

Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 74

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, sans-serif font. The letters are a vibrant green color with a white outline, giving it a 3D or embossed appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk

von

Urs Müller

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Berlin

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 74

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 89.222/2009/AP:
Untersuchungen zur Verwendung von AGS auf Mauerwerk

Projektbetreuung
Dieter von Weschpfennig

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-86918-071-7

Bergisch Gladbach, November 2010

Kurzfassung – Abstract

Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk

Graffiti sind ein unübersehbares Problem in unserer bewohnten Umwelt. Graffitischmierereien finden sich auf allen Materialien, wobei insbesondere poröse Untergründe Schwierigkeiten bei deren Beseitigung bereiten. Um Baustoffoberflächen besser zu schützen und von Graffiti leichter reinigen zu können, wurden in den vergangenen Jahren Prophylaxesysteme (Anti-Graffiti-Systeme, AGS) entwickelt.

Für die Beurteilung der Funktionalität und Verwendbarkeit dieser Anti-Graffiti-Systeme wurden von der BAST in Zusammenarbeit mit mehreren Prüfinstituten eine Technische Prüfvorschrift und Technische Lieferbedingungen (TP/TL-AGS) erarbeitet. Die TP/TL-AGS gilt hierbei nur für die Beurteilung von AGS auf Betonuntergründen. Die Zielstellung der vorliegenden Studie war es zu sondieren, ob die existierenden TP/TL-AGS auch allgemein für AGS auf Mauerwerksoberflächen bestehend aus Naturstein oder Ziegel- bzw. Klinkeroberflächen, die an Bauwerken im Bundesfernstraßenbereich vorhanden sind, angewendet werden kann. Weiterhin sollten die Funktionalität und Effektivität der AGS in Abhängigkeit von den Eigenschaften der verschiedenen Substrate untersucht werden. Es sollte herausgearbeitet werden, welche kritischen Parameter für die Funktionalität eines AGS verantwortlich sind.

Es wurden insgesamt neun unterschiedliche Natursteine ausgewählt. Zusätzlich wurden Probekörper aus Klinkermauerwerk hergestellt. Dazu wurden Klinkerfliesen auf einen Beton aufgeklebt und mit Zementmörtel ausgefügt. Als Anti-Graffiti-System wurden ein AGS1-2 (nichtsichtbildendes, permanentes System) und ein AGS2 (temporäres System) verwendet. Neben den eigentlichen Untersuchungen an den Verbundkörpern wurden die Substrate auf ihre stoffliche Zusammensetzung und ihre physikalischen Eigenschaften charakterisiert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass die Funktionalität der beiden AGS stark von der Art des Substrates abhängt. Stark poröse Untergründe, die große mittlere Porenradien aufweisen, lassen sich auch mit AGS schwerer reinigen als dichte Substrate mit kleinen mittleren Porenradien. Wei-

terhin spielt die Oberflächenrauheit der Substrate eine wichtige Rolle. Allerdings hat hier die Art des AGS ebenfalls einen starken Einfluss auf die Reinigungswirkung. Beim permanenten System war ein klarer Einfluss der Oberflächenrauheit zu erkennen, der beim temporären System nicht sichtbar war. Es zeigte sich jedoch, dass die Funktionalitätsprüfung von AGS1-2 und AGS2 auf den Substraten gut durch die Prüfung auf dem Betongrundkörper abgebildet werden könnte. D. h., die Ergebnisse des Betongrundkörpers zur Funktionalität waren im Wesentlichen mit den Ergebnissen der Natursteinsubstrate zu vergleichen, die bei den Reinigungen als schwieriger eingestuft wurden.

Weiterhin war der Einfluss der Farbänderungen im Bereich dessen, was auch bei den Betonprüfkörpern eintrat. Die nach TL-AGS angegebenen Grenzwerte wurden nur in wenigen Fällen etwas überschritten. Anders verhielten sich die Glanzdaten infolge der Beschichtung mit dem AGS2. Es trat bei einigen Substraten eine erhebliche Erhöhung der Glanzwerte auf, die beim mit AGS2 beschichteten Beton nicht beobachtet wurden.

Aufgrund der Ergebnisse kann geschlossen werden, dass die Prüfung der Funktionalität eines AGS auf einem Betongrundkörper nach TP-AGS durchaus als ‚schlechtester Fall‘ eines Substrats auch repräsentativ für eher problematisch zu reinigende Natursteine ist. Bei den Glanzdaten müsste allerdings ein anderer Ansatz erfolgen, da die eher leichter zu reinigenden dichten Substrate in der Regel auch eine z. T. sehr starke Erhöhung des Glanzgrades beim Auftrag einer Prophylaxeschicht zur Folge haben, die bei einem Betonsubstrat nach TP-AGS nicht auftritt.

Die Dauerhaftigkeit der Graffitiprophylaxe auf den unterschiedlichen Substraten wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen aus Zeitgründen nicht berücksichtigt.

Use of anti-graffiti systems on walls

Graffiti is a problem in our built-up environment that cannot be ignored. Graffiti can be found on all materials and is particularly difficult to remove from porous surfaces. Anti-graffiti systems (AGS) have therefore been developed in recent years to protect building material surfaces and to make removal of graffiti easier.

The BAST has cooperated with several test institutes to develop technical test instructions and technical delivery conditions (TP/TL-AGS) that can be used to evaluate the functionality and usability of these anti-graffiti systems. The TP/TL AGS only apply to the evaluation of AGS on concrete backgrounds. The current study was undertaken to investigate whether the existing TP/TL AGS can also be applied to AGS on masonry surfaces made of natural stones, bricks or clinker surfaces on buildings near federal highways. The functionality and efficiency of the AGS were to be investigated as a function of the properties of the different substrates. It was to be determined which critical parameters are responsible for the functionality of an AGS.

A total of nine different natural stone types were selected. In addition, test samples made of clinker masonry were produced. Clinker tiles were glued onto a concrete surface and grouted with cement mortar. The anti-graffiti systems used were an AGS1-2 (not layer-forming, permanent system) and an AGS2 (temporary system). The material composition of the substrates was analysed and their physical properties were characterised in addition to the actual investigation of the test samples.

The results of the investigations show that the functionality of the two AGS strongly depends on the type of substrate used. Strongly porous backgrounds with large, average pore radii are more difficult to clean than dense substrates with small, average pore radii, even after an AGS has been applied. The surface roughness of the substrates also plays an important role, but its effect on the ease of cleaning strongly depends on the type of AGS used. Surface roughness had a strong effect when the permanent system was used, but this was not the case with the temporary system. However, it could be shown that the functionality test for AGS1-2 and AGS2 on the substrates used could be appropriately modelled by tests on a concrete substrate, i.e. the results for

functionality on the concrete substrate were comparable to those on natural stone substrates, which were found to be harder to clean.

The effect of colour changes was in the same range that was found for the concrete test samples. The limit values specified in the AGS technical test instructions were only slightly exceeded in a few cases. The data for the gloss resulting from coating with AGS2 differed. Some substrates showed a strong increase of the gloss values, which was not observed with AGS2-coated concrete.

The results allow the following conclusions: Testing the functionality of an AGS on a concrete substrate according to the AGS technical test instructions can be seen as a worst case that is also representative for natural stones, which are rather hard to clean. However, the gloss data require a different approach, because denser substrates, which are usually easier to clean, also tend to show a sometimes very strong increase in gloss levels after the application of the protective layer. This was not found on the concrete substrates investigated according to the AGS technical test instructions.

The permanence of graffiti prevention on different substrates was not considered in these investigations, due to a lack of time.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.2.4	Funktionalität AGS1	25
1.1	Naturstein und die Graffiti- problematik	7	4.2.5	Funktionalität AGS2	28
1.2	Kritische Kenngrößen von Natur- steinen bezüglich Graffiti und Anti-Graffiti-Systemen	7	4.2.6	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	29
1.3	Zielstellung der Untersuchung und methodischer Ansatz	8	5	Bewertung der Ergebnisse	30
2	Probenmaterial	9	5.1	Glanzwerte und Farbänderungen in Abhängigkeit vom Substrat	30
2.1	Auswahl Natursteine	9	5.2	Kenndaten für den Wassertransport ...	31
2.2	Mauerwerks- und Betonprüfkörper ...	10	5.3	Charaktereigenschaften der Substrate und Funktionalität der AGS	31
2.3	Anti-Graffiti-Systeme (AGS)	12	6	Schlussfolgerungen	33
2.4	Auftrag der AGS und Farbmittel auf die Probenkörper	12	6.1	Anwendbarkeit der TP-AGS/TL-AGS auf Naturstein- und Klinkermauer- werk	33
3	Untersuchungsmethoden	13	6.2	Frage der Dauerhaftigkeit von Anti-Graffiti-Systemen auf ver- schiedenen Natursteinsubstraten	34
3.1	Charakterisierung der Natursteine und Klinker	13	7	Literatur	34
3.2	Funktionalitätsuntersuchung	13			
3.3	Weiterführende Untersuchungs- methoden	13			
4	Ergebnisse	14			
4.1	Charaktereigenschaften der Substrate	14			
4.1.1	Physikalische Kenngrößen	14			
4.1.2	Porenstruktur der Natursteine, des Klinkers und des Betons	15			
4.1.3	Oberflächenrauheit der Substrate ...	15			
4.1.4	Petrographische Charakterisierung der Natursteinsubstrate	17			
4.2	Prüfungen an den Verbundkörpern ...	19			
4.2.1	Auftragsmengen AGS1 und AGS2 sowie deren Schichtdicken	19			
4.2.2	Glanzgrad und Farbänderungen	20			
4.2.3	Einfluss der AGS auf die Wasser- dampfdiffusion und kapillare Wasser- aufnahme der Substrate	22			

1 Einleitung

1.1 Naturstein und die Graffiti-problematik

Graffiti sind schon seit sehr langer Zeit ein unübersehbares Problem in unserer bebauten Umwelt. Viele Bauwerke sind von Graffitischmierereien betroffen, unabhängig davon, ob es sich um Nutz-, Wohn- oder Repräsentationsbauten in ländlichen Gebieten oder in urbanen Bereichen handelt. Neben der ästhetischen Beeinträchtigung von Bauwerken ergeben sich erhebliche finanzielle Belastungen für die betroffenen Eigentümer aufgrund der Beseitigung von Graffiti (HILGERS, 2005). Aber auch längerfristige Folgekosten können auf Besitzer und die Allgemeinheit zukommen, z. B. infolge von Wertverlusten der betroffenen Objekte, Änderung der Sozialstruktur in betroffenen Gemeinden und der voranschreitenden Verwahrlosung ganzer Bezirke.

Infrastrukturbauten sind hierbei besonders betroffen. Neben den Graffitischmierereien auf Betonoberflächen nehmen ‚Tagger‘ und Graffitischmierer keine Rücksicht auf teurere Naturstein- oder Ziegeloberflächen. Natursteine sind aufgrund der Variabilität ihrer Charaktereigenschaften besonders anfällig gegenüber dem Angriff von Farbmitteln. Je nach verwendetem Farbmittel und Oberflächenbeschaffenheit des Natursteins kann es bei unsach-



Bild 1: Sandsteinoberfläche, die durch unsachgemäße Graffiti-entfernung geschädigt wurde

gemäßiger Entfernung von Graffiti zu erheblichen Schäden kommen (Bild 1). Dies betrifft sowohl unsachgemäße mechanische (z. B. Partikelstrahl- oder Hochdruckreinigung auf weichem Sandstein) als auch chemische Reinigungsmethoden (z. B. säurehaltige Reiniger auf Marmor oder Kalkstein).

Die Anwendung von Anti-Graffiti-Systemen (AGS) auf Naturstein führt z. T. zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Wirksamkeit des AGS und der Dauerhaftigkeit des Natursteins (s. u.). Das liegt i. d. R. darin begründet, dass schon innerhalb einer Natursteingruppe (z. B. Sandsteine) sehr unterschiedliche Gesteinseigenschaften vorhanden sein können, die für die Funktionalität eines AGS ausschlaggebend sind.

1.2 Kritische Kenngrößen von Natursteinen bezüglich Graffiti und Anti-Graffiti-Systemen

Wesentliche Faktoren für den Reinigungserfolg von Baustoffoberflächen von Graffiti bestehen aus der Art der für ein Graffiti verwendeten Farbmittel und der Art des Substrats. Darauf richtet sich auch die Reinigungsstrategie bei unbeschichteten Baustoffoberflächen aus (Historic Scotland, 2005, S. 3). Allerdings lässt sich nicht immer die Art des Farbmittels genau bestimmen, was oftmals zu einem unbefriedigenden Reinigungseffekt führt. Weitere Faktoren bestehen in der Verweildauer des Farbmittels auf dem Substrat, der Art des Reinigungsmittels und der Umgebungstemperatur.

Ein wichtiger Aspekt bei der Reinigung von Graffiti ist die Oberflächenbeschaffenheit eines Substrats. Die Oberfläche wird zum einen durch deren Bearbeitung, z. B. bei Natursteinen meist mechanisch oder thermisch, und durch deren Porenstruktur bestimmt. Stoffe mit keiner oder sehr niedrigen Porosität (z. B. Metalle, Glas, Kunststoffe oder glasierte Keramiken) lassen sich erfahrungsgemäß leichter reinigen als porösere Baustoffe (URQUHARD, 1999, S. 11). Tabelle 1 zeigt Erfahrungswerte für verschiedene poröse Baustoffe. Dichte Stoffe wie Glas, glasierte Keramik oder Metalle lassen sich in der Regel gut reinigen. Weniger dichte Stoffe wie Beton, Marmor oder Granit können ohne Prophylaxebeschichtung bereits sehr schwierig zu reinigen sein. Graffiti lassen sich auf Baustoffen wie poröse Sandsteine und Kalksteine oder Putze/Mörtel nur in Ausnahmefällen ohne Farbmittelrückstände in Form eines ‚Schattens‘ entfernen. Hinzu kommt,

Porosität		Reinigungseffekt				
sehr porös	sehr gut	gut	fast gut	weniger schlecht	schlecht	sehr schlecht
↓ nicht porös	PU Fliesen			Marmor Holz Granit	Sandstein Kalkstein Ziegel PVC	Putz, Mörtel
	Glas	Edelel Stahl	Aluminium, Gusseisen, Stahl			

Tab. 1: Reinigungserfolg bei Graffiti in Abhängigkeit von der Porosität des Substrats (nach URQUHARD, 1999)

dass bei porösen Baustoffen bei Farbmitteln mit organischen Farbstoffen (z. B. Filzstift) bei Farbauftrag und während der Reinigung das gelöste Farbmittel über die oberflächennahen Poren weiter in den Baustoff eindringt. Zwar haben die Entwicklung von Reinigungsgel und Kompressenreinigung die Gefahr des Einsaugens des gelösten Farbstoffes in das Substrat minimiert, doch hochporöse Materialien können nach der Reinigung immer noch Farbmittelreste in Form eines Schattens aufweisen.

Die Porosität und die Porengrößenverteilung von Baustoffen, besonders die von Naturstein, beeinflussen zusammen mit der Oberflächenbearbeitung sehr stark deren Oberflächenrauheit. Die Oberflächenrauheit ist ausschlaggebend bezüglich der mechanischen Haftung der Farbmittel auf dem Substrat. Auf einem Substrat mit einer hohen Oberflächenrauheit kann eine Farbe besser haften als auf einer glatten oder polierten Oberfläche (GORETZKI, 1998; URQUHARD, 1999). Besonders Pigmentfarben können auf einer rauen Oberfläche nach der Reinigung zahlreiche Farbnester hinterlassen.

Diese Parameter haben auch einen beträchtlichen Einfluss bezüglich der Aufbringung eines Anti-Graffiti-Systems auf eine poröse Oberfläche. In der Regel erhöht sich die Auftragsmenge der Prophylaxeschicht mit einer Erhöhung der Oberflächenrauheit und der Porosität. Zum einen bedeutet eine höhere Oberflächenrauheit auch eine größere Oberfläche (GORETZKI, 1998, S. 12), zum anderen dringt ein AGS u. U. tiefer in einen porösen Baustoff ein. Letzterer Punkt ist allerdings auch von der Art des Systems abhängig. Weiterhin kann eine sehr raue poröse Oberfläche zu einer Prophylaxeschicht mit unregelmäßigen Schichtdicken führen; mit hohen Schichtdicken in den Rauheitstälern und sehr geringen Schichtdicken auf den Rauheitsspit-

zen. Dies kann u. U. mit einer Verringerung der Leistungsfähigkeit bei permanenten Systemen einhergehen, da bei wiederholten Reinigungszyklen die dünneren Schichtabschnitte schneller verschleißten als die dickeren in den Rauheitstälern.

Bei sehr großporigen Natursteinen wie Basaltlava, Travertin oder grobporigen Sandsteinen besteht außerdem die Gefahr, dass je nach Art der Aufbringung eines AGS auf das Substrat die Poren nicht vollständig mit dem Schutzsystem beschichtet werden. Bei der Aufbringung eines Graffitos erfolgt dann eine Akkumulation von Farbmitteln in den z. T. unbeschichteten Poren, was wiederum zu unbefriedigenden Reinigungsergebnissen führen kann.

Die Oberflächenbeschaffenheit und die Art eines Substrats haben auch einen entscheidenden Einfluss auf die Funktionalität eines AGS. Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten multinationalen Projekts ‚GRAFFITAGE‘ wurden u. a. vier verschiedene kommerzielle AGS auf 8 verschiedenen Substraten untersucht (sieben Natursteine und eine Ziegelvarietät). Es hat sich hierbei gezeigt, dass ein und dasselbe AGS auf verschiedenen Substraten unterschiedliche Funktionalitäten aufwies (GARDEI et al., 2008). Bei den verwendeten Schutzstoffen spielte hierbei die Art des Substrats (silikatisches oder carbonatisches Substrat) eine geringere Rolle. Der bestimmende Faktor lag hierbei in der Porosität und damit auch in der Oberflächenrauheit.

Da AGS im Idealfall eine Oberflächenbeschichtung darstellen, muss gewährleistet werden, dass diese ausreichend dampfdurchlässig ist (HOFFMANN & RECKNAGEL, 1998). Dies ist im Besonderen bei Natursteinen zu berücksichtigen, da es bei einer zu starken Behinderung der Dampfdiffusion bei gleichzeitiger Durchfeuchtung des Substrats zu erheblichen Folgeschäden, meist in Form von Ablösungen der Oberflächenschicht, kommen kann. Beschichtungen mit geringer Dampfdurchlässigkeit können deshalb nur im Einzelfall für poröse Baustoffe, z. B. im trockenen Innenbereich, verwendet werden.

1.3 Zielstellung der Untersuchung und methodischer Ansatz

Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen auf Natursteinen bzw. verschiedenen porösen Baustoffen beruhen meist weniger auf wissenschaftlichen Studien als mehr auf

empirischen Praxiserfahrungen. Entsprechend beziehen sich Prüfmethode zur Bestimmung der Funktionalität von AGS auf wenige Standardsubstrate (z. B. nach WTA-Merkblatt 2-8-04/D, 2004; MALAGA & BENGTTSSON, 2008) bzw. auf nur eine Art eines bestimmten Substrats (z. B. BAST TP-AGS).

Es besteht deshalb dringend Bedarf für systematische Untersuchungen bezüglich der Wirksamkeit von AGS in Abhängigkeit von der Art des Substrats sowie deren Porosität und Oberflächenbeschaffenheit. Die Bauwerke im Bundesfernstraßenbereich bestehen zum einen aus Betonoberflächen, zum anderen aber auch aus Naturstein- oder Klinker/Ziegelfassaden. Die BAST sah deshalb Handlungsbedarf bezüglich der Einschätzung der Wirksamkeit von AGS auf Mauerwerk und Natursteinfassaden. Weiterhin stellte sich die Frage, inwieweit die Regelungen zur Prüfung der Funktionalität und Dauerhaftigkeit von AGS auf Beton (BAST TP-AGS, 2009) auch auf Naturstein- und Mauerwerksoberflächen angewendet werden kann.

Die Ziele der vorliegenden Untersuchungen sind deshalb wie folgt:

- Es soll untersucht werden, ob es bezüglich der Porosität eines Substrats und der Funktionalität eines AGS einen systematischen Zusammenhang gibt.
- Weiterhin soll der Einfluss der Oberflächenrauheit eines Substrats auf die Funktionalität eines AGS untersucht werden.
- Außerdem soll die Anwendbarkeit der TP-AGS bezüglich der Funktionalität einer Prophylaxeschicht auf Naturstein und Klinker/Ziegel geprüft und notwendige Modifikationen am Prüfablauf vorgeschlagen werden. Dies beinhaltet jedoch nicht die Dauerhaftigkeitsprüfung von AGS.

Der methodische Ansatz für die Untersuchungen bestand darin, verschiedene Materialarten mit verschiedener Oberflächenbeschaffenheit mit einem temporären und einem permanenten System zu beschichten und anschließend die Funktionalität der AGS nach der TP-AGS zu prüfen. Dabei wurden die folgenden Gesteinsparameter erfasst und mit der Funktionalität der AGS in Zusammenhang gestellt:

- Porosität (Gesamtporosität und Porenradialverteilung),

- Oberflächenrauheit an gesägten Probenflächen,
- Oberflächenrauheit an verschiedenen bearbeiteten Oberflächen,
- Art des Substrats (silikatisch bzw. carbonatisch).

Weiterhin wurden die Wasseraufnahme, die Dampfdiffusion und das Trocknungsverhalten bestimmt und Gefügeuntersuchungen zur stofflichen Charakterisierung der Natursteine durchgeführt. An ausgewählten Proben sollten Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop erfolgen, um den Verbund des Substrats mit dem AGS und dem Farbmittel zu dokumentieren.

Dieser Ansatz sollte helfen, die kritischen Substrat-eigenschaften mit der Wirksamkeit des AGS zu korrelieren, aber auch Hinweise zur Optimierung der TP-AGS bezüglich der Funktionalitätsprüfung zu liefern.

2 Probenmaterial

2.1 Auswahl Natursteine

Bei der Auswahl der Natursteinarten wurden deren Anwendungen im Bundesfernstraßenbereich berücksichtigt. Das bedeutet, dass bestimmte Gesteinsarten von vornherein nicht erwogen wurden, da sie nur selten oder gar nicht für Ingenieurbauten eingesetzt wurden bzw. werden. Dies betraf Marmor und besonders weiche bzw. geringfeste Gesteine, wie weiche, überwiegend tonig gebundene Sandsteine oder vulkanische Tuffe mit hoher Porosität. Ebenso wurden bei der Auswahl der Oberflächenbearbeitung aus denselben Gründen bestimmte Verfahren nicht berücksichtigt, z. B. Polieren oder Beflammen.

Insgesamt wurden Proben von zwei verschiedenen Gesteinsgruppen beschafft, die in Deutschland abgebaut und für Fassadenanwendungen vertrieben werden. Die Gesteine wurden hierbei anhand der in GRIMM (1990) aufgeführten Kennwerte ausgewählt:

- drei verschiedene magmatische Gesteine (MG) mit
 - o einem Plutonit und
 - o zwei Vulkaniten;
- sechs verschiedene Sedimentgesteine mit
 - o drei Kalksteinen (KSt),

- o drei klastischen Gesteinen (SSt, Sandsteine).

Einer der Sandsteine wird als Lindlarer ‚Grauwacke‘ bezeichnet. Bei dieser Gesteinsart handelt es sich nach der petrologischen Klassifikation jedoch um eine Subarkose. Ebenso ist der Anröchter ‚Grünsandstein‘ eigentlich ein klastischer Biomikrit, also ein Kalkstein, mit einer carbonatischen Matrix und silikatischen und carbonatischen Kornkomponenten.

Die Porosität der neun ausgewählten Gesteine (nach GRIMM, 1990) verteilte sich in die folgenden Porositätsgruppen:

- niedrige Porosität im Bereich 0 bis 5 Vol.-%,
- mittlere Porosität im Bereich 5 bis 15 Vol.-%,
- hohe Porosität im Bereich 15 bis 25 Volumen %.

Um neben Gesteinen mit verschiedener Porosität auch noch verschiedene Oberflächenbearbeitun-

gen zu berücksichtigen, wurden folgende Bearbeitungsmethoden gewählt:

- gesägt,
- bruchrau,
- scharriert,
- gestockt.

Aufgrund der verschiedenen Gesteinsarten, deren Porosität und deren Oberflächenbearbeitung ergab sich die in Tabelle 2 abgebildete Probenmatrix. Die Bearbeitungsmethoden ‚scharriert‘, ‚gestockt‘ und ‚bruchrau‘ wurden lediglich in der Serie mit mittlerer Porosität durchgeführt, um die Probenmatrix überschaubar zu halten. Die wichtigsten Merkmale der Gesteine nach GRIMM (1990) sind in Tabelle 3 und deren makroskopisches Erscheinungsbild in Bild 2 aufgeführt.

Die Natursteinkörper für die Prüfung der Funktionalität von AGS besaßen die Maße 30 x 30 x 3 cm³. Für die Bestimmung der spezifischen Gesteinseigenschaften wurden weitere Prüfkörper gesägt.

	Porosität		
	niedrig	mittel	hoch
MG; gesägt	•	•	•
SSt; gesägt	•	•	•
KS; gesägt	•	•	•
MG; bruchrau		•	
SSt; bruchrau		•	
KS; bruchrau		•	
MG; gestockt		•	
SSt; scharriert		•	
KS; scharriert		•	

Tab. 2: Probenmatrix der Natursteine für die Studie

2.2 Mauerwerks- und Betonprüfkörper

Um eine ähnliche Probengeometrie wie diejenige der Natursteine zu haben, wurden Klinkerfliesen auf das Ziegelnormformat (NF) gesägt und auf eine Betonplatte mit den Maßen 30 x 30 x 4 cm³ mit einem herkömmlichen Fliesenkleber aufgeklebt (Bild 3). Zur Ausfugung wurde ein nach DIN EN 196-1 (2005) hergestellter Normmörtel verwendet. Der Fugenmörtel enthielt lediglich Zement (CEM I 42,5), Normsand und Wasser (W/Z-Wert = 0,5). Die Probenkörper wurden im Normklima bei 20 °C/65 % RF 7 Tage bis zur Beschichtung gela-

Bez.	Handelsname	Farbe	Beschaffenheit	Geolog. Alter	Poros. (Vol.-%)	Abbauort
MG1	Flossenbürger Granit	gelbgrau-blaugrau	regellos, mittel-, gleichkörnig	Oberkarbon	0,71	Flossenbürg
MG2	Selters Trachyt	hellblau	regellos, dicht- bis feinkörnig	Tertiär	8,04	Selters (Westerwald)
MG3	Mayerner Basalt Lava	hellgrau	blasig mit porphyrischen Einschlüssen	Quartär	22,31	Mayen (Eifel)
SSt1	Lindlarer Grauwacke	bräunlichgrau-blaßgelbbraun	feinsandig, angedeutete Schichtung	Mitteldevon	4,05	Lindlar
SSt2	Anröchter Grünsandstein	graugrün	feinst- bis grobkörnig, geschichtet	Oberkreide	10,54	Anröchte
SSt3	Postaer Sandstein	gelblich-braun	mittel- bis grobkörnig, ungeschichtet	Unterturon	20,3	Wehlen
KSt1	Treuchtlinger Kalkstein	blaugrau-weiß	dicht erscheinend, ungeschichtet	Jura	3,38	Treuchlingen
KSt2	Crailsheimer Muschelkalk	blaugrau-bläulichgrau	feinporig, feinkörnig, geschichtet	Muschelkalk	11,21	Crailsheim-Sattelsdorf
KSt3	Thüster Kalkstein	bräunlichgrau	feinporig, mittelkörnig, geschichtet	Unterkreide	23,43	Thüster Berg

Tab. 3: Die für die Untersuchung verwendeten Natursteine (Daten nach GRIMM, 1990)

gert. Auf die Verwendung eines kommerziellen Fugenmörtels wurde verzichtet, da diese i. d. R. eine Vielzahl von verschiedenen Additiven und Zusatzstoffen enthalten.

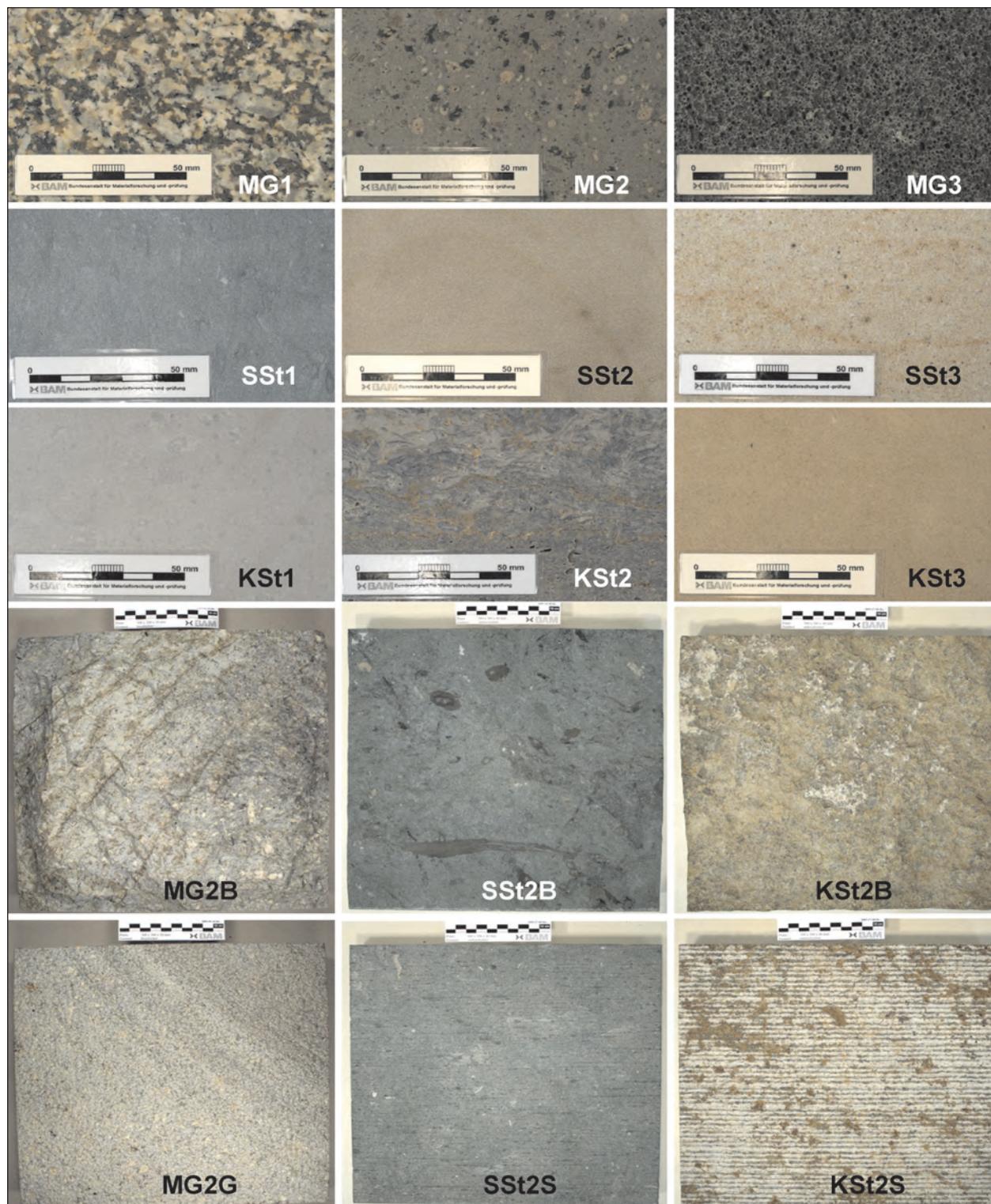


Bild 2: Reihe 1 bis 3: gesägte Oberflächen. Flossenbürger Granit (MG1), Selters Trachyt (MG2), Mayerner Basalt Lava (MG3), Lindlarer Grauwacke (SSt1), Anröchter Grünsandstein (SSt2), Postaer Sandstein (SSt3), Treuchtlinger Kalkstein (KSt1), Crailsheimer Muschelkalk (KSt2), Thüster Kalkstein (KSt3);
 Reihe 4: bruchraue Oberflächen. Selters Trachyt (MG2B), Anröchter Grünsandstein (SSt2B), Crailsheimer Muschelkalk (KSt2B);
 Reihe 5: Gestockte (Selters Trachyt MG2G) und scharrierte Oberflächen (Anröchter Grünsandstein SSt2S, Crailsheimer Muschelkalk KSt2S)

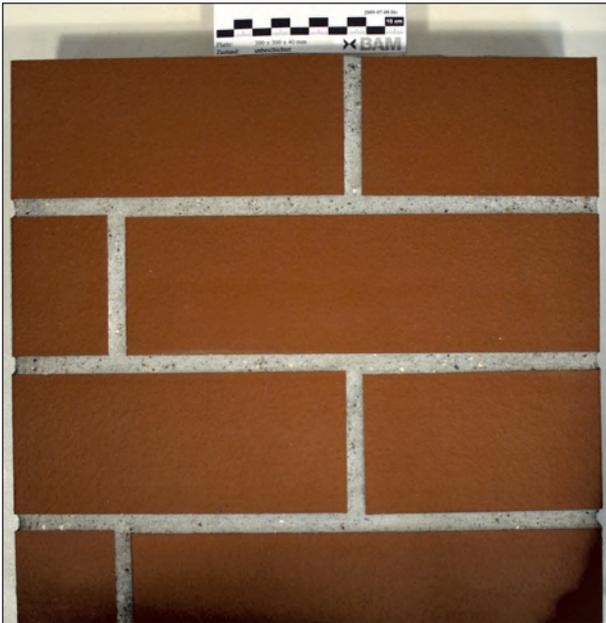


Bild 3: Mauerwerksprüfkörper, bestehend aus Klinkerfliesen, die auf einen Betongrundkörper aufgeklebt und mit Zementmörtel ausgefugt wurden

Weiterhin wurden Betongehwegplatten nach TP-AGS verwendet. Diese dienten als Referenzplatten bei der Funktionalitätsprüfung der beiden Anti-Graffiti-Systeme. Die Betonplatten bestanden aus einer ca. 5 mm dicken Vorsatzschicht. Bei den Untersuchungen wurde lediglich die Vorsatzschicht berücksichtigt.

2.3 Anti-Graffiti-Systeme (AGS)

Für die Untersuchungen wurden ein temporäres (AGS2) und permanentes System (AGS1) verwendet. Bei dem AGS2 handelte es sich um ein mikrowachsbasiertes System in wässriger Lösung und bei dem AGS1 um ein nicht filmbildendes wässriges fluoriertes silanbasierendes System mit einem entsprechenden Systemreiniger (AGS1-2). Beide Systeme wurden deshalb ausgesucht, weil sie erfahrungsgemäß für Naturstein und poröse Untergründe empfohlen und angewendet werden. Beide Hersteller geben keine bzw. eine geringe Reduktion der Dampfdiffusion an. Sowohl das verwendete AGS1 als auch das AGS2 sind in der Liste für temporäre bzw. permanente Systeme der BAST aufgelistet (Ausgabe 2009).

2.4 Auftrag der AGS und Farbmittel auf die Probenkörper

Von jeder Material- und Bearbeitungsart wurden jeweils 9 Platten der Maße 30 x 30 cm² hergestellt:

Proben	Bezeichnung der Prüfplatten		
	unbeschichtet	AGS1	AGS2
MG1	MG1-0	MG1-AGS1	MG1-AGS2
MG2	MG2-0	MG2-AGS1	MG2-AGS2
MG2B ¹	MG2B-0	MG2B-AGS1	MG2B-AGS2
MG2G ²	MG2G-0	MG2G-AGS1	MG2G-AGS2
MG3	MG3-0	MG3-AGS1	MG3-AGS2
SSt1	SSt1-0	SSt1-AGS1	SSt1-AGS2
SSt2	SSt2-0	SSt2-AGS1	SSt2-AGS2
SSt2B ¹	SSt2B-0	SSt2B-AGS1	SSt2B-AGS2
SSt2S ³	SSt2S-0	SSt2S-AGS1	SSt2S-AGS2
SSt3	SSt3-0	SSt3-AGS1	SSt3-AGS2
KSt1	KSt1-0	KSt1-AGS1	KSt1-AGS2
KSt2	KSt2-0	KSt2-AGS1	KSt2-AGS2
KSt2B ¹	KSt2B-0	KSt2B-AGS1	KSt2B-AGS2
KSt2S ³	KSt2S-0	KSt2S-AGS1	KSt2S-AGS2
KSt3	KSt3-0	KSt3-AGS1	KSt3-AGS2
MW ⁴	MW-0	MW-AGS1	MW-AGS2
B ⁵	B-0	B-AGS1	B-AGS2

¹ B = bruchrau; ² G = gestockt; ³ S = scharriert,
⁴ MW = Mauerwerksprüfkörper; ⁵ B = Betonprüfkörper

Tab. 4: Bezeichnung der Prüfplatten für die Untersuchungen. Die Plattenanzahl für AGS1 und AGS2 ist jeweils 4, unbeschichtet ist 1.

- jeweils eine unbeschichtete Platte für den Auftrag der Farbmittel für AGS1 und AGS2,
- vier Prüfplatten für die Beschichtung mit AGS1, inklusive einer Referenzplatte,
- vier Prüfplatten für die Beschichtung mit AGS2, inklusive einer Referenzplatte.

Tabelle 4 gibt die Anzahl und Bezeichnungen der Prüfplatten wieder. Die Prüfplatten wurden vor Auftrag des AGS mindestens 14 Tage im Klimaraum bei 23 °C/50 % RF gelagert. Nach dem Auftrag der AGS erfolgte eine weitere Lagerung von 14 Tagen, bis die Farbmittel aufgebracht wurden.

Die AGS wurden hierbei mit einem breiten Pinsel aufgetragen (bei AGS1 in Abweichung von den Herstellerangaben). Von der Verwendung eines Farbrollers wurde abgesehen, da dieser besonders bei den bruchrauen Prüfplatten keinen gleichmäßigen Auftrag des AGS garantiert hätte. Die Applikation erfolgte auf liegenden Platten, da hierdurch der Vorgang vereinfacht und AGS eingespart werden konnte, da keine Verluste des AGS durch Ablaufen erfolgten. Die Menge des AGS-Auftrags pro Prüfplatte wurde mittels Wägung bestimmt.

Es wurden Farbmittel nach der TP-AGS der BAST verwendet. Das Aufbringen erfolgte nach den Vorgaben dieser Richtlinie mit den für die entsprechenden AGS vorgesehenen Farben mittels Schablonen. Bei den bruchrauen Platten erwies sich das Aufbringen der Farbmittel als etwas problematisch, da durch die großen Unebenheiten nicht immer ein gleichmäßiger Farbauftrag erfolgen konnte.

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Charakterisierung der Natursteine und Klinker

Eine stoffliche Charakterisierung erfolgte über Dünnschliffmikroskopie nach DIN EN 12407 (2007). Porositäts- und Transportparameter wurden nach den folgenden Verfahren an 3 bis 6 Probenkörpern bestimmt:

- Gesamtporosität, Reindichte und Rohdichte: DIN EN 1936 (2007). Nur an unbeschichteten Proben.
- Porenradienverteilung: mittels Quecksilberdruckporosimetrie nach DIN 66133 (1991). Nur an unbeschichteten Proben.
- Oberflächenrauheit: Laser-Konfokalmikroskopie und Streifenlichtprojektion an gesägten Probenkörpern, die mit der gleichen Säge geschnitten wurden, mit der die Prüfplatten gesägt wurden. Die Messungen wurden an unbeschichteten Proben durchgeführt. Photogrammetrisch an den bruchrauen, gestockten und scharrierten Prüfplatten. Die Oberflächenbearbeitung dieser Proben erzeugte eine Rauigkeit, die mit der Konfokalmikroskopie bzw. Streifenlichtprojektion nicht mehr erfasst werden konnte. Es wurde deshalb auf die Photogrammetrie zurückgegriffen. Nur an unbeschichteten Proben.
- Wasseraufnahme: DIN EN 13755 (2008). Nur an unbeschichteten Proben.
- Wasseraufnahmekoeffizient: DIN EN 1925 (1999). An unbeschichteten und beschichteten Proben.
- Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN ISO 12572 (2001). An unbeschichteten und beschichteten Proben. Die Norm wurde angewendet, um den Einfluss der Beschichtung auf die Dampfdiffusion des Substrats zu ermitteln.

- Farb- und Glanzmessungen: BAST TP-AGS (2009). An unbeschichteten und beschichteten Proben.

3.2 Funktionalitätsuntersuchung

Die Funktionalitätsprüfung wurde nach der TP-AGS anhand von Richtreihenbildern durchgeführt. Für die Ergebnisse wurden die Einzelergebnisse von jeweils drei beschichteten Platten herangezogen. Eine vierte beschichtete und mit Farbmitteln versehene Platte wurde nicht gereinigt und als Referenzplatte verwendet, anhand derer die Funktionalitätsbeurteilung durchgeführt wurde. Zusätzlich zu den vier mit Graffiti prophylaxe beschichteten Platten wurde eine unbeschichtete und mit Farbmitteln versehene Platte als Nullprobe gereinigt und beurteilt. Dies war insbesondere für die Wirkung des Systemreinigers beim AGS1 von Vorteil, da dessen Reinigungswirkung ohne die Prophylaxeschicht beurteilt werden konnte. Die Reinigung der Platten erfolgte nach TP-AGS.

3.3 Weiterführende Untersuchungsmethoden

Um den Verbund des Substrats mit dem AGS und der Farbe näher zu untersuchen, wurden raster-elektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Da diese Untersuchungen sehr zeitaufwändig sind, sollten diese jedoch nur an ausgewählten Proben stattfinden. Dazu wurden an speziellen kleineren Proben Bruchflächenquerschnitte erzeugt. Untersucht wurden mit AGS und Farbmittel beschichtete Proben.

Hierbei wurden die Grenzschichten Substrat-AGS sowie AGS-Farbmittel näher beurteilt. Es wurde insbesondere auf das Verbundverhalten der Farbschichten auf dem AGS geachtet und die Eindringtiefe der AGS abgeschätzt. Aus Zeitgründen wurden ein geringporöses (SSt1) und ein hochporöses Substrat (SSt3), jeweils beschichtet mit dem Farbmittel F10, untersucht.

4 Ergebnisse

4.1 Charaktereigenschaften der Substrate

Die Auswahl der Natursteine wurde wie eingangs erwähnt anhand der im Natursteinatlas von GRIMM (1990) aufgeführten Daten ausgewählt. Es wurden Natursteine ausschließlich aus deutschen Vorkommen ausgesucht. Ein wichtiges Kriterium spielte hierbei auch deren Verfügbarkeit, da seit Erscheinen des Natursteinatlases sich einige der Brüche nicht mehr im Abbau befanden. Dieser Arbeitsschritt wurde in Zusammenarbeit mit einem in Berlin befindlichem Natursteinhändler durchgeführt.

Folgende Oberflächenbearbeitungen wurden von den Natursteinwerken vorab an Platten der Maße 30 x 30 x 4 cm³ durchgeführt: bruchrau, scharriert und gestockt. Das übrige Material wurde in Blöcken von 30 x 30 x 50 cm³ angeliefert und an der BAM in Platten von 30 x 30 x 3 cm³ und weiteren Formaten entsprechend den Anforderungen der übrigen Prüfungen zugeschnitten.

Nach dem Sägen wurden die Probenkörper bei 70 °C getrocknet und anschließend entsprechend bei 23 °C und 50 % RF im Klimaraum konditioniert.

4.1.1 Physikalische Kenngrößen

Die gemessenen physikalischen Kenngrößen der Natursteine sind in Tabelle 5 abgebildet. Die aktuell gemessenen Porositätsdaten der Natursteine wichen teilweise stark von denen in GRIMM (1990) aufgeführten Werten ab (vergleiche Tabelle 3 und 5). Das lag teilweise sicherlich an der Variabilität der Eigenschaften innerhalb eines Gesteinshorizontes. Bei den Kalksteinen war besonders der Craillsheimer Muschelkalk sehr inhomogen, wobei es bei dieser Gesteinsart ganz besonders und je nach Charge zu unterschiedlichen Werten kommen kann.

So ergaben sich bei der Lindlarer Grauwacke und dem Anröchter Grünsandstein nahezu gleiche Porositäten. Fast dasselbe Bild ergab sich beim Treuchtlinger Kalkstein und beim Craillsheimer Muschelkalk. Die magmatischen Gesteine der Serie MG zeigten dagegen die erwartete Verteilung der Porositäten wie in Kapitel 2.1, wichen jedoch erheblich von den Daten nach GRIMM (1990) ab.

Die Transporteigenschaften für Wasser hängen sehr stark von der Porenstruktur und der Porosität ab. Die Mayerner Basaltlava stand hier etwas ab, da sie zahlreiche Makroporen aufwies, die nur ge-

Bez.	Handelsname	P Vol.-%	r _m µm	ρ _b kg/m ³	C g/(m ² · s ^{0,5})	A _b Masse-%	s _d m	μ 1
MG1	Flossenbürger Granit	2,7	1,46	2.629	2,94	0,48	1,61	165,44
MG2	Selters Trachyt	14,7	0,06	2.268	8,47	4,19	0,16	17,04
MG3	Mayerner Basaltlava	34,8	8,59	1.886	8,39	3,56	0,41	41,56
SS1	Lindlarer Grauwacke	6,9	0,04	2.564	2,84	1,46	0,39	40,30
SS2	Anröchter Grünsandstein	8,0	0,03	2.556	3,07	2,45	0,47	48,25
SS3	Postaer Sandstein	19,3	26,49	2.150	486,80	5,71	0,10	10,23
KSt1	Treuchtlinger Kalkstein	3,9	0,02	2.637	0,70	0,61	2,48	261,03
KSt2	Craillsheimer Muschelkalk	5,1	0,14	2.633	1,82	0,78	1,61	161,14
KSt3	Thüster Kalkstein	21,2	0,23	2.159	9,15	6,34	2,00	203,58
MW	Klinkerfliesen	9,0	0,54	2.459	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

p = Gesamtporosität nach DIN EN 1936
r_m = Mittelwert des Porenradius bestimmt mittels Quecksilberporosimetrie (berücksichtigt werden Porengrößen zwischen 3,5 nm und 53 µm)
ρ_b = Rohdichte nach DIN EN 1936
C = kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient nach DIN EN 1925
A_b = Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck nach DIN EN 13755
s_d = wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke nach DIN EN ISO 12572 bei 50/93 % rF
μ = Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nach DIN EN ISO 12572 bei 50/93 % rF
n. b. = nicht bestimmt

Tab. 5: Ermittelte physikalische Kenngrößen der Natursteine

ring kapillaraktiv waren, was in einen verhältnismäßig kleinen Wasseraufnahmekoeffizienten resultierte, obwohl das Gestein die höchste Gesamtporosität aufwies. Bis auf den Postaer Sandstein sind die kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten bei allen Gesteinen eher gering.

Die Wasserdampfdurchlässigkeit war nach DIN EN ISO 12572 (2001) bei allen Gesteinen mittel bis gering. Die Kalksteine und der Granit zeigten Widerstandszahlen μ über 100 bzw. $s_d > 1,4$ m (Tabelle 5).

4.1.2 Porenstruktur der Natursteine, des Klinkers und des Betons

Die Porenstruktur der untersuchten Substrate in Form von Porenradienverteilungen ist in Bild 5 sowie in Form von mittleren Porengrößen in Tabelle 5 wiedergegeben. Die Substrate MG3, SSt3, KSt2 und B wiesen allerdings auch größere Porenradien auf als mit der Methode der Quecksilberdruckporosimetrie ermittelt werden konnten. Diese vier Substrate zeigten maximale Porengrößen im Bereich von 200 μm bis 2 mm. Letztere wurden lichtoptisch an Dünnschliffen mit dem Polarisationsmikroskop bestimmt.

Die Porengrößen der Substrate MG3, SSt3 (Postaer Sandstein) und B (Beton) lagen überwiegend bei Radien > 10 μm . Die Radienverteilungen von B und SSt3 waren darüber hinaus sehr ähnlich. Auffallend war, dass bei den Substraten MG1, KSt2 und MW die Porengrößen gleichförmig über den gesamten gemessenen Porenradienbereich verteilt war. Die Substrate MG2, SSt1, SSt2, KSt1 und KSt3 besaßen die häufigsten Porenradien bei deutlich unter 1 μm .

Die Porenradienverteilungen der Substrate lassen sich demzufolge in drei Kategorien einteilen:

- Radienverteilungen mit häufigsten Porenradien deutlich größer 10 μm :
 - o Mayerner Basalt-Lava (MG3),
 - o Postaer Sandstein (SSt3),
 - o Beton (B);
- Radienverteilungen mit gleichförmiger Verteilung:
 - o Flossenbürger Granit (MG1),
 - o Crailshaimer Muschelkalk (KSt2),
 - o Klinkerfliesen (MW);

- Radienverteilungen mit häufigsten Porenradien deutlich unter 1 μm :
 - o Selters Trachyt (MG2),
 - o Lindlarer Grauwacke (SSt1),
 - o Anröchter Grünsandstein (SSt2),
 - o Treuchtlinger Kalkstein (KSt1),
 - o Thüster Kalkstein (KSt3).

4.1.3 Oberflächenrauheit der Substrate

Um den Einfluss der Oberflächenrauheit der Substrate auf die Funktionalität der AGS zu untersuchen, wurde diese an den unbeschichteten Platten bestimmt. Gemessen wurde die mittlere Rauheit R_a der Substrate.

Die Oberflächenrauheit der einzelnen Substrate ist in Bild 4 und Tabelle 6 wiedergegeben. Bei den gesägten Substraten zeigte es sich, dass die porösesten Materialien auch die höchste Oberflächenrauheit aufwiesen. Insgesamt ergaben sich bei den gesägten Substraten drei Rauheitsgruppen:

- Substrate mit mittleren Rauheitswerten $R_a < 20$ μm (MG1, MG2, SSt1, SSt2, KSt1, KSt3, MW1),
- Substrate mit $20 \mu\text{m} < R_a \leq 100 \mu\text{m}$ (SSt3, KSt2, B),
- Substrate mit $R_a > 100 \mu\text{m}$ (MG3).

KSt2 ragt mit der Rauheit etwas heraus, was allerdings an der Inhomogenität des Gefüges liegt, in dem vereinzelt Makroporen in Form von nicht vollständig ausgefüllten Muschelschalen vorliegen. Die

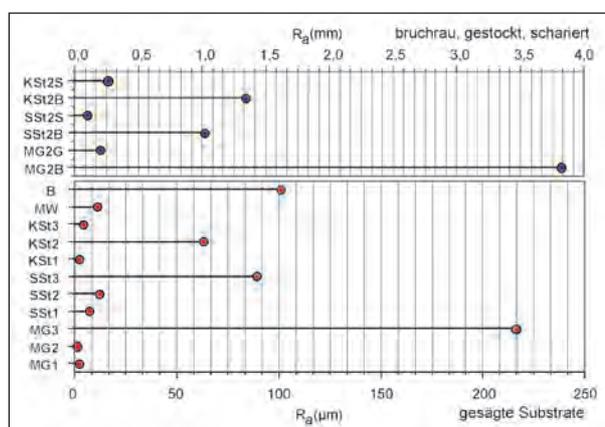


Bild 4: Mittlere Rauheit der gesägten und anderweitig bearbeiteten Substrate. Bei den gesägten Substraten wurde die Rauheit kleiner 30 μm über Laserscanning-Konfokalmikroskopie, die darüber mittels Streifenlichtprojektion bestimmt. Die Rauheit der übrigen bearbeiteten Substrate wurde über Photogrammetrie ermittelt

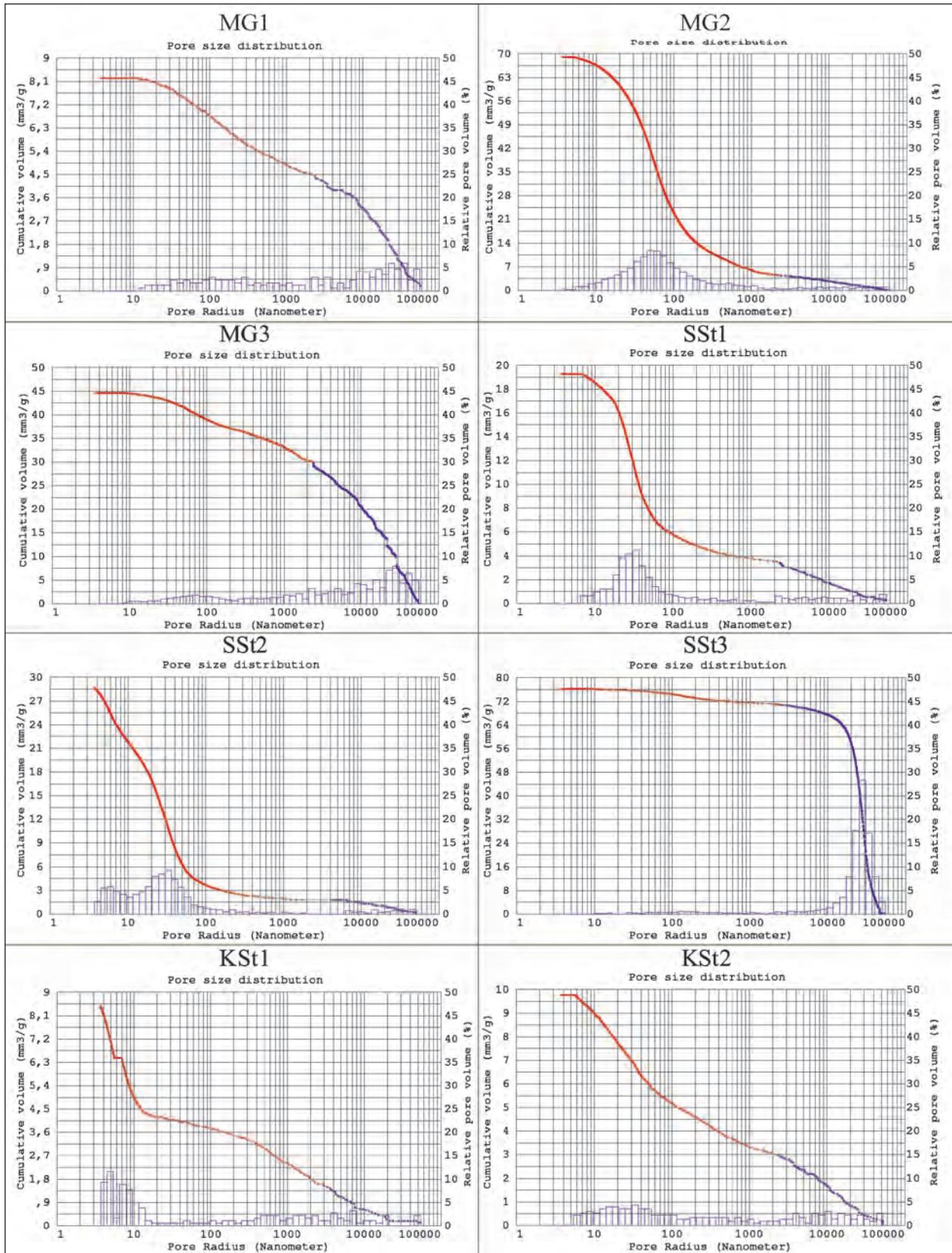


Bild 5: Porenradienverteilung der verschiedenen Substrate ermittelt mit der Quecksilberdruckporosimetrie

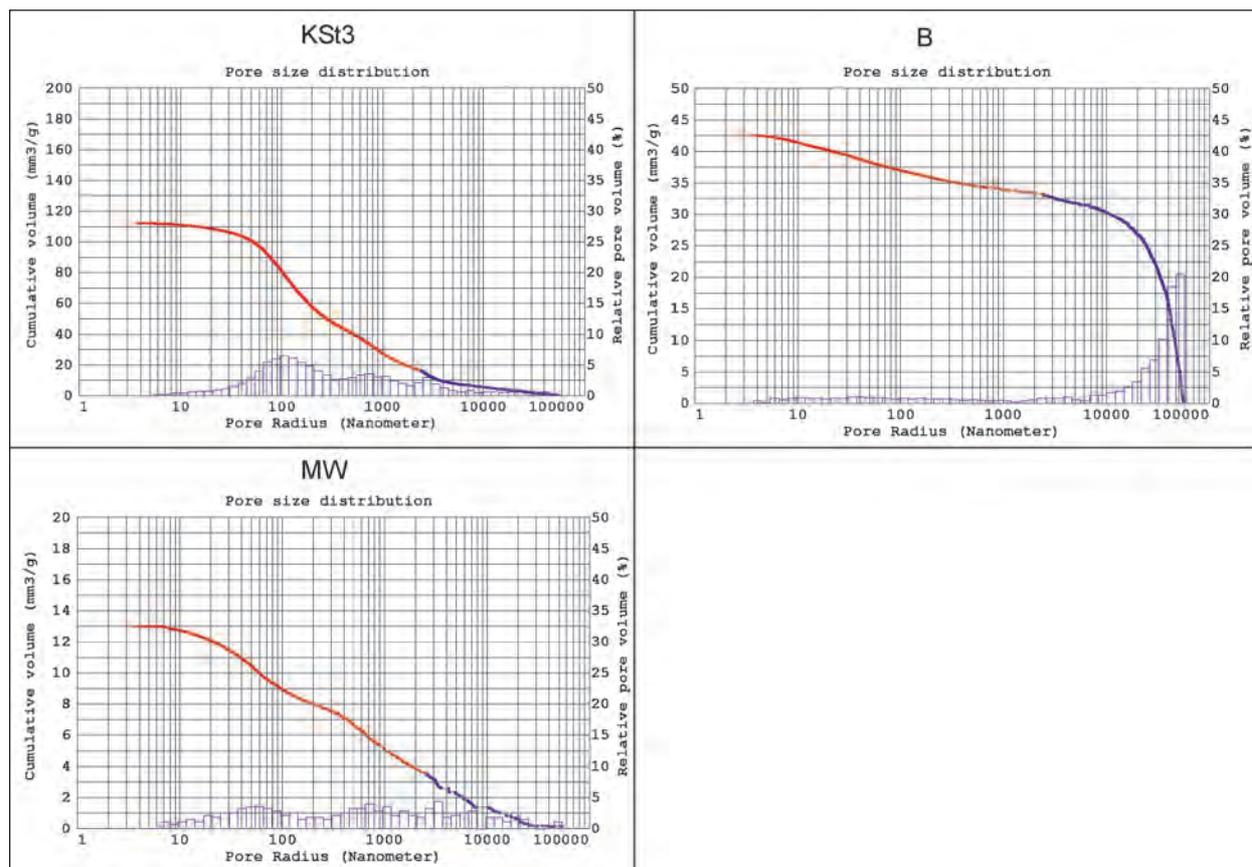


Bild 5: Fortsetzung

Mayerner Basaltlava (MG3) zeigte die höchste Rauheit, bedingt durch die zahlreichen großen Poren im Gefüge. Diese Poren werden jedoch bei der Porenradienverteilung in Bild 5 nur bedingt erfasst, da sie außerhalb des Messbereichs der Methode liegen. Die manuell bearbeiteten Oberflächen der Substrate zeigen eine wesentlich höhere Rauheit, wobei die bruchrauen Prüfkörper MG2B, SSt2B und KSt2B mit R_a zwischen 1 mm und 4 mm am höchsten sind. Die scharrierten und gestockten Oberflächen von MG2G, SSt2S und KSt2S zeigten dagegen eine Rauheit zwischen 0,1 und 0,3 mm.

4.1.4 Petrographische Charakterisierung der Natursteinsubstrate

Flossenbürger Granit MG1

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): gelbgrauer, mittelkörniger Granit mit regellos körnigem Gefüge. Zu erkennen sind Körner von Quarz, Feldspat und Glimmer in Form von Biotit.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): regelloses, granoblastisches Gefüge mit xenomorphen bis hypidiomorphen Einzelkristallen. Sichtbarer Porenraum

ist nicht vorhanden. Bestehend aus Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas, Biotit, Chlorit und Akzessorien.

Klassifikation: Granit.

Selters Trachyt MG2

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): gräulich blaues feinkörniges Gestein mit Einsprenglingen von Feldspat, Hornblende und Biotit. Regelloser Gefüge.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): Grundmasse bestehend aus hypidiomorphen Feldspäten und vulkanischem Glas. Bis 8 mm große Blasten bestehend aus Alkalifeldspat, Biotit und Hornblende in idiomorphen bis hypidiomorphen Kristallen. Weitere Phasen sind Erze, Apatit und Zirkon in Form von akzessorischen Einsprenglingen. Porenraum nur innerhalb der Alkalifeldspatblasten erkennbar.

Klassifikation: Trachyt.

Mayerner Basalt-Lava MG3

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): dunkelgraue Farbe von homogenem Aussehen mit vereinzelt

Einsprenglingen. Zahlreiche blasenförmige Poren erkennbar.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): richtungslos, blasiges Gefüge bestehend aus feinkörniger Grundmasse mit zahlreichen blasigen Poren von bis zu 0,8 mm Durchmesser. Größere Einsprenglinge bestehend aus Leucit, Plagioklas, Pyroxen, Nosean.

Klassifikation: Leucit-Tephrit-Lava.

Lindlarer Grauwacke SSt1

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): sehr feinkörniges bräunlich bis rötlichgrauer Gestein mit homogenem Gefüge. Teilweise ist eine unregelmäßige Streifung von Eisenhydroxiden erkennbar.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): klastische kantige Körner mit guter Sortierung. Schichtung durch Einregelung von Glimmern angedeutet. Sichtbarer Porenraum ist nicht vorhanden. Bestehend überwiegend aus Quarz mit geringeren Anteilen an Feldspäten und Gesteinsbruchstücken. Weiterhin sind geringe Anteile von Muskovit und Biotit sowie Erze vorhanden.

Klassifikation: Subarkose.

Anröchter Grünsandstein SSt2

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): graugrünes dichtes, sehr feinkörniges Gestein. Teilweise mit dunkelgrünen Fossilresten und lagigen Anreicherungen einer dunkelgrünen tonigen Fraktion.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): matrixgestütztes Gefüge überwiegend bestehend aus Carbonat (mikritisch) und Ton. Kantige bis gerundete Klasten bestehend überwiegend aus Quarz, Carbonat (teilw. Schalenreste), Gesteinsbruchstücken und Glaukonit. Sichtbarer Porenraum ist nicht erkennbar.

Klassifikation: Klastischer Biomikrit.

Postaer Sandstein SSt3

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): hellgelber bis hellbrauner mittel- bis grobkörniger Sandstein. Eisenhydroxide erzeugen eine bräunliche Bänderung bzw. fleckige Verfärbungen.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): klastische Körner, schlecht gerundet mit moderater bis schlechter Sortierung. Sehr geringer Bindemittelan-

teil. Meist direkte Korn-Kornkontakte mit Anwachs-säumen von Quarz. Sichtbarer Porenraum deutlich vorhanden mit Porendurchmessern bis 0,2 mm. Bestehend überwiegend aus polykristallinem Quarz.

Klassifikation: lithischer Arenit.

Treuchtlinger Kalkstein KSt1

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): beiger Kalkstein von dichtem Gefüge. Mehrere Millimeter große Bruchstücke von Fossilien sind erkennbar.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): Gefüge überwiegend bestehend aus Carbonat. Mikritische Komponenten mit größeren Fossilresten in Form von Kieselschwämmen und Schalen von Brachio-poden und Muscheln. Sichtbarer Porenraum ist nicht erkennbar.

Klassifikation: Biomikrit.

Crailsheimer Muschelkalk KSt2

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): dunkelgrauer Schalenkalkstein mit bräunlichen Einsprenglingen von Eisenhydroxid. Stellenweise dichtes Gefüge mit lagigen Bereichen erhöhter Porosität in Form von Schalenresten. Schichtung durch Einregelung der Schalenreste deutlich.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): Gefüge durch die mehreren Millimeter großen Schalenreste sehr inhomogen. Matrix ist mikritisch mit Neigung zu Sammelkristallisationen. Überwiegend bestehend aus Carbonat mit vereinzelt Klasten aus Quarz und Gesteinsbruchstücken.

Klassifikation: Biomikrit.

Thüster Kalkstein KSt3

Makroskopische Erscheinung (Bild 2): bräunlich beiger mittelkörniger Kalkstein ohne makroskopisch erkennbare Schichtung. Homogenes Gefüge.

Mikroskopische Erscheinung (Bild 6): klastische Komponenten bestehend aus Ooide, biogene und silikatische Klasten sind verbunden mit einem feinkörnige sparitischen Zement. Überwiegend bestehend aus Carbonat mit geringen Anteilen an Quarz (häufig im Zentrum der Ooide). Sichtbare Poren erreichen Durchmesser bis 0,5 mm.

Klassifikation: Biosparit.

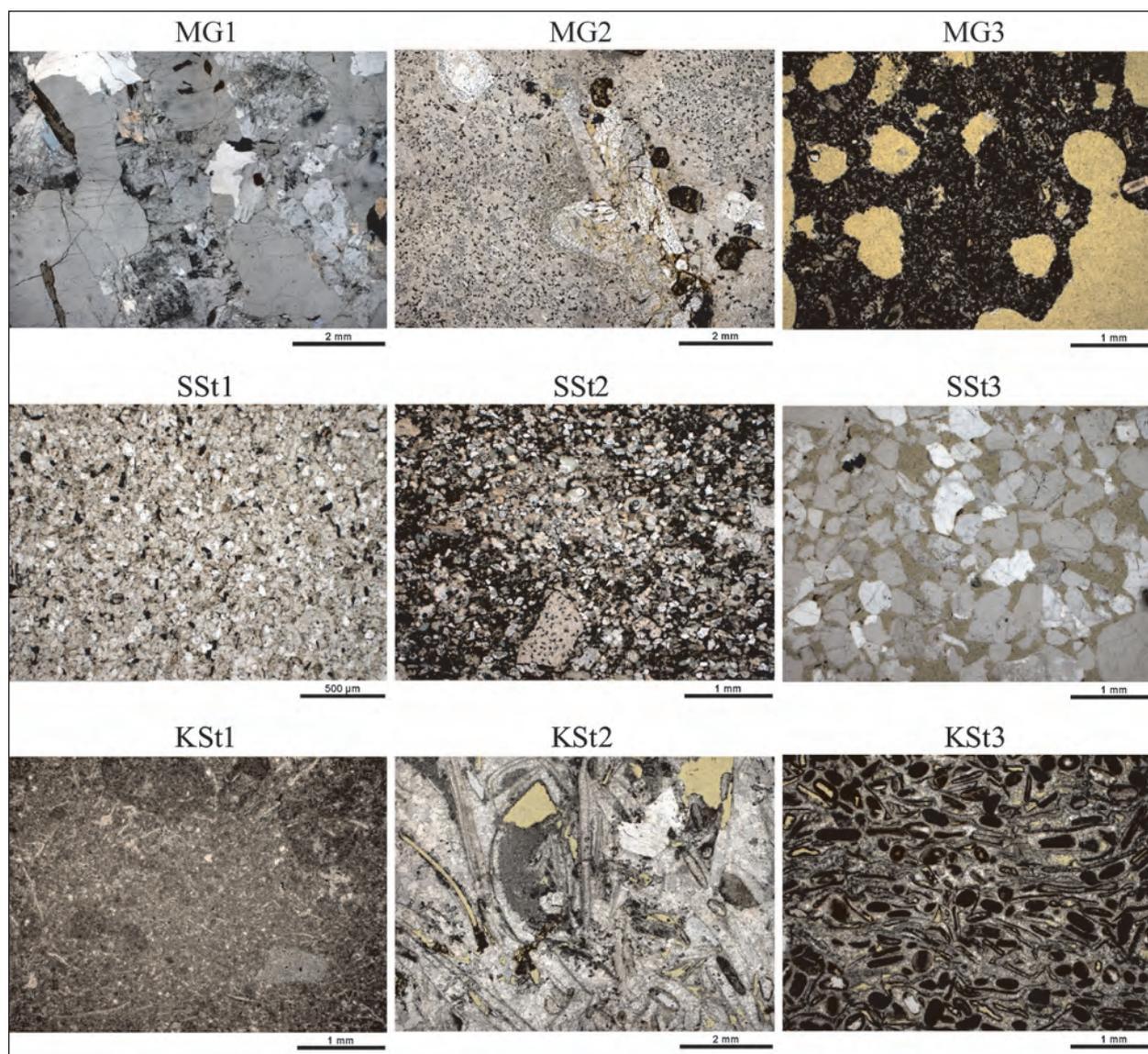


Bild 6: Die neun verschiedenen Gesteinsvarietäten unter dem Mikroskop. Obere Reihe von links nach rechts: Flossenbürger Granit (MG1), Selters Trachyt (MG2), Mayerner Basalt-Lava (MG3). Mittlere Reihe: Lindlarer Grauwacke (SS1), Anröchter Grünsandstein (SS2), Postaer Sandstein (SS3). Untere Reihe: Treuchtlinger Kalkstein (KSt1), Crailshaimer Muschelkalk (KSt2), Thüster Kalkstein (KSt3). Alle Aufnahmen wurden unter parallel polarisiertem Licht mittels Polarisationsmikroskopie hergestellt

4.2 Prüfungen an den Verbundkörpern

4.2.1 Auftragsmengen von AGS1 und AGS2 sowie deren Schichtdicken

Vor der Durchführung der Prüfungen an den Verbundkörpern wurden die Auftragsmengen der beiden Anti-Graffiti-Systeme auf den verschiedenen Substraten bestimmt. Dies wurde durch einfache Differenzwägung vor und nach der Applikation der Prophylaxeschicht realisiert. Für AGS1 wurden zwei Aufträge durchgeführt. Es zeigte sich hierbei, dass nach dem ersten Auftrag die hydrophobierende Wirkung des Mittels schon zur Wirkung kam,

was eine mehr oder weniger fleckige Verteilung der zweiten Applikation der wässrigen Suspension zur Folge hatte. Das AGS2 wurde gemäß den Herstellerangaben in drei Applikationsschritten aufgebracht.

Die Auftragsmengen für die verschiedenen Substrate sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die verschiedenen Substrate nahmen sehr unterschiedliche Mengen an Mittel auf, wobei die Auftragsmengen von AGS2, da dreimal beschichtet, etwas höher waren als die von AGS1 (Tabelle 6).

In Bild 7 sind die Auftragsmengen für AGS1 und AGS2 über die Porosität und die Oberflächenrau-

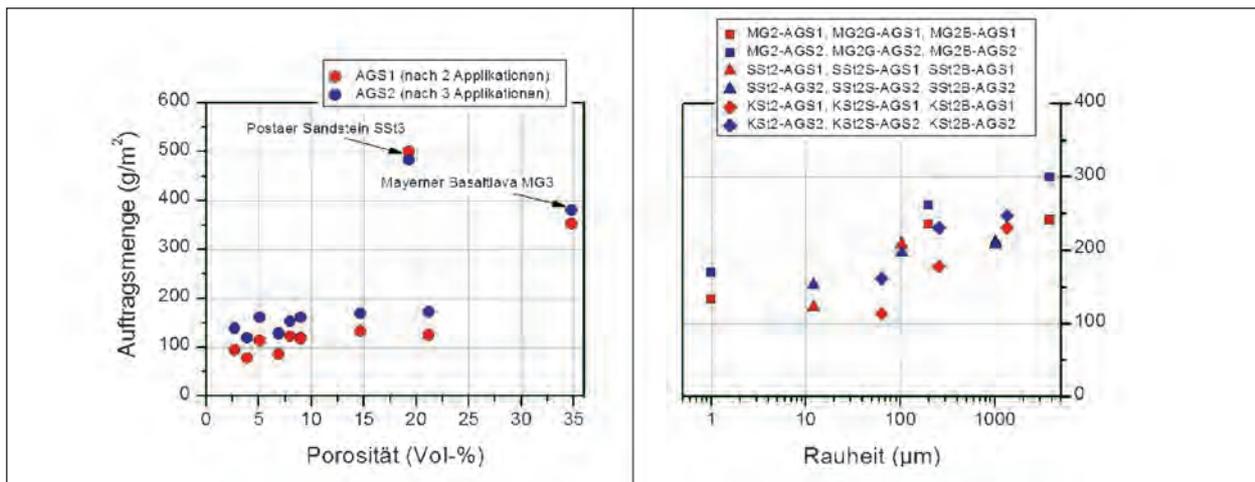


Bild 7: Vergleich Porosität und der Rauheit der Substrate mit den Auftragsmengen von AGS1 und AGS2. Im Diagramm mit der Porosität sind nur die gesägten Natursteinsubstrate aufgeführt, im Diagramm mit der Rauheit nur die Natursteinsubstratsreihen mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung (gesägt, scharriert/gestockt, bruchrau)

Substrat	Porosität Vol.-%	mittlere Rauheit µm	Mittlere Auftragsmenge g/m ²	
			AGS1	AGS2
MG1	2,7	2	94	139
MG2	14,7	1	133	169
MG3	34,8	216	353	381
SSt1	6,9	7	86	128
SSt2	8,0	12	122	153
SSt3	19,3	89	500	483
KSt1	3,9	2	78	119
KSt2	5,1	63	114	161
KSt3	21,2	4	125	172
B	nicht best.	101	389	783
MW	9,0	11	119	161
MG2B	14,7	3.817	242	300
MG2G	14,7	197	236	261
SSt2B	8,0	1.017	211	208
SSt2S	8,0	103	208	197
KSt2B	5,1	1.341	231	247
KSt2S	5,1	255	178	231

Tab. 6: Mittlere Auftragsmengen der AGS auf die Substrate. Die Daten wurden gemittelt aus der Auftragsmenge von 4 Platten. AGS1 wurde zweimal appliziert, AGS2 dreimal

heit der Substrate aufgezeichnet. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit in der Weise, dass die Auftragsmenge mit der Oberflächenrauheit ansteigt. Bei der Porosität hingegen scheint zwar bei niedrigen Porositäten die Auftragsmenge leicht anzusteigen, diese flacht jedoch bei einer Porosität über 10 Vol.-% stark ab.

Eine Ausnahme bildeten die Mayerner Basaltlava (MG3), der Postaer Sandstein (SSt3) und der Beton B. Letztere Gesamtporosität wurde zwar nicht bestimmt, jedoch ergaben die Porenradienverteilung und die mittels Hg-Porosimetrie ermittelten Porositäten ähnliche Werte wie SSt3, sodass die Gesamtporosität des Betons in einem ähnlichen Bereich liegen dürfte. Alle drei Substrate zeigten um das Doppelte bis Dreifach höhere Auftragsmengen. Diese dürften vermutlich mit der jeweiligen Porenradienverteilung verknüpft sein, da diese die häufigsten Porenradien bei sehr großen Porendurchmessern besitzen. Insgesamt lagen die Auftragsmengen bei den gesägten Substraten, bis auf die drei Ausnahmen, unter 200 g/m². Die bruchraue bzw. gestockte/scharrierte Oberflächenbearbeitung hingegen erhöhte den Bedarf an Anti-Graffiti-Mittel zwischen 1/4 und 1/2 der Auftragsmenge verglichen mit gesägten Substraten.

Die Dicke der Prophylaxeschichten wurde auf Glasträgern mittels Konfokalmikroskopie bestimmt. Dazu wurden auf Glasträger, die zur Hälfte mit Klebefolie abgedeckt waren, AGS in etwa der gleichen Auftragsmenge wie bei MG1 verwendet. Nach Trocknung und nach Abziehen der Klebefolie wurde der Schichtdickenunterschied zwischen Glas- und Beschichtungsoberfläche am Konfokalbild gemessen. Bei AGS1 betrug die mittlere Schichtdicke 2 µm, bei AGS2 4 µm.

4.2.2 Glanzgrad und Farbänderungen

Für die Änderung des Glanzgrads und der Farbdaten von Betonsubstraten sind nach TL-AGS Grenzwerte vorgesehen. Diese Grenzwerte gelten

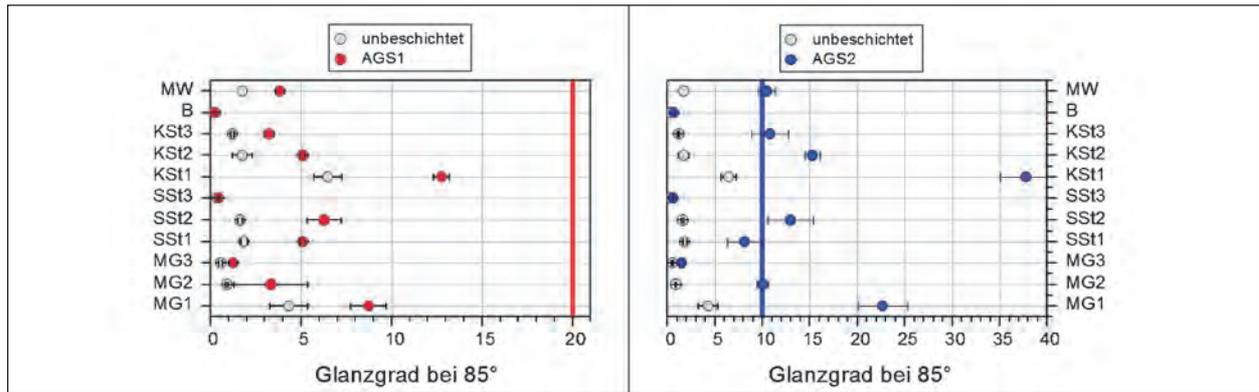


Bild 8: Ergebnisse der Glanzmessung für unbeschichtete und mit AGS1 sowie AGS2 beschichtete gesägte bzw. unbearbeitete (B, MW) Substrate. Daten sind nicht gerundet. Die Grenzwerte sind als vertikale blaue und rote Linien eingetragen

daher auch nur für das in der TP beschriebene Substrat. Dessen ungeachtet wurden für die verschiedenen Substrate die Reflexions- und Farbdaten vor und nach dem Auftrag der zwei Prophylaxeschichten bestimmt. Gemessen wurden ausschließlich die gesägten Proben. Bei den bruchrauen, scharrierten und gestockten Platten konnten keine konsistenten Reflexions- und Farbdaten bestimmt werden.

Tabelle 7 und Bild 8 geben die Ergebnisse der Glanzmessungen wieder. Es zeigte sich, dass AGS1 bei keinen der Substrate den Grenzwert von 20 überschritten hatte. Allerdings ergaben sich bei fast allen Substraten in etwa doppelte Glanzwerte im Vergleich zu den unbeschichteten Platten. Das Betonsubstrat (B), die Mayerner Basaltlava (MG3) und der Postaer Sandstein (SSt3) zeigten dagegen keine Änderungen der Werte.

Bei AGS2 ergaben sich wesentlich größere Abweichungen. Der etwas strikter gesetzte Grenzwert von 10 wurde in 5 Fällen überschritten. Das Betonsubstrat (B), die Mayerner Basaltlava (MG3) und der Postaer Sandstein (SSt3) zeigten keine oder eine nur geringe Änderungen der Reflexion nach der Beschichtung mit AGS2. Alle anderen Substrate zeigten dagegen eine bis zu 6fach höhere Reflexion infolge der AGS2-Applikation. Dies machte sich bei den betroffenen Proben durch ein speckiges Aussehen der Oberfläche bemerkbar.

Die Proben B, MG3 und SSt3 hatten die größten Mengen der Reagenzien von AGS1 und AGS2 aufgenommen, trotzdem wiesen diese die geringsten Reflexionswerte aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Mittel auf diesen Substraten aufgrund der hohen Porosität und großen Poren nicht

Bez.	unbeschichtet		AGS1		AGS2	
	85°	STAB	85°	STAB	85°	STAB
MG1	4	1	9	1	23	3
MG2	1	0	3	2	10	1
MG3	1	0	1	0	2	0
SSt1	2	0	5	0	8	2
SSt2	2	0	6	1	13	2
SSt3	0	0	0	0	1	0
KSt1	6	1	13	0	38	3
KSt2	2	1	5	0	15	1
KSt3	1	0	3	0	11	2
B	0	0	0	0	1	0
MW	2	0	4	0	10	1

Tab. 7: Mittelwerte der Glanzdaten mit Standardabweichungen (gemessen an 4 Platten, gerundet auf ganze Zahlen). Es sind die Daten vor und nach der Beschichtung mit AGS1 und AGS2 aufgeführt. Die Werte, die über dem Grenzwert von 20 (AGS1) bzw. 10 (AGS2) liegen, sind markiert

als Beschichtung auf der Oberfläche verblieb, sondern wie eine Imprägnierung in die Substrate eingedrungen ist. Gleichzeitig besaßen diese Substrate die höchste Oberflächenrauheit. Der Glanzgrad wurde deshalb eher durch diese Parameter festgelegt als durch die jeweilige Prophylaxeschicht.

Obwohl bei beiden Schichten, die auf dem Betonsubstrat aufgebracht wurden, die Grenzwerte für den Glanzgrad weit unterschritten wurden, ergaben sich für die anderen Substrate teilweise große Unterschiede. Allerdings konnte keine direkte Korrelation zwischen der Oberflächenrauheit und dem Glanzgrad festgestellt werden (Bild 9). Dagegen zeigten die Werte eine deutliche Abhängigkeit von

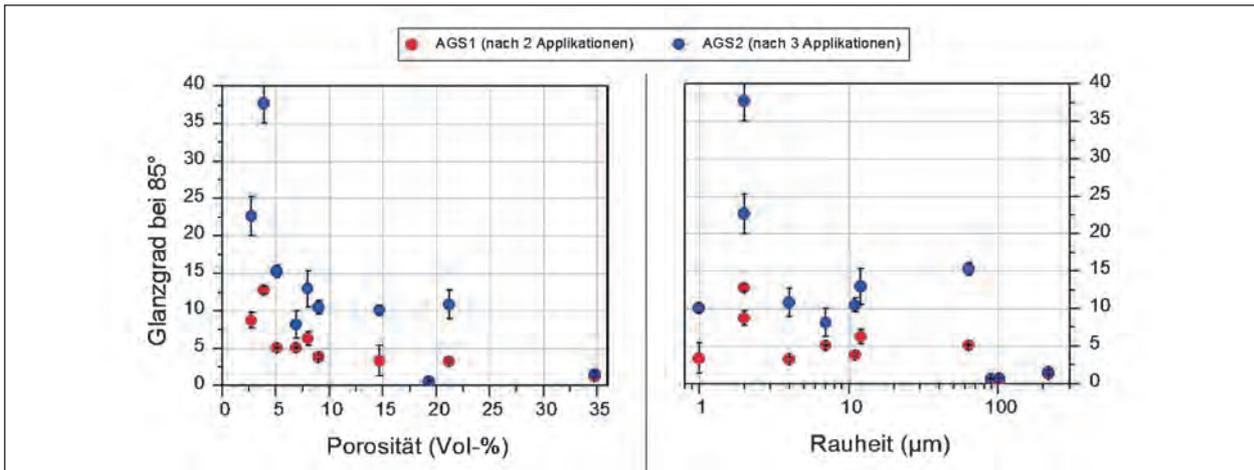


Bild 9: Vergleich Gesamtporosität und der Rauheit der Substrate mit den Glanzwerten von AGS1 und AGS2. Daten sind nicht gerundet

Bez.	Differenz AGS1						Differenz AGS2					
	ΔL^*	STAB	Δa^*	STAB	Δb^*	STAB	ΔL^*	STAB	Δa^*	STAB	Δb^*	STAB
MG1	10	1	1	0	6	1	4	1	0	0	3	0
MG2	2	2	0	0	1	2	2	0	0	0	2	0
MG3	3	1	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0
SS1	12	1	1	0	2	1	2	1	0	0	1	0
SS2	4	0	0	0	1	0	3	0	0	0	1	0
SS3	5	1	2	0	4	1	4	1	1	0	4	1
KSt1	12	1	2	0	7	1	4	0	0	0	2	0
KSt2	13	1	1	0	3	1	6	1	0	0	2	0
KSt3	8	0	2	0	4	0	4	0	1	0	2	0
B	7	0	1	0	5	0	3	2	0	0	1	1
MW	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0

Tab. 8: Mittelwerte der Differenzfarbdaten (gerundet auf ganze Zahlen) zwischen unbeschichteten und beschichteten Platten (jeweils 4 Platten gemessen). Die Werte, die über den Grenzwerten für $\Delta L^* \leq |20|$, $\Delta a^* \leq |1|$ und $\Delta b^* \leq |5|$ (AGS1) bzw. $\Delta L^* \leq |10|$, $\Delta a^* \leq |1|$ und $\Delta b \leq |5|$ (AGS2) liegen, sind markiert

der Porosität (Bild 9), wobei je kleiner die Porosität, desto größer der Glanzgrad erschien.

Die Farbänderungen der Grundkörper infolge des Auftrags der Graffiti prophylaxen sind in Tabelle 8 und in Bild 10 aufgetragen. Geringe Überschreitungen der Grenzwerte traten nur beim AGS1 bei den Δa^* -Werten (in 3 Fällen) und den Δb^* -Werten (in 2 Fällen) auf. Die ΔL^* -Werte lagen alle unterhalb des Grenzwerts für die erlaubte Farbänderungen. Beim AGS2 traten keine Überschreitungen der Grenzwerte für die Farbänderungen auf. Im Gegensatz zu den Glanzdaten scheinen die Substrate nur einen geringen Einfluss auf die Farbdifferenzen auszuüben. Zu berücksichtigen ist, dass bei Beton die Lab-Werte des Grundkörpers nach TP-AGS vorgegeben und die Grenz-

werte für $\Delta(\text{Lab})$ an die Lab-Werte des Betonsubstrats angepasst sind. Die Farbkriterien für Beton können deshalb nicht unmittelbar auf farbige Substrate mit anderen Lab-Werten angewendet werden.

4.2.3 Einfluss der AGS auf die Wasserdampfdiffusion und kapillare Wasseraufnahme der Substrate

Die Transportkennwerte für Wasser in flüssiger und gasförmiger Form sind ein wichtiges Kriterium von Graffiti prophylaxe, insbesondere bei Naturstein. Wird die Wasserdampfdiffusion wesentlich behindert, kann es zu Folgeschäden im Substrat in Form von Oberflächenabplatzungen kommen.

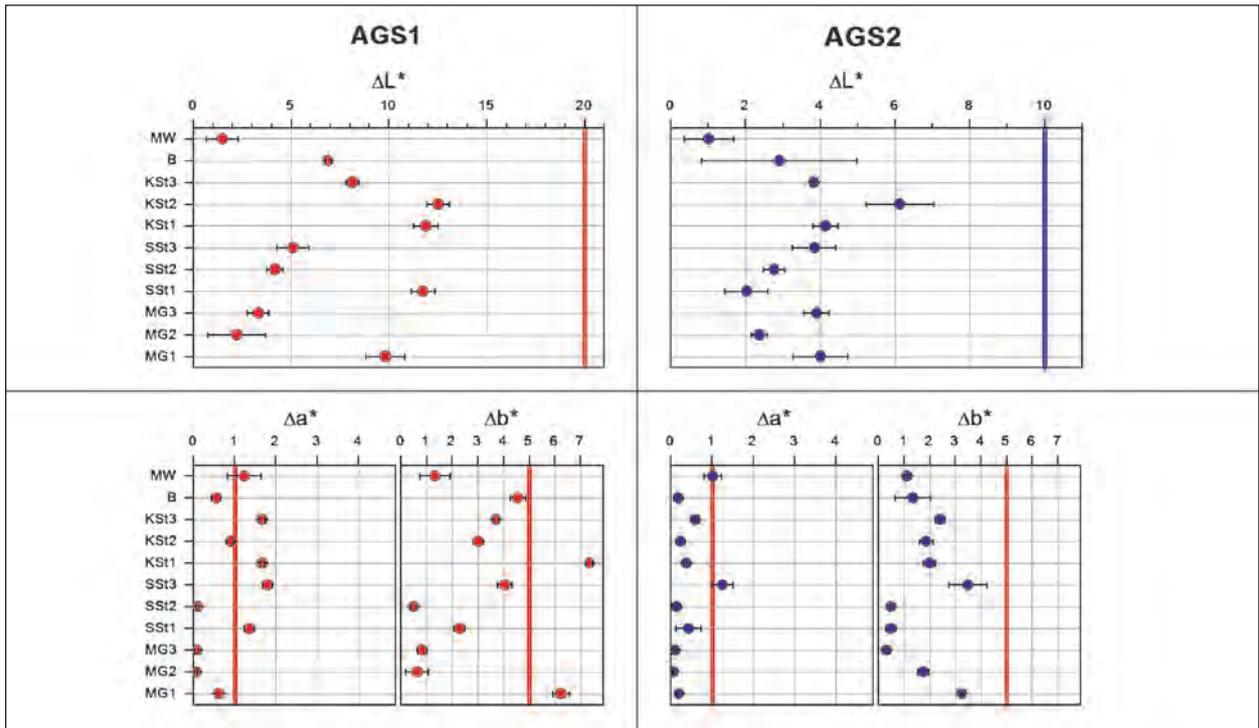


Bild 10: Farbänderung der gesägten bzw. unbearbeiteten (B, MW) Substrate durch den Auftrag der Graffitiprophylaxe. Die Farb- werte sind nicht gerundet. Grenzwerte sind als rote und blaue vertikale Linien eingetragen

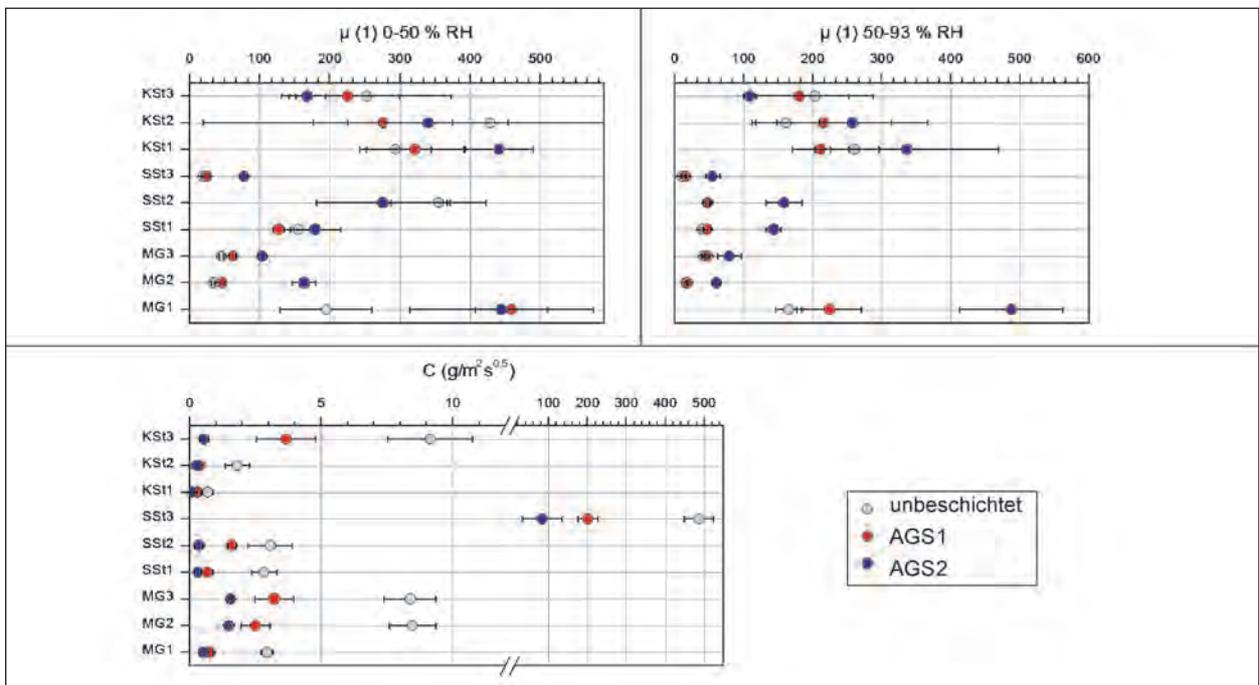


Bild 11: Änderungen des kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten (C) und der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ durch den Auftrag der Graffitiprophylaxe

Der kapillare Wasseraufnahmekoeffizient sowie die Dampfdiffusionskennwerten s_d und μ wurden deshalb erst an unbeschichteten und anschließend an den mit Prophylaxe beschichteten Natursteinprobenkörpern bestimmt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Bild 11 und Tabelle 9 aufgeführt.

Die Ergebnisse für den kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten zeigten, dass fünf der neun unbeschichteten Natursteinsubstrate einen Wert für $C < 5 g/(m^2 s^{0.5})$ aufweisen, was sehr gering ist. Weiterhin wurde beobachtet, dass die Applikation von beiden Systemen eine starke Reduzierung von

C zur Folge hat. Hierbei wird die Wasseraufnahme stärker von AGS2 als von AGS1 reduziert. AGS1 vermindert C um etwa die Hälfte, AGS2 um bis zu 1/9 des Werts der unbeschichteten Probe. Dies zeigt, dass beide Mittel stark hydrophobierend wirken.

Die Ergebnisse der Wasserdampfdiffusionskennwerte sind dagegen weniger deutlich ausgeprägt. Die in Bild 11 dargestellten μ -Werte der unbe-

schichteten Proben zeigen teilweise extrem hohe Standardabweichungen, was auf eine entsprechende Streuung der Messwerte zurückzuführen ist. Die Erhöhung der Diffusionswiderstandszahl μ durch die Applikationen der Graffitiprohylaxe ist deshalb nicht bei allen Substraten konsistent. Am besten lassen sich die Ergebnisse des Messbereichs 50-90 % RF interpretieren. Hier zeigte das AGS2 einen stärkeren Einfluss auf die Widerstandszahl als das AGS1. AGS1-beschichtete Proben besaßen um

Bez.		MG1	MG2	MG3	SSt1	SSt2	SSt3	KSt1	KSt2	KSt3
unbehandelt	C g/(m ² · s ^{0,5})	2,94	8,47	8,39	2,84	3,07	486,80	0,70	1,82	9,15
	STAB	0,23	0,88	0,98	0,47	0,84	37,11	0,21	0,45	1,60
AGS1	C g/(m ² · s ^{0,5})	0,77	2,52	3,22	0,67	1,61	201,51	0,30	0,40	3,67
	STAB	0,12	0,54	0,73	0,22	0,15	24,74	0,13	0,00	1,13
AGS2	C g/(m ² · s ^{0,5})	0,54	1,49	1,56	0,32	0,36	84,22	0,09	0,28	0,55
	STAB	0,07	0,04	0,05	0,12	0,14	50,72	0,04	0,19	0,16
Unbehandelt (0-50 % RF)	s _d m	1,9	0,3	0,5	1,5	3,4	0,2	2,8	4,3	2,5
	STAB	0,6	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0	0,5	4,2	1,2
	μ 1	194,8	34,2	46,0	155,0	355,1	19,1	293,4	428,5	252,2
	STAB	65,5	2,1	3,2	30,0	67,3	1,8	51,0	408,2	120,4
AGS1 (0-50 % RF)	s _d m	4,5	0,5	0,6	1,2	2,7	0,3	3,1	2,8	2,2
	STAB	0,5	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,7	1,0	0,7
	μ 1	458,9	46,8	61,8	127,1	274,4	25,3	322,0	276,2	225,2
	STAB	51,0	3,1	4,0	8,2	92,9	3,2	68,9	99,3	73,5
AGS2 (0-50 % RF)	s _d m	4,6	1,5	1,0	1,8	2,6	0,8	4,3	3,2	1,6
	STAB	1,1	0,1	0,0	0,4	0,8	0,1	0,7	1,0	0,2
	μ 1	444,9	163,0	103,8	179,5	276,1	77,9	441,2	339,6	167,9
	STAB	131,0	16,6	5,4	35,7	95,3	4,9	48,1	114,6	26,1
Unbehandelt (50-93 % RF)	s _d m	1,6	0,2	0,4	0,4	0,5	0,1	2,5	1,6	2,0
	STAB	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	0,8
	μ 1	165,4	17,0	41,6	40,3	48,3	10,2	261,0	161,1	203,6
	STAB	18,8	0,5	2,2	2,4	2,1	1,0	35,5	48,8	84,4
AGS1 (50-93 % RF)	s _d m	2,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	2,0	2,2	1,8
	STAB	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	1,0	0,7
	μ 1	224,2	18,9	48,7	47,4	47,1	16,2	211,4	215,7	180,3
	STAB	46,7	0,8	1,7	5,2	5,2	1,2	40,7	97,9	72,3
AGS2 (50-93 % RF)	s _d m	5,1	0,6	0,8	1,5	1,5	0,6	3,3	2,4	1,1
	STAB	0,7	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	1,4	1,1	0,1
	μ 1	487,9	60,4	79,5	143,5	158,7	55,1	336,5	257,5	109,1
	STAB	74,5	5,5	16,8	11,1	26,2	10,5	133,2	108,8	8,6

C = kapillarer Wasseraufnahmemkoeffizient DIN EN 1925

s_d = wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke nach DIN EN ISO 12572

μ = Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nach DIN EN ISO 12572

Tab. 9: Daten zu der kapillaren Wasseraufnahme und der Wasserdampfdiffusion der unbeschichteten und mit AGS1 und 2 beschichteten Probenkörper. Mittelwerte von 3 bis 6 Proben. Für Beton und Mauerwerkskörper wurden keine Transportkennwerte bestimmt, da diese keine homogenen Körper darstellten (bei Betonplatten Vorsatzschicht, bei Mauerwerkskörper dünne Klinkerplatte)

maximal 1,5fach erhöhte Widerstandszahlen gegenüber den unbeschichteten Proben. Proben, auf denen AGS2 aufgebracht wurde, zeigten dagegen um bis zu 3fach höhere Widerstandszahlen für die Wasserdampfdiffusion.

Die grobporigen hochporösen Substrate MG3 und SSt3 zeigen hierbei die geringste Erhöhung. Die größte Erhöhung von μ ergab sich hingegen bei den geringporösen feinporigen Substraten. Die Kalksteine zeigten hierbei hohe Standardabweichungen und entsprechend ambivalente Ergebnisse. Teilweise kam es zu einer Verringerung von μ infolge der Beschichtung (KSt1 und KSt3), was an einer hohen Streuung der Messwerte infolge inhomogener Proben lag.

4.2.4 Funktionalität AGS1

Die Bestimmung der Funktionalität des AGS1 auf den verschiedenen Substraten erfolgte nach jedem

Reinigungszyklus. Es wurden die Farbfunktionalitäten und daraus die Plattenfunktionalitäten gebildet. Die Funktionalität des AGS wurde als Mittelwert von drei Plattenfunktionalitäten errechnet. Nach Vorgabe wurden 10 Zyklen des Farbmittelauftrags, der Reinigung und der Prüfung der Funktionalität mit den entsprechenden Lagerungszeiten durchgeführt.

Tabelle 10 und Bild 12 geben die Ergebnisse der Funktionalitätsprüfung in Abhängigkeit von der Anzahl der Zyklen wieder. In Tabelle 10 sind auch die Nullproben, d. h. die Einzelplatten, berücksichtigt, die keine Prophylaxeschicht aufwiesen, aber mit Farbmittel versehen waren und der normalen Reinigungsprozedur unterzogen wurden. Wenn eine Plattenserie über dem Grenzwert für F_{AGS} von 10 lag, wurden noch 3 weitere Reinigungszyklen durchgeführt. Lag F_{AGS} für das entsprechende Substrat dann immer noch über dem Grenzwert, so wurde das Substrat aus der Prüfung genommen.

Bez.	-0 (Nullprobe)										-AGS1										
	1 Zyklus	2 Zyklen	3 Zyklen	4 Zyklen	5 Zyklen	6 Zyklen	7 Zyklen	8 Zyklen	9 Zyklen	10 Zyklen	1 Zyklus	2 Zyklen	3 Zyklen	4 Zyklen	5 Zyklen	6 Zyklen	7 Zyklen	8 Zyklen	9 Zyklen	10 Zyklen	
MG1	10	9	9	8	12	13	12	13	8	12	3	1	2	1	2	3	2	2	3	3	
MG2	13	12	13	13	17	19	15	17	20	18	5	4	5	5	8	8	7	8	9	10	
MG3	16	20	20	23	/						10	15	15	17	/						
SSt1	10	7	13	11	13	14	13	13	18	13	0	0	0	0	0	2	2	3	4	6	
SSt2	9	5	9	11	10	9	10	9	10	14	0	0	1	1	1	2	2	2	3	6	
SSt3	25	25	23	/						11	11	18	/								
KSt1	8	5	5	7	12	8	8	9	9	10	1	1	2	2	2	3	4	4	4	4	
KSt2	10	7	7	12	12	12	12	13	12	13	3	3	4	5	6	6	6	6	6	8	
KSt3	16	14	19	16	18	20	16	19	17	17	3	6	7	5	6	8	7	7	9	10	
B	5	6	8	8	14	10	/			8	9	9	10	17	14	/					
MW	0	0	10	10	8	5	5	5	10	11	0	0	3	2	3	3	4	5	10	9	
MW-F	0	0	3	2	3	3	4	5	10	11	0	0	3	2	3	3	4	5	10	9	
MW-K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MG2B	16	22	22	20	21	23	/			8	9	9	11	12	13	/					
MG2G	20	21	21	21	22	21	19	22	21	X	6	7	8	8	11	10	12	13	13	X	
SSt2B	17	18	15	18	21	21	17	19	21	X	3	3	5	6	8	8	11	12	12	X	
SSt2S	17	18	20	18	20	19	17	21	22	19	2	3	2	2	3	3	6	9	9	11	
KSt2B	15	21	21	20	20	22	/			7	9	8	10	12	13	/					
KSt2S	9	16	18	n. b.	15	14	14	19	14	15	3	6	6	8	9	8	9	9	10	11	

MW-F = Mauerwerkskörper: Funktionalität nur Fugen
 MW-K = Mauerwerkskörper: Funktionalität nur Klinkerfließen
 n. b. = nicht bestimmt

Tab. 10: Ergebnisse der Funktionalitätsprüfung für AGS1. Angegeben ist die Funktionalität F_{AGS} der unbeschichteten Substrate (-0) und der mit AGS1 beschichteten (-AGS1). Die grau markierten Ergebnisse liegen über dem Grenzwert für die Funktionalität von $F_{AGS1} \leq 10$. Die durchgestrichenen Kästchen markieren den Abbruch der Reinigung

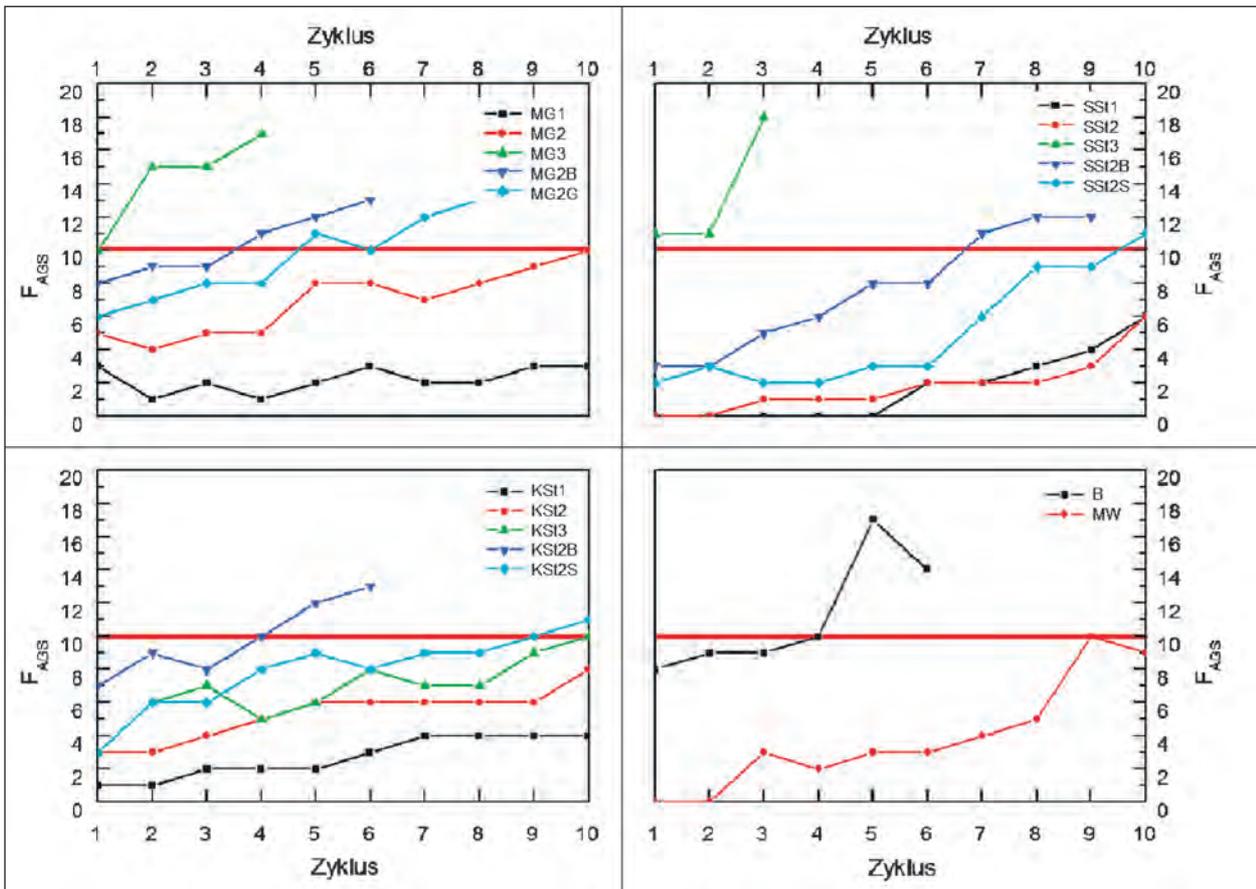


Bild 12: Reinigungswirkung in Form der AGS-Funktionalität F_{AGS} über die Anzahl der Zyklen. Der Grenzwert $F_{AGS} \leq 10$ ist als rote horizontale Linie eingetragen

Besonders in Bild 12 ist zu erkennen, dass die Funktionalitäten der einzelnen Substrate stark unterschiedlich ausfielen. Bei den gesägten Natursteinsubstraten lagen MG3 und SSt3 schon nach einem bzw. zwei Zyklen über dem Grenzwert für F_{AGS} . Der Beton überschritt nach nur 5 Zyklen der Reinigung den Grenzwert.

Weiterhin überschritten die bruchrauen und gestockten/scharrierten Substrate MG2B, MG2G, SSt2B, SSt2S, KSt2B und KSt2S den Grenzwert zwischen 4 und 10 Zyklen (Bild 12). Die übrigen Substratserien blieben unterhalb des Grenzwerts. Auffallend war das gute Abschneiden der Kalksteine. Alle gesägten Kalksteinsubstrate, auch der Anröchter Grünsandstein (SSt2), bei dem es sich streng genommen auch um einen Kalkstein handelt, bestand die Prüfung. Auch die entsprechenden bruchrauen und scharrierten Platten überschritten den Grenzwert von 10 erst nach dem 5. bzw. 10. Reinigungszyklus. Dies ist umso erstaunlicher, da es sich bei AGS1 um ein Silan handelt, bei dem zu erwarten wäre, dass es auf silikatischer Matrix bessere Eigenschaften aufweist.

Bild 13 gibt Platten wieder, die bei der Reinigung besonders gut und besonders schlecht abschnitten. Bild 14 zeigt den Reinigungseffekt bei einer bruchrauen und einer scharrierten Platte.

Am besten schnitten die Klinkermauerwerksprüfplatten ab. Hier musste jedoch berücksichtigt werden, dass Klinker und Zementfugen ein unterschiedliches Reinigungsverhalten aufwiesen. Die Klinker erbrachten bis zum 10. Reinigungszyklus eine Funktionalität von 0. Die Fugen überschritten mit dem 10. Zyklus den Grenzwert. Dies zeigte sich an den deutlichen Farbresten in den Fugen (Bild 15). In Tabelle 10 ist die Bewertung der Funktionalität von Klinkern und Fugen zusätzlich getrennt aufgeführt.

Die Ergebnisse der unbeschichteten Substrate wiesen ebenso unterschiedliche Reinigungseigenschaften auf. Die Reinigung des unbeschichteten Betons B-0 zeigte hierbei fast dieselben Reinigungseigenschaften wie die mit AGS1 beschichteten Platten (Tabelle 10). Alle anderen Substrate zeigten bei den Nullproben ein deutlich schlechteres Reinigungsverhalten als bei den mit AGS1 beschichteten Platten. Bei den geringer porigen Sub-

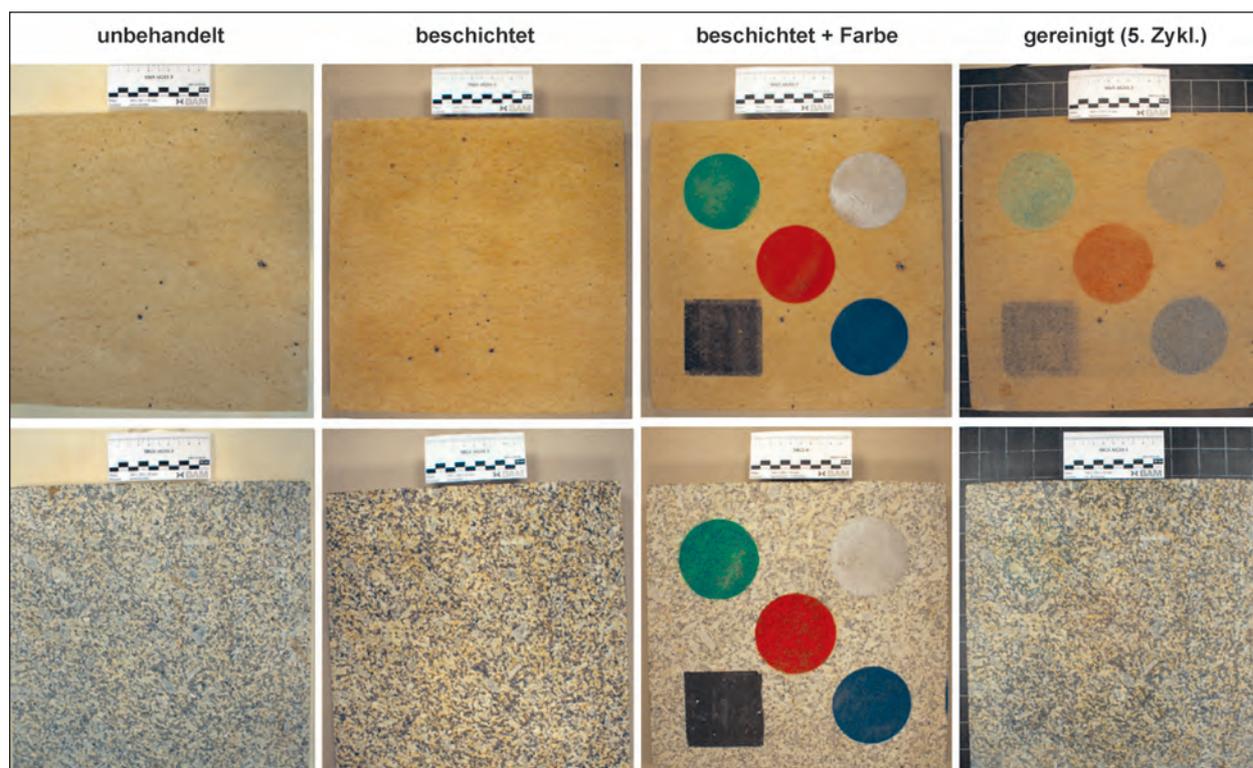


Bild 13: Vergleich des Erscheinungsbilds und der Reinigungswirkung verschiedener Substrate bei unbehandelten, mit AGS1 beschichteten, mit Farbmittel versehenen und gereinigten Platten. Obere Reihe: Postaer Sandstein (SSt3), untere Reihe: Flossenbürger Granit (MG1)

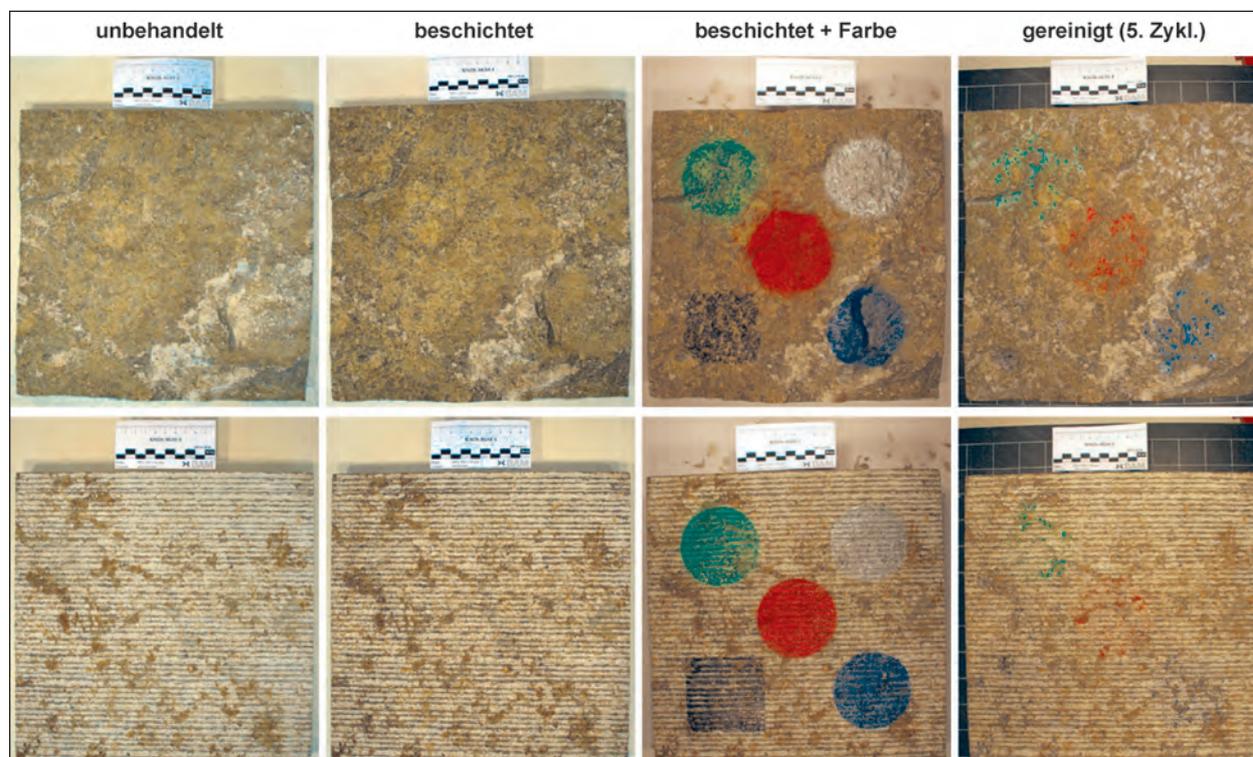


Bild 14: Vergleich des Erscheinungsbilds und der Reinigungswirkung eines bruchrauen und scharrierten Substrats bei unbehandelten, mit AGS1 beschichteten, mit Farbmittel versehenen und gereinigten Platten. Obere Reihe: Crailsheimer Muschelkalk bruchrau (KSt2B), untere Reihe: Crailsheimer Muschelkalk scharriert (KSt2S)

straten (MG1, SSt1, SSt2, KSt1, KSt2) pendelte die Funktionalität um den Grenzwert von 10. Dies deu-

tet auf eine sehr starke Reinigungswirkung des Reinigers hin.

Nach Herstellerangaben sollte der Systemreiniger 30 Minuten einwirken. Bei den Prüfungen wurde jedoch die nach TP-AGS vorgeschriebene Einwirkzeit von 15 Minuten angewendet. Besonders an den bruchrauen und stark porösen Platten zeigten

sich häufig Rückstände des Reinigers, trotz gründlicher Nachspülung mit Wasser.

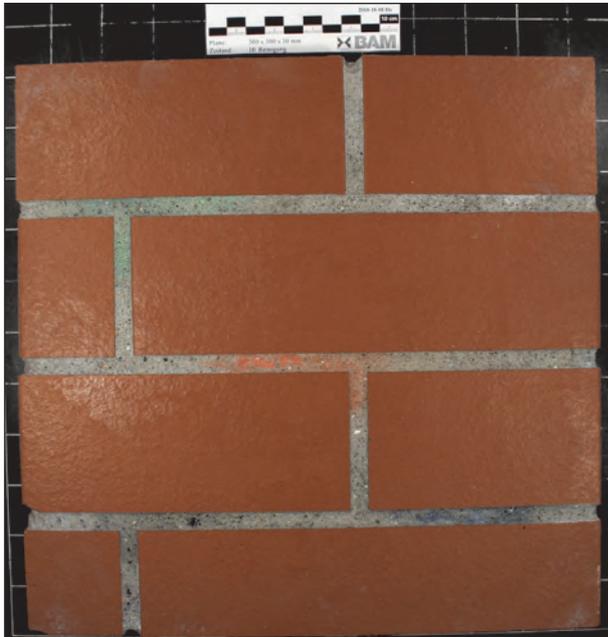


Bild 15: Einer der drei Mauerwerkprüfkörper mit deutlichen Farbresten im Fugenbereich und saubereren Klinkerflächen

4.2.5 Funktionalität AGS2

Alle Substrate, die mit AGS2 beschichtet waren, lagen weit unterhalb des Grenzwerts für die AGS-Funktionalität von 30. In Tabelle 11 sind die Einzel-

Bez.	-0	-AGS2	Bez.	-0	-AGS2
MG1	45	3	B	44	1
MG2	49	8	MW 1	20	3
MG2B	33	7	SSt2B	47	5
MG2G	36	1	SSt2S	47	2
MG3	50	9	KSt2B	35	8
SSt1	50	4	KSt2S	49	9
SSt2	49	3	¹ Bei MW-0 fiel die Platte aufgrund von zwei Überschreitungen des Grenzwerts für die Farbflächenfunktionalität F_f durch (≤ 3).		
SSt3	44	2			
KSt1	49	13			
KSt2	49	4			
KSt3	49	6			

Tab. 11: Ergebnisse der Funktionalitätsprüfung des AGS2. Angegeben ist die Funktionalität F_{AGS} der unbeschichteten Substrate (-0) und der mit AGS2 beschichteten (-AGS2). Die grau markierten Ergebnisse liegen über dem Grenzwert für die Funktionalität von $F_{AGS2} \leq 30$

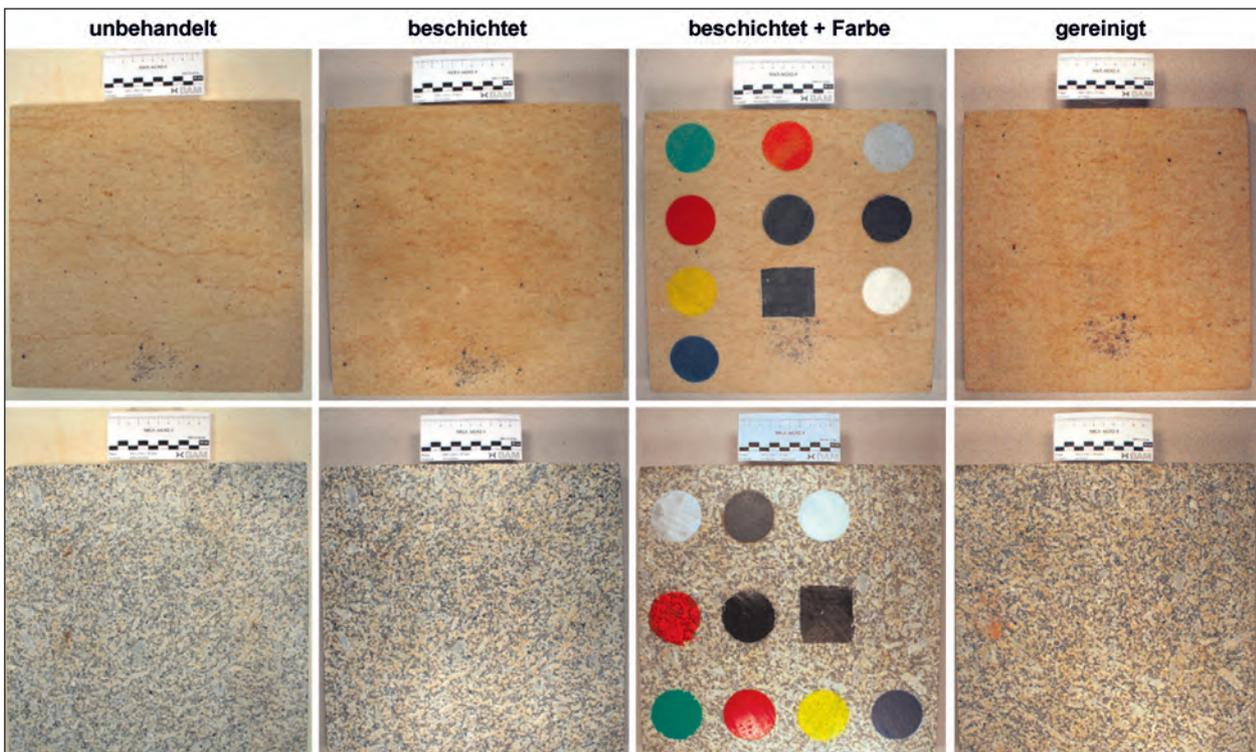


Bild 16: Vergleich des Erscheinungsbilds und der Reinigungswirkung verschiedener Substrate bei unbehandelten, mit AGS2 beschichteten, mit Farbmittel versehenen und gereinigten Platten. Obere Reihe: Postaer Sandstein (SSSt3), untere Reihe: Flossenbürger Granit (MG1)

ergebnisse der Prüfungen in Form von F_{AGS} -Werten der unbeschichteten Nullproben und der beschichteten Platten aufgeführt. Insgesamt war nur ein Substrat über $F_{AGS} > 10$. Zehn der Substrate waren sogar gleich oder kleiner dem Wert 5. Auch die bruchrauen und gestockten/scharrierten Platten zeigten ein gutes bis sehr gutes Reinigungsergebnis (Bild 16).

Die Reinigungen der unbeschichteten Nullproben erbrachten dagegen bis auf die Platte mit dem Klinkermauerwerk (MW) alle $F_{AGS} > 30$. Bei der Platte MW-0 wurde zweimal der Grenzwert der Farbfächenfunktionalitäten überschritten. Ansonsten war ein eindeutiger Unterschied zwischen der AGS-Funktionalität der beschichteten und unbeschichteten Platten erkennbar.

Bei den bearbeiteten Platten trat bei der Reinigung infolge des Wasserdampfdrucks ein gewisser Abtrag der Oberfläche in Form von Schuppen auf. Dies war besonders bei dem Substrat MG2G zu beobachten. Vermutlich wird durch die Bearbeitung mit dem Stockeisen die Oberfläche teilweise vorgeschädigt, was bei einer Wasserdruckreinigung zum teilweisen Abplatzen von nur punktuell anhaftenden Gesteinsteilchen führt.

Die gereinigten, ursprünglich mit AGS2 beschichteten Platten wiesen auf den gereinigten Flächen noch Spuren der Beschichtung auf. Diese zeigten eine noch vorhandene hydrophobe Wirkung.

4.2.6 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Mikroskopische Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop (REM) wurden durchgeführt, um die Verteilung des permanenten und temporären AGS auf bzw. in der Substratoberfläche zu bestimmen. Dazu wurden kleinere Proben mit 50 mm Durchmesser aus den beschichteten und mit Farbmitteln versehenen Platten herausgebohrt und quer zur Oberfläche gebrochen. Untersucht wurde der Oberflächenbereich der Substrate mit dem Schwerpunkt auf den Kontaktflächen von Farbmittel zum AGS sowie AGS zum Substrat. Da REM-Untersuchungen zeitlich sehr aufwändig sind, wurden exemplarisch ein gefügedichter (SSt1) und ein sehr poröser Sandstein untersucht, die jeweils mit AGS1 und AGS2 sowie Farbmittel beschichtet waren.

Bei dem gefügedichten Sandstein SSt1, der mit dem permanenten System versehen war, trat die Prophylaxe ausschließlich als Beschichtung auf der

Oberfläche auf (Bild 17a). Auffallend war, dass die Farbschicht (F10), die auf dem AGS1 auflag, nur punktuell verbunden war (Bild 17b). Teilweise war die zweite Applikationslage des AGS1 nur schwach mit der 1. Lage verbunden, was sich mit den Beobachtungen während der 2. Applikation des AGS1 deckt. Hier wurde beobachtet, dass der hydrophob-

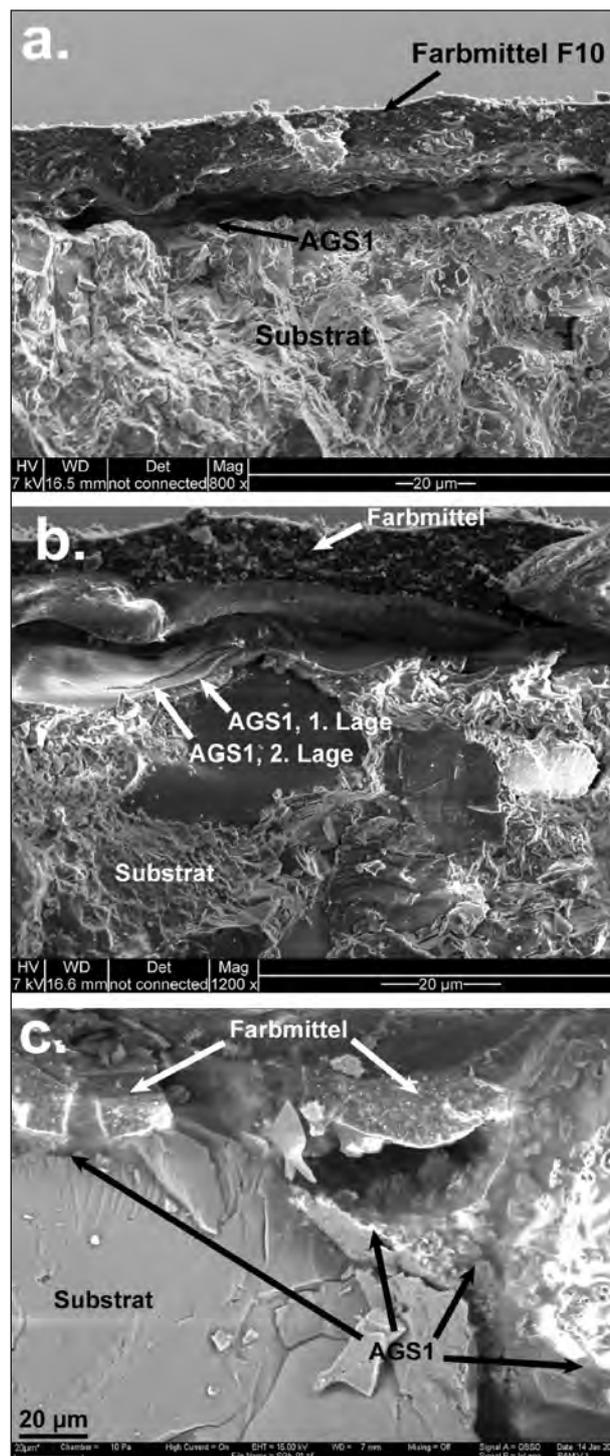


Bild 17: a., b. Farbmittel F10 und AGS1 auf dem Substrat SSt1. c. Farbmittel und AGS1 auf dem Substrat SSt3

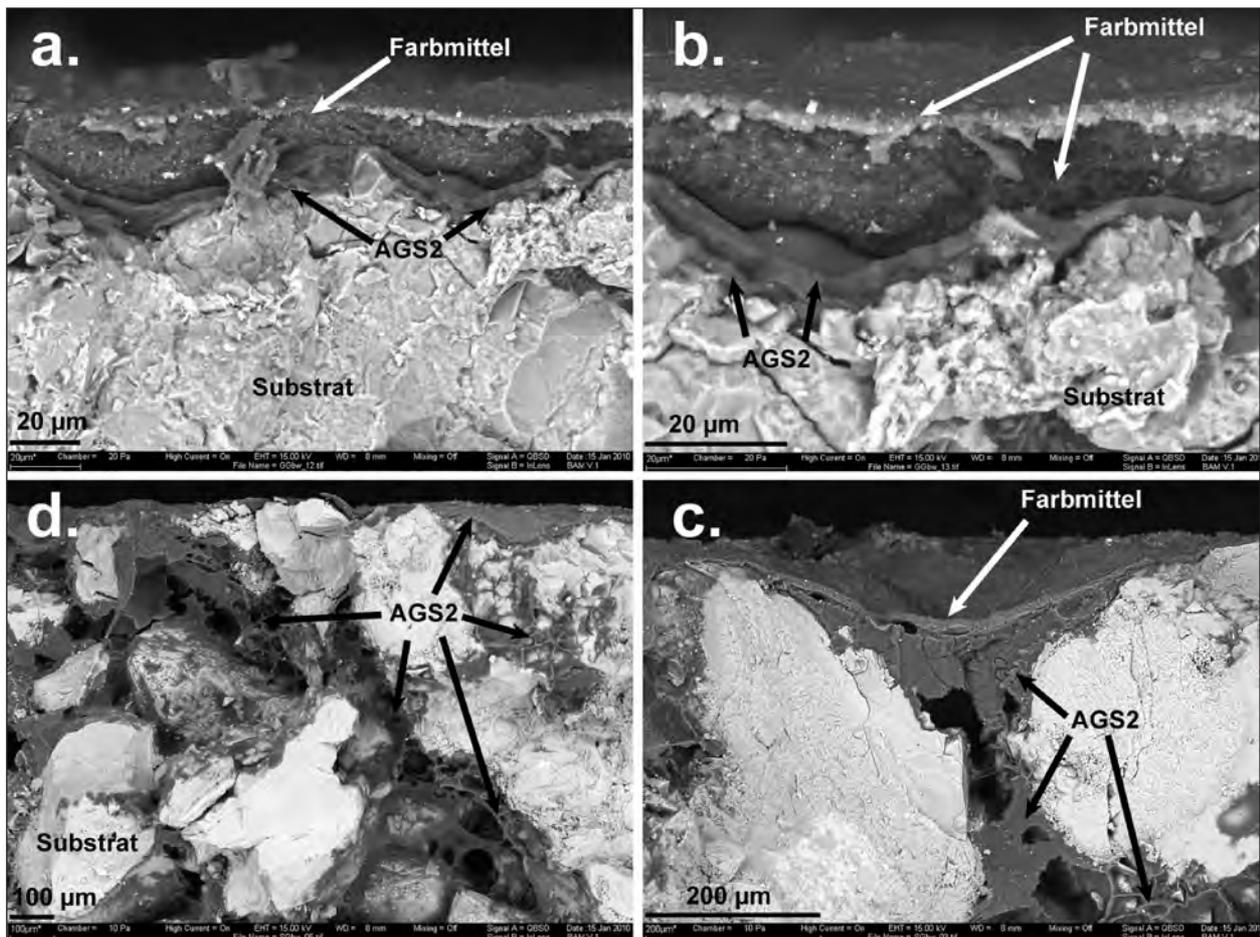


Bild 18: a., b. Farbmittel F10 und AGS2 auf dem Substrat SS1. c., d. Farbmittel F10 und AGS2 auf dem Substrat SS3

be Effekt des Mittels die zweite Auftragschicht fleckenförmig zusammenlaufen lies.

Beim porösen Postaer Sandstein SS3 bildete AGS1 keine durchgehende Oberflächenschicht aus, sondern war im Porenraum bis nahe unterhalb der Oberfläche verteilt (Bild 17c). Aber auch hier war deutlich zu erkennen, dass das Farbmittel (F10) teilweise nur punktuell auf dem AGS1 auflag, somit die hydrophobierende und oleophobierende Wirkung des Mittels zum Tragen kam. Bei SS3 war jedoch auch ersichtlich, dass Farbmittel auch in den Poren verteilt waren, die knapp unterhalb der Oberfläche lagen.

Die Ergebnisse zum AGS2 zeigten, dass bei der gefügedichten Lindlarer Grauwacke SS1 das temporäre System als Beschichtung auf dem Substrat gut anhaftete (Bild 18a). Das Farbmittel (F10) dagegen haftete nicht ganz vollflächig auf AGS2 auf. Teilweise konnten die verschiedenen Applikationsschichten des AGS2 deutlich beobachtet werden (Bild 18b).

Beim porösen SS3 hingegen drang das AGS2 teilweise mehrere Millimeter in das Substrat ein (Bild

18c). Auf der Oberfläche bildete es eine durchgehend dichte Schicht, in den Poren war es dagegen teilweise blasig. Das Farbmittel lag wie bei SS1 nicht immer vollflächig auf dem AGS2 (Bild 18d).

5 Bewertung der Ergebnisse

5.1 Glanzwerte und Farbänderungen in Abhängigkeit vom Substrat

Die Bilder 8 und 10 geben die jeweiligen Glanzwerte und Farbänderungen der gesägten bzw. unbearbeiteten (B, MW) Substrate vor und nach den Beschichtungen mit AGS1 und AGS2. Wie zuvor bereits aufgeführt, ist zu berücksichtigen, dass die Grenzwerte der Farbänderungen, die sich durch eine Prophylaxeschicht ergeben, auf Betonprüfkörper bezogen sind, die nach TP-AGS enge Toleranzen für die Lab-Werte aufweisen müssen (und die einer grauen Grundfarbe entsprechen). Bei den Farbänderungen zeigte sich jedoch, dass diese trotz der Verschiedenfarbigkeit der einzelnen Sub-

strate in engen Grenzen lagen. Der auf Beton bezogene ΔL^* -Grenzwert wurde bei keinem der beschichteten Substrate überschritten. Der Δa^* - und Δb^* -Wert wurde nur bei einigen der mit AGS1 beschichteten Substrate überschritten, bei AGS2 lagen die Werte für alle beschichteten Substrate unterhalb der Grenzwerte (Bild 10).

Anders war es bei den Glanzwerten. Obwohl der Beton bei beiden Prophylaxebeschichtungen weit unterhalb der Grenzwerte lag, zeigten andere Substrate bei AGS2 deutliche Überschreitungen des Grenzwerts für den Glanzgrad bei 85 °C (Bild 8).

Die Ursache der Unterschiede lag weniger in der unterschiedlichen Rauheit der Proben, sondern war eindeutig durch die Porosität beeinflusst. So stieg der Glanzgrad deutlich mit abnehmender Gesamtporosität der Substrate an (Bild 9). Dies war sowohl bei AGS1 zu beobachten (obwohl hier die Grenzwerte nicht überschritten wurden) als auch bei AGS2.

5.2 Kenndaten für den Wassertransport

Die Kenndaten für den Wassertransport (kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient, Wasserdampfdiffusion) vor und nach der Beschichtung mit AGS ließen keinen klaren Zusammenhang in Abhängigkeit vom Substrat erkennen. Beim Wasseraufnahmekoeffizienten verringerten sich die Werte der poröseren Substrate infolge der Prophylaxebeschichtung etwas stärker als bei den dichteren Substraten (Bild 11).

Bei den Daten für die Diffusionswiderstandszahl wird lediglich deutlich, dass das AGS2 eine stärkere Reduzierung der Wasserdampfdiffusion zur

Folge hatte als das AGS1. Zwar war die Verringerung der Dampfdiffusion bei stark porösen Substraten geringer, doch zeigten die dichteren Materialien eine starke Verringerung der Mittelwerte infolge des Prophylaxeauftrags, unter Zunahme der Streuung der Einzelwerte.

5.3 Charaktereigenschaften der Substrate und Funktionalität der AGS

Bei den Charaktereigenschaften wurden drei spezifische Kennwerte herangezogen, anhand derer die Funktionalität analysiert wurde:

- Gesamtporosität,
- mittlerer Porenradius,
- Oberflächenrauheit.

Diese Kenndaten wurden jeweils über der maximal bestimmten Funktionalität für AGS1 und AGS2 aufgetragen. Die Ergebnisse sind in den Bildern 19 bis 21 wiedergegeben.

Zur Auftragung des F_{AGS1} bzw. F_{AGS2} über der Gesamtporosität und dem mittlerem Porenradius wurden nur gesägte bzw. unbearbeitete Platten (MW) verwendet (Bild 19). Trotzdem war bei dieser Art der Gegenüberstellung ein Einfluss der Oberflächenrauheit der einzelnen Substrate mit zu berücksichtigen.

Bild 19 zeigt für das AGS1 einen klaren Zusammenhang zwischen der Gesamtporosität und der Funktionalität. Mit steigender Porosität war somit eine klare Abnahme der Funktionalität des AGS1 zu beobachten. Dieser Trend ließ sich andeutungsweise auch beim AGS2 nachweisen. Allerdings trat hier eine größere Streuung der F_{AGS} -Werte auf, d. h.,

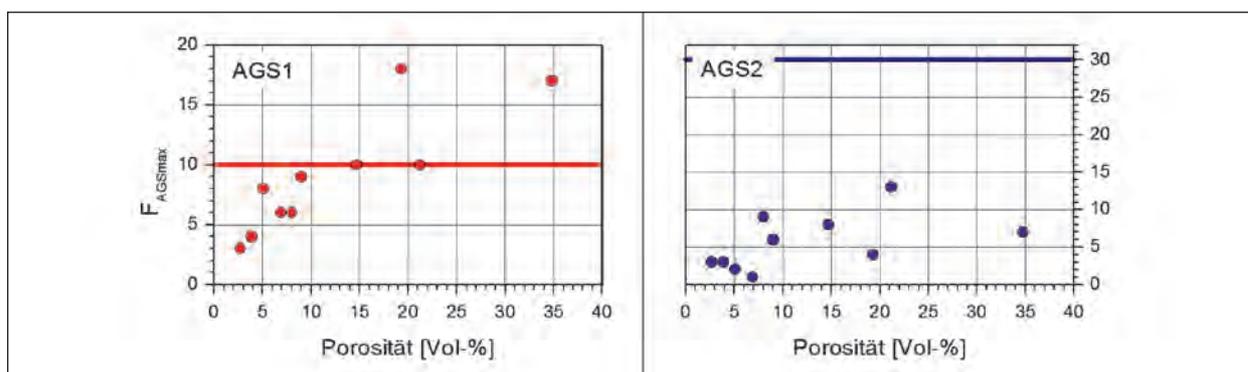


Bild 19: Auftragung der maximalen Funktionalitäten von AGS1 und AGS2 über die Gesamtporosität der gesägten bzw. unbearbeiteten Substrate. Die Grenzwerte sind als rote oder blaue horizontale Linien eingetragen

eine Korrelation war nicht so deutlich ausgeprägt wie beim AGS1.

Ein analoges Bild ergab sich bei Auftragung der Funktionalitäten über den Porenradius (Bild 20). Beim AGS1 war eine deutliche Korrelation der mittleren Porenradien mit der Funktionalität zu erkennen. Beim AGS2 war die Korrelation zwischen mittlerem Porenradius und F , ähnlich wie bei der Gesamtporosität, nur schwach ausgebildet.

Bei der Gegenüberstellung der Funktionalität und der Rauheit wurden nur Substrate derselben Art, aber mit unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen berücksichtigt (Serien MG2, SSt2 und KSt2). Diese sind in Bild 21 aufgetragen.

Für AGS1 ergab sich ein klarer Trend, dass bei Erhöhung der Oberflächenrauheit die Reinigungswirkung der Prophylaxeschicht AGS1 vermindert wird. Dieser klare Trend war bei AGS2 nicht mehr zu erkennen. Hier schienen sich die Verhältnisse sogar umzukehren, dass mit zunehmender Rauheit die Reinigungswirkung verbessert wird.

Die unterschiedlichen Resultate der Auftragung von F_{AGS} über die Gesamtporosität, mittleren Porenra-

dius und die Oberflächenrauheit von AGS1 und AGS2 zeigten, dass die Art der Prophylaxeschicht einen Einfluss auf die Reinigungswirkung ausübt. Im Falle des AGS1 ist besonders bei Substraten mit erhöhter Gesamtporosität und größeren mittleren Porenradien mit einer schlechteren Reinigungswirkung zu rechnen als bei Substraten mit kleineren Werten. Beim AGS2 spielen die Porenkennwerte der Substrate dagegen eine geringere Rolle. Daraus kann Folgendes gefolgert werden:

- Wird AGS1 bei dichteren Substraten angewendet, tritt ein Beschichtungseffekt auf. D. h., es bildet sich eher eine geschlossene hydrophobe bzw. oleophobe Oberflächenschicht aus. Der s_d -Wert wird hierbei, je nach Substrat, um bis zu 40 % erhöht und die Farbmittelentfernung ist gut.
- Bei Verwendung von AGS1 auf poröseren Substraten tritt ein Imprägnierungseffekt auf. D. h., das Mittel dringt stärker in den Porenraum ein und bildet keine geschlossene Oberflächenschicht aus. Der s_d -Wert wird um 25 bis 100 % erhöht, und die Entfernung der Farbmittel taschen befinden bzw. durch den Reiniger

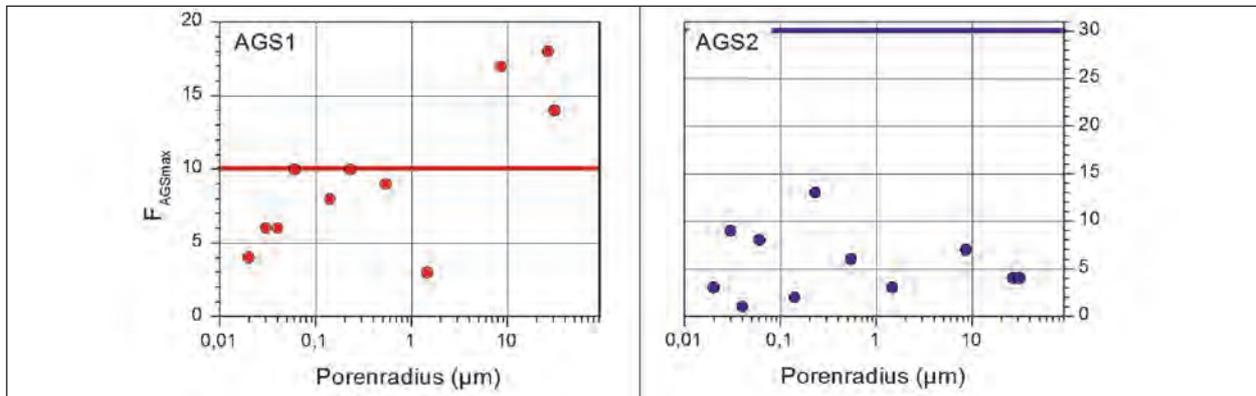


Bild 20: Auftragung der maximalen Funktionalitäten von AGS1 und AGS2 über den mittleren Porenradius der Substrate. Grenzwerte sind als rote und blaue horizontale Linien eingetragen

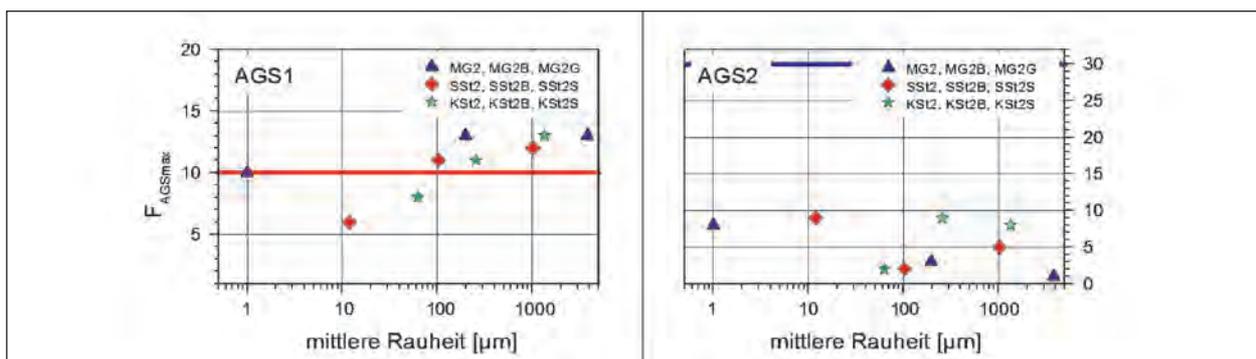


Bild 21: Auftragung der maximalen Funktionalitäten von AGS1 und AGS2 über die Oberflächenrauheit der unterschiedlich bearbeiteten Substrate

Farbmittel gelöst wird, die teilweise weiter in die größeren Poren eindringen.

- AGS2 bildet hingegen bei allen Substraten eine durchgehende Beschichtung aus. In besonders grobporigen Gesteinen füllt das Mittel Poren bis in mehrere Millimeter Tiefe aus. Dies macht sich in einer teilweise starken Reduzierung der Wasserdampfdiffusionseigenschaften bemerkbar. Der s_d -Wert wird hierbei, abhängig vom Substrat, um 30 bis maximal 500 % erhöht. Die Farbmittelreinigung ist jedoch sehr effektiv, da auch bei sehr grobporigen Substraten eine Opferschicht auf deren Oberfläche aufliegt, die bei der Reinigung entfernt wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Reinigungswirkung auf mit AGS beschichteten Substraten von vielen Faktoren abhängt. Die wesentlichen Faktoren sind aber die zuvor genannten in Verbindung mit der Art des Anti-Graffiti-Systems.

Stellt man dagegen die Funktionalitäten der AGS den stofflich-mineralogischen Kennwerten gegenüber, so ergibt sich kein nachvollziehbares Muster. Anscheinend haben die physikalischen Eigenschaften der Substrate einen wesentlich größeren Einfluss auf die Effektivität und Funktionalität der Prophylaxeschichten als die stoffliche Zusammensetzung der Substrate. Auffallend war jedoch, dass die carbonathaltigen Gesteine (KSt1 bis KSt3, SSt2) verhältnismäßig gut mit dem AGS1 abgeschnitten haben. Ob dies jedoch der carbonatischen Matrix oder den bei diesen Gesteinen besonders kleinen mittleren Porenradien geschuldet ist, konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht ermittelt werden.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Anwendbarkeit der TP-AGS/TL-AGS auf Naturstein- und Klinker-mauerwerk

Aufgrund der Versuchsergebnisse ergeben sich für die Anwendbarkeit der TP-AGS bzw. der Grenzwerte nach TL-AGS folgende Schlussfolgerungen:

Funktionalitätsprüfung

Wie im vorigen Kapitel gezeigt wurde, sind die Funktionalitäten der Anti-Graffiti-Systeme stark abhängig von den Poreneigenschaften der Substrate, d. h., deren Funktionalität nimmt mit steigender

Porosität und steigendem mittlerem Porenradius ab. Die Oberflächenrauheit hat zwar einen geringeren Einfluss, der außerdem von der Art der Prophylaxe abhängt, wirkt sich aber besonders bei sehr rauen Oberflächen negativ auf die AGS-Funktionalität des verwendeten permanenten AGS aus.

Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass der in der TP-AGL vorgeschriebene Betongrundkörper als ‚schlechtester Fall‘ die eher schwierig zu reinigenden porösen Gesteine gut abbildet. Dies würde auch für Zementfugen gelten. Zwar ist in zwei Fällen bei den bruchrauen Gesteinen ein überschreiten des AGS-Funktionalitätsgrenzwerts früher als bei den Betongrundkörpern eingetreten, jedoch stellt sich hier generell die Frage der Anwendbarkeit von permanenten Systemen auf dieser extremen Form des Untergrunds.

Farbänderungen infolge der Prophylaxe-beschichtung

Die Grenzwerte für die Farbänderungen infolge einer Prophylaxebeschichtung wurden nach TP-AGS am Betongrundkörper mit definierten Lab-Toleranzen festgelegt. Obwohl farblich sehr unterschiedliche Substrate bei den Untersuchungen verwendet wurden, die teilweise sehr stark von den vorgeschriebenen Farbdaten des Betons abwichen, haben sich nur geringe Farbänderungen beim AGS1 ergeben. Im Vergleich zu den Farbdifferenzen der übrigen Substrate lagen die Werte beim Beton jeweils in der Mitte (Ausnahme: Δa^* beim AGS2 und Δb^* beim AGS1). Hier wäre über eine Verschiebung der Grenzwerte für Δa^* und Δb^* um einen geringen Betrag nach oben nachzudenken, um diesem Umstand Rechnung zu tragen.

Obwohl die Natursteinsubstrate unterschiedliche farbliche Gefügemerkmale teilweise im cm-Bereich aufwiesen, war die Streuung der Einzelfarbdaten verhältnismäßig gering.

Veränderungen im Glanz

Änderungen des Glanzes der Substratoberflächen infolge der Prophylaxe wichen teilweise erheblich von den Glanzwerten des Betonsubstrats ab. Dies traf besonders beim AGS2 zu, wo der Grenzwert von 10 gleich mehrmals überschritten wurde.

In der Praxis hätte dies zur Folge, dass bei Prüfung des Betonkörpers ein AG-System zwar innerhalb des Grenzwerts liegen könnte, bei Anwendung auf

bestimmten Natursteinsubstraten eine Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes infolge einer stark glänzenden Oberfläche eintreten würde. Dies könnte besonders auf sehr dichte feinporige Natursteinsubstrate zutreffen. Um dem abzuwehren, könnten bei der Glanzmessung auch verschiedene feinporige Gesteine/Substrate als Referenzprüfkörper mit in den Prüfungsablauf aufgenommen werden.

Einfluss der Prophylaxe auf die Wasserdampfdurchlässigkeit

Der in der TL-AGS angegebene Grenzwert für den Wasserdampfdiffusionswiderstand der Systeme ($s_D \leq 5 \text{ m}$) könnte für Natursteinsubstrate eventuell als zu hoch angesetzt sein. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wird die Dampfdiffusion durch den Beschichtungsstoff teilweise erheblich herabgesetzt. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass dies nicht in gleicher Weise für alle Substrate erfolgt. Es wird daher empfohlen, bei Anwendung von AGS1 auf Naturstein auf die Verwendung von AGS1-1, d. h. schichtbildende Systeme, ganz zu verzichten.

6.2 Frage der Dauerhaftigkeit von Anti-Graffiti-Systemen auf verschiedenen Natursteinsubstraten

Eine wichtige Fragestellung, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen bisher noch nicht angesprochen wurde, betrifft die Dauerhaftigkeit der Prophylaxebeschichtungen. Wie die Ergebnisse anderer Untersuchungen gezeigt haben, wird die Dauerhaftigkeit von Anti-Graffiti-Systemen nicht nur von den Umgebungsbedingungen, sondern auch von der Art des Substrats beeinflusst (GARDEI et al., 2008; GARCÍA et al., 2010). Besonders bei Gesteinen, die eine größere Menge an quellfähigen Tonmineralen besitzen und entsprechend empfindlich auf Änderungen der Luftfeuchte reagieren, deuteten sich Einschränkungen in der Dauerhaftigkeit der AGS an.

Um diesen Sachverhalt der Dauerhaftigkeit von AGS auf Natursteinmauerwerk im Detail zu kennen, wäre eine weitere Studie notwendig, in der ausgewählte Anti-Graffiti-Systeme an Substraten untersucht werden, die größere Beträge hygrischer Verformungen aufweisen. Für die Dauer und Art der Auslagerungen könnten die in der TP-AGS angegebenen Parameter verwendet werden.

7 Literatur

- BASt TP-AGS: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme. Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Ingenieurbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 9 S., 2009
- DIN 66133: Bestimmung der Porenvolumenverteilung und der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 1991
- DIN EN 196-1: Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 2005
- DIN EN 1925: Prüfverfahren von Naturstein – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 1999
- DIN EN 1936: Prüfung von Naturstein – Bestimmung der Reindichte, der Rohdichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität; Deutsche Fassung EN 1936:1999. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 2007
- DIN EN 12407: Prüfverfahren für Naturstein. Petrographische Prüfung. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 5 S., 2007
- DIN EN 13755: Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 2008
- DIN EN ISO 12572: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Deutsche Norm, Beuth Verlag, Berlin, 2001
- GARCÍA, O., RODRIGUEZ-MARIBONA, I., GARDEI, A., RIEDL, M., van HELLEMONT, Y., SANTARELLI, M.-L. and STRUPI SUPUT, J.: Comparative study of the variation of the hydric properties and aspect of natural stone and brick after the application of 4 types of anti-graffiti. *Materiales de Construcción*, 60, 297, S. 69-82, 2010
- GARDEI, G., GARCIA, G., RIEDL, M., Van HELLEMONT, I., STRUPI SUPUT, J., SANTARELLI, M.-L., RODRÍGUEZ-MARIBONA, I. and MÜLLER, U.: Performance and Durability of

- a New Antigrffiti System for Cultural Heritage – The EC Project GRAFFITAGE. In: 11th International Congress on Conservation and Deterioration of Stone, Torun, Poland, S. 889-897, 2008
- GORETZKI, L.: Graffiti-Schutzsysteme für Fassadenbaustoffe. Baupraxis und Dokumentation 10, Expert Verlag, 64 S., 1998
- GRIMM, W.-D.: Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, 1990
- HILGERS, H. A. (2005): Graffiti, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Der aktuelle Begriff, 05 (18), 2
- Historic Scotland: Graffiti and its safe removal. Inform: Information for historic building owners, Historic Scotland, Edinburgh, UK, 8 S., 2005
- HOFFMANN, D. and RECKNAGEL, C.: Versuch einer Klassifizierung von Antigrffiti-Beschichtungen hinsichtlich des Wasserdampfdiffusionswiderstandes. Bauphysik, 20, 5, S. 151-156, 1998
- MALAGA, K. and BENGTSSON, T.: The Nordic Method: Performance Tests for Protective Sacrificial Coatings on Mineral Surfaces. In: DeCLERCQ, H. and CHAROLA, A. E. (eds.), Hydrophobe 5, Brussels, Belgium, Aedificatio Publishers, S. 169-180, 2008
- URQUHARD, D.: The treatment of graffiti on historic surfaces. Technical Advice Note 18, Historic Scotland, Edinburgh, 55 S., 1999
- WTA Merkblatt 2-8-04/D: Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS). 2-8-04/D, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., München, 14 S., 2004

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

1997

- B 11: **Fahrbahnbeläge auf Sohlen von Trogbauwerken**
Wruck € 12,00
- B 12: **Temperaturmessungen bei der Verbreiterung der Rodenkirchener Brücke**
Goebel € 15,50
- B 13: **Strukturanalyse von Beton**
Gatz, Gusia € 11,00

1998

- B 14: **Verhalten von Fahrbahnübergängen aus Asphalt infolge Horizontallasten**
Krieger, Rath € 16,00
- B 15: **Temperaturbeanspruchung im Beton und Betonersatz beim Einbau von Abdichtungen**
Großmann, Budnik, Maaß € 14,50
- B 16: **Seilverfüllmittel – Mechanische Randbedingungen für Brückenseile**
Eilers, Hemmert-Halswick € 27,50
- B 17: **Bohrverfahren zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton**
Gatz, Gusia, Kuhl € 14,00

1999

- B 18: **Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode für Betonbrücken**
Krieger, Krause, Wiggenhauser € 16,50
- B 19: **Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen**
Schröder € 11,00
- B 20: **Reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl**
Eilers, Ritter € 12,50
- B 21: **Windlasten für Brücken nach ENV 1991-3**
Krieger € 10,50

2000

- B 22: **Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken**
Haardt € 11,50
- B 23: **Bewertung und Oberflächenvorbereitung schwieriger Untergründe**
Schröder, Sczyslo € 11,00
- B 24: **Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl**
Eilers, Stoll € 11,00
- B 25: **Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken**
Haardt € 12,50
- B 26: **Einsatzmöglichkeiten von Kletterrobotern bei der Bauwerksprüfung**
Krieger, Rath, Berthold € 10,50
- B 27: **Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen**
Eilers, Ritter, Stoll € 11,00

2001

- B 28: **Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl**
Eilers € 11,00
- B 29: **Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton**
Gatz, Quaas € 12,00
- B 30: **Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutionsarme Spritzbetone**
Heimbecher € 11,00
- B 31: **Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST**
Eilers, Stoll € 10,50
- B 32: **Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlusten**
Schröder € 11,50
- B 33: **Bewährung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten**
Eilers, Sczyslo € 17,00
- B 34: **Neue reaktionsharzgebundene Dünnbeläge als Fahrbahnbeläge auf einem D-Brücken-Gerät**
Eilers, Ritter € 13,00

2002

- B 35: **Bewährung von Brückenbelägen auf Betonbauwerken**
Wruck € 11,50
- B 36: **Fahrbahnübergänge aus Asphalt**
Wruck € 11,00
- B 37: **Messung der Hydrophobierungsqualität**
Hörner, von Witzhausen, Gatz € 11,00
- B 38: **Materialtechnische Untersuchungen beim Abbruch der Talbrücke Haiger**
Krause, Wiggenhauser, Krieger € 17,00
- B 39: **Bewegungen von Randfugen auf Brücken**
Eilers, Wruck, Quaas € 13,00

2003

- B 40: **Schutzmaßnahmen gegen Graffiti von Weschpfennig** € 11,50
- B 41: **Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahrbahnplatten beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht**
Eilers, Kuchler, Quaas € 12,50
- B 42: **Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau**
Städig, Krocker € 12,00
- B 43: **Entwicklung eines Bauwerks Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2**
Haardt € 13,50
- B 44: **Untersuchungen an Fahrbahnübergängen zur Lärminderung**
Hemmert-Halswick, Ullrich € 12,50
- B 45: **Erfahrungssammlungen:**
Stahlbrücken – Schäden – wetterfeste Stähle
Seile
Teil 1: Dokumentation über Schäden an Stahlbrücken
Teil 2: Dokumentation und Erfahrungssammlung mit Brücken aus wetterfesten Stählen
Teil 3: Erfahrungssammlung über die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen und -kabeln
Hemmert-Halswick € 13,00

2004

- B 46: **Einsatzbereiche endgültiger Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau**
Heimbecher, Decker, Faust € 12,50

2005

B 47: Gussasphaltbeläge auf Stahlbrücken
Steinauer, Scharnigg € 13,50

2006

B 48: Scannende Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Brückenbauwerken
Holst, Streicher, Gardei, Kohl, Wöstmann, Wiggerhauser € 15,00

B 49: Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz
Raupach, Rößler € 13,50

B 50: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3
Holst € 13,50

B 51: Hydrophobierungsqualität von flüssigen und pastösen Hydrophobierungsmitteln
Panzer, Hörner, Kropf € 12,50

B 52: Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen
Friedrich, Staack € 14,50

B 53: Verwendung von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50

B 54: Nachweis des Erfolges von Injektionsmaßnahmen zur Mängelbeseitigung bei Minderdicken von Tunnelinnenschalen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rath, Berthold, Lähner € 12,50

2007

B 55: Überprüfung des Georadarverfahrens in Kombination mit magnetischen Verfahren zur Zustandsbewertung von Brückenfahrbahnplatten aus Beton mit Belagsaufbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Krause, Rath, Sawade, Dumat € 14,50

B 56: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Beton in der Expositions-kategorie XF2
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Setzer, Keck, Palecki, Schießl, Brandes € 19,50

B 57: Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Steinauer, Mayer, Kündig € 26,50

B 58: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel
Sistenich € 14,50

2008

B 59: Bandverzinkte Schutzplankenholme
Schröder € 12,50

B 60: Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung - Bewehrung
Schröder € 13,50

B 61: Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten
Schröder, Staack € 13,00

B 62: Bewährungsnachweis von Fugenfüllungen ohne Unterfüllstoff
Eilers € 12,00

B 63: Selbstverdichtender Beton (SVB) im Straßentunnelbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Heunisch, Hoepfner, Pierson (†), Dehn, Orgass, Sint € 17,50

B 64: Tiefenabhängige Feuchte- und Temperaturmessung an einer Brückenkappe der Expositions-kategorie XF4
Brameshuber, Spörel, Warkus € 12,50

2009

B 65: Zerstörungsfreie Untersuchungen am Brückenbauwerk A1 Hagen/Schwerte
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Friese, Taffe, Wöstmann, Zoega € 14,50

B 66: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln
Zulauf, Locher, Steinauer, Mayer, Zimmermann, Baltzer, Riepe, Kündig € 14,00

B 67: Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln
Blosfeld € 17,50

B 68: Auswirkungen des Schwerlastverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen – Teile 1-4
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kaschner, Buschmeyer, Schnellenbach-Held, Lubasch, Grünberg, Hansen, Liebig, Geißler € 29,50

B 69: Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln
Wagener, Grossmann, Hintzke, Sieger € 18,50

B 70: Frost-Tausalz-Widerstand von Beton in Brücken und Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50

2010

B 71: Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau
Kuhlmann, Euler € 22,50

B 72: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen
Weschpfennig, Kropf, von Witzzenhausen € 13,50

B 73: Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König € 21,00

B 74: Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk
Müller € 14,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.