

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht BBH-013/2017/285

Untersuchung der Reinigungsfähigkeit innerstädtischer Beläge aus Beton

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet

Abteilungsleiter



Dr. rer. nat.
Florian Mayer

Gruppenleiter



Dr. rer. nat.
Volker Thome

Bearbeiter



Dr. rer. nat.
Sebastian Dittrich

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12 · D-70569 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711/970-00
Telefax +49 (0) 711/970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Institutsteil Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 · D-83626 Valley
Telefon +49 (0) 8024/643-0
Telefax +49 (0) 8024/643-366

Der Bericht umfasst
59 Seiten Text

Erstellt von:
Dr. Sebastian Dittrich

Valley, 24. Mai 2017

Inhalt

0	Begriffsdefinitionen	4
0.1	Pflasterstein	4
0.2	Oberflächen	4
0.3	Beschichtung	4
0.4	Reinigungswert	4
1	Einleitung	5
1.1	Hintergrund	5
1.2	Projektidee	5
1.3	Recherche	6
1.4	Projektakquise	6
2	Projektdurchführung	6
2.1	Flächenbau	6
2.2	Methodik	9
2.2.1	Verschmutzung	9
2.2.2	Reinigung	11
2.2.3	Analytik	13
2.2.4	Wetterstation	15
3	Ergebnisse	15
3.1	Interpretation der Ergebnisse	15
3.2	Laboruntersuchungen	16
3.3	Felduntersuchungen	19
3.3.1	Schmutzverhalten	19
3.3.2	Zusätzliche Beobachtungen	24
3.4	Witterungseinfluss	28
3.5	Bewertung	35
4	Umfrage	36
5	Bewertungshilfe	37
6	Zusammenfassung	39
7	Anhang	42
7.1	Umfragebogen	42
7.2	Reinigungsmittel	44

0 Begriffsdefinitionen

0.1 Pflasterstein

In diesem Bericht wird der besseren Lesbarkeit halber der Begriff Pflasterstein stellvertretend für alle im Projekt verwendeten Beläge aus Beton verwendet. Dies umfasst somit die Steine und Platten aus Beton die auf der Versuchsfläche am Fraunhofer IBP in Holzkirchen verbaut wurden. Per Definition werden Beläge aus Beton als Platten bezeichnet, wenn Länge und/oder Breite die Höhe des Produktes um den Faktor 4 übertreffen.

0.2 Oberflächen

Die im Projekt verwendeten Pflastersteine weisen verschiedene Oberflächen auf. Diese sollen kurz erläutert werden. Pflastersteine die nach der Herstellung keine besondere Behandlung oder Bearbeitung der Oberfläche erhalten, wurden in diesem Projekt als betonglatt bezeichnet. Die Oberflächen dieser Steine weisen eine deutlich poröse Struktur auf. Steine mit gestrahlten Oberflächen werden während des Herstellungsprozesses mit Kugeln (z.B. aus Edelstahl), Wasser oder Sand abgestrahlt. Dadurch werden die verwendeten Edelsplitte im Vorsatzbeton freigelegt und es entsteht eine leicht aufgeraute Oberfläche. Daneben wurden im Projekt auch Steine mit geschliffenen Oberflächen verwendet. Dabei werden die Steine nach der Produktion plan abgeschliffen. Dadurch werden zum einen die Edelsplitte aus der Vorsatzschicht sichtbar, zum anderen bleibt die Oberfläche aber dicht geschlossen. Bei einigen Produkten wurde eine Kombination aus Schleifen und anschließendem Strahlen verwendet, um so die Vorteile beider Verfahren nutzbar zu machen.

0.3 Beschichtung

In diesem Projekt wird jegliche Form von Oberflächenschutz auf den Pflastersteinen der Einfachheit halber als Beschichtung bezeichnet. Eingeschlossen sind damit Imprägnierungen, Lackierungen oder Schutzsysteme, die während des Herstellungsprozesses auf die Steine appliziert werden.

0.4 Reinigungswert

In diesem Bericht wird häufig über den Reinigungswert gesprochen. Dieser Wert soll ausdrücken inwieweit eine Verschmutzung von einem bestimmten Pflasterstein abgereinigt werden konnte. Ein Reinigungswert von 100 Prozent entspricht einer vollständigen Abreinigung der Verschmutzung, ein Wert von 0 Prozent heißt, dass der Schmutz faktisch überhaupt nicht durch die Reinigungsmethoden beeinflusst wird. Zu beachten bleibt, dass jeweils nur die Schmutzflecke betrachtet wurden, welche im Rahmen des Projektes aufgebracht wurden. Der Reinigungswert gibt damit keine Information über den Gesamtzustand bzw. -eindruck der betrachteten Fläche.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Straßenreinigungsbetriebe in Deutschland sind für die Reinigung der Straßen, Wege und Plätze zuständig, die dem öffentlichen Verkehr gewidmet sind. Dabei umfasst die Reinigung das Entfernen aller losen Verunreinigungen von den Flächen, die die Hygiene oder das Stadtbild nicht unerheblich beeinträchtigen oder eine Gefährdung des Verkehrs darstellen können. Die zu reinigenden Flächen und Straßen sind in der Regel je nach Verschmutzung und Frequentierung in verschiedene Reinigungsklassen eingeteilt, die sich in der Anzahl der wöchentlichen Reinigungsdurchgänge unterscheiden. Innenstädte und Zentren in den Stadtbezirken werden zunehmend Standorte, die sich hinsichtlich steigender Besucherzahlen immer stärker entwickeln. Veranstaltungen, verkaufsoffene Sonntage sowie die Gestaltung der Innenstädte sollen die Bürgerinnen und Bürger zum Verweilen animieren. Hinsichtlich der dazugehörigen Gestaltung der Innenstädte wurden in der Vergangenheit seitens der Stadtplaner und der Architekten bei der Auswahl der Straßenbeläge helle Oberflächen bevorzugt. Ein Teil der Innenstädte wurde aufgrund der Optik auch mit Naturstein versehen. Eine Absprache mit den Stadtreinigungsbetrieben wurde nur in den seltensten Fällen vorgenommen, so dass hier eine ständige Diskrepanz zwischen der Erwartungshaltung der Stadtplaner und der Umsetzung durch die Betriebe hinsichtlich der Reinigungsqualität vorliegt. Dabei geht es nicht um die Vermüllung, sondern in erster Linie um ästhetische Gesichtspunkte, wie Verunreinigungen, welche an den Steinen haften bzw. einziehen und nur schlecht oder gar nicht zu entfernen sind.

1.2 Projektidee

Die Reinigung innerstädtischer Verkehrsflächen stellt für Kommunen mitunter einen enormen Kostenaufwand dar. Von Städteplanern und Architekten werden bei der Gestaltung von Plätzen oder Straßenzügen genaue Vorgaben hinsichtlich zu verwendender Materialien gemacht. Dies geschieht allerdings meist ohne Rücksprache mit den mit der Reinigung der Flächen beauftragten Reinigungsbetrieben. Wenn im Vorfeld einer Baumaßnahme bereits bekannt wäre, welche Folgekosten durch die Reinigung unterschiedlicher Pflasterflächen entstehen können, könnte dies Städteplanern und Architekten als Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Pflastersteinen dienen. Unter diesem Gesichtspunkt wurde das Projekt „Untersuchung der Reinigungsfähigkeit von innerstädtischen Belägen aus Beton“ geplant. Dabei soll die Reinigungsfähigkeit unterschiedlicher Beton-Pflastersteine mit praxisnaher Reinigungstechnik untersucht und ermittelt werden, inwieweit die Auswahl des Betonpflasters die Reinigungsfähigkeit beeinflusst.

1.3 Recherche

Vor Projektstart wurde eine umfassende Recherche zu aktuellen Forschungsarbeiten im Bereich Pflastersteine durchgeführt. Die Ergebnisse sind in einem gesonderten Bericht (IBP-Bericht BBH 004/2012/285) zusammengetragen. In dem Bericht wurde ein Überblick zu möglichen technischen Ausführungen hinsichtlich verbesserter Reinigungsfähigkeit bzw. verringerter Schmutzanhaftung gegeben. Zudem wurden einige Praxisbeispiele zu Schadensfällen in Innenstädten aufgezeigt und in Anbetracht verschiedener Bauweisen (z.B. Verlegung oder Verfugung) diskutiert. Die Recherche hat gezeigt, dass kein bekannter Versuchsaufbau wie der in diesem Projekt geplanten existiert.

1.4 Projektakquise

Für die Untersuchungen konnte ein Projektteam aus kommunalen Reinigungsbetrieben sowie mehreren Partnern aus der Industrie zusammengestellt werden. Dabei konnten die Städte Berlin, Dortmund, Düsseldorf, Duisburg, Frankfurt, Hamburg, Leipzig, Köln und Wien für die Projektidee gewonnen werden. Des Weiteren waren die Pflastersteinhersteller Godelmann, Kronimus und Rinn, die Firma Hako als Hersteller von Reinigungs- und Kommunaltechnik sowie die Firma GftK als Hersteller von Fugenmörtel mit im Projektkonsortium. Mit der wissenschaftlichen Betreuung sowie der Durchführung des Projektes war das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP verantwortlich. Für die Durchführung des Projektes wurde ein Zeitraum von drei Jahren angesetzt, wobei die praktischen Versuche zur Untersuchung der Pflasterflächen auf zwei Jahre festgelegt wurden. Beginn des Projektes war April 2014.

2 Projektdurchführung

2.1 Flächenbau

Am Anfang des Projekts wurde zunächst ein Konzept für die Untersuchungsfläche erstellt. Daraus ergab sich eine Versuchsfläche mit einer Größe von ca. 400 Quadratmetern. In die Fläche aus neutralen Pflastersteinen wurden insgesamt dreißig verschiedene Betonpflastersteine integriert. Die Auswahl der dreißig Steine erfolgte gemeinsam durch die Projektpartner. Fünfzehn Flächen wurden von Steinen der am Projekt beteiligten Steinhersteller Godelmann, Kronimus und Rinn gestellt, die restlichen fünfzehn Steine wurden aus dem Baustoffhandel bezogen. Bei der Auswahl der Steine wurde in Absprache mit den Projektpartnern die aktuelle Marktsituation berücksichtigt. Eine Zusammenstellung der 30 Pflasterflächen ist in Tabelle 2.1 gezeigt. Die Pflasterflächen wurden ungebunden auf einem Kiesplanum verlegt, mit Ausnahme zweier Flächen welche in gebundener Bauweise in die Fläche integriert wurden. Für die Verfugung der Flächen wurde Quarzsand eingekehrt, von den gebunden verlegten Flächen wurden je eine mit einem Zement basierten und einem Epoxidharz basierendem Fugenmörtel verfugt. Sämtliche Arbeiten wurden von einem Pflasterfachbetrieb durchgeführt. In Abbildung 2.1 ist die fertiggestellte Fläche zu Versuchsbeginn im Winter 2014 gezeigt.

Tabelle 2.1:
Im Projekt verwendete Pflastersteine.

Feld-Nr.	Oberflächenschutz	Oberfläche	Farbe
1	ja	gestrahlt	dunkel, schwarz
2	ja	geschliffen	meliert, grau
3	ja	geschliffen und gestrahlt	hellgrau-beige
4	ja	gestrahlt	dunkelgrau, sprenkel
5	nein	gestrahlt	dunkel, schwarz
6	nein	gestrahlt	grau, helle Sprenkel
7	nein	geschliffen	hellgrau sprenkel
8	nein	gestrahlt	dunkelgrau, Sprenkel
9	nein	geschliffen	meliert, grau
10	nein	geschliffen und gestrahlt	gelbgrau
11	nein	gestrahlt	granit-grau
12	nein	gestrahlt	marmor-weiß
13	nein	ohne Bearbeitung	grau
14	nein	ohne Bearbeitung	grau
15	nein	ohne Bearbeitung	naturgrau
16	ja	geschliffen und gestrahlt	gelbgrau
17	ja	geschliffen und gestrahlt	grau, Sprenkel schwarz-weiß
18	ja	gestrahlt	weiß
19	ja	geschliffen	silbergrau, Sprenkel
20	nein	gestrahlt	sand
21	nein	gestrahlt	granitgrau
22	nein	gestrahlt	grau
23	nein	gestrahlt	beige
24	nein	ohne Bearbeitung	anthrazit
25	nein	gestrahlt	basalt-anthrazit
26	nein	gestrahlt	diamantweiß
27	nein	ohne Bearbeitung	naturgrau
28	nein	ohne Bearbeitung	naturgrau
29	nein	geschliffen	Sprenkel, schwarz-weiß
30	nein	ohne Bearbeitung	anthrazit

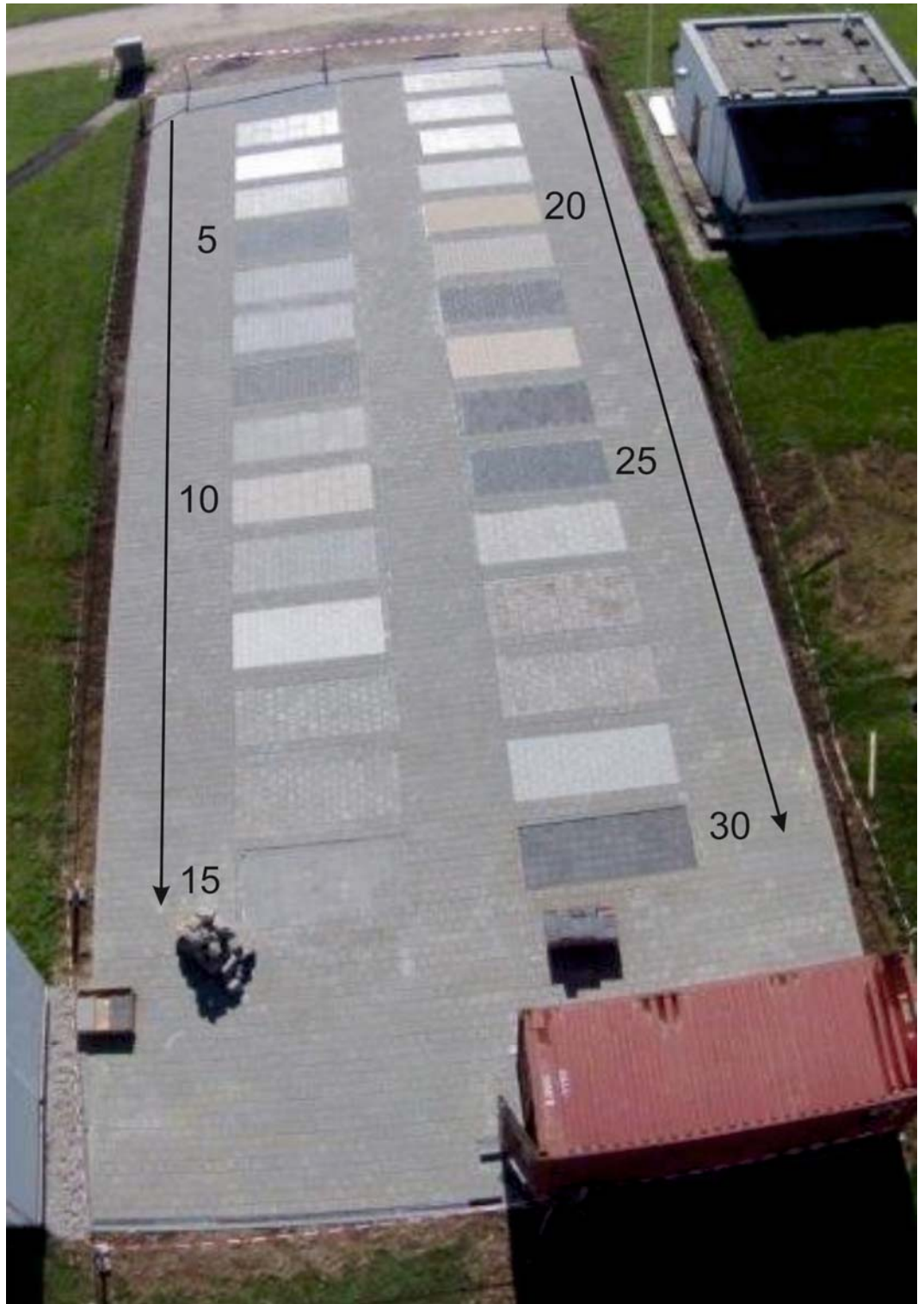


Bild 2.1:
fertig gestellte Pflasterfläche vor Beginn der Untersuchungen im Winter 2014.

2.2 Methodik

Für die Bearbeitung der Fragestellung wurden die dreißig Flächen in sechs Gruppen zu je fünf Feldern eingeteilt. Diese Felder wurden am gleichen Tag verschmutzt und am gleichen Tag gereinigt. Die Reinigung fand dabei nach einem festgelegten Schema zwei Tage nach der Verschmutzung statt, um eine gewisse Einwirkzeit des Schmutzes in die Steine zu simulieren. Sämtliche Verschmutzungs- und Reinigungsarbeiten fanden nur wochentags statt. Zudem wurde an Tagen mit starkem Regen oder Schneefall keine Verschmutzungs- oder Reinigungsarbeiten durchgeführt. Vor allem im Winter 2014/2015 mussten die Untersuchungen für mehrere Tage ruhen, da trotz Einsatz von Tausalz die einzelnen Flächen nicht schnee- und eisfrei zu halten waren. Die Einteilung in sechs Gruppen zu je fünf Feldern wurde bewusst gewählt, um im Falle von Verzögerungen flexibel darauf reagieren zu können. So konnten beispielsweise im krankheitsbedingten Ausfall eines Werktages dieser am nächsten Tag nachgeholt werden, sodass dann zehn Flächen bearbeitet wurden.

2.2.1 Verschmutzung

Bei Projektstart haben sich die Partner auf fünf unterschiedliche Schmutzarten geeinigt, welche den anfallenden Schmutz einer Innenstadt bestmöglich repräsentieren sollten. Diese sind: Kaugummi, Motorenöl, Taubenkot, Cola und Ketchup. Die Kaugummis (drei Sorten, je ein Streifen-, Block- und Drageeprodukt) wurden nach fünfminütiger Kauzeit mit Hilfe einer speziellen Teflonrolle auf den Pflasterflächen platziert. Der Taubenkot wurde über einen Taubenzuchtverein besorgt und vor dem Platziere auf dem Versuchsfeld mit etwas Wasser angerührt um frischen Taubenkot zu simulieren. Ketchup, Motorenöl und Cola wurde mit einer Spritze auf dem Feld appliziert. In Tabelle 2.2 sind die Mengen für die einzelnen Schmutzarten gezeigt, die pro Verschmutzungsvorgang auf einer einzelnen Fläche verteilt wurden.

Tabelle 2.2:

Verwendete Schmutzarten mit Mengenangabe je Pflastersteinfläche.

Schmutzart	Menge
Kaugummi	3 Stück
Cola	3x1 ml
Ketchup	3x1 ml
Taubenkot	3x(1g+3ml Wasser)
Motoröl	1x1ml

Um eine durchgängige Dokumentation der Verschmutzung gewährleisten zu können wurden alle dreißig Flächen in Sektionen aufgeteilt (Abbildung 2.2). Der Schmutz wurde in die jeweiligen Sektionen mit einer Hilfskonstruktion platziert (Abbildung 2.3). Dadurch konnte eine Verschmutzung anhand des Untersuchungskalenders während des Projektes stets einer bestimmten Stelle auf dem Pflasterfeld zugeordnet werden.



Bild 2.2:
Einzelne Sektionen für die unterschiedlichen Schmutzarten auf einer Untersuchungsfläche.



Bild 2.3:
Hilfskonstruktion zur Platzierung des Schmutzes in den einzelnen Sektionen.

2.2.2 Reinigung

Zwei Tage nach der Verschmutzung wurden die betreffenden Flächen wieder gereinigt. Dabei kam eine handelsübliche Reinigungsmaschine (Hako Citymaster 1250C) zum Einsatz. Die Reinigung erfolgte zum großen Teil „trocken“ mittels Kehrbesen mit Mischbeborstung aus Kunststoff und Stahl. Dabei wird eine geringe Menge Wasser zur Staubbindung und zur besseren Schmutzaufnahme eingesetzt. In regelmäßigen Abständen wurden die Flächen per Schrubbdeck nass gereinigt. Im ersten Untersuchungsjahr wurde dabei reines Leitungswasser verwendet, ab dem zweiten Projektjahr wurde ein chemisches Reinigungsmittel (Cityclean O der Firma Hilco Chemie B.V., Sicherheitsdatenblatt siehe Anhang) dem Reinigungswasser zugegeben. Dabei wurde in Rücksprache mit den Projektpartnern eine in der Praxis übliche Konzentration von 0,1 Prozent gewählt, wodurch hinsichtlich Umweltverträglichkeit des verwendeten Waschwassers keinerlei Bedenken entstehen. In Abbildung 2.4 ist das Reinigungsfahrzeug mit den beiden unterschiedlichen Reinigungsaufsätzen gezeigt.



Bild 2.4:
Reinigungsfahrzeug mit Trockenkehrreinheit (links) und Schrubbdeck zur Nassreinigung (rechts).

Die Reinigung erfolgte, wie bereits erwähnt, zwei Tage nach der Verschmutzung des jeweiligen Feldes. Aus der Anzahl der Versuchsfelder und dem zu Grunde liegenden Reinigungsschema (Abbildung 2.5) folgte nach vier Wochen eine längere Pause zwischen Verschmutzung und Reinigung bedingt durch das Wochenende. So wurden Flächen die an einem Donnerstag oder Freitag verschmutzt wurden erst am darauffolgenden Montag gereinigt also mit drei bzw. zwei Tagen Pause. Im Laufe der zwei Jahre waren davon statistisch gesehen alle Flächen gleich oft betroffen, so dass kein Einfluss auf die erhaltenen Untersuchungsergebnisse zu erwarten waren.

Feldnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Woche 1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	X	X	X	X	X
Woche 2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	X	X	X	X	X	R1	R1	R1	R1	R1
Woche 3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	X	X	X	X	X	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
Woche 4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	X	X	X	X	X	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
Woche 5	R5	R5	R5	R5	R5	X	X	X	X	X	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4
Woche 6	X	X	X	X	X	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5
Woche 7	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	X	X	X	X	X
Woche 8	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	X	X	X	X	X	N1	N1	N1	N1	N1

R = Trockenreinigung
N = Nassreinigung
P = Prüfung

Bild 2.5:
 Schema des Reinigungszyklus für die einzelnen Flächen.

Bei Projektbeginn wurde zur Hälfte des Versuchszeitraums eine Intensivreinigung aller Flächen eingeplant. Durch diese Reinigungsmethode sollte das gesamte Versuchsfeld in den Ausgangszustand zurückgesetzt werden. Insbesondere die Kaugummis sollten auf diese Weise von den Pflastersteinen entfernt werden. Für die Durchführung wurde ein Prototyp eines Hochtemperaturreinigers als Anbaugerät für handelsübliche Straßenkehrmaschinen zu Verfügung gestellt. Der Vorteil des Verfahrens ist laut Entwickler, dass die Steinoberflächen lediglich mit Heißwasser und Bürsten gesäubert werden. Demnach ist die Reinigung deutlich schonender im Vergleich zu Verfahren die auf Hochdrucksystemen basieren. Dies gilt insbesondere für den Austrag von Fugenmaterial. Für die Reinigungsversuche auf den Versuchsflächen wurden Bürsten mit weichen Metallborsten verwendet. Die Versuche wurden von der Firma Metras betreut. Die Resultate waren nur wenig überzeugend (Abbildung 2.6) weswegen sämtliche Kaugummi-Sektionen im Anschluss mittels Hochtemperatur-Hochdruck-Reiniger (95 °C, 150 bar) per Hand abgereinigt wurden. Auf diese Weise konnten alle Kaugummis fast rückstandsfrei von den Pflasterflächen entfernt werden. Nach der Abreinigung waren teilweise noch die Stellen an welchen vorher Kaugummis auf dem Pflaster waren durch leichte Verfärbungen erkennbar (Abbildung 2.7), diese verschwanden jedoch in den folgenden Wochen durch die natürlichen Witterungseinflüsse.



Bild 2.6:
Intensivreinigungs-Prototyp der Fa. Metras (links) und Resultat der Intensivreinigung auf Kaugummis (rechts).



Bild 2.7:
Sektion mit Kaugummiverschmutzung einer beschichteten Testfläche vor (A) und nach (B) bzw. einer unbeschichteten Testfläche vor (C) und nach (D) der händischen Abreinigung mittels Hochtemperatur-Hochdruck-Reiniger.

2.2.3 Analytik

Im Laufe des Projektes wurden die verwendeten Steine regelmäßig mit verschiedenen Untersuchungsmethoden analysiert. Zu Projektbeginn wurde vereinbart, dass der Flächenverbund nicht aufgebrochen werden soll. Daher wurden vor Projektbeginn einige Steine jeder Sorte für Laborversuche reserviert. Während der Projektlaufzeit kamen verschiedene Analyseverfahren zum Einsatz.

Druckfestigkeit

Von jedem verwendeten Stein wurde die Druckfestigkeit ermittelt. Dazu wurden die Steine ggf. auf ein Format von 20*20*8cm geschnitten. Anschließend erfolgte die Prüfung der Festigkeit gemäß DIN EN 12390-3:2009-07.

Wasseraufnahme

Gemäß DIN EN 1338:2003 wurde die Wasseraufnahme aller verwendeten Pflastersteinprodukte untersucht. Nach Norm darf ein Pflasterstein eine maximale Wasseraufnahme von 6 Ma.-% haben.

SRT Pendel

Zur Ermittlung des Gleitwiderstandes wurde ein Skid-Resistance-Test (SRT) Pendel gemäß DIN EN 1338:2003 verwendet. Die Prüfung der Oberflächen mittels SRT Pendel erfolgte während des Projektes in regelmäßigen Abständen. Somit sollte ein möglicher abrasiver Einfluss durch die verwendete Reinigungstechnik oder auch Witterungseinflüsse überprüft werden. Als Messwert ergab sich ein Mittelwert aus 6 Einzelmessungen durchgeführt in den 6 Sektionen jedes Pflastersteinfeldes.

Rauheitstest

Ein Prüfgerät mit Tastspitze wurde für die Rauheitsmessung der Steine zusätzlich zum SRT Pendel eingesetzt. Dazu wurde an ausgewählten Steinen jeder Fläche je 20 Messungen durchgeführt und als Mittelwert über die Projektlaufzeit miteinander verglichen.

Scanner/Kamera

Für die optische Betrachtung wurde eine Apparatur aus digitaler Bilderfassung und Oberflächen-Laserscan konzipiert. Sowohl die Kamera als auch der 3D-Scanner zur Erfassung der Steinoberflächen wurden in einem mobilen, absenk- baren Schrank montiert. Durch das Absenken des Schrankes konnte der Zielbereich der Steine lichtdicht abgedunkelt werden. Dies war notwendig um stets identische Aufnahmebedingungen für die Steine zu ermöglichen. Für die Bilderfassung wurden die Flächen speziell markiert um wiederholende Aufnahmen an identischer Stelle zu ermöglichen. Auf diese Weise sollte per 3D-Oberflächen-scan ein weiterer Wert für die Rauheit der Steinoberfläche ermittelt werden. In Abbildung 2.8 sind die mobile Einheit und die Markierungen an den Rändern der Pflastersteinflächen gezeigt.



Bild 2.8:
Mobile Einheit mit 3D-Scanner und Kamera (links) und Markierungen für Positionierung der Einheit (rechts).

Während des Projektes, insbesondere bei der Verschmutzung und Reinigung der einzelnen Flächen, wurde der aktuelle Zustand der Flächen handschriftlich dokumentiert. So wurde der Verschmutzungsgrad jeder Fläche vor und nach der Reinigung festgehalten. Diese Aufzeichnungen wurden für die Beurteilung der Reinigungswirkung, bzw. Reinigungsfähigkeit einzelner Steine herangezogen.

2.2.4 Wetterstation

Die Wetterstation am Institut ist dem Netzwerk des Deutschen Wetterdienstes angeschlossen. Regelmäßig wurden von der Station Daten zu Niederschlag, Temperatur und Witterung abgerufen um den Einfluss der Witterung auf die Verschmutzung bzw. Reinigung der Pflastersteinflächen zu ermitteln.

3 Ergebnisse

3.1 Interpretation der Ergebnisse

Sämtliche in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Projekt durchgeführten Arbeiten und die gesetzten Rahmenbedingungen. Insbesondere bei der Verschmutzung und der Bewertung von Reinigungsfähigkeit ist zu beachten, dass für eine Beurteilung stets lediglich die fünf verwendeten Schmutzarten herangezogen wurden. Eine Wirksamkeit der Reinigungsmethoden in Abhängigkeit der Pflastersteine auf andere Verschmutzungen (z.B. Staub oder Laub) wurde nicht ermittelt. Dies muss bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Die Versuchsdurchführung dauerte zwei Jahre lang an.

3.2 Laboruntersuchungen

Zu Projektbeginn wurden in Laborversuchen sämtliche ausgewählte Steine hinsichtlich Druckfestigkeit und Wasseraufnahme untersucht. In Abbildung 3.1 sind die Ergebnisse für die Druckfestigkeiten der einzelnen Steine gezeigt. Die Ergebnisse variieren zwischen einem Minimalwert von 35,5 N/mm² bei Fläche 21 und einem Maximalwert von 77,7 N/mm² bei Fläche 9. Zwar ist die Druckfestigkeitsmessung nach aktuell gültiger Norm DIN EN 1338 nicht mehr als notwendiger Wert vorgeschrieben, dennoch wird der Wert weiterhin von vielen Pflastersteinherstellern für interne Qualitätskontrollen verwendet. In der veralteten Norm DIN 18501 war für Pflastersteine ein Mindestwert von 50 N/mm² gefordert.

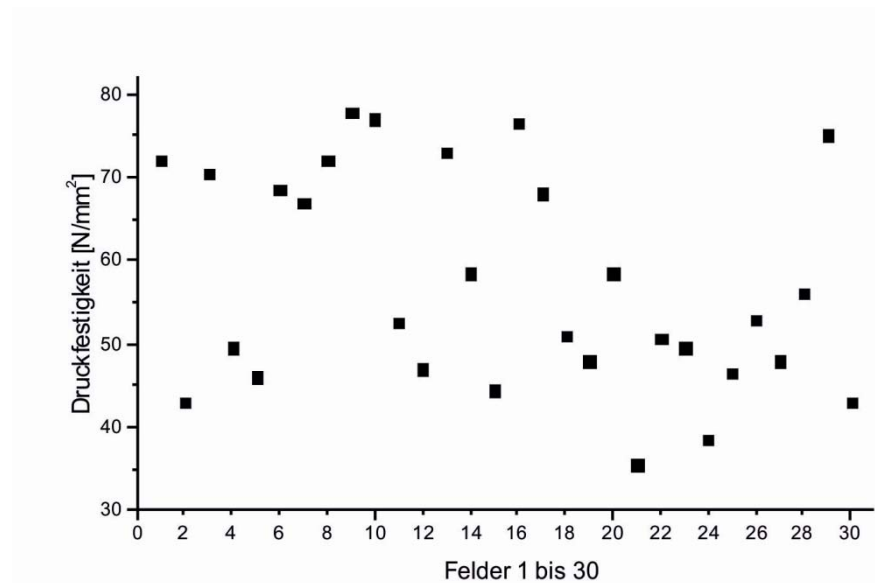


Bild 3.1:
gemessene Druckfestigkeiten der dreißig verwendeten Pflastersteine.

Die Analyse der Wasseraufnahme wurde wie in Norm DIN EN 1338:2003 beschrieben durchgeführt. In Abbildung 3.2 sind die Werte für die Wasseraufnahme gezeigt. Mit einem Minimalwert von 3,3 Ma.-% und einem Maximalwert von 5,3 Ma.-% liegen alle geprüften Steine unter dem in der Norm genannten Maximalwert von 6 Ma.-%.

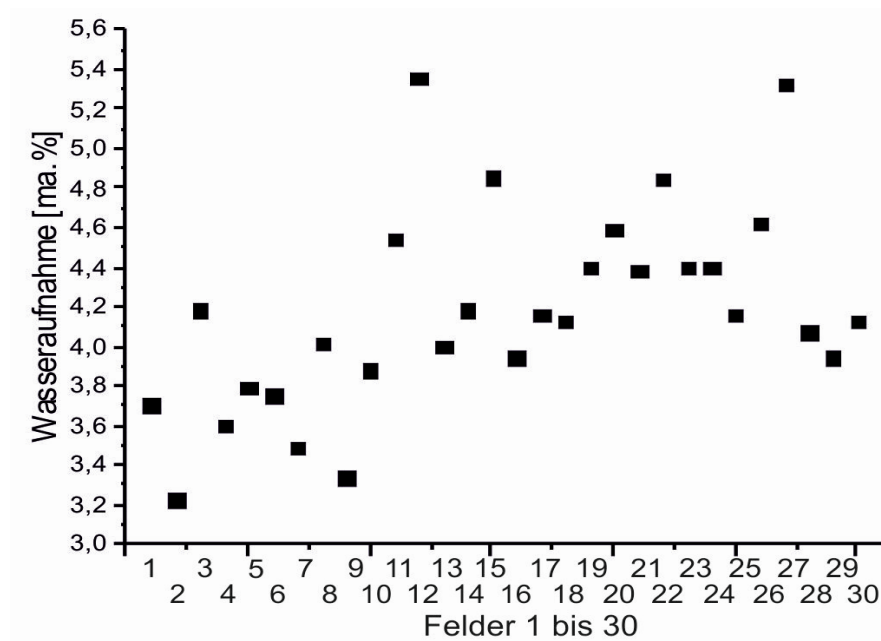


Bild 3.2:
Ermittelte Wasseraufnahme der dreißig verwendeten Pflastersteine.

Vor dem Einsatz des Scanners auf der Versuchsfläche wurde dieser unter Laborbedingungen getestet. Dazu wurde ein Stein mit einem Ketchupfleck verschmutzt und anschließend analysiert. In Abbildung 3.3 sind die Bilder von 2D Kamera und 3D Scanner im Falschfarbenbild gezeigt. Es ist klar zu erkennen, dass der Fleck sowohl mit Kamera als auch mit dem Scanner eindeutig nachweisbar ist. Auch der weggewischte Fleck kann vom Scanner noch eindeutig erkannt werden (Abbildung 3.4). Nach diesen ersten Versuchen wurde das System Kamera/Scanner auch auf dem Versuchsfeld zum Einsatz gebracht.

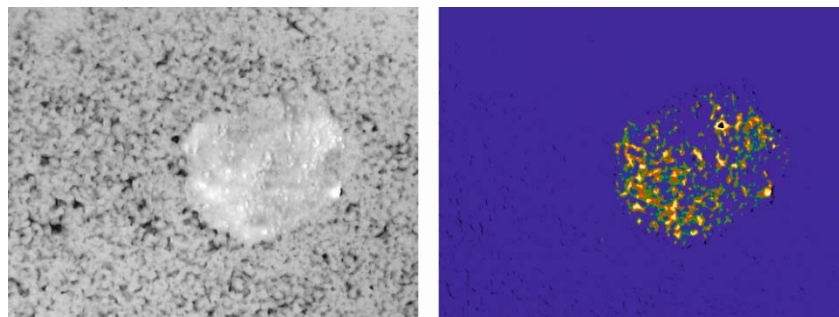


Bild 3.3:
Aufnahme eines frischen Ketchupflecks unter Laborbedingungen mit einer 2D Kamera (links) und einem 3D Scanner (rechts).

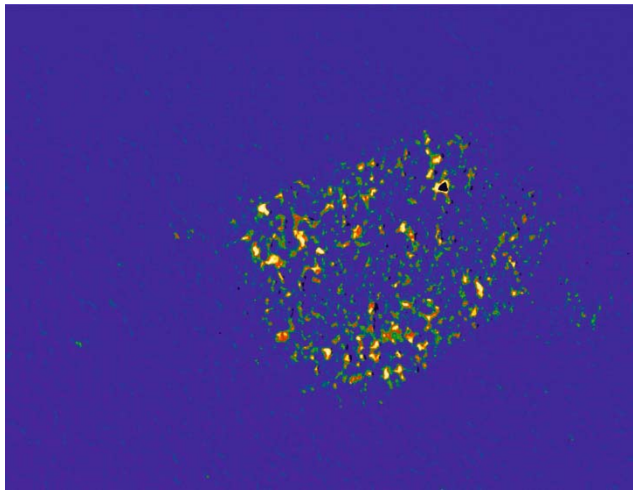


Bild 3.4:
Aufnahme des abgetupften Ketchupflecks unter Laborbedingungen mit dem 3D Scanner.

Aus der Anwendung auf dem Versuchsfeld wurde schnell ersichtlich, dass der Scanner nicht zu den gewünschten Ergebnissen führte wie erhofft. Dies hat mehrere Gründe: Zum einen war die Handhabung des Gerätes nicht so unkompliziert wie eingangs erhofft. Vor allem hinsichtlich Positionierung und vollständiger Abschattung der zu analysierenden Fläche konnte keine Lösung gefunden werden, die zeitlich und insbesondere praxistauglich sinnvoll umzusetzen war. Des Weiteren wurden die Flächen durch die Bürsten entweder so gut abgereinigt, dass der Scanner eventuelle Schmutzrückstände nicht mehr eindeutig von anderen Oberflächeneffekten, wie Poren oder grobe Zuschlagskörner unterscheiden konnte. Anderenfalls war noch so viel Schmutz nach der Reinigung auf den Flächen, dass dieser wesentlich schneller und effizienter mit dem bloßen Auge zu erkennen war.

Der Scanner sollte zudem noch eingesetzt werden um eine mögliche Beeinträchtigung der Oberfläche durch die wiederholende Reinigung mit Bürsten festzustellen. Dazu wurden aus den Scanaufnahmen topografische Profile erstellt und miteinander verglichen. Auch hier zeigte sich, dass ein Vergleich nur sinnvoll gezogen werden kann, wenn der Scanner bei wiederholten Messungen exakt dieselbe Position über dem Pflasterstein hat wie in den Messungen zuvor. Dies ist unter realen Bedingungen außerhalb des Labors nicht durchführbar.

Aus diesen Gründen wurden die Analysen der Pflastersteinflächen mittels Scanner nicht für die Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich Reinigbarkeit von Pflastersteinen verwendet.

3.3 Felduntersuchungen

Während der zweijährigen Versuchsphase wurden alle Flächen vor und nach der Reinigung optisch (per Auge) überprüft. Dabei wurde festgehalten, in wie weit der zuvor angebrachte Schmutz durch die erfolgte Reinigung abgetragen wurde. Zusätzlich wurden besondere Auffälligkeiten dokumentiert und, falls relevant, in die Auswertung der Ergebnisse mit einbezogen. In regelmäßigen Abständen wurden sämtliche Flächen eingehender untersucht. Dazu wurde der Rutschwiderstand mittels SRT-Pendel als Mittelwert von sechs Messpunkten bestimmt. Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse, zunächst separat für die einzelnen Schmutzarten und im Anschluss als Ganzes betrachtet, zusammengefasst.

3.3.1 Schmutzverhalten

Kaugummi

Kaugummi ist die hartnäckigste im Projekt verwendete Verschmutzung. Weder mit Trocken- noch mit Nassreinigung kann eine nennenswerte Abreinigung erzielt werden (Abbildung 3.5).

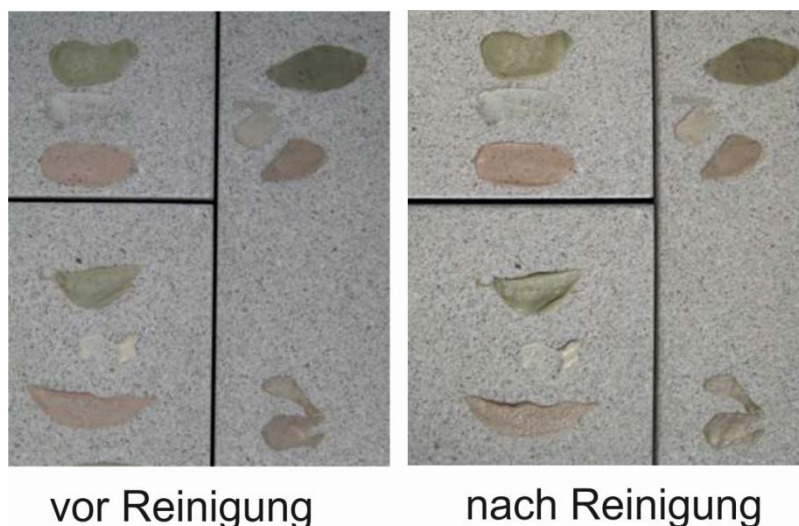


Bild 3.5:

Kaugummiflecken vor und nach der Reinigung auf einem beschichteten Stein.

Der maximal erreichte Reinigungswert für Kaugummi lag bei 30 Prozent und wurde mit der Nassreinigung auf beschichteten Steinen mit geschliffenen Oberflächen erzielt. Für die Trockenreinigung liegt der Bestwert bei 21 Prozent, ebenfalls bei beschichteten Steinen mit geschliffenen Oberflächen. Bei den drei verwendeten Sorten Kaugummi (Block-, Streifen- und Drageekaugummi) ist klar festzustellen, dass diese unterschiedlich gut abzureinigen sind. In den meisten Fällen konnten Blockkaugummi im Laufe des Projektes mit einer der verwendeten Reinigungsmethoden abgetragen werden. Drageekaugummi wiesen die beste Haftwirkung zu den Steinen auf und konnten mit den regelmäßig

verwendeten Reinigungsmethoden nicht nennenswert von den Steinflächen entfernt werden. Da eine zur Projektmitte durchgeführte Intensivreinigung nicht in der Lage war, die Kaugummis abzutragen wurden sämtliche Kaugummiflächen mit einem Hochdruckreiniger (95 °C, 150 bar) von Hand gereinigt (Abbildung 3.6). Mit dieser Methode konnten alle Kaugummis von den Flächen entfernt werden.



Bild 3.6:

Kaugummiflecken nach Intensivreinigung (links) und nach dem Abreinigen mittels händisch geführter Hochdruckkanze (rechts) auf derselben nicht beschichteten Fläche.

Cola

Cola wurde im Wesentlichen wegen des hohen Zuckergehaltes als Verschmutzung ausgewählt. Die erreichten Werte für die Abreinigung von Cola liegen zwischen 80 Prozent und 100 Prozent. Sowohl bei der Trocken- als auch bei der Nassreinigung zeigten Flächen mit einer geschliffen und gestrahlten Oberfläche die beste Reinigbarkeit von 100 Prozent. Dabei waren bei der Trockenreinigung die geschliffen und gestrahlten Flächen ohne Beschichtung, bei der Nassreinigung die Flächen mit Beschichtung im Vorteil. In dem in diesem Projekt gewählten Reinigungs- bzw. Verschmutzungszyklus konnte für die Verschmutzung „Cola“ eine interessante Beobachtung in Korrelation mit den Wetterdaten gemacht werden. Erfolgte die Verschmutzung an Tagen mit hohen Temperaturen und trockenen Bedingungen trockneten die Colaflecken zu einer sehr zähen, Sirup artigen Maße aus. Im weiteren Verlauf trockneten die Flecken vollständig aus und konnten teilweise selbst mit der Nassreinigung nicht entfernt werden (Abbildung 3.7). Dieses Phänomen trat, da stark vom Wetter abhängig, statistisch gesehen nicht auf allen dreißig Flächen gleich oft auf und führte somit zwangsläufig zu einer Beeinflussung der ermittelten Werte für die Abreinigung.

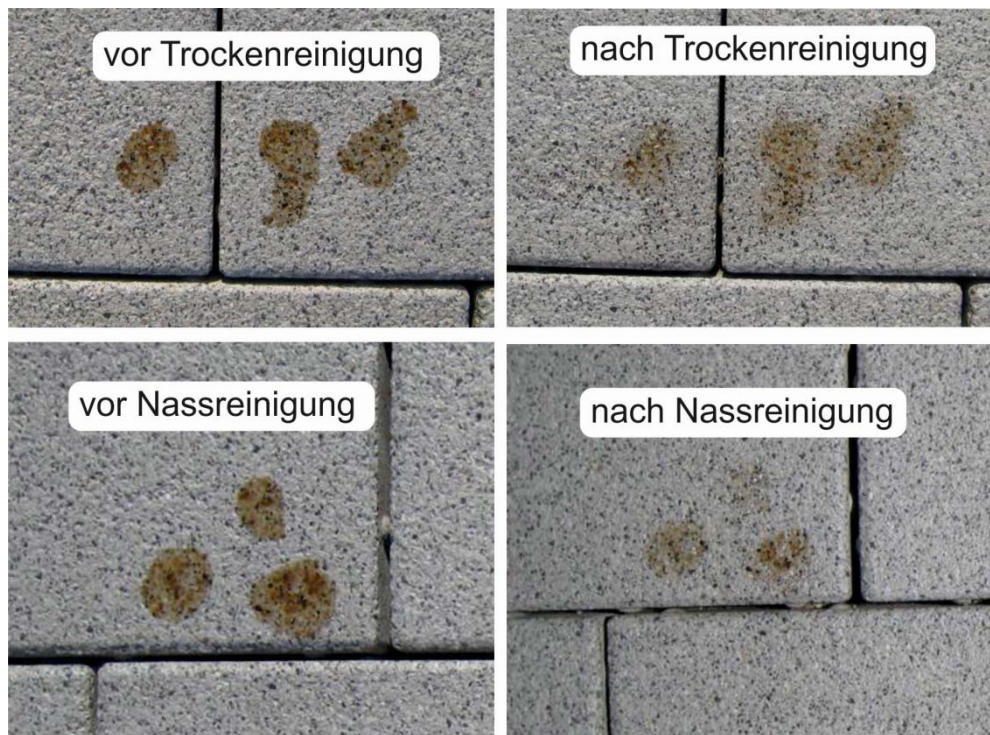


Bild 3.7:
Vergleich von Colaflecken nach der Trockenreinigung (oben rechts) und nach der Nassreinigung (unten rechts) auf einem beschichtetem Steinprodukt.

Motorenöl

Das Motorenöl wurde vor dem Aufbringen auf die Pflasterflächen auf ca. 70 °C erhitzt. Dies entspricht in etwa der Temperatur von Motoröl, das aus undichten Fahrzeugen tropft. Das Verhalten von Öl auf den Steinen war stark abhängig vom jeweiligen Steintyp. Auf nicht beschichteten Steinen konnte beobachtet werden, wie das Öl vom porösen Betongefüge der Steine aufgenommen wurde. Dieses Verhalten ist stark abhängig von der Oberfläche und der Herstellungsgüte der Steine. Die Art der Verdichtung (Dauer und Frequenz) in Zusammenspiel mit der verwendeten Betonzusammensetzung entscheiden über die resultierende Oberflächengüte. Diese kann durch entsprechende Oberflächenbearbeitung wie Schleifen noch erhöht werden. In Abbildung 3.8 sind zwei Steine mit unterschiedlicher Beton- und Oberflächengüte und deren Einfluss auf flüssige Verschmutzungen gezeigt. Ein aufgesaugter Fleck lässt sich mit den verwendeten Reinigungsmethoden nicht mehr vollständig entfernen.



Bild 3.8:
Ölfleck auf Pflasterstein mit geschliffener, gestrahlter und beschichteter Oberfläche (links) und betonglatte Oberfläche (rechts) etwa zehn Minuten nach dem Auftropfen.

Die Reinigungswerte für Motorenöl weisen die größte Streuung aller verwendeten Schmutzarten auf. Der geringste Wert liegt bei 11 Prozent, der beste Reinigungswert erreicht 49 Prozent. Bei der Reinigung der Ölflecken wurden bei Nassreinigung (Bestwert: 41 Prozent bei beschichteten gestrahlten Flächen) teilweise schlechtere Ergebnisse erzielt als bei Trockenreinigung (Bestwert: 49 Prozent bei beschichteten gestrahlten Flächen). Ein Grund, welcher so auch während des Projektes beobachtet werden konnte, ist, dass das Öl in Kontakt mit dem Waschwasser teilweise sehr stark über die Steinflächen verteilt wird und damit außerhalb der Schmutzwasserabsaugung des Reinigungsgerätes getragen wird. Auf diese Weise kann Öl auch nach der Reinigung noch auf den Flächen zurückbleiben. Auf beschichteten Steinen wird das Motorenöl im Vergleich zu nicht beschichteten Steinen sehr viel großflächiger verschmiert. Dadurch erscheinen die Flecken nach der Reinigung deutlich größer und weisen aber eine wesentlich geringere Schichtdicke auf. Dieser Effekt sorgt dafür, dass die Flecken zum einen optisch schwächer wahrgenommen werden und die Flecken durch äußere Witterungseinflüsse schneller abgetragen werden als auf nicht beschichteten Steinen. Diese Beobachtung wird im Kapitel „Witterungseinfluss“ noch detaillierter beschrieben.

Ketchup

Ketchup wurde auf Grund seiner intensiven Farbe, dem relativ hohen Zucker- und Säuregehalt als Verschmutzung ausgewählt. Die Reinigungswerte für Ketchup liegen zwischen 46 Prozent für betonglatte Oberflächen und maximal 65 Prozent. Der Höchstwert ist für Nass- (65 Prozent) und Trockenreinigung (63 Prozent) vergleichbar und wurde in beiden Fällen auf nicht beschichteten Steinen mit geschliffen und zusätzlich gestrahlten Oberflächen gemessen. Generell kann bei Ketchup eine gute Abreinigung erzielt werden. Allerdings zeigt sich ähnlich wie bei Cola ein von den Wetterbedingungen beeinflusster Effekt. Auch bei Ketchup sorgen hohe Temperaturen in Kombination mit trockener

Witterung für eine Austrocknung der Ketchupflecken. Dadurch kann ein sehr starker Haftverbund zwischen Ketchupfleck und Pflasterstein entstehen. In Abbildung 3.9 sind zwei Beispiele gezeigt wo die Reinigung der angetrockneten Ketchupflecken weder mit Trocken- noch mit Nassreinigung möglich war.



nach Trockenreinigung

nach Nassreinigung

Bild 3.9:

Beobachtung zu angetrockneten Ketchupflecken nach Trockenreinigung (links) und nach Nassreinigung (rechts) auf beschichteten Steinprodukten.

Die Verschmutzung durch Ketchup führte noch zu einem anderen Effekt. Unabhängig von der Pflastersteinsorte konnten durch Ketchup verursachte Ätzflecken nachgewiesen werden (Abbildung 3.10). Dieser Effekt ist auf betonglatten Oberflächen etwas häufiger zu beobachten und generell auf dunklen Steinen deutlicher zu sehen als auf hellen Steinen.



Bild 3.10:

Pflasterfläche mit frischen Ketchupflecken (rechts) und durch Ketchup verursachte Ätzstellen (links) auf einem Pflasterstein mit betonglatter Oberfläche.

Mit der Zeit verschwinden die Ätzflecken unter dem Einfluss von Witterung (siehe Kapitel „Witterungseinfluss“).

Taubenkot

Der Taubenkot wurde in getrockneter Form über einen Taubenzuchtverein bezogen und vor dem Aufbringen auf die Pflasterflächen mit etwas Wasser angerührt. Die Reinigungswerte liegen zwischen 36 Prozent und 69 Prozent. Die Reinigung mit Nassreinigung (Maximalwert 69 Prozent auf beschichteten Steinen mit gestrahlt, geschliffener Oberfläche) erweist sich bei Taubenkot als signifikant effektiver als die Trockenreinigung (Maximalwert 62 Prozent auf nicht beschichteten, geschliffenen Steinen). Taubenkot neigt ähnlich wie Ketchup zur Ausbildung von deutlich sichtbaren Ätzflecken (Abbildung 3.11). Dieser Effekt ist ähnlich wie bei Ketchup auf unterschiedlichen Steinprodukten unterschiedlich stark ausgeprägt.



Bild 3.11:

Taubenkot vor der Reinigung (links) und durch Taubenkot verursachte Ätzflecken nach der Reinigung (rechts) auf einem Pflasterstein mit betonglatter Oberfläche.

Festzuhalten bleibt, dass der verwendete Taubenkot nicht identisch mit dem Kot von Tauben ist, welcher in Innenstädten zu finden ist, was durch das unterschiedliche Nahrungsangebot zu erklären ist.

3.3.2 Zusätzliche Beobachtungen

Mechanische Einwirkung durch Reinigungsmethoden

Über den gesamten Projektzeitraum hinweg wurden die Werte für den Rutschwiderstand mittels SRT-Pendel erfasst. In Abbildung 3.12 sind die ermittelten Werte aus ausgewählten Messungen während der zwei Jahre zusammengestellt. Es ist klar zu erkennen, dass die einzelnen Werte für die jeweilige Steinfläche eine starke Streuung aufweisen. Es konnte anhand der erhobenen Daten keine Korrelation zwischen Messergebnis und äußeren Bedingungen wie Luftfeuchte oder Temperatur gemacht werden. Da keine klare Tendenz zu niedrigeren oder höheren Werten erkennbar ist, scheint eine signifikante Beeinträchtigung der Steinoberflächen durch die mechanisch, abrasiv wirkenden Borsten des Reinigungsgerätes nicht gegeben. Dies sollte zusätzlich mit den Ergebnissen aus den Aufnahmen von Kamera und Scanner bestätigt werden. Im Laufe des

Projektes zeigte sich jedoch, wie bereits erwähnt, dass vor allem die Positionierung des Gerätes deutlich schwieriger war als zunächst angenommen. Um eine eindeutige Aussage auf eine Beeinflussung der Steinoberflächen zu geben muss sichergestellt werden, dass bei den einzelnen Aufnahmen stets derselbe Steinausschnitt betrachtet wird. Trotz Hilfsmarkierungen am Rand der Steinflächen konnte dies nicht hinreichend genau bewerkstelligt werden. In Abbildung 3.13 ist die durch den Scanner erfasste Oberfläche eines Pflastersteins mit dem zugehörigen Rauheitsprofil beispielhaft gezeigt. Ein Vergleich mit Aufnahmen zu einem späteren Zeitpunkt machen deutlich, dass Veränderungen an der Oberfläche durch die mechanische Einwirkung der Reinigungsbürsten zu gering sind um mit den dargestellten Methoden erfasst zu werden.

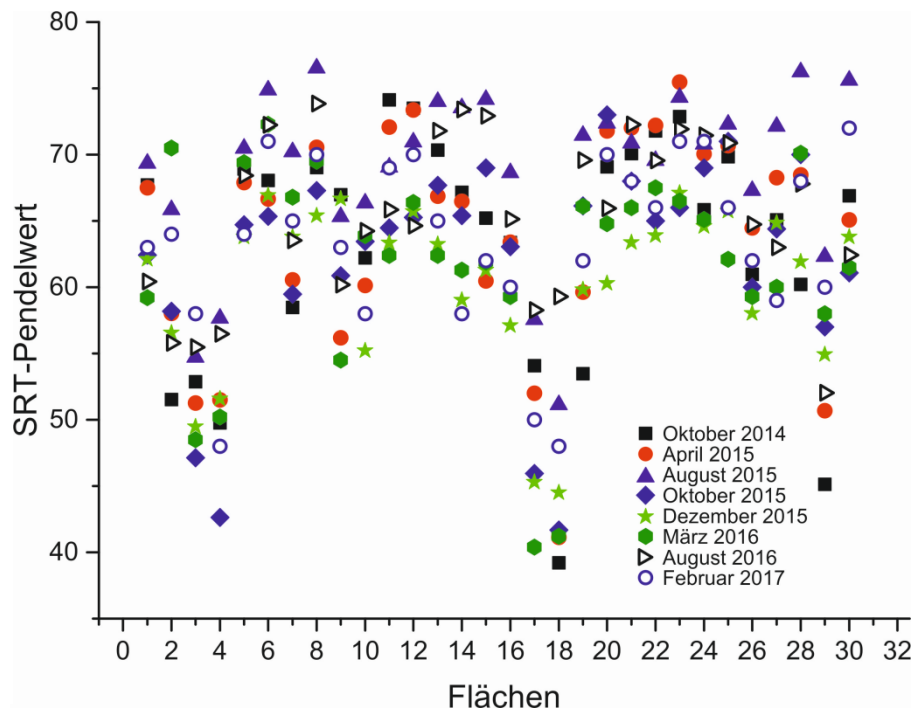


Bild 3.12:
Zusammenstellung der ermittelten SRT-Werte während der Projektlaufzeit.

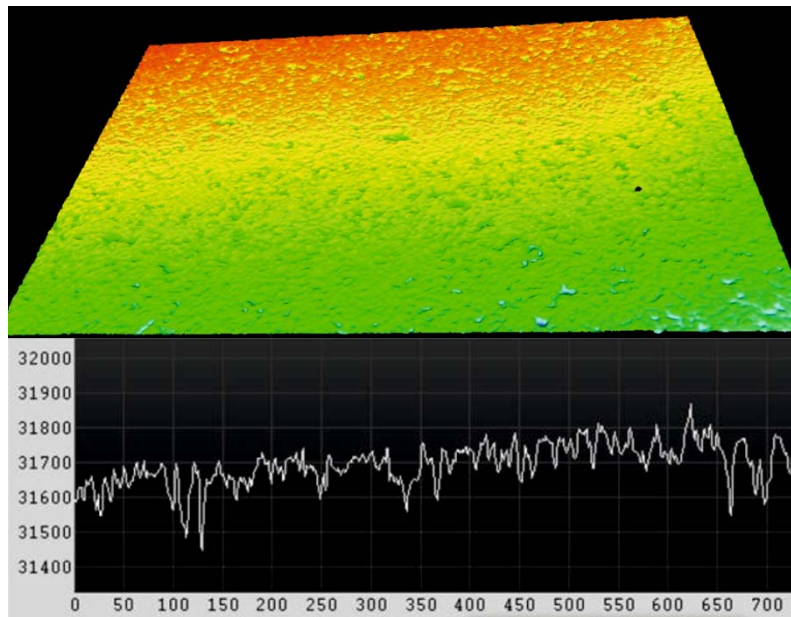


Bild 3.13:
3D Aufnahme eines Pflastersteins (oben) mit zugehörigem Rauheitsprofil (unten).

Fugen

Der Sand wurde bereits nach kurzer Projektdauer von dem Reinigungsfahrzeug sehr deutlich aus den Fugen gesaugt. Hauptgrund ist, dass nach dem Verfugen der Flächen und dem Nachsanden direkt mit der Projektarbeit begonnen wurde. In dieser kurzen Zeit konnte sich der Sand in den Fugen nicht ordentlich verdichten und wurde deshalb sehr schnell durch das Kehren und Nassreinigen wieder ausgetragen. Bei der gebundenen Fuge auf Zementbasis sind nach den zwei Jahren Versuchslaufzeit erste kleinere Risse erkennbar (Abbildung 3.14). Im Gegensatz dazu weist die Fuge auf Kunstharzbasis keinerlei Schädigungen auf. Diese Fuge scheint bei hoher Festigkeit gleichzeitig flexibel genug um äußere Spannungen aufnehmen und ableiten zu können (Abbildung 3.15). Aus den mit Sand gefüllten Fugen wuchs immer wieder vereinzelt Unkraut. Auf den fest verfugten Flächen konnte dieses Phänomen während der gesamten Versuchszeit nicht beobachtet werden.

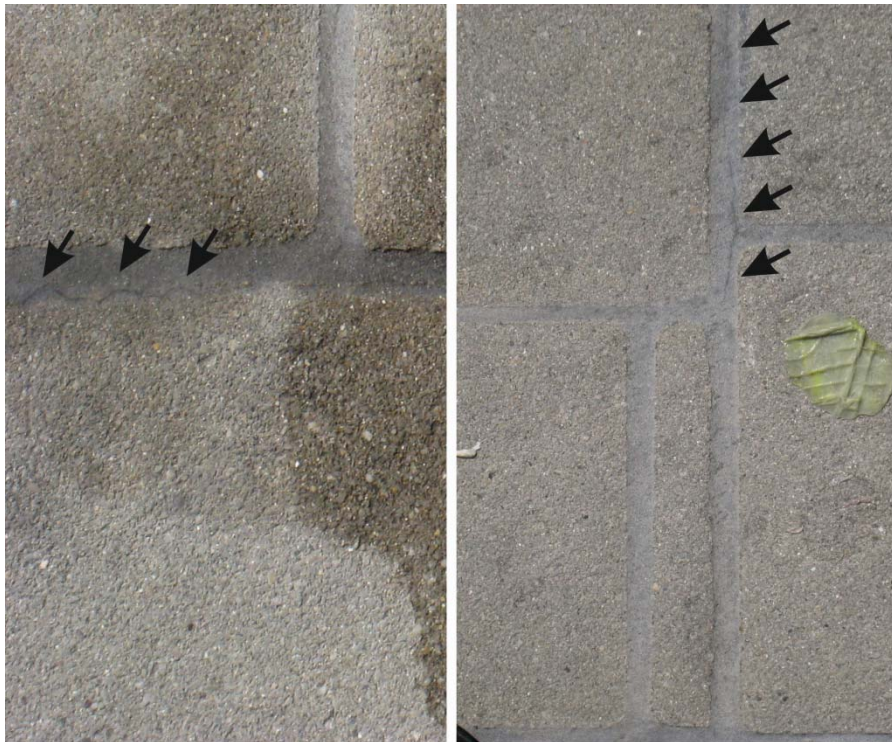


Bild 3.14:
Erste kleinere Risse (siehe Pfeile) in der Fuge aus Zement.



Bild 3.15:
Keine Risse in der Kunstharz basierten Fuge detektierbar.

Ausblühungen

Auf einigen Flächen konnten teils massive Ausblühungen von Kalk festgestellt werden. Diese sind ein klares Zeichen einer unzureichend angepassten Betonrezeptur und/oder einer ungenügenden Verdichtung der Steine bei der Herstellung der Pflastersteine. In Abbildung 3.16 ist ein entsprechendes Beispiel aus diesem Projekt gezeigt. Gut erkennbar sind die inhomogenen aber flächig auftretenden Kalkausblühungen, die das Gesamtbild deutlich stören. In diesem Projekt ist das Phänomen ausschließlich auf Steinen mit betonglatten Oberflächen aufgetreten.



Bild 3.16:
Massive weißliche Kalkausblühungen auf Steinen mit betonglatter Oberfläche.

3.4 Witterungseinfluss

Wie bereits bei den Schmutzsorten Öl und Ketchup angesprochen, konnte im Projekt festgestellt werden, dass die Faktoren Zeit und Wetter dazu führen, dass bestimmte Schmutzarten „von selbst“ abgereinigt werden. Besonders gut sind die Unterschiede dieses Effektes an den lange sichtbaren Ölflecken zu sehen. In Abbildung 3.17 sind die beschichteten Steine gezeigt. Die Verschmutzung auf der rechten Bildseite (jeweils dunkelster Ölfleck) lag bei der Bildaufnahme drei Tage zurück. Demnach wurde diese Seite einen Tag vor Bildaufnahme gereinigt. Auf der linken Bildseite erfolgte die Verschmutzung am Tag der Bildaufnahme innerhalb der gut sichtbaren Ringe. Im Wesentlichen ist (wenn überhaupt) nur der jeweils aktuelle Fleck sehr deutlich zu erkennen. Die vorangegangene Verschmutzung erfolgte etwa eine Woche vor der Aufnahme des Bildes. Diese Flecken konnten zwar durch die Reinigungsmethoden nicht oder nicht vollständig abgereinigt werden, jedoch wurde ein Verblassen der Flecken über die Zeit festgestellt.



Bild 3.17:
Ölflecken auf den beschichteten Steinflächen.

In Abbildung 3.18 sind die Ölflecke auf nicht beschichteten Steinflächen gezeigt. Hier zeigt sich deutlich, dass eine schnelle Verwitterung der Ölflecken nicht ausschließlich durch eine Beschichtung der Steine erreicht werden kann. Gut erkennbar ist, dass durch die höhere Steingüte der Flächen 9, 10, 24 und 25 deutlicher weniger Ölflecken sichtbar sind als auf den übrigen Flächen in Abbildung 3.18. Der frische Fleck innerhalb des Rings auf Fläche 24 ist dabei nicht zu beachten, da dieser Fleck zum Zeitpunkt der Aufnahme frisch aufgetragen wurde. Die Abwitterung erfolgt umso schneller je hochwertiger die Oberflächenbearbeitung ist. Dieser Effekt wird durch eine Beschichtung der Steine zusätzlich begünstigt. Neben der Art der Verschmutzung, der Beschaffenheit der Steine und dem Wetter selbst, hängt die Abwitterung von Verschmutzungen auch davon ab, wie die entsprechende Fläche gegenüber dem Wetter exponiert ist.

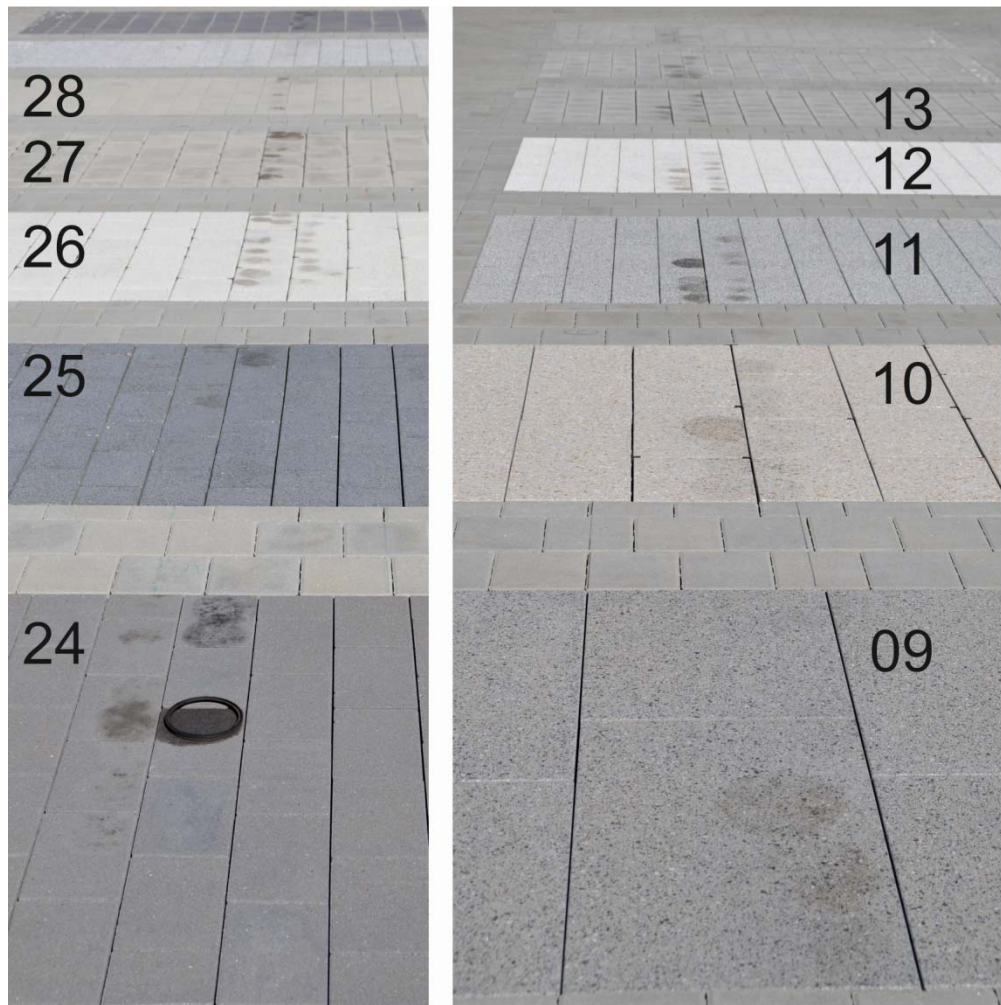


Bild 3.18:
Ölflecken auf nicht beschichteten Steinflächen.

Um den Einfluss der Witterung auf alle verwendeten Schmutzarten zu bestimmen, wurden Steine separat verschmutzt und der Witterung ausgesetzt ohne zusätzliche Reinigungsschritte durchzuführen. Auch bei diesen Steinen zeigen sich Unterschiede in Bezug auf Sichtbarkeit der Verschmutzungen. In Abbildung 3.19 sind fünf verschiedene Steine gezeigt. In der linken Spalte sind die Steine nach einem Tag Verschmutzung gezeigt, in der rechten Spalte nach einem Monat. Es zeigt sich, wie bereits bei den Ölflecken beschrieben, dass die Beschaffenheit der Steinoberflächen einen entscheidenden Einfluss auf das Verwitterungsverhalten der Verschmutzungen hat. Bei den ersten drei Beispielen (01,03 und 18) handelt es sich um beschichtete Steine, die Beispiele 23 und 30 sind unbeschichtete Steine mit gestrahlter bzw. betonglatte Oberfläche. Generell untermauert der Versuch die Ergebnisse, dass die Oberflächenbeschaffenheit der Steine maßgeblich bestimmt, wie schnell die Steine durch die Bewitterung abgereinigt werden.

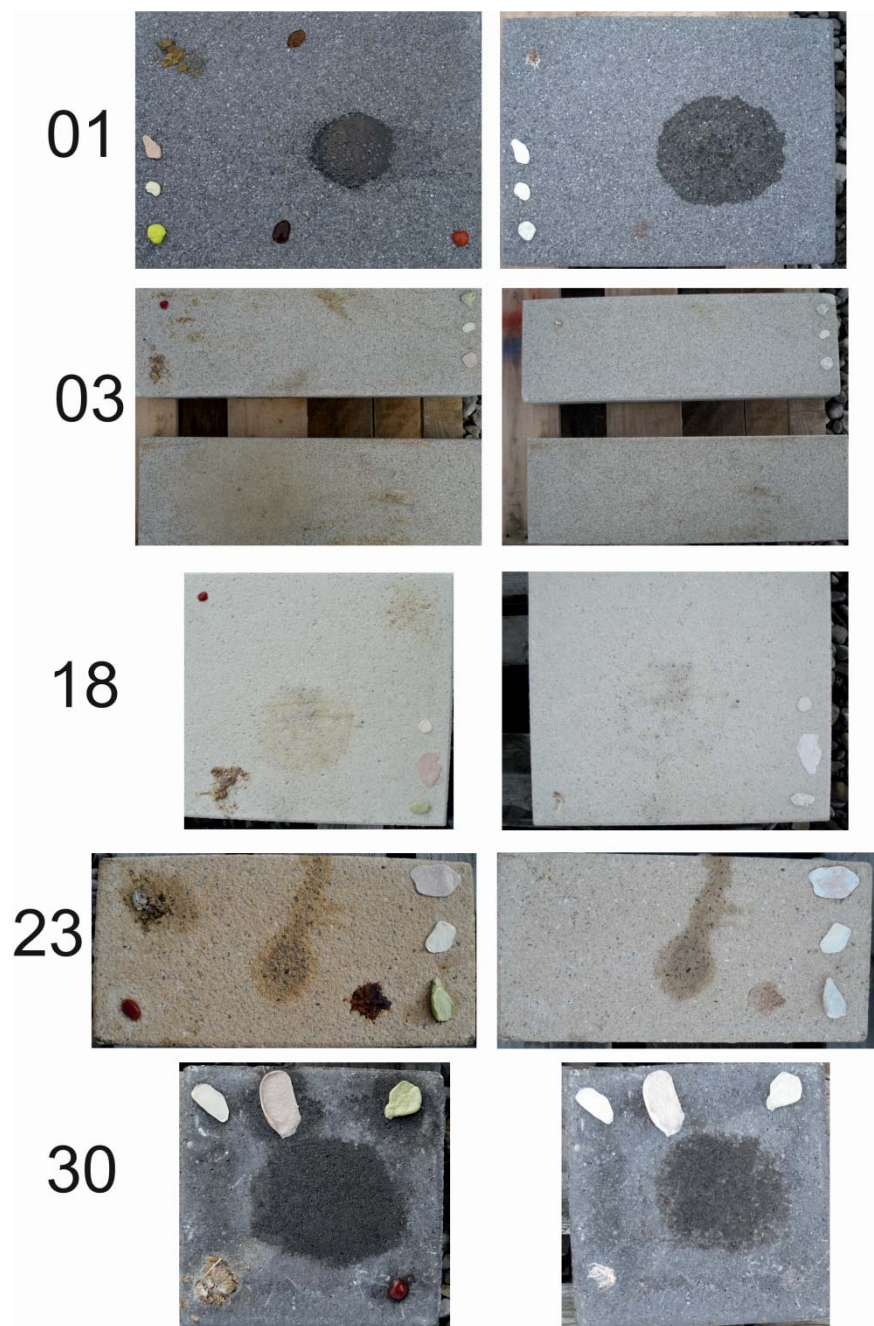


Bild 3.19:
Vergleich der Steine aus dem Bewitterungsversuch einen Tag nach der Verschmutzung (linke Spalte) und nach einem Monat (rechte Spalte).

Abschließend sind sämtliche Untersuchungsfelder drei Monate nach den letzten Verschmutzungs- und Reinigungsarbeiten in den Abbildungen 3.20 bis 3.22 gezeigt. Die unterschiedlich starke bzw. schnelle Abwitterung der Verschmutzungen in Abhängigkeit zu den verwendeten Pflastersteinen kann anhand der Aufnahmen sehr gut nachvollzogen werden.

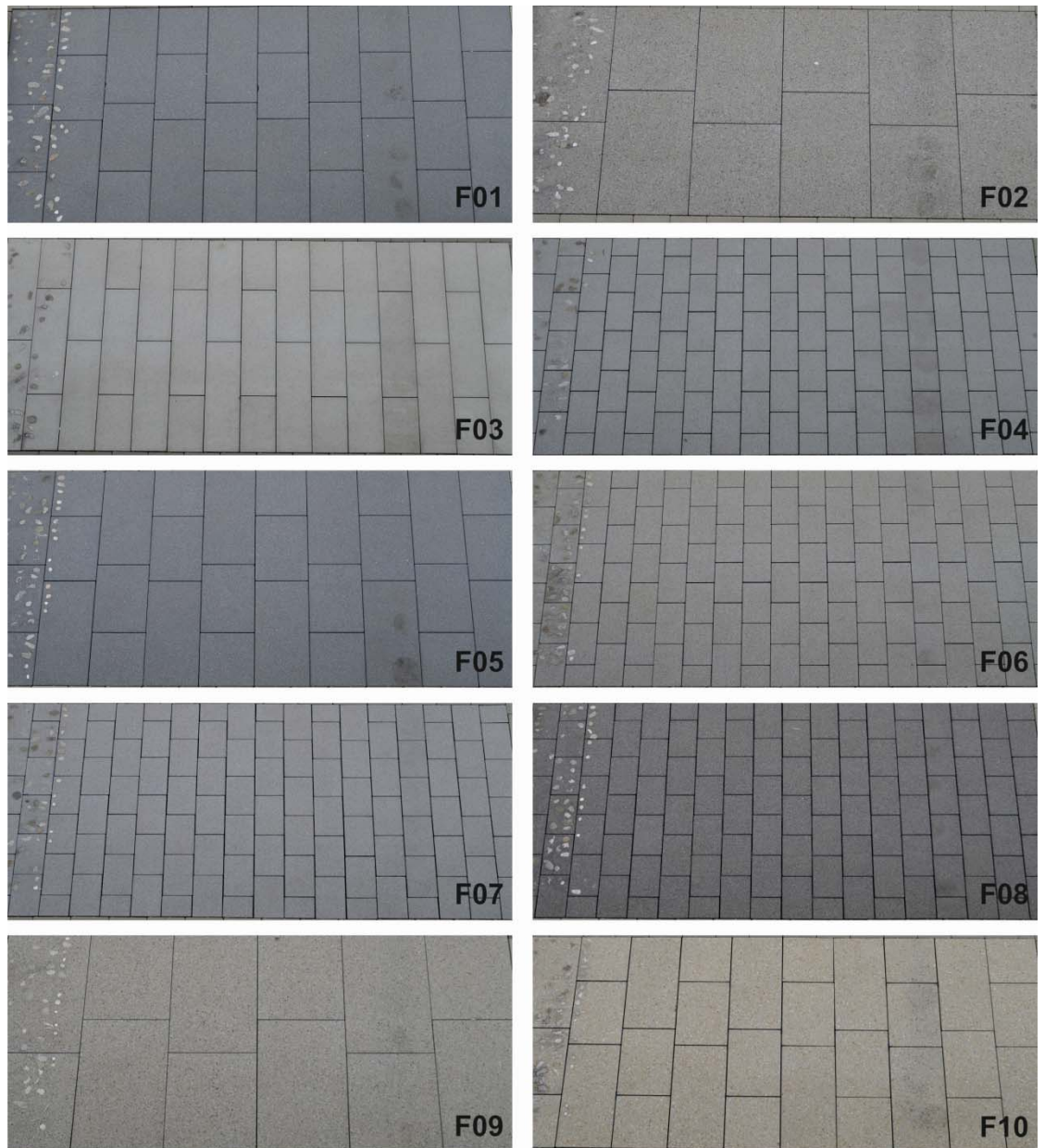


Bild 3.20:
Untersuchungsflächen 1 bis 10 zum Ende des Projektes nach 3 monatiger
Brachzeit.

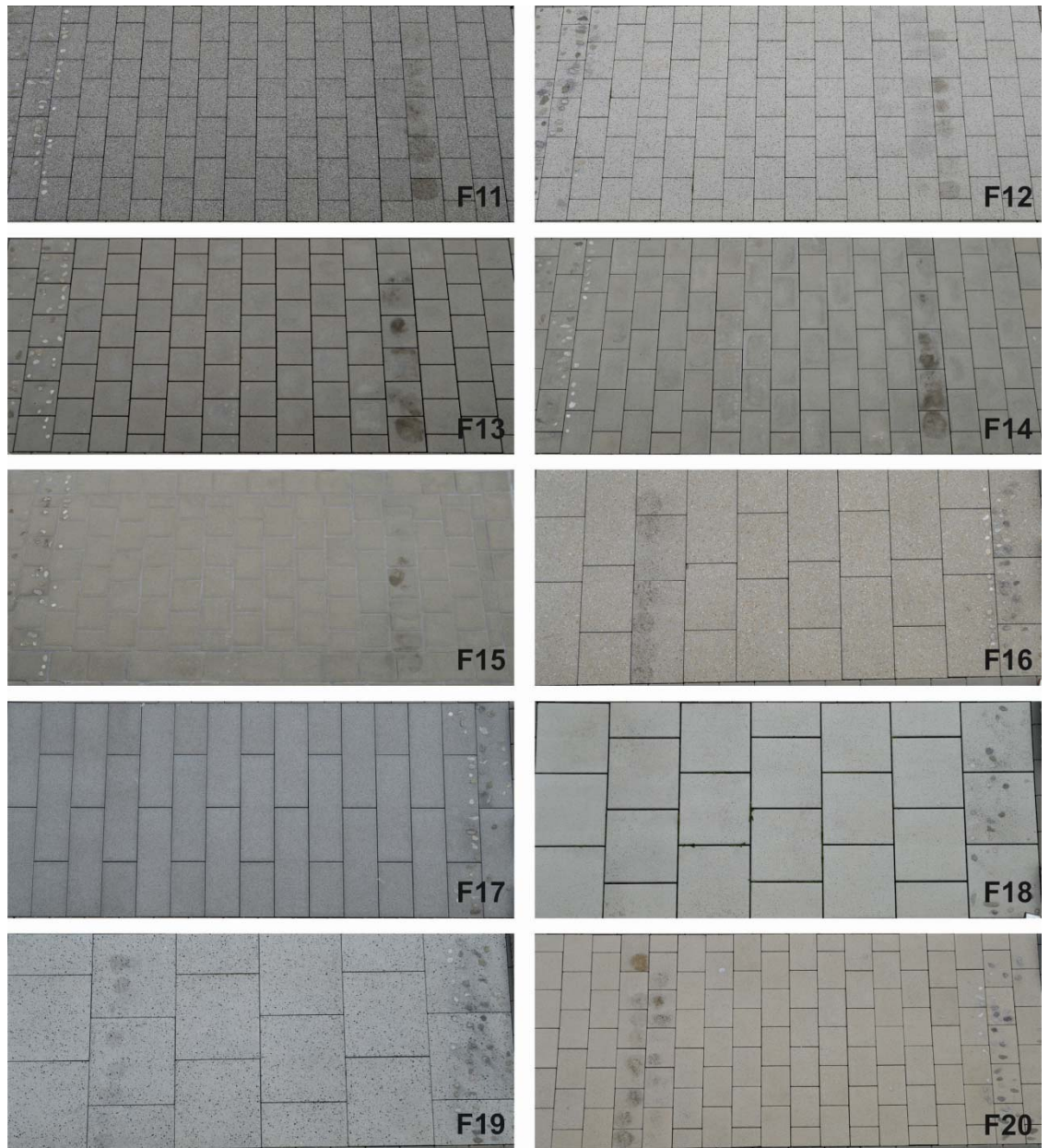


Bild 3.21:
Untersuchungsflächen 11 bis 20 zum Ende des Projektes nach 3 monatiger
Brachzeit.

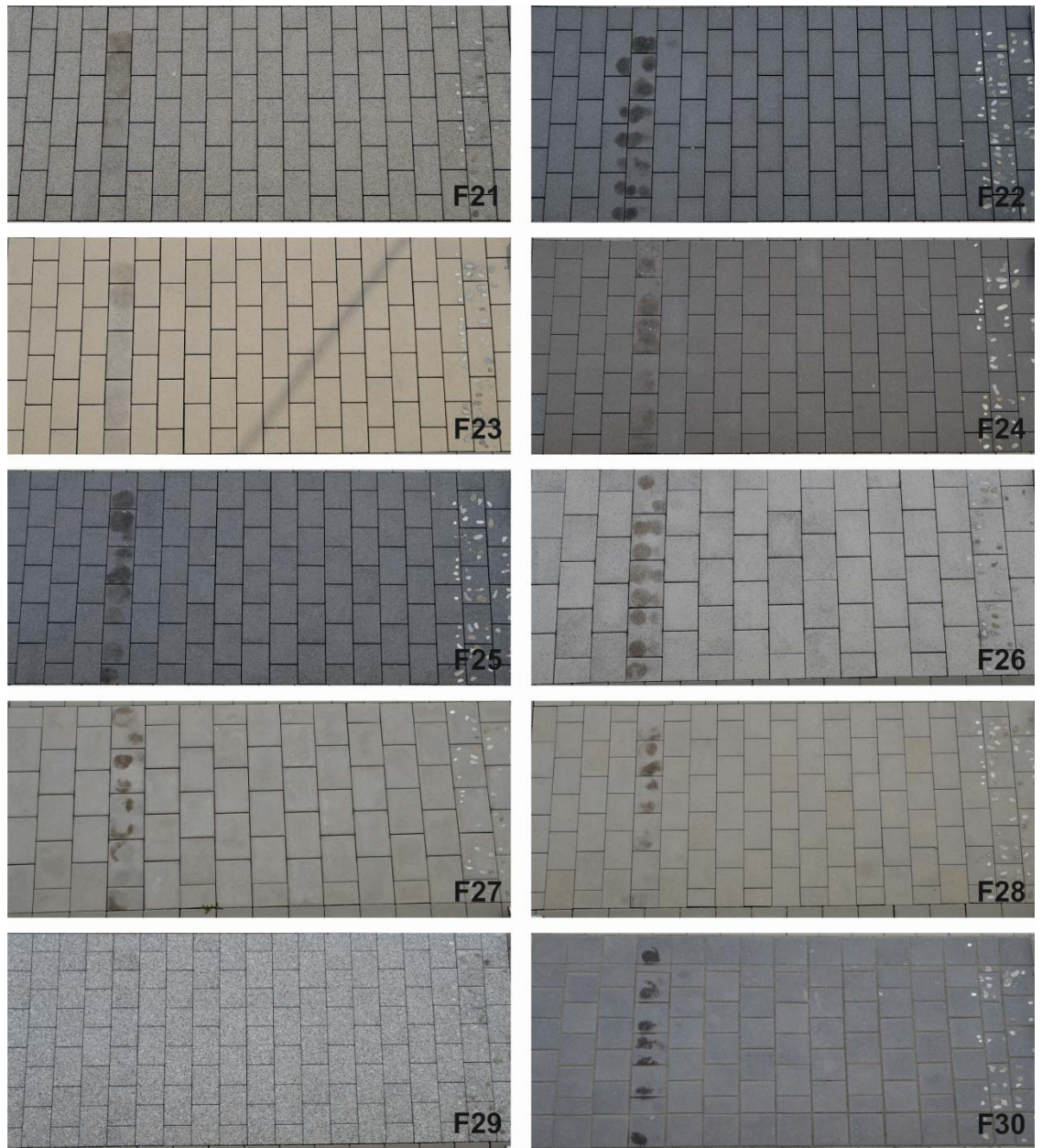


Bild 3.22:
 Untersuchungsflächen 21 bis 30 zum Ende des Projektes nach 3 monatiger
 Brachzeit.

3.5 Bewertung

Aus den gemachten Beobachtungen und vor allem aus den dokumentierten Reinigungsarbeiten an den einzelnen Feldern wurde für jedes einzelne Feld ein Reinigungswert ermittelt. Wie bereits zu Beginn des Berichtes definiert, handelt es sich dabei um einen Wert, der eine Aussage über die Abreinigung der in diesem Projekt verwendeten Verschmutzungen erlaubt. In Abbildung 3.23 sind die Reinigungswerte für die einzelnen Felder separat für Trocken- und Nassreinigung angegeben. Bei der Trockenreinigung erreicht Feld 18 mit einem Wert von 55,8 Prozent den höchsten Reinigungswert, Feld 11 liegt mit dem niedrigsten Wert von 26,7 Prozent signifikant niedriger. Im Falle der Nassreinigung ist der Unterschied noch etwas größer. Den besten Wert erreicht Feld 3 (66,3 Prozent) während der Reinigungswert von Feld 14 bei lediglich 27,8 Prozent liegt. Die Flächen mit den jeweils höchsten Werten sind beschichtete Pflastersteine mit gestrahlter (Feld 18) bzw. gestrahlt & geschliffener (Feld 3) Oberfläche. Die Steine mit den geringsten Reinigungswerten sind Produkte ohne Beschichtung und weisen eine gestrahlte (Feld 11) bzw. eine Oberfläche ohne nachträgliche Bearbeitung auf (Feld 14). So wird auch aus den erhobenen Zahlenwerten deutlich, dass beschichtete Produkte mit einer hochwertigen Oberflächenbearbeitung gegenüber unbehandelten Steinen bei der Reinigung im Vorteil sind. Im Falle von unbeschichteten Steinen schneiden diejenigen mit geschliffenen Oberflächen am besten ab.

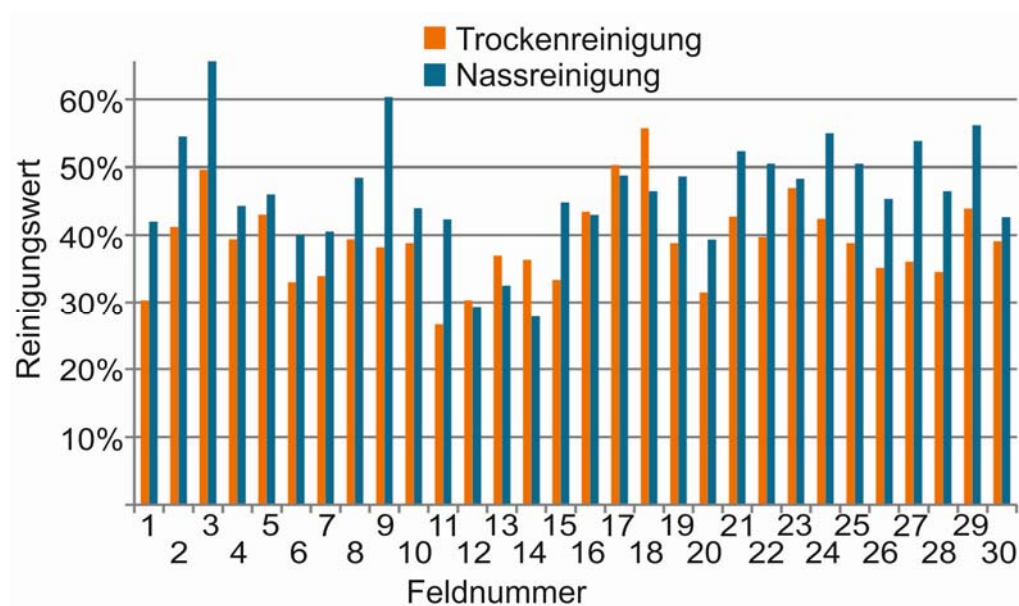


Bild 3.23:
Reinigungswert der einzelnen Flächen für Trocken- und Nassreinigung.

4 Umfrage

Da sich die Sauberkeit von Städten nicht nur an Hand von reinen Zahlenwerten bestimmen lässt, sondern immer der Mensch, der durch die Stadt geht, die Sauberkeit beurteilt, wurde auch dieser Aspekt im Projekt berücksichtigt. Mit einem Fragebogen (siehe Anhang) sollten Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts IBP auf freiwilliger Basis die Versuchsflächen nach ihrer Sauberkeit bewerten. Dazu wurden die Flächen von den Mitarbeitern anhand einer Skala von 1-5 bewertet. Insgesamt resultierten aus den ausgefüllten Fragebögen 38 verwertbare Datensätze, die zu 40 Prozent von Männern und zu 60 Prozent von Frauen ausgefüllt wurden. In der Beurteilung der Flächen konnten im Mittel keine Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern festgestellt werden. Die Ergebnisse für die einzelnen Flächen hängen auch von den aktuellen Witterungsbedingungen ab. So unterscheiden sich die Werte für einzelne Flächen teils stark, je nachdem ob diese in nassem oder trockenem Zustand bewertet wurden. Eine klare Abhängigkeit von beispielsweise Farbe oder Oberfläche konnte jedoch nicht festgestellt werden. Aus der Umfrage lassen sich einige Erkenntnisse ableiten: So wurden hellere Steine gegenüber dunkleren Steinen tendenziell als sauberer bewertet. Ebenso werden unruhige Oberflächen und Oberflächen mit Beschichtung sauberer bewertet, als sehr homogene Flächen. Für eine statistisch belastbare Aussage scheint die Anzahl an Fragebögen insgesamt zu gering. Es bleibt jedoch zu beachten, dass die Ergebnisse der Umfrage in vielen Punkten die Ergebnisse aus den Untersuchungen widerspiegeln. In Abbildung 4.1 sind die Bewertungen für die dreißig Flächen gezeigt. Diese sind sortiert nach deren Abschneiden in den Untersuchungen mit Trockenreinigung. Die Höhe der Balken gibt somit den erreichten Wert in der Umfrage an, die Position der Balken verrät auf welchem Platz die betreffende Fläche entsprechend dem Wert aus der Trockenreinigung liegt.

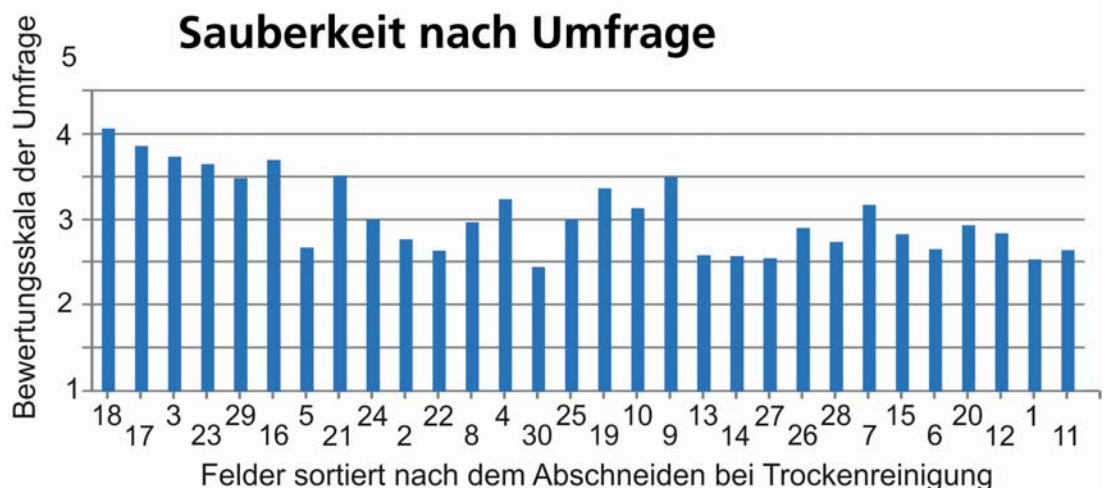


Bild 4.1: Ergebnisse zur Sauberkeit der einzelnen Flächen sortiert nach deren Abschneiden bei der Trockenreinigung.

Eine Übereinstimmung in den ersten vier Flächen, die sowohl bei der Trockenreinigung die besten Reinigungswerte erzielen, als auch von den Fraunhofer Mitarbeitern als am saubersten bewertet wurden zeigt, dass eine Korrelation zwischen der subjektiven Betrachtung der Mitarbeiter und den objektiven Zahlenwerten besteht.

5 Bewertungshilfe

Sämtliche Werte, die über die Reinigung und Verschmutzung der einzelnen Flächen im Laufe der zwei Jahre erfasst wurden, sind in einer Excel Tabelle zusammengetragen. Diese Tabelle hat das Ziel, dass jeder Projektteilnehmer im Nachgang an das Projekt die Möglichkeit hat, die Reinigungsfähigkeit unterschiedlicher Steine in Abhängigkeit verschiedener Schmutzsorten zu betrachten. Auf diese Weise können verschiedene Konstellationen relativ schnell und einfach miteinander verglichen werden.

Mittelwert Nassreinigung	Mittelwert Trockenreinigung	Oberflächenbeschaffenheit (sortiert nach Ergebnissen der Nassreinigung)
57,9	48,9	geschliffen mit Beschichtung
55,2	50,7	geschliffen und gestrahlt mit Beschichtung
54,4	54,9	geschliffen ohne Beschichtung
54,1	52,9	gestrahlt mit Beschichtung
50,6	42,2	gestrahlt ohne Beschichtung
50,0	51,4	geschliffen und gestrahlt ohne Beschichtung
45,5	41,0	betonglatt ohne Beschichtung

Bild 5.1:

Zusammenstellung der Mittelwerte für die Reinigungswerte von Nass- und Trockenreinigung für die im Projekt vorkommenden Pflastersteinoberflächen, sortiert nach absteigenden Werten für die Nassreinigung.

In Abbildung 5.1 sind die Mittelwerte der Reinigungswerte, die aus den Einzelwerten für die fünf verwendeten Schmutzarten resultieren, gezeigt. Diese sind getrennt für die beiden Reinigungsmethoden und für die sieben verschiedenen Oberflächen, die im Projekt vertreten waren, aufgetragen. Dabei sind die Oberflächen nach den Werten für die Reinigbarkeit per Nassreinigung sortiert, da mit dieser Methode höhere Werte erzielt wurden. Es zeigt sich, dass die Flächen unterschiedlich gut von unterschiedlichen Reinigungsmethoden abgereinigt werden können. Bei der Trockenreinigung weist die Oberfläche „geschliffen ohne Beschichtung“ den besten Reinigungswert von 54,9 Prozent auf. Im Falle der Nassreinigung weisen „geschliffene Flächen mit Beschichtung“ mit 57,9 Prozent den höchsten Reinigungsgrad auf. Die verwendete Farbskala soll helfen die Ergebnisse der Trockenreinigung in Relation zu den Ergebnissen der Nassreinigung einschätzen zu können.

In der Bewertungshilfe wurde ebenfalls eine Skala zugrunde gelegt, welche sich an den im Projekt auftretenden Oberflächen der Pflastersteine (unbeschichtet betonglatt, unbeschichtet geschliffen, unbeschichtet gestrahlt, unbeschichtet geschliffen+gestrahlt, beschichtet geschliffen, beschichtet gestrahlt und beschichtet geschliffen+gestrahlt) orientiert. Daraus resultieren sieben Kategorien, welche auf Grundlage der Reinigungswerte je Oberfläche für die unterschiedlichen Schmutzarten zueinander abgegrenzt werden. Die Werte variieren im Falle der Trockenreinigung zwischen 11 Prozent und 100 Prozent, im Falle der Nassreinigung zwischen 18 Prozent und 100 Prozent. Die jeweiligen Differenzen (89 Prozent für Trocken-, 82 Prozent für die Nassreinigung) wurden in sieben gleiche Teile eingeteilt. Somit kann jeder theoretisch ermittelte Reinigungswert einer Kategorie auf der Skala zugeordnet werden. Die resultierenden Skalen für Trocken- und Nassreinigung sind in Abbildung 5.2 gezeigt.

Nassreinigung		Trockenreinigung
18% - 30%	---	11% - 24%
31% - 42%	--	25% - 36%
43% - 53%	-	37% - 49%
54% - 65%	°	50% - 62%
66% - 77%	+	63% - 75%
78% - 88%	++	76% - 87%
89% - 100%	+++	88% - 100%

Bild 5.2:

Aus den Einzelwerten der Untersuchungen resultierende Bewertungsskalen für den Reinigungserfolg von Nass- und Trockenreinigung.

Zusätzlich enthält die Berechnungstabelle einige Möglichkeiten um Kosten für geplante Reinigungszyklen abzuschätzen und den Baukosten einer neuen Fläche gegenüber zu stellen. Zu beachten bleibt stets, dass sämtliche Daten bezüglich Reinigung aus diesem Projekt stammen und somit nicht als allgemeingültig betrachtet werden dürfen. Die Bewertungshilfe wird mit Abschluss des Projektes allen Projektpartnern zur freien Verfügung gestellt.

6 Zusammenfassung

Im Projekt „Untersuchung der Reinigungsfähigkeit innerstädtischer Beläge aus Beton“ wurden dreißig verschiedene Pflastersteine über zwei Jahre hinweg nach einem definierten Plan verschmutzt und gereinigt. Aus den Untersuchungen können, basierend auf den Ergebnissen, folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Mit Blick auf die Steinoberflächen kann gesagt werden, dass die verwendeten Reinigungsmethoden keinen messbaren Einfluss auf die Rauheit der Pflastersteinoberflächen haben. In den zwei Jahren Versuchsdauer konnte nicht nachgewiesen werden, dass durch die mechanische Bearbeitung der Steine mit verschiedenen Bürstensystemen die Oberflächen beeinträchtigt werden. Zu beachten bleibt, dass in diesem Projekt Bürsten mit einer Mischbeborstung aus Kunststoff- und Stahlborsten verwendet wurden. In Kommunen werden häufig auch Bürsten mit reinen Stahlborsten verwendet. Inwieweit diese Borsten die Oberflächen von Pflastersteinen, insbesondere einen applizierten Oberflächenschutz über die Dauer angreifen, kann nicht abgeschätzt werden.

Aus den praktischen Arbeiten geht hervor, dass die Oberflächenbearbeitung der Steine maßgeblich für das resultierende Reinigungsverhalten verantwortlich ist. Eine hochwertige Oberflächenbearbeitung, zusätzlich zu einer gut abgestimmten Betonzusammensetzung und Verdichtung der Steine sorgt dafür, dass die Steinoberflächen unempfindlicher gegenüber Verschmutzungen sind. Dies trifft vor allem auf flüssige Verschmutzungen wie Cola und Öl zu, die dann nicht oder kaum in das Steingefüge eindringen können und somit leichter zu entfernen sind. Eine zusätzliche Beschichtung kann diesen Effekt noch verstärken. Regen, Wind und UV-Strahlung sorgen dafür, dass Flecken mit der Zeit verschwinden, dies geschieht auf beschichteten Steinen deutlich schneller als auf nicht beschichteten Steinen. Auf nicht beschichteten Steinen entscheidet die Oberflächenbearbeitung des Pflastersteins darüber wie schnell Flecken und Schmutz im Allgemeinen durch das Wetter abgetragen werden. Geschliffene Oberflächen sind hier gegenüber Steinen mit gestrahlten und insbesondere betonglatten Oberflächen im Vorteil. Eindeutig nachzuweisen war dieser Effekt sowohl auf dem bearbeiteten Versuchsfeld als auch auf den Referenzsteinen, welche verschmutzt lediglich der Witterung ausgesetzt waren.

Eine Betrachtung zur Reinigungsfähigkeit der verwendeten Steine in Hinblick auf die unterschiedlichen Schmutzarten macht klare Unterschiede erkennbar. Kaugummis konnten unabhängig vom Pflastersteinprodukt sehr schlecht bzw. gar nicht abgereinigt werden. Im Rahmen des Projektes konnte Kaugummi in nennenswertem Umfang letztlich nur durch eine sehr zeitintensive händische Reinigung mittels Hochdruckreiniger entfernt werden. Die Versuche haben gezeigt, dass Dragee-Kaugummis deutlich schwerer zu entfernen sind als die beiden anderen Kaugummivarianten (Blockkaugummi und Streifenkaugummi). Flüssige Verschmutzungen wie Cola und Öl können in Abhängigkeit der Steinoberflächen in das Steingefüge einziehen und auf diese Weise lange sichtbare Flecken hinterlassen. Beschichtete Produkte saugen faktisch keine flüssigen

Verschmutzungen auf. Bei unbeschichteten Produkten nehmen geschliffene Oberflächen flüssige Verschmutzungen am wenigsten auf gefolgt von gestrahlten Oberflächen. Im Falle von nicht nachbehandelten Oberflächen (betonglatt) können flüssige Verschmutzungen nahezu vollständig in das Steingefüge eindringen. Eine Abreinigung ist dann mit den gewählten Methoden nur sehr unzureichend möglich.

Verschmutzungen mit hohem Zuckeranteil (hier Cola und Ketchup) neigen unter sehr warmen und trockenen Wetterbedingungen dazu eine sehr hohe Viskosität gekoppelt mit einer starken Haftung auszubilden. Insbesondere im Falle von Ketchupflecken war dann eine Abreinigung selbst mit Nassreinigung nicht immer möglich. Derart eingetrocknete Flecken konnten erst mit wiederholten Reinigungsschritten entfernt werden, oder wurden durch Wettereinflüsse von selbst abgetragen bzw. aufgeweicht.

Ketchup und in geringerem Maße auch Taubenkot hinterließen mitunter gut sichtbare Ätzzspuren auf den Steinen. Dabei waren Steine ohne Beschichtung stärker betroffen als beschichtete Steine. Auf nicht beschichteten Steinen waren die Ätzflecken vor allem auf betonglatten Oberflächen auf, während das Phänomen auf Steinen mit geschliffenen Oberflächen so gut wie nicht nachweisbar war. Auch hier spielt die Güte der Oberflächenbearbeitung also eine entscheidende Rolle. Gut sichtbar waren die Ätzflecken vor allem auf dunklen Flächen mit homogener Optik. Die Ätzzspuren waren durch die verwendeten Reinigungsmethoden ebenfalls nicht zu entfernen, wurden allerdings im Laufe der Zeit durch die Witterungseinflüsse langsam „abgetragen“.

Die Betrachtung der fest verbauten Fugen zeigt, dass in der zementär gebundenen Fuge nach zwei Jahren Projektzeit eine erste Rissbildung zu erkennen ist. Die harzgebundene Fuge erscheint hingegen vollständig intakt und scheint somit besser geeignet, die dynamischen Lasten aufzunehmen, welche bei dem Befahren von Pflasterflächen durch Reinigungsgeräte oder andere Fahrzeuge auf den Untergrund wirken. Die Sandfugen wurden im Laufe des Projektes sehr deutlich durch die Reinigungsmaschinen ausgetragen. Durch die gebundene Bauweise mit fester Verfugung konnte ein Auftreten von Wildkraut vollständig verhindert werden.

Der höchste Reinigungseffekt in der Trockenreinigung konnte für einen beschichteten Stein mit gestrahlter Oberfläche (Feld 18) detektiert werden. Im Falle der Nassreinigung zeigte ein beschichteter Stein mit gestrahlter & geschliffener Oberfläche (Feld 3) die beste Reinigungsfähigkeit.

Eine statistisch belastbarere Aussage ergibt sich wenn man die dreißig Flächen an Hand der vertretenen Oberflächenkriterien einteilt und vergleicht. Bei Trockenreinigung erreichen unbeschichtete Pflastersteine mit geschliffenen Oberflächen die höchste Reinigbarkeit von 54,9 Prozent. Im Falle der Nassreinigung erreichen beschichtete Pflastersteine mit geschliffenen Oberflächen den höchsten Reinigungswert von 57,9 Prozent. Für beide Reinigungsmethoden erreichen unbeschichtete Pflastersteine ohne weitere Oberflächenbearbeitung (betonglatt) den jeweils niedrigsten Wert (41 Prozent Trockenreinigung und 46 Prozent Nassreinigung) (vgl. Abbildung 5.1). Aus der durchgeführten Umfrage geht hervor, dass helle und beschichtete Steine sauberer bewertet werden als

dunklere Steine oder unbeschichtete Steine. Trotz der Einfachheit der Umfrage ist eine Korrelation zwischen den Werten der Umfrage und den Daten aus den regelmäßigen Projektarbeiten festzustellen.

Alle Daten aus der Projektarbeit sind zusätzlich in einer Bewertungsmaske hinterlegt. Auf diese Weise können Reinigungswerte für einzelne Verschmutzungen gezielt für jede im Projekt verwendete Oberfläche betrachtet und mit anderen Szenarien verglichen werden. Damit ist die Handhabung der Ergebnisse aus Trocken- und Nassreinigung praktikabel umgesetzt und können schnell und einfach abgerufen werden.

Durch die gemachten Untersuchungen konnte gezeigt werden inwieweit die Oberflächenbeschaffenheit von Pflastersteinen Auswirkung auf die Reinigbarkeit derselben hat. Dies konnte anhand von fünf stadtypischen Verschmutzungen nachgewiesen werden. Die dabei verwendeten Reinigungsmethoden sind in der kommunalen Reinigung üblich und wurden im Projekt getrennt voneinander auf ihre Wirksamkeit hin untersucht. Im Sinne einer nachhaltigen Gestaltung und Planung von innerstädtischen Flächen können die Ergebnisse des Projektes genutzt werden, um bei der Planung Aspekte wie Reinigungsaufwand und Reinigungswirkung miteinzubeziehen.

Hinweis zur Studie

Diese Studie wird Ihnen, mit freundlicher Genehmigung des Fraunhofer Instituts, von Rinn Beton- und Naturstein zur Verfügung gestellt. Der weitere Anhang der Originalstudie ab Seite 43 umfasst ein umfangreiches Sicherheitsdatenblatt zu einem Reinigungsmittel und wird hier nicht gedruckt. Bei Interesse fragen Sie bitte bei uns nach.

Wir sind schon einen Schritt weiter:

Was bedeutet die Studie für Sie als Gestalter, Planer und Entscheider?

Mit dem nube System kann Rinn bereits jetzt Antworten und Lösungen zu Ihren Fragen geben. Sprechen Sie uns an: über die **Planer-Hotline: 0 800 7466 500** oder über Ihren Fachberater bei Rinn.

Weiter Informationen finden Sie hier:

<https://www.rinn.net/oeffentlicher-raum.html> und **<https://nube.rinn.net>**



nube – zum Anschauen und Anfassen

nube können Sie sich auch online anschauen: Betrachten Sie die Farben am Bildschirm, spielen Sie mit Farbklingen und Nuancen.

Oder bestellen Sie online ein Muster zum Anfassen:

nube.rinn.net



nube – so nachhaltig wie gewohnt

Ausschreibungen von öffentlichen Auftraggebern beinhalten heute bestimmte Nachhaltigkeitskriterien. Zum Beispiel erhalten Sie Betonsteine in nube Farben als versickerungsfähige Pflastersysteme oder auch mit Recyclinganteil, genauso wie Produkte für eine barrierefreie Bauweise. In jedem Fall stammt alles aus CO₂-neutraler Herstellung. Für dieses Engagement wurde Rinn bereits mehrfach ausgezeichnet.

Lesen Sie mehr dazu in unserem neuen Nachhaltigkeitsbericht. nachhaltigkeitsbericht.rinn.net



CO₂
neutrale
PRODUKTION





Den Anfang
macht ein guter Stein.

Rinn Beton- und Naturstein

Rodheimer Straße 83
35452 Heuchelheim
Telefon: 0641 6009-0
Fax: 0641 6009-111

Bürgeler Straße 5
07646 Stadtroda
Telefon: 036428 448-0
Fax: 036428 448-19

www.rinn.net
info@rinn.net

Teflon™ ist eine eingetragene Marke von The Chemours Company FC, LLC. und wird unter Lizenz von Rinn Beton- und Naturstein GmbH & Co. KG verwendet. Anchor Wall Systems®, das Anchor-Logo, das 'A'-Anker-Logo, Windsor®, Bayfield® und Vertica® sind Markenzeichen der Anchor Wall Systems, Inc. Die Produkte werden in Deutschland von Rinn Beton- und Naturstein GmbH & Co. KG in Lizenz gefertigt und vertrieben.

Rinn-Prospekt 08/18 - Maß-, Material- und Formänderungen, die dem Fortschritt dienen, sind vorbehalten. So auch bei Verlegeempfehlungen. Farbabweichungen können produktionsbedingt vorkommen und geben dem Belag einen natürlichen Charakter. Bei Nachbestellungen können wir für Farbgleichheit nicht garantieren. Bei Druckfehlern keine Haftung.

