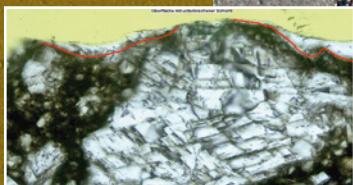


Karl-Uwe Voß

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 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 Preising

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 dürfen.

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

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 wasserundurchlässiger 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	Reinigungsmittelempfindlichkeit 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 Bauherrn, 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 Produktanforderungen immer wieder neu aufflammmt [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 realitätsgerecht 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 Frosteneintritts vollständig mit Wasser gefüllt, stehen keine freien Expansionsräume zur Aufnahme des gefrierenden Wassers im Poresystem 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).

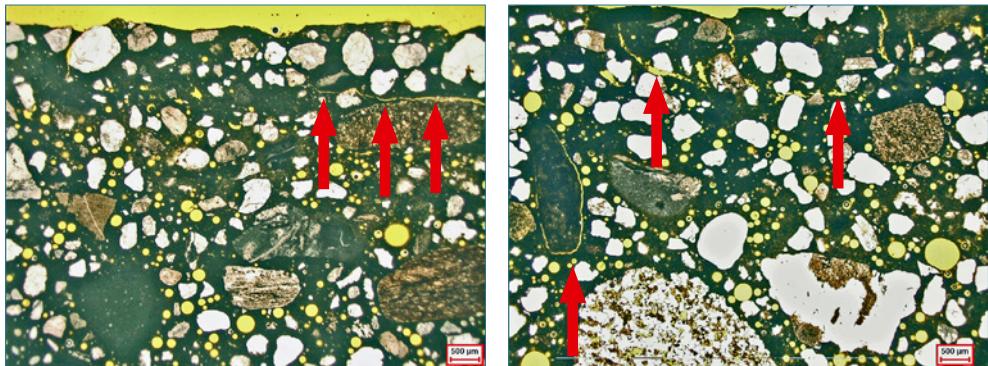


Bild 4: Mikrorissbildung im Bereich einer geschädigten Betonoberfläche

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 zersetzbare Gesteinskörner (Bild 6), viel häufiger aber völlig intakte Gesteinskörner mit einem dichten Gefüge und einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand (Bild 7).



Bild 6: Zersetzbare Gesteinskörner im Zentrum einer Betonabwitterung

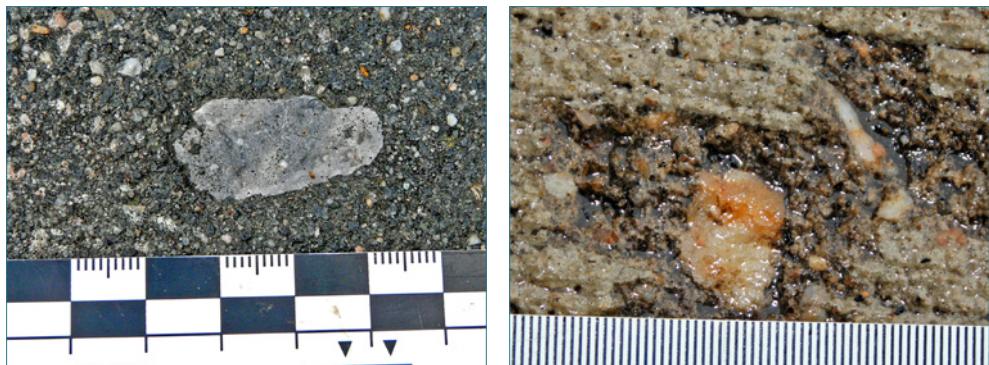


Bild 7: Gesteinskörner mit dichtem Gefüge und hohem Frost-Tausalz-Widerstand im Zentrum von Zementsteinabwitterungen

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 aufsitzenden 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.

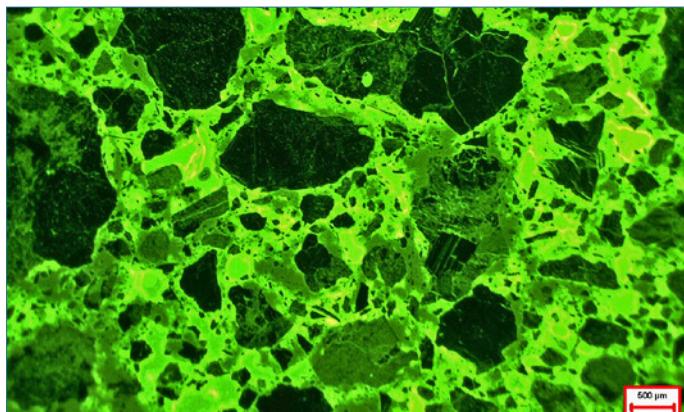


Bild 8: Geringer Expansionsraum im Gesteinskorn (im Bild schwarz) im Vergleich zum Zementstein (im Bild grün)

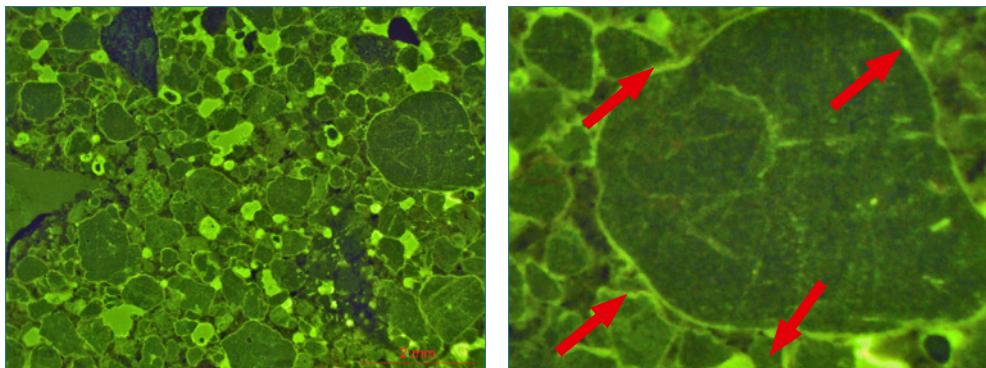


Bild 9: Eine dünne Zementsteinschicht mit erhöhter Porosität umgibt die Gesteinskörnung des Betons.

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

Erdfeucht 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^2 (kleinster Einzelwert) und eine mittlere Druckfestigkeit von 60 N/mm^2 aufweisen sollten. Diese Druckfestigkeitsanforderung gründete auf der jahrzehntelangen Erfahrung, dass monolithisch hergestellte Betonpflastersteine mit einer Mindestdruckfestigkeit von über 50 N/mm^2 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 N/mm^2 und über 60 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 (langsam 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: Frostsäden an »Wassersäufern«

Der Zusammenhang zwischen der Wassersättigung der Pflastersteine und der Gefahr für die Entstehung von Frostsäden 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 Frostsäden in besonders wasser gesättigten 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-Behandlung 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 fließföhiger 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.

Bei erdfeucht hergestellten Produkten spielen Mikroluftporen normalerweise keine entscheidende Rolle, da die Vorsatzbetone dieser Produkte, wie oben erläutert wurde, üblicherweise hohe Festigkeiten besitzen (Variante 1) und damit auch ohne Einbringung von Mikroluftporen einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen.

Im Gegensatz dazu sind Schäden, wie sie z. B. in Bild 13 dargestellt sind, aufgrund zu geringer Mengen an Mikroporen bei fließfähigen Betonen nach DIN 1045-2/DIN EN 206-1 aber keine Seltenheit.

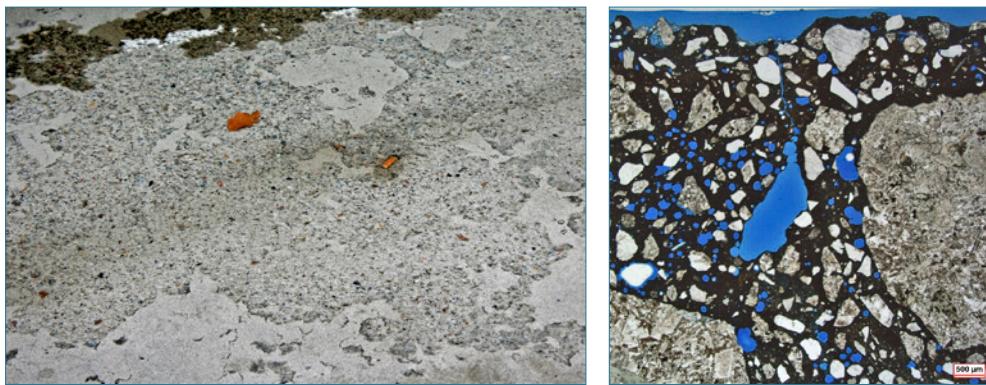


Bild 13: Zu geringe Mengen an Mikroluftporen im Bereich der Betonoberfläche

1.2.4 Weitere betontechnologische Möglichkeiten zur Erhöhung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen

Einfluss des w/z-Wertes des Vorsatzbetons

Eine der maßgeblichen Maßnahmen zur Herstellung von Betonen mit einer hohen Druckfestigkeit (Variante 1) und einer geringen Wasseraufnahme (Variante 2) stellt die Optimierung des Wasser-Zement-Werts (sogenannter w/z-Wert) des Betons dar und zwar unabhängig davon, ob es sich um erdfeucht oder in fließfähiger Konsistenz hergestellte Produkte handelt.

Während die Frost-Tausalz-Beständigkeit konstruktiver (in fließfähiger Konsistenz hergestellter) Betone (w/z-Wert im Regelfall $>0,40$) mit zunehmendem w/z-Wert abnimmt, dreht sich diese Tendenz bei erdfeuchten Betonen (wie z. B. bei Betonpflastersteinen) um.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass Vorsatzbetone von Betonpflastersteinen üblicherweise mit w/z-Werten $\leq 0,40$ hergestellt werden. Wird die Wasserzugabemenge bei diesen Produkten noch weiter reduziert, so reduziert sich die Verdichtbarkeit des Betons erheblich. In der Folge sind die Produktionsmaschinen nicht mehr in der Lage, diese Steine in einem ausreichenden Maße zu verdichten. Es entstehen sogenannte Wassersäufer, die in der Regel deutlich geringere Festigkeiten und nur eine eingeschränkte Frost-Tausalz-Beständigkeit aufweisen.

Mit zu geringen w/z-Werten hergestellte Betonpflastersteine zeigen im Normalfall neben einer reduzierten Druckfestigkeit auch eine deutlich erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit. Sie trocknen zudem erheblich langsamer ab (Pflastersteine 1_T und 2_N in Bild 14) als Pflastersteine mit normaler Saugfähigkeit (Pflasterstein 3_A in Bild 14).



Bild 14: Abtrocknungsverhalten von Betonpflastersteinen

Noch deutlicher ist dieser Unterschied in Bild 15 erkennbar. Hier wurden die zu beurteilenden Pflastersteine vor der Untersuchung in zwei Teile geschnitten, sodass das Saugverhalten des Vorsatz- und Kernbetons getrennt voneinander beurteilt werden kann. Wie Bild 15 zeigt, wiesen die nicht reklamierten Pflastersteine (Proben links in Bild 15) eine erwartungsgemäße Saugfähigkeit auf, während die reklamierten Pflastersteine (Proben rechts in Bild 15) eine deutlich erhöhte Saugfähigkeit zeigten.

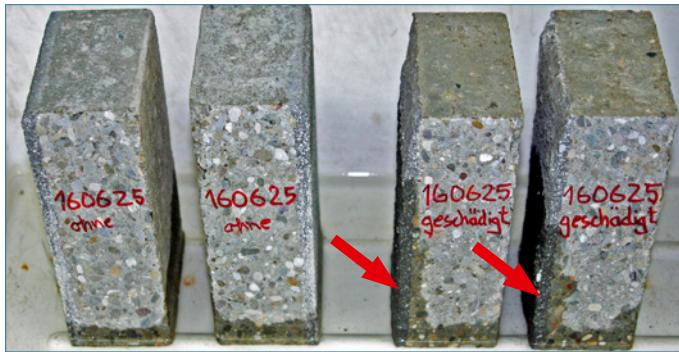


Bild 15: Saugfähigkeit des Vorsatzbetons von reklamierten Proben (rechts) und nicht reklamierten Pflastersteinen (links)

Bei den beiden rechts in Bild 15 dargestellten Pflastersteinen führt die hohe Saugfähigkeit des Vorsatzbetons dazu, dass sich die vorhandenen Porenräume bei Regen schnell und zu meist vollständig mit Wasser füllen. Gefriert das in großer Menge eingedrungene Wasser, so steht diesem nur wenig Expansionsraum für die Kristallisation zur Verfügung, sodass Betonabplatzungen (Frost-Tausalz-Schäden) entstehen (Bild 16).

Sättigungsporositäten von ≥ 90 Vol.-% des Gesamtporenraumes des Vorsatzbetons sind hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstands als kritisch einzustufen, da sich das Wasser beim Gefrieren um ca. 9 Vol.-% ausdehnt.



Bild 16: Frost-Tausalz-Abwitterungen von Betonpflastersteinen mit einem langsamen Abtrocknungsverhalten (links) im Rahmen des Frost-Versuches (rechts)

An dieser Stelle sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei der Bestimmung des Saug- und Abtrocknungsverhaltens »nur« um grob orientierende Verfahren handelt. Eine Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands über diese vereinfachten Verfahren ist nicht mit einer angemessenen Genauigkeit möglich.

Liegt jedoch ein begründeter Anfangsverdacht dafür vor, dass einzelne Betonpflastersteine einen nicht ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen, kann mittels des Saug- und Abtrocknungsverhaltens der Pflastersteine in der Pflasterdecke abgeschätzt werden, welche Betonpflastersteine in der Zukunft von Frost-Tausalz-Schäden betroffen sein könnten. Um eine höhere Aussagesicherheit zu erreichen, sind aber auch in diesem Fall entsprechende Frost-Tausalz-Prüfungen an den Pflastersteinen durchzuführen.

Einfluss der Gesteinskörnung

Neben der Qualität des Vorsatzbetons wirkt sich selbstverständlich auch die Witterungsbeständigkeit der Gesteinskörnung auf die Entstehung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden aus. So können Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner Gesteinskörner, sogenannte Pop outs (Bild 17), dadurch entstehen, dass einzelne Gesteinskörner keine ausreichende Witterungsbeständigkeit aufweisen.

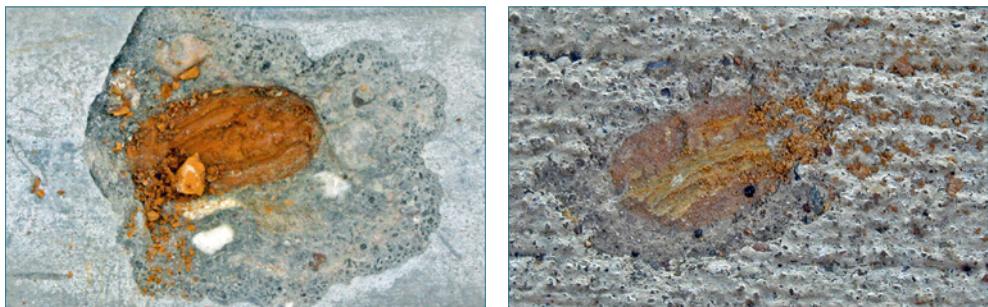


Bild 17: Abwitterungen oberhalb witterungsunbeständiger Gesteinskörner

Bei der Bewertung entsprechender Schäden ist darauf hinzuweisen, dass weder die Gesteinskörnung noch der daraus hergestellte Beton normativ frei von Abwitterungen sein muss (siehe hierzu Abschnitt 1.7.3). Allerdings zeigen gerade die in Bild 17 dargestellten Schäden, dass die Auswahl einer hochwertigen Gesteinskörnung zu einer deutlichen Reduzierung der Menge an Abwitterungen beitragen kann.

1.3 Abgrenzung zu weiteren Verwitterungsschäden

Häufig werden Oberflächenschäden wie Kantenabplatzungen, Kerndurchschläge, Löcher und Risse an Betonpflastersteinen (siehe auch Kapitel 2) fälschlicherweise Frost-Tausalz-Angriffen zugeordnet. An einigen Beispielen wird im Folgenden gezeigt, bei welchen Schadensbildern es zu Fehleinschätzungen kommen kann und wie Schadensursachen zu treffend ermittelt werden können.

1.3.1 Kantenabplatzungen

Die Betonpflastersteine auf dem Parkplatz eines Lebensmittelmarktes wiesen Kantischäden auf (Bild 18). Der Bauherr vermutete eine zu geringe Frost-Tausalz-Beständigkeit der Steine als Grund für die aufgetretenen Schäden.



Bild 18: Kantenabplatzungen an Betonpflastersteinen eines Parkplatzes

Bereits der optische Eindruck des augenscheinlich unbeschädigten Zementsteins der Steinoberflächen und die Art der Kantenausbrüche ließ bei dem im Bild 18 beschriebenen Schadensfall vermuten, dass die Witterungsbeständigkeit der Betonpflastersteine nicht ursächlich für die aufgetretenen Schäden war (zu Kantischäden an Betonpflastersteinen siehe auch Kapitel 5 aus [38]). Diese Vermutung wurde durch die in Tabelle 1 aufgeführten Abwitterungsraten der Pflastersteine bestätigt.

Prüfkörpernummer		Prüffläche [mm ²]	Abgewitterte Masse [mg]	Massenverlust	
				Einzelwerte [kg/m ²]	Mittelwert [kg/m ²]
Betonpflastersteine	1	11 684	0	0,00	0,0
	2	12 177	0	0,00	
	3	11 005	0	0,00	
Sollwerte an neue und noch nicht verbaute Pflastersteine aus Beton nach DIN EN 1338				≤1,5	≤1,0

Tabelle 1: Ergebnisse der Frost-Tausalzprüfung nach Anhang D der DIN EN 1338 an Bauwerksproben

Zur konkreten Bewertung der Abwitterungsraten von Bauwerksproben im Rahmen der Frost-Tau-Wechsel-Untersuchung nach DIN EN 1338 siehe Kapitel 1.7.

1.3.2 Kerndurchschläge

Auch bei den nachfolgend dargestellten Betonabwitterungen wurde seitens des Bauherrn vermutet, dass die eingebrachten Betonpflastersteine keinen ausreichenden Frost-Tau-salz-Widerstand aufwiesen.



Bild 19: Zementsteinabwitterungen an Betonpflastersteinen aufgrund von Kerndurchschlägen

Tatsächlich waren die Zementsteinabwitterungen an den Betonpflastersteinen aber darauf zurückzuführen, dass der Vorsatzbeton in Teilen eine zu geringe Vorsatzbetondicke besaß (siehe exemplarisch Bild 20) und die dünne, auf den Gesteinskörnern aufsitzende Zementsteinschicht im Rahmen der Nutzung abwitterte.

Es ist davon auszugehen, dass direkt nach der Produktion der Pflastersteine noch eine dünne Zementsteinschicht auf diesen Gesteinskörnern aufsaß. Diese witterte im Laufe der Zeit durch die Bewitterung (siehe Kapitel 1.1) und Nutzung ab, wobei die grobe Gesteinskörnung des Kernbetons in der Steinoberfläche sichtbar wurde.

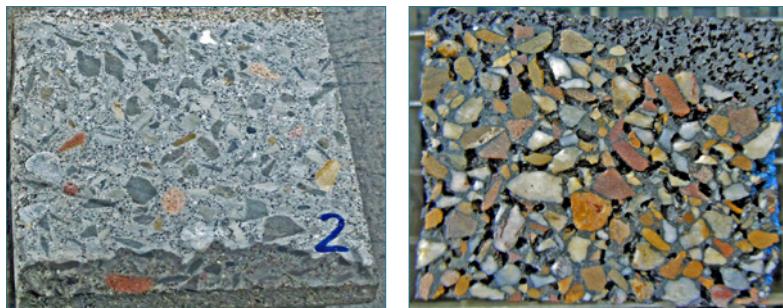


Bild 20: Zu geringe und stark schwankende Dicke des Vorsatzbetons

1.3.3 Löcher in der Oberfläche des Vorsatzbetons

Neben Kerndurchschlägen resultieren punktuelle Oberflächenabwitterungen in Form von kleinen Löchern an Betonplastersteinen oder -platten (siehe Bild 21) u. a. aus Fehlstellen [38] in der Steinoberfläche.

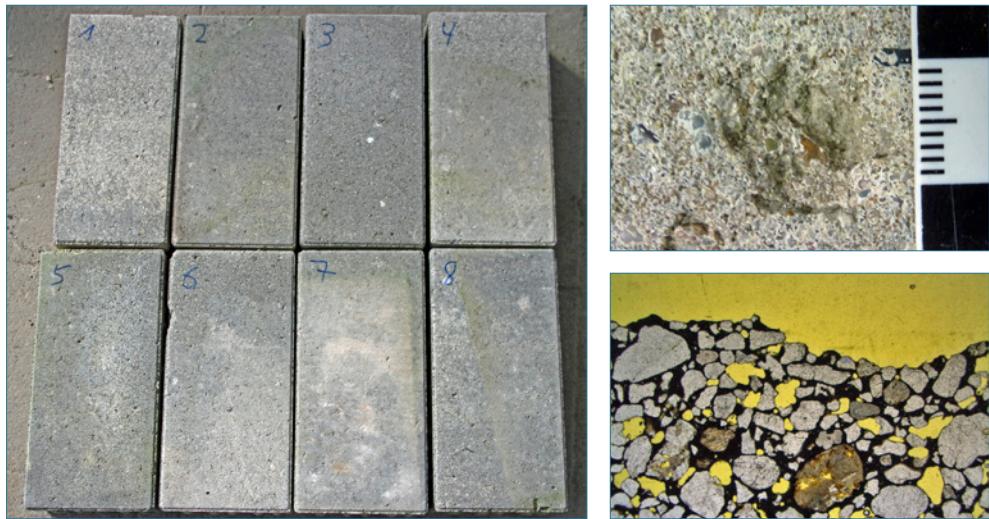


Bild 21: Löcher in der Oberfläche des Vorsatzbetons von Betonplastersteinen

Ursächlich sind derartige Fehlstellen im Regelfall nicht auf Frost- oder Frost-Tausalz-Schäden zurückzuführen, vielmehr entstehen sie häufig durch sogenannte Stempelkleber oder durch Einschluss von Fremdmaterialien.

Sofern diese Schäden nur vereinzelt auftreten, handelt es sich hierbei um rein optische Beeinträchtigungen, deren Entstehung auch bei sachgerecht hergestellten Produkten nicht vollständig vermeidbar ist. Die technischen Eigenschaften der Produkte werden durch kleine, lokal begrenzte Fehlstellen im Normalfall nicht beeinträchtigt, sodass diese Produkte üblicherweise die Anforderungen u. a. auch an den Frost-Tausalz-Widerstand der jeweiligen Produktnorm (wie z. B. der DIN EN 1338) sicher erfüllen.

1.3.4 Risse in der Oberfläche des Vorsatzbetons

Auch in der Steinoberfläche erkennbare Risse sind nicht unbedingt als Hinweis auf eine reduzierte Frost-Tausalz-Beständigkeit von Betonpflastersteinen zu werten (siehe Tabelle 2) und stellen somit auch nicht unbedingt einen technischen Mangel dar.

Prüfkörper-nummer	Prüffläche [mm ²]	abgewitterte Masse [mg]	Massenverlust	
			Einzelwerte [kg/m ²]	Mittelwert [kg/m ²]
1	12 376	20	0,00	0,1
2	12 710	50	0,00	
3	12 770	20	0,00	
4	12 908	4330	0,34	
Sollwerte an neue und noch nicht verbaute Pflastersteine aus Beton nach DIN EN 1338			≤1,5	≤1,0

Tabelle 2: Risse in der Oberfläche des Vorsatzbetons von Pflastersteinen (links) und Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands der gerissenen Steine (rechts)

Wie die Ergebnisse der Frost-Tausalz-Prüfung an den gerissenen Betonpflastersteinen aus Tabelle 2 zeigen, ist eine rein oberflächliche Rissbildung, wie sie links in Tabelle 2 dargestellt ist, nicht zwingend mit einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit der Pflastersteine gleichzusetzen. Vielmehr handelt es sich bei derartigen Rissen normalerweise um optische Beeinträchtigungen.

Aufgrund einer Vielzahl von in der Praxis an Bordsteinen aufgetretenen Frost-Tausalz-Schäden und den hohen damit in Verbindung stehenden Mangelbeseitigungskosten werden Risse an Bordsteinen normalerweise noch kritischer als bei Betonpflastersteinen gesehen. Allerdings zeigte sich bei einer Vielzahl von Untersuchungen an gerissenen Bordsteinen aus Beton, dass auch Bordsteine mit feinen Rissen im Regelfall einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen (siehe Tabelle 3).

Prüfkörper-nummer	Prüffläche [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

Tabelle 3: Risse in Bordsteinen (links) und Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands (rechts)

Kritisch sind derartige Risse erst, wenn sie deutlich wasserführende Eigenschaften aufweisen, sodass der Expansionsdruck des gefrierenden Wassers über die Rissflanken auf den Vorsatzbeton einwirken kann (Bild 22). Auch Risse, die zusätzlich mit kleinen Hohlstellen zwischen dem Vorsatz- und dem Kernbeton in Verbindung stehen, führen erfahrungsgemäß häufig zu einer eingeschränkten Frost-Tausalz-Beständigkeit.

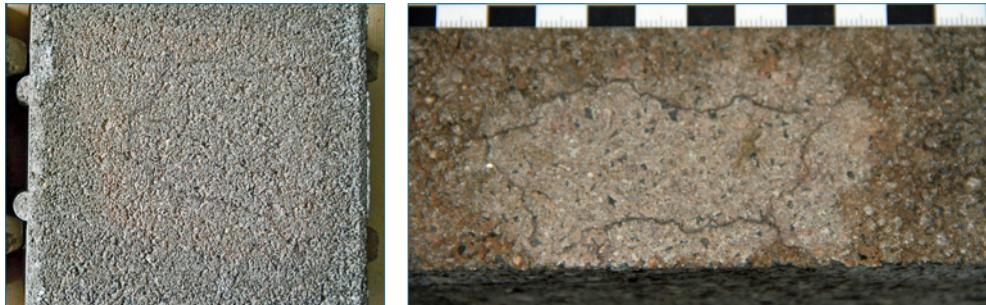


Bild 22: Wasserführende Risse in der Oberfläche des Vorsatzbetons von Betonpflastersteinen

Bei der Bewertung des Einflusses von Rissen auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit der Produkte ist auch zu hinterfragen, ob es sich um offene oder zugesinterte Risse handelt, wie sie in Bild 23 dargestellt sind. Zugesinterte Risse leiten das Wasser nicht in die Produkte hinein, sodass derartige Risse hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstands zumeist als unkritisch zu bewerten sind.

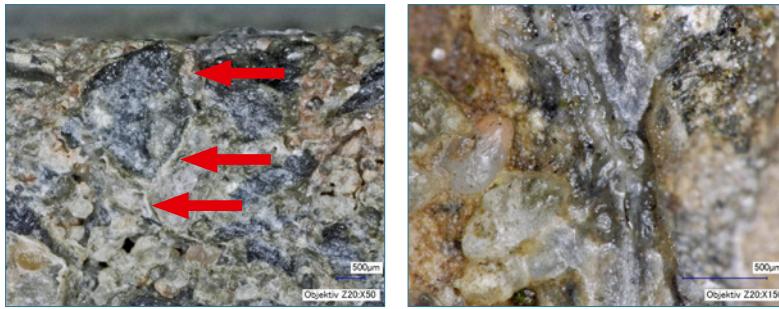


Bild 23: Detailbild eines zugesinterten Risses in der Oberfläche eines Betonpflastersteins

1.4 Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an Kernbetonen von Betonpflastersteinen

Während der Frost-Tausalz-Widerstand von Betonpflastersteinen an der Steinoberfläche (am Vorsatzbeton) normativ in DIN EN 1338 geregelt ist, muss der Kernbeton von Betonpflastersteinen allein auf Basis der DIN EN 1338 keinen erhöhten Widerstand gegenüber Frost- oder Frost-Tausalz-Angriffen aufweisen. Dies ist im Sinne der Pflastersteinnorm sachgerecht, da theoretisch nur der Vorsatzbeton einem Frost-Tausalz-Angriff ausgesetzt sein sollte, während der Kernbeton der Pflastersteine durch den Vorsatzbeton »geschützt« wird.

Da normativ keine Vorgaben an den Frost-Tausalz-Widerstand des Kernbetons gestellt werden und dieser in der normativen Theorie auch gar nicht mit Tausalzen in Kontakt kommt, stellt sich die Frage, wie Frost-Tausalz-Schäden an Kernbetonen zu bewerten sind.

Neben den normativen Vorgaben ist seitens des Sachverständigen bei der Beantwortung dieser Frage zu berücksichtigen, dass der Kernbeton von Betonpflastersteinen – trotz der fehlenden normativen Anforderungen – zumindest eine gewisse Beständigkeit gegenüber üblichen Einwirkungen (und hierzu gehören auch geringe Mengen an Tausalzen, die über die Fugen in die Pflasterdecke eindringen) aufweisen muss. Nur dann sind diese Pflastersteine für die üblichen Verwendungszwecke in Pflasterdecken geeignet. Schadensbeispiele sind in Bild 24 und Bild 25 zu sehen.



Bild 24: Witterungsbedingte Schäden am Kernbeton von Betonpflastersteinen



Bild 25: Witterungsbedingte Schäden am Kernbeton von Pflasterplatten

Aber wie hoch muss der Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand des Kernbetons von Betonpflastersteinen sein? Auf welcher Grundlage ist der Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand des Kernbetons zu bewerten?

Orientierende Untersuchungen an Kernbetonen zeigen, dass die Abwitterungsraten im Rahmen einer Frost-Tausalz-Prüfung häufig um ein Vielfaches über denen der Vorsatzbetone liegen (siehe Tabelle 4).

Prüfkörpernummer [mm ²]		Prüffläche	Abgewitterte Masse	Massenverlust	
				Einzelwerte	Mittelwert
	[mg]		[kg/m ²]	[kg/m ²]	
Betonpflaster- steine	1	11063	124 000	10,90	14,1
	2	11 511	125 850	10,60	
	3	11 687	246 080	20,73	
Sollwerte an neue und noch nicht verbaute Pflastersteine aus Beton nach DIN EN 1338				≤1,5	≤1,0

Tabelle 4: Ergebnisse der Frost-Tausalzprüfung am Kernbeton von Betonpflastersteinen nach Anhang D der DIN EN 1338

Wie diese Ergebnisse zeigen, darf ein Abnehmer nicht damit rechnen, dass der Kernbeton von Betonpflastersteinen die Anforderungswerte der DIN EN 1338 an den Frost-Tausalz-Widerstand des Vorsatzbetons erfüllt.

Somit ist festzustellen, dass die Kernbetone von Betonpflastersteinen eine »gewisse« Frost-Tausalz-Beständigkeit aufweisen müssen, die Anforderungen an den Vorsatzbeton gemäß DIN EN 1338 aber im Regelfall nicht erfüllen. Darf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung bei 2 kg/m² liegen oder bei 3 kg/m² oder bei 10 kg/m²? Wie groß ist die baustofftypische und damit erwartungsgemäße Abwitterungsrate?

Der einfachste Weg für den Sachverständigen bestünde darin, festzustellen, dass der Kernbeton der »üblichen« Einwirkung offensichtlich nicht stand gehalten hat und er demnach für die vor Ort vorliegende Verwendung nicht geeignet ist.

In den in Bild 24 und Bild 25 beschriebenen Fällen trifft das auch tatsächlich zu. Allerdings bedeutet das nicht zwingend, dass ungeeignete Pflastersteine ursächlich für den vorliegenden Schaden sind. Bei der Bewertung der Schadensursache ist zu berücksichtigen, dass auch die Verlegung u.a. über die Wasserdurchlässigkeit der Konstruktion (siehe 1.5) und die Nutzung der Pflasterdecke z.B. über deren Reinigung und den ggf. vorliegenden Winterdienst (siehe Abschnitt 1.6.1) einen signifikanten Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Pflastersteine unter Einwirkung von Frost haben.

Der Kernbeton sollte bei einer sachgerechten Herstellung der Unterlage üblicherweise nicht mit erheblichen Wassermengen in Kontakt kommen, weshalb auch keine normativen Anforderungen an den Frost- oder Frost-Tausalz-Widerstand des Kernbetons der Pflastersteine gestellt werden.

Weist die Unterlage abweichend vom Technischen Regelwerk keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf, dann besteht – wie in Kapitel 1.5 erläutert – eine deutlich erhöhte Gefahr, dass sich das Porenssystem des Kernbetons in erheblichem Umfang mit Wasser füllt, weshalb die oben beschriebenen Schäden am Kernbeton entstehen.

An dieser Stelle bleibt dem Sachverständigen nur die Möglichkeit, sich auf Basis der Erkenntnisse der Laborversuche zum Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte einen Eindruck über die Qualität des Kernbetons der Pflastersteine zum Prüfzeitpunkt zu verschaffen und auf Basis dieser Ergebnisse und der Erkenntnisse aus dem Ortstermin (Ausführungsqualität der Verlegung und Einfluss der Nutzung) eine möglichst sachgerechte Bewertung der Schadensursache vorzunehmen.

1.5 Verlegebedingte Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden

Die Qualität der Verlegung beeinflusst die Witterungsbeständigkeit der Betonprodukte in erster Linie durch die Wasserdurchlässigkeit der Unterlage, also der Tragschicht und der Bettung. Die Gefahr für die Entstehung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Pflastersteinen in Pflasterdecken steigt deutlich an, wenn sie 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 26).



Bild 26: Mangelhafte Wasserdurchlässigkeit der Unterlage

In der Folge wird zuerst der Kernbeton und später ggf. auch der Vorsatzbeton mit Wasser gesättigt, wodurch der im Poresystem des Betons enthaltene Expansionsraum zumindest zum Teil mit Wassers gefüllt wird. Je höher der Anteil an mit Wasser gefüllten Poren der Pflastersteine ist, desto größer ist das Risiko für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an den Pflastersteinen (siehe auch Abschnitt 3.1 aus [38]).

Wie diese Ausführungen zeigen, können sich Fehler bei der Herstellung der Pflasterdecke in erheblichem Umfang auf die Witterungsbeständigkeit der Pflastersteine auswirken. Einen besonders großen Einfluss hat eine nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Unterlage auf den in Abschnitt 1.4 diskutierten Witterungswiderstand des Kernbetons der Pflastersteine.

Zusammenfassend ist demnach festzustellen, dass der Witterungswiderstand der Pflastersteine sinkt, je höher die Feuchtigkeit der Pflastersteine ist. Somit wird auch schnell klar, dass sich neben einer nicht ausreichenden Wasserdurchlässigkeit der Unterlage auch der

Einsatz von Fugenmaterial negativ auf die Witterungsbeständigkeit der Pflastersteine auswirkt, wenn diese ein unverhältnismäßig hohes Wasserrückhaltevermögen besitzen. Als typisches Beispiel ist die Verwendung sehr feinkörniger Fugensande zu nennen, wie sie in Bild 27 dargestellt sind.



Bild 27: Langanhaltende Feuchteeinwirkung auf die Betonpflastersteine aufgrund der Verwendung eines feinstkörnigen Fugensandes

Derartige Fugenmaterialien speichern das Wasser zum Teil über lange Zeit, sodass sich sowohl der Kern- als auch der Vorsatzbeton der Pflastersteine lange in einer feuchten Umgebung befindet und sich deren Poren system mit Wasser füllen kann.

1.6 Nutzungsbedingte Abwitterungen

Neben der Herstellung der Pflasterdecke und der Steinqualität kann auch ihre Nutzung die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden verursachen. Diesbezüglich sind in erster Linie die Einflüsse des Winterdienstes und der Reinigung zu beachten. Darüber hinaus wirken sich alle Einflüsse negativ auf die Frost- bzw. Frost-Tausalz-Beständigkeit aus, die zu einer hohen Wassersättigung oder zu einer Vorschädigung der Steinoberfläche beitragen (siehe Abschnitt 1.4.3).

1.6.1 Winterdienst

Als Streumittel zur Steigerung der Begehungssicherheit von Pflasterdecken kommen im Winter heutzutage unterschiedlichste Chemikalien zum Einsatz. Bei dem wichtigsten Taumittel handelt es sich immer noch um Natriumchlorid, doch nimmt die Tendenz zur Verwendung anderer Taumittel immer mehr zu. So ist es nicht verwunderlich, dass in der [TL-Streu](#) [36] nicht nur Natriumchloride, sondern auch Kalium-, Calcium- und Magnesiumchloride als Auftaumittel genannt sind.

Grundsätzlich spricht nichts gegen die Verwendung dieser Streumittel, allerdings ist zu beachten, dass der normative Nachweis des Frost-Taumittel-Widerstands der Betonpflastersteine gemäß DIN EN 1338 mit Natriumchlorid und nicht mit Calcium- oder Magnesiumchlorid erfolgt.

Vor diesem Hintergrund spielen Untersuchungen der TU München eine wichtige Rolle, bei denen der Frost-Taumittel-Widerstand von Betonpflastersteinen überprüft wurde. Die Abwitterungsrate (Slab-Test mit 28 Frost-Tau-Wechseln) war bei Verwendung von Magnesiumchlorid ca. 30 % und bei Verwendung von Calciumchlorid ca. 60 % höher als bei Verwendung von Natriumchlorid als Taumittel (siehe Bild 28).

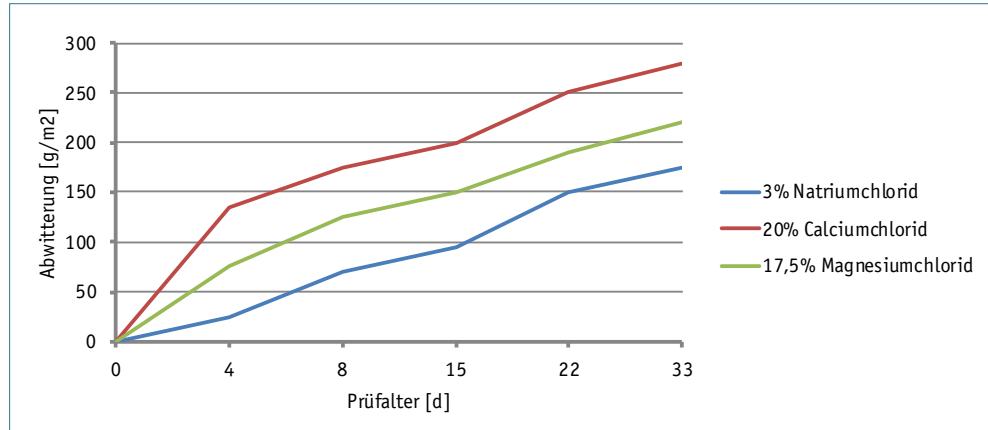


Bild 28: Einfluss der Art des Taumittels auf die Abwitterungsrate im Rahmen der Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstands von Betonpflastersteinen

Diese Ergebnisse zeigen, dass Betonpflastersteine, die im Rahmen von Frost-Taumittel-Untersuchungen im Labor unter Verwendung von Natriumchlorid die normativen Anforderungen mit einer Abwitterung von beispielsweise 900 g/m² erfüllen, weder bei Verwendung von Magnesiumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1170 g/m²) noch von Calciumchlorid (berechnete Abwitterungsrate von 1440 g/m²) als Taumittel eine ausreichende Witterungsbeständigkeit aufweisen.

Wie diese Untersuchungen belegen, müssen Betonpflastersteine, sofern diese geplant mit anderen Taumitteln beaufschlagt werden, im Rahmen der Frost-Tausalz-Versuche mit den konkret zum Einsatz kommenden Taumitteln 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 können. Diesbezüglich sind u. a. die nachfolgenden Taumittel zu nennen:

- alkoholische (z. B. ethylenglykolhaltige) Taumittel,
- harnstoff- oder urethanhaltige Taumittel oder
- Enteisungsmittel wie z. B. Saveway, das im Bereich amerikanischer Flugplätze eingesetzt wird.

Werden diese Taumittel verwendet, kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass der normative Nachweis eines erhöhten Frost-Taumittel-Widerstands nach DIN EN 1338 auf die tatsächlich vorliegende Frost-Taumittel-Bearbeitung übertragbar ist.

Gerade bei häufig begangenen Pflasterdecken, z. B. in Bahnhöfen, auf Parkplätzen von Lebensmittelmärkten oder in Fußgängerzonen werden althergebrachte Taumittel häufig durch modernere 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-taumittelbeständige Produkte handelt, die auch in vielen anderen Objekten schadensfrei zur Anwendung kamen. Optisch sind diese Schäden nicht von denen »typischer« Frost-Tausalz-Schäden zu unterscheiden, sodass den Baustoffproduzenten in der Regel die Verantwortung für die vorgefundenen Schäden zugedacht wird, obwohl die Schäden ggf. auf den Einsatz besonders aggressiver Taumittel zurückzuführen sind.

Aus diesem Grund muss der Sachverständige im Schadensfall u. a. die Frage klären, ob vor Ort ein »modernes« 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 müsste somit vor der Benennung der »Verantwortlichen« erst einmal die vertragliche Situation geprüft werden. 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 entsprechender Erstprüfungen zum Nachweis dieser besonderen (nicht mit Natriumchlorid geprüften) Frost-Taumittelbeständigkeit? 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?

1.6.2 Reinigung

Ebenso wie eine nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Unterlage und die Verwendung wasserrückhaltender Fugenmaterialien (siehe Abschnitt 1.5) wirkt sich auch eine nicht sachgerechte Reinigung negativ auf den Feuchtezustand der Pflasterdecke aus. So ziehen stark verschmutzte und mit Grünbelägen gefüllte Fugen (siehe Bild 29) eine deutliche Verlangsamung des Abtrocknungsverhaltens der Pflasterdecke nach sich, was zu einer erhöhten Gefahr für die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden beiträgt.



Bild 29: Steigerung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriffes durch eine nicht ausreichende Reinigung der Fugen

Neben einer nicht ausreichenden Reinigung der Pflasterdecke wirkt sich auch eine zu intensive Reinigung der Pflasterdecke negativ auf die Entstehung des Materialabtrags an Betonpflastersteinen aus.

So klagte der Bauherr in dem nachfolgenden Beispiel gegen ein Unternehmen, welches die mit Grünbelägen verschmutzte Pflasterdecke unter Verwendung eines Hochdruckreinigers gereinigt hatte. Die Reinigungsfirma erreichte zwar die Reinigung der Pflasterdecke, allerding nur auf Kosten eines Materialabtrags an den Pflastersteinen. Besonders deutlich trat dieser im Übergang zu nicht oder nicht so intensiv gereinigten Teilflächen neben aufgehenden Bauteilen in Erscheinung, z.B. neben den Palisaden und an der Hauswand (Bild 30).

Das Reinigungsunternehmen argumentierte im o.g. Rechtsstreit damit, dass die vorliegenden Pflastersteine über die Jahre der Nutzung vorgesägt wurden und der Materialabtrag somit erwartungsgemäß sei.

Die Verwendung von Hochdruckreinigern zur Reinigung von Pflasterdecken wird von nahezu allen Steinproduzenten aufgrund der möglichen Schädigung der Pflastersteine ausgeschlossen.



Bild 30: Materialabtrag an Betonpflastersteinen einer Pflasterdecke durch die Reinigung mit einem Hochdruckreiniger

Der Bauherr bekam vor Gericht Recht, da das Reinigungsunternehmen ihn weder auf eine mögliche optische Veränderung der Pflasterdecke hingewiesen noch eine Musterfläche angelegt hatte, um das Ergebnis der Reinigung vorher darzustellen. Das Reinigungsunternehmen hatte diesbezüglich eine Hinweispflicht.

Aus diesem Grund sind vor intensiven Reinigungsmaßnahmen Musterflächen anzulegen, anhand derer zu überprüfen ist, ob die Reinigung zu einer ungeplanten optischen Veränderung der Pflasterdecke (z. B. in Form eines Materialabtrags, eines Glanzverlustes oder einer Farbänderung) führt. Auf Basis dieser Vorversuche hätte das Unternehmen im vorliegenden Beispiel die erforderliche Reinigungsintensität (z. B. durch Aussteuerung des erforderlichen Wasserdruckes) festlegen können. Die unnötigen Schäden und die daraus resultierenden Kosten hätten so vermieden werden können.

1.6.3 Weitere schädigende Einflüsse

Alle Einflüsse, die zur Bildung von Mikrorissen oder anderen Schäden am Vorsatzbeton der Pflastersteine führen, wirken sich negativ auf die Frost- bzw. Frost-Tausalz-Beständigkeit der Produkte aus. Entsprechende Vorschädigungen können z. B. durch die Beanspruchung der Pflasterdecke entstehen, wenn diese den nachfolgend genannten Einwirkungen ausgesetzt wird:

- Ablage schwerer Gegenstände, z. B. Schutt- und Abfallcontainer oder befüllte Gitterboxen,
- Befahren mit Straßenwalzen, Fahrzeugen des Winterdienstes oder beladenen Flurförderzeugen,
- zwischenzeitliches Abstellen von z. B. Hebekränen oder Fahrzeugen zur Fensterreinigung,
- Einwirkung von Fahrzeugen (z. B. Bagger) bei zwischenzeitlich erfolgten Aufgrabungen oder von auf der Pflasterdecke aufliegenden Gesteinskörnungen, über die Fahrzeuge hinwegfahren.

Mikrorisse, wie sie in Bild 31 dargestellt sind, können die Folge sein. Wasserführende Mikrorisse bewirken, dass Feuchtigkeit in die Betonoberfläche eindringen kann und die Risse mit Wasser gesättigt werden.

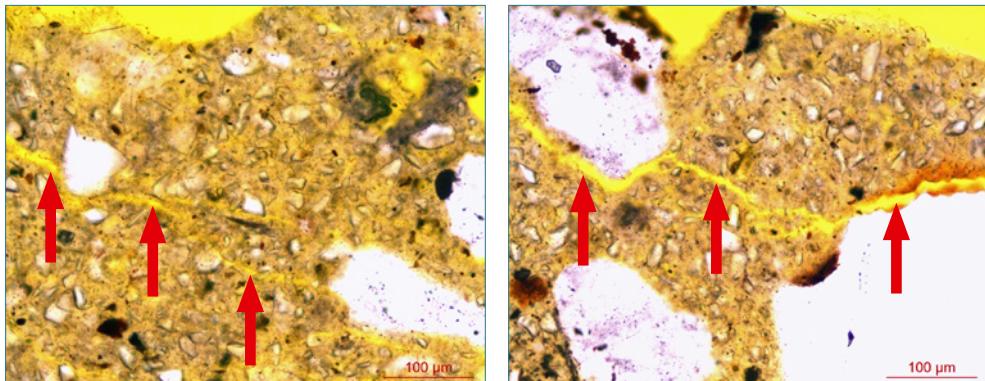


Bild 31: Vorschädigung des Vorsatzbetons durch eine Mikrorissbildung

Das im Rissbereich eingedrungene Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus und sprengt ggf. den darüber befindlichen Beton ab. Je stärker die Vorschädigung ist, desto höher sind üblicherweise die im Rahmen der Laboruntersuchungen an den Produkten ermittelten Abwitterungsraten.

In gleicher Art und Weise wirken sich bereits im Objekt erfolgte Frost-Tau-Wechsel auf den noch verbleibenden Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte aus. Je größer die Anzahl der bereits im Objekt erfolgten Frost-Tau-Wechsel ist, desto geringer ist im Regelfall auch der verbleibende Frost-Tau-Wechsel-Widerstand der Produkte.

1.7 Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben

Nachdem in den ersten Abschnitten die Schadensbilder und die Einflüsse auf die Entstehung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden beschrieben wurden, widmet sich dieser Abschnitt dem Thema der **nachträglichen Bewertung** (nach dem Einbau und während der Nutzung der Pflasterdecke) der Normkonformität von Produkten zum Lieferzeitpunkt durch Prüfung an bereits verbauten und genutzten Bauwerksproben.

Einleitend sei darauf hingewiesen, dass Nutzer von Pflasterdecken normalerweise davon ausgehen, dass Betonpflastersteine im Rahmen der üblichen Nutzung keinerlei Frost- bzw. Frost-Tausalz-Abwitterungen zeigen dürfen. Im Gegensatz dazu ist aber bereits anhand der zulässigen Abwitterungsraten aus dem bestehenden Technischen Regelwerk erkennbar, dass auch regelwerkskonforme Betonpflastersteine eine bestimmte Abwitterung aufweisen dürfen. Im Regelfall liegt die zulässige Abwitterungsrate bei $1\,000\text{ g/m}^2$.

Pflastersteinproduzenten können üblicherweise nicht sicherstellen, dass die Pflastersteine in Pflasterdecken über die gesamte Nutzungszeit vollständig frei von Frost- und Frost-Tausalz-Abwitterungen bleiben.

Demnach ist bei der Bewertung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden an bereits verlegten Pflasterdecken zu beachten, dass auch regelwerkskonforme Betonpflastersteine mit einem ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand über die Nutzungszeit eine gewisse Menge an Abwitterungen aufgrund der Einwirkung von Frost oder Frost-Tausalz aufweisen dürfen.

Mit zunehmender Nutzungszeit der Pflasterdecke ist auch mit steigenden Abwitterungsraten an den Betonpflastersteinen zu rechnen. Bild 32 zeigt Betonpflastersteine in einer Pflasterdecke mit zum Teil erheblichen Betonabwitterungen.



Bild 32: Altersgemäße Menge an Betonabwitterungen an einer alten Pflasterdecke

Berücksichtigt man aber, dass diese Pflasterdecke über einen Zeitraum von über 50 Jahren genutzt wurde, dann ist der Materialabtrag des vorliegenden Betonsteinpflasters als absolut erwartungsgemäß zu bewerten.

Auf den Zusammenhang zwischen dem optischen Eindruck von Pflasterdecken und der Nutzungsdauer bzw. -intensität wird auch im FGSV-Merkblatt M FP hingewiesen [24]. Nutzungs- und Gebrauchsspuren sind danach auch bei bestimmungsgemäßer Nutzung nicht vermeidbar.

Der Sachverständige hat im Streitfall zu bewerten, ob die aufgetretenen Abwitterungen erwartungsgemäß für das Alter, die Umgebungsbedingungen und die Nutzung der Pflasterdecke sind. Im Rahmen der Bearbeitung entsprechender Reklamationen hat er die nachfolgend genannten Punkte zu klären:

Art der Verlegung

- Weist die Unterlage (Tragschicht und Bettung) eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf?
- Wurden Materialien verwendet, die eine erhöhte Wasserspeicherfähigkeit besitzen?

Art der Nutzung

- Welche Taumittel kamen zur Anwendung?
- Wurde die Pflasterdecke sachgerecht gereinigt? (Diesbezüglich ist zu klären, ob eine regelmäßige Reinigung durchgeführt wurde. Als Anhaltspunkt kann hier ggf. das Aussehen der Fugen der Pflasterdecke herangezogen werden.)
- Erfolgte ggf. sogar eine zu intensive Reinigung, z. B. durch Verwendung von Hochdruckreinigern, die zu einer Abwitterung des Betons geführt hat?
- Wurden Spezialreiniger (z. B. säurehaltige Zementschleierentferner) zur Beseitigung bestimmter Verschmutzungen verwendet?
- Hatten ggf. eingesetzte Unkrautbekämpfungsmittel oder Mittel zur Entfernung von Flechten einen Einfluss auf die Verwitterung der Pflastersteine?
- Handelt es sich bei den geschädigten Teilflächen um Bereiche mit einer nutzungsbedingt sehr hohen Wassersättigung (z. B. im Bereich von Abtropfkanten von Dächern etc.)?
- Liegen andere Beanspruchungen vor, welche die Oberfläche der Pflastersteine vorgeschädigt haben könnten?
- Wie ist die Nutzungsintensität der Pflasterdecke zu bewerten? (Bei intensiver Beanspruchung z. B. durch Verkehr ist mit einem stärkeren Materialabtrag zu rechnen).

Anhand dieser Punkte muss der Sachverständige bewerten, welche Menge an Abwitterungen bei der vorliegenden Nutzung und unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Witterungseinflüsse erwartungsgemäß ist. Nur, wenn die vorliegenden Abwitterungsmengen unter den gegebenen Umständen über das »übliche Maß« hinausgehen, handelt es sich aus technischer Sicht um einen Mangel.

Diese Bewertung der Mängelhaftigkeit der Produkte ist häufig nur unter Zuhilfenahme von Laboruntersuchungen an den bereits genutzten Produkten möglich. Allerdings ist seitens des Sachverständigen zu beachten, dass die normativen Anforderungen an neue und ungenutzte Produkte (z. B. nach DIN EN 1338) nicht ohne Weiteres auf die Ergebnisse von Laboruntersuchungen an Bauwerksproben zu übertragen sind (siehe Abschnitt 1.7.3).

1.7.1 Bewertung von Natursteinen

Die Aussagen zum Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand von Betonpflastersteinen gelten vollumfänglich auch für andere Produkte, die zur Herstellung von Pflasterdecken eingesetzt werden (Pflasterklinker oder Natursteine) sowie auch für Fahrbahnbeläge aus Beton.

Bei Natursteinen verschärft sich das Problem aber zusätzlich dadurch, dass für diese im Gegensatz zu den Betonprodukten außerhalb des Straßenbaus nicht grundsätzlich ein erhöhter Frost-Tausalz-Widerstand nachgewiesen werden muss. So können Natursteine zur Herstellung von z. B. nicht befahrenen Terrassen durchaus eingesetzt werden, obwohl sie keinen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen, was u. a. durch den nachfolgenden Hinweis der ZTV Wegebau zur Verwendung von Natursteinen zur Herstellung von Pflasterdecken deutlich wird [35]:

»... Werden Anforderungen an den Frost-Tausalz-Widerstand gestellt, sind diese gemäß TL Pflaster StB nachzuweisen.«

Noch weiter geht das DNV-Merkblatt 1.3 für Treppenbeläge im Außenbereich. In diesem Merkblatt findet sich, trotz des hinsichtlich der Gleit- und Rutschsicherheit extrem kritischen Bereichs, bei Außentreppen der Hinweis, dass die »Verwendung von Tausalzen« »eine hohe Beanspruchung der Beläge« darstellt und dass bei Treppenbelägen aus Natursteinen möglichst auf deren Verwendung verzichtet werden sollte [19].

Zwar weist das DNV-Merkblatt 1.3 darauf hin, dass *viele Natursteine* unempfindlich gegenüber der Einwirkung von Tausalzen sind, doch ist dem Kontext des Merkblattes zu entnehmen, dass der Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands dieser Produkte gesondert zu vereinbaren ist und demnach auch nicht vorausgesetzt werden kann, wie das bei entsprechenden Produkten aus Beton der Fall ist.

Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass nur ein sehr überschaubarer Anteil an Natursteinherstellern entsprechende Frost-Tausalz-Nachweise für die Kunden bereitstellt und dass Schäden, wie sie in Bild 33 dargestellt sind, in der Praxis regelmäßig zu finden sind. Erstaunlich ist, dass Kunden offensichtlich deutlich eher bereit sind, derartige Abwitterungen an Natursteinen zu akzeptieren als bei Betonpflastersteinen.



Bild 33: Verwitterungsschäden an Natursteinen

1.7.2 Nachweisverfahren für Betonprodukte

Soll der Frost-Tausalz-Widerstand bereits verlegter Betonpflastersteine im Laborversuch nachgewiesen werden, so erfolgt dies üblicherweise unter Verwendung des Slab-Tests oder alternativ mit dem sogenannten CDF-Test. Auf die wesentlichen Unterschiede in den zu erwartenden Abwitterungsraten bei Anwendung der beiden genannten Verfahren wird nachfolgend kurz eingegangen.

Slab-Test

Beim Slab-Test handelt es sich um das normativ in DIN EN 1338 vorgesehene Referenzprüfverfahren zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonpflastersteinen. Gemäß DIN EN 1338 darf die Abwitterungsrate von neuen und noch nicht verbauten Betonpflastersteinen im Prüfalter von >28 Tagen bei der Durchführung von 28 Frost-Tau-Wechseln (inkl. Tausalz) bei im Mittel maximal 1000 g/m² liegen, sofern die Einzelwerte 1500 g/m² nicht übersteigen.

Bei einer angenommenen Rohdichte des Vorsatzbetons von 2500 kg/m³ entspricht eine Abwitterungsrate von 1000 g/m² einer flächendeckenden Abwitterung von 0,4 mm. Das bedeutet, dass Betonpflastersteine mit einem normenkonformen Frost-Tausalz-Widerstand im Rahmen dieser Laboruntersuchung eine flächendeckenden Abwitterung von 0,4 mm aufweisen dürfen.

Um diese Anforderungswerte anschaulicher zu machen, zeigt Bild 34 Betonpflastersteine mit einer Abwitterungsrate von ca. 150 g/m² (im Bild links) bzw. von 1430 g/m² (im Bild rechts) im Rahmen eines normativen Slab-Tests.

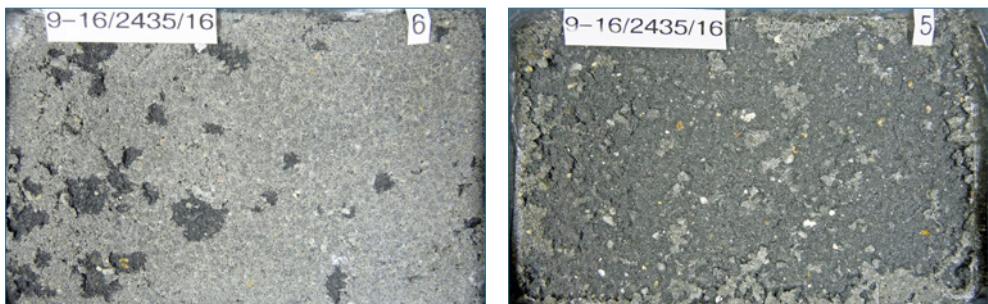


Bild 34: Betonpflastersteine mit einer Abwitterungsrate von 150 g/m² (links) bzw. von 1430 g/m² (rechts) im Rahmen des Slab-Tests

Zur Bewertung der Abwitterungsraten von Bauwerksproben im Rahmen von Laboruntersuchungen siehe Abschnitt 5.4 (Beispiele aus der Gutachterpraxis).

CDF-Test

Beim CDF-Test handelt es sich um ein Alternativverfahren nach DIN EN 12390-9 zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen (siehe Bild 35).



Bild 35: Frost-Tau-Wechsel-Versuch mittels des CDF-Tests

Wird abweichend von DIN EN 1338 ein Frost-Tausalz-Nachweis mittels des CDF-Tests gefordert (siehe unten), dann müssen die Grenzwerte für die zulässigen Abwitterungsraten im Rahmen dieses Versuches konkret zwischen den Parteien vereinbart werden. Es wurden zwar z. B. in der ZTV W [53] Richtwerte an die zulässigen Abwitterungsraten im Rahmen des CDF-Tests festgelegt (hier im Mittel maximal 1 500 g/m²), doch haben diese Richtwerte keine Gültigkeit im Bereich der Beurteilung von Pflasterprodukten.

Bei der Festlegung der zulässigen Abwitterungsraten im Rahmen des CDF-Tests ist zu berücksichtigen, dass der Frost-Tausalz-Angriff bei diesem Verfahren deutlich schärfer als beim Slab-Test ist. So zeigte sich im Rahmen von vergleichenden Untersuchungen von Setzer [45], dass bei Betonen, die bei der Prüfung mittels Slab-Test eine Abwitterung von 1 000 g/m² aufwiesen, bei der Prüfung mit dem CDF-Test Abwitterungsraten zwischen 1 350 und 5 000 g/m² resultierten (siehe auch Seite 43).

Trotz alledem finden sich in Ausschreibungen nicht selten Vorgaben an die zulässigen Abwitterungsraten (geprüft mit dem CDF-Verfahren) von Pflastersteinen, die zum Teil in einer Größenordnung von 100 g/m² liegen und damit als extrem gering einzustufen sind.

Abschließend stellt sich die Frage, ob der Bauherr Anspruch auf den Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands mittels des CDF-Tests hat, wenn dies vertraglich nicht vereinbart war.

Gemäß DIN EN 1338 ist der Widerstand von Pflastersteinen aus Beton gegenüber Frost- und Tausalz-Angriffen – wie oben bereits ausgeführt wurde – mittels des sogenannten Slab-Tests nachzuweisen. Sofern im Liefervertrag kein gesonderter Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands mittels anderer Verfahren vereinbart wird, gelten demnach ausschließlich die Anforderungen an die zulässigen Abwitterungsraten der DIN EN 1338 (Slab-Test).

Der Bauherr hat bei der Lieferung von Betonpflastersteinen nach DIN EN 1338 somit keinen Anspruch auf z. B. den Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands nach dem CDF-Verfahren oder auf die Einhaltung von gesonderten Anforderungen an die Abwitterungsraten im Rahmen des CDF-Tests.

Wünscht der Bauherr den Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands der Produkte mittels des CDF-Tests, dann müssen sowohl der CDF-Test als auch die einzuhaltenden Grenzwerte im Rahmen der Bestellung konkret zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden. An dieser Stelle ist wesentlich, dass auch der Steinproduzent hiervon Kenntnis erhält, da er dann im Vorfeld der Lieferung entsprechende Prüfungen durchführen muss. Nur auf Basis dieser Ergebnisse kann er sachgerecht beurteilen, ob sein Material die gestellten Anforderungen erfüllt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands mittels des CDF-Verfahrens (ebenso wie die Festlegung der einzuhaltenden Grenzwerte) konkret zwischen den Parteien zu vereinbaren und auch gesondert zu vergüten ist.

Dies ist auch bei der Untersuchung und Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben durch Sachverständige zu beachten. So gibt es Sachverständige, die zur Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonpflastersteinen im Reklamationsfall standardmäßig das CDF-Verfahren verwenden. Hierbei ist zu beachten, dass der Frost-Tausalz-Nachweis nach dem CDF-Test gesondert vereinbart worden sein muss, ansonsten ist bei Vereinbarung der Lieferung von Produkten z. B. nach DIN EN 1338 lediglich die Einhaltung der Anforderungen des Frost-Tausalz-Widerstands nach dem Slab-Test Vertragsgegenstand.

Rechenwerte zwischen den Verfahren zum Nachweis des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands

Wie oben bereits ausgeführt wurde, ist der Frost-Tausalz-Angriff bei Verwendung des CDF-Verfahrens deutlich schärfer als beim Slab-Test (nach Setzer resultieren Abwitterungen zwischen 1 350 und 5 000 g/m² beim CDF-Test, wenn beim CDF-Test Abwitterungen von 1 000 g/m² vorliegen [45]). Bei in der jüngeren Zeit in der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt MPVA Neuwied exemplarisch durchgeführten Vergleichsuntersuchungen wurden gemäß der gezeigten Skizze jeweils vier Untersuchungsproben aus zwei Bordsteinen von zwei Prüfserien für die Durchführung von Frost-Tausalz-Nachweisen mit dem Slab-Test (drei Proben) und dem CDF-Test (fünf Proben) entnommen.

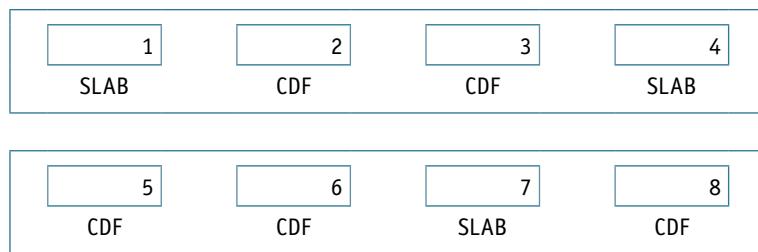


Bild 36: Skizze der Entnahmestellen auf den Bordsteinen

Wie den Ergebnissen der Laboruntersuchungen aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, wurden auch bei diesen Vergleichsuntersuchungen zwischen den Abwitterungsraten des CDF-Tests und des Slab-Tests Verhältniswerte von 2,8:1 und 3,4:1 vorgefunden.

Proben-nummer	Abwitterung [g/m ²]					
	Serie 1			Serie 2		
	Slab-Test	CDF-Test	Faktor (CDF/Slab)	Slab-Test	CDF-Test	Faktor (CDF/Slab)
1	20	—	—	54	—	—
2	—	65		—	140,0	—
3	—	43		—	61,5	—
4	26	—		55	—	—
5	—	43		—	142,9	—
6	—	42		—	339,6	—
7	16	—		83	—	—
8	—	95		—	409,0	—
Mittelwert	21	58	2,8	64	219	3,4

Tabelle 5: Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit dem Slab-Test und dem CDF-Test

Einflüsse auf die Abwitterungsrate

Bevor in den nächsten Abschnitten auf die sachverständige Bewertung der Ergebnisse von Frost-Tausalz-Versuchen an Bauwerksproben eingegangen wird, werden hier die wesentlichen Einflüsse auf die Abwitterungsraten im Rahmen der Frost-Tau-Wechsel-Versuche dargestellt. Hier sind in erster Linie die nachfolgenden Punkte zu beachten:

- Einfluss der Anzahl an Frost-Tau-Wechseln,
- Einfluss der Art des Taumittels,
- Einfluss der Probenahme.

Einfluss der Anzahl an Frost-Tau-Wechseln auf die Abwitterungsrate

Die im Rahmen der Versuche auf Seite 41 (Slab-Test) bzw. Seite 41 (CDF-Test) ermittelten Abwitterungsmengen ermöglichen es dem Sachverständigen, den Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte zum Prüfzeitpunkt zu bewerten. Eine Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands zum Lieferzeitpunkt ist mittels dieser Prüfung jedoch nicht möglich (siehe auch ausführliche Erläuterung in Abschnitt 4 aus [38]).

Verlegte Betonpflastersteine sind vor der Entnahme üblicherweise bereits einer Vielzahl von Beanspruchungen ausgesetzt, die zu einer Beeinträchtigung der Materialeigenschaften geführt haben könnten. Aus diesem Grund sind die normativen Grenzwerte im Regelfall nicht ohne weiteres auf die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben übertragbar.

Auf die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands wirken sich insbesondere die bereits im Objekt erfolgten Frost-Tau-Wechsel aus. Diesbezüglich ist festzustellen, dass die Menge der Abwitterungen auch im Rahmen von Laborversuchen üblicherweise mit der Anzahl der

Frost-Tau-Wechsel nicht nur linear sondern sogar exponentiell ansteigt. Anders formuliert bedeutet dies, dass die Menge der Abwitterungen bei den ersten 28 Frost-Tau-Wechseln (roter Pfeil) deutlich geringer ist, als bei den Wechseln 29 bis 56 (blauer Pfeil).

So lag die mittlere Abwitterungsrate der ersten 28 Frost-Tau-Wechsel bei dem in Bild 37 dargestellten Versuch bei ca. 65 g/m^2 , während die mittlere Abwitterungsrate der zweiten 28 Wechsel (29 bis 56) bei ca. 285 g/m^2 , also mehr als dem Vierfachen, lag.

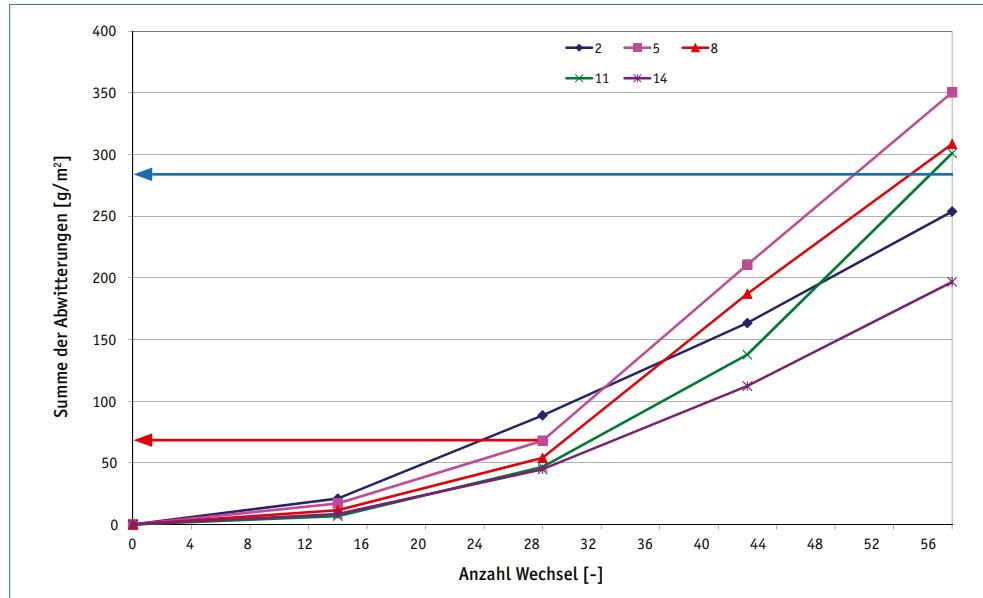


Bild 37: Abwitterungsrate im Rahmen der Frost-Tau-Wechsel-Versuche in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

Wie dieses Beispiel zeigt, wirkt sich die Anzahl der bereits im Objekt erfolgten Frost-Tau-Wechsel ggf. in erheblichem Umfang auf den Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte zum Prüfzeitpunkt aus, selbst wenn sie vor der Durchführung der Laborprüfung keine augenscheinlich erkennbaren Schäden aufweisen (siehe Abschnitt 1.6.3).

Einfluss des Taumittels auf die Abwitterungsrate

Wie in Abschnitt 1.6.1 dargestellt wurde, muss im Rahmen des Nachweises des Frost-Tausalz-Widerstands von Produkten berücksichtigt werden, welches Taumittel auf der zu bewertenden Bestandsfläche eingesetzt wird. Allein die Verwendung von Calciumchlorid anstelle von Natriumchlorid kann ursächlich für ungewöhnlich hohe Abwitterungsraten an Betonpflastersteinen sein.

Einfluss der Probenauswahl

Eine weitere Schwierigkeit des Sachverständigen bei der Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von eingebauten und genutzten Betonprodukten ist zu entscheiden, welche Proben zu entnehmen sind. So muss er im Rahmen des Ortstermins entscheiden, ob er für die Durchführung der Laboruntersuchungen bereits geschädigte oder völlig schadensfreie Produkte entnimmt.

Prüfung bereits geschädigter Produkte

Frost- und Tausalz-Schäden resultieren daraus, dass sich Wasser beim Gefrieren im Beton ausdehnt. Weisen die Produkte keine ausreichende Festigkeit auf, um die resultierenden Spannungen schadensfrei aufzunehmen oder steht dem gefrierenden Wasser zu diesem Zeitpunkt kein ausreichender Expansionsraum im Zementsteingefüge zur Verfügung, dann resultieren Schäden, die zuerst zu Mikrorissbildungen und in der Folge zu massiven Rissen und Betonabwitterungen führen.

Produkte, die schon Betonabwitterungen zeigen, weisen demnach im Regelfall bereits deutliche Gefügestörungen oder zumindest massive Mikrorisse auf. Werden bereits geschädigte Produkte einer Frost-Tausalz-Prüfung unterzogen, dann dringt im Rahmen dieser Prüfung Wasser in diese Risse ein und es resultieren deutlich erhöhte Abwitterungsraten, die bei weitem nicht mit denen vergleichbar sind, die bei der Prüfung von unbeschädigten Produkten resultieren würden.

Aus diesem Grund ist die Prüfung bereits erheblich geschädigter Produkte – und dabei ist es unerheblich, ob die Schäden aus einem Frost-Tausalz-Angriff oder aus der mechanischen Vorschädigung der Produkte resultieren – nicht sinnvoll, da eine derartige Prüfung weder eine Aussage zur Normkonformität der Pflastersteine zum Lieferzeitpunkt noch zur Restlebensdauer der ungeschädigten Pflasterdecke ermöglicht.

Prüfung ungeschädigter Produkte

In den meisten Fällen finden sich selbst bei sehr stark geschädigten Pflasterdecken auch Pflastersteine, die keine Schäden aufweisen. Diese Unterschiede im Erscheinungsbild der in den Pflasterdecken befindlichen Produkte können auf Qualitätsschwankungen, auf unterschiedliche Einbauzustände oder aber auch auf lokal variierende Nutzungsbedingungen zurückzuführen sein.

Die Entnahme und Prüfung ungeschädigter Produkte aus der Pflasterdecke ermöglicht die Bewertung der Dauerhaftigkeit dieser Produkte zum Prüfzeitpunkt. Anders formuliert kann auf Basis der Ergebnisse dieser Laboruntersuchung abgeleitet werden, ob bei den bis zum Ortstermin ungeschädigten Pflastersteinen damit zu rechnen ist, dass diese eine Dauerhaftigkeit aufweisen, die neue und noch nicht verarbeitete Produkte nach DIN EN 1338 aufweisen sollten.

Eine Beantwortung der Frage, ob die Betonpflastersteine zum Lieferzeitpunkt regelwerkskonforme Eigenschaften aufwiesen oder ob die Schäden an den geschädigten Pflastersteinen auf einen Frost-Tausalz-Angriff zurückzuführen sind, lässt sich aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen für gewöhnlich aber nicht ableiten.

1.7.3 Normative Grundlagen

Bei der DIN EN 1338 handelt es sich um die allgemein anerkannte Regel der Technik zur Bewertung der Materialeigenschaften von noch nicht verbauten und damit ungenutzten Betonpflastersteinen. Die entsprechenden Laboruntersuchungen nach DIN EN 1338 dienen dem Qualitätsnachweis einer sachgerechten Fertigung der Produkte, wobei die Prüfungen in einem definierten Prüfalter (im Regelfall 28 Tage) erfolgen müssen.

Die Ergebnisse dieser normativen Untersuchungen beziehen sich streng genommen ausschließlich auf die untersuchten Betonpflastersteine und können unter normalen Umständen (mit Einschränkungen) auch auf einen zeitlich begrenzten Produktionszeitraum der Produkte übertragen werden.

Derartige Qualitätsnachweise sind z. B. auch für konkrete Baustellen möglich, sofern die jeweils zur Baustelle gelieferten Betonpflastersteine im Rahmen einer Annahmeprüfung geprüft werden und sichergestellt ist, dass die ausgewählten Pflastersteine repräsentativ für die gelieferte Grundgesamtheit sind.

Allerdings kann aus den Ergebnissen dieser Prüfung nicht abgeleitet werden, dass jeder einzelne Pflasterstein der Liefercharge die normativen Anforderungen erfüllt. So lassen sich gewisse Schwankungen in der Qualität der Betonpflastersteine selbst an einem einzigen Produktionstag und aufgrund von Befüll- und Verdichtungsunterschieden in Abhängigkeit der Brettposition der Pflastersteine noch nicht einmal für eine einzelne Produktionscharge (Mischerfüllung) vollständig vermeiden.

Ganz wesentlich für die nachfolgenden Ausführungen ist, dass es sich bei der DIN EN 1338 nicht um ein Technisches Regelwerk zur Bewertung von Bauwerksproben handelt. Infolgedessen sind die in DIN EN 1338 genannten Grenzwerte an den Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte nicht ohne Weiteres übertragbar auf solche, die bereits einmal verbaut, dabei einer Vielzahl an Einwirkungen ausgesetzt waren und im Rahmen eines Schadensgutachtens aus dem Objekt entnommen und anschließend im Labor untersucht wurden.

Weiterhin ist festzustellen, dass es auch kein anderes Technisches Regelwerk zur nachträglichen Bewertung der Normkonformität (weder hinsichtlich der Spaltzugfestigkeit noch der Frost-Tausalz-Beständigkeit der Bauwerksproben) von verlegten und genutzten Betonpflastersteinen zum Lieferzeitpunkt gibt. Auch allgemein anerkannte Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Verlegung, Exposition (u. a. im Objekt erfolgte Frost-Tau-Wechsel) bzw. Nutzung der Betonpflastersteine sind nicht bekannt.

Die Festlegung derartiger Abminderungsfaktoren ist aus technischer Sicht auch nicht sachgerecht möglich, da potentielle Qualitätsreduzierungen von Betonpflastersteinen durch die Verlegung und die Nutzung in erheblichem Umfang abhängig von den konkreten Begebenheiten vor Ort sind und nur zum geringen Teil von der Qualität der Betonpflastersteine beeinflusst werden.

Bauwerksproben werden sowohl im Rahmen der Verlegung (z. B. durch die Beanspruchung mit einer Rüttelplatte) als auch der Nutzung (z. B. durch die Befahrung der Pflastersteine mit PKW oder LKW oder die Frost-Tausalz-Beanspruchung der Pflasterdecke) diversen Beanspruchungen ausgesetzt, die sich in erheblichem Umfang auf die zu erwartenden Material-

eigenschaften auswirken. Aus diesem Grund liegen unabhängig vom Prüfalter im Technischen Regelwerk für Betonpflastersteine keine Anforderungen zur Bewertung von bereits genutzten Pflastersteinen aus Bauwerken vor.

Für einen nachträglichen »Konformitätsnachweis« von Betonpflastersteinen zum **Prüfzeitpunkt** müssen deshalb zusätzlich unverbaute und damit nicht genutzte Pflastersteine untersucht werden. Doch selbst bei der Untersuchung von ungenutzten Rückstellproben ist die Frage nach der Normkonformität zum **Lieferzeitpunkt** nur mit Einschränkungen zu beantworten, da diese Rückstellproben zum Prüfzeitpunkt ein größeres Prüfalter aufweisen, als normativ vorgeschrieben ist. Allerdings wirkt sich der Einfluss des Prüfalters nur geringfügig auf die Materialeigenschaften der Pflastersteine aus, sofern das Prüfalter älter als 28 Tage ist. Der Einfluss kann bei der Bewertung der Normkonformität in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

Erfahrene Sachverständige verwenden die Ergebnisse entsprechender Laboruntersuchungen an Bauwerksproben dafür, sich einen Eindruck über die Qualität der Betonpflastersteine zum **Prüfzeitpunkt** zu verschaffen. Mittels dieser Ergebnisse ist eine direkte Bewertung der Konformität oder auch der Nichtkonformität von Betonpflastersteinen zum Lieferzeitpunkt aber weder möglich noch zulässig. Zur Beantwortung der im Regelfall gestellten Frage, ob die Betonpflastersteine zum **Lieferzeitpunkt** mangelhaft waren, hat sich der Sachverständige – neben dem Qualitätsnachweis der Pflastersteine zum Prüfzeitpunkt – auf Basis seiner Erfahrung vor Ort ein Bild u. a. über die nachfolgend aufgeführten Punkte zu verschaffen:

- Kann das vor Ort vorgefundene Schadensbild auf eine Frost- bzw. Frost-Tausalz-Einwirkung zurückzuführen sein?
- Liegen weitergehende Hinweise in Form von Ausbrüchen oder Kantenschäden auf reduzierte Materialqualitäten vor?
- Ist die Flächenbefestigung sachgerecht geplant worden?
- Wurde ein sachgerechter Aufbau gewählt?
- Entspricht die vor Ort vorliegende Beanspruchung der geplanten Beanspruchungsklasse?
- Hat ggf. eine fehlerhafte Planung einen Einfluss auf die Entstehung der Schäden?
- Sind die Betonpflastersteine vor Ort sachgerecht verlegt worden?
- Weist die Unterlage eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf?
- Kamen Materialien zum Einsatz, die ein ungewöhnlich hohes Wasserrückhaltevermögen aufweisen?
- Weist die Bettung ausreichend kapillarbrechende Eigenschaften auf, oder wird Wasser über die Bettung zu den Pflastersteinen transportiert?
- Sind die Pflastersteine planungsbedingt einer ungewöhnlich hohen Wasserbeanspruchung ausgesetzt (Abtropfkante)?
- Waren die Betonpflastersteine im Rahmen der Nutzung einer besonderen und ungeplanten Beanspruchung ausgesetzt (z. B. der Befahrung mit Schneeräumfahrzeugen oder Straßenwalzen)?

- Wird die Pflasterdecke sachgerecht gereinigt, oder ist davon auszugehen, dass z. B. verschmutzte Fugen zu einem erhöhten Wasserrückhaltevermögen führen?
- Sind die zu untersuchenden Produkte repräsentativ für die zu bewertende Pflasterdecke?

Das nachfolgende Beispiel zeigt die Betonpflastersteine aus einer Reklamation (links in Bild 38) sowie den resultierenden Prüfkörper nach der Durchführung der Frost-Tausalz-Prüfung an einer der Bauwerksproben (rechts in Bild 38).



Bild 38: Frost-Tau-Wechsel-Versuch mittels Slab-Test an bereits verlegten Betonpflastersteinen

Wie dem rechten Bild 38 zu entnehmen ist, zeigten die untersuchten Pflastersteine im Rahmen des Laborversuchs eine massive Abwitterung. Bei der näheren Inaugenscheinnahme der im linken Bild 38 dargestellten Pflastersteine stellte sich heraus, dass die Gesteinskörnung des Kernbetons nur einen sehr geringen Anteil an Grob- oder Stützkorn enthielt (siehe linkes Bild 39). Abschließend war erkennbar, dass der Kernbeton ein stark saugfähiges Gefüge aufwies, weshalb sich nach Abtrocknen des Kernbetons signifikante Mengen an Ausblühungen an den Bruchflächen der Pflastersteine zeigten (siehe rechtes Bild 39).

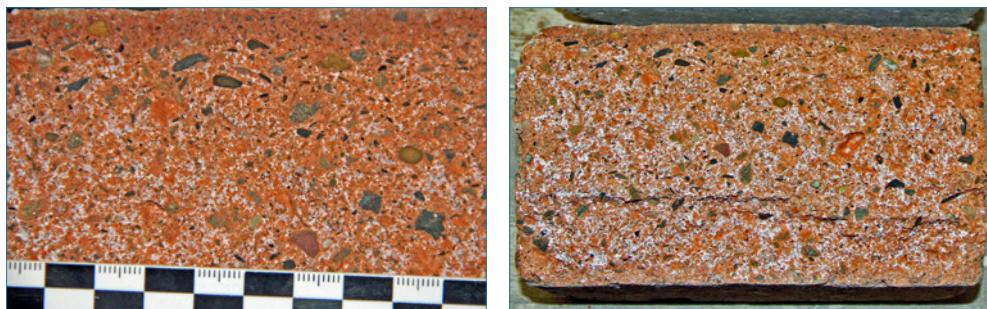


Bild 39: Bruchbild eines Pflastersteins

Die untersuchten Betonpflastersteine wiesen auf Basis der Ergebnisse der Laboruntersuchungen und unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des Ortstermins mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit einen Produktmangel aufgrund einer nicht ausreichenden Frost-Tausalz-Beständigkeit auf.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die oben abgebildeten Betonpflastersteine im Rahmen der Laboruntersuchung auch auf deren Spaltzugfestigkeit untersucht wurden. Dabei wurde passend zu den oben dargestellten optischen Auffälligkeiten festgestellt, dass diese Pflastersteine noch nicht einmal die normativen Anforderungen der DIN EN 1338 an die Spaltzugfestigkeit erfüllten, was in der Gutachterpraxis nur sehr selten der Fall ist.

1.7.4 Vortests

Wie bereits in Abschnitt 1.7.2 ausgeführt wurde, hat der prüftechnische Nachweis des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands zum Prüfzeitpunkt über Laboruntersuchungen zu erfolgen, die aufwendig sowie zeit- und kostenintensiv sind. Darüber hinaus existieren für die Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben, wie in Abschnitt 1.7.3 erläutert wurde, keine normativen Grenzwerte.

Aus diesem Grund muss der Sachverständige seine gutachterliche Bewertung auf Basis seiner Berufserfahrung und gestützt durch weitergehende Untersuchungen an der Konstruktion (Wasserdrucklängigkeit) und den vor Ort eingesetzten Produkten aufbauen. Hierbei stellt die Prüfung der Pflastersteine auf deren Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand zum Prüfzeitpunkt eine wesentliche Grundlage dar. In Ergänzung zu dieser zeit- und kostenintensiven Prüfung hat sich die Durchführung von vereinfachten Vortests (Saug- und Abtrocknungsverhalten der Pflastersteine) bewährt, die eine sehr schnelle, dafür aber nur grob orientierende Abschätzung der Materialeigenschaften ermöglichen. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse derartiger Voruntersuchungen den Ergebnissen von Frost-Tausalz-Prüfungen aus einem exemplarisch ausgewählten Streitfall gegenübergestellt.

	Untersuchungsergebnisse							
	3	5	8	9	11	13	15	17
Saugverhalten nach 90 min [mm]	20	45	80	50	10	50	45	15
Abtrocknungsverhalten nach 120 min [%]	70	65	90	95	80	70	60	50
Abwitterungsrate [kg/m ²]	Nicht geprüft	Nicht geprüft	11,0	9,4	1,6	2,5	Nicht geprüft	0,5

Tabelle 6: Gegenüberstellung von Vorversuchen und den Ergebnissen der Frost-Tausalz-Prüfungen

Wie diese Untersuchungsergebnisse zeigen, stellen das Saug- und Abtrocknungsverhalten eine Methode dar, die sehr schnell eine grob orientierende Abschätzung der Vorsatzbetonqualität und damit auch des Frost-Tausalz-Widerstands von Pflastersteinen ermöglicht (Bild 40).



Bild 40: Saug- und Abtrocknungsverhalten von Bauwerksproben

Die oben aufgeführten Untersuchungen zeigen aber auch, dass keine strenge Korrelation zwischen dem Saug- und Abtrocknungsverhalten und der Frost-Tausalz-Beständigkeit der Produkte vorliegt.

So ist es durchaus möglich, dass das Saug- und Abtrocknungsverhalten der Betonpflastersteine ungünstige Ergebnisse liefert, der Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte aber z. B. aufgrund eines ausreichend vorhandenen Expansionsraums trotzdem als günstig zu bewerten ist.

Der große Vorteil dieser einfachen Tests besteht darin, dass sie auch auf Produkte in betroffenen Pflasterdecken angewendet werden können, um im Rahmen einer grob orientierenden Untersuchung zwischen ggf. mangelhaften und intakten Produkten zu differenzieren. Das nachfolgende Beispiel zeigt einen derartigen Schadensfall.

Im Zusammenhang einer Gutachtenerstellung erfolgte ein Ortstermin an der Anliegerstraße eines Neubaugebietes (siehe Bild 41). Seitens des Bauherrn wurde die Dauerhaftigkeit dieser Pflasterdecke reklamiert.



Bild 41: Reklamierte Pflasterdecke

Im Rahmen des Ortstermins wurde die Pflasterdecke in Augenschein genommen und das Abtrocknungsverhalten der Pflasterdecke geprüft. Hierbei wurde festgestellt, dass die Pflastersteine ein zum Teil deutlich differenzierbares Abtrocknungsverhalten aufwiesen (siehe Bild 42).



Bild 42: Unterschiedliches Abtrocknungsverhalten der Pflastersteine einer Pflasterdecke

Zum Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstands wurden vor Ort sowohl Pflastersteine mit einem schnelleren als auch mit einem langsameren Abtrocknungsverhalten entnommen und im Labor unter Verwendung des Slab-Tests auf deren Frost-Tausalz-Widerstand untersucht. Es zeigte sich, dass die Pflastersteine mit dem langsameren Abtrocknungsverhalten einen deutlich geringeren Frost-Tausalz-Widerstand aufwiesen (die Abwitterungsraten lagen deutlich über den Vorgaben der DIN EN 1338 an neue und nicht verbaute Pflastersteine), als die Steine mit einem schnellen Abtrocknungsverhalten.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde zwischen dem Steinproduzenten und dem Bauherrn eine Einigung erzielt, dass die Pflastersteine mit einem langsamen Abtrocknungsverhalten direkt ausgetauscht werden sollten. Die anfängliche Forderung des Bauherrn, alle Pflastersteine zu ersetzen, wurde aufgrund der Ergebnisse der Laboruntersuchungen allerdings fallengelassen.

1.7.5 Pop outs oberhalb von Gesteinskörnern

Wesentlich für die Bewertung von einzelnen, durch verwitterungsunbeständige Gesteinskörner verursachte Pop outs in einer Pflasterdecke ist die Frage, in welcher Menge diese Abwitterungen auftreten. So ist aus normativer Sicht festzustellen, dass auch normenkonforme Gesteinskörnungen gewisse Mengen an verwitterungsunbeständigen Anteilen enthalten können und dürfen (Bild 43).



Bild 43: Zementsteinabwitterungen oberhalb einzelner verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner

So dürfen Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 1045-2 im Rahmen von Frostversuchen an der Gesteinskörnung bis zu 1 M.% Abwitterungen (Deklaration F 1) aufweisen. Unter Berücksichtigung der normativ zulässigen Mengen an Abwitterungen wurden die nachfolgend genannten Richtwerte für die Anzahl möglicherweise auftretender Betonabplatzungen im Merkblatt Brückenkappen aus Beton [27] festgelegt:

- 1 Abplatzung mit einem Durchmesser von bis zu 70 mm pro Quadratmeter, oder
- 9 Abplatzungen mit einem Durchmesser von bis zu 35 mm pro Quadratmeter, oder
- 30 Abplatzungen mit einem Durchmesser von bis zu 10 mm pro Quadratmeter.

Aus gutachterlicher Sicht erscheinen die im Merkblatt »Brückenkappen aus Beton« genannten Richtwerte als sehr hoch (siehe Bild 45), auch wenn sich die genannten Abwitterungsmengen durchaus aus den Grenzwerten der Gesteinskörnungsnorm ableiten lassen (DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 1045-2).

Die Bildung einzelner Pop outs oberhalb verwitterungsunbeständiger Gesteinskörner ist demnach nicht vollständig vermeidbar. Im Rahmen der Gutachtenerstellung stellt sich dem Sachverständigen somit die Frage, ob z. B. die Menge der in Bild 44 dargestellten Pop outs aus technischer Sicht einen Mangel darstellen, oder nicht.

Juristische Bewertungen können deutlich von den technisch begründeten Bewertungen abweichen.



Bild 44: Zementsteinabwitterungen in Form von Pop outs

Ob die Produkte mit regelwerkskonformen, aber großen Mengen an Betonabplatzungen eine erwartungsgemäße Qualität aufweisen, ist fraglich. In jedem Fall ist bei einer derart großen Menge an Betonabplatzungen eine Beeinträchtigung der Optik der Produkte zu konstatieren.

Gerade aus diesem Grund stellt die Bewertung von Frost- oder Frost-Tausalz-Schäden bei optisch hochwertigen Bauteilen eine Besonderheit dar, bei der nicht nur allein die Abwitterungsrate sondern auch das resultierende optische Erscheinungsbild des Bauteils in die Bewertung der Ergebnisse einfließen muss. Ein Beispiel hierfür stellt der nachfolgende Fall eines Brunnens dar (siehe Bild 45 und Bild 46), an den hohe Anforderungen an die Optik gestellt wurden.



Bild 45: Zementsteinabwitterungen oberhalb witterungsunbeständiger Gesteinskörner

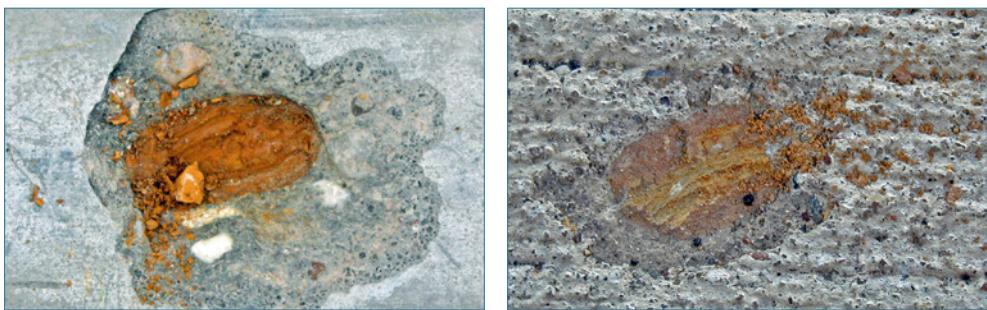


Bild 46: Zementsteinabwitterungen oberhalb witterungsunbeständiger Gesteinskörner

Die in Bild 46 abgebildeten Zementsteinabwitterungen stellen eine deutliche Beeinträchtigung der optischen Wirkung dar, obwohl der Anteil der Abwitterungen insgesamt gering war und die normativen Abwitterungsraten nicht überschritten wurden.

Bei Bauteilen mit hoher optischer bzw. ästhetischer Bedeutung sind nicht nur die üblichen, technisch begründeten Anforderungen einzuhalten. Bei dem Brunnen im Bild 45 stellen die vorgefundenen Zementsteinabwitterungen aufgrund der signifikanten optischen Beeinträchtigung einen Mangel dar, obwohl die Grenzwerte des Technischen Regelwerkes an die zulässige Menge an Abwitterungen deutlich unterschritten werden, [44] und [37].

Diese Diskussion verdeutlicht, warum die sachverständige Bewertung von vereinzelt auftretenden Pop outs oberhalb von Gesteinskörnern so schwierig ist. Die Beantwortung der in den nachfolgenden vier Punkten zusammengestellten Fragen sollte dem Sachverständigen bei der Bewertung von Frost- und Frost-Tausalz-Schäden weiterhelfen:

1. Erfüllen die Produkte die Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke (Abwitterung von unter 1000 g/m² im Rahmen der Frost-Tausalz-Prüfung von neuen und nicht verbauten Betonpflastersteinen)?
2. Erfüllt die verwendete Gesteinskörnung die Anforderungen des einschlägigen Technischen Regelwerkes (Abwitterung unter 1 M.-% im Rahmen des Frostversuches der Gesteinskörnung)?
3. Geht die Menge an Betonabplatzungen über das übliche Maß hinaus?
4. Handelt es sich um Bauteile mit hohen Anforderungen an die Optik? Wie stark wird das Aussehen der Pflasterdecke durch die Betonabwitterungen beeinflusst?

Häufig werden die im Reklamationsfall entnommenen und untersuchten Betonproben mit Pop outs oberhalb von Gesteinskörnern die in Frage 1 und 2 genannten Anforderungen erfüllen, und das trotz der bereits erfolgten Beanspruchung durch die Verlegung und Nutzung der Produkte, sodass von der Lieferung regelwerkskonformer Materialien auszugehen ist.

Deutlich schwieriger ist die Frage aus Punkt 3 zu beantworten, da der Sachverständige hierfür einerseits einen ausgeprägten Erfahrungsschatz über die erwartungsgemäßen Qualitäten der Produkte einer bestimmten Preiskategorie besitzen muss. Zudem muss er an dieser Stelle auch die Einflüsse aus der Verlegung und Nutzung der Pflasterdecke berücksichtigen. Auf Basis seiner Erfahrungen hat er zu beurteilen, welche Abwitterungsmenge unter den gegebenen Randbedingungen (klimatische Verhältnisse, Anzahl bereits erfolgter Frost-Tau-Wechsel, Frequentierung der Pflasterdecke ggf. unter Berücksichtigung der vor Ort eingesetzten Fahrzeuge, u. s. w.) für Produkte dieser Preisklasse erwartungsgemäß ist.

Als wenn es bis hierhin nicht schon schwierig genug wäre, muss er bei Ziffer 4 zusätzlich noch die optische Bedeutung des Objektes und den Einfluss der vorliegenden Abplatzungen auf die Optik des Objektes bewerten [44].

1.7.6 Flächige Zementsteinabwitterungen

Zementsteinabwitterungen aufgrund der Einwirkung von Frost bzw. Tausalz entstehen üblicherweise, wenn die in Abschnitt 1.2.1 beschriebenen Maßnahmen zur sachgerechten Herstellung des Vorsatzbetons der Produkte nicht in ausreichendem Umfang beachtet wurden. Schäden wie sie in Bild 48 und Bild 49 dargestellt sind, sind die Folge.



Bild 47: Flächige Zementsteinabwitterungen an Betonplastersteinen



Bild 48: Flächige Zementsteinabwitterungen an Bordsteinen

Unabhängig von den Ergebnissen von Laborversuchen und den fehlenden normativen Grenzwerten zur Bewertung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands von Bauwerksproben stellen derart starke Abwitterungerscheinungen einen deutlichen Hinweis darauf dar, dass die Produkte mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zum Lieferzeitpunkt keinen ausreichenden Witterungswiderstand aufwiesen.

Die Durchführung von Prüfungen an den Bauwerksproben zum Nachweis des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands dienen bei den in Bild 47 und Bild 48 dargestellten Fällen nicht dem Nachweis der Schadensursache, vielmehr kann auf Basis von Laboruntersuchungen bewertet werden, ob die bis dahin ungeschädigten Produkte einen Witterungswiderstand aufweisen, der eine angemessene Dauerhaftigkeit der bisher nicht geschädigten Produkte sicherstellt.

1.8 Sanierung von Produkten mit Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden

Weisen Betonpflastersteine keine ausreichende Frost-Tausalz-Beständigkeit auf, so sind die betroffenen Betonpflastersteine zurückzubauen. Alternative Sanierungsmaßnahmen sind sowohl aus technischer als auch aus finanzieller Sicht im Normalfall nicht sinnvoll. Allein der Anteil an auszutauschenden Pflastersteinen kann auf Basis von Voruntersuchungen (siehe Abschnitt 1.7.4) in diesem Fall ggf. reduziert werden.

Bei Frost-Tausalz-Schäden an Bordsteinen bzw. Blockstufen stellt sich die Situation aufgrund der hohen Ein- und Ausbaukosten anders dar, weshalb sich einige Marktteilnehmer auf die Sanierung dieser Produkte unter Verwendung von Kunstharzsystemen spezialisiert haben. Die nachfolgenden Bilder zeigen einen Schadensfall, bei dem nicht ausreichend frost-tausalzbeständige Blockstufen im Objekt mit einem sogenannten Sanierungssystem versehen wurden und nach kurzer Zeit neuerlich Schäden zeigten (Bild 49).



Bild 49: Sanierte Blockstufen mit neuerlichen Schäden

Es bildeten sich Risse in der oberflächennahen Randzone der Blockstufen, einige Millimeter unterhalb der Kontaktsschicht zur Kunstharzbeschichtung. Außerdem entstanden oberflächenparallele Gefügestörungen unterhalb der Kunstharzsicht.

Ursache für diese neuerlichen Schäden war, dass Niederschlagswasser und gelöste Tausalze über die nicht ausreichend wasserundurchlässigen Anschlüsse (z. B. an den Fugen zwischen den Blockstufen sowie an den aufgehenden Bauteilen) bis zum unterhalb der Beschichtung befindlichen, nicht ausreichend witterungsbeständigen Beton vordrang und hier einen erneuten Frost-Tausalz-Schaden am Altbeton bewirkte. Die Beschichtung selbst wies keine Schäden auf.

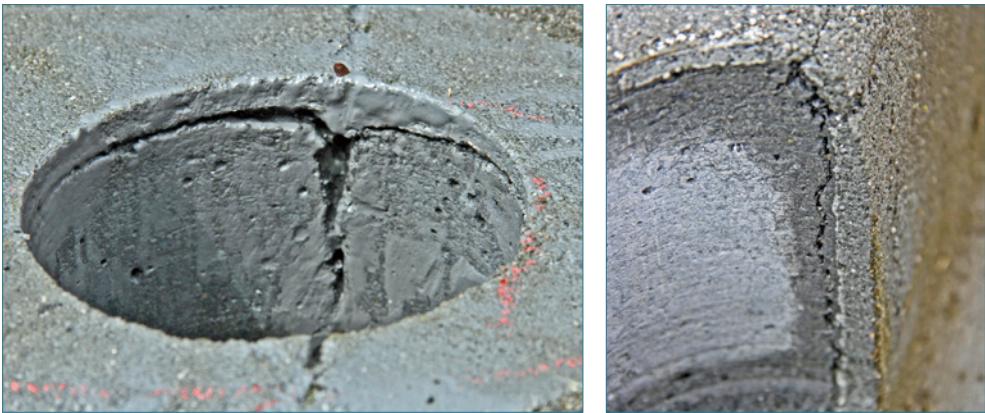


Bild 50: Schäden an der Kontaktsschicht zwischen der Kunstharzsicht und dem Altbeton

Dieser Schadensfall zeigt, dass es durchaus geeignete Systeme gibt, die einen ausreichend hohen Widerstand gegenüber Frost-Tausalz-Angriffen aufweisen und in der Produktoberfläche somit auch schadensfrei bleiben. Das Problem bei der Sanierung von fest in die Konstruktion eingebauten Blockstufen oder Bordsteinen ohne ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand besteht vielmehr darin, dass die Anschlüsse vor Ort nicht in angemessenem Umfang »abgedichtet« werden können und somit tausalzhaltiges Wasser unter die Bebeschichtung gelangt und hier zu Schäden am Altbeton führen kann. In der Folge entstehen zuerst Risse, anschließend wittert die Kunstharzsicht mit der Zeit von den geschädigten Baustoffoberflächen ab.

Es bleibt also festzuhalten, dass die Sanierung von fest in die Konstruktion eingebauten Blockstufen oder Bordsteinen ohne ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand zwar als möglich, aber ausgesprochen schadensträchtig ist.

1.9 Besonderheiten bei der Bewertung wasserdurchlässiger Pflastersteine

Versickerungsfähige Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen sind seit Jahren im besonderen Fokus der Politik, da die in das Abwassersystem einzuleitenden Niederschlagsmengen beim Einsatz dieser Bauweise deutlich reduziert werden können. Die wasserdurchlässigen Systeme unterteilen sich in

- Systeme, die über die Fuge entwässern,
- Systeme, bei denen das Wasser durch die haufwerksporigen Pflastersteine, sogenannte WD-Steine, abgeführt wird.

Da WD-Steine auch im Bereich von Parkplätzen oder anderen Flächen eingesetzt werden, in denen Tausalze zum Einsatz kommen können, werden sie im Rahmen der Nutzung der Pflasterdecke häufig direkt oder indirekt mit Tausalzen beaufschlagt. In der Folge zeigen sich vereinzelte Abwitterungen der Steinoberflächen, die mit zunehmender Zeit immer weiter über die Steinoberfläche und in die Tiefe fortschreiten (siehe Bild 51 und Bild 52).



Bild 51: Frost-Tausalz-Schäden an einer Pflasterdecke, die unter Verwendung von WD-Steinen hergestellt wurde



Bild 52: Beschädigte WD-Pflastersteine – Detailaufnahme aus Bild 51

Im Ergebnis kommt es bei derartigen Pflasterdecken in der Folge häufig zu Reklamationen, bei denen die Qualität der WD-Steine in Frage gestellt wird. Im Rahmen der Gutachtenbearbeitung stellt sich dann nicht selten heraus, dass die im Objekt eingebrachten WD-Steine die Anforderungen der DIN 18507 bzw. des BDB-Merkblattes [14] für wasserdurchlässige Pflastersteine inkl. des Frostwiderstands sicher erfüllen. Dafür sind häufig erhebliche Mengen an Taumitteln in den Pflastersteinen nachweisbar, mit denen die WD-Steine im Rahmen der Nutzung beaufschlagt wurden. An dieser Stelle hat sich der Sachverständige dann mit der Frage zu beschäftigen, ob WD-Steine überhaupt einen ausreichenden Widerstand gegenüber Frost-Tausalz-Angriffen aufweisen müssen.

Diesbezüglich hat er zu berücksichtigen, dass wasserdurchlässige Pflastersteine allein aus wasserschutzrechtlichen Gründen nicht mit Tausalzen beaufschlagt werden dürfen. So finden sich die nachfolgenden Ausführungen im einschlägigen Technischen Regelwerk:

»Auftaumittel sollen aus ökologischen Gründen bei versickerungsfähigen Befestigungen von Verkehrsflächen nicht eingesetzt werden.« (FGSV-Merkblatt MVV)

oder

»Es ist sicherzustellen, dass auf wasserdurchlässigen Belägen kein Streusalz eingesetzt wird.« (SLG-Merkblatt [29])

Da wasserdurchlässige Pflastersteine aus Beton aus wasserrechtlicher Sicht somit grundsätzlich nicht mit Taumitteln beaufschlagt werden dürfen, findet sich in den einschlägigen Technischen Regelwerken dieser Bauprodukte auch nur eine Anforderung an eine ausreichende Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit [13] und [14], nicht aber an eine ausreichende Frost-Tausalz-Beständigkeit.

In den Objekten werden die wasserdurchlässigen Pflastersysteme häufig trotzdem unter Verwendung von Taumitteln eisfrei gehalten, weshalb u. a. Wichter und Richter [48] orientierende Untersuchungen durchführten, um die Frage zu beantworten, wie hoch der Frost-Tausalz-Widerstand von WD-Steinen üblicherweise ist. Im Rahmen dieser Untersuchungen zeigte sich, dass alle untersuchten WD-Steine einen hohen Frost-Tau-Wechsel-Widerstand aufwiesen, dass aber keiner der untersuchten WD-Steine über eine ausreichende Frost-Tausalz-Beständigkeit verfügte.

Dieses Ergebnis deckt sich sowohl mit Untersuchungen der MPVA Neuwied GmbH als auch mit langjährigen Erfahrungen aus der Gutachtertätigkeit, wonach wasserdurchlässige Pflastersteine bei einer Frost-Tausalz-Bearbeitung im Regelfall massiv zerstört werden, weshalb sich in der Kommentierung zum SLG-Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen die nachfolgende Aussage findet [29]:

»Hinsichtlich des Einsatzes [von Pflastersteinen mit haufwerksporigem Gefüge] ist also die gegenüber gefügedichten Betonpflastersteinen verringerte Belastbarkeit und der meist unzureichende Widerstand gegen Frost-Tausalz-Bearbeitung zu berücksichtigen.«

Trotz all dieser Aussagen im einschlägigen Technischen Regelwerk werden wasserdurchlässige Pflastersteine auch heute noch zur Herstellung von Pflasterdecken eingesetzt, die erwartungsgemäß oder zum Teil sogar geplant mit Tausalzen beaufschlagt werden. Die in diesen Fällen häufig vorgefundenen Abwitterungen treten in unterschiedlicher Intensität über die Pflasterdecke verteilt auf. Üblicherweise handelt es sich hierbei um befahrene Pflasterdecken (siehe Bild 53), teilweise aber auch um Flächen, die keinem Fahrverkehr ausgesetzt sind (siehe Bild 54).



Bild 53: Frost-Tausalz-Schäden an einer befahrenen Pflasterdecke, die unter Verwendung von WD-Steinen hergestellt wurde



Bild 54: Frost-Tausalz-Schäden an einer nicht befahrenen Pflasterdecke, die unter Verwendung von WD-Steinen hergestellt wurde

Im Regelfall treten Betonabwitterungen an Pflasterdecken aus WD-Steinen erstmals nach der Winterperiode auf. Sie führen häufig zu gerichtlichen Streitigkeiten, im Rahmen derer der Sachverständige u. a. die nachfolgenden Fragen zu beantworten hat:

- Erfüllen die eingebauten WD-Steine die Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke an die Druckfestigkeit und den Frost-Tau-Wechsel-Widerstand?
- Welche Schadensursachen liegen vor?
- Sind Planungs-, Material-, Verlegungs- oder Nutzungsfehler für die Schäden ausschlaggebend?

Nachfolgend werden drei typische Schadensbeispiele vorgestellt, bei denen im Rahmen von Rechtsstreitigkeiten u. a. die Ursache der Zermürbung der Oberfläche von WD-Steinen ermittelt und bewertet werden sollte.

1.9.1 Stellplatz eines Privathauses

Bei der reklamierten Pflasterdecke in Bild 55 handelte es sich um den Stellplatz eines privaten Wohnhauses, auf dem wasserdurchlässige Pflastersteine verlegt wurden. Nach mehrjähriger Nutzung zeigten die Steinoberflächen zum Teil deutliche Abwitterungen, obwohl auf der Pflasterdecke nach Angaben des Bauherrn keine Tausalze zum Einsatz gekommen waren.



Bild 55: Abwitterungen an den WD-Steinen der Pflasterdecke auf dem Stellplatz eines privaten Wohnhauses

Im vorliegenden Fall wurde auch eine hinter dem Haus befindliche Terrasse aus wasser-durchlässigen Pflastersteinen der gleichen Liefercharge hergestellt. Auf dieser waren keinerlei Schäden erkennbar.

Als Bettungsmaterial kam sowohl auf dem Stellplatz als auch auf der Terrassenfläche ein Splitt 2/5 mm zur Anwendung, der das Wasser im Rahmen eines orientierenden Entwässe rungstests spontan und vollständig ableitete. Ein Wasserstau auf der Bettung lag somit nicht vor.

Im Rahmen der gutachtenbegleitenden Laboruntersuchungen wurde festgestellt, dass die auf dem Stellplatz eingebrachten WD-Steine einen um den Faktor 2 bis 3 höheren Chloridgehalt aufwiesen als ein auf der Terrasse des Objektes entnommener Referenzstein. Somit war nachgewiesen, dass die WD-Steine des Stellplatzes mit Tausalzen beaufschlagt worden waren.

Bei den üblicherweise verwendeten Taumitteln handelt es sich in erster Linie um chloridhaltige Verbindungen wie Kochsalz (NaCl) oder Calciumchlorid (CaCl_2).

Da die Ausgangsstoffe zur Herstellung von wasserdurchlässigen Pflastersteinen für gewöhnlich nur sehr geringe Chloridgehalte enthalten, erfolgt der Nachweis der Verwendung von Tausalzen auf Pflasterdecken üblicherweise über den vergleichenden Nachweis der Chloridgehalte der WD-Steine.

Die Frage nach der Herkunft der Tausalze ließ sich im Rahmen der Gutachtenerstellung nicht zweifelsfrei beantworten, sodass unklar blieb, ob der Stellplatz unmittelbar mit Tausalzen beaufschlagt worden war oder ob die Tausalze über die PKW-Nutzung von der Straße auf den Stellplatz eingeschleppt wurden.

Aufgrund der Lage des Stellplatzes war jedoch davon auszugehen, dass der Eintrag von Tausalzen zumindest zum Teil über Anhaftungen von tausalzhaltigem Schnee z. B. an den Radkästen der PKW erfolgt war.

1.9.2 Parkplatz eines Lebensmittelmarktes

Bei dem Schadensfall in Bild 56 handelte es sich um eine Pflasterdecke aus WD-Stenen im Bereich des Parkplatzes eines Lebensmittelmarktes, bei dem der Bauherr die Ausführung der Parkflächen mit »versickerungsfähigem Verbundpflaster« gefordert hatte, woraufhin der Planer eine Pflasterdecke aus wasserdurchlässigen Pflastersteinen ausgeschrieben hatte.



Bild 56: Unter Verwendung von WD-Stenen hergestellte Stellplätze des Parkplatzes eines Lebensmittelmarktes

Vier Jahre nach der Herstellung der Pflasterdecke der Stellplätze zeigten die eingebrochenen WD-Stene deutliche Verwitterungsschäden (siehe Bild 57). Der Bauherr verklagte das Planungsbüro daraufhin. Seiner Meinung nach hatte der Planer ein Pflaster mit unzureichendem Frost-Tausalz-Widerstand ausgeschrieben, obwohl eine Tausalzbeanspruchung zu erwarten gewesen sei.



Bild 57: Abwitterungen an den WD-Stenen der Pflasterdecke auf den Stellplätzen des Lebensmittelmarktes

Gemäß dem Beweisbeschluss sollte der Sachverständige u.a. die Fragen beantworten, worauf die Abwitterungen der Steinoberflächen zurückzuführen waren und ob das ausgeschriebene Pflaster aus haufwerksporigen Betonpflastersteinen für die Herstellung von Parkflächen eines Lebensmittelmarktes geeignet war.

Die Laboruntersuchungen an den Pflastersteinen zeigten, dass die geschädigten Ausbausteine einen um den Faktor zwei bis drei erhöhten Chloridgehalt im Vergleich zu den vor Ort entnommenen Referenzsteinen aufwiesen. Damit war nachgewiesen, dass die WD-Steine mit Taumitteln beaufschlagt worden waren (vergl. Anmerkung in Abschnitt 1.9.1).

Im Rahmen der Gutachtenbearbeitung wurde festgestellt, dass die ausgeschriebenen haufwerksporigen Betonpflastersteine nicht geeignet für die Herstellung von Pflasterdecken sind, die mit Tausalzen beaufschlagt werden und somit unter den gegebenen Nutzungsbedingungen nicht eingesetzt werden durften. Aus diesem Grund war der Wunsch des Bauherrn, die Flächenbefestigung unter Verwendung eines versickerungsfähigen Verbundpflasters herzustellen, im vorliegenden Fall ohne Planung einer gesonderten Entwässerungsebene nicht umsetzbar

Der wasserrechtliche Ausschluss von versickerungsfähigen Pflastersystemen auf Flächen, die mit Streusalzen beaufschlagt werden, gilt sowohl für haufwerksporige Produkte, als auch für andere versickerungsfähige Pflastersysteme, die über die Fuge entwässern.

Selbst wenn die Stellplätze der Pflasterdecke nicht direkt mit Tausalzen beaufschlagt worden wären, hätte im vorliegenden Fall beachtet werden müssen, dass die umgebenden Straßen zur Verkehrssicherung mit Tausalzen beaufschlagt wurden. Allein aus diesem Grund war die Verwendung eines versickerungsfähigen Verbundpflasters sehr risikoreich. Das Planungsbüro hätte bei einem so hoch frequentierten Parkplatz wie dieser Parkfläche vor einem Lebensmittelmarkt davon ausgehen müssen, dass selbst wenn die Pflasterdecke nicht durch Verwendung von Taumitteln eisfrei gehalten werden würde, signifikante Mengen an Tausalz durch die Fahrzeuge von der Straße auf die Pflasterdecke eingetragen werden. Somit war zusammenfassend festzustellen, dass die Pflasterdecke seitens des Betreibers nicht mit Tausalzen beaufschlagt werden durfte und der Planer mit einem Tausalzeintrag von der Straße hätte rechnen müssen.

Darüber hinaus hätte das Planungsbüro den Bauherrn darauf aufmerksam machen müssen, dass die Verwendung eines versickerungsfähigen Verbundpflasters auf den Stellplätzen einer hoch frequentierten Parkfläche sowohl aus wasserrechtlicher als auch aus technischer Sicht problematisch ist.

1.9.3 Nicht befahrene Pflasterdecke eines Mehrfamilienhauses

Bei der hier zu beurteilenden Flächenbefestigung handelt es sich um eine nicht befahrene Pflasterdecke eines Mehrfamilienhauses, auf der wasserdurchlässige Pflastersteine verlegt wurden (siehe Bild 58).

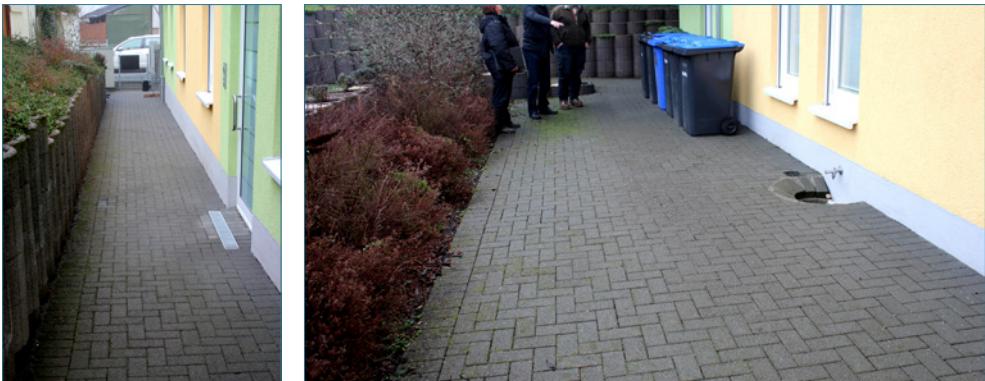


Bild 58: Unter Verwendung von WD-Steinen hergestellte Pflasterdecke eines Mehrfamilienhauses

Bei der Inaugenscheinnahme der reklamierten Pflasterdecke zeigte sich, dass sich in lokal begrenzten Teilflächen der Pflasterdecke (z. B. vor den Mülltonnen und im Bereich des Nebeneinganges) Schäden in Form von Oberflächenabwitterungen an den Pflastersteinen befanden. Nach dem ersten Eindruck waren diese ursächlich auf eine Frost- oder Frost-Tau-salz-Einwirkung zurückzuführen.



Bild 59: Abwitterungen an den WD-Steinen

Auffällig war, dass diese Schäden nur in den oben erwähnten, lokal begrenzten Bereichen der Pflasterdecke auftraten. Zur Bearbeitung des Gutachtenauftrages wurden vor Ort geschädigte und nicht geschädigte WD-Steine entnommen und im Labor untersucht.

Die unbeschädigten WD-Steine wurden auf deren Frost-Widerstand geprüft, wobei festzu stellen war, dass die untersuchten WD-Steine einen ausreichenden Frost-Tau-Wechsel-Wider stand im Sinne des [BDB-Merkblattes](#) [14] aufwiesen.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die beschädigten WD-Steine einen um den Faktor zwei bis drei erhöhten Chloridgehalt im Vergleich zu den Referenzsteinen aufwiesen, womit nachgewiesen war, dass die WD-Steine in zumindest in Teillächen mit Taumitteln beaufschlagt worden waren.

Im Rahmen der Auswertung der vorgefundenen Chloridgehalte fiel auf, dass bei einem WD-Stein, der in der Nachbarschaft zu den Mülltonnen (Hauptschadensbereich) in einem überdachten und damit nicht frei bewitterten Bereich entnommen wurde, zwar keine Abwitterungen, dafür aber die höchsten Chloridgehalte vorgefunden wurden.

Bei der Bewertung der vorgefundenen Chloridgehalte war zu beachten, dass die Entnahme der Pflastersteine im Herbst ca. 1,5 Jahre nach dem Auftreten der ersten Schäden an der Pflasterdecke erfolgte.

Taumittel werden im Regelfall ausschließlich in der Winterzeit (Zeitraum ca. November bis März) die Pflasterdecken aufgebracht und lagern sich in dieser Zeit in die Zementsteinmatrix der WD-Steine ein.

In Abhängigkeit von der Witterung wirkt ab ca. April üblicherweise nur Regen auf die frei bewitterte Pflasterdecke ein, der nicht mit Tausalzen versetzt ist. In dieser Zeit werden die Taumittel (gerade bei wasserdurchlässigen Steinen) langsam wieder aus der Betonsteinmatrix ausgewaschen.

Im Ergebnis hat dieser Zusammenhang zur Folge, dass der Anteil an nachweisbaren Tausalzen mit zunehmendem zeitlichen Abstand zur letzten Salzbeaufschlagung abnimmt.

Zum Nachweis, dass die Tausalze bei Einwirkung von tausalfreiem Regen tatsächlich aus den WD-Steinen ausgelaugt werden, wurden Laborversuche in der MPVA Neuwied GmbH durchgeführt, auf deren Basis ermittelt werden sollte, in welchem Ausmaß die Tausalzgehalte in den Pflastersteinen über den Sommerzeitraum (in dem keine Tausalze auf die Pflasterdecke aufgebracht werden) reduziert werden. Die Beschreibung der Vorgehensweise im Rahmen dieser Versuche findet sich in [49].

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass die Chloridgehalte im Vorsatzbeton der WD-Steine bereits nach einer zweitägigen Beaufschlagung mit Wasser (ca. 500 l Wasser/m² Pflasterdecke) von 0,27 M.% um ca. 35 % auf 0,18 M.% abnahmen.

Um eine Vorstellung von der Wassermenge zu geben sei angemerkt, dass die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland im Jahr 2017 ca. 850 l pro Quadratmeter betrug.

Nach einer viertägigen Beaufschlagung mit Wasser (ca. 1 000 l Wasser/m² Pflasterdecke) wurden nur noch ca. 50 % der Ausgangschloridgehalte in den Vorsatzbetonen der WD-Steine vorgefunden, die restlichen 50 % waren zu diesem Zeitpunkt bereits aus der Betonsteinmatrix ausgewaschen worden. Bild 60 zeigt den Zusammenhang zwischen der Auslaugungszeit und den im Vorsatzbetonen vorgefundenen Chloridgehalten bis zu einer Beaufschlagungszeit von 18 Tagen. Die in der Beaufschlagungszeit von 18 Tagen aufgebrachte Wassermenge entspricht einer Regenmenge, die in Deutschland über einen Zeitraum von etwas mehr als 5 Jahren auf eine nicht geschützte Pflasterdecke üblicherweise einwirkt.

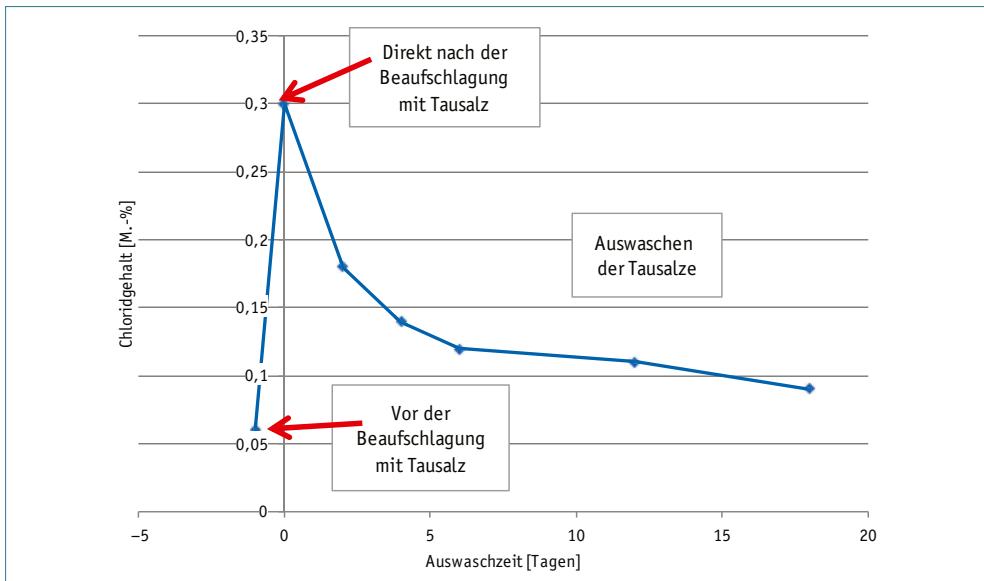


Bild 60: Im Vorsatzbeton der WD-Steine nachweisbare Chloridgehalte

Auf Basis dieser Untersuchungen ist zusammenfassend festzustellen, dass Tausalze durch Einwirkung von tausalzfreiem Regen aus den WD-Steinen ausgewaschen werden. In der Konsequenz hat dies für den Sachverständigen, der eine Beaufschlagung von WD-Steinen mit Taumitteln in der Vergangenheit zu beurteilen hat, zur Folge, dass er sich Gedanken darüber machen muss,

- wo er die zu untersuchenden Pflastersteine entnimmt (beregneter oder nicht beregneter Bereich) und
- wann die Pflastersteine das letzte Mal vermutlich mit Tausalzen in Kontakt gekommen sind (Entnahme im Frühjahr oder Herbst).

So sind die höchsten nachzuweisenden Tausalzgehalte in Abhängigkeit vom Einfluss der Witterung und dem Nutzerverhalten vermutlich im Zeitraum Februar bis März nachweisbar. Sofern Tausalze auch in überdachten Bereichen (z. B. in Carports, auf überdachten Terrassen oder unter Balkonen) zur Anwendung kommen, sollten die Tausalze in diesen Teilflächen über längere Zeiträume als in frei bewitterten Flächen nachweisbar sein, da in diesen Teilflächen mit deutlich geringeren Niederschlagsmengen zu rechnen ist.

2 Ausbrüche, Löcher, Risse und Verbundstörungen

Sachverständige für die Pflasterbauweise werden immer wieder zu Reklamationen gerufen, bei denen seitens der Kunden die Optik der Pflastersteine aufgrund von kleinen Löchern bzw. Ausbrüchen oder Rissen in der Oberfläche der Betonprodukte reklamiert wird. Wann sind solche Reklamationen berechtigt?

2.1 Ausbrüche und Löcher

Die in Bild 61 dargestellten Pflastersteine stammen aus einer derartigen Reklamation, bei der die Betonpflastersteine Löcher und Ausbrüche aufwiesen. Die Größe dieser »Fehlstellen« variierte im vorliegenden Fall von sehr kleinen (grüne Pfeile) bis hin zu mittelgroßen Löchern und Ausbrüchen (rote Pfeile).

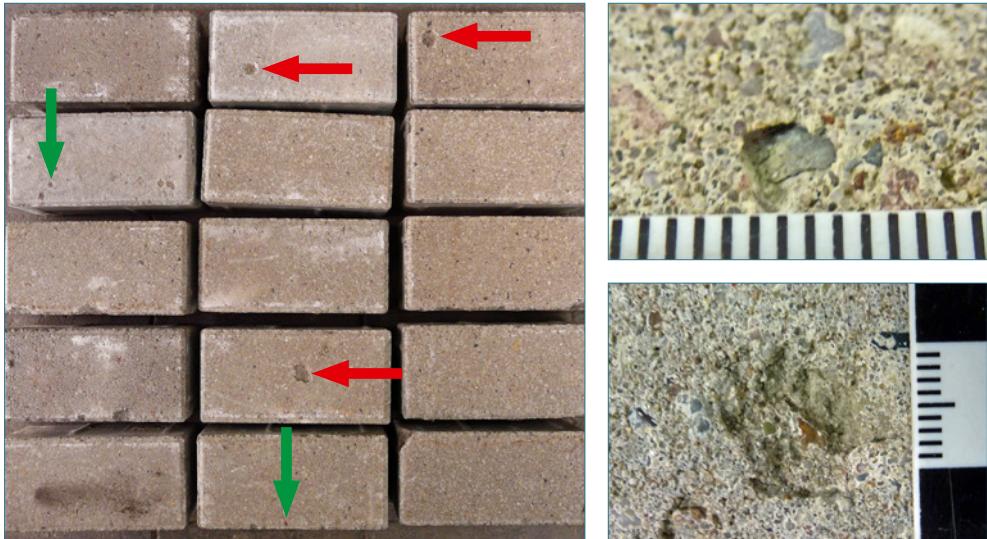


Bild 61: Löcher in der Oberfläche der Pflastersteine

In Laboruntersuchungen an den Betonpflastersteinen zeigte sich, dass die oben dargestellten Pflastersteine sowohl die Anforderungen an die Spaltzugfestigkeit als auch den Frost-Tausalz-Widerstand nach DIN EN 1338 (Anforderungen an neue und noch nicht verarbeitete Pflastersteine) erfüllten und somit bezüglich der technischen Eigenschaften regelwerkskonform waren, obwohl sie aus einer bereits genutzten Pflasterdecke stammten. Somit stellt sich im dargestellten Beispiel die Frage, ob das Vorhandensein von Löchern und Ausbrüchen an sich einen Mangel darstellt, wenn alle technischen Anforderungen erfüllt werden.

Abnehmer von Betonpflastersteinen gehen im Regelfall davon aus, dass die Oberflächen der Produkte überwiegend frei von derartigen Fehlstellen sind. Diese Annahme der Kunden wird durch die Vorgaben der DIN EN 1338 gestützt, nach der neue und noch nicht verarbeitete Betonpflastersteine keine Schäden in Form von Rissen oder Abplatzungen aufweisen dürfen.

Allerdings ist in DIN EN 1338 nicht geregelt, ab welcher Größe Ausbrüche und Löcher einen Mangel darstellen. Beginnt eine nicht regelwerkskonforme Fehlstelle ab einer Größe von 10 mm, von 5 mm, von 1 mm oder von 0,1 mm? Vor diesem Hintergrund wird klar, dass der Sachverständige auch in diesem Fall die Frage beantworten muss, ob die Risse und Abplatzungen über das übliche Maß hinausgehen. Erst dann stellen sie bei neuen und noch nicht verarbeiteten Betonpflastersteinen eine Abweichung vom Technischen Regelwerk und damit einen Mangel dar.

Bei der Bewertung von Löchern und Ausbrüchen an bereits verbauten und genutzten Pflastersteinen kommt die Frage hinzu, ob diese Fehlstellen durch ein Herauswittern von Bestandteilen aus der Steinoberfläche entstanden sind und somit über den Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand der Produkte zu bewerten sind (siehe Abschnitt 1.2.3), oder ob die Verlegung oder Nutzung der Pflasterdecke zu dem Materialabtrag im Bereich dieser Fehlstellen beigetragen hat.

Als Ergebnis ist festzustellen, dass sich sehr kleine Fehlstellen (siehe grüne Pfeile in Bild 61) in der Produktion nicht völlig vermeiden lassen und die Verlegung und Nutzung der Pflasterdecke einen Beitrag zur Bildung dieser Fehlstellen haben kann.

Anders verhält es sich, wenn größere Ausbrüche (rote Pfeile in Bild 61) in der Oberfläche der Betonpflastersteine vorhanden sind, die optisch deutlich ins Auge fallen. Diese sind aufgrund ihrer Größe häufig (sofern es sich nicht um Pop outs durch die Einwirkung von Frost- bzw. Frost-Tausalz handelt) als untypisch für sachgerecht hergestellte Betonpflastersteine einzustufen und gehen somit über das übliche Maß hinaus. Bei diesen Löchern und Ausbrüchen handelt es sich um rein optische Beeinträchtigungen, sie ziehen aber für gewöhnlich keine Beeinträchtigung der technischen Eigenschaften der Produkte nach sich.

Da große Löcher und Ausbrüche optisch deutlich erkennbar sind, dürfen diese Pflastersteine durch den Verleger nicht ohne weiteres verlegt werden, vielmehr sind diese Pflastersteine im Rahmen der Verlegung auszusortieren.

Die Frage nach den üblichen Eigenschaften von Betonpflastersteinen ist u.a. auch davon abhängig, ob hochpreisige Produkte zum Einsatz kommen. Bei hochpreisigen Plastersteinen darf der Kunde von einem höheren Aufwand im Rahmen der Produktion und der Qualitäts sicherung ausgehen. Auch sind die optischen Anforderungen an die Produkte hier üblicherweise höher.

Ob es sinnvoll ist, lokal begrenzt Pflastersteine auszutauschen, an denen Fehlstellen aufgetreten sind, ist ebenfalls fraglich und muss von Fall zu Fall entschieden werden. Beim Austausch von Einzelsteinen besteht zum einen die Gefahr von Folgeschäden an den Kanten der Nachbarsteine, zum anderen führt der Austausch von Einzelsteinen für gewöhnlich nicht zu einer besseren Qualität der Pflasterdecke.

Bei der in Bild 61 dargestellten Reklamation wurden im Rahmen der Laboruntersuchungen keine Hinweise auf Produktions- bzw. Mischfehler vorgefunden. Es ist deshalb zu vermuten, dass einer der nachfolgend genannten Ursachen verantwortlich für die Entstehung der Fehlstellen ist:

- Im Bereich der Fehlstellen befanden sich vor der Verlegung Fremdmaterialien, die im Rahmen der Nutzung herauswitterten (siehe Abschnitt 7.4.3 aus [37] sowie [38]).
- Produktionsbedingte Oberflächenheterogenitäten sind für die Entstehung der Fehlstellen verantwortlich, die im Rahmen der Nutzung herauswitterten.
- Im Rahmen der Fertigung der Pflastersteine sind Abheber aufgetreten (sogenannte Stempelkleber, vergl. Abschnitt 2.1.1 Stempelkleber).
- Die Betonpflastersteine wurden vor oder bei der Verlegung ggf. hohen Beanspruchungen ausgesetzt (z. B. durch den Transport), die zu den Schäden geführt haben.

Das nachfolgende Bild 62 zeigt einen weiteren Reklamationsfall, bei dem keine großen, sondern nur kleine Ausbrüche in der Oberfläche der Pflastersteine erkennbar waren .

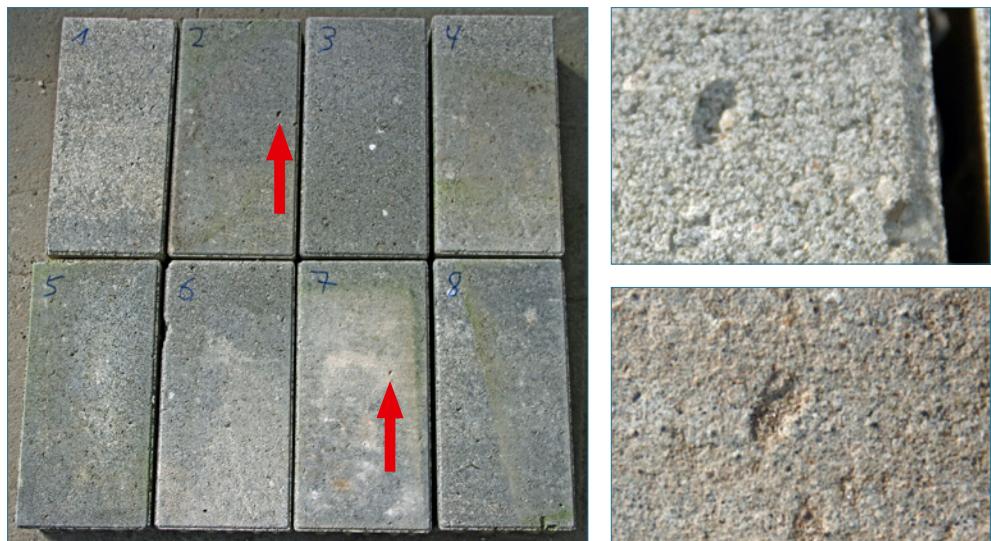


Bild 62: Löcher in der Oberfläche des Vorsatzbetons der Pflastersteine

Derartig kleine Ausbrüche sind technisch nicht vollständig vermeidbar und gehen weder in der dargestellten Menge noch in ihrer Größe über das übliche Maß hinaus. Da an diesen Pflastersteinen außerdem auf Basis der im Labor durchgeföhrten Untersuchungen (Spaltzugfestigkeit und Frost-Tausalz-Widerstand) keine Beeinträchtigung der Gebrauchstaug-

lichkeit bzw. Dauerhaftigkeit festzustellen war, blieb festzuhalten, dass sie eine baustofftypische Qualität aufwiesen. Darüber hinaus war bei der sehr geringen Größe der Fehlstellen weder von einer signifikanten Beeinträchtigung der Optik der Pflastersteine noch der Pflasterdecke auszugehen, weshalb sie weder aus technischer noch aus optischer Sicht als mangelhaft zu bewerten waren.

Wie diese Ausführungen zeigen, muss der Sachverständige bei der Beurteilung von Fehlstellen (Ausbrüchen oder Löcher) an Betonpflastersteinen folgende Punkte beachten:

- Die Menge an geschädigten Betonpflastersteinen in der Pflasterdecke stellt eine bedeutsame Bewertungsgröße dar. Tritt in einer ganzen Pflasterdecke nur ein einziger Ausbruch auf, dann muss eine andere Beurteilung erfolgen, als wenn jeder Pflasterstein eine Fehlstelle aufweist.
- Auch die Anzahl an Ausbrüchen und Löchern auf den Einzelsteinen kann zu einer negativen Beurteilung führen. So kann eine Mängelhaftigkeit auch vorliegen, wenn einzelne Pflastersteine eine Vielzahl von kleinen Fehlstellen aufweisen. In diesem Fall wäre allerdings nicht die gesamte Pflasterdecke mangelhaft, vielmehr müssten in diesem Fall die geschädigten Einzelsteine ausgetauscht werden.
- Die Einbau- und Nutzungsbedingungen sind zu berücksichtigen. Sie können einen Einfluss auf die Entstehung von Fehlstellen haben.
- Abschließend stellt die Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes der Pflasterdecke durch die Fehlstellen in den Pflastersteinen eine bedeutsame Beurteilungsgrundlage dar.

Wie ausgeführt wurde, ist im Rahmen der Bewertung von Fehlstellen zu beurteilen, ob die aufgetretenen Löcher und Ausbrüche über das übliche Maß hinausgehen. Da erfahrungsgemäß ein nicht unerheblicher Anteil von Fehlstellen auf die Verwitterung unbeständiger Bestandteile in der Steinoberfläche zurückzuführen ist, handelt es sich bei diesem Schadensbild zumindest in gewissen Grenzen um Frost- oder Frost-Tausalz-Schäden. Aus diesem Grund wird hinsichtlich der Bewertung dieser Fehlstellen auf die Abschnitte 1.3.3 und 1.7.5 (Bewertung von Pop outs oberhalb von Gesteinskörnern) verwiesen.

Erst unter Berücksichtigung u. a. der genannten Einzelfaktoren kann sachverständig bewertet werden, ob tatsächlich eine Mängelhaftigkeit der Pflastersteine in der Pflasterdecke vorliegt.

Stempelkleber

Wie oben bereits angedeutet, können Stempelkleber ursächlich für die Entstehung von Ausbrüchen und Löchern in der Oberfläche von Betonpflastersteinen sein. Bei den Stempelklebern sind zwei Arten zu unterscheiden.

Anhaftungen des Kernbetons an den Druckplatten

Stempelkleber aus Anhaftungen des Kernbetons entstehen, wenn Produktionsrückstände des Kernbetons an den Druckplatten der Steinformmaschine haften bleiben und diese beim anschließenden Verdichten des Pflasterstein- oder Plattenvorsatzes in diesen eingerüttelt werden.

Diese Stempelkleber zeichnen sich dadurch aus, dass im Vorsatzbeton der Produkte Reste des Kernbetons vorgefunden werden, die im Rahmen der Bewitterung bzw. Nutzung ggf. aus der Produktoberfläche herausfrieren können.

Anhaftungen des Vorsatzbetons an den Druckplatten

Bei Stempelklebern aus Anhaftungen des Vorsatzbetons handelt es sich um Produktionsrückstände des Vorsatzbetons, welche bei der Verdichtung des Pflasterstein- oder Plattenvorsatzes in der Produktionsanlage an den Druckplatten der Steinformmaschine haften bleiben und aus der Oberfläche der Produkte herausgerissen werden. Hierdurch werden Fehlstellen im Vorsatzbeton erzeugt, die sich in Form von Vertiefungen am fertigen Produkt zeigen.

Reicht die Klebekraft an den Druckplatten nicht ganz aus, damit das Material vollständig aus der Stein- oder Plattenoberfläche herausgerissen wird, können auch Teilablösungen des Vorsatzbetons vom Kernbeton entstehen.

Einzelne Stempelkleber geringer Größe sind im Rahmen einer normalen Produktion nicht völlig vermeidbar. Treten die Stempelkleber aber in zu großer Menge bzw. mit zu großen Abmessungen auf, dann stellen diese einen Mangel dar, weshalb derartige Produkte nicht verlegt werden dürfen.

2.2 Verwölbungen

Mit zunehmender Größe der Betonplatten nimmt die Tendenz zur Bildung konkaver Ebenheitsabweichungen (auch konkave Verwölbung genannt) zu.

Ursächlich sind diese Verwölbungen, sofern sie vor der Verlegung der Betonplatten auftreten, üblicherweise auf eine Schwindverkürzung des Betons oder nicht ausreichend verformungsstabile Plattenformen zurückzuführen.

Treten sie jedoch nach der Verlegung der Betonplatten auf, so können die Verformungen alternativ auch auf die Einwirkung von Feuchtigkeit (sowohl durch eine allgemeine als auch durch eine rückseitige Feuchteeinwirkung) und die damit verbundenen Quellerscheinungen der Betonplatten zurückzuführen sein.

Bild 63 zeigt eine entsprechende Reklamation, bei der die Betonplatten im Rahmen einer rückseitigen Feuchteeinwirkung Verformungen in einer Größenordnung von bis zu 1,5 mm, bezogen auf eine Plattenlänge von 80 cm, zeigten.



Bild 63: Laborversuch zur Bewertung der Verformung der Betonplatten bei rückwärtiger Feuchteinwirkung

Diese Verformungen traten aber nicht nur bei einer rückwärtigen Feuchteinwirkung auf. Wurden die Betonplatten vollständig in ein feuchtes Klima (23°C und 99 % relative Luftfeuchte) eingelagert, dann wurden auch hier hygrische Dehnungen gemessen, allerdings waren diese deutlich kleiner als bei der in Bild 63 dargestellten rückseitigen Feuchteinwirkung. So wurden selbst bei der allseitigen Feuchezufuhr hygrische Dehnungen von ca. 0,12 mm an der Plattenoberseite und von ca. 0,16 mm an der Plattenunterseite, bezogen auf eine Plattenlänge von 80 cm, ermittelt (siehe Bild 64).

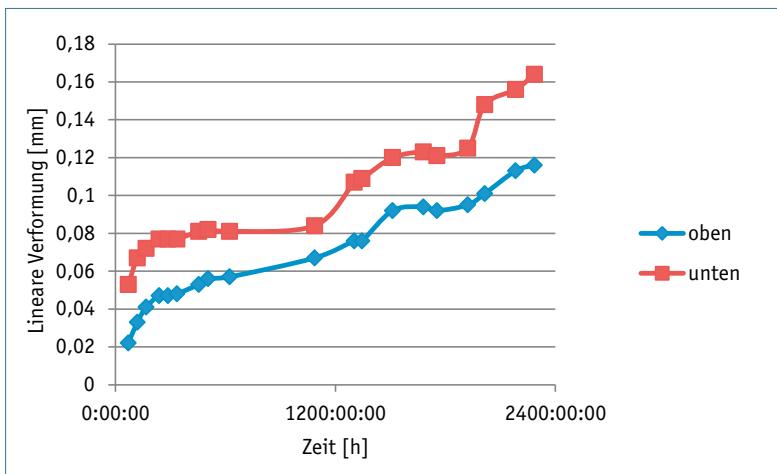


Bild 64: Hygrische Dehnung an der Plattenoberseite (blau) und -unterseite (rot) bei Einlagerung der Betonplatten in das Klima 23°C und 99 % relative Luftfeuchte

Wie dieser Fall zeigt, sind Quellerscheinungen bei Einwirkung von Feuchtigkeit (in Form von Wasser oder auch bei hoher Luftfeuchtigkeit) auf Betonplatten nicht vollständig zu vermeiden. Besonders deutlich sind diese Verformungen allerdings bei einseitiger Einwirkung des Wassers.

2.3 Risse

Ebenso wie Ausbrüche und Löcher beeinträchtigen feine Risse in der Produktoberfläche (siehe Bild 65) deren Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit üblicherweise nicht und stellen somit auch nicht unbedingt einen Mangel dar.

Diesbezüglich sei auch auf die Ausführungen aus Abschnitt 2.1 verwiesen, wo ausführlich auf die Normvorgaben und die Mangelhaftigkeit von Betonprodukten mit Löchern und Ausbrüchen eingegangen wurde.

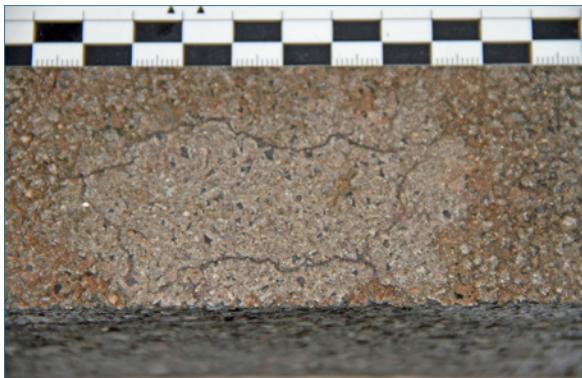


Bild 65: Pflasterstein mit einem feinen Riss in der Produktoberfläche

Auch Betonprodukte (Betonpflastersteine, Betonplatten oder Bordsteine aus Beton) mit feinen Rissen weisen erfahrungsgemäß einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand auf, wenn die rissfreien Betonprodukte an sich ausreichend frost-tausalzbeständig sind (siehe auch Abschnitt 1).

Kritisch sind derartige Risse normalerweise erst, wenn sie deutlich wasserführend sind, sodass der Expansionsdruck des gefrierenden Wassers über die Rissflanken auf den Vorsatzbeton einwirken kann und die Risse ggf. zusätzlich mit kleinen Hohlstellen zwischen dem Vorsatz- und dem Kernbeton in Verbindung stehen (siehe Abschnitt 2.4).



Bild 66: Wasserführende Risse in der Oberfläche eines Vorsatzbetons

Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass Risse aus technischer Sicht nur dann eine Mängelhaftigkeit nach sich ziehen, wenn aufgrund von Hohlstellen oder signifikant wasserführenden Rissen die Gefahr besteht, dass Folgeschäden resultieren. Unabhängig davon ist der Einfluss der gerissenen Produkte auf die Optik der Produkte im speziellen und der Pflasterdecke im allgemeinen gesondert zu betrachten.

2.4 Verbundverhalten

Im einschlägigen Technischen Regelwerk sind keine Anforderungen an die Verbundfestigkeit zwischen dem Vorsatz- und dem Kernbeton der Produkte enthalten. Erfahrungsgemäß weisen Betonpflastersteine Haftzugfestigkeiten von über $2,0 \text{ N/mm}^2$ zwischen dem Kern- und Vorsatzbeton auf, teilweise werden aber auch Haftzugfestigkeiten von über $3,5 \text{ N/mm}^2$ erreicht.

Werden im Rahmen von Streitigkeiten im Ausnahmefall auch die Verbundfestigkeiten von Betonpflastersteinen geprüft, dann stellen sich dem Sachverständigen u. a. folgende Fragen:

- Welche Verbundfestigkeit darf der Bauherr trotz fehlender normativer Anforderungen erwarten, wenn er im Rahmen der Bestellung keine konkreten Werte gefordert hat?
- Stellen reduzierte Verbundfestigkeiten zwischen dem Kern- und dem Vorsatzbeton von Pflastersteinen aus technischer Sicht einen Mangel dar, und ab welcher Verbundfestigkeit ist mit technischen Problemen und somit auch mit einer reduzierten Dauerhaftigkeit der Produkte zu rechnen?

Um Hilfestellung bei der Beantwortung dieser Fragen zu erhalten, kann man sich an Technischen Regelwerken artverwandter Produkte orientieren. So müssen im Außenbereich genutzte, befahrene Estrichkonstruktionen eine mittlere Verbundfestigkeit von $1,2 \text{ N/mm}^2$ (Kleinstwert von $0,8 \text{ N/mm}^2$) aufweisen, um für die Nutzung als befahrene, zweischichtig ausgeführte Fläche geeignet zu sein. Kleine Hohlstellen stellen darüber hinaus nur dann einen Mangel dar, wenn diese in Verbindung zu Rissen stehen, die einen Wasserzutritt zu den Hohlstellen ermöglichen. Nicht wasserführende Risse sind aus technischer Sicht ebenso unkritisch (siehe Abschnitt 2.3) wie kleine Hohlstellen, die nicht durch Risse mit der Produkttoberfläche in Verbindung stehen.

Da es sich sowohl bei Industrieböden als auch bei den Pflasterdecken um zweischichtige, befahrene Konstruktionen aus zementgebundenen Produkten handelt, liegt der Gedanke nahe, dass auch normal genutzte Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen bei Einhaltung dieser Anforderungen an die Verbundfestigkeit schadensfrei bleiben sollten.

Bei der Übertragung der Anforderungen an die Verbundfestigkeit aus dem Regelwerk für Estrichflächen auf Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen ist somit festzustellen, dass kleinere Hohlstellen zwischen dem Kern- und Vorsatzbeton keinen Mangel darstellen, sofern nicht zusätzlich Risse im Vorsatzbeton enthalten sind.

Weiterhin sollten Betonpflastersteine bei üblicher Nutzung eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit aufweisen, wenn die mittlere Haftzugfestigkeit bei $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$ (Kleinstwert von $> 0,8 \text{ N/mm}^2$) liegt.

Verbundfestigkeiten von $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$ sind bei sachgerecht hergestellten Betonpflastersteinen zielsicher und ohne Schwierigkeiten erreichbar. Aus diesen Grund ist die regelmäßige Untersuchung der Verbundfestigkeit von Pflastersteinen überflüssig und sollte sich nur auf Fälle beschränken, bei denen ein begründeter Anfangsverdacht für Verbundstörungen vorliegt.

Im Gegensatz dazu stellen deutlich erkennbare Trennschichten zwischen dem Kern- und dem Vorsatzbeton, wie diese in Bild 67 dargestellt sind, einen Produktmangel dar, weil derartige Trennlagen sowohl hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstands der Produkte als auch bezüglich der Entstehung von Kantenschäden als kritisch einzustufen sind.



Bild 67: Trennlage zwischen dem Vorsatz- und dem Kernbeton

Dementsprechend darf der Verleger Pflastersteine mit derartigen Trennlagen auch nicht verlegen. Produktmängel, wie sie in Bild 67 dargestellt sind, muss ein Fachunternehmer im Rahmen der Verlegung erkennen und darauf reagieren, indem er den Lieferanten informiert und die betroffenen Produkte aussortiert.

3 Vollgebundene Bauweise

Gebundene Plasterdecken haben gegenüber der ungebundenen Bauweise viele Vorteile:

- Reduzierung der Gefahr für das Auftreten von Grünbewuchs in den Fugen,
- gute Begeh- und Befahrbarkeit,
- Reduzierung der Gefahr für den Austrag des Fugenmaterials bei der Nutzung, insbesondere bei der Reinigung der Pflasterdecke,
- Erhöhung der Tragfähigkeit der Pflasterdecke,
- geringere Wartungskosten.

Daher wird die vollgebundene Bauweise häufig zur Herstellung von Pflasterdecken eingesetzt, an die besondere Anforderungen gestellt werden, etwa bei hohen Verkehrsbelastungen. Auch Flächen, bei denen das Ausspülen des Fugenmaterials verhindert bzw. reduziert werden soll, werden bevorzugt in gebundener Bauweise ausgeführt. Ein Beispiel dafür sind Rinnen zur gezielten Ableitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation.

Neben den genannten Vorteilen weist diese Bauweise aber auch einige Nachteile auf:

- deutlich höhere Herstellungskosten der Pflasterdecke,
- hohe Mängelbeseitigungskosten bei aufgetretenen Schäden,
- höhere Anforderungen an die Kenntnisse der Planer und Ausführenden und damit einen erhöhten Aufwand bei der Ausschreibung und der Produktauswahl,
- Temperatur- und Rissanfälligkeit der Konstruktion,
- Zugänglichkeit der Unterlage.

3.1 Technisches Regelwerk

Bei der gebundenen Bauweise handelt es sich um eine Sonderbauweise, für die es über viele Jahre kein allgemein anerkanntes Regelwerk gab. Erst mit Einführung der neuen DIN 18318 wird die gebundene Bauweise in der ATV aufgenommen. Da auch in der Vergangenheit bei Terrassen und anderen nicht befahrenen Pflasterdecken aus Beton- oder Naturstein im Außenbereich aber immer wieder Platten »im Mörtelbett« verlegt wurden, haben einige Verbände schon damals Technische Regelwerke herausgegeben. Exemplarisch sind hier z. B. das DNV-Merkblatt 1.6 »Mörtel für Außenanlagen« [20] oder der Betonwerksteinkalender [55] zu nennen, die sich in erster Linie mit nicht befahrenen Pflasterdecken beschäftigen und Anforderungen an die gebundenen Fugen- und Bettungsmörtel definieren.

Diesen Regelwerken ist zu entnehmen, dass für gebundene Bodenbeläge Bettungsmörtel der Mörtelgruppe MG III zu verwenden sind, deren Sollfestigkeit im Labor mindestens 10 N/mm^2 beträgt. Zulässige Grenzwerte für die Bauwerksfestigkeit dieser Bettungsmörtel wurden jedoch nicht angegeben. Auch Festlegungen zum erforderlichen Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand der Bettungsmörtel fehlen. Konkrete Anforderungen an die Qualität der Fugenmörtel wurden hier nicht formuliert.

Mit zunehmender Verwendung der gebundenen Bauweise auch für befahrene Flächenbefestigungen wurden neue Regelwerke veröffentlicht, die sich mit der Festlegung von Anforderungen an die Bettungs- und Fugenmörtel beschäftigen. Hier sind in erster Linie zu nennen:

1. FGSV-Arbeitspapier M FP (2007),
2. WTA-Merkblatt 521 (2009) und
3. ZTV Wegebau (2013) oder
4. DNV-Richtlinie (2014) »Pflaster- und Plattendecken für befahrene und begangene Flächen in ungebundener und gebundener Ausführung sowie in Mischbauweise« (für Natursteinflächen).

Diese neueren Technischen Regelwerke enthalten einige allgemeine Konstruktionshinweise, die bei der Herstellung von Flächenbefestigungen in der gebundenen Bauweise zu beachten sind:

Die **Mischbauweise**, bei der die Tragschicht ungebunden ausgeführt wird und nur die Fugen der Pflasterdecke mit bindemittelhaltigen Materialien gefüllt werden, sollte nur bei geringeren Beanspruchungen Anwendung finden, da das Schadensrisiko bei dieser Bauweise mit der Beanspruchungsintensität erheblich ansteigt. Zur Herstellung befahrener Pflasterdecken ist die Mischbauweise nur sehr begrenzt geeignet.

Pflasterdecken in Mischbauweise sind aus diesem Grunde ausschließlich für die geringste Nutzungskategorie N1 nach der ZTV Wegebau zugelassen, also für nicht mit Kfz befahrbare Flächenbefestigungen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs. Darüber hinaus dürfen die Fugen bei dieser Ausführungsart nur unter Verwendung kunstharzgebundener Fugenmaterialien ausgefügt werden.

Wasser, das in die Konstruktion eindringt, muss auch bei der vollgebundenen Bauweise in den Unterbau abgeleitet werden. Aus diesem Grund muss sowohl die gebundene Bettung als auch die gebundene Tragschicht eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen.

Besitzt die Unterlage keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit, sammelt sich Wasser, das über die Fugen in die gebundene Konstruktion eindringt, oberhalb der nicht ausreichend wasserdurchlässigen Schicht an und führt hier zur Bildung von Schäden.

Neben diesen allgemeinen Hinweisen wurden in den neueren Regelwerken konkrete Anforderungen an die Eigenschaften der zu verwendenden Baustoffe und an die fertigen Pflasterdecken gestellt. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für die Herstellung dauerhafter Pflasterdecken in der gebundenen Bauweise stellt ein guter Verbund zwischen den Konstruktionsbaustoffen (Tragschicht, Bettung, Pflastersteine und Fugenmörtel) dar.

Die wesentlichen Baustoffeigenschaften sind die Wasserdurchlässigkeit, die Druck- und Haftzugfestigkeit sowie der Witterungswiderstand (siehe Abschnitt 3.1.3 und 3.1.4). Auf die erforderlichen Eigenschaften und den Nachweis der fertigen Pflasterdecken wird in Abschnitt 3.6 eingegangen.

Obwohl inzwischen einige Regelwerke vorliegen, ist die gebundene Bauweise bislang als Sonderbauweise zu betrachten, u.a. deswegen, weil sie bis heute noch nicht in die ATV DIN 18318 aufgenommen wurde. Dies wird sich erst mit der Veröffentlichung der neuen ATV DIN 18318 ändern.

In den nachfolgenden Abschnitten wird ausschließlich auf die vollgebundene Bauweise eingegangen.

3.1.1 Fugenmörtel zur Herstellung einer gebundenen Pflasterdecke

Nach den einschlägigen Technischen Regelwerken müssen Fugenmörtel zur Herstellung gebundener Pflasterdecken die folgenden Anforderungen erfüllen:

1. Eines der wesentlichen Ziele bei der Herstellung von gebundenen Pflasterdecken besteht darin, das Eindringen von Niederschlagswasser in die Konstruktion möglichst zu verhindern. Deshalb sind hochwertige Fugenmörtel mit einer möglichst geringen Wasserdurchlässigkeit und einem guten Verbund zu den Pflastersteinen zu verwenden.
2. Da gebundene Pflasterdecken im Normalfall mit Wasser und Frost in Kontakt stehen, müssen die Fugenmörtel einen ausreichenden Frost-Widerstand aufweisen. Kommen zusätzlich Taumittel zum Einsatz, dann muss der Fugenmörtel darüber hinaus einen ausreichenden Frost-/Tausalz-Widerstand besitzen.
3. Neben einem hohen Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand müssen die Fugenmörtel zusätzlich eine ausreichende, aber nicht zu hohe Druckfestigkeit aufweisen. Für die Qualität der Mörtel ist entscheidend, dass sie mit einem möglichst niedrigen w/z-Wert hergestellt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Mörtel den hohen Beanspruchungen dauerhaft standhalten.
4. Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Qualität sollten Fugenmörtel unter Verwendung von Werkrockenmörteln hergestellt werden. Die Nachweise für die erforderlichen Produktqualitäten sind vor der Ausführung der Arbeiten vom Materiallieferanten vorzulegen.

3.1.2 Bettungsmörtel zur Herstellung einer vollgebundenen Pflasterdecke

Die wichtigsten Anforderungen an Bettungsmörtel zur Herstellung gebundener Pflasterdecken lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Um Niederschlagswasser, das in die Konstruktion eindringt, möglichst schnell wieder aus der Konstruktion herauszuleiten, sind hochwertige Bettungsmörtel mit einer möglichst hohen Wasserdurchlässigkeit zu verwenden.
2. Bettungsmörtel benötigen einen sehr guten Verbund zu den Pflastersteinen, um diese möglichst stabil und dauerhaft in die Pflasterdecke einzubinden. Um den Verbund sicherzustellen sind zur Verlegung der Pflastersteine in der gebundenen Bettung Kontaktschlämmen einzusetzen.
3. Da das Eindringen von Wasser über die Fuge in die Konstruktion nicht vollständig vermieden werden kann, muss der Bettungsmörtel einen ausreichenden Frost-Widerstand aufweisen. Wenn konstruktionsbedingt größere Wassermengen in die Konstruktion

- eindringen können und eventuell zusätzlich Taumittel zum Einsatz kommen, dann muss auch der Bettungsmörtel einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand besitzen.
4. Wie Fugenmörtel benötigen auch Bettungsmörtel neben einem hohen Frost-Widerstand eine ausreichend hohe Druckfestigkeit und vor allem einen geringen w/z-Wert, da nur so sichergestellt werden kann, dass die Mörtel eine ausreichende Qualität haben, um den Beanspruchungen dauerhaft zu widerstehen.
 5. Auch Bettungsmörtel sollten unter Verwendung von Werk trockenmörteln hergestellt werden, damit eine gleichmäßige Qualität gewährleistet ist. Die Nachweise für die erforderlichen Produktqualitäten sind vor der Ausführung der Arbeiten vom Materiallieferanten vorzulegen.

3.1.3 Anforderungen an die Haftzugfestigkeit von Fugen- und Bettungsmörteln

Ein guter Verbund zwischen den Konstruktionsbaustoffen (Tragschicht, Bettung, Pflastersteine und Fugenmörtel) ist eine zwingende Voraussetzung für die Herstellung dauerhafter Pflasterdecken in der gebundenen Bauweise. Welche Anforderungen an die Verbundfestigkeit von Bettungsmörteln und Fugenmörteln in den relevanten Regelwerken gefordert werden, ist Tabelle 7 und Tabelle 8 zu entnehmen.

	Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Bettungsmörtel [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	$\geq 1,5$ (Kleinstdwert $\geq 1,2$)		
ZTV Wegebau	$\geq 0,4$	$\geq 0,8$	$\geq 0,8$
DNV-Richtlinie	k. A.		
Zukünftige ATV DIN 18318	$\geq 0,4$	$\geq 0,8$	$\geq 1,0$

Tabelle 7: Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Bettungsmörtel

	Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Fugenmörtel [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	$\geq 1,5$ (Kleinstdwert $\geq 1,2$)		
ZTV Wegebau	$\geq 0,4$	$\geq 0,8$	$\geq 1,0$
DNV-Richtlinie	k. A.		
Zukünftige ATV DIN 18318	$\geq 0,4$	$\geq 0,8$	$\geq 1,0$

Tabelle 8: Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Fugenmörtel

3.1.4 Druckfestigkeitsanforderungen an Fugen- und Bettungsmörtel

Da die in gebundener Bauweise erstellten Pflasterdecken hohe Anforderungen an die Produktqualität stellen, sollten die zur Anwendung kommenden Fugen- und Bettungsmörtel auch bestimmte Mindestdruckfestigkeiten aufweisen. Die geforderten Mindestwerte sind in Tabelle 9 (für die Bettungsmörtel) und Tabelle 10 (für die Fugenmörtel) zusammengestellt.

	Anforderungen an die Druckfestigkeit der Bettungsmörtel [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	≥30		
ZTV Wegebau	≥10	≥20	≥30
DNV-Richtlinie	k. A.	≥10 ^{a)}	≥15 ^{a)}
Zukünftige ATV DIN 18318	≥10	≥20	≥30

a) in Abhängigkeit von der konkreten Beanspruchung

Tabelle 9: Anforderungen an die Druckfestigkeit der Bettungsmörtel

	Anforderungen an die Druckfestigkeit zementärer Fugenmörtel [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	k. A.	≥45,0 (Einzelwert ≥40,0)	
ZTV Wegebau	≥10	≥20	≥30
DNV-Richtlinie	≥10	≥10 ^{a)}	Anforderungen zwischen ≥15 ^{a)} und ≥40 ^{a)}
Zukünftige ATV DIN 18318	≥10	≥20	≥30

a) in Abhängigkeit von der konkreten Beanspruchung

Tabelle 10: Anforderungen an die Druckfestigkeit zementärer Fugenmörtel

3.1.5 Ausschreibung von Mörteln der Mörtelgruppe MG III

Vor dem Hintergrund der genannten Anforderungen an die Druck- und Haftzugfestigkeit der Bettungs- und Fugenmörtel und unter Beachtung der Tatsache, dass die Bettungs- und Fugenmörtel in gebundenen Pflasterdecken zusätzlich mindestens einer Frost- und ggf. sogar einer Frost-Tausalz-Beanspruchung ausgesetzt werden, ist festzustellen, dass Normalmörtel der Mörtelgruppe MG III aus heutiger Sicht als Bettungs- oder Fugenmörtel in gebundenen Pflasterdecken nicht geeignet sind.

Unter diesem Aspekt sind die alten Regelwerke (Betonwerksteinkalender [55] oder DNV-Merkblatt [20]) sehr kritisch zu sehen. Viele Planer, die keine speziellen Erfahrungen mit der gebundenen Bauweise besitzen, schreiben fälschlicherweise auf Basis dieser alten Merk-

blätter Mörtel der Mörtelgruppe MG III zur Herstellung der Bettung oder sogar der Fugen von gebundenen Pflasterdecken aus. Da weitergehende Materialeigenschaften in diesen Ausschreibungen üblicherweise nicht gefordert werden, sind Schäden vorprogrammiert.

3.1.6 Verwendung werksgemischter Bettungsmörtel

Zur Herstellung zementgebundener Bettungsmörtel kamen in der Vergangenheit immer wieder im Transportbetonwerk gemischte und im Transportbetonfahrzeug beförderte Standardmörtel (Mörtel der Mörtelgruppe MG III) zur Anwendung. Diese in sehr trockener Konsistenz hergestellten Mörtel weisen im Regelfall nur geringe Mörtelfestigkeiten, geringe Haftzugfestigkeiten und einen zu geringen Witterungswiderstand auf. Darüber hinaus sind die wirksamen Zementgehalte dieser Mörtel nicht selten auch durch die sogenannte Zementlinsenbildung deutlich reduziert (siehe Bild 68 und Bild 69).

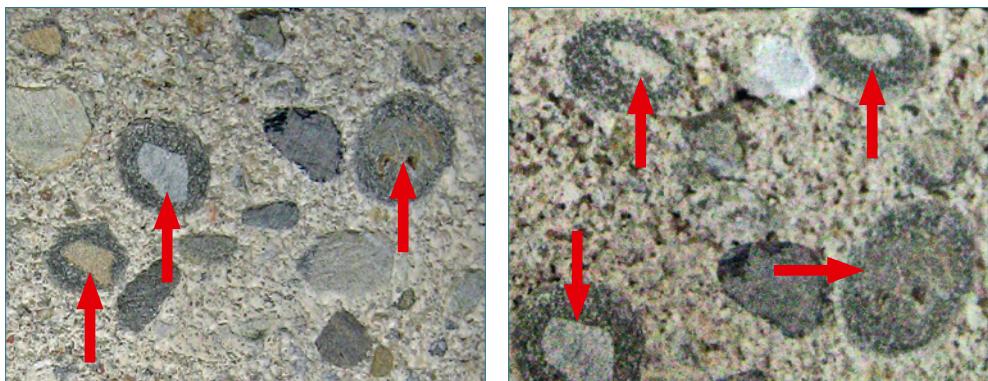


Bild 68: Zementlinsen mit enthaltenen Gesteinskörnern

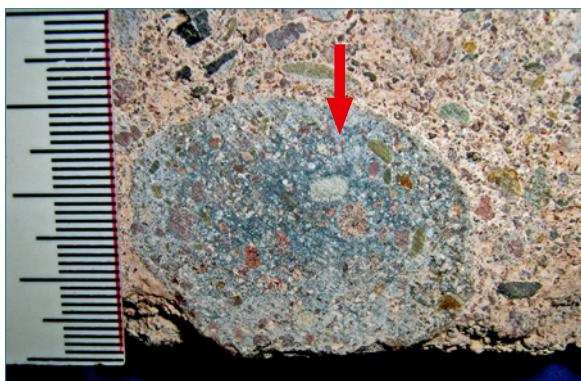


Bild 69: Nahezu reine Zementlinse von erheblicher Größe

Gerade bei der Lieferung sehr trockener, in erdfeuchter Konsistenz hergestellter Transportmörtel entstehen oft erhebliche Mengen sogenannter Zementlinsen. Diese Zementlinsen können in ihrem Zentrum Gesteinskörner enthalten (siehe Bild 68) oder aus nahezu reinem Zementstein (siehe Bild 69) bestehen, wodurch der für die Festigkeitsentwicklung des Mörtels verantwortliche, wirksame Zementgehalt zum Teil massiv reduziert wird.

Solche Zementlinsen entstehen, wenn sich beim Anmischen des Mörtels nicht ausreichend mit Wasser aufgeschlossener Zement an die leicht feuchte Gesteinskörnung oder an feuchte Zementagglomerate anlagert. Das Risiko besteht bei sehr trockenen zementären Mörtelmischungen. Zementlinsen können auch entstehen, wenn erdfeuchter Mörtel im Transportbetonfahrzeug bei drehender Trommel zur Baustelle geliefert wird. Alternativ entstehen Zementlinsen beim »Ausdrehen« des Mörtels auf der Baustelle.

In der Konsequenz wird der Bindemittelmatrix durch die Bildung der Zementlinsen Zement entzogen, der als eine Art zementäre Gesteinskörnung (ähnlich einem rezyklierten Gesteinskorn) im Mörtel enthalten ist und nicht zur Festigkeitsentwicklung des Mörtels beiträgt. Das Mörtelgefüge erscheint bei diesen Mörteln sehr bindemittelarm (siehe Bild 70).



Bild 70: Aufgrund der Bildung von Zementlinsen bindemittelarm erscheinendes Mörtelgefüge

Sind Schäden an gebundenen Bauweisen auf die Bildung von Zementlinsen zurückzuführen, dann wird aufgrund dieses bindemittelarmen Erscheinungsbildes der erhärteten Mörtel im Rahmen der Schadensbearbeitung häufig der Zementgehalt bzw. die stoffliche Zusammensetzung des Mörtels untersucht.

Das ist aus Sicht eines Sachverständigen auch sachgerecht, wenn überprüft werden soll, ob das Betonwerk ausreichende Zementgehalte zur Mörtelherstellung eingesetzt hat. Soll aber geklärt werden, wie viel Zement zur Festigkeitsentwicklung des Mörtels beiträgt, dann muss berücksichtigt werden, dass ähnlich wie bei Baustoffen, die unter Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen hergestellt werden, nicht der gesamte im Mörtel enthaltene Zementanteil an der Festigkeitsentwicklung beteiligt ist.

Um den tatsächlich wirksamen Zementgehalt dieser Mörtel zu ermitteln, müssen die Zementlinsen aus der Untersuchungsprobe herauspräpariert, der Zementgehalt dieser Zementlinsen bestimmt und vom Gesamtzementgehalt des Mörtels abgezogen werden. Um einen Eindruck von der Größenordnung des Zementanteils zu bekommen, der in Form von Zementlinsen gebundenen sein kann, wird in Tabelle 11 exemplarisch das Ergebnis einer an der MPVA Neuwied GmbH analysierten Probe gezeigt.

Probe eines Bettungsmörtels	Gehalte [kg/m ³]	
	Zement	Gesteinskörnung
	340 (inkl. Zementanteil der Zementlinsen)	1485 (ohne Zementlinsen)
	158 (ohne Zementlinsen)	1667 (inkl. Zementanteil der Zementlinsen)

Tabelle 11: Zementgehalt eines Bettungsmörtels mit und ohne Berücksichtigung des Zementanteils der Zementlinsen

Der in den Zementlinsen enthalte Zementanteil beträgt in diesem Beispiel $340 - 158 = 182 \text{ kg/m}^3$. Er ist in diesem speziellen Fall höher als der Zementanteil, der zur Festigkeitsentwicklung des Bettungsmörtels verbleibt (158 kg/m^3).

3.2 Risse in gebundenen Pflasterdecken

Risse stellen die bedeutendste Schadensgruppe der vollgebundenen Bauweise dar. Sowohl im Fugenmörtel als auch in den Pflastersteinen können sich Risse ausbilden.

In der Überarbeitung der ATV DIN 18318 wird der Hinweis enthalten sein, dass vereinzelte Risse, z. B. durch Schwinden und Kriechen, zulässig sind, sofern die Rissbreite einen Wert von 0,8 mm nicht überschreitet.

Nachfolgend sind einige Beispiele für derartige Schäden an vollgebundenen Konstruktionen beschrieben.

3.2.1 Thermische Beanspruchungen

Beim ersten Beispiel handelt es sich um eine in vollgebundener Bauweise ausgeführte Anliegerstraße (siehe Bild 71), bei der im Rahmen der Planung in erster Linie von einer Befahrung mit PKW, in geringem Maße aber auch mit LKW ausgegangen wurde. Bei der Planung wurde die Pflasterdecke der damals noch geltenden Bauklassen IV bzw. V nach der alten RStO zugeordnet. Gemäß der Planung sollten folgende Baustoffe zur Herstellung der Pflasterdecke verwendet werden:

- Betonpflaster aus »Basaltbeton« (siehe auch Abschnitt 6.1.1),
- Zementmörtel der Mörtelgruppe MG III, mit einem Mischungsverhältnis Zement:Gesteinskörnung = 1:4.

Mörtel der Mörtelgruppe MG III sind aus heutiger Sicht nicht geeignet zur Herstellung gebundener Pflasterdecken, die dem Fahrzeugverkehr ausgesetzt werden.



Bild 71: In vollgebundener Bauweise ausgeführte Anliegerstraße

Die Ausführung der Pflasterdecke erfolgte im Winter im Fischgrätverband ohne Ausbildung jeglicher Bewegungsfugen. Bereits kurze Zeit nach der Fertigstellung der Arbeiten wurden quer zur Fahrtrichtung verlaufende Risse in der Pflasterdecke vorgefunden (siehe Bild 72), die überwiegend innerhalb der Fugen, zum Teil aber auch durch die Pflastersteine verliefen. In Einzelfällen lagen bereits starke Ausbrüche an den Fugenmaterialien vor.



Bild 72: Rissbildung in der vollgebundener Bauweise

Im Rahmen des Ortstermins wurde die Pflasterdecke an mehreren Stellen geöffnet. Es ergab sich der folgende visuelle Befund:

- Die Fugen waren zumeist nur zur Hälfte mit Fugenmörtel gefüllt. Darunter fanden sich ungefüllte Hohlräume.
- Die Rissbildung erfolgte in erster Linie in der Kontaktfläche zwischen den Pflastersteinen und dem Fugenmörtel.
- Es lag kein angemessener Verbund zwischen dem Bettungsmörtel und den Pflastersteinen bzw. zwischen dem Fugenmörtel und den Pflastersteinen vor.
- Der Bettungsmörtel wies keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf.



Bild 73: Erkenntnisse im Rahmen der Flächenöffnung

Für weitere Untersuchungen im Labor wurden aus der Pflasterdecke Bohrkerne entnommen. Die Laborversuche ergaben, dass der Bettungsmörtel deutlich weniger Zement enthielt, als in der Ausschreibung gefordert war. Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis lag bei 1 Teil Zement zu 8,4 Teilen Gesteinskörnung. Darüber hinaus wies der Bettungsmörtel ein sehr dichtes und damit nicht ausreichend wasserdurchlässiges Gefüge auf (siehe rechtes Bild 74).



Bild 74: Vor Ort entnommene Bohrkernabschnitte

Wie es bei Pflasterdecken in vollgebundener Ausführung häufig der Fall ist, waren die Schäden auf die Kombination mehrerer Fehler sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung der Arbeiten zurückzuführen. Es wurde ein Bettungsmörtel (Mörtel der Mörtelgruppe MG III) ausgeschrieben, von dem nach der Ausschreibung weder eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit noch ein ausreichender Frost-Widerstand zu erwarten war.

Anforderungen an die Haftzugfestigkeit oder den Frost-Tausalz-Widerstand des Fugenmörtels wurden ebenfalls nicht festgeschrieben. Somit wurde das Bausoll in der Ausschreibung nicht sachgerecht definiert. Es lag eine ungeeignete Planung mit fehlerhaft ausgeschriebenen Produkten vor.

- Bei der Ausführung kamen (mit Ausnahme des Zementgehalts) planungskonform Baustoffe (Fugen- und Bettungsmörtel) zur Anwendung, die für den Verwendungszweck nicht geeignet waren.
- Es wurde keine Haftschlämme ausgeschrieben. In der Konstruktion waren in Folge dessen keine sachgerechten Verbundfestigkeiten nachweisbar.
- Es wurden weder Bewegungsfugen ausgeschrieben, noch wurde der Bauherr über die zu erwartenden Rissbildungen informiert. Demnach wurde in der Planung auch kein nachträgliches Schließen der Risse berücksichtigt (sogenannte Schweizer Bauweise).
- Kontrollprüfungen auf der Baustelle wurden ebenso wenig ausgeschrieben wie eine regelmäßige Überprüfungen der Bauausführung. Aus diesem Grund wurden Schäden erst nach der Fertigstellung der Pflasterdecke erkannt.

Die oben beschriebenen Schäden sind ursächlich darauf zurückzuführen, dass keine Bewegungsfugen ausgeführt wurden und kein fachgerechter Verbund zwischen der Pflasterdecke und dem Bettungsmörtel vorlag.

Zusammenspiel zwischen den Bewegungsfugenabständen und dem Verbundverhalten von Bettungsmörtel und Pflastersteinen

Das Risiko zur Bildung von Rissen in gebundenen Konstruktionen steigt mit zunehmenden Bewegungsfugenabständen und mit abnehmender Verbundfestigkeit zwischen dem Bettungsmörtel und der Pflasterdecke. Bei Erwärmung versucht sich die gebundene Pflasterdecke auszudehnen. Bei unzureichender Verbundfestigkeit zum Bettungsmörtel wölbt sich die Pflasterdecke auf. An ihrer Oberseite entstehen hohe Biegezugsspannungen. Zusätzlich zu den thermischen Dehnungen können feuchtebedingte Längenänderungen auftreten (hygrische Dehnungen).

Allein die thermische Ausdehnung kann zu Längenänderungen von 0,5 mm/m bis 1,0 mm/m führen. In der Pflasterdecke sowie an aufgehenden Bauteilen müssen deshalb Bewegungsfugen angeordnet werden, um die Gefahr von SpannungsrisSEN zu reduzieren. Je nach Regelwerk wird ein maximaler Bewegungsfugenabstand von 4 bis 7 m gefordert.

Wird eine aufgewölbte Pflasterdecke befahren, so entstehen aufgrund der eingeleiteten Lasten an ihrer Unterseite Biegespannungen, die ebenfalls zu Rissen führen können.

Wie diese Ausführungen zeigen, resultieren in der Pflasterdecke hohe thermische und hygrische Spannungen, die nicht schadensfrei abgebaut werden können, wenn Bewegungsfugen in der Konstruktion fehlen und/oder kein ausreichender Verbund zwischen den Baustoffen vorliegt. Besteht hingegen ein guter Verbund zum Bettungsmörtel, dann kann das Aufwölben der Pflasterdecke verhindert werden. Im Regelfall werden die resultierenden Spannungen von der Konstruktion aufgenommen und schadensfrei abgeleitet.

Zwar lässt sich die Bildung von Rissen in gebundenen Konstruktionen nicht vollständig vermeiden, doch sinkt die Gefahr für die Entstehung ungeplanter Risse durch den Einbau von Bewegungsfugen und die Herstellung eines guten Verbundes erheblich.

3.2.2 Fehlende Einfassungen

Neben den oben beschriebenen Gründen für die Entstehung von Rissen in vollgebundenen Pflasterdecken spielen fehlende Einfassungen bzw. Rückenstützen eine besondere Rolle. Diese Schäden treten z. B. an Übergängen zwischen in gebundener und ungebundener Bauweise erstellten Teilflächen auf, wenn die letzte Reihe der gebundenen Bauweise nicht durch eine lagestabile Randeinfassung begrenzt wird.

Bei dem nachfolgenden Beispiel wurde eine Straße in vollgebundener Bauweise ausgeführt (rote Pfeile in Bild 75). In einem kleinen Teilbereich wurde ein Fußgängerüberweg über diese Straße ungebunden erstellt (grüner Pfeil in Bild 75), wobei der Übergang zwischen der gebundenen zur ungebundenen Pflasterdecke nicht durch eine Randeinfassung gesichert wurde.



Bild 75: Ungebundener Fußgängerüberweg über eine vollgebundene Straße

Aufgrund der Befahrung mit PKW und LKW wurden die Pflastersteine im Randbereich der in gebundener Bauweise erstellten Teilfläche zum Teil erheblichen Schubkräften ausgesetzt, die aufgrund der fehlenden Einfassung nicht schadensfrei in den Unterbau eingeleitet

werden konnten. In der Folge brachen diese Pflastersteine aus der gebundenen Pflasterdecke heraus und es entstanden beträchtliche Risse in und Ausbrüche an den Fugenmaterialien (siehe Bild 76).



Bild 76: Ausbrüche an den Randsteinen der gebundenen Pflasterdecke

Parallel dazu führte die Verschiebung der gelockerten Pflastersteine der gebundenen Pflasterdecke selbstverständlich auch zu Kantenschäden an den benachbarten Betonplatten (siehe Bild 77).



Bild 77: Kantenschäden an Betonplatten im Anschluss an eine gebundene Pflasterdecke

Ein vergleichbarer Schaden zeigte sich an der Pflasterdecke eines in vollgebundener Segmentbogenbauweise ausgeführten Kleinpflasters, bei dem elastische Dehnfugenbänder zur Unterteilung der Pflasterdecke eingesetzt wurden (Bild 78).



Bild 78: Pflasterdecke in gebundener Bauweise

Da die verwendeten Dehnfugenbänder keine ausreichende Verformungsstabilität aufwiesen, wurden die angrenzenden Pflastersteine aus Naturstein durch die einwirkenden Schubkräfte verschoben. Dabei entstanden Abrisse im Fugenmörtel.

Dehnfugenbänder müssen ausreichend verformbar sein, damit sie die z. B. durch Temperatureinflüsse entstehenden Verformungen aufnehmen können. Gleichzeitig müssen sie aber auch als eine Art Rückenstütze für die Pflastersteine der gebundenen Pflasterdecke wirken und aus diesem Grund auch eine ausreichende Verformungs- und Lagesstabilität aufweisen.

Folglich müssen Dehnfugenbänder druckstabil und gleichzeitig verformbar sein und sich nach der Beanspruchung der Pflasterdecke wieder vollständig zurückstellen. Erfüllen Dehnfugenbänder diese Anforderungen nicht, dann entstehen zum Teil erhebliche Abrisse im Bereich der gebundenen Fugen, wie sie beispielhaft in Bild 79 dargestellt sind.



Bild 79: Risse in gebundenen Pflasterdecken

3.3 Auswittern des Fugenmaterials

Außer Rissen sind in gebundenen Pflasterdecke häufig auch ausgewitterte Fugen anzutreffen. Diese Schäden sind häufig auf die Verwendung ungeeigneter Fugenmörtel zurückzuführen. Oftmals liegen auch Planungs- und Ausführungsfehler vor.

3.3.1 Mörtelzusammensetzung

Im folgenden Beispiel sollte ein Schaden an einer innerstädtischen, teilweise mit PKW befahrenen Flächenbefestigung sachverständig beurteilt werden. Seitens des Auftraggebers wurde die Ausführungsqualität der Pflasterdecke reklamiert, da deren Fugen waren großflächig ausgewittert waren (siehe Bild 80).

In der Mitte der Pflasterdecke befand sich eine in gebundener Bauweise ausgeführte Entwässerungsrinne aus Betonplatten und einem in gebundener Bauweise ausgeführten Natursteinläufer zur Begrenzung der Rinne. Auch die Rand einfassung der Pflasterdecke vor den Gebäuden bzw. Grundstücken war in gebundener Bauweise erstellt worden, während die dazwischen liegenden Teilflächen in ungebundener Bauweise ausgeführt waren.

Gemäß der Ausschreibung sollte zur Herstellung der Pflasterdecke ein Mörtel der Mörtelgruppe MG III als Fugenmörtel verwendet werden.



Bild 80: Pflasterdecke mit einer mittig ausgeführten gebundenen Entwässerungsrinne aus Betonplatten und einem Natursteinläufer

Seitens des Bauherrn wurde in erster Linie die geringe Eigenfestigkeit des Fugenmaterials reklamiert, das sich ohne großen Kraftaufwand mit einem Schlüssel aus der Fuge herauskratzen ließ (siehe Bild 81).



Bild 81: Fugenmörtel mit geringer Festigkeit

Der Fugenmörtel der Natursteineinfassung der gebundenen Rinne zeigte bereits deutliche Risse sowie in Teilbereichen ein starkes Herauswittern (siehe Bild 82).



Bild 82: Risse im und Ausbrüche am Fugenmörtel

Bei der Inaugenscheinnahme der Rinne wurde festgestellt, dass die Fugenbreiten zwischen den Betonplatten zum Teil sehr stark variierten, wobei minimale Fugenbreiten von knapp über 1 mm vorgefunden wurden (siehe Bild 83).



Bild 83: Fugen mit sehr geringer Fugenbreite

Hierzu passend zeigte sich im Rahmen der Flächenöffnungen, dass ein großer Teil der Fugen zwischen den Betonplatten der Rinne nur in den obersten 2 cm mit einem erhärteten Fugenmörtel gefüllt waren. Wie Bild 84 zeigt, waren die Fugen in den darunter befindlichen Bereichen augenscheinlich »nur« mit Brechsand gefüllt.



Bild 84: Fugenfüllung zwischen den Betonplatten und den Natursteinen bzw. zwischen den Betonplatten

Die geringen Fugenbreiten und die schlechte Verarbeitbarkeit des Fugenmörtels (Mörtel der Mörtelgruppe MG III) waren der Grund für die mangelhafte Fugenfüllung und den schlechten Verbund zwischen den Betonplatten. Die vor Ort entnommenen Proben fielen während der Probenahme auseinander.

Hinsichtlich des Verbundverhaltens zeigten die Fugen zwischen den Betonplatten und den Natursteinen ein vergleichbar schlechtes Bild. Auch in diesen Flächen fielen die Proben nach der Probenahme meist sofort auseinander.

Im Ergebnis war festzustellen, dass im Objekt diverse Ausführungs- und Planungsfehler vorlagen, die zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit der in gebundener Ausführung erstellten Teilstufen führten:

1. Die Festigkeit des Fugenmörtels entsprach nach dem visuellen Eindruck zwar den Vorgaben der Ausschreibung (Mörtel der Mörtelgruppe MG III), war aber für den geplanten Verwendungszweck nicht geeignet.
2. Der Fugenmörtel war in Teilstufen bereits deutlich gerissen und zeigte erste Verwitterungsscheinungen. Wegen der geringen Festigkeit und der mit hoher Wahrscheinlichkeit fehlenden Frost-Tausalz-Beständigkeit des Fugenmörtels war mit einem Fortschreiten dieser Schäden zu rechnen. Eine angemessene Dauerhaftigkeit dieser Pflasterdecke war nicht gegeben.
3. Die Natursteine, die bei der Herstellung der gebundenen Natursteinläufe eingesetzt wurden, waren zum Teil nicht fachgerecht vorsortiert, woraus große Schwankungen bei den Fugenbreiten resultierten.

4. Die Fugenbreiten zwischen den Betonplatten waren über große Teileflächen viel zu gering, sodass eine vollständige Füllung der Fugen mit dem zementären Fugenmörtel nicht möglich war.
5. Wie die Ergebnisse der Flächenöffnungen zeigten, waren die Fugen auch in Bereichen mit größeren Fugenbreiten nicht fachgerecht gefüllt. Ursächlich war dies darauf zurückzuführen, dass Mörtel der Mörtelgruppe MG III verwendet wurden, welche im Gegensatz zu speziell entwickelten Fugenmörteln keine selbstverlaufenden Eigenschaften aufweisen. Während speziell rezeptierte Fugenmörtel auf die Pflasterdecke gegossen werden können und sich hier bei sachgerechter Fugenbreite annähernd selbsttätig in den Fugen verteilen, müssen Mörtel der Mörtelgruppe MG III üblicherweise in die Fuge gestopft werden, was nur bei sehr sorgfältiger Ausführung in angemessener Art und Weise gelingt.
6. Der Verbund zwischen den Befestigungselementen (Betonplatten und Natursteine) und dem Fugen- bzw. Bettungsmörtel war nach visuellem Befund größtenteils nicht ausreichend.

Der beschriebene Schadensfall zeigt ein Bild, das bei schadensbehafteten und in gebundener Ausführung erstellten Pflasterdecken häufig anzutreffen ist. Viele Planer und Ausführenden haben keine oder zu geringe Erfahrung mit der gebundenen Bauweise. Sie gehen hohe Risiken ein, indem sie derartige Objekte ohne die erforderliche Fachkompetenz erstellen. Häufig resultieren dabei Pflasterdecken mit erheblichen Einschränkungen an die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit.

Ein besonders extremes Beispiel für eine Fehlplanung stellt der nachfolgend dargestellte Schadensfall dar, bei dem ein Wasserspielplatz in vollgebundener Ausführung erstellt wurde.



Bild 85: Ein in vollgebundener Bauweise erstellter Wasserspielplatz

Bei diesem Objekt sollte, trotz der zu erwartenden hohen Wassersättigung der Pflasterdecke, gemäß der Ausschreibung ein Trasskalk zur Herstellung des Fugen- und Bettungsmörtels eingesetzt werden.

Es ist bekannt, dass Trasskalk zur Herstellung von gebundenen Pflasterdecken ungeeignet ist. Das ausführende Unternehmen meldete deshalb Bedenken an.

Das Planungsbüro wies das Unternehmen darauf hin an, statt eines Trasskalks einen Trasszement zur Herstellung des Fugen- und Bettungsmörtels zu verwenden. Das Planungsbüro sah keine Notwendigkeit bei dem vorliegenden Anwendungsfall einen Fugenmörtel z. B. gemäß dem FGsv-Arbeitspapier M FP einzusetzen, dessen Verwendung vom ausführenden Unternehmen empfohlen wurde. Im Ergebnis kam zur Herstellung des Fugen- und Bettungsmörtels stattdessen ein Portlandkompositzement »TrHOZ 32,5 N LH HS NA« zur Anwendung.

Vorgaben an die Solleigenschaften des Fugenmörtels z. B. hinsichtlich der Druckfestigkeit, der Haftzugfestigkeit oder des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands sowie zur Wasserdurchlässigkeit des Fugenmörtels gab es auch nach der Bedenkenanmeldung des Bauunternehmers nicht.

Demzufolge kamen Fugen- und Bettungsmörtel zur Anwendung, die keine entsprechenden Eignungsnachweise besaßen und die auch die erforderlichen Eigenschaften tatsächlich nicht aufwiesen. Frostschäden am Fugenmörtel und Zermürbungen des Bettungsmörtels waren die Folge (siehe Bild 86 und Bild 87).



Bild 86: Verwitterung des Fugenmörtels



Bild 87: Ausspülung des Fugenmörtels

Aus Kostengründen wurde darüber hinaus, trotz der Bedenkenanmeldung des Bauunternehmens, auf die Verwendung einer Haftbrücke verzichtet, was in der Folge zu massiven Verbundstörungen zwischen dem Bettungsmörtel und den Natursteinen führte (siehe Bild 88).



Bild 88: Geringer Verbund zwischen dem Fugenmörtel und den Natursteinen

Falsch war auch, die gesamte Konstruktion auf einer wasserundurchlässigen Betonplatte zu planen und auf die Verwendung eines geeigneten Entwässerungssystems z. B. in Form einer Drainagematte zu verzichten, sodass sich das eindringende Wasser im Bettungsmörtel (siehe Bild 89) und zum Teil auch im Fugenmörtel anreicherte.

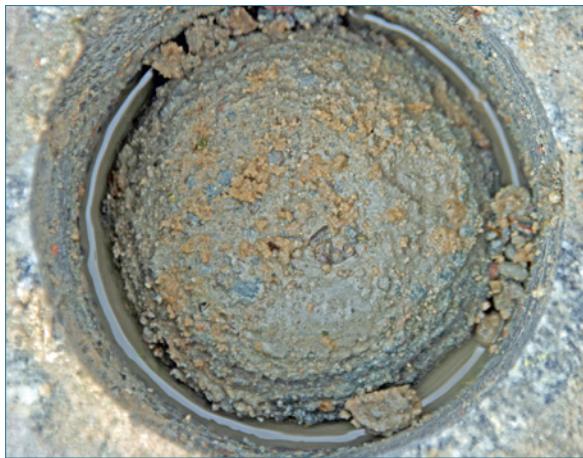


Bild 89: Nicht ausreichend wasserdurchlässiger Bettungsmörtel

In der Folge setzten sich die Entwässerungsrohre der Bodenplatte aufgrund der Bildung von Aussinterungen durch die hohen Feuchtegehalte in der Bettung und die damit in Verbindung stehende Auslaugung des Bettungsmörtels zu, sodass regelmäßige Wartungsarbeiten an den Abläufen der Bodenplatte erforderlich wurden.

Auch in diesem Fall kamen wieder diverse Fehler in der Planung bzw. Bauleitung sowie in gewissen Grenzen auch der Ausführung (auf diese wurde an dieser Stelle nicht eingegangen) zusammen, die in der Summe zu den oben beschriebenen Schäden geführt haben, die zur besseren Übersichtlichkeit nachfolgend nochmals zusammengestellt sind:

Fehler in der Planung und Bauleitung

1. Es wurde keine sachgerechte zweite Entwässerungsebene in der Konstruktion geplant. In der Folge wurde das in die Konstruktion eingedrungene Wasser (was auch bei der Ausführung einer gebundenen Bauweise unvermeidbar ist) nicht sachgerecht aus der Konstruktion abgeleitet, sodass der Bettungsmörtel einer erhöhten Frost- und ggf. auch Frost-Tausalz-Bearbeitung ausgesetzt wurde.
2. Der gemäß dem Leistungsverzeichnis zur Herstellung der Pflasterdecke zu verwendende »Trasskalkmörtel« ist ungeeignet zur Herstellung derartiger Pflasterdecken. Auch nachdem der Bauunternehmer Bedenken angemeldet hatte, sah es das Planungsbüro nicht als erforderlich an, spezielle Fugen- und Bettungsmörtel zu verwenden, dafür kam anstelle des Trasskalkes ein Portlandkompositzement (ohne Festschreibung weiterer Anforderungen) zur Herstellung des Bettungs- und Fugenmaterials zur Anwendung.
3. Der Planer hätte die Materialqualität sowohl des Fugen- als auch des Bettungsmörtels genauer definieren müssen. Hierbei hätte er sinnvollerweise auf die bekannten Regelwerke für die gebundene Bauweise Bezug genommen [21], [24]. In diesem Fall wären deutlich geeignete Fugen- und Bettungsmörtel mit erheblich höheren Qualitäten (Druckfestigkeit, Verbundverhalten und Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand) zur Anwendung gekommen.

3.3.2 Bewegungsfugen

Auch das Thema der fehlenden Bewegungsfugen spielt, wie das nächste Beispiel zeigt, bei der Rissanfälligkeit von in gebundener Bauweise erstellten Pflasterdecken eine besondere Rolle.

Bei der nachfolgend beschriebenen Fläche handelt es sich um eine nicht befahrene Pflasterdecke aus Betonplatten, die in Mischbauweise aus mit einem Harz verfügten Betonplatten auf einem ungebundenen Bettungssplitt (2/5 mm) erstellt wurde. Trotz einer Länge von über 40 m wurden bei dieser Pflasterdecke Bewegungsfugen weder geplant noch ausgeführt (Bild 90).



Bild 90: Gebundene Pflasterdecke ohne die erforderlichen Bewegungsfugen

Selbst im Bereich der Einbauteile wurde der Plattenbelag mit dem Fugenmörtel direkt an die aufgehenden Bauteile angearbeitet (siehe Bild 91), ohne Bewegungsfugen vorzusehen.



Bild 91: Fehlende Bewegungsfuge im Bereich eines aufgehenden Bauteils

Die Bildung von Rissen in der Pflasterdecke sowie von Materialzerstörungen am Fugenmörtel war die logische Folge der thermischen Spannungen, die bei dieser Pflasterdecke zu erwarten waren und auch auftraten. In der Folge verlor der Fugenmörtel, wie in Bild 92 dargestellt, seine Festigkeit und witterte im Ergebnis teilweise aus der Fuge heraus.



Bild 92: Zerstörung des Fugenmörtels

3.4 Verfärbungen an gebundenen Pflasterdecken

Die Grundlagen der Entstehung von Verfärbungen bei gebundener Bauweisen wurden bereits im ersten Band thematisiert und sind sehr ausführlich auch im Leitfaden Steinkonservierung nachzulesen [L 37, L 38]. Auf besondere Fallbeispiele wird in Abschnitt 5.4 dieses Buches noch eingegangen.

Im Folgenden wird ein besonderer Fall beschrieben, der im Zusammenhang mit Dehnfugen steht. In Bild 93 ist eine Pflasterdecke zu sehen, die in gebundener Bauweise aus Natursteinplatten aus hellem Granit hergestellt wurde. An den Platten sind teilweise starke Verfärbungen zu erkennen.



Bild 93: Pflasterdecke mit Verfärbungen an Natursteinplatten

Die Verfärbungen waren über große Flächenanteile massiv ausgeprägt und beeinträchtigten die Optik der Pflasterdecke erheblich (siehe Bild 94).



Bild 94: Ausgeprägte optische Beeinträchtigung der Natursteinplatten

Erste Vortests ergaben, dass es sich bei den hellen Verfärbungen auf den Natursteinplatten nicht um carbonatische Verbindungen handelte. Des Weiteren fiel im Rahmen des Ortstermins auf, dass sich die Aufhellungen ausschließlich auf den Natursteinplatten fanden, die in direkter Nachbarschaft zu den Bewegungsfugen eingebracht worden waren (siehe Bild 95).



Bild 95: Pflasterdecke mit Verfärbungen der Natursteinplatten in der Nachbarschaft zu den Bewegungsfugen

Zur Beurteilung der Verfärbungsursache wurde die Pflasterdecke an mehreren Stellen geöffnet und der Aufbau begutachtet. Die gebundene Pflasterdecke wurde auf der Decke einer Tiefgarage erstellt. Die Konstruktion bestand aus einer Betonplatte **und einer darunter befindlichen Drainagematte**, wobei das Wasser über mit Styroporstreifen versehene Schlitze

zur Drainage geleitet werden sollte. Dieser Aufbau war erwartungsgemäß nicht geeignet, das eingedrungene Wasser in ausreichender Geschwindigkeit abzuleiten. Vielmehr stand die gesamte Anlage im Wasser (siehe Bild 96), sodass Verfärbungen konstruktionsbedingt vorprogrammiert waren.



Bild 96: Mangelhafte Entwässerungsfähigkeit der Konstruktion



Auf Basis der im Rahmen des Ortstermins gewonnenen Erkenntnisse waren die Verfärbungen an den Natursteinplatten auf die Einwanderung von Bestandteilen des Materials der Bewegungsfugen (mit hoher Wahrscheinlichkeit der Weichmacher) zurückzuführen. Weitergehende Untersuchungen wurden nicht beauftragt, sodass die konkrete Verfärbungsursache nicht ermittelt werden konnte.

3.5 Entwässerungsrinnen und Einfassungen

In gebundener Bauweise ausgeführte Rinnen stellen einen Sonderfall der gebundenen Bauweise dar. Bei gebundenen Rinnen wird ein Beton in erdfeuchter Konsistenz als Fundamentbeton eingebracht. In diesen noch frischen Beton sind die Rinnensysteme unter Verwendung einer Haftbrücke zu verlegen und mit einem Fugenmörtel zu verfügen.

Häufig treten bei dieser Bauweise Schäden auf, wenn der Fundamentbeton keinen ausreichenden Verbund zur gebundenen Rinne aufweist und/oder wenn keine oder keine funktionsfähigen Bewegungsfugen in der Rinne enthalten sind.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen zwei exemplarische Schäden an Entwässerungsrinnen.

3.5.1 Entwässerungsrinnen

Bei dem ersten beschriebenen Fall wurde eine Rinne in gebundener Bauweise in einer Anliegerstraße auf einem Fundamentbeton der Güteklaasse B 25 (dies entspricht in etwa einem heutigen Beton der Güteklaasse C 20/25) aufgebracht. Bereits kurze Zeit nach der Fertigstellung der Rinnenanlage traten in regelmäßigen Abständen Risse auf (siehe Bild 97).



Bild 97: Rinnenanlage mit in regelmäßigen Abständen auftretenden Rissen

Obwohl es sich im vorliegenden Fall um ein »ruhige« Anliegerstraße handelte, wurde die Pflasterdecke neben PKW auch immer wieder mit LKW (Müllabfuhr usw.) befahren, wie Bild 98 zeigt.



Bild 98: Nutzung der Pflasterdecke durch LKW

Im Rahmen der Flächenöffnung zeigte sich, dass der unterhalb der Rinne eingebrachte Fundamentbeton erwartungsgemäß in sehr trockener Konsistenz hergestellt worden war und dass keinerlei Verbund zwischen dem Fundamentbeton und der gebundenen Rinne vorlag (siehe Bild 99). Eine Kontaktschlämme kam nicht zur Anwendung.

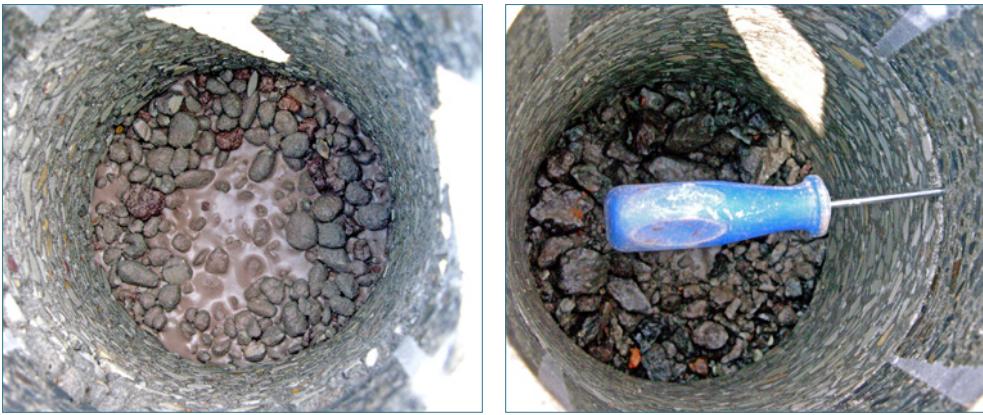


Bild 99: Fundamentbeton unter der gebundenen Rinne

Ursächlich war die Rissbildung in der gebundenen Rinne darauf zurückzuführen, dass der Fundamentbeton keinen geeigneten Verbund zur gebundenen Rinne aufwies, weshalb diese die aufgebrachten Lasten nicht sachgerecht in die Unterlage abtragen konnte. Der schlechte Verbund zwischen der gebundenen Rinne und dem Fundamentbeton resultierte aus der fehlenden Haftbrücke und der langen Lagerungszeit des Betons auf der Baustelle.

Es ist üblich, dass derartige Betone in Transportbetonwerken hergestellt z. B. mit einem Kipper zur Baustelle geliefert werden und hier über längere Zeit (zum Teil auch bei hoher Außentemperatur und bei deutlichem Wind) ungeschützt lagern. Hierbei wird dem Beton das zur Hydratation erforderliche Wasser entzogen, er »verdurstet«.

Anschließend werden diese Betone, die häufig schon merklich angesteift sind, eingebracht und die Rinnensysteme darauf verlegt. Fast immer resultiert ein Fundamentbeton, der keinen ausreichenden Verbund zum Rinnensystem aufweist und der entsprechend schadensträchtig ist.

Einige Verarbeiter entscheiden sich für die Verwendung verzögerter Betone, welche die Gefahr des »Verdurstens« des Bettungsmörtels reduzieren sollen. Dies ist allerdings ein Irrglaube.

Verzögerer verlängern die Verarbeitungszeit der Betone, sie sind aber nicht in der Lage, die Gefahr des »Verdurstens« zu reduzieren. Ganz im Gegenteil hat die Verzögerung des Betons sogar zur Folge, dass das zur Hydratation erforderliche Wasser erst sehr viel später chemisch gebunden wird und aus diesem Grund sogar größere Wassermengen an die Umgebung abgegeben werden. Die Gefahr des Verdurstens steigt deshalb im Regelfall bei Verwendung verzögerter Betone an.

3.5.2 Rückenstützen

Einen weiteren Sonderfall der gebundenen Bauweise stellen Randeinfassungen aus Rückenstützenbetonen dar. Bei diesen treten immer wieder Schäden dadurch auf, dass die Bauunternehmer die Bedeutung der Qualität dieser Betone in der Praxis massiv unterschätzen. So werden sie nicht nur lange dem Einfluss von Wind und Wetter (siehe Abschnitt 3.5.1) ausgesetzt, darüber hinaus werden sie üblicherweise nicht in angemessener Weise verdichtet.

Normalerweise werden Rückenstützenbetone (ggf. nach langer Lagerzeit auf der Baustelle) gegen das Erdreich betoniert und anschließend nur mit der Schaufel »verdichtet« (siehe Bild 100).



Bild 100: Übliche Verdichtung von Rückenstützenbetonen

Geringe Betonqualitäten und ein schlechter Verbund zwischen dem Rückenstützenbeton und der Rinne sind die logische Folge, sodass die Rückenstützen den über den Fahrverkehr in die Konstruktion eingeleiteten Schubkräften nur einen geringen Widerstand entgegensetzen können. Schäden durch Verschiebungen der Einfassung stellen das Ergebnis dar (siehe Bild 101).



Bild 101: Verschiebungen aufgrund eines nicht lage-stabilen Rückenstützen-betons

Vor dem Hintergrund derartiger Schäden erscheint es unglücklich, dass in der neuen DIN 18318 keine Anforderungen an die Druckfestigkeit der Rückenstützenbetone in Bauwerken gestellt werden. Stattdessen wird sich in der neuen DIN 18318 in Zukunft der Hinweis finden, dass

- zur Herstellung von Rückenstützen bei befahrenen Flächen ein Beton der Güteklaasse C 20/25 und
- zur Herstellung von Rückenstützen bei nicht befahrenen Flächen ein Beton der Güteklaasse C 16/20

zu verwenden ist. Da hohe Betongüten im Rahmen der Bestellung nicht automatisch hohe Qualitäten im Bauwerk nach sich ziehen, erscheint der Weg der neuen ZTV Pflaster-StB deutlich sinnvoller, die nach derzeitigem Stand im Bauwerk eine Betondruckfestigkeit von 12 MPa (das entspricht einer Druckfestigkeit von 12 N/mm²) empfiehlt.

Aus technischer Sicht ist unklar, ob eine Rückenstütze im Objekt tatsächlich eine Druckfestigkeit von 12 N/mm² aufweisen muss, oder ob auch geringere Festigkeiten als sachgerecht zu bewerten sind. Die Festschreibung von Bauwerksfestigkeiten ist aber in jedem Fall sinnvoll.

3.6 Festigkeitsnachweis an Bauwerksproben aus gebundenen Pflasterdecken

Treten Risse oder andere Schäden in vollgebundenen Konstruktionen auf, so stellt sich üblicherweise die Frage, ob die Materialien in der Konstruktion regelwerkskonforme bzw., wenn keine Regelwerksanforderungen bestehen, erwartungsgemäße Eigenschaften aufweisen. Konkret wird der Sachverständige in diesen Fällen nicht selten beauftragt, Aussagen zu den im Objekt vorliegenden Druck- und/oder Verbundfestigkeiten der Baustoffe zu machen und deren Eignung für den Verwendungszweck zu beurteilen.

3.6.1 Verbundfestigkeit

Die Bewertung der Verbundfestigkeit von Bauwerksproben ist auf Basis des vorliegenden Regelwerkes ohne weiteres möglich (siehe Tabelle 12 für Bettungsmörtel und Tabelle 13 für Fugenmörtel).

	Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Pflasterdecke [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	≥0,8 ^{a)}		
ZTV Wegebau	k. A.	k. A.	k. A.
DNV-Richtlinie	k. A.	≥0,4 ^{a)}	≥0,4 ^{a)}
Zukünftige ATV DIN 18318	ohne Verbundverlust	≥0,4 ^{a)}	≥0,5 ^{a)}

a) Geprüft an 150 mm Bohrkernen, die aus der Pflasterdecke entnommen wurden.

Tabelle 12: Anforderungen an die im Objekt zu erreichenden Haftzugfestigkeiten zwischen dem Bettungsmörtel und dem Stein bzw. der Platte

	Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Pflasterdecke [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	≥0,8 ^{a)}		
ZTV Wegebau	Ohne Verbundverlust	≥0,4 ^{a)}	≥0,5 ^{a)}
DNV-Richtlinie	k. A.	k. A.	k. A.
Zukünftige ATV DIN 18318	ohne Verbundverlust	≥0,4 ^{a)}	≥0,5 ^{a)}

a) Geprüft an 150 mm Bohrkernen, die aus der Pflasterdecke entnommen wurden.

Tabelle 13: Anforderungen an die im Objekt zu erreichenden Haftzugfestigkeiten zwischen dem Fugenmörtel und dem Stein bzw. der Platte

Die genannten Verbundfestigkeiten für die Beanspruchungsklassen bei Befahrung mit Fahrzeugen sind bei Verwendung eines Mörtels der Mörtelgruppe MG III im Objekt mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht zu erzielen.

3.6.2 Druckfestigkeit des Bettungsmörtels

Gemäß dem einschlägigen technischen Regelwerk muss der Bettungsmörtel im Objekt auch gewisse Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit erreichen (siehe Tabelle 14).

	Anforderungen an die Druckfestigkeit der Produkte [N/mm ²]		
	begehbar	Fahrzeuge bis 3,5 t	Fahrzeuge über 3,5 t
FGSV-Arbeitspapier M FP	≥25,0 (Einzelwert ≥20,0) ^{a)}		
ZTV Wegebau	≥5 ^{a), b)}	≥10 ^{a), b)}	≥15 ^{a), b)}
DNV-Richtlinie	k. A	≥5 ^{a), b)} (Einzelwert ≥4)	≥8 ^{a), b)} (Einzelwert ≥6)
Zukünftige ATV DIN 18318	≥4 ^{a), b)}	≥10 ^{a), b)}	≥15 ^{a), b)}

a) Geprüft an gesondert hergestellten Proben.
b) In Abhängigkeit von der konkreten Beanspruchung

Tabelle 14: Anforderungen an die im Objekt zu erreichende Druckfestigkeit des Bettungsmörtels

Der Nachweis der Druckfestigkeit hat gemäß allen genannten Regelwerken aber nicht an den Bauwerksproben selber, sondern unter Verwendung der DIN EN 12390-3 oder der DIN EN 1015-11 an gesondert hergestellten Proben zu erfolgen, die »in Anlehnung an zu erwartende Baustellenbedingungen« verdichtet werden sollten.

Bei strenger Anwendung dieser Regelwerke wird demnach keine Bauwerksfestigkeit gefordert. Für den Sachverständigen stellt sich somit die Frage, wie die Druckfestigkeit von Bauwerksproben zu bewerten ist. Müssen die Proben im Objekt gar keine Druckfestigkeit oder dieselben Druckfestigkeit wie die gesondert hergestellten Proben erreichen oder hat der Sachverständige die an den Bauwerksproben ermittelten Druckfestigkeiten auf Basis seiner eigenen Erfahrungen zu bewerten? Oder ist der Aufbau immer ungeeignet, wenn Verschiebungen der Randeinfassungen auftreten?

Abschließend ist die Frage zu stellen, welche Proben aus dem Bettungsmörtel des Objektes zum Nachweis der Druckfestigkeit zu entnehmen sind. Üblicherweise greift man bei dem Druckfestigkeitsnachweis auf die Entnahme von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 100 oder 150 mm zurück. Mit dem genannten Regelwerk stimmt diese Vorgehensweise aber nicht überein.

Noch interessanter ist der entsprechende Inhalt der DNV-Richtlinie, in der sich folgende Formulierung findet:

»Druckfestigkeit [$f_{c,cyl}$] in Anlehnung an DIN EN 12390-3 (Anmerkung: hierbei handelt es sich um eine Prüfung an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm) im eingebauten Zustand am Zylinder mit Nenndurchmesser 150 mm und Höhe von (50 ± 10) mm«.

Es ist unklar, wie diese Formulierung zu verstehen ist. Soll der Bohrkern 150 mm/50 mm gemäß den Prüfvorgaben (z. B. Prüfgeschwindigkeit) der DIN EN 12390-3 geprüft werden? Und sind die ermittelten Werte gemäß der o. g. Tabelle zu bewerten?

Hierbei wäre zu beachten, dass die Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 50 mm allein aus prüftechnischen Gründen deutlich höher sein sollte, als die Druckfestigkeit desselben Mörtels, wenn diese an einem Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm bestimmt wird.

Diese Auswahl an Anforderungen an die Bauwerksfestigkeit von Bettungsmörteln zeigt, dass keinerlei Einigkeit zwischen den genannten Regelwerksetzern vorliegt.

Während bei dem FGSV-Arbeitspapier M FP und der ZTV Wegebau gesonderte Proben zu prüfen sind und höhere Anforderungen an die Bauwerksfestigkeit gestellt werden, sind bei der DNV-Richtlinie sinnvollerweise Bauwerksproben zu entnehmen.

Bei den Verfahren gemäß dem FGSV-Arbeitspapier M FP und der ZTV Wegebau ist in jedem Fall kritisch anzumerken, dass keine Korrelation zwischen den Bauwerksproben und den auf der Baustelle gesondert hergestellten Proben zu ziehen ist. Die DNV-Richtlinie geht aus technischer Sicht diesbezüglich zwar den besseren Weg, indem hier die tatsächlichen Bauwerksfestigkeiten gefordert werden. Allerdings sind die genannten Sollfestigkeiten, gerade unter Berücksichtigung der sehr gedrungenen Prüfkörpergeometrie, doch sehr gering.

3.6.3 Druckfestigkeit des Fugenmörtels

Anforderungen an die Druckfestigkeit des Fugenmörtels im Bauwerk werden in den einschlägigen Technischen Regelwerken nicht gestellt.

3.6.4 Druckfestigkeit des Fundamentbetons von Rinnen

Die Anforderungen an die Druckfestigkeit der Fundamentbetone von gebundenen Rinnen variieren in den einschlägigen Technischen Regelwerken sehr stark. So soll die Druckfestigkeit des Fundamentbetons nach der aktuellen ATV DIN 18318 und dem FGSV-Merkblatt M FP (Fassung 2015) mindestens bei $8,0 \text{ N/mm}^2$ liegen, während bei befahrenen Systemen eine Druckfestigkeit von mindestens $15,0 \text{ N/mm}^2$ vorhanden sein muss.

Abweichend hiervon forderte das alte FGSV-Merkblatt M FP 1 (Fassung 2003), dass zur Herstellung des Fundamentbetons von Rinnensystemen ein Beton der Güteklaasse C 12/15 verwendet werden sollte. Gemäß dem FGSV-Merkblatt W2 (Fassung 2007) war der Fundamentbeton von Rinnensystemen im Gegensatz dazu unter Verwendung eines Betons der Festigkeitsklasse C 20/25 herzustellen.

Hierzu passend wird die zukünftige ATV DIN 18318 die Verwendung eines Betons der Festigkeitsklasse C 20/25 zur Herstellung von befahrenen Konstruktionen (bei nicht befahrenen Konstruktionen ist ein C 16/20 zu verwenden) verlangen, ohne weitere Anforderungen an die Bauwerksfestigkeit des Fundamentbetons zu stellen.

Im Gegensatz dazu wird in der zukünftigen ZTV Pflaster keine Anforderung an die Festigkeitsklasse des zu verwendenden Betons gestellt, dafür muss der Fundamentbeton im Bauwerk gemäß der zukünftigen ZTV Pflaster eine Druckfestigkeit von >12 MPa aufweisen. Wie ein Sachverständiger mit diesen unterschiedlichen Anforderungen umzugehen hat, wird sich erst in der Zukunft entscheiden.

3.6.5 Druckfestigkeit des Rückenstützenbetons von Bordsteinanlagen

Das oben für die gebundenen Rinnen beschriebene Bild der normativen Vorgaben gilt auch für Rückenstützen von Bordsteinanlagen. Gerade auf die Rückenstützen wirken aber hohe Schubkräfte ein, sodass eine ausreichende Qualität der Rückenstützen eine zwingende Voraussetzung für eine dauerhafte Haltbarkeit der Pflasterdecke darstellt.

Gleichzeitig liegt bei den ausführenden Firmen nur selten eine ausreichende Sensibilität für die erforderliche Qualität der Rückstütze vor, weshalb in den Objekten gerade bei den Rückenstützen häufig Betone vorgefunden werden, die nur sehr geringe Festigkeiten aufweisen. Der Sachverständige hat hier üblicherweise die Frage zu beantworten, ob die Dauerhaftigkeit der Konstruktion gegeben ist. Derzeit werden nur in ATV DIN 18318 und dem FGSV-Merkblatt M FP (Fassung 2015) Vorgaben an die Bauwerksfestigkeit genannt. Wie bereits erläutert wurde, werden die Anforderungen an die Bauwerksfestigkeit mit Einführung der zukünftigen ATV DIN 18318 aus dieser verschwinden und es werden nur Vorgaben an die zu verwendende Betonqualitäten im Regelwerk verbleiben.

Aus Sicht eines Sachverständigen ist es zwingend erforderlich, dass im einschlägigen Regelwerk Grundlagen zur Bewertung der Bauwerksfestigkeit festgelegt werden. Auch die Ausführenden und die Bauherrn sollten es begrüßen, wenn entsprechende Anforderungen festgelegt werden, da nur so eine gewisse Rechtssicherheit für die Vertragspartner vorliegt.

Auf welcher Basis kann die zu geringe Qualität eines Rückenstützenbetons in der Zukunft bewertet werden, wenn fast alle einschlägigen Regelwerke (glücklicherweise wird die Anforderung an die Bauwerksfestigkeit in der zukünftigen ZTV Pflaster enthalten sein) nur noch theoretische Festigkeiten (geprüft an gesondert hergestellten Proben) verlangen?

Resultieren bei Einsatz höherwertiger Betone tatsächlich höherwertige Bauteile im Objekt? Warum sind bei befahrenen Flächen höherwertige Betone einzusetzen, wenn im Objekt keine höheren Qualitäten erreicht werden müssen? Hilft es tatsächlich, einen höherwertigen Beton zu bestellen, wenn dieser auf der Baustelle verdurstet?

Im Ergebnis führt die Rücknahme der Anforderungen an die Bauwerksfestigkeit der Betone nur dazu, dass Sachverständige entsprechende Schäden allein auf Basis ihrer subjektiven Erfahrungen bewerten müssen. Ist es nicht besser, wenn größere Fachkreis derartige Anforderungen festlegen? Nur weil keine Anforderungen im Regelwerk festgelegt werden, heißt das doch nicht, dass die Baustoffe im Objekt keine Festigkeiten aufweisen müssen.

Das Fehlen von Regelwerksanforderungen führt demnach nur dazu, dass die Verantwortung für die Festlegung der erforderlichen Druckfestigkeiten von den Kreisen der Fachleute aus den Regelwerksgremien auf die einzelnen Sachverständigen übertragen werden, was bei einem derartigen Thema sicher nicht sinnvoll ist.

Vor dem Hintergrund dieses Regelwerkschaos stellt sich die Frage, wie eine sachgerechte Vorgehensweise zur Bewertung der im Bauwerk tatsächlich vorhandenen Druckfestigkeit der Baustoffe aussehen könnte?

- Entnahme von Bohrkernen aus den Rückenstützen,
- augenscheinliche Untersuchung der Bohrkerne hinsichtlich der Betonzusammensetzung, dem Auftreten von Zementlinsen und möglichen Hinweisen auf »Verdurstungserscheinungen«,
- Bestimmung der Druckfestigkeit und der Rohdichte des Betons der Bohrkerne,
- Beurteilung, ob die Verdichtung des Rückenstützenbetons in einer erwartungsgemäßen Größenordnung liegt?

Darüber hinaus sollte der Sachverständige anhand der vorliegenden Unterlagen prüfen, wann der Beton geliefert und wann er eingebaut wurde.

Selbst wenn all diese Erkenntnisse vorliegen, wird sich der Sachverständige in Einzelfällen schwer tun, zu beurteilen, ab welcher Druckfestigkeit die Rückenstütze eine ausreichende Standsicherheit und Lagestabilität bei der bestehenden Beanspruchung aufweist. Hier ist der Sachverständige derzeit allein auf seine Erfahrung angewiesen.

4 Anwendungsgrenzen bei außergewöhnlichen Beanspruchungen

Bei Flächen, die für extreme Nutzungen ausgelegt sein müssen, stellt sich die Frage nach den Anwendungsgrenzen der Pflasterbauweise.

Regelaufbauten für Pflasterdecken im Straßenbau sind in der RStO-StB vorgegeben. Die Richtlinie enthält Basisvorgaben für den konstruktiven Aufbau und die Dimensionierung der Schichten (siehe Tabelle in Bild 102).

Zeile	Belastungsklasse B [Mio.]	(Dickeangaben in cm; ▼ E _u Mindestwerte in MPa)										
		Bk100	Bk32	Bk10	Bk3,2	Bk1,8	Bk1,0	Bk0,3				
	Dicke des frostsicheren Überbaus ¹⁰	55 65 75 85 55 65 75 85 55 65 75 85	> 32 > 10 - 32 > 3,2 - 10 > 1,8 - 3,2 > 1,0 - 1,8 > 0,3 - 1,0 ≤ 0,3									
1	Schottertragschicht auf Frostschutzschicht ¹⁰	Pflasterdecke ¹⁰	▼180 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	
	Schottertragschicht		▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 32	▼120 ¹⁰ 32	▼120 ¹⁰ 32	▼100 ¹⁰ 27	▼120 ¹⁰ 27	
	Frostschutzschicht		▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	
	Dicke der Frostschutzschicht		- - 26 ¹⁰ 36	- - 26 ¹⁰ 36	- - 26 ¹⁰ 36	- - 26 ¹⁰ 36	- - 33 ¹⁰ 43	- - 33 ¹⁰ 43	- - 18 ¹⁰ 28	- - 18 ¹⁰ 28	- - 18 ¹⁰ 28	
2	Kiestragschicht auf Frostschutzschicht	Pflasterdecke ¹⁰	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 25	▼120 ¹⁰ 25	▼100 ¹⁰ 20	▼120 ¹⁰ 20	
	Kiestragschicht		▼120 ¹⁰ 30	▼120 ¹⁰ 30	▼120 ¹⁰ 30	▼120 ¹⁰ 30	▼120 ¹⁰ 37	▼120 ¹⁰ 37	▼120 ¹⁰ 37	▼100 ¹⁰ 32	▼120 ¹⁰ 32	
	Frostschutzschicht		▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	
	Dicke der Frostschutzschicht		- - - 31 ¹⁰ -	- - - 31 ¹⁰ -	- - - 31 ¹⁰ -	- - - 31 ¹⁰ -	- - - 28 ¹⁰ 38	- - - 28 ¹⁰ 38	- - - 23 ¹⁰ 33	- - - 23 ¹⁰ 33	- - - 23 ¹⁰ 33	
3	Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material ¹⁰	Pflasterdecke ¹⁰	▼180 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	
	Schotter- oder Kies-tragschicht		▼180 ¹⁰ 30 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 30 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 30 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 30 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 37 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 37 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 37 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 37 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 37 ¹⁰ 8 4	
	Schicht aus frostunemp-findlichem Material		▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	
	Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material		Ab 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicken ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen									
4	Asphaltragschicht auf Frostschutzschicht	Pflasterdecke ¹⁰	▼120 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 14 28	▼120 ¹⁰ 14 28	▼120 ¹⁰ 14 28	▼120 ¹⁰ 12 24	▼120 ¹⁰ 12 24	▼120 ¹⁰ 12 24	▼100 ¹⁰ 10 22	▼120 ¹⁰ 10 22	
	wasserundurchlässige Asphalttragschicht ¹⁰		▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	▼45 ¹⁰ 44	
	Frostschutzschicht		▼120 ¹⁰ 37 47	▼120 ¹⁰ 37 47	▼120 ¹⁰ 37 47	▼120 ¹⁰ 37 47	▼120 ¹⁰ 41 51	▼120 ¹⁰ 41 51	▼120 ¹⁰ 33 43	▼120 ¹⁰ 33 43	▼120 ¹⁰ 33 43	
5	Asphaltragschicht und Schottertragschicht auf Frostschutzschicht	Pflasterdecke ¹⁰	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	
	wasserundurchlässige Asphalttragschicht ¹⁰		▼120 ¹⁰ 15 39	▼120 ¹⁰ 15 39	▼120 ¹⁰ 15 39	▼120 ¹⁰ 15 39	▼120 ¹⁰ 35 40	▼120 ¹⁰ 35 40	▼120 ¹⁰ 35 40	▼100 ¹⁰ 35 40	▼120 ¹⁰ 35 40	
	Schottertragschicht		▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	
	Frostschutzschicht		▼120 ¹⁰ 26 ¹⁰ 36	▼120 ¹⁰ 26 ¹⁰ 36	▼120 ¹⁰ 26 ¹⁰ 36	▼120 ¹⁰ 26 ¹⁰ 36	▼120 ¹⁰ 30 40					
6	Asphaltragschicht und Kiestragschicht auf Frostschutzschicht	Pflasterdecke ¹⁰	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼150 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	
	wasserundurchlässige Asphalttragschicht ¹⁰		▼120 ¹⁰ 20 44	▼120 ¹⁰ 20 44	▼120 ¹⁰ 20 44	▼120 ¹⁰ 20 44	▼120 ¹⁰ 40 46	▼120 ¹⁰ 40 46	▼120 ¹⁰ 40 46	▼100 ¹⁰ 46 46	▼120 ¹⁰ 46 46	
	Kiestragschicht		▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	▼45 ¹⁰ 39	
	Frostschutzschicht		31 ¹⁰ - - -	31 ¹⁰ - - -	31 ¹⁰ - - -	31 ¹⁰ - - -	25 ¹⁰ 35 45					
7	Dränbetontragschicht auf Frostschutzschicht	Pflasterdecke ¹⁰	▼120 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 10 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	▼100 ¹⁰ 8 4	▼120 ¹⁰ 8 4	
	Dränbetontragschicht (DBT) ¹⁰		▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	▼45 ¹⁰ 34	
	Frostschutzschicht		31 ¹⁰ 41 - - -	31 ¹⁰ 41 - - -	31 ¹⁰ 41 - - -	31 ¹⁰ 41 - - -	18 ¹⁰ 28 38					
	Dicke der Frostschutzschicht		- - - 31 ¹⁰ 41 - - -	- - - 31 ¹⁰ 41 - - -	- - - 31 ¹⁰ 41 - - -	- - - 31 ¹⁰ 41 - - -	- - - 28 ¹⁰ 38 48					

Bild 102: Dimensionierung von Pflasterdecken gemäß SLG-Merkblatt [34]

Bei Einhaltung der in Bild 102 angegebenen Regelaufbauten und der Anforderungen an die Mindestschichtdicken und Verformungsmodule sind Flächenbefestigungen ausreichend tragfähig für die geplante Beanspruchung (Belastungsklasse), sofern die Schichten fachgerecht eingebracht werden.

Allerdings beschreibt weder die RStO-StB noch eine andere Technische Richtlinie Regelaufbauten für Flächenbefestigungen aus Betonflastersteinen der Beanspruchungsklassen BK10 und höher. Für hoch belastete Pflasterdecken existieren demnach keine Standardbauweisen, für die eine ausreichende Dauerhaftigkeit bei Langzeitbeanspruchung nachgewiesen ist. Werden Pflasterdecken bei diesen Beanspruchungen als Fahrbahnbelaag eingesetzt, dann muss dem Anwender klar sein, dass er sich außerhalb des Regelwerks bewegt und er entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen zur Sicherstellung der Ausführungsqualität ergreifen muss.

Für die Dimensionierung des Aufbaus von Pflasterdecken außerhalb des Straßenbaus ist die ZTV Wegebau anzuwenden. Auch sie definiert keine Anforderungen an höher belastete Pflasterdecken. Wie ist also der Aufbau von Pflasterdecken in Flächenbefestigungen zu dimensionieren, die besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind? Zur Erläuterung werden im Folgenden drei Beispiele betrachtet.

4.1 Stahlrollenbereifte Container

Nicht selten werden Container auf Pflasterflächen abgestellt. Was ist zu beachten, wenn tonnenschwere Container mit Stahlrollen dauerhaft abgestellt und zum Teil auch bewegt werden (siehe Bild 103)?

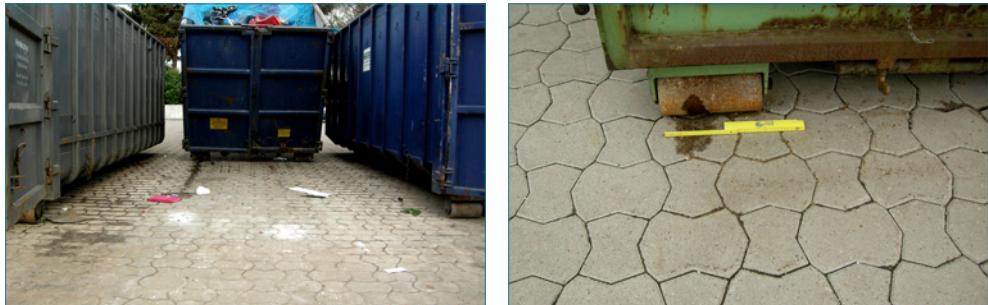


Bild 103: Pflasterdecke als Stellplatz für Container mit Stahlrollen

Um trotz des fehlenden Regelwerkes einen Eindruck von der Größenordnung der Beanspruchung von Flächenbefestigungen durch derartige Container zu bekommen, wird im Folgenden behelfsweise auf die Norm für Betonflächen, DIN 1045-2 zurückgegriffen.

Nach DIN 1045-2 und DIN EN 206-1 sind Betonplatten, die durch stahlrollenbereifte Container, Gabelstapler o.ä. beansprucht werden, der Expositionsklasse XM3 und damit hinsichtlich der Verschleißbeanspruchung der höchsten Beanspruchungsklasse (sehr starke Verschleißbeanspruchung) zuzuordnen. Für Betone dieser Expositionsklasse wird die Verwendung von Hartstoffen zur Herstellung der Fahrbahnoberflächen vorgeschrieben.

Unabhängig von dieser rein normativen Deklaration ist davon auszugehen, dass selbst Betonflächen, die unter Einhaltung der Anforderungen an die Expositionsklasse XM3 hergestellt werden, bei der beschriebenen Nutzung mit stahlrollenbereiften Containern oder Fahrzeugen nicht dauerhaft völlig schadensfrei bleiben. Derartig hohe Beanspruchungen führen in der Regel auch bei diesen Produkten zu lokalen Ausbrüchen an den Plattenkanten oder zu Kratzspuren in den Oberflächen, die im Rahmen von Wartungsarbeiten regelmäßig saniert werden müssen.

Es ist deshalb davon auszugehen, dass auch Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen keinen dauerhaft ausreichenden Verschleißwiderstand gegenüber der Beanspruchung durch schwere Container mit Stahlrollen aufweisen (siehe Bild 103). Ausbrüche der Pflastersteinkanten [37] und Kratzspuren an den Produktoberflächen sind bei dieser Nutzung somit erwartungsgemäß und nicht zu vermeiden. Daraus ist jedoch nicht abzuleiten, dass bei dem in Bild 103 dargestellten Beispiel kein Betonpflaster eingesetzt werden sollte. Die einzige Bauart, die für diesen Verwendungszweck dauerhaft schadensfrei anwendbar wäre, wäre die ausgesprochen kostspielige Abdeckung des Bodens mit einer Edelstahlplatte. Und selbst dabei müsste mit der Bildung von Kratzspuren gerechnet werden.

Bei allen anderen Bauarten sind massive Schäden an der Fahrbahn nicht zu vermeiden. Kratzspuren und Kantenbrüche im Bereich der Fugen wären bei Betonplatten ebenfalls zu erwarten, selbst wenn die Platten mit Hartstoffeinbettungen oder Hartstoffstrichen versehenen wären. Bei der »schwarzen Bauweise« (bituminöse Deckschichten) käme durch die hohen Lasten ein erheblich erhöhtes Risiko für die Bildung von Spurrillen hinzu.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass eine Pflasterdecke aus Betonpflastersteinen bei der beschriebenen Nutzung zwar im eigentlichen Sinne des Wortes »nicht geeignet« für einen dauerhaft schadensfreien Betrieb ist, trotzdem stellt diese Bauweise eine sinnvolle Ausführungsvariante dar. Argumente für die Herstellung einer Pflasterdecke bei einer derartigen Nutzung sind z.B. die Vorteile bei den Baukosten und auch die technisch einfache und kostengünstige Möglichkeit der »Teilsanierung« der Fläche (lokaler Austausch besonders stark geschädigter Teilflächen) im Falle von erheblichen Schäden. Die Errichtung einer Pflasterdecke wäre im vorliegenden Fall also durchaus sinnvoll, allerdings muss der Endkunde wissen, dass Schäden in Form von Steinzerstörungen, Kantenabplatzungen oder Kratzspuren unvermeidbar sind. Will er diese Schäden vermeiden und eine Fläche erstellen, bei der keine mittelfristigen Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind, dann muss er auf Stahlplatten zurückgreifen.

4.2 Böden von Fahrsilos in der Landwirtschaft

Im folgenden Beispiel geht es um Schäden an Pflastersteinen an einem Lagerplatz für Maisfutter. Es kam zu einem Rechtsstreit gegen den Pflastersteinproduzenten. Die Steine wiesen Schäden in Form einer rauen und porösen Steinoberfläche auf und schienen sich quasi aufzulösen. Der Kläger ging im vorliegenden Fall somit offensichtlich davon aus, dass die Betonpflastersteine mangelhaft seien und nur aus diesem Grund Schäden daran aufgetreten sind. Seitens des Gerichts wurde an den Sachverständigen die Frage gestellt, ob die verwendeten Betonpflastersteine geeignet für die Herstellung einer Fläche sind, auf der Maisfutter gelagert wird.

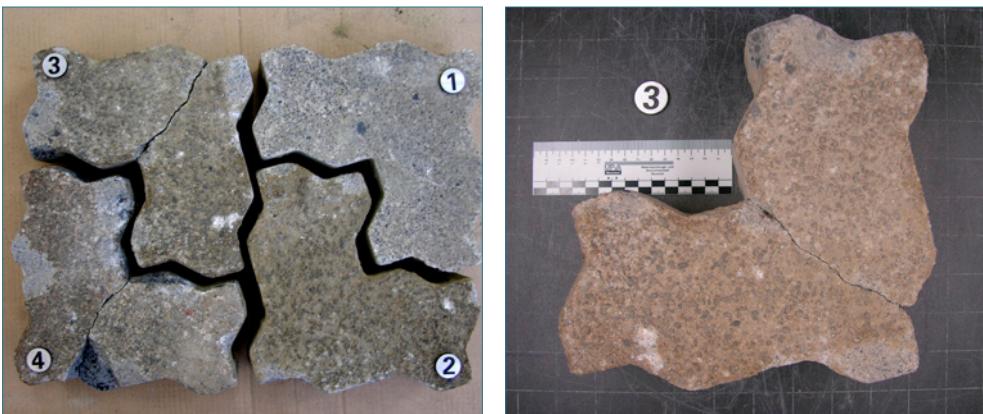


Bild 104: Materialabtrag an den zu bewertenden Betonpflastersteinen

4.2.1 Betonaggressivität von Maissilage

Vor dem Hintergrund der genannten Antragsfragen ist festzustellen, dass Maissilage als betonaggressiv einzustufen ist. Nach DIN 11622-1 handelt es sich bei Silagesickersaft um eine »während der Lagerung bzw. der Vergärung von Gärfutter auftretende säurehaltige Flüssigkeit«, weshalb die zementgebundenen Baustoffe in Gärfuttersilos einem starken chemischen, mechanischen und physikalischen Angriff ausgesetzt werden.«

Aus diesem Grund muss der Beton der an die Maissilage angrenzenden Bauteile, sofern sich Silagesäfte bilden können, säurebeständig sein oder mit geeigneten Materialien beschichtet werden [5], [6]. Hinsichtlich des Säureangriffes wird in [6] darauf hingewiesen, dass der Beton der Expositionsklasse XA3 nach DIN EN 206-1 zuzuordnen ist.

Wie diese Ausführungen zeigen, sind Betonpflastersteine ohne Beschichtung grundsätzlich nicht beständig gegenüber der chemischen Einwirkung von Silagesäften aus der Maissilage, unabhängig von ihren übrigen spezifischen Eigenschaften. Bei zementären Produkten (auch bei unbeschichteten Bodenplatten aus Beton) ist immer mit einem lösenden Angriff zu rechnen.

4.2.2 Wasserrechtliche Anforderungen an Flächen für die Lagerung von Maissilage

Neben den genannten baustofftechnischen Problemen sind bei der Herstellung von Bodenflächen, auf denen Mais gelagert werden soll, auch wasserrechtliche Vorgaben zu beachten. So ist z. B. der Veröffentlichung der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz [50] folgendes zu entnehmen:

»Gülle, Jauche und Silagesickersäfte sind wassergefährdende Stoffe, welche so gelagert werden müssen, dass eine Verunreinigung der Gewässer ausgeschlossen wird. Das heißt, die Lagerbehälter müssen dicht sein, die Dichtheit muss auf Dauer gewährleistet sein und überprüft werden können.«

Daraus ist abzuleiten, dass Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen unabhängig von der Steinqualität im Regelfall allein aufgrund der nicht ausreichenden Dichtheit der Pflasterdecke bei Beaufschlagung mit wassergefährdenden Stoffen für die Lagerung von Maissilage nicht geeignet sind. Für diesen Anwendungsfall müsste vielmehr eine Bodenplatte hergestellt werden, die den Schutz des Wassers vor dem Zutritt wassergefährdender Stoffe sicherstellt.

4.2.3 Gesamtbeurteilung

Im vorliegenden Fall lag eindeutig ein Planungsfehler und kein Materialfehler vor. Eine Pflasterdecke aus nicht beschichteten zementären Produkten (z. B. aus Betonpflastersteinen) ist sowohl aufgrund des lösenden Angriffes durch die Silagesäfte als auch aufgrund der nicht gegebenen wasserrechtlich aber vorgeschriebenen Dichtheit des Nutzbodens ungeeignet für den beschriebenen Verwendungszweck.

4.3 Verschubsicherheit von Pflasterdecken

Vertikale und horizontale Verschiebungen stellen eine häufig auftretende Ursache von Schäden an Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen dar. Die Entstehung von Spurrinnen (vertikale Verformung siehe Bild 105, links) oder stark variierende Fugenbreiten (horizontale Verformungen siehe Bild 105, rechts) mit den daraus resultierenden Folgeschäden z. B. in Form von Kantenabplatzungen sind die Regel.



Bild 105: Horizontale und vertikale Verformungen von Pflasterdecken

4.3.1 Vertikale Verschiebungen

Die vertikale Verschiebung von Pflastersteinen in Pflasterdecken (siehe exemplarisch Bild 106) wird u. a. nach Untersuchungen von Rohleder, Koch und Wellner [56]–[58] in erster Linie von der Stabilität der Tragschicht und der Bettung beeinflusst. Die Pflasterdecke selbst hat nur einen geringen Einfluss auf das Risiko zur Entstehung von vertikalen Verschiebungen, weshalb im Folgenden nicht weiter auf dieses Thema eingegangen wird.



Bild 106: Vertikale Verformungen der Pflasterdecke

4.3.2 Horizontale Verschiebungen

Im Gegensatz zu den vertikalen Verschiebungen werden horizontale Verschiebungen von Pflastersteinen in Pflasterdecken wie in Bild 107 nach Untersuchungen von Rohleder, Koch und Wellner in erster Linie durch die Steinart und die Steinform, den Verlegeverband sowie den Reibungswiderstand zwischen der Pflasterdecke und dem Bettungsmaterial beeinflusst [56]–[58]. Die konkreten Eigenschaften der Fugen-, Bettungs- und Tragschichtmaterialien sind im Vergleich dazu eher von untergeordneter Bedeutung.



Bild 107: Horizontale Verformung einer Pflasterdecke

Die Optimierung hoch belasteter Pflasterdecken hinsichtlich ihres horizontalen Verformungswiderstands kann anhand von verhältnismäßig einfachen Laborversuchen und unter Verwendung der konkreten Einbaubedingungen der Materialien erfolgen. So können z. B. unterschiedliche Verbundpflastersteine daraufhin untersucht werden, in welchem Ausmaß der Verformungswiderstand der Pflasterdecke durch Verwendung dieser Steine verbessert wird. Einen Versuchsaufbau dazu zeigt Bild 108.

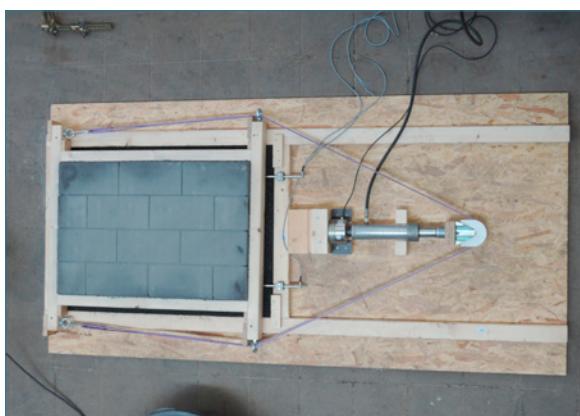


Bild 108: Versuchsaufbau zum Nachweis des horizontalen Verformungswiderstands von Pflasterdeckenaufbauten

Bei diesen Versuchen wird eine kontrollierte Last horizontal in die Pflasterdecke eingeleitet. Die dabei auftretende Verschiebung wird mit Wegaufnehmern gemessen. Bild 109 zeigt beispielhaft ein Kraft-Weg-Diagramm, das bei einem solchen Versuch aufgezeichnet wurde.

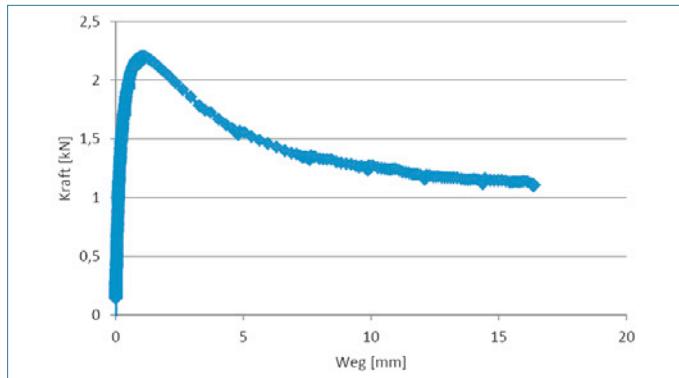


Bild 109: Exemplarisches Kraft-Weg-Diagramm eines horizontalen Verformungsversuchs an einem Pflasterdeckenaufbau

Auf Basis dieser Versuche lassen sich optimale Pflasterdecken für hoch beanspruchte Flächen entwickeln, indem unterschiedliche Kombinationen von Fugen- und Bettungsmaterialien unter Verwendung optimierter Verbundpflastersteine geprüft werden. Das Risiko für die Entstehung von Verschiebungen kann auf diesem Wege durch Auswahl besonders geeigneter Baustoffe reduziert werden. Der Versuchsaufbau eignet sich auch dazu, z. B. den Einfluss unvollständig gefüllter Fugen auf den Verschiebewiderstand von Pflasterdecken o. ä. zu ermitteln.

Die Hauptparameter zur Optimierung des Verschiebewiderstands von Pflasterdecken sind nach dem bisherigen Erkenntnisstand in der Verbesserung der Verkrallung innerhalb der Pflasterdecke sowie zwischen der Pflasterdecke und der Bettung zu suchen.

So wirkt sich die Verwendung von Verbundpflastersteinen erfahrungsgemäß sehr günstig auf den horizontalen Verschiebewiderstand der Pflastersteine in Pflasterdecken aus, wenn diese an der Steinunterseite eine Profilierung wie in Bild 110 aufweisen. Die horizontale Verschiebung der Pflastersteine wird so behindert.



Bild 110: Verbundpflastersteine mit einer Profilierung an der Steinunterseite

Auch Profilierungen an den Pflastersteinflanken oder die Auswahl günstiger Verlegeverbände (Ellbogen- oder Fischgrätverband) haben einen positiven Einfluss auf den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken. Daneben lässt sich der horizontale Verschiebewiderstand günstig beeinflussen, wenn eine dickere Bettung eingesetzt wird und wenn die Pflastersteine gut in diese Bettung hinein verdichtet werden.

Es ist zu beachten, dass eine größere Bettungsdicke zwar den horizontalen Verschiebungswiderstand verbessert, sich dafür aber negativ auf die vertikale Verschiebung der Pflastersteine auswirkt.

Eine Vorverdichtung der Bettung führt dazu, dass die Pflastersteine nicht mehr so gut in die Bettung hinein zu verdichten sind. Sie wirkt sich daher negativ auf den horizontalen Verschiebungswiderstand aus. Aber was hilft das beste Verbundsystem, wenn die Verbundpflastersteine dann ohne Verzahnung verlegt werden?

Die nachfolgenden Bilder zeigen eine Pflasterdecke, die im Rahmen der Nutzung einer sehr hohen Beanspruchung ausgesetzt wurde. Leider wurden die Pflastersteine maschinell verlegt, wobei der Verleger eine in Fahrtrichtung verlaufende Längsfuge erstellte. Wie die Aufnahmen in Bild 111 zeigen, entstanden zum Teil große Verschiebungen, die bei sachgerechter Verlegung der Verbundpflastersteine zu vermeiden gewesen wären.

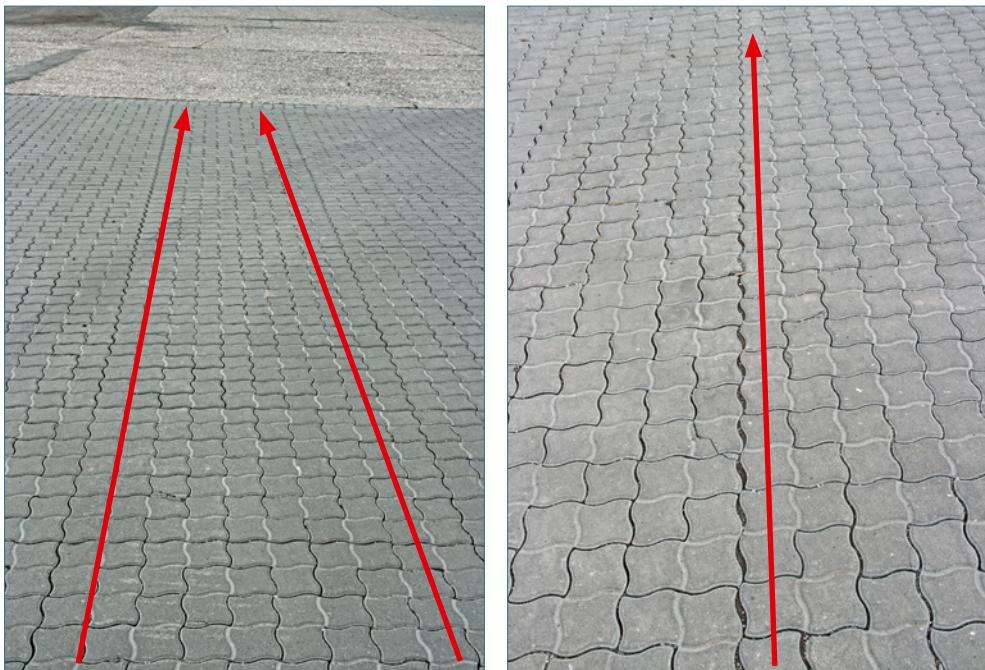


Bild 111: Nicht sachgerecht verlegte Verbundpflastersteine mit in Längsrichtung verlaufenden durchgehenden Fugen (rote Pfeile)

Der horizontale Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken lässt sich auch durch Auswahl des Fugenmaterials beeinflussen. Es sollten möglichst grobe Fugenmaterialien verwendet werden, da sich diese besser in der Bettung verkrallen können. In gleicher Art und Weise wirkt sich eine Verbreiterung der Fuge von 3 mm auf 5 mm günstig aus.

5 Oberflächenvergütete Produkte

Der Anteil an Garten- und Landschaftsbau-Produkten (GaLaBau-Produkten) mit Oberflächenvergütungen hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht, da der Optik und der Reinigungsfähigkeit von Flächenbefestigungen eine steigende Bedeutung zugemessen wird.

Die meisten der Schicht bildend vergüteten Produkte zeichnen sich durch einen besonderen Glanz aus, der einen Eindruck von Sauberkeit, Hygiene und besonders hochwertigen Eigenschaften vermittelt.

Auch die Produktfarbe wird häufig durch den Einsatz entsprechender Vergütungssysteme optimiert. In den Werbebroschüren findet man diesbezüglich teilweise Begrifflichkeiten wie »Anfeuern der Farbe« oder »Steigerung der Farbbrillanz«.

Vergütungssysteme können u. a. dazu genutzt werden, die Wasseraufnahme der Produktoberflächen zu reduzieren und damit auch das Anschmutzungsverhalten und die Reinigungsfähigkeit der Produkte beispielsweise gegenüber Ölen, Fetten, Säften oder auch Wein zu verbessern.

Mit dem »Anschmutzungsverhalten« wird die Neigung der Baustoffoberflächen zur Aufnahme von Schmutz bewertet.

Mit der »Reinigungsfähigkeit« wird im Gegensatz dazu beurteilt, ob und wenn ja, auf welche Art aufgebrachte Verschmutzungen nach einer definierten Einwirkzeit wieder beseitigt werden können.

Weder das Anschmutzungs- noch das Reinigungsverhalten sind Eigenschaften, die von einem Verschmutzungsreagenz auf andere zu übertragen sind. Bestimmte Materialien weisen ein kritisches Verhalten gegenüber organischen Verschmutzungen auf, während andere eher kritisch auf die Einwirkung anorganischer Verschmutzungen reagieren. Demnach gelten die Prüfungsergebnisse des Anschmutzungs- und des Reinigungsverhaltens jeweils nur für die jeweiligen Verschmutzungsreagenzien und die Ergebnisse des Reinigungsverhaltens nur für das jeweils verwendete Reinigungsmittel. Eine Übertragung auf andere Verschmutzungsreagenzien oder andere Reinigungsmittel ist nicht möglich.

Produkte mit hoher optischer Bedeutung sind normalerweise nur dann für einen Verwendungszweck geeignet, wenn sich Verschmutzungen, die im Alltag regelmäßig mit den Produktoberflächen in Berührung kommen, zumindest kurz nach der Aufbringung durch Anwendung üblicher Haushaltsreiniger wieder entfernen lassen, ohne dass die Optik der Produktoberfläche signifikant beeinflusst wird.

Neben der Verbesserung des Anschmutzungs- und Reinigungsverhaltens werden Oberflächenvergütungen seit langem verwendet, um die Tendenz von Betonprodukten zur Bildung von Ausblühungen (siehe Abschnitt 6 aus [38]) zu reduzieren. In erster Linie dienen die eingesetzten Oberflächenvergütungen bei diesem Anwendungsfall dem Zweck, den Zutritt von Fremdwasser zum mobilisierbaren Kalkhydrat des Betons zu minimieren, um so das für die Entstehung von Ausblühungen erforderliche Wasser von den Produkten fernzuhalten.

Es ist zu beachten, dass die erforderlichen Vergütungsmaßnahmen zur Reduzierung der Ausblühneigung davon abhängig sind, um welche Art von Ausblühungen (Primär-, Sekundär- oder Tertiärausblühungen, vergl. [38]) es sich handelt. Erst nach Kenntnis der Art der Ausblühungen kann eine sachgerechte Planung der Ausblühreduzierung erfolgen.

So wurden nach der Erhärtung auf Betonwaren aufgebrachte Dispersionsbeschichtungen auf Acrylatbasis in der Vergangenheit zum Teil sehr erfolgreich zur Reduzierung von Sekundär- oder Tertiärausblühungen auf Betonpflastersteinen und Betonplatten eingesetzt. Werden dieselben Dispersionsbeschichtungen aber vor der Erhärtung auf die frischen Produkte aufgebracht, tritt häufig der gegenteilige Effekt ein. Die Neigung zur Bildung von Primärausblühungen steigt, weil das bei der Hydratation des Zementes entstehende Kalkhydrat dazu neigt, in das im frischen Zustand in Form der Dispersionsbeschichtung auf die Produktoberfläche aufgebrachte Fremdwasser hinein zu diffundieren, wobei Ausblühungen entstehen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Oberflächenvergütungen in erster Linie aus optischen Gründen eingesetzt werden und die Auswirkungen auf die Produkteigenschaften eher von untergeordneter Bedeutung sind.

5.1 Erwartungen des Bauherrn

Kunden entscheiden sich in der Regel aus optischen Gründen für oberflächenvergütete Betonpflastersteine und Betonplatten. Weiterhin bleibt festzuhalten, dass es sich gerade bei vergüteten Produkten normalerweise um hochpreisige Produkte handelt. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass auch der Anteil an Reklamationen aufgrund optischer Beeinträchtigungen bei diesen Produkten immer weiter zunimmt, wenn teuer bezahlte Produktversprechen möglicherweise nicht eingehalten werden.

Befeuert wird das hohe Anspruchsdenken der Kunden durch die Hochglanzbroschüren einiger Produktlieferanten, die den Eindruck erwecken, dass die im hohen Preissegment angesiedelten Produkte »Alleskönnner« seien, die nicht nur die üblichen technischen Eigenschaften der Betonprodukte aufweisen, sondern auch noch eine besondere Optik (u.a. Glanzgrad) besitzen und quasi nicht verschmutzen.

Beispielhaft seien nachfolgend einige typische Formulierungen aus Werbekatalogen für oberflächenvergütete Produkte aufgelistet:

»Beschichtete Terrassenplatten vereinen die Vorzüge neuester technischer Innovationen mit unserer langjährigen Erfahrung. Die transparente Beschichtung schützt die edlen Betonplatten vor Verschmutzungen aus Haushalt und Garten. Sie ist dauerhaft mit dem Stein verbunden und verhindert ein Verblasen der Farben. So behalten diese farbintensiven Terrassenplatten aus Beton auch nach Jahren ihre Farbbrillanz und ihren seidigen Glanz.«

oder

»Wer an sich und seine Umgebung höchste Ansprüche stellt«

oder

»Zur leichteren Pflege ist die Oberfläche mit einem Schutz versehen. Dies garantiert Ihnen weniger Ärger bei der Entfernung der meisten vorkommenden Verschmutzungen.«

oder

»kein Eindringen von Fremdstoffen, kein Halt für Algen und Moos.«

Nach den Werbeaussagen handelt es sich bei den vergüteten Produkten um veredelte Produkte, die besonders hohen Ansprüchen genügen und quasi nicht verschmutzen.

Erwartungsgemäß finden sich in diesen Werbekatalogen üblicherweise keine (und wenn dann nur in den kleingedruckten Verlegehinweisen bzw. in den Reinigungs- und Pflegeanweisungen) Hinweise darauf, dass die vergüteten Produktoberflächen in Abhängigkeit

- des jeweiligen Vergütungssystems (z. B. Acrylate, Polycarbonate, Silane oder Siloxane),
- der Applikationstechnik (Rollen- oder Sprühapplikation) oder
- der Schichtdicke der Oberflächenvergütung

signifikant andere (und nicht immer bessere) Oberflächeneigenschaften als die unvergüteten Grundprodukte besitzen.

So weisen vergütete Produkte im Regelfall gerade aufgrund des höheren Glanzgrades, der geringeren Materialhärte und der veränderten Bruchufer der transparenten Vergütungsmaterialien in der Regel eine deutlich höhere Kratzempfindlichkeit auf, die mit zunehmender Applikationsmenge der Oberflächenvergütung sogar noch ansteigt.

Darüber hinaus zeigten diverse Schadensfälle in der Vergangenheit, dass nicht alle eingesetzten organischen Vergütungssysteme (siehe Abschnitt 5.1.3) eine ausreichende UV-Beständigkeit aufweisen: An den Oberflächen von vergüteten Produkten wurden zum Teil deutliche Eintrübungen vorgefunden, während zementäre Oberflächen im Normalfall keinerlei Probleme mit ihrer UV-Beständigkeit zeigen.

Auch auf den Gleit- und Rutschwiderstand wirken sich höhere Applikationsmengen der Oberflächenvergütung eher negativ aus, da die Vergütungsmaterialien die Profiltiefpunkte füllen und somit die Feinprofilierung der Produkte und damit den Gleit- und Rutschwiderstand reduzieren.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die Oberflächen der Produkte nach der Applikation einer Oberflächenvergütung chemisch anders zusammengesetzt sind als die zementgebundenen Produkte. Dies führt ggf. zu veränderten chemischen Widerstandsfähigkeiten und Reinigungsmittelempfindlichkeiten (siehe Abschnitt 5.4.2) der Produktoberflächen.

So kann die Einwirkung z. B. lösungsmittelhaltiger oder oxidierender Reinigungsmittel bei organischen Vergütungssystemen (z. B. bei Acrylaten) zu Glanz- oder Farbveränderungen führen, während anorganische Plattenoberflächen ebenso wie anorganischen Vergütungssysteme (z. B. Silane oder Siloxane) diesbezüglich keine besondere Empfindlichkeit aufweisen.

Gerade bei Verwendung vergüteter Betonprodukte empfiehlt sich aus den genannten Gründen dringend das Studium der Verlege- und Einbauanweisungen der Produzenten. Es finden sich darin oft Anwendungseinschränkungen, die für die Dauerhaftigkeit der Produkte von entscheidender Bedeutung sind. Einige dieser Einschränkungen sind nachfolgend exemplarisch zusammengestellt:

- »Die Produkte sind vor mechanischen Beschädigungen zu schützen.«
- »Spitze oder scharfkantige Gegenstände können zu Kratzern führen. Es wird die Verwendung von Filzgleitern unter Füßen von Terrassenmöbeln angeraten.«
- »Leichte Kratzer oder Flecken verschwinden in der Regel im Gebrauchszustand wieder.«
- »Die verpackten Produkte sind innerhalb von zwei Wochen nach der Anlieferung zu verlegen.«
- »Die Pflasterdecke muss vor dem Abrütteln absolut frei von Verunreinigungen wie Sand und Splitt sein.«
- »Im Winter ist auf die Verwendung von Splitt zu verzichten.«
- »Die Pflastersteine und Platten sind nach dem Schneiden mit Frischwasser abzuwaschen, um die Bildung von Zementschleieren auf den Oberflächen zu vermeiden.«
- »Sind beim Verlegen, Schneiden oder im Gebrauchszustand Flecken entstanden, sind diese mit den von Produzenten empfohlenen Produkten zeitnah zu beseitigen.«
- »Die Verarbeitungshinweise von Reinigungsmitteln sind zu beachten.«
- »Glanzerscheinungen verringern sich nach dem Einbau und durch den späteren Gebrauch der Fläche. Dies ist kein Grund für Beanstandungen.«

Im Ergebnis muss den Nutzern vergüteter Produkte klar sein, dass es sich auch bei oberflächenvergüteten Produkten nicht um »Alleskönnner« handelt. So werden einige Eigenschaften der Betonplatten durch die Applikation von Vergütungssystemen deutlich verbessert (z. B. die Optik, das Anschmutzungsverhalten und die Reinigungsfähigkeit), während andere Eigenschaften durch die Applikation der Oberflächenvergütung nicht selten negativ beeinflusst werden (z. B. die UV-Beständigkeit oder die Kratzempfindlichkeit der Produkte).

5.2 Besondere Kenntnisse der Sachverständigen

Nicht nur für die Kunden und die Produzenten stellen die vergüteten Betonprodukte eine Herausforderung dar. Auch Sachverständige aus den Bereichen **Straßenbau** oder **Flächenbefestigungen aus Betonwaren** besitzen in erster Linie besondere Kenntnisse im Bereich der Eigenschaften und der Verlegung der Betonplatten und Betonpflastersteine. Nur in Ausnahmefällen haben diese Sachverständigen zusätzlich besondere Kenntnisse über Vergütungssysteme. Diese sind jedoch notwendig, da sich diese Produkte sowohl hinsichtlich ihrer chemischen Beständigkeit als auch ihrer technischen und optischen Eigenschaften üblicherweise erheblich von den rein zementgebundenen unterscheiden.

Darüber hinaus sind die wenigsten der vergüteten Produkte bereits so lange auf dem Markt, dass die Sachverständigen bereits ausreichende Langzeiterfahrungen mit diesen Produkten gesammelt haben.

Einige Sachverständige begehen den Fehler, ihre Erfahrungen mit bestimmten Vergütungssystemen auf die anderen vergüteten Systeme zu übertragen. Das ist aber leider nicht sachgerecht. So verhalten sich organische Systeme (wie z. B. Acrylatvergütungen) sowohl chemisch als auch hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften anders als anorganische Systeme (wie z. B. Siloxanvergütungen).

Hat ein Sachverständiger die Frage zu beantworten, ob reklamierte vergütete Betonplatten z. B. ein übliches oder erwartungsgemäßes Anschmutzungsverhalten oder eine übliche Kratzempfindlichkeit aufweisen, dann muss er zuerst klären, um welches System es sich handelt und wie dieses System appliziert wurde (siehe Abschnitt 5.1.3).

Weiterhin muss ihm bekannt sein, welche »üblichen Eigenschaften« z. B. mit Acrylaten, Polycarbonaten oder Silikaten vergütete Produkte aufweisen und wie sich u. a. die Applikationstechnik oder die Schichtdicke der Vergütung auf die Materialeigenschaften der Produktoberflächen auswirkt. Abschließend muss er die tatsächlichen Eigenschaften der reklamierten, vergüteten Produkte mit den üblichen Eigenschaften dieser Produktgruppe vergleichen. Erst dann kann er die an ihn gestellte Frage, ob die zu bewertenden Pflastersteine oder -platten ein für derartige Produkte übliches Anschmutzungsverhalten oder eine übliche Kratzempfindlichkeit aufweisen, sachgerecht beantworten.

Es bedarf deshalb für die Bewertung oberflächenvergüteter Produkte theoretisch einer eigenen Gruppe von entsprechend fortgebildeten Sachverständigen, welche die nachfolgend genannten Voraussetzungen erfüllen:

- Erfahrung mit den Grundprodukten (Betonpflastersteine und Betonplatten),
- erweiterte Kenntnisse über die Eigenschaften der jeweiligen Vergütungssysteme, deren Applikationstechnik und der Wechselwirkungen zwischen den Betonen und den Vergütungssystemen.

5.3 Oberflächenvergütungssysteme

Wie in Abschnitt 5.2 ausgeführt wurde, werden zur Herstellung vergüteter Betonpflastersteine und Betonplatten unterschiedliche Vergütungssysteme eingesetzt, die sich hinsichtlich des Materials (anorganische und organische Systeme), der Applikationstechnik (Rollen- oder Sprühapplikation), dem Applikationsort (auf der Trocken- oder Nassseite) sowie der Applikationsmenge und -dicke unterscheiden. Im nachfolgenden Abschnitt soll auf die Applikationsmenge und -dicke eingegangen werden. Gerade der letzte Aspekt ist für Sachverständige besonders von Bedeutung.

Hinsichtlich der Applikationsmenge sind die nachfolgend genannten Applikationsgruppen zu unterscheiden:

- nicht Schicht bildende Oberflächenvergütungen,
- temporär Schicht bildende Oberflächenvergütungen, die nicht für einen dauerhaften Erhalt vorgesehen sind,
- dauerhaft Schicht bildende Oberflächenvergütungen.

Nicht Schicht bildende Oberflächenvergütungen

Zur Herstellung nicht Schicht bildender Systeme werden Vergütungen eingesetzt, die in erster Linie die kapillare Wasseraufnahme und teilweise auch die Aufnahme von ölartigen Flüssigkeiten über die Produktoberfläche reduzieren sollen. Dabei wird keine abschließende Schicht auf der Produktoberfläche aufgebaut und die Diffusionsfähigkeit der ursprünglichen Produktoberfläche bleibt weitgehend erhalten.

Bild 112 zeigt eine dünnenschliffmikroskopische Querschnittsaufnahme einer derart behandelten Pflastersteinoberfläche. Die Eindringfront der Imprägnierung ist in diesem Beispiel anhand der etwas dunkleren Färbung des oberflächennahen Zementsteins zu erkennen.

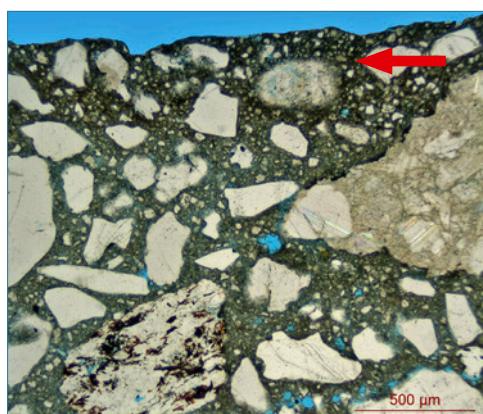


Bild 112: Nicht Schicht bildende Oberflächenvergütung

Da die Produktoberfläche bei der Applikation einer Imprägnierung nicht durch eine Schicht der Oberflächenvergütung abgeschlossen wird, bleibt die ursprüngliche Betonoberfläche als Nutzschicht erhalten. Demzufolge zeigt diese Nutzschicht ähnliche Eigenschaften wie die unbehandelte Betonoberfläche (z. B. hinsichtlich der chemischen Widerstandsfähigkeit, der Verschleißbeständigkeit oder der Rutschsicherheit).

Temporär Schicht bildende Oberflächenvergütungen

Bei diesem Applikationstyp werden im Zuge der Produktion paraffin- oder wachshaltige Materialien auf die Betonoberflächen aufgebracht, die sich normalerweise als Schichten auf den Stein- und Plattenoberflächen ablagern. Diese Schichten weisen aber keine dauerhafte Beständigkeit auf, sondern werden im Rahmen der Nutzung der Betonplatten abgetragen.

Temporär Schicht bildende Oberflächenvergütungen dienen in erster Linie dem zeitlich begrenzten Schutz des Betons gegenüber der Austrocknung. Darüber hinaus treten die Farben der Produkte durch die Applikation dieser Vergütungsmaterialien stärker in Erscheinung, sie werden brillanter. Im Ergebnis wird die Optik der Produkte üblicherweise zusätzlich durch das Entstehen eines matten Glanzes positiv beeinflusst (siehe Bild 113).

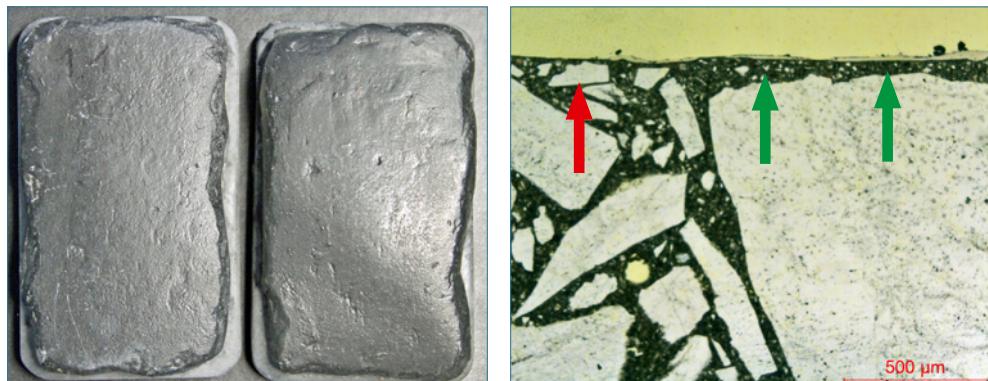


Bild 113: Temporär Schicht bildende Oberflächenvergütung

Bild 113 links zeigt zwei mikroskopisch untersuchte Steine. Rechts in Bild 113 ist exemplarisch eine dünnschliffmikroskopische Aufnahme einer solchen temporär Schicht bildenden Oberflächenvergütung gezeigt. Sie ist als hell erscheinende Oberflächenschicht erkennbar (grüne Pfeile). Im linken Bildbereich (roter Pfeil) fehlt diese Oberflächenschicht, da diese Teilfläche vor der mikroskopischen Untersuchung mit einem lösungsmittelhaltigen Reiniger behandelt worden war.

Temporäre Oberflächenschichten lassen sich nicht nur durch Einsatz von Reinigungsmitteln entfernen, vielmehr verschwinden diese Schichten auch im Rahmen einer üblichen Nutzung mit der Zeit, woraus ein verändertes Erscheinungsbild resultiert. Diese Veränderungen stellen keinen Mangel dar, sondern sind bei diesen Systemen als erwartungsgemäß zu bewerten.

Dauerhaft Schicht bildende Oberflächenvergütungen

Bei diesem Applikationstyp werden die Produktoberflächen mit einer dauerhaften, mehr oder weniger geschlossenen Schicht aus organischen (Acrylate, UV-Lacke u. a.) oder in Ausnahmefällen auch silikatischen Materialien abgeschlossen, wobei die Schichtdicke üblicherweise etwa zwischen 100 µm und 500 µm liegt. Bild 114 zeigt exemplarisch eine entsprechende Oberflächenvergütung mit einer geschlossenen Oberflächenschicht, während die Probe in Bild 115 nur eine teilgeschlossene Schicht besitzt. Teilgeschlossene Oberflächenschichten entstehen, wenn Schicht bildende Vergütungen in etwas geringerer Menge appliziert werden.

Eine geringere Applikationsmenge kann sinnvoll sein, wenn z. B. ein höherer Gleit- und Rutschwiderstand sichergestellt werden soll. Die Unterbrechung geschlossener Vergütungsschichten stellt demnach nicht automatisch eine qualitätsreduzierte Ausführung dar. Vielmehr können die geplanten Unterbrechungen zur Aussteuerung bestimmter Produkteigenschaften eingesetzt werden.

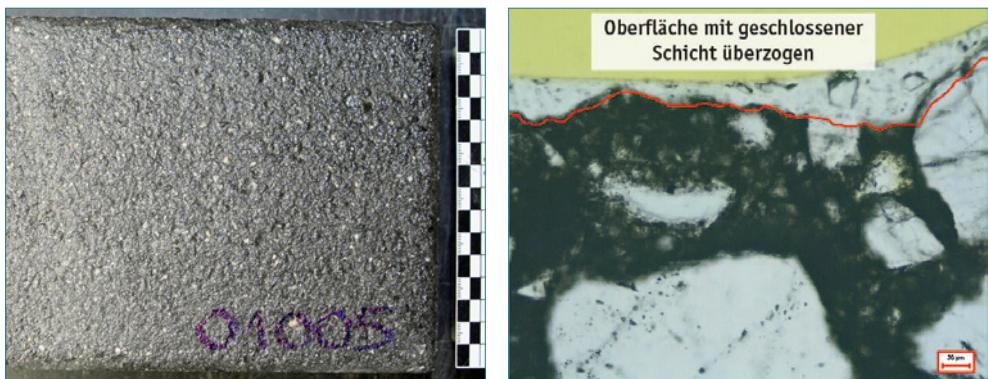


Bild 114: Dauerhaft Schicht bildende Oberflächenvergütung mit geschlossener Oberfläche

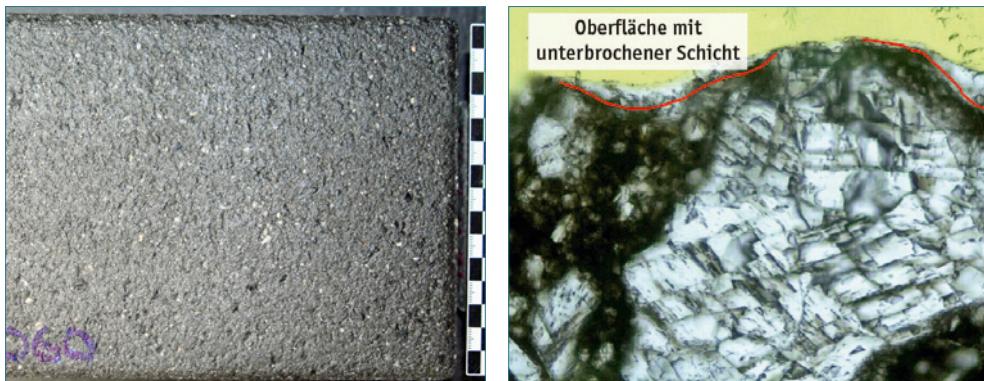


Bild 115: »Dauerhaft« Schicht bildende Oberflächenvergütung mit teilgeschlossener Oberfläche

Je nach Applikationsdicke der Oberflächenvergütung werden einige Nutzungseigenschaften der ursprünglichen Produktoberfläche mehr oder weniger stark durch die Eigenschaften der Oberflächenvergütung verändert. Bei dicken Vergütungsschichten resultieren im Normalfall Produkteigenschaften, die deutlich von denen der Grundprodukte (der Betonplatten) abweichen, während dünnerne oder auch teilgeschlossene Schichten häufig Eigenschaften aufweisen, die denen der Grundprodukte eher entsprechen.

5.4 Reinigungsmittel

5.4.1 Reinigungsmittelklassen

Ähnlich den Oberflächenvergütungen lassen sich auch die üblicherweise zur Anwendung kommenden Reinigungsmittel in unterschiedliche Substanzklassen einteilen. Im wesentlichen wird zwischen den **Grundreinigungsmitteln** und den **Spezialreinigern** unterschieden.

Bei Grundreinigern handelt es sich um übliche, z. B. tensidhaltige Haushaltsreiniger, die keine besonderen Anwendungsbeschränkungen besitzen.

So sollten sowohl nicht vergütete als auch vergütete Betonplatten beständig gegenüber diesen Grundreinigern sein. Sind sie das nicht, muss der Produzent darauf hinweisen, dass übliche Haushaltsreiniger bei diesen Produkten nicht oder nur unter besonderen Voraussetzungen verwendet werden dürfen.

Bei Spezialreinigern handelt es sich im Gegensatz dazu um Reinigungsmittel, die zur Beendigung spezieller Verschmutzungen (Grünbeläge, Zementstein oder Öle und Fette) eingesetzt werden. Sie können chemisch unter Umständen eine hohe Aggressivität gegenüber den Produkten aufweisen.

Bei diesen Reinigern muss der Kunde davon ausgehen, dass die Anwendung zu optischen Veränderungen an den Produkten führt, sodass der Nutzer vor deren Anwendung prüfen muss, ob diese Reiniger für die Anwendung auf vergüteten Produkten geeignet sind.

An dieser Stelle sei nur beispielhaft auf die Anwendung von Zementschleierentfernern verwiesen, die säurehaltig sind und die Oberfläche zementgebundener Produkte anlösen. Optische Veränderungen sowohl an nicht vergüteten als auch an vergüteten Produkten sind häufig die Folge.

Die Spezialreiniger lassen sich nach den Reinigungswirkstoffen klassifizieren. In Tabelle 15 sind beispielhaft Anwendungsbereiche und Anwendungsgrenzen üblicher Reinigungsmittelklassen aufgeführt. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei dem Inhalt der Tabelle nur um eine grob orientierende Zusammenstellung handelt. Konkrete Reiniger können deutlich abweichende Eigenschaften aufweisen.

Reinigungsmittel	Anwendungsbereich	Anwendungsgrenze
oxidierende, alkalische Reiniger	zur Entfernung von Grünbewuchs, Stockflecken und Verfärbungen	Hinweis in den Datenblättern; vor der Nutzung dieser Reinigungsmittel sind Testflächen anzulegen
		nicht einsetzbar bei oxidierbaren und alkaliempfindlichen Oberflächen
hochalkalische Grundreiniger	zur Entfernung von Wachs, Öl, Fett, Farbe, Ruß, verhärteten Rückständen von Steinpflegemitteln, hartnäckigen Verkrustungen, eingebraunten Fetten	Hinweis in den Datenblättern; vor der Nutzung dieser Reinigungsmittel sind Testflächen anzulegen.
		nicht auf poliertem Marmor, kunstharzgebundenem Kunststein, alkaliempfindlichen Oberflächen wie Aluminium, Elokal, manchen Kunststoffen (z.B. Acryl u. ä.), lackierten Flächen anwenden
Reiniger auf Phosphorsäurebasis	zur Entfernung von Zementschleieren und Mörtelresten, Ausblühungen, Kalkablagerungen, verhärteten Schmutzbelägen sowie Rost und Rostverfärbungen	Hinweis in den Datenblättern; vor der Nutzung dieser Reinigungsmittel sind Testflächen anzulegen
		nicht geeignet für polierte und geschliffene Oberflächen bei Kalkstein, Marmor, Betonwerkstein, Terrazzo und ähnlichen säureempfindlichen Flächen
Lösungsmittelreiniger	zur Entfernung von organischen Verunreinigungen wie Wachsen, Ölen, Fetten, Teer, Bitumen, frischer Farbe, Holzlasuren, Versiegelungsschichten, verhärteten Rückständen von Steinpflegemitteln	Hinweis in den Datenblättern; vor der Nutzung dieser Reinigungsmittel sind Testflächen anzulegen.
		nicht auf lösemittelempfindlichen Materialien wie Gummi, Farbe, frischem Lack, Linoleum, Asphaltplatten, manchen Kunststoffen o. ä. anwenden

Tabelle 15: Einsatzbereiche von Spezialreinigern

5.4.2 Reinigungsmittelempfindlichkeit der Vergütungssysteme

Wie in Abschnitt 5.4.1 dargestellt wurde, ist davon auszugehen, dass alle handelsüblichen Betonplatten, ob vergütet oder nicht, beständig gegenüber der Einwirkung üblicher Haushaltsreiniger sein sollten, dass bei der Verwendung von Spezialreinigern aber große Vorsicht geboten ist.

In Tabelle 16 sind allgemeine Hinweise zusammengestellt, mit welcher Reinigungsmittelverträglichkeit bei verschiedenen Betonprodukten im allgemeinen zu rechnen ist. Auch bei dieser Tabelle gilt, dass einzelne Reinigungsprodukte deutlich abweichende Eigenschaften haben können.

Reinigungsmitteltyp	Verträglichkeit		
	unvergütete Betonoberfläche	silikatisch ver-gütete Oberfläche	organisch ver-gütete Oberfläche
übliche Haushaltsreiniger (rückstandsreie Neutralreiniger auf Tensidbasis)	keine Probleme zu erwarten	keine Probleme zu erwarten	keine Probleme zu erwarten
lösungsmittelhaltige Reiniger			Anwendung ggf. problematisch
oxidierende Reiniger (viele Außenreiniger)			
alkalische Reiniger (viele Grundreiniger)			
saure Reiniger (z. B. säurehaltige Zementschleiferentferner)	Anwendung kritisch	Anwendung kritisch	

Tabelle 16: Erwartungsgemäße Reinigungsmittelverträglichkeiten

Unabhängig von der Reinigungsmittelempfindlichkeit der Produkte ist auch zu beachten, dass der Nutzer (im gewerblichen Bereich »Betreiber« genannt) gemäß den Vorgaben zur Verkehrssicherungspflicht im BGB, der Arbeitsstättenverordnung und der Unfallverhütungsvorschriften dazu verpflichtet ist, einen dauerhaft sicheren Erhalt der Nutzbarkeit der Flächen sicherzustellen.

Was der Nutzer vor einer sachgerechten Reinigung von Plattenbelägen mit Spezialreinigern zu tun bzw. zu prüfen hat, und zwar unabhängig davon, ob es sich um vergütete oder nicht vergütete Produkte handelt, ist nachfolgend grob zusammengefasst:

1. Anhand der Datenblätter der Plattenproduzenten ist anhand der Reinigungsvorgaben zu überprüfen, ob bestimmte Gruppen von Reinigungsmitteln ausgeschlossen (Negativliste) oder andere empfohlen (Positivliste) werden.
2. Gleiches gilt für die Prüfung des Datenblattes des Reinigungsmittels. Auch dieses ist dahingehend zu prüfen, für welche Produkte es verwendet werden darf.

Bei handelsüblichen Spezialreinigern werden in den Datenblättern Aussagen zu den Anwendungsbereichen aber auch den Anwendungsgrenzen getroffen (siehe Tabelle 15).

So weisen beispielhaft die Datenblätter säurehaltiger Zementschleierentferner in aller Regel darauf hin, dass diese Mittel nicht zur Reinigung polierter und geschliffener Oberflächen bei Kalkstein, Marmor, Betonwerkstein, Terrazzo und ähnlichen säureempfindlichen Flächen eingesetzt werden dürfen.

3. Sofern keinem der genannten Datenblätter ein Hinweis darauf zu entnehmen ist, dass das Reinigungsmittel nicht eingesetzt werden darf, sollte die Anwendbarkeit durch einen Reinigungstest an einer nicht auffälligen Stelle überprüft werden. Dies gilt besonders für aggressive Reinigungsmittel.
4. Bei bestehenden Anforderungen an die Rutschhemmung sind die Datenblätter der Reinigungsmittel auf Aussagen insbesondere zur rückstandsfreien Entfernung von Reinigungsmittelresten zu prüfen.

Bei Anwendung üblicher Haushaltsreiniger sind die o. g. Maßnahmen üblicherweise nicht erforderlich. Bei diesen Standardreinigern kann der Nutzer davon ausgehen, dass die Pflastersteine und -platten eine ausreichende Reinigungsmittelverträglichkeit aufweisen.

Bei der Verwendung von Spezialreinigungsmitteln ist die oben dargestellte Vorgehensweise allerdings unumgänglich, sofern Schäden vermieden werden sollen. Dies gilt ganz besonders für oberflächenvergütete Produkte. Da diese unter Verwendung unterschiedlichster Oberflächenvergütungen (organische oder auch silikatische Systeme) hergestellt werden können, ergeben sich bei derselben Untergrundplatte vergütete Produkte mit sehr unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften.

5.5 Besondere Eigenschaften vergüteter Produkte

5.5.1 Anschmutzungsverhalten und Reinigungsfähigkeit

Ein großer Vorteil oberflächenvergüteter Produkte liegt normalerweise in der Reduzierung des Anschmutzungsverhaltens der Produkte z. B. gegenüber Ölen, Fetten oder ggf. auch Säften. Derartige Verschmutzungen, die im Alltag häufig mit den Produktoberflächen in Berührung kommen, sollten kurz nach deren Aufbringung durch Anwendung üblicher Haushaltsreiniger wieder gut zu entfernen sein.



Bild 116: Reinigung von Ölklecken auf einer Pflasterdecke

Einfluss der Einwirkzeit

»Jetzt habe ich schon die teuren Platten gekauft und soll trotzdem täglich das Laub entfernen?« Die gute Reinigungsfähigkeit vergüteter Produkte wird von vielen Kunden dahin gehend fehlinterpretiert, dass sie meinen, Pflasterdecken mit vergüteten Produkten seltener reinigen zu müssen. Aus diesem Grunde ist es wichtig festzustellen, dass auch hochwertigste Produkte mit gut funktionierenden Oberflächenvergütungen einer regelmäßigen Pflege bedürfen. Allerdings lassen sich die Verschmutzungen bei diesen Produkten **kurz nach der Beaufschlagung** üblicherweise deutlich besser entfernen, als bei nicht vergüteten Produkten.

Verbleiben die Verschmutzungen aber lange auf den Produkten, so ist auch bei vergüteten Produkten mit der Bildung hartnäckiger Verfärbungen zu rechnen (siehe Bild 117), die nur unter Verwendung aggressiver Spezialreiniger wieder entfernt werden können.



Bild 117: Verfärbung einer Betonplatte durch über lange Zeit einwirkendes Blattwerk

Vor dem Hintergrund der Verschmutzungsanfälligkeit ist besonders die Kombination oberflächenvergüteter Produkte mit der gebundenen Bauweise als kritisch anzusehen. So weist eine Vielzahl der Materiallieferanten in ihren Verlegehinweisen darauf hin, dass besonders hartnäckige Verfärbungen an den Produkten durch die Einwirkung zementärer oder harzhaltiger Fugen- und Verlegematerialien entstehen können, wenn diese zu lange in Kontakt zu den oberflächenvergüteten Produkten stehen (siehe Abschnitt 5.7.3).

Prüftechnischer Nachweis des Anschmutzungsverhaltens und der Reinigungsfähigkeit

Bevor erläutert wird, was bei der Bewertung des Anschmutzungsverhaltens und der Reinigungsfähigkeit der Produkte zu beachten ist, sind diese Begriffe erst einmal zu definieren. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird üblicherweise nur der Begriff der Reinigungsfähigkeit verwendet, was aus technischer Sicht aber nicht sinnvoll ist.

So ist unter dem **Anschmutzungsverhalten** die Neigung der Baustoffoberfläche zu verstehen, mit der diese einwirkende Verschmutzungen annehmen. Anders formuliert wird mit dem Anschmutzungsverhalten beurteilt, ob und wie schnell diese Produkte verschmutzen.

Im Gegensatz dazu liefern Aussagen zur **Reinigungsfähigkeit** der Produkte Hinweise darüber, ob und wenn ja, mit welchem Aufwand bzw. mit welchem Reiniger einmal verschmutzte Produkte wieder zu reinigen sind.

Erfahrungsgemäß gehen die Bewertungen des Anschmutzungsverhaltens und der Reinigungsfähigkeit untersuchter Produkte bei denselben Verschmutzungen häufig tendenziell in die gleiche Richtung. Allerdings finden sich auch immer wieder Fälle, bei denen Produkte zwar nur langsam anschmutzen, die Verschmutzungen dafür aber kaum mehr zu beseitigen sind. Auch der umgekehrte Fall (schnelle Anschmutzung aber gute Reinigungsfähigkeit) ist immer wieder vorzufinden.

Als typisches Beispiel aus dem Haushalt ist die starke Verschmutzung von Textilien heranzuziehen, die aber unter Verwendung eines geeigneten Reinigungsmittels (tensidisches Waschmittel) leicht zu entfernen ist, sofern die Reinigung zeitnah erfolgt.

Wesentlich für eine sachgerechte Beurteilung des Anschmutzungsverhaltens von Produkten ist u. a. die Auswahl der **Verschmutzungsreagenzien**. Es ist festzustellen, dass einige Produkte empfindlicher auf bestimmte Verschmutzungen reagieren als andere. So kann ein Produkt eine deutliche Anschmutzung bei Einwirkung von Kaffee aufweisen, aber völlig inert gegenüber Rotwein sein, während ein anderes Produkt eine genau gegenläufige Tendenz zeigt.

Das bedeutet, dass eine sachgerechte Bewertung sowohl des Anschmutzungsverhaltens als auch der Reinigungsfähigkeit von Produkten berücksichtigen muss, mit welchen Verschmutzungen bei der jeweiligen Anwendung im Besonderen zu rechnen ist. In der Konsequenz sind deshalb das Anschmutzungsverhalten und die Reinigungsfähigkeit der Produkte gegenüber erwarteten Verschmutzungen und mit üblichen Beaufschlagungszeiten zu prüfen. Beispielhaft zeigt Bild 118 das Anschmutzungsverhalten von vergüteten (im Bild jeweils rechts) und nicht vergüteten (im Bild jeweils links) Industriebodenoberflächen, die mit einem Öl beaufschlagt wurden.



Bild 118: Untersuchung des Anschmutzungsverhaltens eines Industriebodens

Wie Bild 118 zeigt, weisen vergütete Produkte im Normalfall ein günstigeres Anschmutzungsverhalten und eine bessere Reinigungsfähigkeit auf als nicht vergütete Produkte. Dabei verhalten sich Schicht bildende Vergütungen günstiger als nicht Schicht bildende Vergütungen. Diesbezüglich bleibt festzuhalten, dass das Anschmutzungsverhalten und die Reinigungsfähigkeit der Produkte durch größere Schichtdicken der Oberflächenvergütung tendenziell günstig beeinflusst werden.

5.5.2 Neigung zur Bildung von Ausblühungen

Oberflächenvergütungen werden zum Teil erfolgreich zur Reduzierung der Ausblühneigung von zementgebundenen Produkten eingesetzt. Hierbei wird u. a. der Effekt genutzt, dass sie bei sachgerechter Applikation wasserabweisend wirken und somit das Eindringen von Wasser und damit auch von wässrigen Verschmutzungen in die vergüteten Produktoberflächen reduzieren [38].

Trotzdem ist die Eignung von Oberflächenvergütungen zur Reduzierung der Ausblühgefahr von Betonprodukten sehr differenziert zu betrachten. So wirkt sich ihre Applikation nicht gleichartig auf die Bildung von Primär-, Sekundär- und Tertiärausblühungen aus. Beispielsweise sei an dieser Stelle auf die Reduzierung der Ausblühneigung von Betonplatten durch Einsatz von Acrylatdispersionen auf der Nassseite erwähnt.

Die Verwendung von **Dispersionsbeschichtungen auf Acrylatbasis** hat sich als sehr günstig zur Reduzierung der Gefahr für die Bildung von Sekundär- und Tertiärausblühungen erwiesen, wenn diese nach der Erhärtung auf die Betonwaren aufgebracht wurden.

Die Aufbringung von **wässrigen Acrylaten** vor der vollständigen Erhärtung der Produkte hat im Gegensatz dazu bisher eher negative Ergebnisse ergeben, da hierdurch die Tendenz zur Bildung von Primärausblühungen ggf. deutlich verstärkt wird. Kresse erklärte dies damit, dass das Wasser der wässrigen Dispersion bei der hohen Luftfeuchte in der Härtekammer nicht sofort verdunstet und als Fremdwasserreservoir auf den Produkten aufsteht [61]. Das Kalkhydrat diffundiert aus dem Zementstein in dieses Wasserreservoir hinein, wobei es sich hier anreichert, nach dem Verdunsten des Wassers auf der Betonoberfläche abscheidet und die bereits erwähnten Primärausblühungen entstehen.

Die Imprägnierung von Betonprodukten mit **Silikonen** hat sich gemäß Kresse jedoch nicht bewährt, da diese zwar das Eindringen von flüssigem, nicht jedoch von gasförmigem Wasser verhindern. Über den gasförmigen Zustand dringt somit nach der Imprägnierung der Pflastersteine Wasser in die Oberflächenbereiche ein und führt dort zur Bildung von Sekundärausblühungen.

Die Tendenz zur Bildung von **Tertiärausblühungen** lässt sich nach dem bisherigen Erkenntnisstand am besten reduzieren, indem Massenhydrophobierungen, welche die Transportfähigkeit des Wassers im Beton herabsetzen, mit Oberflächenvergütungen kombiniert werden.

5.5.3 Kratzempfindlichkeit

Auch die Kratzempfindlichkeit der Produkte wird nicht selten durch die Applikation von Oberflächenvergütungen beeinflusst. So kann z. B. die Begehung von vergüteten Betonplatten mit Schuhsohlen eine erhöhte Verschleißbeanspruchung nach sich ziehen, wenn Sand an den Schuhsohlen anhaftet. Auf diese Weise können optische Veränderungen an vergüteten Betonplatten in Form von Kratzern entstehen, die nicht selten Gegenstand von Rechtsstreitigkeiten werden. Im nachfolgenden Bild sind zwei vergütete Betonprodukte dargestellt, bei denen die Oberflächenvergütung in unterschiedlicher Dicke aufgebracht wurde: im linken Bild 119 mit dickerer und im rechten Bild 119 mit dünnerer Oberflächenvergütung.

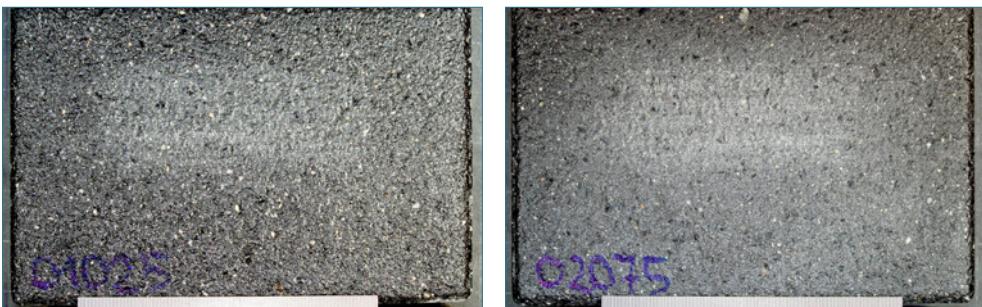


Bild 119: Verschleißbeanspruchung auf vergütete Betonplatten

Bei der Betrachtung dieser Bilder wird deutlich, dass sich dieselbe Verschleißbeanspruchung bei der dickeren Oberflächenschicht, im Bild links, optisch deutlicher bemerkbar macht als bei der dünneren Oberflächenschicht im Bild rechts. Wichtig ist an dieser Stelle, dass bei beiden Produkten nur die Oberflächenvergütung durch die schleifende Beanspruchung angegriffen wurde, nicht aber der Beton.

Prüfung und Bewertung der Ergebnisse

Ergeben sich durch kratzende Beanspruchungen optische Veränderungen an vergüteten Betonplatten, wird seitens des Gerichtes häufig die Frage gestellt, ob die vor Ort eingebrachten Betonplatten eine ausreichende Kratzempfindlichkeit aufweisen (siehe Abschnitt 5.9.6). Das Problem des Sachverständigen besteht in diesen Fällen darin, dass im einschlägigen Regelwerk nur Prüfverfahren und Grenzwerte für die Bestimmung und Bewertung des Verschleißwiderstands der Produkte festgelegt wurden.

Bei der Bestimmung des Verschleißwiderstands von Betonprodukten wird der Materialabtrag der Produktoberflächen bei einer flächigen schleifenden Beanspruchung ermittelt. Er wird in $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ angegeben. Zur Beurteilung der Kratzempfindlichkeit von vergüteten Produkten ist dieses Verfahren ungeeignet, da bereits geringste Kratzer zu optischen Veränderungen der Produktoberflächen führen können, ohne dass hierbei ein signifikanter Materialabtrag stattfindet. Darüber hinaus wird im Rahmen der Prüfung des Verschleißwiderstands in erster Linie der Beton geprüft, da die aufsitzende Oberflächenvergütung

nur sehr dünn ist und bei der Prüfungsdurchführung mit dem Prüfschleifmittel (Korund) bereits bei den ersten Schleifperioden abgetragen wird. Die Bestimmung des Verschleißwiderstands mittels der Böhm'schen bzw. der breiten Scheibe über die Menge des flächigen Materialabtrags ist deshalb kein geeignetes Nachweisverfahren für die Bewertung der Kratzempfindlichkeit vergüteter Produkte.

Konkrete Prüfverfahren für die Kratzempfindlichkeit vergüteter Betonprodukte werden im Technischen Regelwerk nicht beschrieben. Eine regelwerkskonforme Bewertung ist folglich nicht möglich. Somit können Sachverständige lediglich beurteilen, ob die Kratzempfindlichkeit der vergüteten Produkte über das übliche Maß vergleichbarer Produkte hinausgeht. Dabei müssen sie berücksichtigen, dass die optische Auffälligkeit von Kratzern auf vergüteten Produkten u. a. von folgenden Einflussgrößen abhängt:

Glanzgrad der Produktoberfläche

Je stärker die Produktoberfläche glänzt, desto stärker treten Kratzer optisch vor allem im Streiflicht in Erscheinung.

Farbe der Produkte

Je dunkler die Produkte sind, desto stärker treten Kratzer optisch in Erscheinung. Deshalb fallen Kratzer bei anthrazitfarbenen oder roten Produkten sehr viel deutlicher auf als bei grauen Produkten.

Rauheit der Produktoberfläche

Je rauer die Produktoberflächen sind, desto stärker ist die Wechselwirkung von z. B. Sanden oder feinen Splitten und umso höher sind die auf die Produktoberfläche einwirkenden Kräfte.

Dicke der Oberflächenvergütung

Je dicker die Oberflächenvergütungen sind, umso größer ist die Dicke der weicheren Nutzschicht. Demnach steigt die Kratztiefe und die Menge des Vergütungsmaterials erwartungsgemäß mit zunehmender Schichtdicke der Oberflächenvergütung an und die Kratzer sind auffälliger.

Härte der Oberflächenvergütung

Je härter die Oberflächenvergütung ist, umso größer müssen die einwirkenden Kräfte sein, um zur Bildung von Kratzer zu führen. Die Härte der Oberflächenvergütung ist dabei in erster Linie vom Vergütungssystem (Acrylat, Polycarbonat, Silian, Siloxan) abhängig. Bei einigen Systemen bewirkt die hohe Festigkeit allerdings auch eine schadensbegünstigende Sprödigkeit.

Kratzverursachende Materialien

Neben den vergüteten Produkten hat natürlich auch das kratzverursachende Material (z. B. Splitt, Stuhlfüße) einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung von Kratzern. Je spitzer und härter das kratzende Material ist, desto größer ist auch die Gefahr für die Entstehung von Kratzern in den Produktoberflächen.

Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen können einen Einfluss auf die Entstehung von Kratzern haben. So ist z. B. davon auszugehen, dass Oberflächenvergütungen aus organischen Systemen bei höherer Temperatur weicher werden.

Über die konkrete Größenordnung der entsprechenden Einflüsse ist derzeit noch wenig bekannt, sodass die Bewertung, ob eine über das übliche Maß hinaus gehende Kratzempfindlichkeit vorliegt, derzeit auf Basis des Bauchgefühls des Sachverständigen erfolgen muss.

Um eine einheitliche Grundlage zur Bewertung von Kratzern in den Oberflächen von vergüteten Betonplatten zu schaffen, erfolgten in der MPVA Neuwied GmbH zur Erfahrungssammlung orientierende Versuche mit drei unterschiedlichen Verfahren:

1. Mohs'sche Härte,
2. Verschleißprüfung mit einem modifizierten SRT-Gerät,
3. Kratzversuche mit unterschiedlichen Härteprüfern.

Verfahren der Mohs'schen Härte

Bei der Prüfung der Mohs'schen Härte werden die Produktoberflächen mit Vergleichsmineralen geritzt. Es wird beurteilt, bei welchen Mineralen Kratzer auftreten.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das Anritzverhalten der vergüteten Betonprodukte ohne weiteres über das Verfahren der Mohs'schen Härte zu prüfen ist. Allerdings ist eine sachgerechte Differenzierung des Kratzwiderstands der Produkte kaum möglich. So wurden bei allen untersuchten Proben Mohs'sche Härten zwischen Kalkspat und Flusspat vorgefunden. Dieses Verfahren ist somit zwar generell zur Bewertung des Kratzwiderstands anwendbar, liefert aber keine ausreichend differenzierbaren Ergebnisse.

Verschleißprüfung mit einem modifizierten SRT-Gerät

Die Untersuchung von vergüteten Betonplatten mit einem modifizierten SRT-Gerät ermöglicht eine vergleichende Bewertung zwischen parallel geprüften Produkten. Bei diesem Verfahren wird der SRT-Prüfaufbau (Skid Resistance Tester) verwendet, wobei die Gummigleiter durch ein Schleifpapier ersetzt werden.

Allerdings zeigten die Untersuchungen auch, dass die Ergebnisse bei diesem Verfahren nicht allein von der Kratzempfindlichkeit der Produkte, sondern auch von der Produktfarbe oder von der Oberflächenstruktur sowie –profilierung abhängen. Darüber hinaus konnten keine absoluten Grenz- oder Richtwerte zur Bewertung der Kratzempfindlichkeit der Produkte festgelegt werden. Dieses Verfahren ermöglicht jedoch eine vergleichende Bewertung zwischen zwei Produkten, die zum selben Zeitpunkt und unter gleichen Umgebungsbedingungen geprüft werden.

Kratzversuche mit unterschiedlichen Härteprüfern

Die besten Ergebnisse wurden mit Härteprüfern und Kratzschablone erzielt. Diese Härteprüfer bestehen aus Prüfstiften mit definierten Ritzspitzen (Material und Durchmesser), die mit einer bestimmten Kraft auf die Prüffläche gedrückt werden. Im Rahmen dieser Versuche wurden die Proben mit unterschiedlichem Anpressdruck geritzt und die Probenoberflächen anschließend augenscheinlich beurteilt (siehe Bild 120).

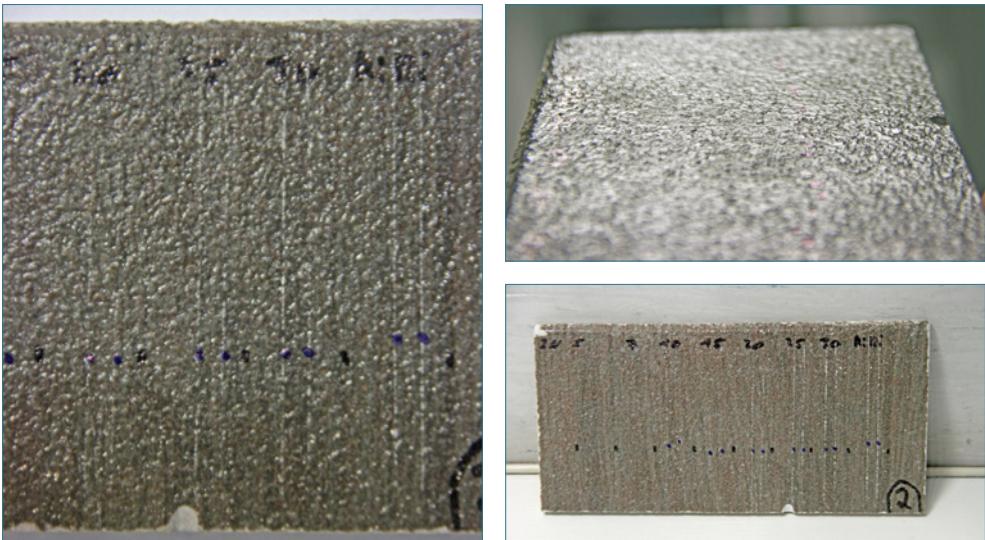


Bild 120: Ritztest an vergüteten Betonplatten

Im Rahmen der detaillierten augenscheinlichen Ansprache wurde das Ritzbild bei jeder Einstellung erfasst (siehe »Detailansprache« in Tabelle 17 und im linken Bild 120). Dann wurde die Schädigung der Vergütung im Streiflicht untersucht (siehe »Schaden im Steiflicht« in Tabelle 17 und Bild 120 rechts oben) und das Kratzbild abschließend aus einem Abstand von 2 m dahingehend geprüft, ab welchem Anpressdruck signifikante Kratzer entstehen (siehe »Kratzer aus 2 m« aus Tabelle 17 und Bild 120 rechts unten).

Auftrag		Ansprache	Kratzhärte								
			2 N	5 N	7 N	10 N	15 N	20 N	25 N	30 N	RiRi 1
1	4-16/1601/17	Detailansprache	0	x	x	x	xx	xxx	xxx	xxx	xxx
		Schaden im Streiflicht	keiner								
		Kratzer aus 2 m	Übergang 10 N auf 15 N								
2	6-16/1192/17	Detailansprache	0	0	0	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx
		Schaden im Streiflicht	keiner								
		Kratzer aus 2 m	Übergang 15 N auf 20 N								

Tabelle 17: Ergebnisse der Ritztests an vergüteten Betonplatten

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Kratzempfindlichkeit der vergüteten Produkte mit diesem Verfahren sachgerecht beurteilt werden kann. Derzeit werden in der MPVA Neuwied GmbH Reihenuntersuchungen durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse soll es in Zukunft möglich sein, möglichst objektiv zu entscheiden, ob die Kratzempfindlichkeit eines Produkts über das übliche Maß vergleichbarer Produkte hinausgeht.

5.5.4 Eintrübung bei Einwirkung von Wasser

Immer wieder zeigen sich bei Einwirkung von Wasser auf vergütete Produkte deutliche Farbveränderungen. Der Frage nach der Empfindlichkeit von vergüteten Betonplatten im erhärteten Zustand gegenüber der Einwirkung von Wasser wurde im Rahmen einer kleinen Versuchsreihe in der MPVA Neuwied GmbH nachgegangen.

Zu diesem Zweck wurden die Prüfkörper über einen Zeitraum von einem Tag jeweils zur Hälfte in Wasser eingelagert und die Veränderung des optischen Erscheinungsbildes beurteilt.

Bild 121 zeigt die Betonplatten nach dem Test. Die untere Hälfte der Prüfkörper weist Eintrübungen auf.



Bild 121: Eintrübung der vergüteten Betonplatten bei Einlagerung in Wasser

Nach Abschluss dieser Versuche erfolgten an den Proben mikroskopische Untersuchungen. Im Rahmen dieser Untersuchungen zeigte sich, dass die Aufhellung der Probenoberflächen ursächlich auf eine Ablösung der Vergütung von der Untergrundplatte (siehe Bild 122) und einer damit in Verbindung stehenden Bildung von Blasen in der Oberflächenvergütung zurückzuführen war (siehe Bild 123).

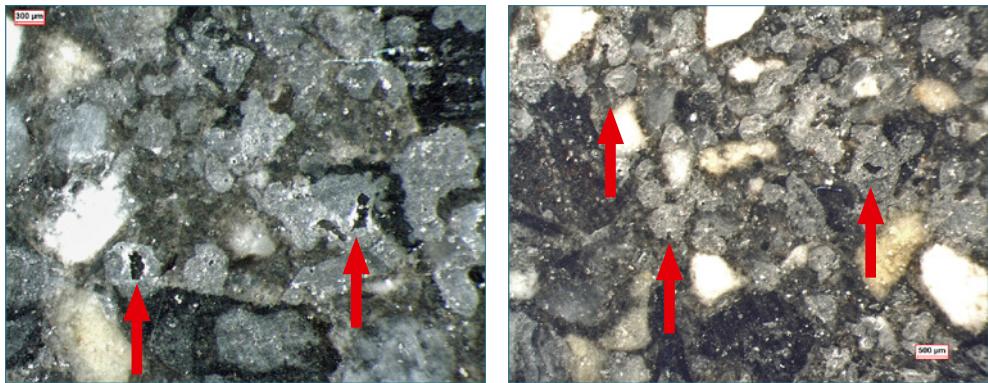


Bild 122: Ablösung der Oberflächenvergütung



Bild 123: Blasenbildung in der Oberflächenvergütung

5.5.5 UV-Beständigkeit

Während nicht vergütete Betonplatten bei Einwirkung von UV-Licht im Normalfall keinerlei Verfärbungsrisiko zeigen, treten bei vergüteten Betonplatten immer wieder optische Veränderungen in Form von Eintrübungen (siehe Bild 124) oder der Bildung von Schrumpfrissen (siehe Bild 125) auf. Diese Schadensbilder sind im Laborversuch bereits nach wenigen Tagen UV-Beanspruchung reproduzierbar.



Bild 124: Eintrübung der Oberflächenvergütung bei UV-Bestrahlung



Bild 125: Schrumpfrissbildung in der Oberflächenvergütung bei UV-Bestrahlung

Derartige Verfärbungen stellen zumindest zum Teil eine erhebliche optische Beeinträchtigung dar und sind somit auch reklamationsfähig.

5.6 Labortechnischer Nachweis der Vergütungssysteme

Weisen die vergüteten Produkte nicht die erwarteten optischen oder technischen Eigenschaften auf, wird seitens der Abnehmer häufig vermutet, dass die Produkte keine oder keine ausreichend funktionsfähige Oberflächenvergütung besitzen. Zum Nachweis des Vorhandenseins von Oberflächenvergütungen kommen bei entsprechenden Streitigkeiten u.a. die nachfolgenden Verfahren in Frage:

- vergleichende Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten,
- dünnenschliffmikroskopische Untersuchungen,
- IR-spektroskopische Untersuchungen,
- rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.

5.6.1 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten

Zum Nachweis, ob auf den Produkten eine funktionsfähige wasserabweisende Oberflächenvergütung aufsitzt, kann der Wasseraufnahmekoeffizient der Betonplatten nach DIN EN ISO 15148 [62] an der Plattenoberseite sowie vergleichend nach dem Abtrennen des Kernbetons an der Unterseite des Vorsatzbetons (als Referenzfläche) ermittelt werden.

Als Nachweiskriterium können zum einen die absoluten Ergebnisse der Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten verwendet werden, alternativ können auch die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen (an der Ober- und Unterseite des Vorsatzbetons) angeführt werden.

Produkte mit sachgerecht verarbeiteten Oberflächenvergütungen sollten Wasseraufnahmekoeffizienten von $w \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ aufweisen [37]. Wird dieser Wert nicht erreicht, weisen die Produkte keine oder keine funktionsfähige Oberflächenvergütung auf.

5.6.2 Mikroskopische Untersuchungen

Dünnenschliffmikroskopische Untersuchungen eignen sich für den Nachweis Schicht bildender Oberflächenvergütungen (siehe Bild 126 und Bild 127). Bei nicht Schicht bildenden Produkten führen dünnenschliffmikroskopische Untersuchungen teilweise nicht zu eindeutigen Aussagen.

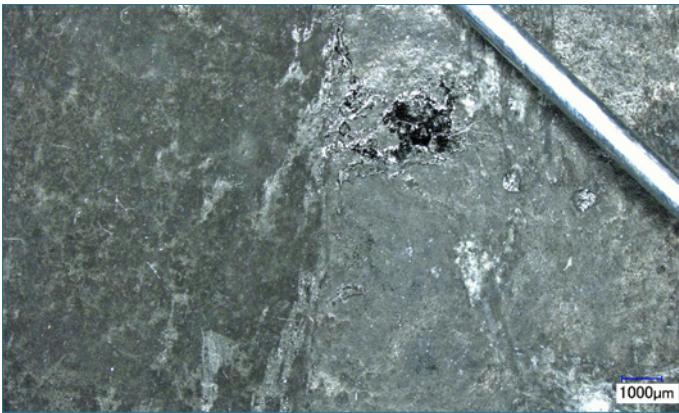


Bild 126: Bild 15: Digital-mikroskopische Aufnahme einer Schicht bildenden Oberflächenvergütung

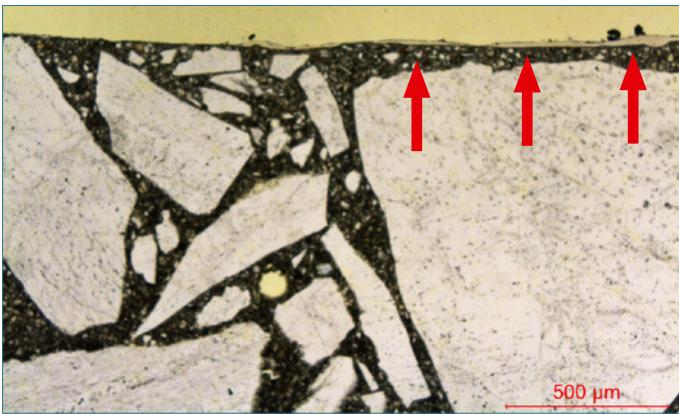


Bild 127: Bild 16: Dünnschliffmikroskopische Aufnahme einer Schicht bildenden Oberflächenvergütung

5.7 Beispiele aus der Gutachterpraxis

5.7.1 Ausblühungen auf oberflächenvergüteten Betonprodukten

Weiße Verfärbungen auf nicht vergüteten Betonplatten bestehen in den meisten Fällen aus Calciumcarbonaten und sind normalerweise auf den Transport des Kalkhydrats aus dem Zementstein an die Produktoberfläche zurückzuführen [38]. Auch bei vergüteten Betonprodukten können weiße Verfärbungen in der Produktoberfläche auf die Bildung von Calciumcarbonaten zurückzuführen sein, allerdings kommen bei diesen Produkten auch andere Schadensmechanismen in Frage. Hier sind u.a. die nachfolgenden Verfärbungsursachen zu nennen:

- Eintrübung der vergüteten Produkte durch Reaktion nicht ausreichend ausgehärteter Bestandteile der Oberflächenvergütung mit Wasser im Besonderen bei hohen pH-Werten (siehe Abschnitt 5.5.4),
- Eintrübung der vergüteten Produkte durch einwirkende UV-Strahlung (siehe Abschnitt 5.5.5).

Sofern in der Oberfläche der vergüteten Betonprodukte weiße Verfärbungen vorliegen, die auf die Bildung von Calciumcarbonaten zurückzuführen sind, stehen diese Verfärbungen im Normalfall mit Oberflächendefekten der Oberflächenvergütung bzw. einer teilflächigen Ablösung der Oberflächenvergütung in Verbindung.

Portlandit- bzw. Calciumcarbonatausblühungen in Bereichen mit Defekten in der Oberflächenvergütung

Calciumcarbonathaltige Ausblühungen zeigen sich bei Schicht bildend vergüteten Produkten üblicherweise nur in Bereichen, in denen die Oberflächenvergütung der Betonprodukte Fehlstellen aufweist. Ein Beispiel wird in Bild 128 gezeigt. Demnach handelt es sich bei den Aufhellungen aufgrund der teilflächigen Ablösung der Oberflächenvergütung üblicherweise um einen Sonderfall der typischen Calciumcarbonatausblühungen.



Bild 128: Calciumcarbonathaltige Ausblühungen im Bereich von Fehlstellen in der Oberflächenvergütung

In den Fehlstellenbereichen der Oberflächenvergütung kann das kalkhydrathaltige Wasser durch den sog. »Kamineffekt« zur Baustoffoberfläche transportiert werden, durchdringt hier die Oberflächenvergütung (rote Pfeile im Bild 129) und lagert sich in diesem Bereich auf der Produktoberfläche (rote Pfeile im Bild 130) ab.

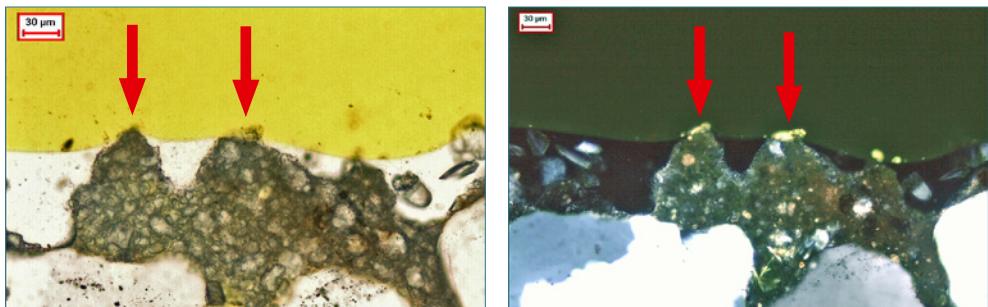


Bild 129: An Fehlstellen in der Oberflächenvergütung können Ausblühungen entstehen.

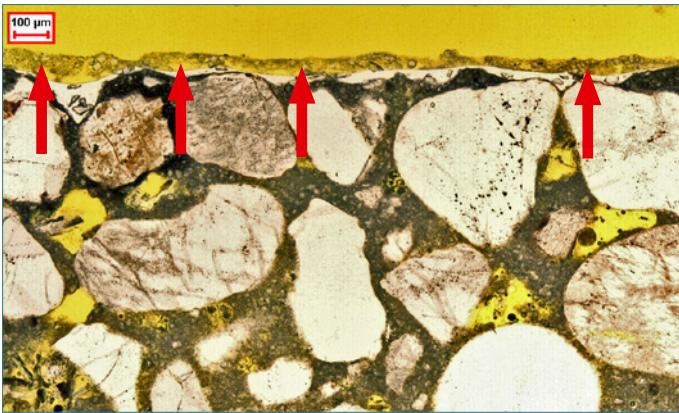


Bild 130: Calciumcarbonat-haltige Ablagerungen auf der Oberflächenvergütung

Die massive lokale Aufhellung der Betonplatten war im oben beschriebenen Beispiel somit auf die Bildung von Ausblühungen im Bereich von Fehlstellen der Oberflächenvergütung zurückzuführen.

Während die oben beschriebenen Ausblühungen bereits augenscheinlich erkennbar waren, stellte sich der Sachverhalt bei dem nachfolgenden Schadensfall optisch anders dar. Bei den hier erkennbaren Farbveränderungen an den vergüteten Produkten lag augenscheinlich nur eine optisch stark variierende Produktfarbe vor (siehe Bild 131).



Bild 131: Farbschwankungen vergüteter Betonprodukte

Bei digitalmikroskopischen Untersuchungen der Probenoberflächen zeigte sich, dass es sich bei dem Hauptteil der oben dargestellten hellen Verfärbungen um Farbänderungen der Oberfläche der Produkte und nicht um aufsitzende Verfärbungen handelte (siehe Bild 132).

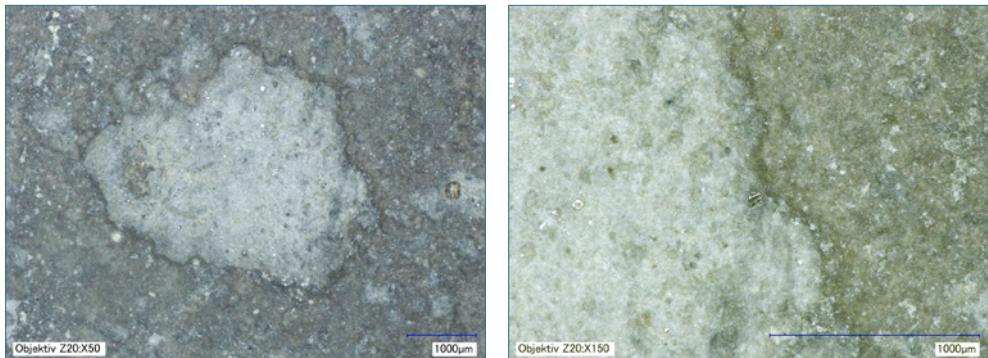


Bild 132: Farbschwankungen in der Oberfläche vergüteter Betonprodukte

Nur vereinzelt fanden sich zusätzlich Verfärbungen, die durch aufsitzende Bestandteile verursacht wurden und die bei Salzsäurebeaufschlagung massiv aufschäumten, was als Hinweis auf die Bildung von Ausblühungen auf den Betonoberflächen bzw. die Carbonatisierung der Betonoberfläche zu werten ist (siehe Bild 133).

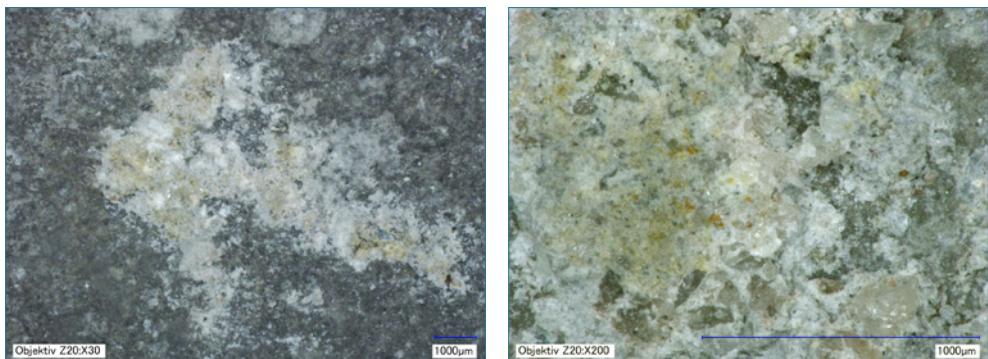


Bild 133: Farbschwankungen durch auf der Betonoberfläche aufsitzende carbonatische Bestandteile

Im Rahmen der dünnenschliffmikroskopischen Untersuchungen zeigte sich, dass in den dunkleren Teilbereichen der Betonoberfläche eine sehr dünne Oberflächenvergütung auf dem Beton aufsaß, während in den helleren Teilstücken zum Teil kleine Fehlstellen vorlagen (siehe rote Pfeile in Bild 134).

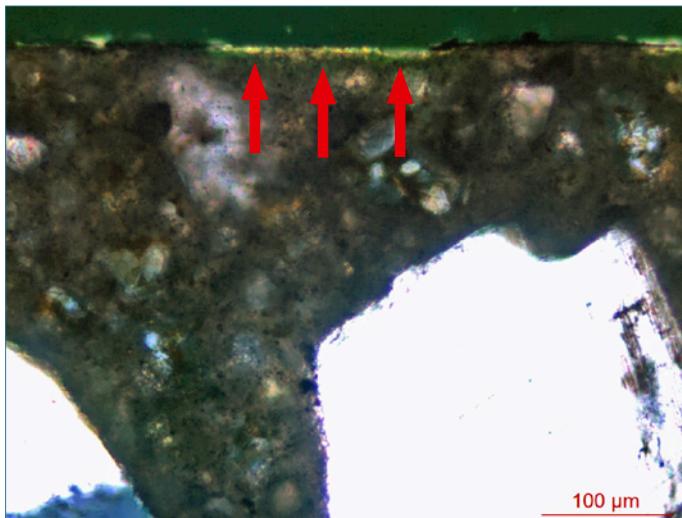


Bild 134: Detailaufnahme einer Fehlstelle in der Oberflächenvergütung der Betonprodukte

Wie Bild 135 zeigt, war bei noch größerer Vergrößerung erkennbar, dass der Beton unterhalb der aufsitzenden Oberflächenvergütung im Regelfall nicht carbonatisiert war, während der Beton im Bereich der Fehlstellen in der Vergütung eine deutliche Carbonatisierung (Rosa-färbung des Zementsteins) aufwies.



Bild 135: Detailaufnahme der Carbonatisierung der Betonoberfläche im Bereich der Fehlstelle der Oberflächenvergütung

Passend zur erhöhten Carbonatisierungstendenz des Betons im Bereich der Fehlstellen der Oberflächenvergütung wurden auch in den tiefer liegenden Poren des Betons deutliche Mengen an Sekundärmineralen vorgefunden (Bild 136), die belegen, dass der Beton im Rahmen der Nutzung über längere Zeiten einer hohen Feuchtigkeit ausgesetzt war.

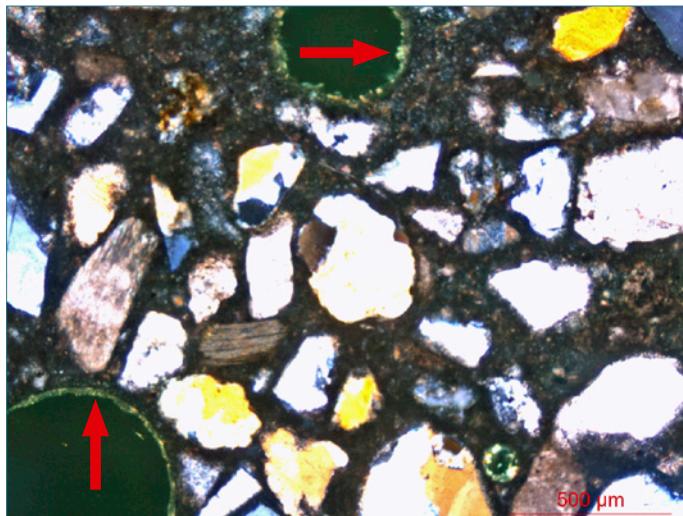


Bild 136: Detailaufnahme der Sekundärminerale an den Porenwänden des Betons

Ein ähnlicher Schadensfall ist nachfolgend dargestellt. Dem in Bild 137 dargestellten Beispiel wurden über die Betonplatte verteilt auftretende, kleinflächige Aufhellungen reklamiert.

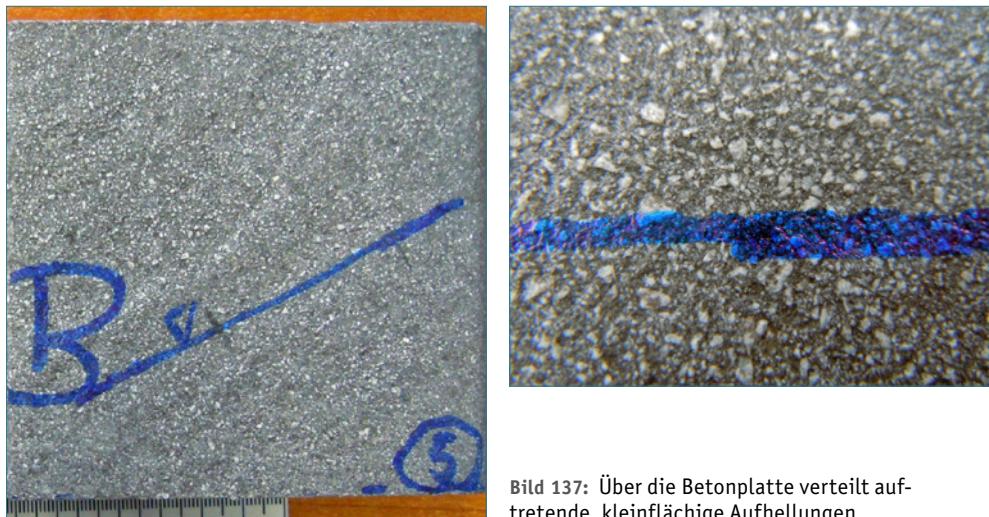


Bild 137: Über die Betonplatte verteilt auftretende, kleinflächige Aufhellungen

Die digitalmikroskopischen Untersuchungen zeigten, dass die Aufhellung der Betonplatte darauf zurückzuführen war, dass sich eine Vielzahl kleiner Blasen in der Oberfläche der Vergütung der Betonplatte gebildet hatte. In den geöffneten Blasen waren teilweise feine weiße Ablagerungen zu erkennen (siehe Bild 138).

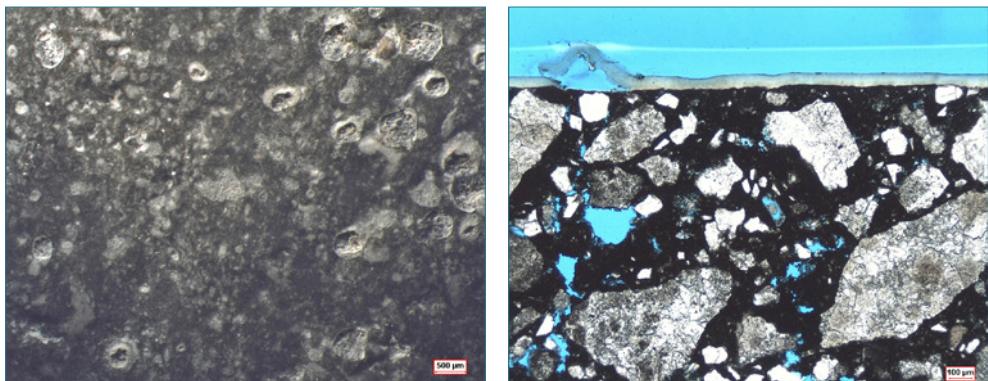


Bild 138: Blasen in der Oberflächenvergütung der Betonplatte

Im Bereich der Blasenbildung wurden bei der mikroskopischen Untersuchung Sekundärminerale vorgefunden (rote Pfeile im Bild 139), bei denen es sich um Portlandit (Calcium-hydroxid) handelte.

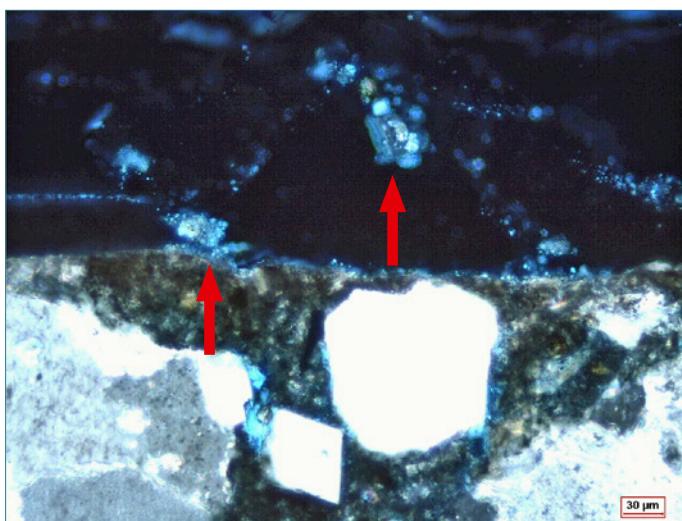


Bild 139: Sekundärminerale im Bereich der Blasenbildung

Die beschriebene Sekundärmineralbildung wurde ausschließlich im Bereich von Fehlstellen der Oberflächenvergütung festgestellt.

In einem weiteren Streitfall sollte geklärt werden, worauf die milchige Verfärbung der Betonplatte in Bild 140 zurückzuführen war.



Bild 140: Milchige Verfärbung einer vergüteten Betonplatte

Im Rahmen der mikroskopischen Untersuchung zeigte sich, dass der Verbund zwischen der Oberflächenvergütung und der Betonplatte in den Teilflächen der milchigen Verfärbungen deutlich gestört war (siehe Bild 141).

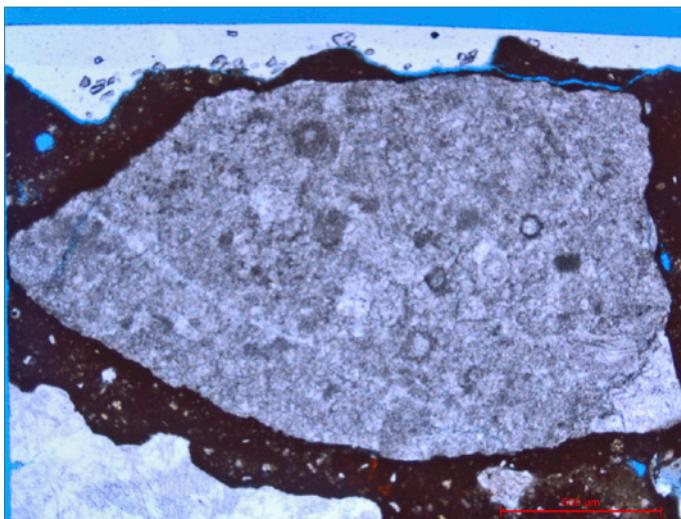


Bild 141: Verbundstörung zwischen der Oberflächenvergütung und der Betonplatte

In den Bereichen, in denen kein Verbund zwischen der Oberflächenvergütung und der Betonplatte vorlag, war auf der Betonoberfläche ein dünner Überzug von feinen Sekundärmineralen erkennbar (Bild 142).

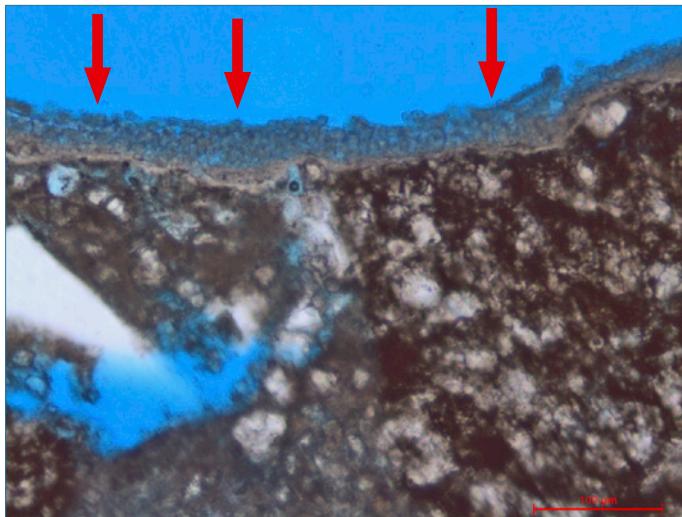


Bild 142: Ausblühungen auf der Plattenoberfläche in einem Bereich ohne Oberflächenvergütung

5.7.2 Verfärbung der Plattenoberfläche durch Einwirkung von Wasser

Wie bereits in Abschnitt 5.5.4 ausgeführt wurde, besteht bei vergüteten Betonplatten das Risiko, dass sie bei Einwirkung von Wasser aufhellen, wenn noch reaktive Anteile der Vergrütungsmaterialien zur Verfügung stehen. Einen solchen Fall zeigt Bild 143. Die verbauten Betonplatten wiesen zum Teil deutlich variierende Farben auf, was zu einem Rechtsstreit führte.



Bild 143: Aufhellung vergüteter Betonplatten

Im Rahmen der digitalmikroskopischen Untersuchung dieser Produkte zeigte sich, dass in der Oberfläche der aufgehellten Platten zum Teil trübe und zum Teil hell erscheinende Ablagerungen vorhanden waren (siehe Bild 144).

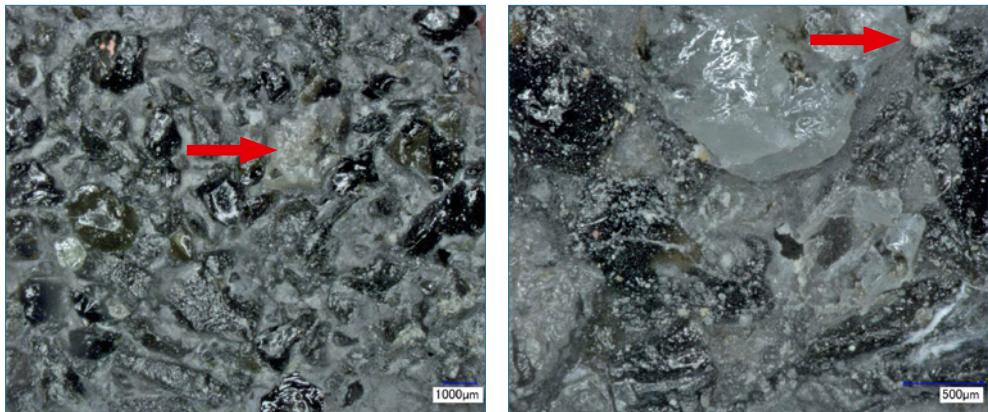


Bild 144: Ablagerungen in der Oberfläche der aufgehellt Betonplatte

Die nachfolgend aufgeführten Bilder (siehe Bild 145) zeigen eine poröse Zone im Bereich der Plattenoberfläche, die deckungsgleich zur Aufhellung war.

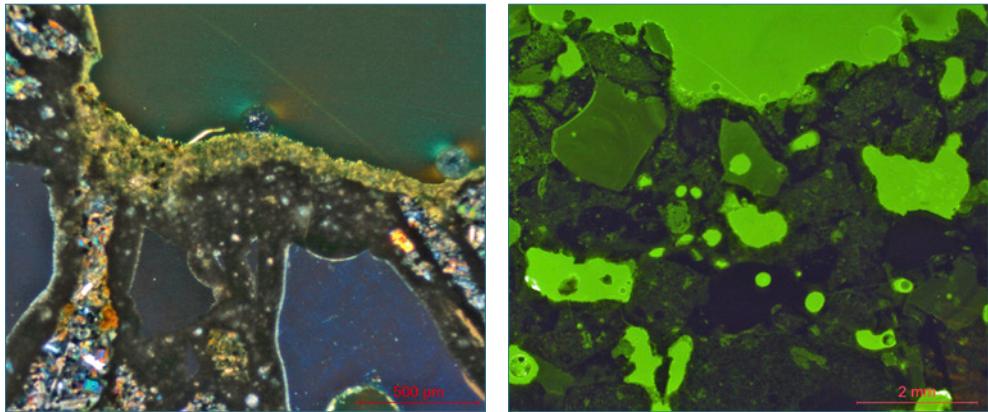


Bild 145: Poröse und der Aufhellung deckungsgleiche Oberflächenzone

Die im linken Bild 145 erkennbaren bunten, feinkörnig verteilten Interferenzfarben in der porösen Zone belegen, dass es sich hierbei um mineralische Bestandteile handelt. Zur Identifizierung der chemischen Zusammensetzung der porösen Schicht erfolgten raster-elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Probe (siehe Bild 146).

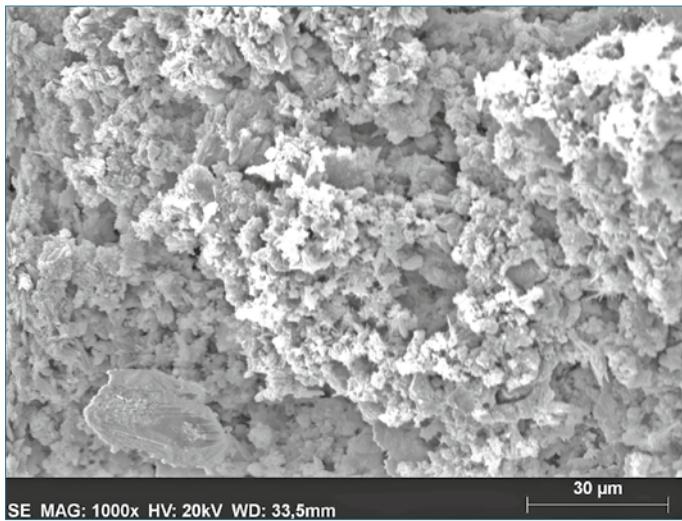


Bild 146: Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahme der porösen Schicht

Bei der porösen Schicht handelte es sich gemäß den Ergebnissen der rasterelektronen-mikroskopischen Untersuchungen um an Silizium angereicherte Calciumaluminumsilikate, was vermuten lässt, dass die Oberflächenvergütung aus einem silikatischen Schutzsystem bestand. Offensichtlich waren noch reaktive Bestandteile der Oberflächenvergütung, die mit dem einwirkenden Wasser reagiert haben, für die Eintrübung der Oberflächenvergütung verantwortlich.

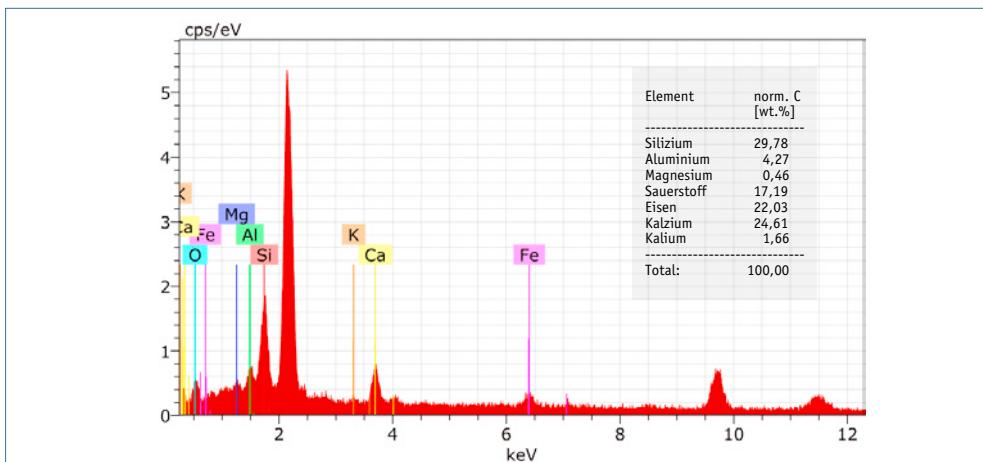


Bild 147: Chemische Zusammensetzung der porösen Schicht

Die nachfolgenden Bilder zeigen einen ähnlichen Schadensfall mit aufgehellten, vergüteten Betonplatten, wobei die Aufhellungen hierbei nicht flächendeckend, sondern nur an Einzelplatten auftraten (siehe Bild 148).

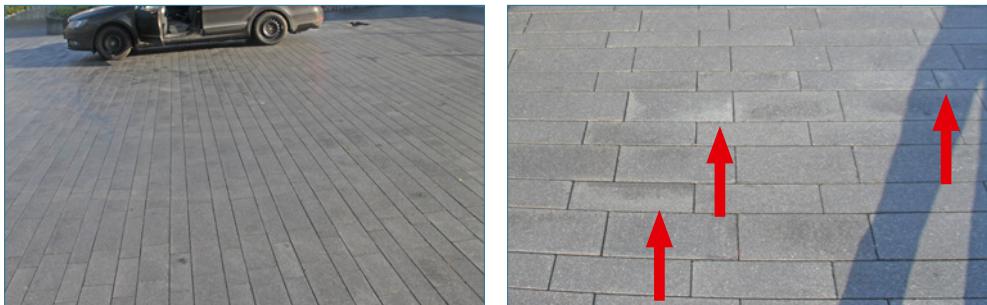


Bild 148: Aufhellung einzelner, vergüteter Betonplatten

Die digitalmikroskopischen Untersuchungen zeigten, dass die Aufhellung der Betonplatten mit der punktuellen Ablösung der Oberflächenvergütung in Verbindung stand.

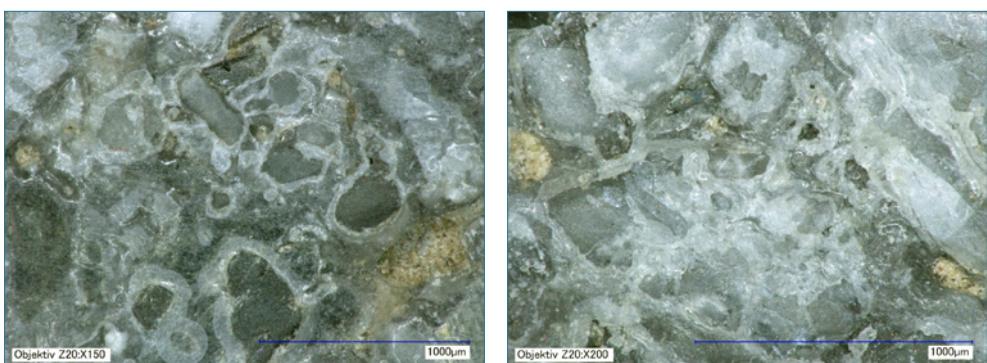


Bild 149: Detailaufnahmen der Aufhellung einzelner, vergüteter Betonplatten

Die verfärbten Produkte waren über eine lange Zeit einer intensiven Durchfeuchtung ausgesetzt. Dies war an den erheblichen Mengen an Sekundärmineralien erkennbar, welche die Porenwände auskleideten (siehe Bild 150).

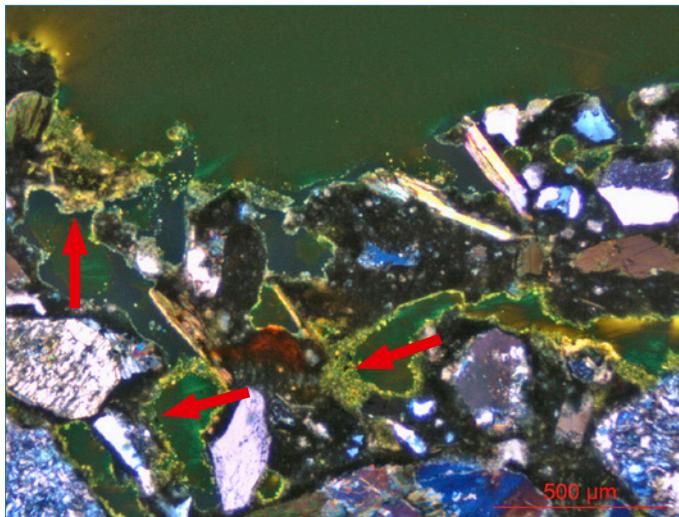


Bild 150: Sekundärminerale an den Porenwänden des Betons

5.7.3 Verfärbungen bei gebundenen Pflasterdecken aus vergüteten Betonplatten

Wie bereits in Abschnitt 5.5.1 ausgeführt wurde, besteht auch bei oberflächenvergüteten Produkten ein erhebliches Risiko, dass diese verschmutzen, wenn die Kontaktzeit zwischen den vergüteten Produkten und den Verschmutzungsreagenzien zu lang ist. Aus diesem Grunde sind Verschmutzungsreagenzien auch bei vergüteten Produkten im frühen Zustand zu entfernen und die Produktoberflächen regelmäßig zu reinigen und ggf. sogar zu pflegen.

Vor dem Hintergrund der Verschmutzungsanfälligkeit ist besonders die Kombination oberflächenvergüteter Produkte mit der gebundenen Bauweise als kritisch anzusehen. So weist eine Vielzahl der Plattenproduzenten in ihren Einbau- und Verlegehinweisen darauf hin, dass besonders hartnäckige Verfärbungen durch die Einwirkung von Fugen- und Verlegermaterialien entstehen können, wenn diese zu lange in Kontakt zur Oberflächenvergütung der Betonplatten stehen.

Ein typisches Beispiel für eine zu lange Einwirkzeit (in diesem Falle des Bettungsmaterials) ist im folgenden Beispiel dargestellt. Bei diesem Streitfall wurde eine kleine Terrassenfläche in einer Art Mischbauweise aus gebundener Bettung und ungebundenen Tragschicht und Fuge erstellt. Seitens des Bauherrn wurde eine nicht ausreichende Reinigungsfähigkeit der vergüteten Betonplatten reklamiert, da graue Verschmutzungen auf den Betonplatten auftraten, die mit normalen Mitteln nicht entfernen waren (siehe Bild 151).



Bild 151: Verfärbung von Betonplatten durch den gebundenen Bettungsmörtel

Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurde festgestellt, dass die Betonplatten bei Aufbringung von Kaffee, Speiseöl und Lehm bei kurzer Applikationszeit ein erwartungsgemäßes Anschmutzungsverhalten zeigten. Mittels weitergehender mikroskopischer Untersuchungen konnte darüber hinaus nachgewiesen werden, dass die vermeindlichen Verschmutzungen (rote Pfeile in Bild 152) hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sehr dem Bindemittel der gebundenen Bettung ähnelten.

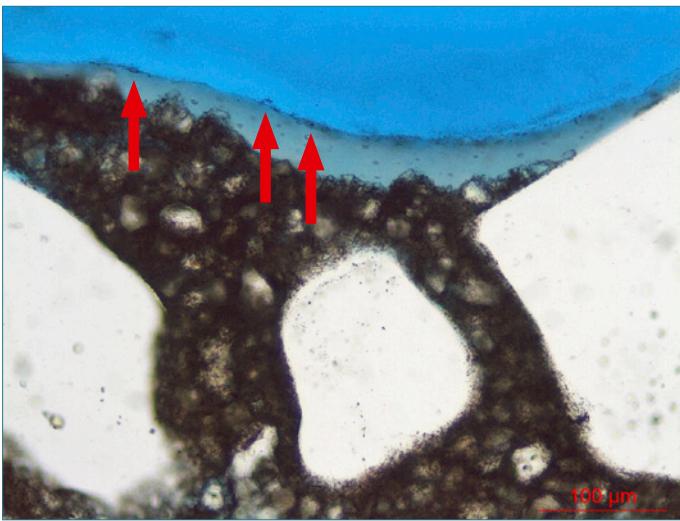


Bild 152: Dünnschliffmikroskopische Aufnahme der auf den Platten aufsitzenden Verschmutzung

Tatsächlich handelte es sich bei den aufsitzenden Verfärbungen somit nicht um aufgebrachte Verschmutzungen, sondern um zementäre Reste des Bettungsmaterials, die im Rahmen der Erstellung der Pflasterdecke nicht schnell genug von den Plattenoberflächen entfernt wurden und deshalb zu den Verfärbungen geführt haben. Weder das Anschmutzungsverhalten noch die Reinigungsfähigkeit der Betonplatten war auf Basis der Laboruntersuchungen zu beanstanden.

Bei einem anderen Schadensfall wurde die Terrassenfläche eines repräsentativen und hochwertig ausgeführten Objektes auf Wunsch des Bauherrn unter Verwendung einer imprägnierten Betonplatte hergestellt, wobei die Verfugung mit einem zementgebundenen Fugen-

mörtelerfolgen sollte. Sofort nach der ersten Inaugenscheinnahme reklamierte der Bauherr bei dem ausführenden Unternehmen die Aufhellung der Betonplatten (siehe rote Pfeile in Bild 153).



Bild 153: Aufhellung der vergüteten Betonplatten eines repräsentativen Objektes

In Bild 153 ist besonders gut erkennbar, dass die Aufhellung der Betonplatten durch die Einwirkung des zementären Fugenmaterials hervorgerufen wurde. Die beiden Plattenreihen am Rand der Terrassenfläche wurden noch nicht verfugt (grüne Pfeile in Bild 153). Sie weisen demnach die Ursprungsfarbe der Betonplatten auf. Der übrige, verfugte Bereich ist deutlich heller.

Ursächlich war die Aufhellung darauf zurückzuführen, dass das zementäre Fugenmaterial im Rahmen der Verfugung zu lange auf der Pflasterdecke verblieb und somit ein Zementschleier auf der Oberflächenvergütung entstand.

Nach der ersten Reklamation des Bauherrn und vor der Durchführung des Sachverständigentermins wurde eine kleine Teilfläche seitens des Bauunternehmers unter Verwendung eines Zementschleierentferrners gereinigt (siehe rote Markierung in Bild 154), wobei die Ursprungsfarbe der Betonplatten nicht wieder hergestellt werden konnte.



Bild 154: Mit einem Zementschleierentferrner gereinigte Teilfläche

Dafür war im Rahmen der Beurteilung der Pflasterdecke nach der Reinigung festzustellen, dass die hydrophoben Eigenschaften der Plattenoberflächen durch diese Reinigung ebenfalls reduziert wurden (siehe Bild 155).

Die optische Reduzierung der hydrophoben Eigenschaften der Betonplatten ist nicht gleichzusetzen mit dem Verlust der wasserabweisenden Eigenschaften des gesamten Produktes. Vielmehr wurde das Vergütungsmaterial nur im Bereich der Plattenoberfläche entfernt, sodass davon auszugehen war, dass die Betonplatten in den Zonen unterhalb der Betonoberfläche noch wasserabweisende Eigenschaften aufwiesen.



Bild 155: Die hydrophoben Eigenschaften der Oberfläche der Betonplatte sind nach deren Reinigung reduziert

Auch bei diesem Schadensbeispiel waren die Aufhellungen der Betonplatten darauf zurückzuführen, dass das zementäre Fugenmaterial zu spät wieder abgereinigt wurde, weshalb die zementären Bestandteile in der Baustoffoberfläche verfestigten und somit zur Aufhellung der Platten geführt haben.

Neben dem Reinigungszeitpunkt hat auch die Art der Oberflächenprofilierung sowie die Ausbildung von Fehlstellen in der Produktoberfläche einen maßgeblichen Einfluss auf das Anschmutzungsverhalten der Produkte. So wurden in dem in Bild 156 gezeigten Fall Verschmutzungen in der Plattenoberfläche vorgefunden, die in der Verkrallung des Fugenmaterials in den Profiltiefpunkten der Plattenoberfläche begründet waren.

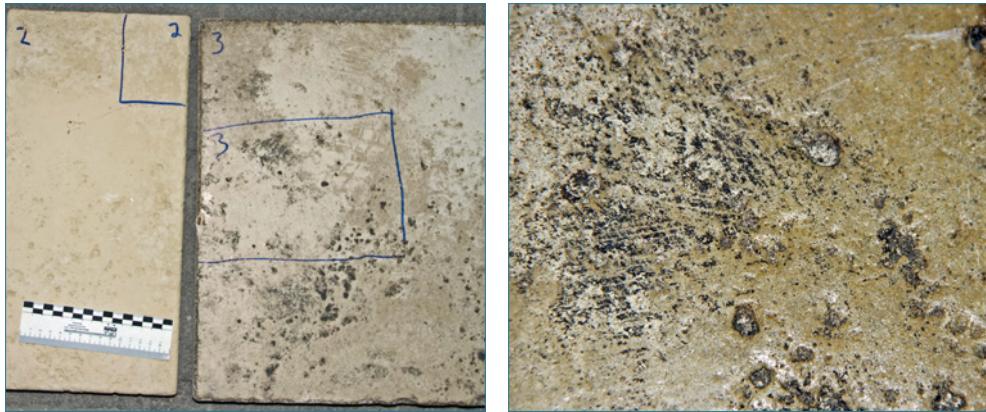


Bild 156: Verschmutzungen durch Einlagerung des Fugenmaterials in den Bereichen der Profiltiefpunkte der Plattenoberfläche

Im Rahmen der mikroskopischen Untersuchungen zeigte sich, dass sich diese Ablagerungen (siehe roter Pfeil in Bild 157) vorzugsweise im Bereich der Profiltiefpunkte bzw. von Fehlstellen in Form von Blasen der Oberflächenvergütung fanden und in ihrer Zusammensetzung sehr dem Fugenmaterial ähnelten.

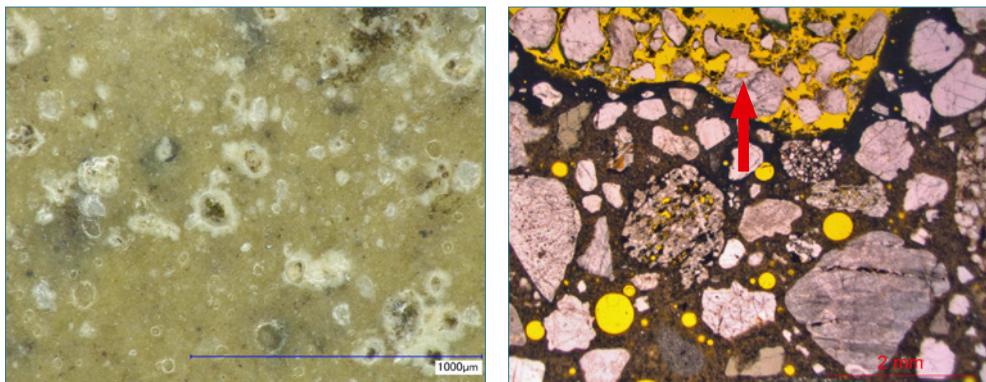


Bild 157: Ablagerungen in den Profiltiefpunkten bzw. im Bereich von Fehlstellen der Oberflächenvergütung der Betonplatten

Einen Sonderfall der Verschmutzung von Pflasterdecken durch zementgebundene Materialien stellt die Aufbringung von Schneidschlämmen dar, die im Rahmen der Zuschnittarbeiten der Betonprodukte entstehen (siehe Bild 158) und ggf. zu erheblichen Verschmutzungen führen können (siehe Bild 159).



Bild 158: Schneidemaschine auf Pflasterdecken



Bild 159: Bild 48: Verschmutzungen durch die Einwirkung von Schneidschlämmen

5.7.4 Reinigungsfähigkeit vergüteter Betonplatten

Allgemeine Hinweise zum Anschmutzungsverhalten und zur Reinigungsfähigkeit von vergüteten Produkten sind Abschnitt 5.5.1 zu entnehmen. Die Ausführungen aus diesem Kapitel sollen ergänzend belegen, dass Verschmutzungen auch bei hochwertigen und sachgerecht vergüteten Betonprodukten frühzeitig entfernt werden müssen, da ansonsten bleibende Verschmutzungen entstehen können.

Anhand des nachfolgend beschriebenen Schadensfalles soll das Thema **erwartungsgemäße Reinigungsfähigkeit vergüteter Produkte** intensiver diskutiert werden. Zur Herstellung der Pflasterdecke vor dem Eingang eines repräsentativen Bürogebäudes wurden hier hochpreisige, oberflächenvergütete Betonplatten verlegt. Die Betonplatten zeigten bereits

kurz nach der Verlegung massive Verschmutzungen, weshalb sowohl der Bauherr als auch der Bauunternehmer eine nicht ausreichende Reinigungsfähigkeit der Betonplatten reklamierte (siehe Bild 160).



Bild 160: Verschmutztes Pflaster aus vergüteten Betonplatten

Bei der Begutachtung der Pflasterdecke und der Umgebung zeigte sich, dass die braunen Verfärbungen auf den Betonplatten aus einer Art Lehm aus den seitlich anstehenden unbefestigten Teilflächen bestanden, die auch die umgebenden Gehwege verschmutzt hatten.

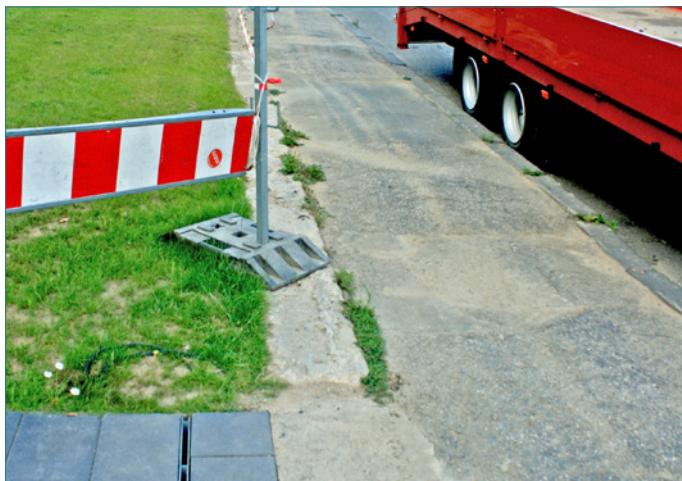


Bild 161: Verschmutzung des benachbarten Gehwegs

Bei der Bewertung der Reinigungsfähigkeit der vergüteten Betonplatten war im vorliegenden Fall zu berücksichtigen, dass der seitlich anstehende Boden hohe Lehmannteile enthielt und die Pflasterdecke nicht zeitnah durch den Bauunternehmer bzw. den Nutzer des Gebäudes gereinigt wurde. Die auf die Pflasterdecke einwirkenden Lehmannteile verblieben demnach über mehrere Tage auf den Pflasterplatten und wurden so intensiv in die Plattenoberfläche eingearbeitet.

Der Sachverständige hat bei diesem Schadensfall somit nicht nur die Frage zu beantworten, ob die Betonplatten eine ausreichende Reinigungsfähigkeit aufwiesen, sondern auch, ob der aufgebrachte Lehm bei langen Kontaktzeiten (d. h. ohne regelmäßige und frühzeitige Reinigung) mit normalen Reinigern wieder von den oberflächenvergüteten Betonplatten hätte zu entfernen sein müssen.

Der vorliegende Fall ist ein typisches Beispiel dafür, dass in einigen Fällen seitens der Kunden oder auch der Bauunternehmer ungerechtfertigt hohe Anforderungen an die Reinigungsfähigkeit oberflächenvergüteter Produkte gestellt werden.

So waren die beteiligten Parteien im beschriebenen Beispiel davon ausgegangen, dass die Betonplatten (trotz der langen Einwirkzeiten der Verschmutzung) gar nicht erst hätten verschmutzen dürfen oder sich analog einem Lotuseffekt durch Regen selber hätten reinigen müssen. Derartige Eigenschaften lassen sich im Regelfall aber auch durch oberflächenvergütete Betonplatten nicht gewährleisten.

Die vorgestellten Reklamationen zeigen, warum sachverständige Beurteilungen gerade im Fall von Verschmutzungen so schwierig sind. So gibt es kein technisches Regelwerk, das zur Beurteilung dieser Fälle herangezogen werden kann. Darüber hinaus ist der Einfluss der Art der Schutzsysteme nur schwer greifbar. Was muss ein vergütetes Produkt können? Welche Reinigungsfähigkeit muss das konkret zur Anwendung gekommene Produkt aufweisen?

Gerade die letzte Frage ist, wie in Abschnitt 5.3 ausgeführt wurde, nur mit sehr großem Aufwand zu beantworten, da es nicht nur ein Vergütungssystem gibt. Vielmehr kommen zur Herstellung hochwertiger Produkte unterschiedliche silikatische oder organische Systeme zum Einsatz, die sich in ihren Eigenschaften zum Teil stark unterscheiden. Manche Schutzsysteme sind annähernd säurebeständig, während andere durch Säuren stark angegriffen werden. Andere Systeme sind oxidationsempfindlich, während wieder andere eher Probleme bei der Beständigkeit gegenüber Lösungsmitteln aufweisen.

Wie sieht das Bausoll für oberflächenvergütete Betonplatten hinsichtlich ihres Anschmutzungsverhalten und der Reinigungsfähigkeit nun aus? Was müssen die Systeme leisten und was geht über die zu erwartende Leistungsfähigkeit hinaus? Nicht selten lautet die Frage an den Sachverständigen: **Dürfen die vergüteten Steine oder Platten durch normalen (Baustellen)schmutz (siehe Bild 162) überhaupt in diesem Maße verschmutzen?**



Bild 162: Baustellenschmutz

Auch aus dieser Fragestellung resultieren für den Sachverständigen weitere Folgefragen, wie z. B.:

- Was ist üblicher Baustellenschmutz?
- Muss bei üblichem Baustellenschmutz nur mit anstehendem Boden gerechnet werden, oder gehören auch Farben, Beton- und Mörtelreste oder Schneidschlämme zu den üblichen Baustellenverschmutzungen?

Gerade bei Verschmutzungen durch Schneidschlämme ist völlig ungeklärt, wie lange diese auf der Pflasterdecke liegen dürfen, bevor sie nicht mehr entfernt werden können. Muss jeder Tropfen der Schneidschlämme sofort abgewaschen werden? Ist eine derartige Forderung – selbst wenn sie technisch richtig wäre – in der Praxis überhaupt umsetzbar?

Der Bauherr hat selbstverständlich Anspruch auf die Übergabe einer sauberen Pflasterdecke. Kommt es darüber zu juristischen Streitigkeiten ist häufig zu klären, ob der Verleger wegen einer mangelhaften Bauabschlussreinigung der Pflasterdecke oder der Steinproduzent wegen einem erhöhten Anschmutzungsverhalten oder einer nicht ausreichenden Reinigungsfähigkeit der Produkte verantwortlich für die Verschmutzung der Betonplatten ist.

Während die sachverständige Bewertung derartiger Reklamationen bei nicht vergüteten Produkten häufig zu Lasten des Verlegers ausgeht, fällt die sachverständige und erst recht die juristische Bewertung bei vergüteten Produkten häufig anders aus.

Die Sachverständigen argumentieren hierbei oft mit den Aussagen der Steinproduzenten in ihren Werbekatalogen, aus denen hervorgeht, dass die vergüteten Produkte sehr gut zu reinigen seien.

Dem Sachverständigen sollte bei einer derartigen Bewertung aber auch bewusst sein, dass auch als leicht zu reinigen deklarierte Produkte bei gewissen Aggressoren ein deutliches Anschmutzungsverhalten aufweisen und ggf. hinterher nicht mehr zu reinigen sind. So sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass faulendes Blattwerk Gerbsäuren freisetzen kann, welche bei langen Kontaktzeiten einen lösenden Angriff auch auf oberflächenvergütete Produkte bewirken können.

Neben der Art und Applikation des Vergütungssystems hat z. B. auch die Mikrorauheit der Produktoberflächen einen Einfluss auf das Anschmutzungsverhalten der Produkte bzw. deren Reinigungsfähigkeit. So verkrallen sich z. B. die im zweiten Beispiel erwähnten lehmartigen Bestandteile deutlich stärker auf Pflastersteinen mit einer höheren Mikrorauheit der Oberflächen als bei Pflastersteinen mit glatter Oberfläche.

Das bedeutet auch, dass ein Sachverständiger, der die Frage beantworten soll, ob vergütete Produkte ein übliches Anschmutzungsverhalten bzw. eine übliche Reinigungsfähigkeit aufweisen, sowohl nach dem vorliegenden Vergütungssystem (siehe Abschnitt 5.3) als auch nach der Applikationsart, der Schichtdicke der Oberflächenvergütung sowie der Oberflächenstruktur der Produkte und den einwirkenden Aggressoren differenzieren muss.

Welche objektiven Messergebnisse, Grenzwerte o.ä. stehen dem Sachverständigen bei dieser Bewertung zu Verfügung?

Schnell zeigt sich bei einer Literaturrecherche, dass keinerlei technische Regelwerke zur Beantwortung der o. g. Aufgabenstellung vorliegen. Somit bleibt es im Regelfall dabei, dass der Sachverständige die Fragestellung ausschließlich auf Basis seiner subjektiven Erfahrungen beantworten muss.

Die Aufgabe des Sachverständigen wird noch komplexer, wenn beachtet wird, dass zusätzlich zu berücksichtigen ist, ob die Schmutzbelastung in Art und Menge über das übliche Maß hinausgeht und die Verschmutzung der vergüteten Produkte ggf. auf die unerwartet hohe Schmutzbelastung der Pflasterdecke zurückzuführen ist.

5.7.5 Schäden durch die Reinigung vergüteter Betonplatten

Die unterschiedlichen Arten von Verschmutzungen sind vielgestaltig (siehe Bild 163), weshalb auch unterschiedlichste Reinigungsmittel zur Beseitigung dieser Verschmutzungen auf dem Markt verfügbar sind.



Bild 163: Unterschiedliche Arten von Verschmutzungen von Pflasterdecken

Aus der großen Auswahl an Spezialreinigungsmitteln mit unterschiedlichen chemischen Wirkstoffen resultieren nicht nur unterschiedliche Reinigungsmöglichkeiten. Vielmehr muss, wie in Abschnitt 5.4.2 ausgeführt wurde, auch und gerade bei vergüteten Betonplatten berücksichtigt werden, dass die Reinigungsmittel auch unterschiedlich starke chemische Angriffe auf die Oberflächen bewirken können.

Gerade aufgrund der hohen optischen Bedeutung der im oberen Preissegment angesiedelten vergüteten Betonprodukte sind diese auch häufig Gegenstand entsprechender Streitigkeiten, bei denen Wechselwirkungen mit Reinigungsmitteln ursächlich für optische Veränderungen sind.

So sind im Rahmen von Rechtsstreitigkeiten nicht selten Farb- oder Glanzgradunterschiede an vergüteten Produkten zu beurteilen, die auf lösende Angriffe auf die Oberflächenvergütung der Produkte zurückzuführen sind. Die im oberen Bild 164 dargestellte Farbveränderung einer Betonplatte stammt aus einem solchen Streifall. Reklamiert wurde der deutliche Farbunterschied zwischen den vergüteten Betonplatten.



Bild 164: Farbunterschied aufgrund eines lösenden Angriffes auf die Oberflächenvergütung der Betonplatte

Bei der detaillierten augenscheinlichen und der mikroskopischen Ansprache der oberen Betonplatte in Bild 164 wurde festgestellt, dass die Gesteinskörner des Betons bei dieser Platte freigelegt und der Zementstein abgetragen war (siehe Bild 165). Dieser lösende Angriff auf die Plattenoberfläche war auf die Reinigung mit einem vermutlich lösungsmittelhaltigen Spezialreiniger zurückzuführen.



Bild 165: Farbunterschied aufgrund eines lösenden Angriffes auf die Oberflächenvergütung der Betonplatte

Ähnliche Schäden können auch bei oberflächenvergüteten Produkten auftreten, bei denen sich dies zuerst durch einen Glanzverlust (siehe linke Betonplatte in Bild 166) und erst bei einer intensiveren Einwirkung der Reiniger durch einen Materialabtrag äußert.

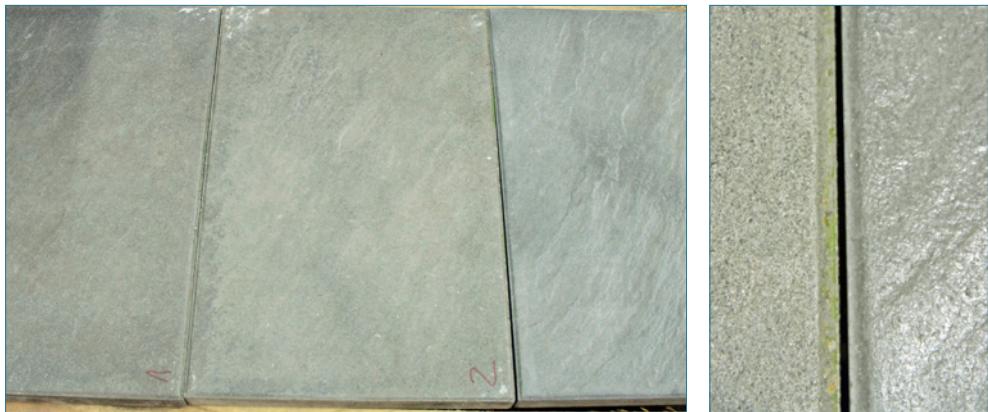


Bild 166: Glanzverlust und Farbveränderung durch einen lösenden Angriff auf vergütete Produkte

Im Rahmen von Reinigungsversuchen im Labor konnte der optische Zustand der reklamierten Betonplatte (zuerst Glanzverlust und bei intensiverer Reinigung deutlicher Materialabtrag) durch Reinigung mit sauren Reinigungsmitteln nachgestellt werden (siehe Bild 167).

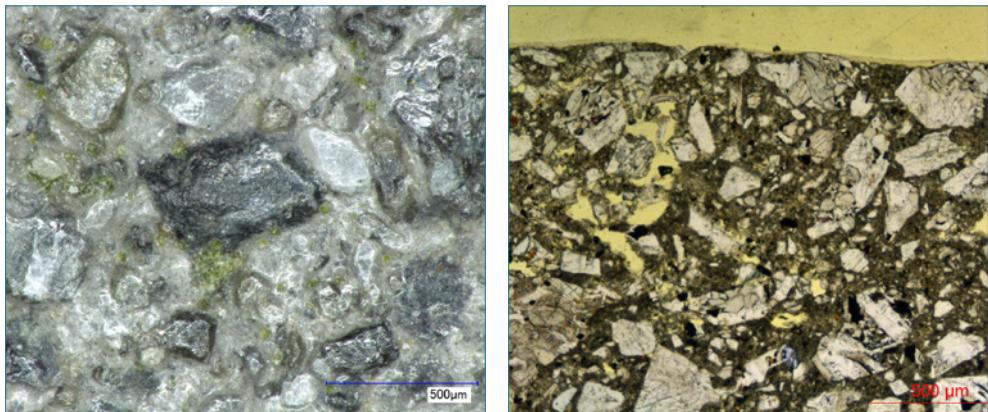


Bild 167: Glanzverlust und Materialabtrag nach der Behandlung der vergüteten Produkte mit einem sauren Reinigungsmittel

Wie diese Bilder belegen, werden bestimmte Oberflächenvergütungen durch die Behandlung mit sauren Reinigungsmitteln abgetragen und die Produktoberfläche somit aufgeraut. Eine deutliche Veränderung der Optik der Plattenoberfläche war in diesem Beispiel die Folge.

5.7.6 Bewertung der Kratzempfindlichkeit vergüteter Betonprodukte

Eine Besonderheit der oberflächenvergüteten Betonprodukte stellt deren im Vergleich zu nicht vergüteten Produkten teilweise erhöhte Kratzempfindlichkeit dar. So weisen vergütete Produkte nicht selten aufgrund ihres höheren Glanzgrades, der geringeren Materialhärte und der veränderten Bruchufer der transparenten Vergütungsschicht eine höhere Kratzempfindlichkeit auf, die mit zunehmender Applikationsmenge der Oberflächenvergütung sogar ansteigt.

Da die Abnehmer aber gerade an oberflächenvergütete Betonprodukte besonders hohe optische Anforderungen stellen, wird die Bildung von Kratzern auf den Produktoberflächen der vergüteten Produkte häufig reklamiert.

Das Problem bei der Bewertung der Kratzempfindlichkeit von Betonprodukten besteht darin, dass in den einschlägigen Technischen Regelwerken keine Anforderungen an die Kratzempfindlichkeit der Produkte definiert werden, ja noch nicht einmal allgemeine Prüfverfahren zur Bestimmung des Kratzwiderstands festgelegt wurden (siehe auch Abschnitt 5.5.3).

Da im einschlägigen Technischen Regelwerk weder konkrete Prüfverfahren noch entsprechende Anforderungswerte an den Kratzwiderstand der Produkte definiert wurden, muss der Sachverständige die Kratzempfindlichkeit der Produkte allein auf Basis seiner Erfahrung bewerten (siehe auch Ausführungen zur Bewertung der Reinigungsfähigkeit aus Abschnitt 5.7.4).

Anhand der beiden folgenden Schadensbeispiele soll den Sachverständigen ein Weg aufgezeigt werden, wie die sachverständige Herangehensweise an derartige Reklamationen aussehen kann.

Bei dem ersten Schadensbeispiel wurden seitens des Gerichts u. a. die folgenden Fragen an den Sachverständigen gestellt:

1. Weisen die imprägnierten und versiegelten Betonplatten Schadstellen in der Plattenoberfläche auf?
2. Weisen die imprägnierten und versiegelten Betonplatten einen ausreichenden Kratzwiderstand auf?
3. Sind die Schadstellen in den Plattenoberflächen auf das Einschlämmen und anschließende Abrütteln der Flächenbefestigung oder auf andere Ursachen zurückzuführen?

Bild 168 zeigt die zu beurteilenden, mit einer Acrylatvergütung versehenen Betonplatten.

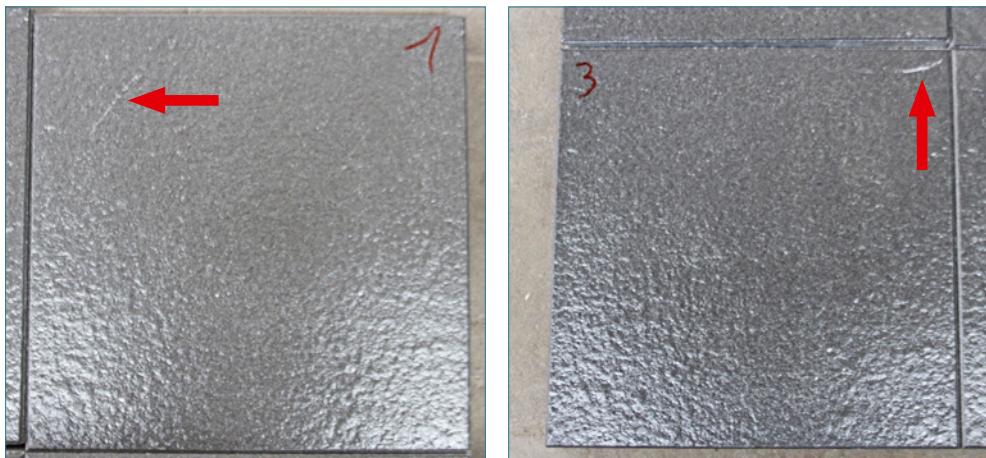


Bild 168: Zu bewertende Betonplatten mit Kratzern

Im Rahmen der Gutachtenerstellung wurden zunächst das Saug- und Abtrocknungsverhalten sowie die Wasseraufnahmekoeffizienten der Betonplatten bestimmt. Es handelte es sich bei den zu bewertenden Produkten um hochwertige Betonplatten mit wasserabweisenden Eigenschaften, auch im Bereich der Kratzer. Somit lag kein Anfangsverdacht dafür vor, dass die vorliegenden Kratzer zu einer massiven Schädigung der Funktion der Oberflächenvergütung der Platten geführt haben.

Auf Basis einer digitalmikroskopischen Untersuchung dieser Proben war weiterhin festzustellen, dass auf den Betonplatten eine annähernd geschlossene Oberflächenvergütung aufsaß, die nur vereinzelt von Bläschen unterbrochen wurde (Bild 169).

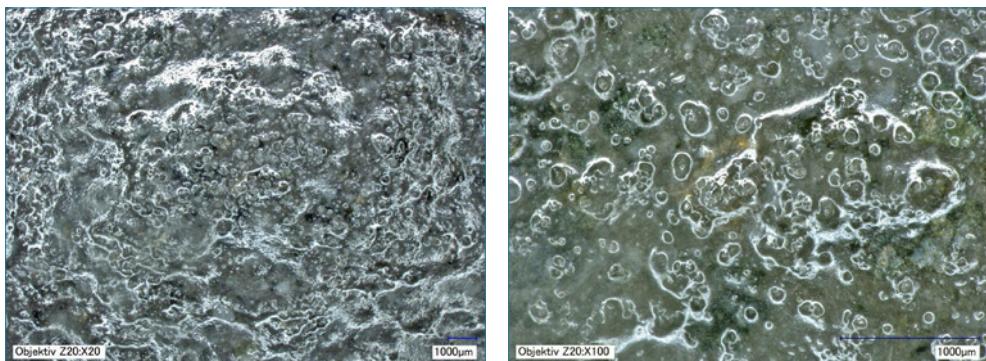


Bild 169: Oberflächenvergütung der digitalmikroskopisch untersuchten Proben

Im Bereich der in Bild 168 als weiße Verfärbung der Probenoberflächen deutlich sichtbaren Kratzer war digitalmikroskopisch feststellbar, dass die Oberflächenvergütung in diesem Bereich feinste Kratzer aufwies, welche die Oberflächenvergütung zwar angekratzt, aber nicht durchdrungen haben (siehe Bild 170).

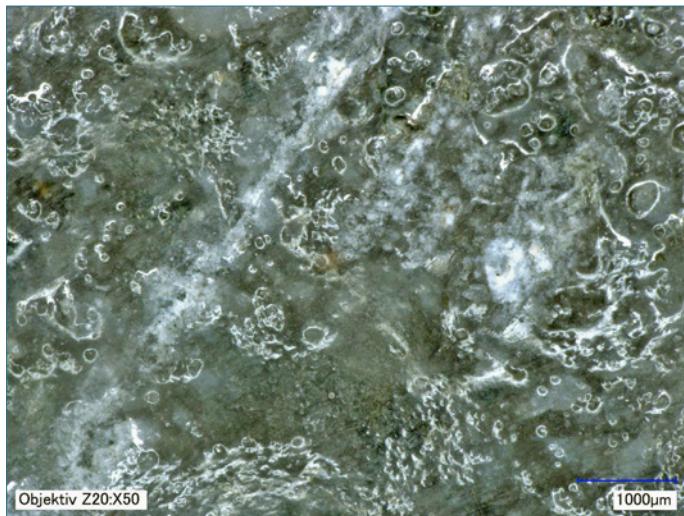


Bild 170: Kratzer in der Oberfläche einer Probe im Bereich der »Verfärbung«

Neben diesen direkt erkennbaren Schadstellen wurden digitalmikroskopisch keine signifikanten Kratzspuren (auch nicht in der direkten Nachbarschaft zu den weißen Verfärbungen) vorgefunden.

Die sehr geringe Tiefe der augenscheinlich erkennbaren Kratzer wurde durch die nachfolgenden dünnenschliffmikroskopischen Aufnahmen der Oberfläche der Probe im Bereich der augenscheinlich erkennbaren Oberflächenveränderung deutlich (siehe Bild 171).

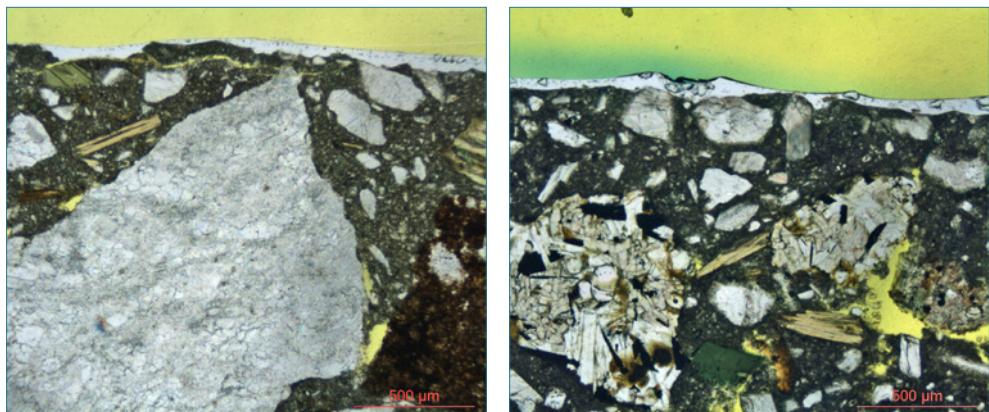


Bild 171: Polarisationsmikroskopische Detailaufnahmen der Untersuchungsprobe senkrecht zum Kratzer

An keiner untersuchten Proben war ein signifikanter Materialabtrag der Oberflächenvergütung erkennbar. Die Kratzer haben nicht zu einer tiefgreifenden »Zerstörung« der Oberflächenvergütung geführt.

Zur Bewertung der Kratzempfindlichkeit wurde ein Ritztest durchgeführt, mit dem die Entstehung der Kratzer bei hohen Anpressdrücken nachzustellen war. Eine erhöhte Kratzempfindlichkeit (Kratzerbildung bei geringen Anpressdrücken) dieser Produkte lag nicht vor. Somit war abschließend sachverständig festzustellen,

- dass die Betonplatten keine signifikanten Schadstellen aufwiesen,
- dass der Kratzwiderstand der vergüteten Betonplatten erwartungsgemäß war und
- dass die Kratzer auf Basis der Erkenntnisse aus den Laboruntersuchungen vermuten ließen, dass sie durch lokale mechanische Einwirkungen auf die Produktoberflächen (z. B. durch Steine, Gartenmöbel, o. ä.) hervorgerufen wurden.

Bei dem zweiten Schadensfall waren ebenfalls mit einer Acrylatvergütung behandelte Betonplatten zu beurteilen. Auch bei dieser Reklamation wurde seitens des Bauherrn bemängelt, dass die vergüteten Betonplatten eine deutlich erhöhte Kratzempfindlichkeit aufwiesen (siehe Bild 172).



Bild 172: Bild 61: Pflasterdecke mit einzelnen verkratzten Betonplatten

Im Rahmen der digital- und dünnenschliffmikroskopischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass es sich bei den Kratzern zum Teil um leichte Schleifspuren (linkes Bild 173), zum Teil aber auch um intensivere Kratzer (rechtes Bild 173) handelt. An keiner Untersuchungsstelle wurde aber festgestellt, dass die Kratzer die Oberflächenvergütung signifikant durchdrangen.

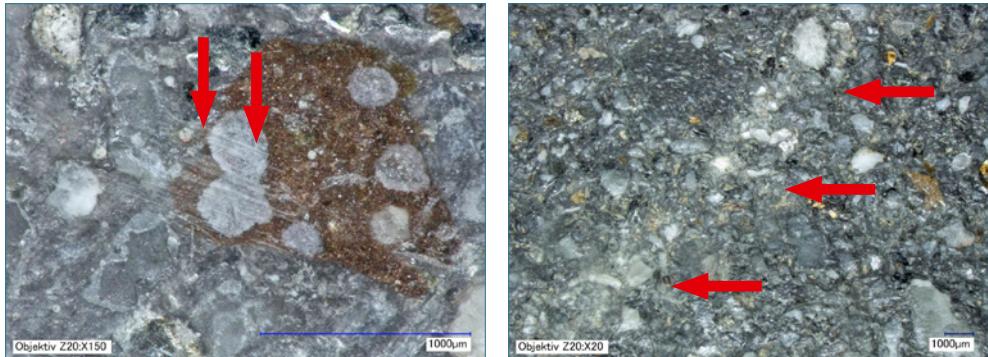


Bild 173: Kratzspuren in der Plattenoberfläche bei sehr großer Vergrößerung

In der Nachbarschaft zu den augenscheinlich erkennbaren Kratzern fanden sich im Regelfall keine weiteren Hinweise auf mechanische Einwirkungen, sodass festzustellen war, dass es sich um lokale »Schadstellen« handelte.

Zur Bewertung der Kratzempfindlichkeit der Oberflächenvergütung wurden die Betonplatten einem Kratztest mit dem Härteprüfer 3092 unterzogen (siehe Abschnitt 5.5.3), wobei unter Verwendung einer 0,75 mm starken Wolframcarbidspitze Anpressdrücke zwischen 2 N und 30 N gewählt wurden. Anschließend wurden die resultierenden Kratzer in den Plattenoberflächen augenscheinlich beurteilt. Die resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 18 und Bild 174 dokumentiert.

Auftrag		Ansprache	Kratzhärte									
			2 N	5 N	7 N	10 N	15 N	20 N	25 N	30 N	RiRi 1	
1	4-16/1601/17	Detailansprache	0	x	x	x	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	
		Schaden im Streiflicht	keiner									
		Kratzer aus 2 m	Übergang 10 N auf 15 N									

Tabelle 18: Bestimmung der Ritzhärte der vergüteten Betonplatte

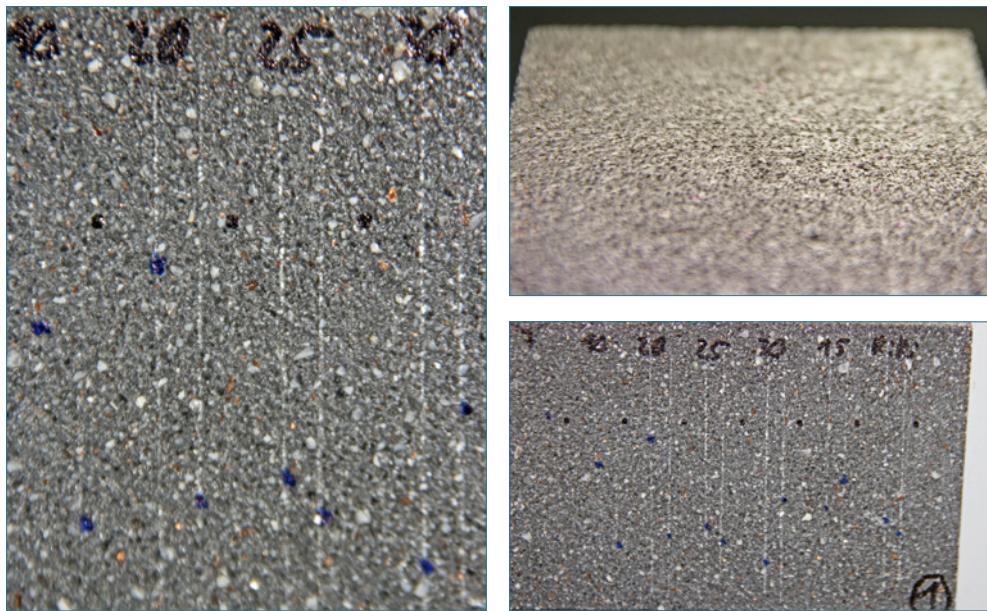


Bild 174: Oberfläche der geritzten Plattenoberfläche

Wie diese Ergebnisse zeigen, waren erste sehr schwache Kratzer ab einem Anpressdruck von 5 N erkennbar, optisch auffällige Kratzer traten aber erst ab einem Anpressdruck von 15 N auf, was für acrylatbeschichtete Produkte auf Basis der bisherigen Erkenntnisse als erwartungsgemäß und damit baustofftypisch zu bewerten ist.

6 Weitere Reklamationsursachen

Zum Abschluss werden in diesem Kapitel noch einige besondere Fälle aus der Sachverständigenpraxis aufgeführt. Obwohl sich diese Beispiel nicht in die zuvor genannten Gruppen einordnen lassen, handelt es sich nicht um Einzelfälle.

6.1 Bestellungskonformität

Als Sachverständiger hat man neben rein technischen Themen immer wieder auch die Frage zu beantworten, ob das gelieferte Material bestellungskonform ist oder nicht. Nachfolgend soll auf zwei exemplarische Fälle eingegangen werden, bei denen bewertet werden sollte, ob die tatsächlich gelieferten Produkte die Anforderungen der Bestellung erfüllen. Im ersten Fall waren Pflastersteine aus Basaltbeton bestellt worden. Beim zweiten Fall geht es darum zu bewerten, ob ein einschichtiger Betonpflasterstein aus technischer Sicht qualitativ gleichwertig zu einem zweischichtigem Betonpflasterstein ist.

6.1.1 Basaltbeton

Im nachfolgend beschriebenen Fall hatte die ausschreibende Stelle im Leistungsverzeichnis gefordert, dass die eingesetzten Betonpflastersteine zum einen der DIN EN 1338 entsprechen müssen und zum anderen unter Verwendung eines Basaltbetons herzustellen seien. Seitens des Bauunternehmers wurden Betonpflastersteine bestellt und verarbeitet, die als feine Gesteinskörnung keinen Basaltbrechsand, sondern einen silikatischen Sand enthielten (siehe Bild 175). Der Abnehmer reklamierte diese Steine, da sie nach Ansicht des Bauherrn nicht bestellungskonform seien.



Bild 175: Pflastersteine aus »Basaltbeton«

Zur Beantwortung der Frage, ob die eingesetzten Betonpflastersteine regelwerkskonforme Eigenschaften aufwiesen, erfolgten im Rahmen der Laboruntersuchungen Konformitätsprüfungen nach DIN EN 1338. Gemäß den Ergebnissen dieser Untersuchungen erfüllten die eingesetzten Betonpflastersteine sowohl die Anforderungen an die Spaltzugfestigkeit als auch den Frost-Tausalz-Widerstand sicher. Somit waren die Steine hinsichtlich ihrer Eigenschaften als regelwerkskonform zur DIN EN 1338 zu bewerten.

Weiterhin ergab eine petrografische Untersuchung der zur Herstellung der Betonpflastersteine eingesetzten Gesteinskörnungen, dass als Grobkörnung (Gesteinskörnung ab einer Korngröße von 2 mm) sowohl im Kern- als auch im Vorsatzbeton ausschließlich Basaltsplitt zum Einsatz gekommen war. Als Feinstfraktion war kein Basaltbrechsand, sondern ein heterogener silikatischer Sand verwendet worden. Bild 176 zeigt die Schnittflächen der untersuchten Pflastersteine.

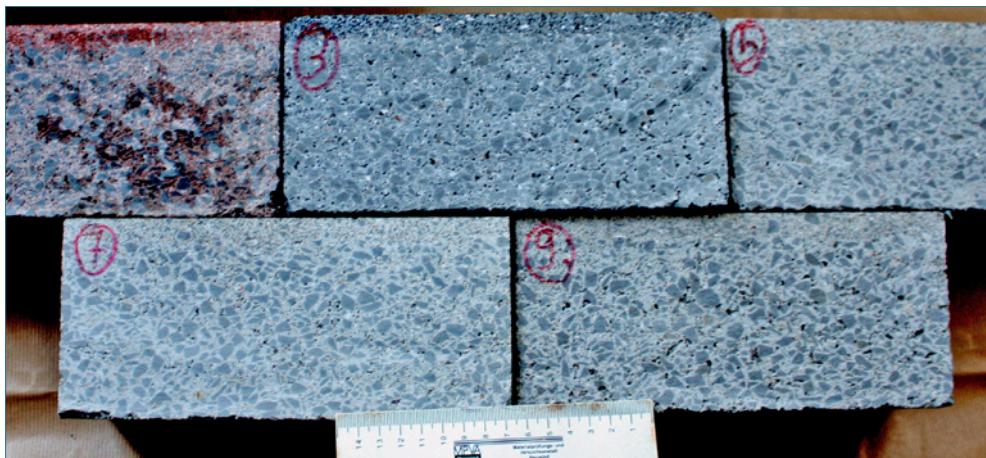


Bild 176: Anschnittflächen der Betonpflastersteine

Hinsichtlich der Frage, ob die Betonpflastersteine tatsächlich unter Verwendung von Basaltbeton hergestellt wurden, ist zuerst festzustellen, dass der Begriff »Basaltbeton« in den einschlägigen Technischen Regelwerken nicht definiert ist und somit keine normativen Vorgaben an die Zusammensetzung von »Basaltbetonen« bestehen. Somit handelt es sich bei dem Begriff »Pflastersteine aus Basaltbeton« ausschließlich um einen »werbetechnisch geprägten Begriff« ohne bindende Definitionen.

Auch steht mit dem Begriff »Basaltbeton« keinerlei Qualitätsversprechen in Verbindung. So werden mit dieser Bezeichnung mit der Ausnahme, dass es sich um eine Gesteinskörnung aus Basalt zu handeln hat weder Qualitäten der eingesetzten Gesteinskörnungen (Sieblinie, Wasseranspruch oder Frostwiderstand) noch der Endprodukte definiert.

Die Qualität der Betonpflastersteine wird in einem deutlich größeren Ausmaß vom Betonrezept als von den verwendeten Ausgangsstoffen beeinflusst. So können unter Verwendung hochwertiger Ausgangsstoffe (wie z. B. Basalten) hergestellte Pflastersteine aufgrund einer

schlechten Betonrezeptur trotzdem schlechte Eigenschaften aufweisen. In gleicher Art und Weise können auch unter Verwendung preiswerterer Gesteinskörnungen (z. B. aus Kalkstein) hochwertige Pflastersteine produziert werden.

Aufgrund der fehlenden Definition des Begriffes »Basaltbeton« hat es sich im Markt etabliert, zur Herstellung von Pflastersteinen aus Basaltbetonen grobkörnige Basaltsplitte und keine andersartigen Splitte zu verwenden.

Zur Herstellung gefügedichter Pflastersteine müssen neben dem Grobkorn (Splitt) auch feine Gesteinskörnungen (Sande im Körnungsbereich von 0 mm bis 2 mm) verwendet werden. Als Sande können zur Herstellung gefügedichter Pflastersteine theoretisch sowohl gebrochene als auch ungebrochene Sande zum Einsatz kommen. Üblicherweise werden gefügedichte Betone aber unter Zusatz ungebrochener Sande hergestellt, da die alleinige Verwendung von Brechsanden technische Nachteile nach sich zieht.

Als Brechsande werden im Handel normalerweise nicht gewaschene Produkte angeboten, die aufgrund ihrer erhöhten Gehalte an Feinanteilen technisch nicht gut geeignet zur Herstellung von Betonen oder Pflastersteinen sind. Außerdem hat der hohe Feinanteil und der damit in Verbindung stehende hohe Wasseranspruch der Brechsande zur Folge, dass Betonpflastersteine unter Verwendung sehr hoher Zementgehalte hergestellt werden müssten, was sich nachteilig auf die Produktkosten auswirken würde.

Aus diesen Gründen ist die Herstellung von Betonpflastersteinen unter ausschließlicher Verwendung von basalthaltiger Gesteinskörnung (Splitt und Brechsand) unüblich.

Unter Berücksichtigung der fehlenden Definition des Begriffes »Basaltbeton«, der fehlenden Qualitätsaussage und der mit der alleinigen Verwendung von Brechsanden verbundenen technischen Schwierigkeiten erscheint es angemessen (und ist marktüblich) Betone, die unter Verwendung von ungebrochenen Sanden hergestellt werden, als »Basaltbeton«, zu bezeichnen, sofern das gesamte Grobkorn aus basalthaltigem Material besteht.

6.1.2 Gleichwertigkeit ein- und zweischichtiger Produkte

In diesem Fallbeispiel wurde die Frage gestellt, ob die technische Qualität von einschichtigen Pflastersteinen vergleichbar zur Qualität von zweischichtig (also mit Vorsatzbeton) hergestellten Pflastersteinen ist. Bei der Beantwortung dieser Frage ist zuallererst festzustellen, dass die Qualität von Betonpflastersteinen über die technischen Eigenschaften (Abmessungstoleranz, Spaltzugfestigkeit, Frost-Tausalz-Widerstand und Abriebwiderstand) der DIN EN 1338 und nicht über die Anzahl der Produktionsschichten (ein- oder zweischichtig) definiert wird. Das bedeutet, dass Betonpflastersteine mit der gleichen Eigenschaftsdeklaration entsprechend der Kategorien nach DIN EN 1338 auch vergleichbare technische Eigenschaften besitzen.

Allerdings hat sich die Verwendung zweischichtiger Betonpflastersteine im Markt durchgesetzt. Grund dafür ist, dass farbige Steine mit Vorsatzbeton sehr viel kostengünstiger hergestellt werden, da diese Produkte nicht über den gesamten Querschnitt eingefärbt werden müssen.

Darüber hinaus lässt sich z. B. der Frost-Tausalz-Widerstand der Betonpflastersteine bei zweischichtigen Produkten dadurch sicherstellen, dass ein hochwertiger Vorsatzbeton eingesetzt wird, während der Kernbeton bei zweischichtigen Produkten unter Verwendung von deutlich weniger Zement hergestellt werden kann. Auch damit lassen sich Herstellungs-kosten senken.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass der Kernbeton der Pflastersteine zur Erzielung ausreichender Festigkeiten eine gröbere Gesteinskörnung enthalten sollte, als der Vorsatz-beton. Bei einschichtigen Betonpflastersteinen, die demnach unter Verwendung einer gröberen Gesteinskörnung herzustellen sind, würde folglich eine gröbere Oberflächen-struktur resultieren. Optisch entsprechen solche Oberflächen meistens nicht dem Kunden-wunsch.

Somit ist festzustellen, dass es diverse (optische und finanzielle) Gründe dafür gibt, warum zweischichtige Betonpflastersteine hergestellt werden. Aus technischer Sicht spricht aber nichts gegen die Verwendung hochwertiger, einschichtiger Produkte, deren Eigenschaften über die Kategorisierung nach DIN EN 1338 definiert werden.

6.2 Optische Beeinträchtigungen

Neben den bereits in [38] intensiv diskutierten Ausblühungen, Verfärbungen und Kanten-schäden an Betonpflastersteinen, müssen Sachverständigen immer wieder auch andere optische Beeinträchtigungen bewerten. Die folgenden Beispiele behandeln abmehlende Betonoberflächen und die Variation des optischen Erscheinungsbildes der Produkte auf-grund von Schwankungen der Strahlintensität.

6.2.1 Schwankungen im Strahlbild der Betonprodukte

Im Rahmen einer Reklamationsbearbeitung waren die in einer Fußgängerzone verlegten Betonplatten dahingehend zu beurteilen, ob Farbunterschiede, die an den Platten aufgetreten waren, über das übliche Maß hinausgehen und somit einen optischen Mangel darstellen.

Zur Herstellung der Pflasterdecke war eine hell und eine dunkel eingefärbte Plattensorte verwendet worden. Die reklamierten Farbunterschiede traten in erster Linie bei den dunkleren Betonplatten auf (siehe Bild 177).



Bild 177: Durch Unterschiede im Strahlbild verursachte Farbunterschiede an Betonplatten

Generell ist bei der Bewertung von Farbunterschieden zu berücksichtigen, dass »gewisse« Farbunterschiede technisch nicht völlig vermeidbar sind und dass sie aus technischer Sicht keinen Mangel darstellen, vergl. [37] und [38]. Somit stellt sich in diesem Fall die Frage, ob die vor Ort aufgetretenen Farbunterschiede über das übliche Maß hinausgingen.

Bei der detaillierten Inaugenscheinnahme der genutzten Pflasterdecke zeigte sich, dass ein erheblicher Teil der Farbunterschiede auf Verschmutzung der Betonplatten (u. a. durch das Fugenmaterial) zurückzuführen waren und nicht auf Farbschwankungen der Betonplatten (siehe Bild 178). Dies war in erster Linie im Bereich gereinigter Teilstücke erkennbar, in denen die Farbunterschiede zwischen den Betonplatten nur in einem deutlich geringeren Ausmaß auftraten.



Bild 178: Durch Verschmutzungen verursachte Farbunterschiede an den Betonplatten

Die verbleibenden variierenden Farbtöne der dunklen Betonplatten waren auf Variationen im Strahlbild zurückzuführen.

Kleine Unterschiede in den optischen Eigenschaften von Betonplatten sind unvermeidlich. So treten produktionstechnisch immer leichte Verdichtungsunterschiede auf, z. B. zwischen Betonplatten mit unterschiedlichen Formaten, bei Produktionen aus unterschiedlichen Produktionschargen sowie wegen unterschiedlichen Positionen der Produkte auf den Produktionsbrettern.

Werden diese Produkte mit der gleichen Strahlintensität bearbeitet, dann resultieren beim Strahlen automatisch gewissen Unterschiede in der Abtragsstärke und damit auch der optischen Wirkung der Plattenoberflächen.

Im vorliegenden Fall war der Farbunterschied zwischen den dunklen Platten nach der Reinigung der Pflasterdecke als innerhalb der unvermeidbaren Produktionstoleranzen zu bewerten.

Bei der Bewertung war zu berücksichtigen, dass der Bauherr beim Strahlen der Oberflächen verlangt hatte, die Abtragsmenge sehr gering zu halten. Bei geringen Abtragsmengen wirken sich jedoch bereits kleinste Schwankungen im Produktionsprozess erheblich auf die Optik der Produkte aus. Bei stärkeren Sollabtragsmengen wäre eine höhere optische Gleichmäßigkeit zu erwarten gewesen.

6.2.2 Abmehlen der Produktoberflächen

In der jüngeren Vergangenheit nimmt die Anzahl an Reklamationen aufgrund abmehlender Betonoberflächen hochwertiger Betonprodukte immer weiter zu.

Unter dem »Abmehlen« der Betonoberflächen wird das Abwittern bzw. der Abtrag einer sehr dünnen Schicht der Produktoberfläche verstanden.

Bei den reklamierten Produkten handelt es sich üblicherweise um oberflächenvergütete und meistens großformatige Produkte, die im Gegensatz zu normalen Betonpflastersteinen und Betonplatten nicht in erdfeuchter, sondern in fließfähiger Konsistenz hergestellt werden.

Bei dem ersten nachfolgend beschriebenen Schadensfall kamen oberflächenvergütete, großformatige Betonplatten zur Herstellung einer Pflasterdecke zum Einsatz (siehe Bild 179), die beim Reiben mit dem Finger abfärbten.



Bild 179: Abmehlen der Oberfläche vergüteter Betonplatten

Bereits bei der Probenansprache zeigte sich, dass die Betonplatten während der Nutzung nicht regelmäßig und sachgerecht gereinigt wurden. So fanden sich in der zu untersuchenden Plattenoberfläche unterschiedlichste Verschmutzungen, angefangen von aufsitzendem Rost, über Vogelexkremepte bis hin zu deutlichen Mengen eines grünlichen biogenen Bewuchses.

Neben diesen von außen aufgebrachten Verschmutzungen war aber auch feststellbar, dass auf den Betonplatten ein feiner bräunlich-schwarzer Staub aufsaß, der auf Basis der augenscheinlichen Ansprache keinen typischen Verschmutzungen zuzuschreiben war. Beim leichten Reiben mit der Hand über die Produktoberfläche war ein untypischer Oberflächenabrieb feststellbar, der eine Schwarzfärbung der Haut bedingte (siehe rechtes Bild 180) und der sich bei Verwendung eines alkalischen Grundreinigers ($\text{pH-Wert} = 10,6$) nahezu vollständig entfernen ließ (siehe Bild 180 rechts unten).



Bild 180: Abmehlen der Oberfläche vergüteter Betonplatten

Eine mikroskopische Untersuchung dieser Probe zeigte, dass sich auf der Betonoberfläche eine grobkörnige Schicht aus carbonatischen Mineralbildungen und darüber eine sehr dünne anthrazitfarbene Schicht befand (Schichtdicke ca. 0,01 mm, siehe Bild 181), die sich mechanisch, z. B. durch Abreiben mit dem Finger, in geringen Mengen ablösen ließ (siehe rote Pfeile in Bild 182).

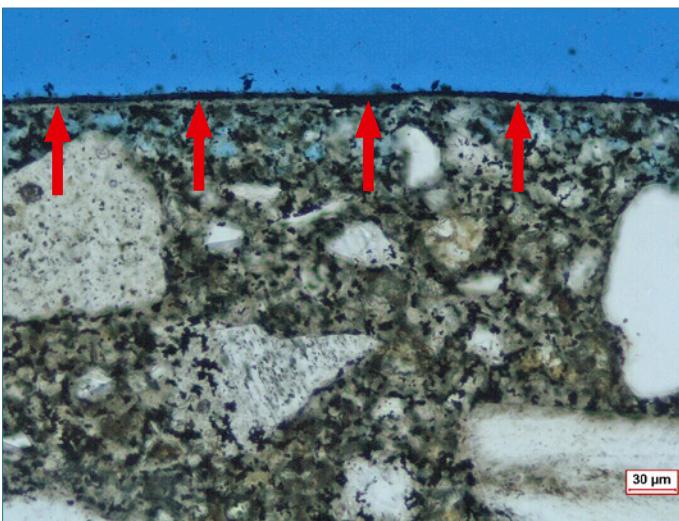


Bild 181: Dünne, anthrazitfarbene Schicht auf der Betonplatte

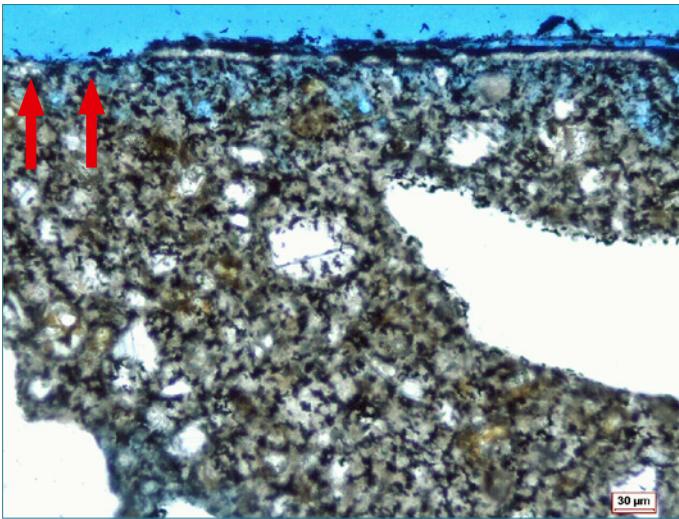


Bild 182: Ablösung der anthrazitfarbenen Schicht

Auf Basis der weitergehenden Untersuchung mittels der Röntgenbeugungsanalyse bestand diese Abschlusschicht aus einer mit Eisenoxid pigmentierten Oberflächenvergütung.

Somit war festzustellen, dass sich zwischen der Betonoberfläche und der aufgebrachten pigmentierten Oberflächenvergütung eine dünne Schicht aus sekundären Calciumcarbonaten befand, welche in gewisser Form als Trennlage zwischen diesen Schichten fungierte. Aufgrund des so reduzierten »Verbundes« zwischen der Oberflächenvergütung und der Betonplattenoberfläche ließ sich diese bei der mechanischen Einwirkung leicht abtragen.

Bei einem vergleichbaren Fall wurde die in Bild 183 dargestellte, vergütete Betonplatte aufgrund der hellen Flecken auf der Plattenoberfläche (siehe rote Pfeile im Bild 183) und des dunklen Materialabtrags beim Abreiben reklamiert.

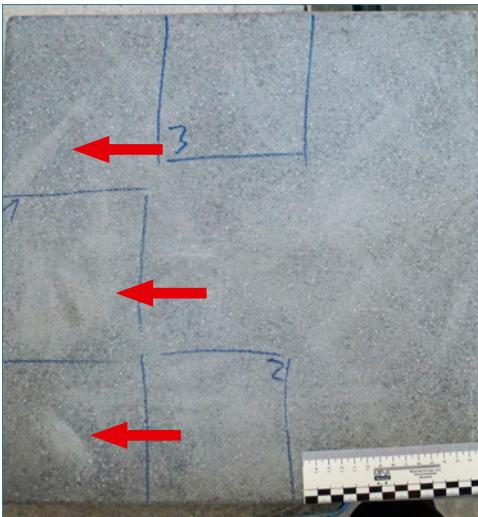


Bild 183: Helle Flecken auf einer Betonplatte

Im Rahmen erster Voruntersuchungen zeigte sich, dass die Betonoberfläche keine erhöhte kapillare Saugfähigkeit aufwies, weshalb ein Verdursten der Betonoberfläche nahezu auszuschließen war.

Beim Verdursten wird dem oberflächennahen Beton Wasser entzogen, das für eine ausreichende Hydratation des Zementes erforderlich ist. Üblicherweise resultiert das Verdursten von Betonoberflächen aus einer nicht sachgerechten Nachbehandlung des Betons.

Dies wurde über fluoreszenzmikroskopischen Untersuchungen belegt, nach denen die Plattenoberfläche ein erwartungsgemäßes und baustofftypisches Erscheinungsbild zeigte (siehe Bild 184).

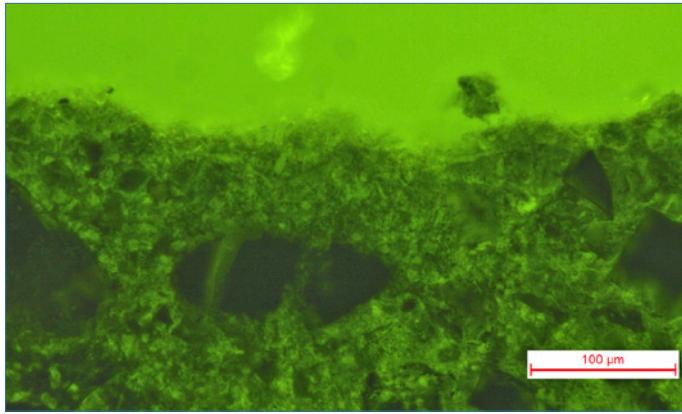


Bild 184: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme der Plattenoberfläche

Bei der dünnenschliffmikroskopischen Untersuchung der hellen Flecken der Plattenoberfläche war ein milchiger Überzug mit leicht körniger Struktur erkennbar (siehe Bild 185).



Bild 185: Heller Fleck auf einer Betonplatte

Der optische Befund der hellen Fleckens legte nahe, dass es sich bei dem milchigen Überzug um chemisch veränderte Rückstände der ursprünglichen Oberflächenvergütung handelte, während diese in den dunkleren Bereichen bereits zum großen Teil abgetragen worden war.

Bei dem dritten beschriebenen Schadensfall ging es um die Frage, ob eine bestehende Pflasterdecke aus großformatigen, vergüteten Betonplatten (siehe Bild 186) derart gereinigt werden könnte, dass die Plattenoberflächen nach der Reinigung nicht mehr abmehlen.



Bild 186: Reklamierte Terrassenfläche aus großformatigen Betonplatten

Im Rahmen des Ortstermins zeigte sich, dass die Betonplatten in den frei bewitterten Teilflächen eine deutliche Aufhellung aufwiesen, während die vor Witterung geschützten Betonplatten deutlich dunkler erschienen (siehe Bild 187).



Bild 187: Dunklere Betonplatte in einem vor Witterung geschützten Bereich

Zwar war im Rahmen der Reinigungsversuche feststellbar, dass die Plattenoberflächen nach der Reinigung nicht mehr abmehlten, allerdings führte die durchgeführte Reinigung der Plattenoberflächen zum Freilegen der feinen Gesteinskörnung und somit zu einer deutlichen optischen Veränderung des Erscheinungsbildes der Betonplatten.



Bild 188: Reinigung einer Betonplattenoberfläche

6.3 Sulfattreiben

Ein bei Pflasterdecken aus Betonpflastersteinen sehr selten auftretender Schaden ist die Zerstörung der Betonpflastersteine durch die Einwirkung von Sulfaten. Das Schadensbild von Sulfattreibern äußert sich dadurch, dass die Pflastersteine brüchig werden, Risse entstehen und die Steine massiv an Festigkeit verlieren.

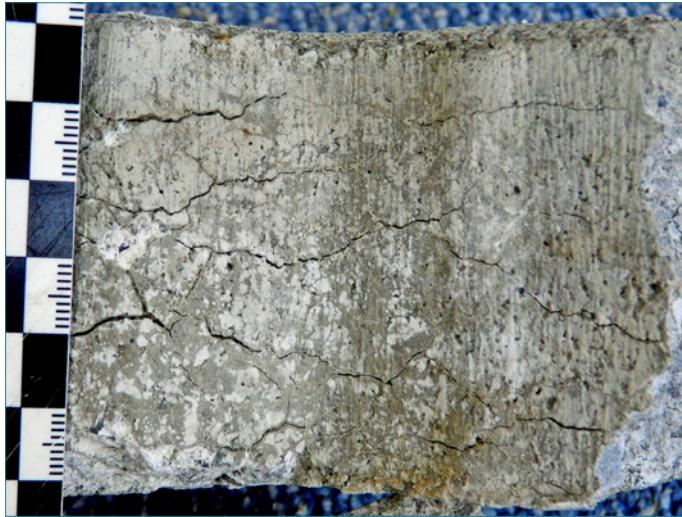


Bild 189: Treibreaktion an einem Pflasterstein

Zum Teil liefert die Farbe der Betonpflastersteine einen ersten Hinweis auf die Schadensursache. So weisen Betonpflastersteine, die einer starken Sulfateinwirkung ausgesetzt waren, häufig eine deutlich hellere Farbe als die unbeschädigten Steine auf (siehe Bild 190).



Bild 190: Farbunterschied zwischen einer mit Sulfat belasteten (links) und einer nicht belasteten Probe (rechts)

Im Rahmen weitergehender Untersuchungen zeigte sich, dass der Beton der Pflastersteine stark erhöhte Sulfatgehalte in Form von Ettringit, Thaumasit, Gips und Alunit aufwies. Durch mikroskopische Untersuchungen wurde darüber hinaus festgestellt, dass das Betongefuge von ungerichteten Treibrissen durchsetzt war (siehe Bild 191).

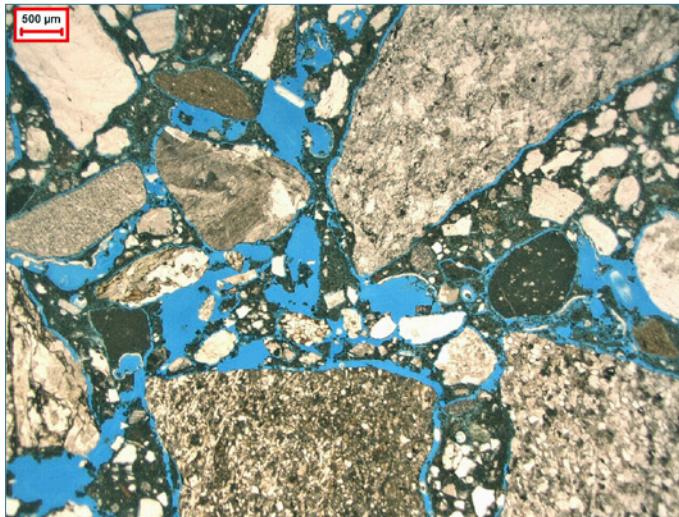


Bild 191: Aufgrund der Sulfateinwirkung geschädigtes Gefüge des Betons

Darüber hinaus wurden erhebliche Mengen an relativ grobkristallinen Kristallneubildungen von Gips und z.T. von Calciumhydroxid in den Poren und an den Rissflanken der Pflastersteine vorgefunden, die typisch für Sulfatschäden an Betonprodukten sind (siehe Bild 192).

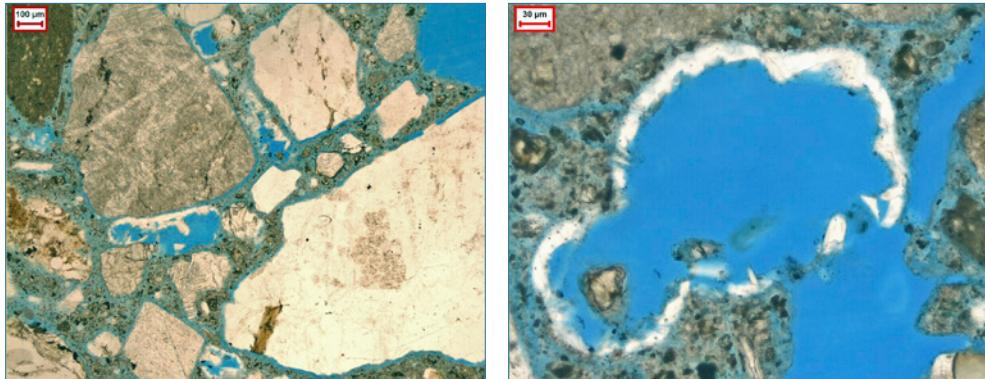


Bild 192: Mineralneubildungen in den Poren und an den Rissflanken

Die Bewertung der Sulfatgehalte von Betonproben ist ausgesprochen schwierig, da zementgebundene Baustoffe selber signifikante Mengen an Sulfaten enthalten. Diese werden bei der Zementherstellung gezielt eingesetzt, um die Erhärtungsreaktion des Zementes auszusteuern. Zu geringe Sulfatgehalte führen zu einem sehr schnellen Erhärten des Zementes, während zu hohe Gehalte an Sulfaten zu späteren Treibreaktionen führen können.

Derartige Treiberscheinungen sind als Ettringittreiben bzw. Thaumasittreiben bekannt. Beide Mineralphasen können entstehen, wenn überschüssige wasserlösliche Sulfatgehalte mit dem C₃A (Tricalziumaluminat) des Zementes reagieren. Die Bildung des sogenannten Sekundärettringits ist in der Regel mit einer erheblichen Volumenvergrößerung und daher mit der Ausbildung von Rissen und entsprechenden Festigkeitsverlusten (Zermürbung) des Betons verbunden.

Aus den genannten Gründen sind in der DIN EN 197-1 maximal zulässige Sulfatgehalte für verwendbare Zemente angegeben. Je nach Zementart und -festigkeit werden hier zementbezogene Sulfatgehalte von 3,5 M.-% bzw. 4,0 M.-% genannt. Allerdings ist bei der Bewertung der Sulfatgehalte von Betonen zu berücksichtigen, dass diese maximal zulässigen Sulfatgehalte in Zementen im Rahmen der Zementherstellung zumeist nicht ausgeschöpft werden. Üblicherweise liegen die Sulfatgehalte von Zementen in der Größenordnung

- von ca. 2,0 M.-% bis ca. 3,5 M.-% bei Portlandzementen und
- von ca. 1,0 M.-% bis ca. 4,0 M.-% bei Hochofenzementen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es auch dann zu Treibreaktionen im Betonstein-gefüge kommen kann, wenn die o. g. Sulfatgehalte deutlich unterschritten werden. Der Sachverständige sollte auch diese Möglichkeit in Betracht ziehen.

In diesem Buch wurden sehr viele Fragen besprochen, die sich bei der sachverständigen Beurteilung von Pflasterdecken stellen. Zur Übersicht werden die wichtigsten im Anhang dieses Buchs in Form von Checklisten zusammengefasst.

Anhang

I Checkliste zur Bewertung von Frost- bzw. Frost-Tausalz-Schäden

I 1 Schadenserfassung

I 1.1 Erscheinungsbild

- Ist der Zementstein abgewittert?
- Zeigen sich Abwitterungen am Kernbeton der Produkte?
- Könnte es sich um Frost- oder Frost-Tausalz-Schäden handeln?
- Wie viele Pflastersteine sind beschädigt?
- Wie ist die Intensität der Einzelschäden unter Berücksichtigung des Einflusses der Nutzung zu bewerten?

Treten die Abwitterungen bevorzugt oberhalb einzelner Gesteinskörner auf?

- *Liegen im Zentrum der Abwitterungen erweichte Gesteinskörner vor?*
- *Liegen im Zentrum der Abwitterungen augenscheinlich dichte Gesteinskörner vor?*

I 1.2 Bisherige Nutzung

- Wie alt ist die Fläche, wie vielen Frost-Tauwechseln war sie schätzungsweise bereits ausgesetzt?
- Wie viele Frost-Tauwechsel sind für die Fläche zu erwarten?
- Wird die Pflasterdecke erheblichen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt? (Produktionsbetrieb, Winterdienst, Fensterreinigung o.ä.)
- Wurden nachträgliche Aufgrabungen vorgenommen?
- Entspricht die vor Ort vorliegende Nutzung der geplanten Beanspruchungsklasse?
- Wie sind die klimatischen Bedingungen zu bewerten und welchen Einfluss hat die Bewitterung auf die Fläche?

I1.3 Reinigung und Winterdienst

- Welche Maßnahmen umfasst der Winterdienst?
- Wurden Taumittel verwendet und wenn ja, welche?
- Wird die Pflasterdecke regelmäßig gereinigt?
- Welche Reinigungsmittel kamen zum Einsatz?
- Sind die Fugen verschmutzt? Weisen sie z. B. deutliche Mengen an Grünbelägen auf?
- Wurden Unkrautbekämpfungsmittel verwendet und wenn ja, welche?
- Wurde die Pflasterdecke mit einem Hochdruckreiniger gereinigt?

I1.4 Lage und Ausmaß der Schäden

- Liegen Teilflächen oder Einzelsteine mit Schäden vor, oder ist die gesamte Fläche betroffen?
- Treten die Schäden verstärkt in Bereichen mit hoher Wassersättigung auf, z. B. in der Nähe von Abtropfkanten?
- Weisen auch in der Umgebung verlegte Produkte entsprechende Schäden auf?
- Liegen Hinweise auf Besonderheiten im Rahmen der Nutzung dieser Teilflächen vor?
- Ist davon auszugehen, dass alle Schäden die gleiche Schadensursache haben, oder sind hier Flächenteile zu unterscheiden?
- Treten in diesen Teilflächen weitergehende Schäden auf, wie z. B. Kantenabplatzungen?

I1.5 Die optische Bedeutung des Objektes

- Handelt es sich um ein optisch hochwertiges Bauteil?
- Wurde auf die hohe optische Bedeutung des Bauteils im Leistungsverzeichnis hingewiesen?
- Wird die Optik des Bauteils durch die Frost-Schäden beeinträchtigt?

I 1.6 Feuchte und Abtrocknungsverhalten

- Wie ist das Abtrocknungsverhalten der Produkte zu bewerten?
- Weisen Flächenteile ein abweichendes Abtrocknungsverhalten auf?
- Steht nach Regenfällen Wasser auf der Pflasterdecke?

I 2 Schadenserfassung an der geöffneten Pflasterdecke

I 2.1 Fuge

- Wie ist der Feuchtezustand der Fuge zu bewerten?
- Enthält die Fuge Grünbeläge?
- Hat sich das Fugenmaterial auf der Bettung verteilt?
- Ist das Fugenmaterial verfestigt?

I 2.2 Bettung

- Welches Bettungsmaterial liegt vor?
- Weist die Unterlage eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf?
- Wie sind die kapillarbrennenden Eigenschaften des Bettungsmaterials zu bewerten?
- Ist das Bettungsmaterial verfestigt?

I 3 Untersuchung von Bauwerksproben

I 3.1 Probenahme

- Wurden augenscheinlich unbeschädigte Proben entnommen, anhand derer die Restlebensdauer der Pflastersteine zu beurteilen ist?
- Sind die zur Prüfung entnommenen Proben repräsentativ für die zu bewertenden Flächenteile?

I 3.2 Laboruntersuchungen

- Bestimmung der Dicke des Vorsatzbetons

Vortests zur Beurteilung des Saug- und Abtrocknungsverhalten des Vorsatz- und Kernbetons der Pflastersteine

Frost-Tausalz-Prüfung. (Hinweis) Vor der Durchführung der Laboruntersuchungen muss geklärt werden, welches Prüfverfahren vertraglich vereinbart ist. Wurde kein gesondertes Prüfverfahren vereinbart, dann ist der Slab-Test zu verwenden.

Bestimmung der Spaltzugfestigkeit zum Nachweis der Normkonformität

I4 Einflüsse auf die Entstehung von Frostschäden

I 4.1 Gesteinskörnung

Nicht ausreichend verwitterungsbeständige Körner

Sehr dichte Gesteinskörner mit sehr glatter Oberfläche

Poröser Zementstein in der Kontaktschicht zum Gesteinskorn

I 4.2 Verlegung

Nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Unterlage

Verwendung stark wasserrückhaltender Fugenmaterialien

I 4.3 Nutzung:

Verwendung besonders aggressiver Taumittel

Fehlende Reinigung der Pflasterdecke

Reinigung der Pflasterdecke unter Verwendung angreifender Reinigungs- oder Unkrautbekämpfungsmittel oder mit einem Hochdruckreiniger

Der Einsatz des Winterdienstes kann unter bestimmten Bedingungen zur Bildung von Mikrorissen im Vorsatzbetongefüge führen, was den Witterungswiderstand reduziert.

I 4.4 Betonwaren

Produkte mit einem sehr starken Wassersaugen und einem langsamen Abtrocknungsverhalten (sog. Wassersäufer) begünstigen die Entstehung von Frostschäden.

II Checkliste zur Bewertung gebundener Pflasterdecken

II 1 Eignung des Materials und Qualität der Herstellung

II 1.1 Bauweise

Handelt es sich um eine nicht befahrene Pflasterdecke?

→ *Die Mischbauweise ist nur bei nicht befahrenen Pflasterdecken anwendbar.*

Dringen hohe Wassermassen in die Konstruktion ein?

→ *Wasser ist soweit wie möglich aus der Konstruktion herauszuhalten.*

Wurde eine wasserdurchlässige Tragschicht eingebaut?

→ *Bei undurchlässiger Tragschicht ist eine gesonderte Entwässerungsebene zu planen.*

II 1.2 Fugenmörtel

Wurden die Unterlagen zum Nachweis der Produkteigenschaften vor der Ausführung der Arbeiten angefordert?

Besitzt der Fugenmörtel eine ausreichende Festigkeit, eine möglichst geringe Wasserdurchlässigkeit sowie einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand?

Ermöglicht der Fugenmörtel einen angemessenen Verbund zu den Pflastersteinen?

→ *Mörtel der Mörtelgruppe MG III sind normalerweise nicht in der Lage die genannten Anforderungen zu erfüllen.*

Wurden zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Mörtelqualität Werk trockenmörtel verwendet?

Hat sich der Fugenmörtel entmischt?

→ *Bei der Entmischung können Verwitterungsschäden im oberflächennahen Bereich entstehen.*

Wurden die gebundenen Fugenmaterialien vollständig von der Pflasterdecke entfernt?

II 1.3 Bettungsmörtel

- Wurden die Unterlagen zum Nachweis der Produkteigenschaften vor der Ausführung der Arbeiten angefordert?
- Besitzt der Bettungsmörtel eine ausreichende Festigkeit, ist dennoch wasserdurchlässig und ist frost- bzw. frost-tausalzbeständig?
- Weist der Bettungsmörtel einen ausreichenden Verbund zu den Pflastersteinen auf bzw. wurden Haftbrücken eingesetzt?
 - *Mörtel der Mörtelgruppe MG III sind normalerweise nicht in der Lage die genannten Anforderungen zu erfüllen.*

- Wurde zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Mörtelqualität Werkrockenmörtel verwendet?

II 1.4 Bewegungsfugen

- Wurden Bewegungsfugen zum Abbau thermischer Spannungen eingeplant?
 - *Die Abstände zwischen den Bewegungsfugen sollten nicht zu groß (ca. 6 – 8 m) sein.*
- Wurden Bewegungsfugen an aufgehenden Bauteilen eingebaut?
- Ist das Material der Bewegungsfugen ausreichend verformbar, um sich nach der Beanspruchung wieder vollständig zurückzustellen, aber fest genug, um eine horizontale Bewegung der Pflastersteine zu behindern?

II 1.5 Verbundverhalten

- Weisen die Fugen eine ausreichende Fugenfüllung sowie einen ausreichenden Verbund zu den Pflastersteinen auf?
- Wurden Haftbrücken verwendet?
- Ist die Fugenbreite angemessen groß?
 - *Zu geringe Fugenbreiten verhindern, dass der Fugenmörtel sachgerecht eingebracht werden kann.*

- Liegt bei gebundenen Rinnen ein ausreichender Verbund zum Fundamentbeton vor?
 - *Vor diesem Hintergrund ist auf die Lagerzeit des ungeschützten Betons auf der Baustelle zu achten.*

II 1.6 Randeinfassung

Sind gebundene und ungebundene Teilflächen durch Randeinfassungen voneinander abgetrennt?

→ *Dies gewährleistet die Lagersicherheit der Pflastersteine.*

Sind Fundament- und Rückenstützenbetone während der Lagerung auf der Baustelle ausgetrocknet, bzw. wurden Schutzmaßnahmen ergriffen, um dies zu verhindern?

→ *Die Verwendung verzögter Betone sind diesbezüglich als kritisch anzusehen.*

II 2 Maßnahmen zur Vorbeugung von Schäden

Die an den Bauwerksproben zu erreichenden Qualitäten (Druckfestigkeit, und Verbundfestigkeit) sollten im LV direkt gefordert werden, da im Regelwerk Vorgaben fehlen.

Die Unterlagen zum Nachweis der Produkteigenschaften sollten vor der Ausführung der Arbeiten angefordert und geprüft werden. Auch die Nachweisverfahren sind vorab festzulegen.

Es sind regelmäßige Kontrollen der ausgeführten Arbeiten durchzuführen. Im Besonderen ist die Wasserdurchlässigkeit der Tragschicht vor Ort mittels einfacher Tests zu bewerten.

Einmal entstandene Risse sollten zeitnah geschlossen werden, um den Zutritt von ggf. tausalzhaltigem Wasser zur Bettung zu vermeiden.

III Checkliste zur Bewertung von Oberflächenvergütungen

III 1 Reinigungsmittel

III 1.1 Prüfpflichten vor der Reinigung mit Spezialreinigern

- Werden im Datenblatt des Stein- bzw. Plattenproduzenten bestimmte Reiniger empfohlen oder ausgeschlossen?
- Schließt das Datenblatt des verwendeten Reinigers die Anwendung für bestimmte Produkte oder Produktgruppen aus?
- Wurden Testflächen (an optisch unauffälligen Stellen) angelegt?
- Geben die Datenblätter des Reinigers Auskunft über dessen Einfluss auf den Rutschwiderstand, bzw. zur rückstandsfreien Entfernung von Reinigungsmittelresten?

III 2 Abweichung von den üblichen Eigenschaften vergüteter Produkte

III 2.1 Anschmutzungs- und Reinigungsverhalten

- Mit welchen Verschmutzungen ist bei dem bestehenden Anwendungsfall üblicherweise zu rechnen?
 - *Verschmutzungen müssen unabhängig vom Vergütungssystem frühzeitig entfernt werden.*

III 2.2 Kratzbeständigkeit

- Wie ist der Glanzgrad zu bewerten?
 - *je glänzender, desto höher ist die Kratzempfindlichkeit*
- Welche Farbe haben die Proben?
 - *je dunkler und einfarbiger, desto höher ist die Kratzempfindlichkeit*

- Wie rau ist die Oberfläche?
 - *je rauer, desto höher ist die Kratzempfindlichkeit*

- Wie dick ist die Oberflächenvergütung?
- Welche Härte hat die Vergütung?
- Wie sind die Umgebungsbedingungen zu bewerten, z.B. in Hinblick auf Kratzer verursachende Materialien?

III 2.3 Eintrübung

- Weist die Oberfläche Blasen auf?
- Ist eine ausreichende UV-Beständigkeit der Oberfläche gegeben?

III 2.4 Farbveränderungen

- Gibt es Calciumcarbonatausblühungen im Bereich von Fehlstellen oder Blasen?
- Ist die Oberfläche durch reaktive Restbestandteile der Vergütungssysteme eingetrübt?
- Wurden Verschmutzungen zu spät von der Produktoberfläche entfernt?
 - Bei der gebundenen Bauweise treten häufig erhebliche Verfärbungen auf, wenn die Fugen- bzw. Bettungsmaterialien zu lange auf den Produkten verbleiben.

III 2.5 Glanzverlust

- Ist Glanzverlust an der Oberfläche erkennbar?

IV Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 206: 2017-01. Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [2] DIN 1045-2: 2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [3] DIN EN 1338: 2003-08. Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren
- [4] E DIN EN 1338: 2010-08. Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren
- [5] DIN 11622-1: 2006-01. Gärfttersilos und Güllebehälter – Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [6] DIN 11622-2: 2004-06. Gärfttersilos und Güllebehälter – Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit – Teil 2: Gärfttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen
- [7] DIN EN 12390-9: 2002-05. Prüfung von Festbeton – Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung
- [8] DIN CEN/TS 12 390-9: 2017-05. Prüfung von Festbeton – Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung
- [9] DIN EN 12620: 2008-07. Gesteinskörnungen für Beton
- [10] E DIN EN 12620_2015-07. Gesteinskörnungen für Beton
- [11] ATV DIN 18318 Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen
- [12] DIN 18501:1982-11. Pflastersteine aus Beton
- [13] DIN 18507: 2012-08. Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton – Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Überwachung
- [14] BDB-Richtlinie: 1996-04. Herstellung und Güteüberwachung von wasserdurchlässigen Pflastersteinen aus haufwerksporigem Beton
- [15] BDB-Merkblatt: 1997. Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen – Richtig planen und ausführen
- [16] BDB-Report: 2000-02. Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen
- [17] BEB-Merkblatt: 2004-11. Oberflächenzug- und Haftzugfestigkeit von Fußböden – Allgemeines, Prüfung, Einflüsse, Beurteilung
- [18] DAFStB-Heft 401: 1989. Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton
- [19] DNV-Merkblatt 1.3: 2013-06. Massivstufen und Treppenbeläge, außen
- [20] DNV-Merkblatt 1.6: 1996. Mörtel für Außenanlagen
- [21] DNV-Richtlinie: 2014-05. Pflaster- und Plattendecken für befahrbare und begangene Flächen in ungebundener und gebundener Ausführung sowie in Mischbauweisen
- [22] FGSV-Merkblatt: 1991. Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton

- [23] FGSV-Merkblatt M BEP: 2016. Merkblatt für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken oder Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie von Einfassungen
- [24] FGSV-Merkblatt: 2007. Arbeitspapier für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Ausführung
- [25] FGSV-Merkblatt M FP-2: 2015. Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen
- [26] FGSV-Merkblatt MVV: 2013. Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen
- [27] VDB-/DBV-Merkblatt: 2011-04. Brückenkappen aus Beton des VDB und des DBV
- [28] RStO 12: 2012. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
- [29] SLG-Merkblatt: 2001. Kommentierung zum Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen
- [30] SLG-Merkblatt: 2002. Versickerungsfähige Pflastersysteme aus Beton
- [31] SLG-Merkblatt: 2004. Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen
- [32] SLG-Merkblatt: 2008. Die fachgerechte Anwendung versickerungsfähiger Pflastersysteme aus Beton – Voraussetzungen, Anwendung, Umsetzung
- [33] SLG-Merkblatt: 2009-04. Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen
- [34] SLG-Merkblatt: 2014. Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen – Richtig planen und ausführen
- [35] TL Pflaster-StB 06/15: 2015. Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen
- [36] TL Streu: 2003. Technische Lieferbedingungen für Streustoffe des Straßenwinterdienstes
- [37] Snethlage, Rolf: Leitfaden Steinkonservierung – Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005
- [38] Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster. 1. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2017
- [39] Bonzel, Julius: Über die Spaltzugfestigkeit des Betons. In: Verein Deutscher Zementwerke: Betontechnische Berichte (1964)
- [40] Klöppner, Bernhard: Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit von Betonwaren – ein Standpunkt aus der Sicht eines Herstellers. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2008)
- [41] Krell, Jürgen: Abplatzungen über gesunden, oberflächennahen Gesteinskörnern? Mangel trotz bestandener Erstprüfung? In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2013), Heft Februar
- [42] Schäffel, Patrick: Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenerzeugnissen unter praxisnahen Verhältnissen. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2016), Heft Februar
- [43] Krell, Jürgen: Wen trifft die Erfolgschaftung – Frost-Tausalzschaden an Blockstufen im Garten. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2017), Heft Februar
- [44] Jansen, Günter: Hinzunehmende Unzulänglichkeiten, Gebrauchstauglichkeit, erwartbare Beschaffenheit, zugesicherte Eigenschaften. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (2017), Heft Februar

- [45] Setzer, Max; Hartmann, Volker: Verbesserung der Frost-Tausalz-Widerstandsprüfung von Betonerzeugnissen. In: BWI BetonWerk International (1991), Heft Juni September
- [46] Ulonska, Dietmar Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflasterdecken in Deutschland. In: BWI BetonWerk International (2015), Heft Januar
- [47] Voß, Karl-Uwe: Tausalzbedingte Schäden an Flächenbefestigungen aus wasserdurchlässigen Betonpflastersteinen. In: BWI BetonWerk International (2015), Heft Juni
- [48] Wichter, Lutz; Richter, Frank: Beständigkeit von Pflastersteinen aus haufwerksporigem Beton bei Beanspruchung durch Frost und Tausalz. In: Straße und Autobahn (2001), Heft Mai
- [49] Voß, Karl-Uwe: Frost- und Frost-Tausalz-Schäden an Betonteilen. In: Straße und Autobahn (2011), Heft November
- [50] Rheinland Pfalz: Landesverordnung über Anforderungen an Anlagen zum Lagern und Abfüllen Landesverordnung über Anforderungen an Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle, Silagesickersäften, Festmist und Silagen. JGSFV RP, vom 01.04.1999. Fundstelle: GVBL. 1999, S. 102
- [51] WTA Merkblatt 5-21: 2009-01. Gebundene Bauweise – historisches Pflaster
- [52] ZTV Pflaster-StB 06: 2006-12. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen
- [53] ZTV Wasserbau: 2012-08. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton
- [54] ZTV Wegebau: 2015-08. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs
- [55] Betonwerksteinkalender 2017, Ausschreibung – Kalkulation, Regelwerke – Ausführung. ad-media GmbH Köln in Zusammenarbeit mit der Bundesfachgruppe Betonfertigteile und Betonwerkstein im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes
- [56] Rohleder, Michael: Horizontale Verschiebungen in Pflasterdecken und deren Visualisierung. Dissertation. Schriftenreihe des Institutes für Straßenwesen und Eisenbahnbau der Ruhr-Universität Bochum, 15. Bochum: 2002
- [57] Ergebnisse der Straßenbauforschung. Ermittlung eines Bewertungshintergrundes für den horizontalen Verschiebungswiderstand von Pflasterdecken. In: Straße + Autobahn (2003) Jg. 54, Nr. 3, S. 164–169
- [58] Koch, Carsten: Forschung und Praxis - zum Erfolg durch Kompetenz: Bettung, Fugenverfüllung und Horizontalbelastbarkeit von Pflasterflächen. In: BFT International (2003) Jg. 69, Nr. 2, S. 116–117
- [59] Wellner, Frohmut (Hrsg.): Weiterführende Untersuchungen zum Verhalten von Pflasterdecken unter horizontaler Belastung. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 06.072.200/AGB des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen. Deutschland. Bonn. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 894. Bonn: 2004
- [60] Ascher, Daniel; Lerch, Tobias; Wellner, Frohmut: Verformungsverhalten von Betonpflasterbefestigungen unter vertikaler und horizontaler dynamischer Lasteintragung. In: BFT International (2007) Jg. 73, Nr. 1, S. 16–22

- [61] Kresse, Peter: Bewitterung von beschichteten Betondachsteinen. In: BFT International (1994), Jg.60, Nr.7, S.83-90
- [62] DIN EN 15148:2016-12 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen; Deutsche Fassung EN ISO 15148:2002 + A1:2016

V Sachregister

- Abheber 71, 73
- Abmehlen der Produktoberflächen 182
- Aussortieren mangelhafter Produkte vor der Verlegung 70, 77
- Basaltbeton 177
- Dimensionierung von Pflasterdecken 115ff
 - » Besondere Beanspruchungen 116
 - » Containerlagerung 116
 - » Landwirtschaftliche Betriebe 118
- Fehlstellen 26, 69ff, 72
- Fremdstoffe im Vorsatzbeton 26
- Frost-Tausalz-Prüfung
 - » Abtrocknungsverhalten 22, 50
 - » Anzahl an Frost-Tau-Wechseln 44
 - » CDF-Test 41ff
 - » Nachbildung der Praxisbedingungen 12
 - » Normative Grenzwerte 47
 - » Saugverhalten 22, 50
 - » Slab-Test 41
 - » Taumittel 32, 45
 - » Vortests 22, 50ff
- Frost-Tausalz-Schäden an Betonprodukten
 - » Altersgemäßiger Zustand 38ff, 55
 - » Bewertung von Bauwerksproben 37ff, 47ff
 - » flächige Abwitterungen 55
 - » Fremdstoffe 26, 69ff
 - » Frost-Tauwechsel im Objekt 37, 44ff
 - » Fugenmaterial 31
 - » Gesteinskörnung 14ff, 23, 25, 52ff
 - » Kernbeton 28ff, 31
 - » Hochdruckreiniger 35
 - » Mikroluftporen, Abreicherung 21
 - » Nutzungseinfluss 32ff
 - » Pop outs 14ff, 23, 25, 52ff, 70
 - » Reinigung der Pflasterdecke 34ff
 - » Sanierung 57
 - » Schadensbilder 14
 - » Schadensursachen 13
 - » Taumitteleinfluss 32, 45
 - » Verlegungseinfluss 31ff
 - » Vorschädigung der Pflastersteine 36
- » Wasserdurchlässige Pflastersteine 58ff
- » Wasserzufuhr von außen 19
- » Winterdienst 32
- Frost-Tausalz-Schäden an Natursteinen 39ff
- Frost-Tausalz-Widerstand
 - » Bewertung von Bauwerksproben 37ff, 47ff
 - » Erzielen hoher Druckfestigkeiten 16, 17
 - » Reduzierung der Wasseraufnahme 17, 18ff
 - » Schaffung von Expansionsräumen 17, 20
 - » Verwendung von Luftporenbildnern 20
 - » w/z-Wert 21
- Gebundene Bauweise 79ff
 - » Bauwerksproben 109ff
 - » Bettungsmörtel 81ff
 - » Bewegungsfugen 90, 92, 100ff
 - » Druckfestigkeit 83
 - » Einfassungen 91
 - » Festigkeit im Objekt 109ff
 - » Fugenmörtel 81ff, 111
 - » Haftzugfestigkeit 82
 - » Kontaktschlämme 81, 99
 - » Mörtel der Mörtelgruppe MG III 83, 94
 - » Oberflächenvergütete Produkte 137, 159
 - » Planung mangelhaft 87ff, 91ff, 94ff, 97ff
 - » Regelwerke 80
 - » Risse 86ff
 - » Thermische Beanspruchung der Pflasterdecke 87
 - » Transportmörtel 83
 - » Übergang gebunden zu ungebunden 91
 - » Verbundverhalten 90, 96, 99, 109ff
 - » Wasserdurchlässigkeit 81, 99
 - » Weichmacher 102ff
 - » Witterungsbeständigkeit 96
 - » Zementlinsen 84ff
- Hohlstellen zwischen Vorsatz- und Kernbeton 28
- Kantenabplatzungen 24
- Kerndurchschläge 25

- Kratzempfindlichkeit** 140ff
- » baustofftypische Kratzhärte 176
 - » Bewertung 171
 - » Einflüsse 141
 - » Härteprüfer 142
 - » Modifizierter SRT-Test 142
 - » Mohs'sche Härte 142
 - » Nutzereinfluss 172, 174
 - » Prüfung 141ff
- Löcher in der Steinoberfläche** 26, 69ff
- Oberflächenvergütete Produkte** 123ff
- » Ablösung der Vergütung 144, 154, 158
 - » Anschmutzungsverhalten 125, 136ff
 - » Ausblühungen und -neigung 126, 139, 147, 153
 - » Baustellenschmutz 167
 - » Blasenbildung 144, 153
 - » Carbonatausblühungen 148ff
 - » Dauerhaft Schicht bildende Systeme 132
 - » Eintrübung der Vergütung 144, 147, 155
 - » Einwirkzeit des Schmutzes 137
 - » Fehlstellen in der Vergütung 147
 - » Gebundene Bauweise 137, 159
 - » Glanzverlust 170
 - » Haushalts- oder Grundreiniger 125, 133
 - » Kratzempfindlichkeit 140, 171
 - » Lösender Angriff 169
 - » Mögliche Schwächen 127
 - » Mörtelablagerungen 159, 160, 163
 - » Nachweis der Vergütung 146
 - » Nicht Schicht bildende Systeme 130
 - » Reinigungsfähigkeit 125, 136ff, 164ff
 - » Reinigungsmittelklassen 133
 - » Reinigungsmittelverträglichkeit 128, 135
 - » Reinigungsschäden 168
 - » Schneidschlämme 164, 167
 - » Spezialreiniger 133, 168
 - » Temporär Schicht bildende Systeme 131
 - » UV-Beständigkeit 145
 - » Vergütungssysteme 129, 130ff
 - » Verschmutzungsreagenzien 138
 - » Werbeversprechen 126ff, 167
- Produktpreis** 70
- Rinnen** 104ff
- » Betonfestigkeit 111
 - » Verbund des Fundamentbetons 104ff
 - » Verdursten des Betons 106
 - » Verzögerte Betone 106
- Risse in der Steinoberfläche** 27ff, 75ff
- Rückenstütze** 107ff
- » Bauwerksfestigkeit 108, 112
 - » Betonfestigkeit 112
 - » Verdichtung des Betons 107
- Sanierung**
- » Frost-Tausalz-Schäden 57
 - » Löcher und Risse 71
- Stempelkleber** 71, 72
- Strahlbild** 180
- Sulfattreiben** 188
- Tausalze**
- » Auswaschen der Tausalze 66
 - » Nachweis der Beaufschlagung mit Tausalzen 62, 64, 66
- Verbund zwischen Vorsatz- und Kernbeton** 73, 76ff
- » Haftzugfestigkeit 76
 - » Risse 75
- Verschiebesicherheit** 119ff
- » Horizontale Verschiebungen 121
 - » Prüfmethodik 121
 - » Verbundpflastersteine 122
 - » vertikale Verschiebungen 120
 - » Verzahnung der Pflastersteine 123
- Wasserdurchlässigkeit der Unterlage** 30, 31

Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster II

Frostschäden, gebundene Bauweise,
oberflächenvergütete Produkte

Bei hochwertigen Pflasterflächen sind Kratzer, Risse oder Abwitterungen besonders ärgerlich. Aber sind Reklamationen immer berechtigt? Wann es sich um hinzunehmende Beeinträchtigungen, wann um echte Schäden handelt, ist zwischen Auftraggebern, Planern und Herstellern oftmals strittig, zumal die Technischen Regelwerke kaum Bewertungsgrundlagen für bestehende Pflasterdecken bieten. Karl-Uwe Voß stellt in diesem Buch Prüfverfahren vor, mit denen Schäden in diesen Fällen objektiv beurteilt werden können. Er erklärt, warum Labortests für neue Betonwaren für die Beurteilung von Bauwerksproben nicht immer geeignet sind und schlägt Alternativen vor. An Beispielen aus der Gutachterpraxis zeigt er auf, welche Rolle die objektspezifischen Umgebungsbedingungen bei der Entstehung von Schäden an Pflasterdecken spielen. Behandelt werden die komplexen Schadensmechanismen bei Frost- und Frost-Tausalz-Angriff, Risse und Verformungen von gebundenen Pflasterdecken und die vielfältigen Reklamationsursachen bei oberflächenvergüteten Betonwaren, wie Reinigungsfähigkeit, Anschmutzungsverhalten, Verfärbungen und Glanz.

Zusammenfassende Bewertungshilfen und übersichtliche Checklisten zur Reklamationsbearbeitung machen das Buch für Sachverständige ebenso nützlich wie für Ausführende, Planer und Eigentümer hochwertiger Pflasterdecken.

Der Autor: Dr. Karl-Uwe Voß ist Geschäftsführer und Institutsleiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied und ö.b.u.v. Sachverständiger für den Bereich »Analyse zementgebundener Baustoffe, insbesondere Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen und Betonwaren« (IHK Koblenz). Er ist Mitglied unterschiedlicher Fachgremien, unter anderem bei der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau e.V. (FLL) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV). Bekannt ist er auch als Autor zahlreicher Fachpublikationen.



Fraunhofer IRB ■ Verlag

