Mikroluftporen an fließfähigen Betonen nach DIN EN 480-11

---

*Gemäß DIN 1045-2/DIN EN 206-1 müssen in fließfähiger Konsistenz hergestellte Betone mit einem erhöhten Widerstand gegen Frost- und Frost-Tausalz-Angriffe im Rahmen der mikroskopischen Untersuchung mindestens 1,5 Vol.-% an Mikroporen mit einer Größe unter 300 µm Durchmesser aufweisen.*

*Der Abstandsfaktor zwischen den einzelnen Mikroporen darf gemäß dem FGSV-Merkblatt »Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton« [22] nicht mehr als 0,24 mm betragen. Werden diese Anforderungen eingehalten, so ist davon auszugehen, dass der Beton einen hohen Widerstand gegen Frost- und Frost-Tausalz-Angriffe aufweist.*

---