



Fotos: Voß

Abbildung 1: Verfärbung von anthrazitfarbenen Pflastersteinen aus Beton durch das verwendete Fugenmaterial.

Pflasterfärbung durch Fugenmaterial untersucht

Kernergebnisse der Forschung zu Verfärbungen an Betonteinen durch Fugenmaterialien der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied.

DR. RER. NAT KARL-UWE VOSS

„Sachverständige müssen konkrete Untersuchungen durchführen, um zwischen klassischen Ausblühungen und anderen Verfärbungen differenzieren zu können.“

In der Vergangenheit wurde bereits mehrfach darüber berichtet, dass herkömmliche Fugenmaterialien, wie sie üblicherweise zum Verfugen von Pflasterdecken und Plattenbelägen verwendet werden, auf Flächenbelagsprodukten aus Beton (Pflastersteine und Platten) einwirken und dort zu Verfärbungen führen können [L 4], [L 8]. Derartige Verfärbungen haben häufig eine große Ähnlichkeit mit flächig auftretenden Ausblühungen, weshalb diese selbst von Fachleuten oftmals mit diesen verwechselt werden (siehe Abbildungen 1 und 2).

Gerade aufgrund der Vielzahl nachweislicher Fehlbeurteilungen von Verfärbungsursachen ist es unumgänglich, dass Sachverständige im Rahmen der gutachterlichen Bewertung von verfärbten Pflasterdecken konkrete Untersuchungen durchführen müssen, um zwischen klassischen Ausblühungen und anderen Verfärbungen differenzieren zu können. Hierfür kommen sowohl einfache, orientierende

Tests als auch aufwendigere Nachweismethoden in Frage:

- Durchführung eines einfachen Salzsäuretests idealerweise unter einem Digitalmikroskop (das Problem des Salzsäuretests besteht darin, dass bereits geringe Mengen an Carbonaten zu einem deutlichen Aufschäumen führen, weshalb es sich bei diesem Test nur um einen sehr groben Vortest, nicht aber um eine sachgerechte Nachweisführung handelt).
- Digital- und dünnschliffmikroskopische Untersuchung der Produkte.
- Röntgenbeugungsanalyse der Verfärbungen.
- Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Produkte in Verbindung mit einer EDX-Analyse der Verfärbungen. (Anmerkung: Konkrete Hinweise zur Anwendung dieser Untersuchungsmethoden sind [L 22], [L 23] und [L 24] zu entnehmen.)

So können Verfärbungen oder Verschmutzun-

gen der Belagsprodukte in vielen Fällen durch das verwendete Fugenmaterial oder auch durch andere Fremdstoffe, wie z.B. in der Nähe der Fläche lagern dem Boden oder Dünger verursacht werden (Abbildung 3).

Aufgrund der deutlich gestiegenen Reklamationshäufigkeit bezüglich Verfärbungen von Betonpflasterdecken startete die MPVA Neuwied GmbH im März 2017 ein durch 22 Firmen und den Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) finanziell, materiell und fachlich unterstütztes Forschungsvorhaben, in dessen Rahmen die Einflüsse auf die Verfärbungsneigung von Betonpflastersteinen sowie Maßnahmen zu deren Beseitigung untersucht werden sollten.

Untersuchungsprogramm

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden 58 Serien von Betonpflastersteinen bzw. -platten und 29 Fugenmaterialien von 19 Betonwarenproduzenten zur Durchführung der Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Bei den Pflasterstein- und Plattenmaterialien kamen Produkte mit unterschiedlichen Farben und Oberflächenbearbeitungen, mit und ohne Massenhydrophobierung sowie mit und ohne Oberflächenvergütung zur Anwendung. Abbildung 4 zeigt eine Auswahl der untersuchten Betonpflastersteine.

Als Fugenmaterialien kamen handelsübliche, am Markt als Standardware erhältliche Materialien, darunter Basaltsplitte, Kalksteinsplitte, Quarz- und Moränesande sowie Schlacken zum Einsatz.

Voruntersuchungen an den Fugenmaterialien

Im Rahmen von Voruntersuchungen an den Fugenmaterialien erfolgten diverse Untersuchungen, wobei nachfolgend nur auf die Ergebnisse der Bestimmung der Feinanteile (abschlämbbare Bestandteile mit einem Korndurchmesser $< 0,063$ mm) und die digitalmikroskopische Ansprache eingegangen wird.

Im Rahmen der Bestimmung der Feinanteile wurde festgestellt, dass die Fugenmaterialien Feinanteilgehalte zwischen 0,5 und 16,7 Masse-% enthielten. Unter Berücksichtigung, dass der Feinanteil bei Fugenmaterialien gemäß den TL Pflaster-StB begrenzt ist – er darf zwischen 2 und 9 Masse-% betragen – bleibt festzuhalten, dass 18 der 29 für die Untersuchungen bereitgestellten Fugenmaterialien diese Anforderung verfehlten, obwohl es sich um solche handelte, die häufig in der Praxis eingesetzt werden. Abbildung 5 zeigt eine Auswahl der untersuchten Fugenmaterialien.

Bei der digitalmikroskopischen Ansprache der Fugenmaterialien wurde darüber hinaus festgestellt,

dass 12 der 29 untersuchten Fugenmaterialien Hinweise auf mobilisierbare, eisenhaltige Bestandteile enthielten (Abbildung 6), die ebenfalls eine Verfärbungstendenz nach sich ziehen können.

Untersuchungen zur Verfärbung von Produktoberflächen

Der Schwerpunkt der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens lag in der Beantwortung der nachfolgenden Fragen:

- 1 In welchem Ausmaß ist mit einer Verfärbung der Oberfläche von Betonpflastersteinen und -platten durch das Aufbringen bestimmter Fugenmaterialien zu rechnen?
- 2 Mit welcher Art der Reinigung sind gegebenenfalls auftretende Verfärbungen am besten zu entfernen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden die Fugenmaterialien zum einen trocken und zum anderen nass in die Oberflächen der Untersuchungsproben eingearbeitet. Die Produktoberflächen wur- ▶



Abbildung 2: Verfärbung von Pflastersteinen aus Beton durch Fugenmaterialien.

**VON PROFIS, FÜR PROFIS:
DER KANN EXPERT IST DA.**

Mit Ihrem Fachwissen und unserem umfangreichen Sortiment gestalten Sie echte Lieblingsplätze für Ihre Kunden.
Ihr Handbuch für Profis erhalten Sie auf www.kann.de/broschueren

Pflastertechnik



Abbildung 3: Verfärbung von Pflastersteinen aus Beton infolge der Verschmutzung durch anstehenden Boden.

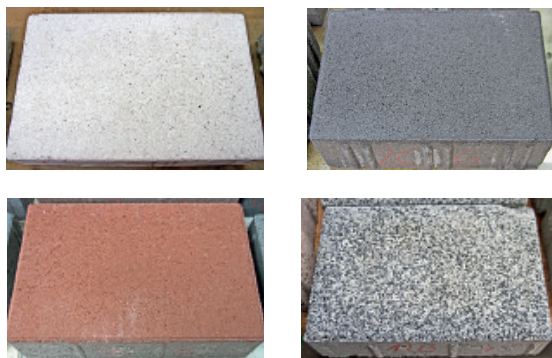


Abbildung 4: Auswahl von untersuchten Betonpflastersteinen.



Der Autor

**Dr. rer. nat
Karl-Uwe Voß,**
Geschäftsführer
und Institutsleiter
Materialprüfungs-
und Versuchsanstalt
Neuwied
Tel.: 02631/39 93 23
voss@mpva.de

den am nächsten Tag wie nachstehend beschrieben gereinigt:

- 1 Trockenes Abfegen.
- 2 Nasses Abbürsten mit einer Wurzelholzbürste.
- 3 Reinigen der Produktoberflächen mit einem Hochdruckreiniger (Wasserdruck von ca. 100 bar und aus einem Abstand von ca. 70 cm).
- 4 Auslagerung der Produkte bei normaler Außenbewitterung und ohne mechanische Beanspruchung durch Verkehr. (Anmerkung: Die Auslagerungsversuche der verfärbten Produkte laufen bis zum Frühjahr 2019. Somit kann aktuell noch nicht über die entsprechenden Untersuchungsergebnisse berichtet werden.)

Nach Abschluss der Reinigung und dem anschließenden Abtrocknen der Produkte (bei nasser Einarbeitung des Fugenmaterials) erfolgte die Bestimmung der Farbveränderung der Betonprodukte sowohl nach Augenschein als auch mit dem Farbmessgerät PCE-TCR 200 des Herstellers PCE-Instruments.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen sind nachfolgend wiedergegeben:

- Bei den dunklen Pflastersteinen waren mit wenigen Ausnahmen (unabhängig von der Farbe des aufgetragenen Fugenmaterials) deutliche Aufhellungen auf deren Oberflächen zu erkennen. Diese Aufhellung wird darauf zurückgeführt, dass die Feinanteile der Fugenmaterialien in der Regel deutlich heller sind als deren größere Körner.
- Dunkle Pflastersteine sind hinsichtlich der Ausprägung von Verfärbungen durch Fugenmaterial deutlich kritischer zu betrachten als

helle oder nuancierte Pflastersteine. Dies ist insofern bemerkenswert und erklärt auch ein Stück weit die Zunahme der Reklamationen, als das dunkle Betonpflastersteine und Platten, z.B. in der Farbe anthrazit, aktuell sehr stark im Kundentrend liegen. Bei den Untersuchungen zeigten aber gerade die Produkte dieser offenbar sehr modernen Produktfarben unabhängig vom Fugenmaterial zum Teil erhebliche Aufhellungen.

- Für die Verfärbung der Produktoberflächen reichen bereits sehr geringe Mengen an Feinanteilen des Fugenmaterials aus, um eine optisch deutlich erkennbare Verfärbung zu erzeugen. Aus diesem Grunde ist allein eine Begrenzung der Feinanteile der Fugenmaterialien nicht geeignet, um die Entstehung von Verfärbungen durch Fugenmaterialien zu vermeiden.
- Die Reinigung der Betonprodukte lediglich durch trockenes Abfegen mit einem Besen ist nicht geeignet, um einen akzeptablen Reinigungserfolg zu erzielen. So wurden bei den derartig gereinigten Produkten Aufhellungen vorgefunden, deren Ausmaß exemplarisch an vier Steinen in Abbildung 7 dargestellt ist. Die jeweils linke Steinhälfte zeigt die nicht verschmutzte Referenzfläche. Bei den jeweils rechten Steinhälften handelt es sich um die mit einem Fugenmaterial beaufschlagten und anschließend in der beschriebenen Art gereinigten Teilflächen.
- Wurden die Produktoberflächen nach dem Aufbringen des Fugenmaterials nass mit einer Wurzelholzbürste gereinigt, war das

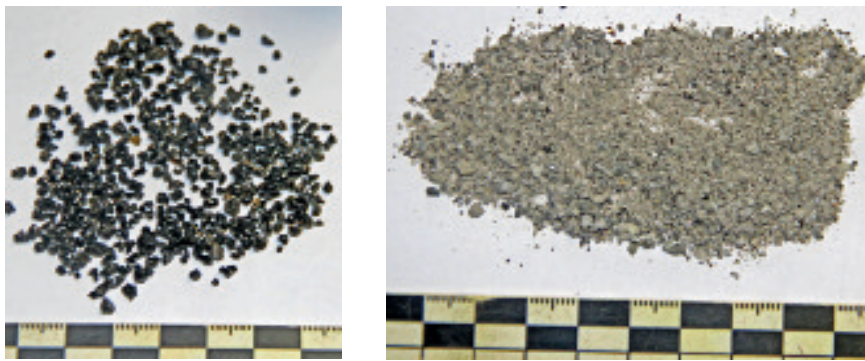


Abbildung 5: Auswahl von untersuchten Fugenmaterialien. Schlacke mit geringem Feinanteil (l.) und Splitt-/Sandgemisch mit einem hohem Feinanteil (r.).

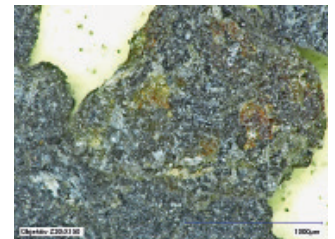
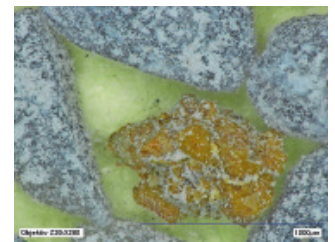


Abbildung 6: Fugenmaterialien mit Hinweisen auf mobilisierbare eisenhaltige Bestandteile.

Reinigungsergebnis deutlich besser als bei der Trockenreinigung, jedoch waren auch bei dieser Variante zum Teil noch deutliche Aufhellungen auf den Untersuchungsproben zu erkennen. So waren nach der nassen Reinigung der anthrazitfarbenen Pflastersteine immerhin bei 6 der 21 anthrazitfarbenen Produkte keine signifikanten Aufhellungen erkennbar, allerdings zeigten 7 der 21 anthrazitfarbenen Produkte auch nach der nassen Reinigung mit einer Wurzelholzbürste deutlich erkennbare Aufhellungen. Abbildung 8 zeigt beispielhaft an zwei Pflastersteinen den Vergleich der Reinigungsergebnisse zwischen der Reinigungsvariante „Trocken mit Besen“ (im Bild jeweils oben) und „Nass mit Wurzelholzbürste“ (im Bild jeweils unten).

- Bemerkenswert war, dass mittels der frühzeitigen Reinigung der Produktoberflächen mit einem Hochdruckreiniger (Wasserdruck von ca. 100 bar und aus einem Abstand von ca. 70 cm) im Regelfall ein sehr guter Reinigungserfolg zu erreichen war. Diese vergleichsweise aggressive Art der Reinigung wird jedoch von nahezu allen Stein- und Plattenproduzenten abgelehnt. Diese nachdrückliche Empfehlung resultiert aus der Erkenntnis, dass diese Art der Bearbeitung der Produktoberflächen (gerade bei hohen Wasserdrücken und geringen Strahlabständen) zu einer Aufrauung der Produktoberflächen und in der Folge zu einer Steigerung der Verschmutzungsneigung und zu einer Veränderung der Optik der Produkte führen kann. Sollten trotz alledem in Ausnahmefällen Hochdruckreiniger zur Anwendung kommen, sollte auf eine „schonende Einstellung“ mit reduziertem Wasserdruck und großem Strahlabstand geachtet werden.
- Die Verfärbungen sind nach derzeitiger Einschätzung offenbar auf eine Verkrallung von feinsten, staubähnlichen Bestandteilen aus dem Fugenmaterial in der Pflastersteinoberfläche zurückzuführen. Auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse hat die Rauheit

der Produktoberfläche (Mikro- /Makrorauheit) überraschender Weise keinen signifikanten Einfluss auf die Intensität der Verfärbung (Aufhellung). Auch die Oberflächenvergütung der Produkte hat auf Basis der bisherigen Erkenntnisse keine Reduzierung der Intensität der Verfärbungen zur Folge.

- Auf Basis der bisherigen Untersuchungen ist zu vermuten, dass ▶

Nachweislich nachhaltig!

Der Stuttgarter Sickerstein – für eine dauerhaft ökologische Flächenbefestigung

Der Stuttgarter Sickerstein

Immer mehr Bauherren setzen auf den bewährten Stuttgarter Sickerstein aus dem Hause Blatt. Bei diesem Steinsystem gelangt das Wasser direkt durch den Stein in das Grundwasser. Möglich wird dies durch einen speziellen hufwerksporigen Beton, der zu 100 % wasser- und luftdurchlässig ist. Vorteilhaft ist, dass somit Flächen nach ökologischen Gesichtspunkten befestigt werden können, die mit feinkörniger Oberflächenstruktur und attraktiven Farb- und Formvarianten zugleich höchsten ästhetischen Ansprüchen genügen sowie dank der geringen Fugenbreite auch gefeundlich bleiben.

Dauerhaft wasserdurchlässig

Viele Referenzobjekte wie auch wissenschaftliche Studien und Gutachten weisen nach, dass unser Stuttgarter Sickerstein die geforderten Versickerungswerte dauerhaft übertrifft.

Referenzen hierzu finden Sie online unter www.blatt-beton.de

Adolf Blatt GmbH & Co. KG
Am Neckar • 74366 Kirchheim/Neckar
Tel: (07143) 89 52-0 • Fax: (07143) 89
info@blatt-beton.de • www.blatt-beton.de



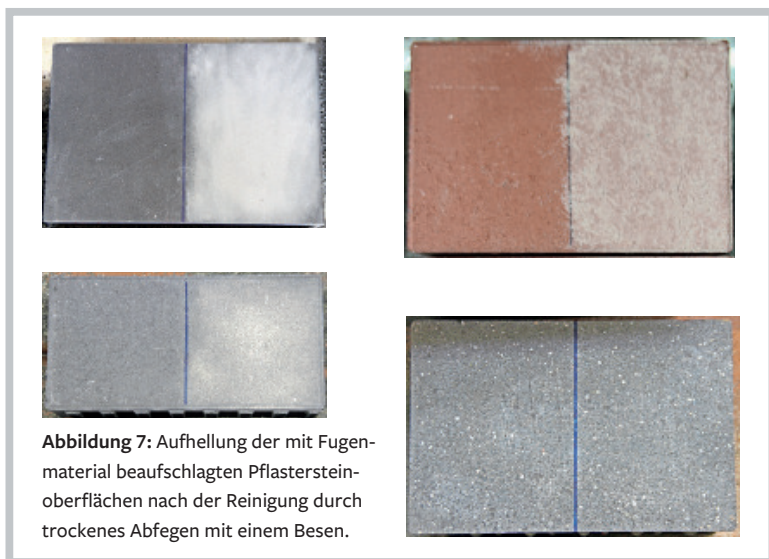


Abbildung 7: Aufhellung der mit Fugenmaterial beaufschlagten Pflastersteinoberflächen nach der Reinigung durch trockenenes Abfegen mit einem Besen.

58

SERIEN von Betonpflastersteinen bzw. -platten und 29 Fugenmaterialien von 19 Betonwarenproduzenten wurden in die Untersuchungen einbezogen.

ungebrochene Fugenmaterialien, z.B. Natursande, Schlacken (wie Hochofen-, Stahlwerks- oder Metallhüttenschlacken), hinsichtlich ihrer Verfärbungsneigung etwas weniger kritisch einzustufen sind, als gebrochene Fugenmaterialien, wie die klassischen Brechsand-Splitt-Gemische.

Empfehlungen für die Praxis

Aufgrund des bestehenden Verfärbungsrisikos durch Fugenmaterialien wird dringend empfohlen, vor dem Verfugen der Pflasterdecke Anschmutzungsversuche an den vorgesehenen Belagselementen unter Verwendung der geplanten Fugenmaterialien durchzuführen. Werden dabei Verfärbungen auf den Belagselementen festgestellt, die durch unmittelbares Nassreinigen mit einer harten Bürste nicht entfernt werden können, sollte unbedingt ein anderes, auch durch entsprechende Versuche ausgewähltes Fugenmaterial verwendet werden.

Eine Reinigung der fertiggestellten Pflasterdecke – die so genannte Bauabschlussreinigung – ist ausgesprochen wichtig und unverzichtbar. Ebenso wichtig ist der Zeitpunkt, zu dem diese Reinigung durchgeführt wird. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unabhängig von der Art der verwendeten Pflastersteine, eine Bauabschlussreinigung so früh wie möglich durchgeführt werden sollte. Verbleibt das Fugenmaterial über längere Zeit auf dem Pflasterbelag – wie das in der Praxis häufig zu beobachten ist – steigt das Risiko für die Entstehung von Verfärbungen durch die eingesetzten Fugenmaterialien signifikant an. Verbleibt das Fugenmaterial sogar mehrere Wochen oder gar Monate auf der Flächenbefestigung, können derart hartnäckige Verfärbungen auftreten, dass diese selbst unter Verwendung eines Hochdruckreinigers nicht mehr vollständig zu entfernen sind [L 24].

Auf Basis einer Vielzahl von Untersuchungen aus Schadensfällen [L 24] ist festzustellen, dass die in der Produktoberfläche verkrallten Feinanteile

der Fugenmaterialien mit der Zeit in Calciumcarbonatausblühungen eingebunden werden, wodurch sich die Gefahr, dass die Verfärbungen (Aufhellungen) nicht mehr entfernt werden können, deutlich erhöht. Im Ergebnis sind die Verfärbungen dann durch übliche Reinigungsverfahren nicht mehr zu entfernen.

Die Bildung von Calciumcarbonat an der Oberfläche von Beton ist nichts ungewöhnliches, sondern findet in jedem Betonbauteil statt; der Vorgang ist auch unter dem Begriff „Carbonatisierung“ des bei der Hydratation entstehenden Kalkhydrates bekannt [L 11]. Dabei findet eine Reaktion des Calciumhydroxids aus dem Zement mit dem Kohlendioxid aus der Luft statt.

Die Bauabschlussreinigung sollte also möglichst frühzeitig und zudem als Nassreinigung erfolgen. Das heißt, dass der Belag mit einer harten Bürste unter Zugabe von Wasser manuell oder maschinell gereinigt wird. Eine lediglich durch trockenenes Abfegen mit einem Besen durchgeführte Bauabschlussreinigung ist nach derzeitiger Einschätzung nicht ausreichend.

Die Bauabschlussreinigung ist im Übrigen innerhalb eines VOB-Vertrages eine vom Auftragnehmer geschuldete Leistung, ohne dass dies einer Erwähnung im Bauvertrag bedarf. Bei der in den ATV DIN 18 299 erwähnten Leistung „Entsorgen von Abfall aus dem Bereich des Auftragnehmers sowie Beseitigen der Verunreinigungen, die von den Arbeiten des Auftragnehmers herrühren“ handelt es sich um eine so genannte Nebenleistung.

Im Ergebnis bedeutet dies, dass durch die Verkrallung von Fugenmaterialien in den Produktoberflächen verursachte Verfärbungen (Aufhellungen) auf Betonpflastersteinen oder Betonplatten annähernd unabhängig von der technischen oder optischen Qualität der Pflastersteine und -platten und auch von der Verwendung von Oberflächenvergütungen sind. Die Verfärbung der Produktoberflächen durch Fugenmaterialien lässt sich in erster Linie durch die Auswahl der Produktfarbe (möglichst helle oder nuancierte Pflastersteine), des Fugenmaterials und durch eine frühzeitige und sachgerechte Bauabschlussreinigung vermeiden. Eine derartige Bauabschlussreinigung hat Nass zu erfolgen. Eine trockene, einzig mit einem Besen ausgeführte Bauabschlussreinigung ist im Gegensatz dazu nicht zielführend.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen eines bei der MPVA Neuwied GmbH durchgeführten Forschungsvorhabens sollte u.a. die Frage beantwortet werden, ob handelsübliche Fugenmaterialien bei sach- und fachgerechter Applikation auf Pflasterdecken zu Verfärbungen

(Aufhellungen) an den Betonpflastersteinen führen. In die Untersuchungen wurden insgesamt 58 Serien von Betonpflastersteinen bzw. -platten und 29 Fugenmaterialien von 19 Betonwarenproduzenten einbezogen.

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchungen besteht darin, dass heutzutage in der Praxis verwendete Fugenmaterialien häufig zu deutlichen Verfärbungen an den Betonpflastersteinen in Pflasterdecken führen. So wurde bei einem großen Teil der Pflastersteine eine deutliche Verfärbung (Aufhellung) der Produktoberfläche nach dem Aufbringen der Fugenmaterialien vorgefunden. Die Verfärbung (Aufhellung) war umso intensiver, je dunkler die Farbe der Pflastersteine war. Die Gefahr von Verfärbungen durch Fugenmaterialien ist demnach deutlich geringer, wenn helle oder nuancierte Betonpflastersteine verwendet werden. Ein Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschaffenheit der Pflastersteine und deren Anschmutzungsverhalten wurde nicht vorgefunden.

Weiterhin zeigte sich, dass Betonpflasterdecken nach ihrer Herstellung und dem Verfugen möglichst frühzeitig und Nass gereinigt werden sollten (Bauabschlussreinigung). Damit ließ sich ein Teil der aufgetretenen Verfärbungen wieder nahezu rückstandslos entfernen.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen fortgesetzt werden. Insbesondere sollen weitere Fugenmaterialien und hier insbesondere gebrochene und ungebrochene Kiese sowie Schlacken einbezogen werden. Zudem sind Feldversuche geplant, bei denen die bisher eruierten Reinigungsmöglichkeiten an Pflasterdecken im Praxismaßstab überprüft und gegebenenfalls verbessert werden sollen. ■

LITERATUR

- [L 1] DIN EN 1338: 2003-08. Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren.
- [L 2] DIN EN 1339: 2003-08. Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren.
- [L 3] ATV DIN 18 299: Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art.
- [L 4] ATV DIN 18 318: Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen.
- [L 5] FGSV-Merkblatt M BEP: 2016. Merkblatt für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken oder Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie von Einfassungen.
- [L 6] FGSV-Merkblatt M FP: 2015. Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen.
- [L 7] SLG-Merkblatt:2004. Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen.
- [L 8] SLG-Merkblatt: 2009-04. Planung und Ausführung dauerhafter Betonpflasterbauweisen.

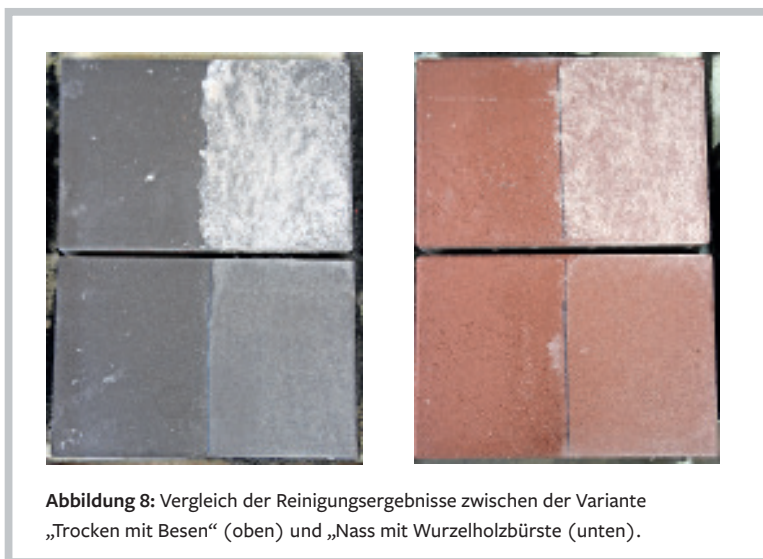


Abbildung 8: Vergleich der Reinigungsergebnisse zwischen der Variante „Trocken mit Besen“ (oben) und „Nass mit Wurzelholzbürste“ (unten).

- [L 9] SLG-Merkblatt: 2014. Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen – Richtig planen und ausführen.
- [L 10] TL Pflaster-StB 06/15: 2015. Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen.
- [L 11] Zement-Merkblatt Betontechnik B 27: Januar 2013. Ausblühungen.
- [L 12] ZTV Pflaster-StB 06: 2006. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen.
- [L 13] ZTV Wegebau: 2013. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs.
- [L 14] Kresse, P.: Ausblühungen; Entstehungsmechanismus und Möglichkeiten ihrer Verhinderung. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (März 1987).
- [L 15] Kresse, P.: Einsatz von Farbe in Beton. Erosion und Bewuchs von Betonoberflächen bei der Bewitterung. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (November 1990).
- [L 16] Voß, K.-U.: Kantenausbrüche und Ausblühungen – Praxistipps zur optimierten Herstellung und Schadensbewertung. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (Februar 2012).
- [L 17] Voß, K.-U.: Verfärbung von Steinoberflächen – Fallbeispiele und deren Bewertung. In: Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT International (November 2016).
- [L 18] Voß, K.-U.: Verfärbungen auf Flächenbefestigungen aus Beton. In: BWI Beton-Werk International (März 2010).
- [L 19] Voß, K.-U.: Ausblühungen auf Betonwaren – Ursachen und Einflussgrößen – Teil 1. In: BWI BetonWerk International (Mai 2013).
- [L 20] Voß, K.-U.: Ausblühungen auf Betonwaren – Ursachen und Einflussgrößen – Teil 2. In: BWI BetonWerk International (Juni 2013).
- [L 21] Voß, K.-U.: Verantwortlichkeit für die Entstehung von Ausblühungen – Teil 1. In: BWI BetonWerk International (August 2018).
- [L 22] Voß, K.-U.: Verantwortlichkeit für die Entstehung von Ausblühungen – Teil 2. In: BWI BetonWerk International (Oktober 2018).
- [L 23] Voß, K.-U.: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster. 1. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2017.

„Das wichtigste Ergebnis der Untersuchungen besteht darin, dass heutzutage in der Praxis verwendete Fugenmaterialien häufig zu deutlichen Verfärbungen an den Betonpflastersteinen in Pflasterdecken führen.“